MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ

ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR -II

EDİTÖR: Prof.Dr. Reyhan İRKİN

gece kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel
Editör / Edıtor • Prof. Dr. Reyhan İrkin
Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Karaf Ajans

Birinci Basım / First Edition • © Haziran 2020
ISBN • **978-625-7884-71-6**

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.
Citation can not be shown without the source, reproduced in any way
without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Publishing
Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR
Telefon / Phone: +90 312 384 80 40
web: www.gecekitapligi.com
e-mail: gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume
Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar - II

Editör

Prof. Dr. Reyhan İrkin

gece kitaplığı

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

KARAKTER TANIMA İŞLEMLERİNDE EŞİK BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI
Ahmet ÇELİK 1

Bölüm 2

PİŞİRİLMİŞ ET VE ET ÜRÜNLERİNDE POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBONLARIN OLUŞUMU VE ENGELLEME YOLLARI
Emel ÖZ 17

Bölüm 3

BİNA YAŞAM DÖNGÜSÜ SÜRECİNDE OPTİMUM ENERJİ VE MALİYET ETKİN BİR YAKLAŞIM: ANTALYA ÖRNEĞİ
İlknur Akıner, Muhammed Ernur Akıner, Bekir Türkdoğan 37

Bölüm 4

YENİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMALARI
İlyas KACAR, Süleyman KILIÇ 53

Bölüm 5

SYMPES YÖNTEMİYLE MEDİKAL GÖRÜNTÜLERİN MODELLENMESİ
İnci ZAİM GÖKBAY 69

Bölüm 6

ETMEN TABANLI SİSTEM YAKLAŞIMI VE UYGULAMA ALANLARI
Melek IŞIK 91

Bölüm 7

AKUSTİK UYGULAMALAR İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TEKSTİL MALZEMELERİ
Merve KÜÇÜKALİ ÖZTÜRK, F. Banu NERGİS, Cevza CANDAN 101

Bölüm 8

PHYTON İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME MİMARİSİNDE AHP UYARLAMASI
Neşe YALÇIN, Fatih KILIÇ, M. Taha CONTARLI 139

Bölüm 9

DERİNİN FARKLI SANAT DALLARINDA KULLANIMI
Nuray Olcay IŞIK, Meruyert KAYGUSUZ 161

Bölüm 10

KAS FİBRİL TİPLERİ ve ET KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ
Emel ÖZ 179

Bölüm 11

TERMAL SULARIN RADYOAKTİVİTE VE KİMYASAL İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ; DENİZLİ PAMUKKALE ÖRNEĞİ
İbrahim DORUK, Meruyert KAYGUSUZ, ... 193
Kadriye ESEN ERDEN, Cem GÖK 193

Bölüm 12

GERİLİM DENETLEYİCİSİ: YÖNTEM VE PRENSİPLER
Gamze AYDOĞMUŞ, Hatice Nur YALÇIN, ... 205
Mehmet YÜKSEKKAYA 205

Bölüm 13

DERİLERDEN YAPILAN ÜÇ BOYUTLU TABLOLAR
Meruyert KAYGUSUZ, Selime ÇOLAK, ... 221
Neslihan Fatoş ARĞUN..... 221

Bölüm 14

BİYOTEKNOLOJİK ÜRETİMLERDE KATI KÜLTÜR FERMANTASYONU UYGULAMALARI VE BİR BİYOREAKTÖR TASARIMI ÖRNEĞİ
Sait SARGIN 233

Bölüm 15

EKLEMELİ İMALATLA ELEKTRONİK SOĞUTUCU SİSTEM TASARIMI VE İMALATI
Tuğçe TEZEL..... 253

Bölüm 16

AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ İNCELEMESİ
Demet CANDAN, Zuhal OKTAY, Can COŞKUN..... 269

Bölüm 17

GİYİLEBİLİR ELEKTRONİK ÜRÜNLER
Züleyha DEĞİRMENCİ, Sabiha YARLUĞKAL 285

Bölüm 18

DİJİTAL PAZARLAMA VE PANDEMİ SÜRECİNİN DİJİTAL PAZARLAMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Züleyha DEĞİRMENCİ, Seda YAPICI SUNAÇ 301

Bölüm 19

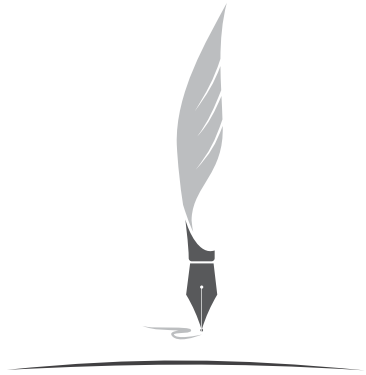
BEYİN MR GÖRÜNTÜLERİNİN FREKANS UZAYI DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer KASIM 319

Bölüm 20

TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBUNUN NANOMATERYALLERLE İLİŞKİSİ VE NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR İÇİN ÖNEMİ

Zafer CEYLAN, Turgay ÇETİNKAYA 349



Bölüm 1

KARAKTER TANIMA İŞLEMLERİNDE EŞİK BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI

Ahmet ÇELİK[1]

1 Doktor Öğretim Üyesi , Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, ahmet.celik@dpu.edu.tr

1. Giriş

Taranmış veya basılı metin görüntüleri, düzenlenebilir metinlere dönüşümünü sağlayan algoritmalar bulunmaktadır. Optik karakter Tanıma(Optik Character Recognation-OCR) bir çeşit görüntü içindeki verileri bilgisayar ortamına dönüştürme yöntemidir(Karasu ve ark., 2015). Metni tanımak insan vücudundaki göz ve aklın birleşimi gibidir. Göz görüntülerdeki metni görüntüler, beyin ise yorumlar, işler ve sonunda anlamlandırılır. Bunun yanında okunamayan metinlerle de karşılaşılabilir. Göz görür, fakat beyin yorumlayamaz. Bilgisayar görüsünde de bundan dolayı bazı sorunlarla karşılaşılmaktadır. Örneğin, görüntü içindeki, benzer harf ve karakterleri bilgisayar görüntüsünden ayırt etmek zor olabilmektedir. "0" rakamıyla "O" harfi arasındaki benzerlik ilişkisi gibi durumlarla karşılaşılabilmektedir. Yoğun arka plana sahip görüntüden bir metni çıkartmak da zordur. Örneğin; manzara arka planlı olan bir kartvizit görüntüsünden metni çıkarmak oldukça zor olabilmektedir. Ayrıca kalın, eğik ve altı çizili gibi farklı yazı biçimleri ve farklı dillerdeki simgeler, karakterlerin bulunması tanıma işlemini zorlaştırmakta ve yavaşlatmaktadır.

Günümüzde farklı amaç ve yöntemlerine göre birçok OCR yöntemi ve algoritmaları bulunmaktadır. Bunlar kullanılarak geliştirilen masaüstü, sunucu, web ve mobil tabanlı uygulamalar mevcuttur(Karasu ve ark., 2015). Bu çalışmada da tercih edilen Tesseract, OCR kütüphanesi, masaüstü ve mobil platformlarda da kullanılabilir Bu kütüphane kullanılarak daha iyi tanıma gerçekleştirebilmek için makine öğrenmesi uygulamaları gerçekleştirilmiştir(Smith, 2007). Çoğu uygulamada başarı oranı %100 olarak bahsedilememektedir. Bu duruma Tesseract kütüphanesinin kullanıldığı uygulamalarda da rastlanmaktadır. Tesseract, OCR İngilizce karakterlerde daha fazla başarı oranına sahiptir. Ancak Türkçe karakterler içinde kullanılabilir(Karasu ve ark., 2015). Optik karakter tanıma araçlarından yalnızca birkaçı özgür ve açık kaynaktır. Tesseract kütüphanesi de şu anda açık kaynak programlardan biridir. Önceleri kapalı kaynak bir yazılım olarak tanıtılmış. Ancak sonra açık kaynak olarak dağıtılmaya başlandığından kullanım yaygınlığı artmıştır. İlk çıkışı Python diliyle geliştirilmiş, günümüzdeki sürümleri ise C++ ile tekrardan ele alınarak yazılmıştır. Bağımsız platform olarak diğer uygulamalarda kullanılabilir(Smith, 2007).

Eşikleme(Thresholding) işlemi, görüntü içindeki nesnelerin arka plandan ayrılmasında, ilk uygulanan ön işlemdir. Eşik değerleri görüntünün tümü dikkate alınarak ya da farklı bölümleri dikkate alınarak elde edilmektedir. Global eşik yöntemi de tüm görüntü için tek eşik değeri kullanılarak uygulanmaktadır. Ayrıca Global eşik değerinden türetilmiş Otsu eşik değeri de Global eşikleme yöntemi gibi görüntünün tümünden tek bir değer elde edilmektedir(Senthilkumaran ve ark.,2016). Eşikleme işlemi bir seviyeli(tek sabit değer) ya da çok seviyeli (birden çok değer aralığı) olarak

gerçekleştirilebilir. Görüntü içindeki piksel renk değerlerinin yoğunluğu görüntü histogramında gösterilmektedir. Çok sevili eşikleme için kullanılacak değerler histogram içinden elde edilmektedir(Abera ve ark.,2017). ABD de mektup zarfları üzerinde, makine ya da bilgisayar tarafından yazdırılmış adres blokları % 99'undan fazlasının, eşikleme yöntemiyle ikili görüntü formatına dönüştürüleceği açıklanmıştır(Liu ve ark., 1993).

Histogram dağılımı, nesne boyutuna bağlı olarak nesne ve arka plan piksel değerlerine göre değişmektedir. Tesseract ile karakter tanımanın yapısında Otsu eşik değeri bulma yöntemi kullanılmaktadır. Bu Otsu eşik değeri karakter tanıma sonucunu doğrudan etkilemektedir.

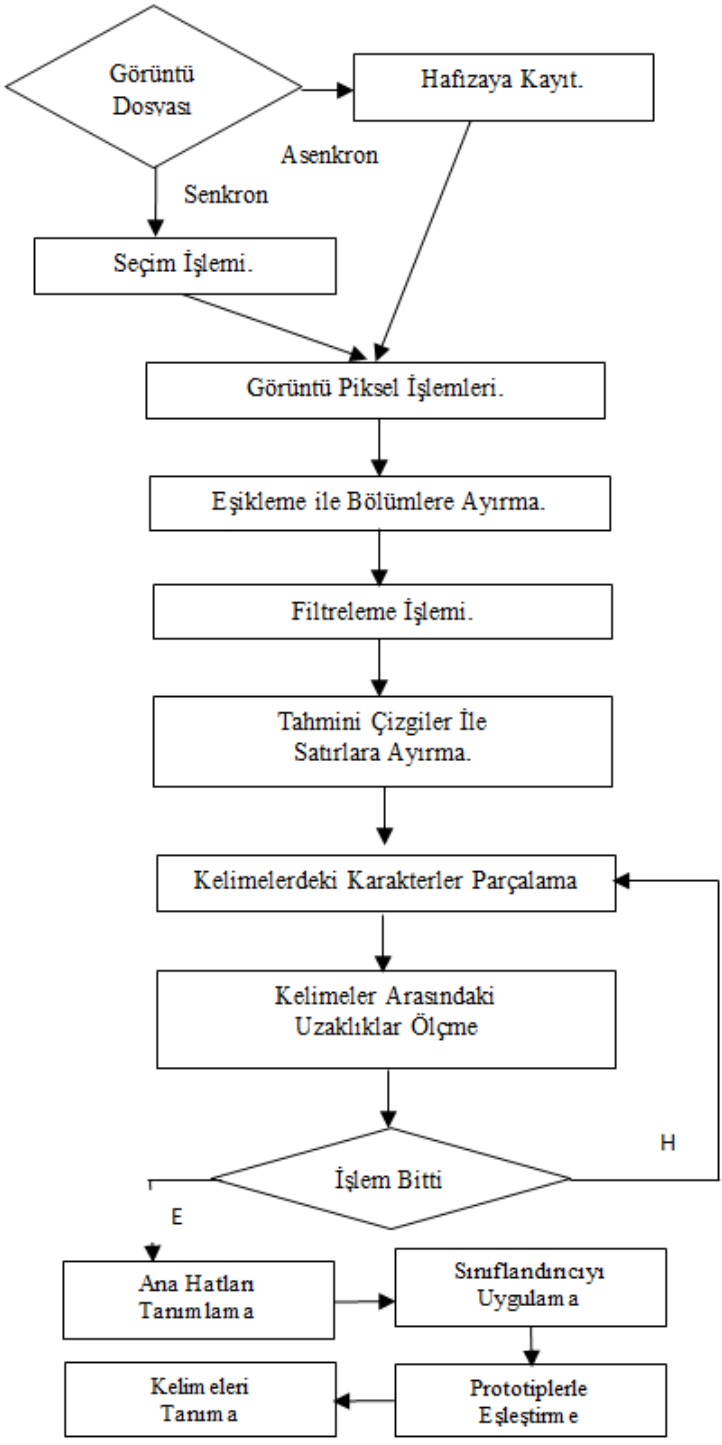
2. Tesseract Kütüphanesi

Günümüzde en yaygın kullanılan, OCR motorlarından biri olarak kabul edilen Tesseract, açık kaynaklı bir optik karakter tanıma motorudur(-Patel ve ark., 2012). 1995 yılından itibaren yüksek doğruluk oranı ile çalışmaktadır. 2005 yılından sonra HP ve UNLV(University of Nevada, Las Vegas) tarafından özgür yazılım olarak(açık kaynak) kullanılmaya başlanmıştır(Smith, 2007). Günümüzde Google tarafından destek verilmekle birlikte 4.0.1 versiyonuyla el yazısı da dahil olmak üzere, doğruluk oranı çok yüksektir. Ayrıca birçok programlama diliyle birlikte eklenti yapılarak kullanılmaktadır.

2.1. Tesseract Mimarisi

Tesseract kütüphanesi görüntü elde edilmesiyle başlamaktadır. Tesseract çalışma yapısında, görüntü veya basılı metin görüntüsü girdi olarak geldiğinde ön işlemlerden geçirilmekte sonra bilgisayarın yapısına uygun sayısal formata dönüştürülmektedir. Bundan sonra, bilgisayar görüsünde işlem yapabilmek için uygun eşik değeri belirlenmesi ve eşikleme işlemi yapılması gerekir. Daha sonra karakter bölümlerinden arka planlarının ayrılması ve son aşamada ise harf eşleştirmesi gerçekleştirilmektedir(Şekil 1).

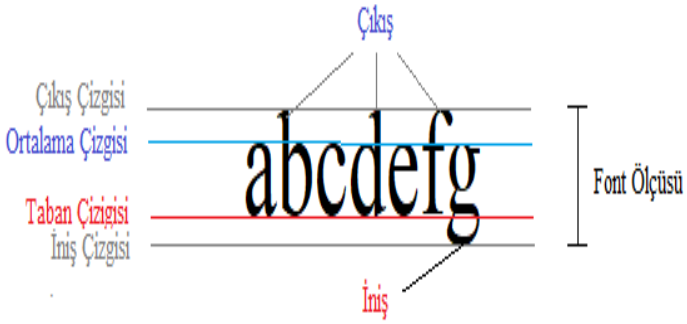
Tesseract kütüphanesinde dinamik bir eşik belirleme yöntemi olan Otsu eşik belirleme yöntemini kullanmaktadır. Eşik değeri belirlendikten sonra Tesseract OCR motoru içerisindeki bileşen analizi metotları çağırılmakta ve kelimeler(sözcükler) algoritmanın akışı içerisinde aranmaktadır. Sonra kelimelerin geçişleri bulunarak farklı bir kelime olduğu algılanmaktadır. Sonuç olarak kelimelerin tanınması bittiğinde anlamlı veya anlamsız olabilmektedir. Elde edilen ifade kullanılacak alana göre ayrıca geliştiricinin yazmış olduğu program ile de analiz edilmesi gerekmektedir. Örneğin; Tesseract yapısı kullanıldıktan sonra kartvizit üzerindeki isim, şirket, telefon, e-posta gibi bilgilerin tanıma için ayrıca parçalama fonksiyonları kullanılması gerekmektedir.



Şekil 1. *Tesseract Çalışma Yapısı (Mithe ve ark.,2013)*

2.2. Satır Bulma İşlemi

Tesseract mimarisinde; satır ayırma/bulma işlemi temel işlemlerden biridir. Eşikleme işleminden geçen görüntü içinde yatay eksenli (Eğri de olması mümkündür) genelde 4 doğru(çizgiyle) oluşturularak satır tespiti yapılmaktadır(Şekil 2). Bu çizgiler taban çizgisi, iniş çizgisi, ortalama çizgisi ve çıkış çizgisi olarak belirtilmektedir. Alttaki gri çizgi, p, g veya q gibi harflerin alt sınırlarını belirtmektedir. Kırmızı çizgi ise harflerin taban, yani satır alt sınırını göstermektedir. Mavi çizgi ise ortalama üst sınırı göstermektedir. Üstteki gri çizgi ise b, d, f, h, k, l ve t gibi harflerin üst sınırını göstermektedir. Ortalama çizgisini üstündeki karakter bölümleri "Çıkış", taban çizgisinin altındaki karakter bölümleri ise "İniş" olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Kelimelerin Satır Tespiti

2.3. Karakter Ayırma İşlemi

Satır bulma işleminden sonra sabit aralıklı ölçümlemeye göre harflerin tespiti yapılabilir. Bu işlemde karakterin font ölçüsü sabit olduğundan satır boyunca sabit ölçülerle adım adım ilerleme gerçekleştirilir ve harf ayırımı yapılabilir(Şekil 3). Bundan sonraki aşamada ayrılan her parametre, karakter havuzundaki karakterler ile mantıksal kıyaslama yapılır ve en yakın karaktere dönüştürülür.



Şekil 3. Karakter ayırma işlemi

Şekilden ayrılan her bir karakter kıyaslandığında tanınan kelimenin "mountain" olduğu görülmektedir.

3. Otsu Eşik Belirleme

Görüntü bölümlendirme(segmentation), görüntü işlemede en temel ve önemli bir parçasıdır. Bilgisayarlı görü, görüntü bölümleme, bir görüntüyü anlamlı bölgelere veya nesnelere bölme işlemidir. Tesseract'de görüntü işleme algoritmalarını kullanmaktadır. Görüntüde karakter bölümünün arka plandan ayrılması için genelde üç farklı yöntem kullanılmaktadır.

3.1. Arkaplan- Karakter Ayırma Yöntemleri

Kenar tabanlı bölümlendirme, yoğunlukta hızlı geçişi olan, kapalı nesne sınırları oluşturmak üzere çıkartılan ve bağlanan farklı bölgeler arasındaki kenarları veya pikselleri tespit ederek görüntü bölümlere ayrılmaktadır. İşlem sonucunda ikili formatta(siyah-beyaz bir görüntü elde edilir(Vala ve ark., 2013).

Bölge temelli bölümlendirme, bir görüntüyü önceden tanımlanmış bir dizi kritere göre benzer bölgelere ayırır. Bölgeye dayalı bölümlendirme, bir görüntünün bağlı piksellerin benzer alanlarına bölümlenmesidir. Bir bölgedeki piksellerin her biri, renk, yoğunluk ve doku gibi bazı karakteristik hesaplanan özellikleri vardır(Vala ve ark., 2013).

Eşikleme, bölgeyi büyütme ve bölgeyi bölme ve birleştirme gibi farklı bölge tabanlı yöntem türleri vardır. Eşikleme, görüntü bölümleme uygulamalarında önemli bir tekniktir. Temelde eşikleme, görüntüdeki ilgilenilen nesneleri arka plandan gri seviye dağılımına göre ayırmak için en uygun gri seviye eşik değerini seçmektir(Vala ve ark., 2013).

Tesseract kütüphanesiyle, Android tabanlı ve yerelde de çalışan mobil uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir (Chakraborty ve ark., 2013). Tesseract kütüphanesi de bir eşikleme yöntemini kullanmaktadır. En uygun eşik değerini seçmek için dinamik olarak çalışan Otsu eşik belirleme yöntemi kullanılmaktadır.

3.2. Otsu Eşikleme Yöntemi Çalışma Yapısı

1979 yılında Japon bilim adamı Nobuyuki Otsu tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde gri seviye görüntüler üzerinde çalışılarak bir değerin kullanım sıklığını tespit edilir. Sonuçta gri seviyedeki bir görüntünün ikili seviyeye dönüştürmede kullanılacak, en uygun eşik değerinin saptanmasını amaçlanmaktadır(All Answers Ltd,2020). Otsu eşikleme yaygın kullanılan klasik bir görüntü bölütleme yöntemidir. Günümüzde Otsu eşikleme yönteminde iki boyutlu histogram değerlerini kullanan algoritması tercih edilmektedir(Zhu ve ark., 2009).

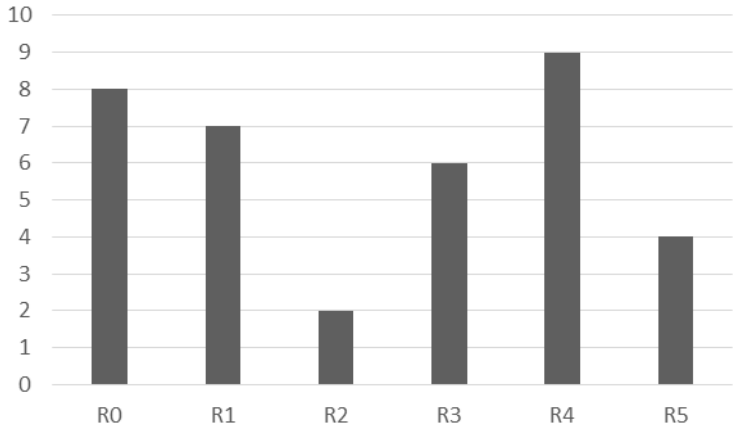
Bu yöntemde, ilk olarak renklerin görüntü üzerindeki sayısına bakılmaktadır. Bu işlem görüntünün histogramı oluşturularak gerçekleştirilmektedir. Histogram üzerinden ağırlık(weight), ortalama(-mean) ve varyans değerleri hesaplanmaktadır. En optimum eşik değerinin bulunması için eşiklemenin öncesi ve sonrasında hesaplanan değerler ile sınıf içi global varyans veya sınıflar arası global varyans değerleri elde edilir.

Ağırlık(Weight), Seçilen histogram elemanına kadar veya sonrası olan elemanların piksel sayıları toplamının, toplam piksel sayısına bölünmesiyle hesaplanır. Mean değeri W sembolü ile gösterilmektedir.

Ortalama(Mean), Seçilen histogram elemanından önceki veya sonraki her eleman için histogram elemanı, histogram elemanının değeri toplamları, seçilen histogram elemanına bölünür. Mean değeri μ sembolü ile gösterilmektedir.

Varyans, Seçilen histogram elemanından önceki veya sonraki her eleman için histogram elemanı, mean ve histogram elemanının değeri çarpımları, seçilen histogram elemanına bölünerek hesaplanır. Varyans değeri σ sembolü ile gösterilmektedir.

Histogram, bir görüntü içinde piksel renk değerlerinden kaçar tane olduğunu gösterilmesidir. Şekil 4 üzerinde, örnek bir görüntünün histogram grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4. Örnek Görüntü Histogramı(The Lab Book Pages,2014)

Eşikleme öncesi (o), ağırlık, ortalama ve varyans değerleri;

$$W_o = \frac{8+7+2}{36} = 0.4722 \quad (1)$$

$$\mu_o = \frac{(0\ x\ 8)+(1\ x\ 7)+(2\ x2\ )}{17} = 0.6471 \quad (2)$$

$$\sigma_o^2 = \frac{((0-0.6471)^2\ x\ 8)+((1-0.6471)^2\ x\ 7)+((2-0.6471)^2\ x\ 2)}{17} = \frac{(0.4187\ x\ 8)+(0.1246\ x\ 7)+(1.8304\ x\ 2)}{17} = 0.4637 \quad (4)$$

Eşikleme sonrası (s), ağırlık, ortalama ve varyans değerleri;

$$W_s = \frac{6+9+4}{36} = 0.5278 \quad (5)$$

$$\mu_s = \frac{(3\ x\ 6)+(4\ x\ 9)+(5\ x\ 4)}{19} = 3.8947 \quad (6)$$

$$\sigma_s^2 = \frac{((3-3.8947)^2\ x\ 6)+((4-3.8947)^2\ x\ 9)+((5-3.8947)^2\ x\ 4)}{19} = \frac{(4.8033\ x\ 6)+(0.0997\ x\ 9)+(4.8864\ x\ 4)}{19} = 0.5152 \quad (7)$$

Sınıf içi global varyansı;

$$\sigma_W^2 = W_o\ x\ \sigma_o^2 + W_S\ x\ \sigma_S^2 = 0.4722\ x\ 0.4637 + 0.5278\ x\ 0.5152 = 0.4909 \quad (8)$$

Birinci yol her bir eşik değeri için bu işlemler yapılır ve sınıf içi global varyans değerinin en küçük olan eşik değeri, optimum değer olarak kabul edilmektedir. Çizelge 1'de yapılan işlemler ve sonuçları gösterilmektedir.

Sınıflar arası global varyans;

$$\sigma_B^2 = \sigma^2 - \sigma_w^2 = W_o(\mu_o - \mu)^2 + W_s(\mu_s - \mu)^2 \quad (9)$$

$$\rightarrow Eğer\ (\mu = W_o\mu_o + W_s\mu_s) \quad (10)$$

$$\sigma_B^2 = W_o W_s(\mu_o - \mu_s)^2 = 0.4722\ x\ 0.5278\ (0.6471 - 3.8947)^2 = 2.6287 \quad (11)$$

İkinci yol ise her bir eşik değeri için sınıflar arası global varyans değerinin en büyük olan eşik değeri, optimum değer olarak kabul edilmektedir. Bu yol biraz daha hızlı bir yol olarak kabul edilmektedir(The Lab Book Pages,2014).

Sonuç olarak, örnek görüntü için en iyi eşik değeri "3" değeri seçilmiştir ve sonraki işlemler bu değer üzerinden devam edilmektedir.

Çizelge 1. *Örnek Histograma Ait Sınıf İçi ve Sınıflar Arası Global Varyans Değerler(The Lab Book Pages,2014).*

T=0	T=1	T=2	T=3	T=4	T=5
$W_o = 0$	$W_o = 0.222$	$W_o = 0.4167$	$W_o = 0.4722$	$W_o = 0.6389$	$W_o = 0.8889$
$\mu_o = 0$	$\mu_o = 0$	$\mu_o = 0.4667$	$\mu_o = 0.6471$	$\mu_o = 1.2609$	$\mu_o = 2.0313$
$\sigma_o^2 = 0$	$\sigma_o^2 = 0$	$\sigma_o^2 = 0.2489$	$\sigma_o^2 = 0.4637$	$\sigma_o^2 = 1.4102$	$\sigma_o^2 = 2.5303$
$W_x = 1$	$W_x = 0.7778$	$W_x = 0.5833$	$W_x = 0.5278$	$W_x = 0.3622$	$W_x = 0.1111$
$\mu_x = 2.3611$	$\mu_x = 3.0357$	$\mu_x = 3.7143$	$\mu_x = 3.8947$	$\mu_x = 4.3077$	$\mu_x = 5.000$
$\sigma_x^2 = 3.1196$	$\sigma_x^2 = 1.9639$	$\sigma_x^2 = 0.7755$	$\sigma_x^2 = 0.5152$	$\sigma_x^2 = 0.2130$	$\sigma_x^2 = 0$
$\sigma_W^2 = 3.1196$	$\sigma_W^2 = 1.5268$	$\sigma_W^2 = 0.5561$	$\sigma_W^2 = 0.4909$	$\sigma_W^2 = 0.9779$	$\sigma_W^2 = 2.2491$
$\sigma_B^2 = 0$	$\sigma_B^2 = 1.5928$	$\sigma_B^2 = 2.5635$	$\sigma_B^2 = 2.6287$	$\sigma_B^2 = 2.1417$	$\sigma_B^2 = 0.8705$

3.3. Basit Global Eşik Belirleme Yöntemi

Görüntü bölümlendirmede yani görüntüyü bölgelere ayırmada en çok bilinen ve kullanılan, eşikleme ve kombinasyon önişlemleridir. Eşikleme işlemi, en basit ve en az hesaplama gerektiren işlemdir. Global eşikleme de görüntünün histgram değerlerine bağımlı olarak hesaplanır. Histogram görüntü içindeki gürültüden, karşıtlıktan, parlaklıktan ve gölgeden etkilenebilmektedir. Global eşik değeri seçimi görüntünün yerel özelliklerinin kullanılmasına yardımcı olmaktadır(All Answers Ltd,2020).

Basit, güçlü ve en sık kullanılan bölümleme algoritması eşikleme-temelli bölütlemedir. Eşikleme sonucu bir iki seviyeli görüntü

ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu görüntüde karmaşık girdiler ortadan kalktığından tanımlama ve sınıflama kolaylaşır. Global eşikleme yönteminde bütün görüntü için bir eşikleme değeri kullanılır. Ayrıca yerel eşikleme adıyla anılan başka bir yöntemde ise görüntünün her bölgesinde farklı eşik değerleri kullanılır. Bölge boyutları değişkenlik göstermektedir(Zhu ve ark.,2009). Global eşikleme gibi Otsu, Kapur ve Solihin algoritmalarında da görüntünün tüm piksel(histogram) değerleri dikkate alınarak eşikleme değeri hesaplanmaktadır(Leedham ve ark., 2002). Global eşikleme yöntemi kullanılarak, video görüntüsü içinden arka plan çıkarma işlemleri de yapılabilmektedir(Cheremkhin ve ark., 20019). Hologram görüntülerinin ikili biçime(siyah/beyaz) dönüştürülmesinde en çok Global eşikleme yöntemleri kullanılmaktadır(Shahbaz ve ark., 2015). El yazısı içeren görüntülerde global eşik değerleri, integral hesaplarıyla bulunabilmektedir(Jadwiga,2009).

Basit Global Eşikleme yönteminin basamakları (Chaubey,2016):

* Tahmini bir eşik değeri (T_0) seçilir.

* T_0 eşik değerine göre görüntü bölümlere ayrılır. T0'dan büyük piksel değerlerinin ortalaması alınır ve G_1 ile ifade edilir. T_0 'a eşit ve küçük değerlerin ortalaması alınır ve G_2 ile ifade edilir.

* G_1 ve G_2 değerlerinin de ortalaması alınır ve T_{new} eşik değeri hesaplanır.

* Son adımda T_0-T_{new} işlemi yapılır. Bu işlem sonucu, en küçük oluncaya kadar bütün histogram değerleri üzerinde işlem tekrarlanmaktadır.

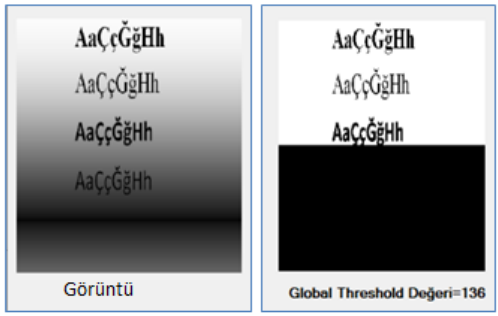
En küçük değer bulununca T_{new} değeri Global eşik değeri kabul edilmektedir.

Çizelge 2'de, daha önce şekil 4'de verilen örnek görüntünün histogram değerleri üzerinde, Global eşikleme yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. T_0-T_5 muhtemel eşik değerleri için hesaplama yapılarak en uygun eşik değeri bulunmuştur. Her bir eşik değeri için öncesindeki(küçük ve eşit) değerlerin ortalaması bulunmuş ve G_1 ile ifade edilmiştir. Sonra eşik değerinin sonrasındaki(büyük) değerlerin ortalaması bulunmuş ve G_2 ile ifade edilmiştir. Sonrasında her iki değerinde ortalaması hesaplanmış ve T_{new} ifade edilmiştir. En son olarak ise seçilen muhtemel eşik değerleri ile Tnew arasındaki fark bulunmuştur. Elde edilen değerlere göre, en küçük fark 0,2157 hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuca göre Global eşik değeri T_{new}=2,7843 olup tamsayı olarak 3 kabul edilmektedir.

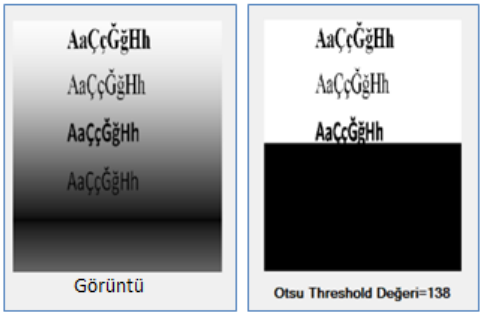
Çizelge 2. *Örnek Histogram değerleri üzerinde Global eşikleme kullanılarak eşik değerinin hesaplanması*

Eşik Değer	Histogram	Gri Değer	İşlem	G_1	G_2	$T_{new}=(G_1+G_2)/2$	Fark
T_0	8	0	0	0,0000	3,0357	1,5179	1,5179
T_1	7	1	7	0,4667	3,7143	2,0905	1,0905
T_2	2	2	4	0,6471	3,8947	2,2709	0,2709
T_3	6	3	18	1,2609	4,3077	2,7843	0,2157
T_4	9	4	36	2,0313	5,0000	3,5156	0,4844
T_5	4	5	20	2,3611	0,0000	1,1806	3,8194

Örnek bir metin içerikli görüntü üzerinde, Otsu ve Basit Global eşik yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar şekil 5 üzerinde gösterilmektedir. Şekil 5 a-) ve b-) de iki renkli bir arka plan içeren görüntü üzerinde iki yöntemde uygulanmıştır. Şekil 5. a-) da Global eşik değeri 136 bulunmuş ve şekil 5 b-) de ise Otsu eşik değeri 138 bulunmuştur. Eşik işlem sonuçlarına bakıldığında, metin alanının Basit Global eşik değeri kullanılmış uygulamada, daha fazla olduğu(alttaki bölüm) görülmektedir. Bu durum eşik değerleri arasındaki farklardan kaynaklanmaktadır.



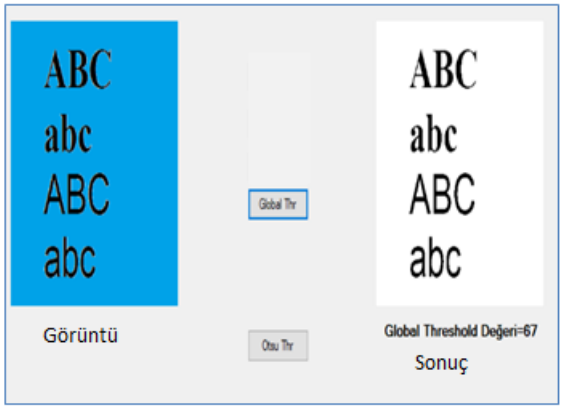
a-)



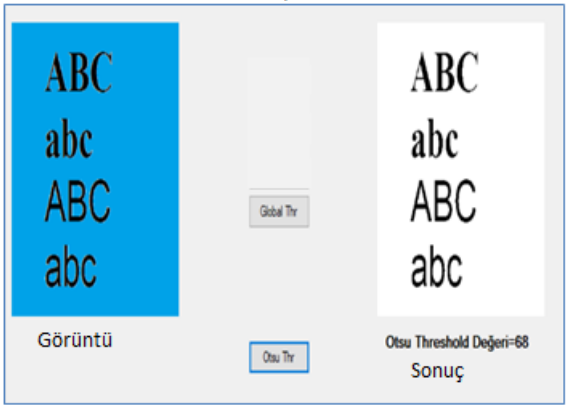
b-)

Şekil 5. *İki renkli(Gradient) arkaplanı olan görüntü üzerinde uygulama a-) Global eşiklemesi ve sonuç b-) Otsu eşiklemesi ve sonuç*

Şekil 6 üzerinden ise Global ve Otsu eşik belirleme uygulamasının ara yüzü görülmektedir. Uygulama Visual Studio ara yüzü ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar görsel olarak elde edilmiştir. Burada ise düz(mavi) bir arka plan üzerinde metin olan bir görüntü kullanılmış ve iki yöntemde test edilmiştir. Şekil 6 a-) üzerinde Global eşikleme kullanılmış ve eşik değeri 67 bulunmuştur. Şekil 6 b-) üzerinde ise Otsu eşikleme yöntemi kullanılmış ve Otsu eşik değeri 68 bulunmuştur.



a-)



b-)

Şekil 6. Düz renkli(Mavi) arkaplanı olan görüntü üzerinde uygulamanın form arayüzü a-)Global eşiklemesi ve sonuç b-)Otsu eşiklemesi ve sonuç

4. Sonuç

Bu çalışmada, optik karakter tanıma yöntemlerinden biri olan Tesseract kullanılmıştır. Litaratürde, Tesseract kütüphanesinin ve mimarisi anlatılmış fakat ilk ve önemli adım olan eşikleme basamakları hakkında çok az bilgi verilmiştir. Bu çalışmanın amacı Tesseract yapısını incelemek ve

kullandığı eşikleme yönteminin kıyaslamasını yapmaktır. Ayrıca görüntü işlemede yaygın kullanılan, Global eşikleme ve Otsu eşikleme yöntemleri kullanılmış ve metin içeren görüntüler üzerinde uygulamalar yapılarak kıyaslanmıştır. Yapılan uygulamalarda Global eşikleme işlemiyle daha küçük bir eşik değeri elde edilmektedir. Her eşikleme de bütün görüntü değerleri dikkate alınarak eşik değeri hesaplanmaktadır. Görüntü işleme adımlarının birleşimi olan kütüphane yapısı incelendiğin en önemli adımın, görüntünün iki seviyeli görüntüye dönüşümünde, dinamik bir eşik değeri kullanmasıdır. Her görüntü için farklı eşik değerinin hesaplanması sonuçların daha doğru elde edilmesini sağlanabilecektir.

Elde edilen değerler açık kaynak kodlu olan Tesseract kütüphanesinin kullandığı Otsu eşik belirleme yöntemi ve Global eşik belirleme yöntemleri çalışma prensibi olarak yakın olduğu görülmektedir. Örnek görüntü için eşik değerleri eşit hesaplanmıştır ancak test edilen diğer görüntülerde ise Global eşik değerlerinin Otsu eşik değerlerinden daha küçük çıktığı görülmüştür. Düz arka plana sahip görüntülerde aradaki fark daha yakın çıkarken, daha karmaşık arka plana sahip görüntülerde ise aradaki fark artmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara göre Global eşikleme kullanıldığında, beyaz renk oranı daha fazla siyah renk oranı daha az ikili görüntü elde edilmekte, Otsu eşikleme kullanıldığında ise tam tersi durum elde edilmektedir. Karakter yapısı düşünüldüğünde karakterlerin bir birinden ayrılmasında Otsu eşiklemenin daha doğru sonuç göstereceği beklenmektedir. Ancak bu durumu daha da iyileştirmek için, Tesseract kütüphanesi kullanımı öncesinde, ek olarak, görüntü üzerinde farklı ön işlemlerin yapılmasının yararlı olacağı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Abera KA, Manahiloh KN, Nejad MM. (2017). The Effectiveness of Global Thresholding Techniques in Segmenting Two-Phase Porous Media. Construction and Building Materials, 142 (1):256-267.

All Answers Ltd. (2020). Global Thresholding Image Segmentation Techniques, https://ukdiss.com/examples/global-thresholding-image-segmentation-techniques.php
(Erişim Tarihi:15.03.2020).

Chakraborty P, Mallik A. (2013). An Open Source Tesseract Based Tool for Extracting Text from Images with Application in Braille Translation for The Visually Impaired. International Journal of Computer Applications,68(16):26-33.

Chaubey AK. (2016). Comparison of The Local and Global Thresholding Methods in Image Segmentation. World Journal of Research and Review (WJRR), 2(1): 01-04.

Cheremkhin PA, Kurbatova EA. (2019). Comparative Appraisal of Global

and Local Thresholding Methods for Binarisation of Off-Axis Digital Holograms. Optics and Lasers in Engineering,115(4):119-130.

Jadwiga R. (2009). Handbook of Medical Image Processing and Analysis (Second Edition), Handbook of Medical Image Processing and Analysis (Second Edition). Maryland, Academic Press.

Karasu K, Bağtan M. (2018). Turkish OCR on Mobile and Scanned Document Images. 23nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 16-19 Mayıs 2015, Malatya,

Leedham G, Varma S, Patankar A, Govindaraju V. (2002). Separating Text and Background in Degraded Document Images A Comparison of Global Thresholding Techniques for Multi-stage Thresholding. Proceedings Eighth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, 6-8 August 2002, Ontario.

Liu Y, Feinrich R, Srihari SN. (1993). An Object Attribute Thresholding Algorithm for Document Image Binarization. Proceedings of 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR '93),20-22 October 1993, Tsukuba Science City.

Mithe R, Indalkar S, Divekar N. (2013). Optical Character Recognition. International Iournal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 2(1): 72-75.

Patel C, Patel A, Patel D. (2012). Optical Character Recognition by Open Source OCR Tool Tesseract: A Case Study. International Journal of Computer Applications, 55(10): 50-56.

Senthilkumaran N, Vaithegi S. (2016). Image Segmentation by Using Thresholding Techniques for Medikal Images. Computer Science & Engineering: An International Journal (CSEIJ), 6(1):1-13.

Shahbaz A, Hariyono J, Jo KH. (2015). Evaluation of Background Subtraction Algorithms for Video Surveillance, 21st Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV'15), 28-30 January 2015, Mokpo.

Smith R. (2007). An Overview of The Tesseract OCR Engine. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), 23-26 September 2007, Parana.

The Lab Book Pages. (2014). Otsu Thresholding, http://www.labbookpages.co.uk/software/imgProc/otsuThreshold.html (Erişim Tarihi: 10.03.2020).

Vala HJ, Baxi A. (2013). A Review on Otsu Image Segmentation Algorithm. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), 2(2): 387-389.

Zhu N, Wang G, Yang G, Dai W. (2009). A Fast 2D Otsu Thresholding Algorithm Based on Improved Histogram. Chinese Conference on Pattern Recognition, 4-6 November 2009, Nanjing.



Bölüm 2

PİŞİRİLMİŞ ET VE ET ÜRÜNLERİNDE POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBONLARIN OLUŞUMU VE ENGELLEME YOLLARI

Emel ÖZ [1]

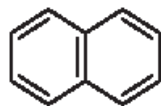
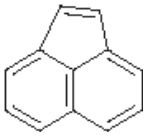
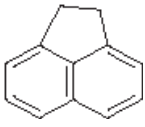
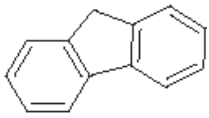
1 Arş. Gör. Dr., Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, emel.oz@atauni.edu.tr

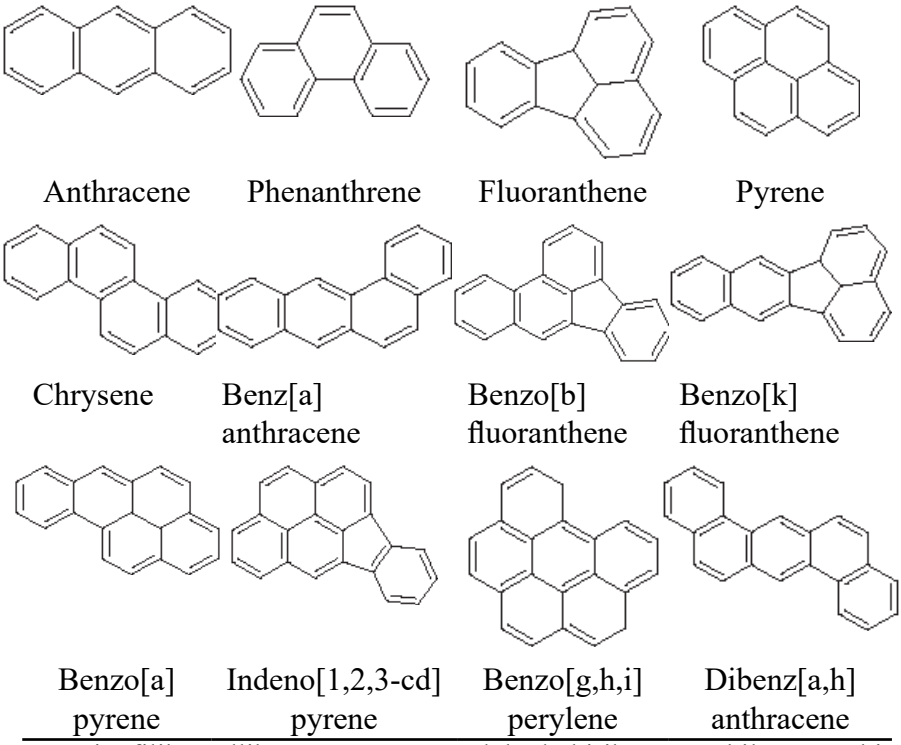
Giriş

Et ve et ürünleri, yüksek miktar ve kalitede protein içermesi, çinko ve demir gibi mineraller ile B grubu vitaminlerin temel kaynağı olması nedeniyle yeterli ve dengeli beslenmede önemli yere sahip olan ekonomik değeri yüksek gıda maddeleridir (Ledesma et al., 2016). Dünyada et ve et ürünleri tüketimine olan talep gün geçtikçe artmakta ve 2030 yılında kişi başına düşen et tüketiminin 45,3 kg'a ulaşacağı ön görülmektedir (FAO, 2003; Singh et al., 2020). Bununla birlikte ürün yelpazesini genişletmek, ürünün raf ömrünü artırmak, tat ve lezzet kazandırmak gibi amaçlarla ete uygulanan bazı işleme prosesleri ile termal işlemler neticesinde, nitrozaminler, biyojen aminler, heterosiklik aromatik aminler ve polisiklik aromatik hidrokarbarbonlar gibi sağlık açısından risk teşkil eden bazı komponentler oluşabilmektedir (Olmedilla-Alonso et al., 2013). Bu bileşiklerle kontamine olmuş gıdaların tüketim miktarı ile kanser riski arasında kuvvetli bir bağ olduğu düşünüldüğünde, et ve et ürünlerinde sağlık riski oluşturan bileşenlerin oluşum yollarını kavramak ve etin bu bileşenlerle kontaminasyonunu azaltma ve/veya engelleme yollarını araştırmak oldukça önem arz etmektedir.

En yaygın çevresel kirleticiler olarak bilinen polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) veya poliarenler, iki veya daha fazla kaynaşmış benzen halkası içeren organik bileşiklerdir (Sun et al., 2019). Bu bileşikler, organik materyalin tam yanmaması veya pirolizi yoluyla oluşmaktadır (Purcaro et al., 2013). PAH'ların hücresel membranın işleyişine ve enzim sistemlerine müdahale etme yeteneği olduğu (Bogdanovic et al., 2019) ve hatta DNA'ya bağlanmak suretiyle karsinojen süreci başlatan mutasyonlara neden olduğu bildirilmiştir (Storelli et al., 2003). Günümüze dek yaklaşık 660 PAH bileşiği identifiye edilmiş, ancak bu bileşiklerden sadece 16 tanesi Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından öncelikli kontaminant olarak seçilmiştir. Tablo 1'de öncelikli kontaminant olarak seçilen PAH bileşikleri verilmiştir. Belirlenen 16 kontaminant arasında benzo(a)piren (BaP) Grup 1 (bilinen insan karsinojeni), diğerleri ise Grup 2A veya 2B (muhtemel ve mümkün karsinojenler) olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2010).

Tablo 1. *IARC ve EPA tarafından öncelikli kontaminant olarak seçilen 16 PAH bileşiği (Öz, 2020a)*

			
Naphthalene	Acenaphthylene	Acenaphthene	Fluorene



Lipofilik özellik gösteren ve yağ dokuda birikme yapabilen PAH bileşikleri sahip oldukları benzen halka sayısına bağlı olarak hafif ve ağır PAH'lar olmak üzere 2 sınıfa ayrılmaktadır. Buna göre 2 – 4 aromatik halka ihtiva edenler hafif, 4'den fazla halka içerenler ise ağır PAH'lar olarak adlandırılmaktadır (Oz, 2020a). Ağır PAH'ların hafif PAH'lara kıyasla daha stabil ve toksik olduğu bilinmektedir (Purcaro et al., 2013).

Teratojenik, hematolojik ve immünotoksik etkileri olan bu bileşiklerin, gıdalarda bulunabileceği maksimum miktarları yasal limitler ile sınırlandırılmıştır. Bu bağlamda PAH riskinin değerlendirilmesinde Benzo[a]pyrene (BaP) ve ∑PAH4 [Benzo[a]pyrene (BaP), Benz[a]anthracene (BaA), Chrysene (Chry) ve Benzo[b]fluoranthene (BbF)] miktarları kullanılmaktadır (EFSA, 2008). Pişirilmiş et ve et ürünlerinde BaP ve ∑PAH4 değerlerinin sırasıyla 5 µg/kg ve 30 µg/kg seviyesinin altında olması gerekmektedir (Commission Regulation (EU), 2011).

PAH'lar sebze, meyve, tahıl gibi pek çok gıda kategorisinde bulunmaktadır. Bununla birlikte pişirilmiş et ürünlerinde yüksek PAH seviyeleri tespit edilmesi ve tüketim alışkanlıklarına göre riskin artması nedeniyle PAH kontaminasyonu açısından gıda kategorileri arasında et ve et ürünlerin önemi büyüktür (Martorell et al., 2010). Özellikle tütsüleme, ızgara, mangal, kızartma, kavurma gibi termal prosesler, yüksek sıcaklık, yağ pirolizi ve yoğun duman oluşumu gibi sebeplerden ötürü çok yüksek seviye-

lerde PAH oluşumuna neden olabilmektedir (Singh et al., 2020).

Et ve et ürünlerine yönelik artan tüketici talebi ve bu gıda kategorilerinde bildirilen yüksek PAH seviyeleri dikkate alındığında, et ve et ürünlerinde oluşan PAH miktarının azaltılması ve/veya engellenmesine yönelik araştırmaların gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda pişirilmiş et ürünlerinde PAH oluşumunu etkileyen faktörler üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmış ve pişmiş et ürünlerinde bu gıda kontaminantlarının azaltılması hedeflenmiştir. Mevcut bu derlemede pişirilmiş et ve et ürünlerinde PAH oluşumu ve engelleme yolları ile ilgili araştırma bilgileri derlenmiştir.

2. Pişirme yöntemi

Hemen hemen tüm pişirme prosedürlerinin çeşitli gıda ürünlerinde toksik bileşen oluşturma riski bulunmaktadır. Diğer bir deyişle gıdalarda PAH oluşumu ve pişirme metodolojileri arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Bununla birlikte kurutma, tütsüleme, ızgara, mangal, kızartma ve fırınlama gibi termal proseslerin PAH oluşumuna önemli ölçüde katkı sağladığı (Ledesma et al., 2014; Oz, 2020b), buharda pişirme gibi bazı hafif işleme koşullarının ise et ve et ürünlerinde daha düşük seviyelerde PAH oluşturduğu bildirilmiştir (Perello et al., 2009).

Sığır etinde PAH oluşumu üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkilerinin incelendiği bir araştırmada, gıdalarda oluşan PAH miktarının tahmininde indikatör olarak kullanılan BaP ve ∑PAH4 içeriğinin, tavada kızartılmış örneklerde mangalda pişirilmiş örneklere kıyasla daha düşük düzeyde olduğu bildirilmiştir (Büyükkurt et al., 2017). Chung et al. (2011), sığır ve domuz etlerinin pişirilmesinde ızgara ve kavurma yöntemi kullanımının PAH oluşumu üzerine etkisini inceledikleri araştırmalarında, her iki pişirme yönteminin de etlerde PAH oluşumuna neden olduğunu, ancak odun kömüründe ızgara edilen etlerin en yüksek BaP ve ∑PAH4 içeriğine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, bu durumun ızgara sırasında odun kömürü üzerine damlayan et yağlarının pirolizi ile ilgili olabileceğini bildirmişlerdir. Tütsüleme, ızgara ve haşlama işlemlerinin farklı et ürünlerinde PAH oluşumu üzerine etkisinin incelendiği bir diğer araştırmada, en yüksek BaP içeriğinin tütsüleme yapılan örneklerde, en düşük BaP içeriğinin ise haşlanmış örneklerde tespit edildiği bildirilmiştir (Olatunji et al., 2014). Perello et al. (2009) çeşitli et örneklerinde PAH oluşumu üzerine ızgara, kızartma, kavurma ve haşlamayı içeren farklı pişirme tekniklerinin etkisini inceledikleri araştırmalarında, en yüksek ∑PAH16 miktarının kavrulmuş örneklere ait olduğunu tespit etmişlerdir. Kazerouni et al. (2001) ise farklı tekniklerle pişirilmiş et örneklerinde BaP seviyesini inceledikleri araştırmalarında, en yüksek BaP içeriğinin (yaklaşık 4 ng/g pişmiş et) mangalda çok iyi derecede pişirilmiş biftek ve hamburgerler ile yine mangalda iyi derecede pişirilmiş derili tavuk etine ait olduğunu tespit

etmişlerdir. Araştırmacılar PAH bileşiklerin çoğunlukla et yüzeyinde oluştuğunu ve bu nedenle etlerin doğrudan dumana maruz kalmadığı pişirme yöntemlerinde önemli düzeyde PAH oluşmadığını da bildirmişlerdir.

Et ve et ürünlerinde oluşan PAH miktarı üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisinin incelendiği araştırmalar sonucunda, genel olarak ızgara, tütsüleme ve kavurma yöntemleri ile pişirilen et ve ürünlerinin yüksek PAH içeriği nedeniyle diğer pişirme yöntemleriyle hazırlanan et ürünlerine kıyasla daha yüksek sağlık riski taşıdığı bildirilmiştir (Chung et al., 2011).

3. Sıcaklık, süre ve mesafe

Ete uygulanan ısının şiddeti ve süresi ile gıda – ısı kaynağı arasındaki mesafe, PAH oluşumunu etkileyen diğer önemli faktörlerdir. Isıl işlem uygulaması esnasında degrade olan et lipitleri, PAH'ların oluşumuna ve gıda yüzeyine yapışmasına neden olan hidroperoksit veya siklohegzan bileşiklerine ayrışmaktadır (Haritash and Kaushik, 2009). Isıl işlem esnasında uygulanan süre ve sıcaklık parametreleri üzerine yürütülen çalışmalar, genel olarak termal proses sıcaklığı ve süresinin artışına paralel olarak ette oluşan PAH bileşiklerinin arttığı yönündedir. Bu durum muhtemelen yüksek pişirme süresi ve sıcaklığının et yüzeyinden daha fazla yağ kaybına neden olması sonucu ısı kaynağının daha fazla PAH üretmesi ile ilgilidir (Kao et al., 2012).

Kömür ızgarada pişirilmiş domuz etinin PAH içeriği üzerine pişirme süresinin etkisinin belirlendiği bir araştırmada 2, 3 ve 4 dakika süreyle pişirilmiş örneklerin BaP içerikleri sırasıyla 2,4 µg/kg, 4,5 µg/kg ve 10,2 µg/kg olarak tespit edilmiş, pişirme süresi ile BaP içeriğinin arttığı ve 4 dakika süreyle pişirme işlemi sonucu oluşan BaP seviyesinin, Avrupa Komisyonu tarafından belirtilen yasal sınıra ulaştığı rapor edilmiştir (Pan and Cao, 2010). Yine, ızgara ördek etinde oluşan karsinojenik PAH seviyesi üzerine proses süresinin etkisinin incelendiği bir diğer araştırmada, pişirme süresindeki artışın oluşan PAH miktarını etkilediği ve ızgara süresinin 30 dakikadan 90 dakikaya çıkarılmasıyla karsinojenik PAH seviyesinin 10,2 ppb'den 16,0 ppb'ye ulaştığı tespit edilmiştir (Chen and Lin, 1997).

Malezya'ya özgü geleneksel bir sığır et ürünün PAH seviyesinin incelendiği bir çalışmada ise, 150ºC, 200ºC, 250ºC, 300ºC ve 350ºC olmak üzere 5 farklı sıcaklık derecesinde pişirme işlemi yapılmıştır. Araştırma sonucunda en düşük ∑PAH15 seviyesinin 150ºC'de ızgara edilen örneklerde tespit edildiği ve sıcaklık artışı ile bağlantılı olarak ∑PAH15 seviyesinde artış gözlendiği rapor edilmiştir (Ahmad Kamal et al., 2018). Yüksek sıcaklık uygulamasında, amino asit ve protein gibi nitrojen içeren organik bileşiklerin pirolizi nedeniyle PAH oluşumunun arttığı bildirilmiştir (Szterk, 2015). Pişirme süresinin çeşitli et ürünlerinde oluşan PAH seviyesi

üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, iyi ve çok iyi derecede pişmiş örneklerin BaP seviyesinin, orta derecede pişmiş örneklerden daha yüksek olduğu ve bu durumun iyi pişmiş etlerin daha uzun süre ısı kaynağı ve duman ile temas halinde olması ile ilgili olduğu rapor edilmiştir (Kazerouni et al., 2001). Çeşitli ızgara et örneklerinde gerçekleşen PAH oluşumu üzerine ızgara sıcaklığı ve süresinin etkisinin incelendiği bir çalışmada, kuzu bifteğinde BaP oluşumunun önlenmesi için 77ºC'de 6 dakikalık bir ızgara işleminin uygulanması gerektiği rapor edilmiştir (Kao et al., 2014).

Et ürünlerinde tütsüleme süresinin PAH oluşumu üzerine etkisinin incelendiği bir araştırmada 5 saatten az ve çok olmak üzere iki farklı tütsüleme süresi belirlenmiş ve tütsüleme süresi yüksek olan et örneklerinde hem BaP hem de ∑PAH4 miktarlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Hokkanen et al., 2018).

PAH oluşumu üzerine etki eden diğer bir faktör yukarıda belirtildiği üzere gıda ile ısı kaynağı arasında olan mesafedir. Bu bağlamda yürütülen araştırmalar neticesinde, genel olarak gıda – ısı kaynağı mesafesi ile ette oluşan PAH miktarı arasında negatif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum muhtemelen kısa mesafede sıcak ve yoğun ısıyla daha hızlı temas eden örnekte PAH oluşum hızının teşviki ve penetrasyon oranının artışı ile ilgilidir. Roseiro et al. (2011), sosislerde tütsüleme mesafesinin PAH oluşumu üzerine etkisini incelemiş, mesafe arttıkça sosis yüzeyine penetre olan PAH miktarının azaldığı ve maksimum 3 mm derinliğe kadar PAH bileşiklerine rastlandığını, yakın mesafede tütsülenen örneklerde ise neredeyse merkez noktaya kadar dengeli bir PAH penetrasyonunun söz konusu olduğunu bildirmiştir. Bir başka araştırmada ise ısı kaynağından 9 cm uzaklıkta pişirilen dana burgerlerin ∑PAH4 miktarının, ısı kaynağına 4 cm mesafede pişirilen örneklerin ∑PAH4 içeriğinin %75'i kadar olduğu tespit edilmiştir (Rose et al., 2015).

4. Isı kaynağı ve yakıt türü

Termal proseste kullanılan yakıtın yanması esnasında hidrojenin açığa çıkması ile birlikte asetilenin eklenme mekanizması (HACA) sayesinde PAH oluşumu gerçekleşmektedir. Bununla birlikte oluşan PAH seviyesi, kullanılan yakıt türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Sun et al., 2019). Kodeks Alimentarius Komisyonu'nun 2009 yılında yayınladığı raporda, reçineli veya çeşitli amaçlarla kimyasal işlem görmüş odunların, atık veya dizel yağların çeşitli pişirme proseslerinde yakıt olarak kullanılmaması önerilmiştir (CAC, 2009). Yakıt türünün ızgara edilmiş somon balığının PAH seviyesine etkisinin incelendiği bir araştırmada, hindistancevizi kömürü ile pişirilen balıklarda, odun kömürü ile pişirilen örneklere kıyasla daha az PAH oluştuğu ve bu durumun bu kömür tipinin alevsiz ve dumansız özellikte olması nedeniyle damlayan yağı duman oluşturmak-

sızın absorbe etme özelliği ile ilgili olabileceği bildirilmiştir (Viegas et al., 2012). Kömür ve elektrik ızgara kullanılarak pişirilen tavuk etlerinin PAH seviyelerinin incelendiği bir araştırmada, kömür ızgara ile pişirilen tavuk etlerinin ortalama ∑PAH16 seviyesinin 1,6 µg/kg, elektrik ızgara ile pişirilen tavuk örneklerinin ∑PAH16 miktarının ise 0,038 µg/kg olduğu belirlenmiş ve ızgara pişirme yönteminde PAH oluşumunu azaltmak için elektrik ızgara kullanımı önerilmiştir (Hamzawy et al., 2016). Türk döner kebabının PAH seviyesi üzerine yakıt tipinin etkisinin incelendiği bir diğer araştırmada ise, kömür ve gaz ızgarada pişirilen döner kebapların BaP içeriğinin sırasıyla 24,2 µg/kg ve 5,7 µg/kg olduğu tespit edilmiş ve gaz ızgaranın daha az BaP oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir (Terzi et al., 2008). Frankfurter tipi sosislerin tütsülenmesinde, farklı odun talaşı kullanımının PAH oluşumu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kavak ve ceviz odun talaşları ile tütsülenmiş sosislerin BaP, ∑PAH4 ve ∑PAH16 içeriklerinin, kayın odun talaşı ile tütsülenen sosis örneklerine göre % 35-40 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Hitzel et al., 2013). Stumpe-Viksna et al. (2008) ise tütsülenmiş et ürünlerinde PAH oluşumu üzerine talaş çeşidinin etkisini inceledikleri araştırmalarında, en düşük PAH seviyesini elma ağacı ve kızılağaç odun talaşları ile tütsülenen et örneklerinde, en yüksek PAH seviyesini ise ladin odun talaşı ile tütsülenen et örneklerinde tespit etmişlerdir. Araştırmacılar talaş çeşidinin tütsüleme işleminde kontrol edilmesi gereken kritik bir parametre olduğunu ve yumuşak odun talaşlarının muhtemelen içerdikleri yüksek reçine içeriği nedeniyle sert odun talaşlarına kıyasla daha yüksek seviyede PAH oluşumuna neden olduklarını bildirmişlerdir. Tütsülenmiş-pişirilmiş sosis üretiminde nim ve kayın odun talaşı kullanımının PAH miktarı üzerine etkisinin değerlendirildiği bir başka araştırmada, nim ve kayın odun talaşı ile 65ºC'de 45 dakika süreyle tütsülenmiş örneklerin ∑PAH4 miktarları sırasıyla 1,06 µg/kg ve 1,54 µg/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca sonuçların tütsülenmiş et ürünleri üretiminde nim talaşlarının ticari kayın talaşına düşük maliyetli bir alternatif oluşturabileceği bildirilmiştir (Malarut and Vagnai, 2018). Tütsülenmiş balıkta duman üretim kaynağının PAH kontaminasyonu üzerine etkisinin irdelendiği bir çalışmada, mangrov, akasya ve şeker kamışı küspesi olmak üzere üç farklı duman üretim kaynağı kullanılmıştır. Akasya ve mangrov ile tütsülenen balık örneklerinin yüksek seviyede PAH içermesi nedeniyle sağlık riski taşıdığı, şeker kamışı küspesinin ise güvenli bir duman üretim kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır (Essumang et al., 2013).

5. Direkt ve indirekt ısı uygulaması

Et ve et ürünlerinin pişirilmesi esnasında oluşan PAH seviyesine etki eden faktörlerden bir diğeri; pişirme prosesinin direkt veya indirekt yöntemle uygulanmasıdır. Direkt yöntem, et veya et ürününün kullanılan ter-

mal ajan ile doğrudan temasını sağlarken, indirekt yöntemde termal ajan pişirilen ürünü doğrudan temas yoluyla etkilememektedir. Yapılan pek çok araştırma ısı kaynağına doğrudan (direkt) temasın diğer pek çok faktörle birlikte, PAH oluşumunu artırdığını ve gıdanın adsorbsiyon ve absorbsiyon yoluyla PAH bileşiklerini bünyelerinde tuttuğunu doğrulamaktadır (Singh et al., 2016). Bu bağlamda yürütülen bir araştırmada, indirekt bir pişirme tekniği olan elektrikli fırın ızgarası ile direkt pişirme tekniği olarak kabul edilen kömür ızgara yöntemi ile pişirilen sığır etlerinin ∑PAH16 içerikleri karşılaştırılmış ve bu değerlerin sırasıyla 2,01 µg/kg ile 17,88 µg/kg olduğu tespit edilmiştir. Pişirme yöntemleri arasında görülen farklılıkların direkt ve indirekt pişirme tekniği ile ilgili olduğu ve elektrikli fırın ızgarasının daha düşük seviyede PAH oluşturması nedeniyle daha iyi bir pişirme tekniği olduğu bildirilmiştir (Onyango et al., 2012). Yine, El-badry (2010), ev tipi gazlı ızgarada doğrudan ve dolaylı pişirme tekniklerinin tavuk etinin PAH miktarı üzerine etkisini incelediği bir araştırmada, gaz alevi ile doğrudan temasın tavukta PAH oluşumunu teşvik ettiğini ve bu nedenle tavuk etinin doğrudan gazlı ızgara pişirme tekniği ile pişirilmesinden kaçınılması gerektiğini rapor etmiştir. Wretling et al. (2010), çeşitli et ve balık örneklerinin yanan bir ateşten kaynaklanan sıcak dumana doğrudan maruz bırakıldığı geleneksel "sauna" yöntemi ile tütsülenmesi neticesinde oluşan BaP ve ∑PAH15 miktarının, harici bir duman jeneratörü kullanılarak indirekt teknikle tütsülenen örneklerden ve yasal limitlerden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Akpambang et al. (2009) ise, tütsü dumanının etin işlendiği odada üretildiği bir teknik olan direkt tütsüleme yöntemi yerine, tütsü dumanının farklı bir alanda üretildiği ve et üzerine gönderilmeden önce istenilen sıcaklığa kadar soğutulmasına ve filtre edilebilmesine olanak tanıyan indirekt tütsüleme tekniği kullanımının tütsülenmiş et ürünlerinde PAH oluşumunu azaltmada oldukça etkin olduğunu bildirmiştir.

6. Etin yağ içeriği

Gıdalara uygulanan yüksek sıcaklıklar sırasında oluşan serbest radikaller, rekombinasyona uğrayarak hafif PAH'ları oluşturmaktadır. Bu oluşumu takiben gıdanın hidrofobik kısımlarına geçen ağır PAH'lar, nihayetinde yağ açısından zengin gıda bölümlerine tutunmaktadır (Singh et al., 2016). Bu bağlamda, et ve et ürünlerinde PAH oluşum seviyesi ve akümülasyonu, etin bileşiminde yer alan lipit seviyesine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Wegrzyn et al. (2006), yağlı dokularda PAH oluşumunun, ısı kaynağının termal işlem uygulanan et ile temas edebilmesiyle ilgili olduğunu ve yağ içeriğinin PAH bileşikleri açısından etin güvenliğini etkileyebilecek önemli bir parametre olduğunu bildirmişlerdir.

Özellikle ızgara ve mangalda pişirme yöntemleri uygulanan et ve et ürünlerinde, et yağının pirolizi veya aleve damlaması neticesinde et

yüzeyine geri taşınan PAH bileşikleri oluşabilmektedir (Zelinkova and Wenzl, 2015). Etin yağ içeriği bu tip pişirme yöntemlerinin kullanıldığı durumlarda oluşan PAH seviyesini etkileyen önemli bir faktördür. Izgara edilmiş çeşitli et örneklerinde PAH oluşumu üzerine yağ miktarının etkisinin incelendiği bir araştırmada, en yüksek yağ içeriğine sahip olan kuzu bifteğinin BaP içeriğinin sığır bifteği, domuz pirzolası ve jambonun BaP içeriğinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun yüksek yağ içeriğine sahip kuzu bifteğinde daha fazla lipit oksidasyon ve degradasyon ürünleri oluşumu ile ilgili olabileceği bildirilmiştir (Kao et al. 2014).

Pöhlmann et al. (2013) tütsülenmiş frankfurter tipi sosislerde PAH oluşumu üzerine yağ miktarının etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri araştırmalarında, farklı yağ (%10, 20, 30 ve 39) içeriğine sahip sosislerin ∑PAH4 miktarının, yağ miktarındaki artışa paralel olarak artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca tütsülenmiş frankfurter tipi sosislerde PAH oluşumunun, sosis formülasyonundaki yağ içeriğinin azaltılması ile düşürülebileceğini bildirmişlerdir.

Yağ miktarının yanı sıra yağ çeşidi de PAH oluşumuna etki edebilmektedir. Nitekim Chen and Chen (2001) soya fasulyesi yağı, kanola ve ayçiçek yağlarının ısıl işleme tabi tutulması neticesinde oluşan dumanın PAH seviyesini incelemişler ve en yüksek toplam PAH miktarının soya fasulyesi yağında, en düşük miktarın ise ayçiçek yağında olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bu sonucun soya fasulyesi yağının kanola ve ayçiçek yağlarına kıyasla yüksek seviyede linolenik asit içermesi ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde farklı yağ çeşidi (et yağı, koyun kuyruk yağı ve et yağı ile kuyruk yağı karışımı) kullanılarak mangalda pişirilmiş köftelerin PAH seviyesinin incelendiği bir araştırmada, en yüksek toplam PAH8 seviyesinin en yüksek linoleik asit içeriğine sahip olan kuyruk yağlı köftelerde olduğu tespit edilmiştir (Oz, 2020c).

7. Pişirme öncesi uygulanan ön işlemler

Pişirilmiş et ürünlerinde PAH oluşumunu azaltmak amacıyla kullanılan yöntemlerden bir diğeri; pişirme öncesi ön işlem uygulamalarıdır. Ohmik ısıtma, geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla kısa işlem süresi, yüksek verim ve besin değerinin korunması gibi avantajlara sahip olması nedeniyle son yıllarda yaygın olarak kullanılan tekniklerdendir. Bu teknik, elektrik direncine sahip bir gıda maddesinden elektrik akımının ge-

çirilmesi suretiyle ısıtma yapılması ilkesine dayanan termal bir prosestir (Yildiz-Turp et al., 2013). Ohmik ön ısıtmanın, yarı pişmiş köftelerin PAH seviyesi üzerine etkisinin belirlendiği bir çalışmada, yarı pişmiş köfte örneklerinin BaP içeriğinin 0,09 ppb olduğu, köftelerin PAH seviyelerinin kabul edilebilir limitler içinde olduğu ve bu nedenle ohmik pişirme yönteminin PAH oluşumu açısından güvenli olduğu rapor edilmiştir (Sengun et al. 2014). Kendirci et al. (2014), kızılötesi pişirme öncesi ohmik ön ısıtma uygulamasının, sığır köftelerinde PAH oluşumu üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri bir araştırmada, ön ısıtma ve kızılötesi pişirme kombinasyonu neticesinde oluşan BaP ve ∑PAH4 içeriklerinin, Avrupa komisyonunun belirlediği legal limitleri aşmadığını ve bu nedenle güvenli bir pişirme yöntemi olarak kabul edilebileceğini bildirmişlerdir. Ohmik ısıtma için kullanılan sıcaklık değerleri oldukça ılımlı olmasına rağmen (<100ºC), incelenen araştırmalarda legal limiti aşmayan seviyelerde PAH oluşabildiği de görülmektedir. Ohmik ısıtma neticesinde PAH oluşumunun, uygulama esnasında elektrotlar ile et numunelerinin doğrudan teması ile ilgili olabileceği bildirilmiştir (Yildiz-Turp et al., 2013). Ön ısıtma proseslerinin (buhar ve mikrodalga) ızgara tavuk ve sığır etinde oluşan PAH seviyeleri üzerine etkisinin belirlendiği diğer bir araştırmada, numuneler üzerine uygulanan ön ısıtma proseslerinin PAH seviyelerini kuvvetli bir şekilde etkilediği ve ön işlem uygulanan numunelerde BaP saptanamadığı bildirilmiştir. Ayrıca bu durumun ön ısıtma neticesinde piroliz hızının düşmesi ve duman bileşenlerinin et yüzeyine daha az penetre olması ile ilgili olabileceği belirtilmiştir. PAH maruziyetini azaltmak amacıyla ön ısıtma proseslerinin ev ve restoranlarda kullanımının yaygınlaştırılması önerilmiştir (Farhadian et al., 2011).

8. Marinasyon ve katkı maddesi uygulanması

Marinasyon, et ürünlerinin tekstür, renk ve lezzet gibi duyusal özelliklerini geliştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir teknik olmakla birlikte, yapılan araştırmalar bu tekniğin kullanılan marinasyon içeriğine bağlı olarak PAH oluşumunu olumlu veya olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Farhadian et al. (2012), ızgara sığır etinde marinasyon işleminin PAH (BaP, BbF ve Flt) oluşumu üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri bir çalışmada, bazik karakterli marinasyonun (45,19 – 56,09 µg/kg) marine edilmemiş kontrol grubu örneklerine (74,0 – 80,6 µg/kg) kıyasla toplam PAH içeriğini azalttığını, ancak bazik marinasyon içerisine 40 mL pişirme yağı eklenmesinin (98,9 – 109 µg/kg) toplam PAH içeriğini kontrol grubuna kıyasla artırdığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun yağ miktarının yüksek olmasıyla veya kullanılan yağın pişirme öncesi PAH'lar ile kontamine olması ile ilgili olabileceğini bildirmişlerdir. Nitekim, yağ ve yağlı bileşenlerin PAH'ların ana prekürsörleri

olduğunu (McGrath et al., 2007) ve pişirme yağlarının çeşitli hazırlama işlemleri esnasında PAH'lar ile kontamine olabildiğini (Camarga et al., 2011) gösteren araştırmalar literatürde mevcuttur. Izgara tavuklarda PAH oluşumu üzerine palm yağı ve ayçiçek yağı ile marinasyon işleminin etkisinin incelendiği diğer bir araştırmada, palm ve ayçiçek yağı ile marinasyon işleminin PAH oluşumunu artırdığı ve marine edilmemiş, palm yağı ile marine edilmiş ve ayçiçek yağı ile marine edilmiş örneklerin ∑PAH16 miktarının sırasıyla 190,1 µg/kg, 457,6 µg/kg ve 376,6 µg/kg olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar yağın PAH bileşenlerinin ana prekürsörü olmaları nedeniyle yemeklik yağ ile marine edilmiş örneklerin PAH seviyesinde artış gözlendiğini bildirmişlerdir (Wongmaneepratip and Vangnai, 2017).

Diğer taraftan marinasyon işleminin mangalda pişirilmiş sığır etinin PAH oluşumu üzerine etkisinin incelendiği bir başka çalışmada 0,5 – 2,0 ºBrix konsantrasyonda hazırlanan adaçayı ve kekik özleri kullanılmış ve bu marinatların mangalda pişirilmiş sığır etinde PAH oluşumunu azaltıcı etki gösterdiği rapor edilmiştir (Büyükkurt et al., 2017). Farklı bira çeşitleri ile marine edilmiş ve kömür ızgarada pişirilmiş domuz örneklerinde PAH seviyesinin belirlendiği bir çalışmada, bira ile marinasyon işleminin, kullanılan bira çeşidine bağlı olarak oluşan ∑PAH8 miktarını % 13-53 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, PAH içeriğinde en fazla düşüşün anti-radikal aktivitesi en yüksek olan koyu bira ile marine edilmiş örneklerde olduğu bildirilmiştir (Viegas et al., 2014).

Katkı maddesi olarak soğan ve sarımsak kullanımının tavada kızartılmış et örneklerinin PAH oluşumu üzerine etkisinin incelendiği bir araştırmada, soğan kullanımının (30/100 g et) toplam PAH içeriğinde % 60'lık azalmaya neden olduğu, sarımsak kullanımının (15/100 g et) ise toplam PAH içeriğini % 54 oranında düşürdüğü bildirilmiştir (Janoszka, 2011). Soğan ve sarımsak kullanılan örneklerde görülen PAH azalışının, soğan ve sarımsakta sülfidril gruplarına sahip bileşenler ile antioksidan aktiviteden sorumlu polifenollerin bulunması ile ilişkili olabileceği rapor edilmiştir (Bianchini and Vainio, 2001; Janoszka, 2011).

Çeşitli pişirme yöntemleri kullanılarak pişirilen tavuk etlerinde karsinojenik PAH oluşumu üzerine kimyon, kişniş, karabiber ve biberiye içeren baharat karışımı ile sarımsak kullanımının etkisinin incelendiği bir çalışmada, baharat karışımı, sarımsak ve baharat karışımı ile sarımsak kombinasyonunun, karsinojenik PAH miktarında belirgin bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca pişmiş tavukta oluşan PAH miktarının azaltılması için pişirme işleminden önce tavuk etinin belirtilen katkı maddeleri ile muamele edilmesi önerilmiştir (El-Badry, 2010).

9. Yenilikçi yaklaşımlar

PAH'lar ile ilgili sağlık endişelerini gidermek için etlerde oluşan PAH miktarını limitleyen, böylelikle tüketici maruziyetini azaltan yenilikçi teknolojilere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, PAH'ların partiküllere bağlanma özelliğinden yararlanılarak, partikülleri dumandan ayıran filtrelerin geliştirilmesi olasıdır (Zelinkova and Wenzl, 2015). Yürütülen bazı araştırmalarda zeolit uygulamasının PAH'ların azaltılmasında umut verici sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Radojicic et al. (2012), zeolit katalizör kullanımının sigara dumanındaki PAH'ları başarıyla azalttığını bildirmiştir. Yine tütsülenmiş gıdalarda PAH bileşenlerinin azaltılmasını sağlayan yeni bir teknoloji geliştirmek amacıyla yapılan bir araştırmada, zeolit ile karıştırılmış 12 bireysel PAH kullanılarak ön denemeler yapılmış ve zeolitin incelenen PAH'ları çözeltiden seçici bir şekilde ayırma potansiyeli gösterdiği sonucuna varılmıştır. Araştırmacılar tütsüleme işleminde tütsü lezzetini koruyan ancak, tütsü dumanında oluşan PAH konsantrasyonunu % 90'a kadar azaltan seçici bir filtre geliştirdiklerini rapor etmişlerdir (Parker et al., 2018).

10. Sonuç ve öneriler

Et ve et ürünleri, zengin besinsel içeriği nedeniyle diyetin önemli bir parçasıdır. Et ve et ürünlerinin hazırlanması esnasında uygulanan termal prosesler (kızartma, ızgara, mangal, tütsüleme vb.) polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi karsinojen özellikteki bileşiklerin oluşumuna katkıda bulunur. Organik materyalin tam yanmaması veya pirolizi yoluyla oluşan bu bileşiklerin, termal prosesler neticesinde oluşumu yüksek sıcaklık, yağ pirolizi ve duman oluşumu ile yakından ilişkilidir. Pişirme yöntemi, uygulanan sıcaklık süre kombinasyonları, ısı kaynağı ve yakıt türü, ısının uygulanma şekli, etin yağ içeriği, pişirme öncesi uygulanan işlemler gibi pek çok faktör pişirilmiş et ve et ürünlerinde oluşan PAH seviyesini etkilemektedir. Termal proses uygulanmış et ve et ürünlerinde kanser riski teşkil eden PAH bileşiklerinin oluşumunu azaltmak veya engellemek amacıyla, bu bileşiklerin oluşumuna etki eden faktörlerin detaylıca incelenmesi önem arz etmektedir. Mevcut derleme çalışmasında, bu bağlamda yapılan araştırmalar detaylı olarak incelenmiş ve pişirilmiş et ve et ürünlerinde PAH oluşumunun azaltılması veya engellenmesine yönelik aşağıdaki çıkarımlarda bulunulmuştur.

- Et ve et ürünlerinin pişirilmesinde uygun pişirme yöntemi seçilmelidir. Haşlama ve ohmik ısıtma gibi nispeten ılımlı sıcaklık uygulamaları tercih edilmelidir. Mümkün mertebe sıcak tütsüleme, ızgara ve mangalda pişirme yöntemlerinden kaçınılmalıdır.

- Izgara veya mangal yöntemi kullanılmak isteniyorsa, mümkün mertebe yağ içeriği az olan veya yağsız et kullanılmalıdır.

• Pişirme işleminde ısı kaynağı ile etin doğrudan teması engellenmelidir.

• Isı kaynağı olarak kömür yerine gaz tercih edilmeli, kömür kullanılmak isteniyorsa da dumansız ve alevsiz özellikte olmasına dikkat edilmelidir.

• Etin daha uzun süre daha düşük sıcaklıkta pişirilmesi esası benimsenmelidir.

• Et ve ısı kaynağı arasındaki mesafeye dikkat edilmelidir.

• Pişirme öncesi mümkünse ohmik ısıtma, buhar uygulaması veya mikrodalga gibi bazı ön ısıtma/pişirme proseslerinin uygulanması önerilebilir.

• Pişirme öncesi etlere marinasyon işlemi uygulanması önerilebilir. Ancak hazırlanan marinatın antioksidan aktivitesi yüksek bileşenlerden oluşması ve pişirme yağı içermemesi işlemin etkinliği açısından göz önünde bulundurulmalıdır.

• Yeni yaklaşımlar altında sözü edilen zeolit filtrelerin kullanım alanları belirlenmeli ve olanaklar ölçüsünde genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

Ahmad Kamal, N.H.A., Selamat, J. & Sanny, M. (2018). Simultaneous formation of Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heterocyclic aromatic amines (HCAs) in gasgrilled beef satay at different temperatures. *Food Additives & Contaminants Part A*, *35*(5), 848–869.

Akpambang, V.O.E., Purcaro, G., Lajide, L., Amoo, I.A., Conte, L.S. & Moret, S. (2009). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in commonly consumed Nigerian smoked/grilled fish and meat. *Food Additives and Contaminants*, *7*, 1096–1103.

Bianchini, F. & Vainio, H. (2001). Allium vegetables and organosulfur compounds: Do they help prevent cancer? *Environmental Health Perspectives*, *109*(9), 893–902.

Bogdanovic, T., Pleadin, J., Petricevic, S., Listes, E., Sokolic, D., Markovic, K., Ozogul, F. & Simat, V. (2019). The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish and meat products of Croatia and dietary exposure. *Journal of Food Composition and Analysis*, *75*, 49–60.

Büyükkurt, O.K., Dinçer, E.A., Çam, I.B., Candal, C. & Erbaş, M. (2017). The influence of cooking methods and some marinades on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in beef meat. *Polycyclic Aromatic Compounds*, *40*, 1-11.

CAC/RCP 68 (2009). Codex alimentarius commission (CAC). Code of

practice for the reduction of contamination of food with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from smoking and direct drying processes.

Camargo, M.C.R., Antoniolli, P.R., Vicente, E. & Tfouni, S.A.V. (2011). Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian commercial soybean oils and dietary exposure. *Food Additives and Contaminants Part B*, *4*(2), 152-159.

Chen, B. & Lin, Y. (1997). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during processing of duck meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*, 1394–403.

Chen, B.H. & Chen, Y.C. (2001). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the smoke from heated model lipids and food lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 5238−5243.

Chung, S., Yettella, R.R., Kim, J., Kwon, K., Kim, M. & Min, D.B. (2011). Effects of grilling and roasting on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and pork. *Food Chemistry*, *129*, 1420–1426.

El Badry, N. (2010). Effect of household cookingmethods and some food additives on polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) formation in chicken meat. *World Applied Sciences Journal, 9,* 963–974.

Essumang, D.K., Dodoo, D. K. & Adjei, J.K. (2013). Effect of smoke generation sources and smoke curing duration on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in different suites of fish. *Food and Chemical Toxicology*, *58*, 86–94.

European Commission, E. Commission Regulation (EU) (2011). No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs. Official Journal of the European Union, *215*, 1-5.

FAO (2003). Global and regional food consumption patterns and trends. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO technical report Series 916, report of a joint WHO/FAO expert consultation, world health organization. Geneva: Food and Agriculture Organization of The United Nations.

Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A. & Zaidul, I.S.M. (2012). Effects of marinating on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene and fluoranthene) in grilled beef meat. *Food Control*, *28* (2), 420–425.

Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H. & Zaidul, I. (2011). Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food Chemistry*, *124*, 141-146.

Hamzawy, A.H., Khorshid, M., Elmarsafy, A.M. & Souaya, E.R. (2016). Estimated daily intake and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbon by consumption of grilled meat and chicken in Egypt.

International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, *5*(2), 435–448.

Haritash, A. & Kaushik, C. (2009). Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs): Areview. *Journal of Hazardous Materials*, *169* (1–3), 1–15.

Hitzel, A., Pöhlmann, M., Schwagele, F., Speer, K. & Jira, W. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with different types of wood and smoking spices. *Food Chemistry*, *139*, 955-962.

Hokkanen, M., Luhtasela, U., Kostamo, P., Ritvanen, T., Peltonen, K. & Jestoi, M. (2018). Critical effects of smoking parameters on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked fish and meat products in Finland. *Journal of Chemistry*, *2018*, 1-14.

IARC (International Agency for Research on Cancer), (2010). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 92: 1.

Janoszka, B. (2011). HPLC-fluorescence analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pork meat and its gravy fried without additives and in the presence of onion and garlic. *Food Chemistry*, *126*, 1344–1353.

Kao, T.H., Chen, S., Chen, C.J., Huang, C.W. & Chen, B.H. (2012). Evaluation of analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons by the QuEChERS method and gas Chromatography−Mass spectrometry and their formation in poultry meat as affected by marinatingand frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*, 1380–1389.

Kao, T.H., Chen, S., Huang, C.W., Chen, C.J. & Chen, B.H. (2014). Occurrence and exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in kindling-free-charcoal grilled meat products in Taiwan. *Food and Chemical Toxicology*, *71*, 149–158.

Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C.H., Greenberg, A. & Rothman, N. (2001). Analysis of 200 food items for benzo [a] pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food and Chemical Toxicology*, *39* (5), 423–436.

Kendirci, P., Icier, F., Kor, G. & Onogur, T.A. (2014). Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs. *Meat Science*, *97*, 123–129.

Ledesma, E., Rendueles, M. & Diaz, M. (2014). Benzo (a) pyrene penetration on a smoked meat product during smoking time. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *31* (10), 1688-1698.

Ledesma, E., Rendueles, M. & Diaz, M. (2016). Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, *60*, 64-87.

Malarut, J.A., Vangnai, K. (2018). Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of smoked sausages. *Food Control*, *85*, 98-106.

Martorell, I., Perello, G., Martí-Cid, R., Castell, V., Llobet, J.M. & Domingo, J.L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods and estimated PAH intake by the population of Catalonia, Spain: temporal trend. *Environment International*, *36*, 424-432.

McGrath, T.E., Wooten, J.B., Chan, W.G. & Hajaligol, M.R. (2007). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from tobacco: the link between low temperature residual solid (char) and PAH formation. *Food and Chemical Toxicology*, *45*, 1039-1050.

Olatunji, O.S., Fatoki, O.S., Ximba, B.J. & Opeolu, B.O. (2014). Polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in edible oil_: Temperature effect on recovery from base hydrolysis product and health risk factor. *Food and Public Health*, *4*(2), 23– 30.

Olmedilla-Alonso, B., Jimenez-Colmenero, & Sanchez-Muniz, F.J. (2013). Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*, *95*, 919-930.

Onyango, A.A., Lalah, J.O. & Wandiga, S.O. (2012) The effect of local cooking methods on polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) contents in beef, goat meat, and pork as potential sources of human exposure in Kisumu city, Kenya. *Polycyclic Aromatic Compounds*, *32*, 656-668.

Oz, E. (2020a). Polycyclic aromatic hydrocarbons as food toxicant in smoked fishes. *Atatürk University Journal of Agricultural Faculty*, *51*, 109-118.

Oz. E., (2020b). Effects of smoke flavoring using different wood chips and barbecuing on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic aromatic amines in salmon fillets. *PLOS ONE*, *15* (1), e0227508.

Oz, E. (2020c). Farklı yağ çeşidi kullanımının mangalda pişirilmiş köftelerin polisiklik aromatik hidrokarbon içeriği ile yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi. Atatürk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri, Sonuç Raporu, Proje No: 7528.

Pan, H. & Cao, Y. (2010). Optimization of pretreatment procedures for analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal- grilled pork. *Analytical Letters*, *43*, 97-109.

Parker, J.K., Lignou, S., Shankland, K., Kurwie, P., Griffiths, H.D. & Baines, D.A. (2018) Development of a technology for reducing polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked food and smoked ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66* (10). 2449-2458.

Perello, G., Marticid, R., Castell, V., Llobet, J. M. & Domingo, J.L. (2009). Concentrations of polybrominated diphenyl ethers, hexachlorobenzene

and Polycyclic aromatic hydrocarbons in various foodstuffs before and after cooking. *Food and Chemical Toxicology*, *47*(4), 709–715.

Pöhlmann, M., Hitzel, A., Schwagele, F., Speer, K. & Jira, W. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in smoked frankfurtertype sausages depending on type of casing and fat content. *Food Control*, *31*, 136-144.

Purcaro, G., Moret, S. & Conte, L.S. (2013). Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence, legislation and innovative determination in foods. *Talanta*, *105*, 292-305.

Radojicic, V., Alagic, S., Adnadjevic, B. & Maktouf, A.B. (2012). Effect of varied quantities of zeolite on the reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons in tobacco smoke. *Afr J. Biotechnol.*, *11*, 10041–10047.

Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, R.S., White, S., Alwyn, Q., et al. (2015). Investigation into the formation of PAHs in foods prepared in home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting. *Food and Chemical Toxicology*, *78*, 1–9.

Roseiro, L.C., Gomes, A. & Santos, C. (2011). Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. *Food and Chemical Toxicology*, *49*, 1340–1345.

Sengun, I.Y., Turp, G.Y., Yildiz, G., Icier, F., Kendirci, P. & Kor, G. (2014). Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. *LWT- Food Science and Technology*, *55*, 232–239.

Singh, L., Agarwal, T. & Simal-Gandara, J. (2020). PAHs, diet and cancer prevention: Cooking process driven-strategies. *Trends in Food Science & Technology*, *99*, 487-506.

Singh, L., Varshney, J.G. & Agarwal, T. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons formation and occurrence in processed food. *Food Chemistry*, *199*, 768–781.

Storelli, M., Stuffler, R.G. & Marcotrigiano, G. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, chlorinated pesticides (DDTs), hexachlorocyclohexane, and hexachlorobenzene residues in smoked seafood. *Journal of Food Protection*, *66*, 1095-1099.

Stumpe-Vīksna, I., Bartkevics, V., Kukare, A. & Morozovs, A. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry*, *110*, 794-797.

Sun, Y., Wu, S. & Gong, G. (2018). Trends of research on polycyclic aromatic hydrocarbons in food: A 20-year perspective from 1997 to 2017. *Trends in Food Science & Technology*, *83*, 86-98.

Szterk, A. (2015). Acridine derivatives (PANHs, azaarenes) in raw, fried or grilled pork from different origins, and PANH formation during pork thermal processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, *43*,

18-24.

Terzi, G., Çelik, T. H. & Nisbet, C. (2008). Determination of benzo[a] pyrene in Turkish döner kebab samples cooked with charcoal or gas fire. *Irish Journal of Agricultural & Food Research*, *47*, 187–193.

Viegas, O., Novo, P., Pinto, E., Pinho, O. & Ferreira, I. (2012). Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. *Food and Chemical Toxicology*, *50*, 2128-2134.

Viegas, O., Yebra-Pimentel, I., Martinez-Carballo, E., Simal-Gandara, J. & Ferreira, I.M. (2014). Effect of beer marinades on formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62*, 2638–2643.

Wegrzyn, E., Grzeskiewicz, S., Poplawska, W. & Glod, B.K. (2006). Modified analytical method for polycyclic aromatic hydrocarbons using SEC for sample preparation and RP-HPLC with fluorescence detection. Application to different food samples. *Acta Choromatographia*, *17*, 233–249.

Wongmaneepratip, W. & Vangnai, K. (2017). Effects of oil types and pH on carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled chicken. *Food Control*, *79*, 119–125.

Wretling, S., Eriksson, A., Eskhult, G.A. & Larsson, B. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Swedish smoked meat and fish. *Journal of Food Composition and Analysis*, *23*, 264–272.

Yildiz-Turp, G., Sengun, I., Kendirci, P. & Icier, F. (2013). Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science, 93*, 441–448.

Zelinkova, Z. & Wenzl, T. (2015). The occurrence of 16 EPA PAHs in food – A review. *Polycyclic Aromatic Compounds*, *35*, 248-284.



Bölüm 3

BİNA YAŞAM DÖNGÜSÜ SÜRECİNDE OPTİMUM ENERJİ VE MALİYET ETKİN BİR YAKLAŞIM: ANTALYA ÖRNEĞİ

İlknur Akıner[1], Muhammed Ernur Akıner[2], Bekir Türkdoğan [3]

1 Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, ilknurakiner@gmail.com

2 Dr. Öğr. Üyesi, Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma ve Kontrol Programı, ernurakiner@gmail.com

3 Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, YL Programı, bekirturkdogan@gmail.com

GİRİŞ

Sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde enerji kaynaklarının tüketimi, kritik bir konu haline gelmiştir. Türkiye'de elektrik enerjisi tüketimi 2017 yılı sonunda TEİAŞ'dan (Türkiye Elektrik İletim A.Ş) alınan verilere göre 167,1 milyar kWh, elektrik üretimi ise 167,3 milyar kWh'dir. Türkiye'nin 2017 yılındaki kurulu gücü 80,546 MW'a kadar ulaşmıştır. Fakat her geçen gün enerji ihtiyacımız hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması, mevcut kaynakların rasyonel kullanımını zorunlu kılmaktadır. Artan enerji ihtiyacının karşılanması sürecinde enerji kaynaklarının çevre ile ilişkisi çerçevesinde çok boyutlu bir durum söz konusudur. Örneğin, enerji ihtiyacı karşılanırken, enerji üretiminin neden olduğu çevre kirliliğini önleme durumu söz konusudur. Ayrıca, bu süreçte enerji üretim verimliliğini artıran ve çevreyi koruyan ileri teknolojiler geliştirme ve uygulama ihtiyacı söz konusudur. Sürdürülebilirlik çerçevesinde, enerji etkin kullanım dolayısıyla enerji tasarrufu tüm ulusları ilgilendiren öncelikli bir konudur (Gençoğlu, 2005). Bu nedenle, gelecek nesillerin daha sağlıklı bir çevrede yaşamlarını sürdürebilmeleri açısından yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak, mevcut enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak, çevre dostu malzeme ve materyal kullanmak sürdürülebilir tasarım, yapım ve kullanım süreci çerçevesinde ele alınmalı ve değerlendirilmelidir.

Görsel konfor düzeyinin sağlanabilmesi için hem uluslar arası standartlara uygun hem de bina tasarımı ile bütünleşik bir aydınlatma sistemi tercihi gerekli kriterleri doğal olarak sağlayacaktır. Uluslararası Aydınlatma Tasarımcıları Birliği (IALD) ve Aydınlatma Mühendisleri Birliği (IES) tarafından aydınlatma tasarımında sürdürülebilirlik kavramı, görsel çevredeki niceliksel ihtiyaçların doğal çevreye en az etki ile karşılanması olarak tanımlanmaktadır (DiLaura v.d., 2011). Bu tanımdan yola çıkacak olursak sürdürülebilir aydınlatma tasarımı, binanın ön tasarım aşamasından itibaren başlamalıdır. Yapı üretim sürecinin ilk aşamasından itibaren yapıda aydınlatmaya yönelik performans, enerji performansı ve çevresel etki performansı belirlenmeli ve temel kriterler arasında yer almalıdır. Aydınlatma tasarımlarının çevresel etkisi, ürünlerin üretim aşamasındaki kaynak kullanımına, aydınlatma sistemlerinin kurulum, bakım ve onarımı aşamalarında tüketilen enerjiye ve ürünlerde kullanılan malzemelerin yaşam döngüsü bilgilerine bağlıdır (DiLaura v.d., 2011).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından enerji yoğunluğu ve kaybını azaltmak amacıyla Enerji Verimliliği Strateji Belgesi yayınlamıştır. Bu belgenin amacı, enerji verimliliği yüksek binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmaktır (Tombak, 2017). Tüm dünyada mevcut elektrik enerjisinin %40'ı konutlarda ve hiz-

met sektöründe tüketilmektedir. Bu tüketim, Türkiye'de %35'tir. Konut ve hizmet sektöründe tüketilen elektrik enerjisinin %60'ı sadece aydınlatma amaçlıdır. Bu da Türkiye'de tüketilen enerjinin %20'sine karşılık gelmektedir (Elektrik İşleri Etüd İdaresi, 2017). Yılmaz ve Erken'e göre (2003) uygun kontrol teknikleri ve sistemleri kullanarak yapılacak olan aydınlatma kontrolü, ışık miktarı ve kalitesi bakımından, çalışan her eleman için uygun olabilecek aydınlatmayı meydana getirmelidir. Yapıda gün ışığının optimum düzeyde kullanımı ile enerji ve maliyet tasarrufu sağlamanın yanı sıra konforlu bir görsel çevre meydana getirilerek, kullanıcıların veya çalışanların verimlilikleri de artırılacaktır (Yılmaz ve Erken, 2003).

Yapılarda aydınlatma tasarımının enerji tasarrufu sağlaması önemli bir avantajdır. Fakat gerek aydınlatma elemanının üretimi gerekse yapıda kullanım sürecinde aydınlatma kalitesini düşürmeden, düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılarak, iyi bir aydınlatma ve enerji tasarrufu sağlanabilir. Bina kullanım sürecinin verimliliğini ise bina tasarımı, kullanılan malzemeler ve bina işletmesindeki verimlilik etkilemektedir. Yapılan uygulamalar, binada alınacak enerji verimliliği önlemleri ile bina enerji tüketimlerinin ortalama %50 civarında azaltılabileceğini göstermektedir (Tombak, 2017).

Çelebi ve Öztürk'e göre (2011) mimari aydınlatma tasarımının kalitesi, kişinin göz sağlığından çalışanın verimliliğine, mekan içinde bulunma isteğini artırıp azaltmasına, kendini güvende, huzurlu hissetmesine kadar pek çok fiziksel ve duygusal konfor koşulunu etkiler. Çevresel parametrelerin etkisinde hazırlanan aydınlatma tasarım projesi, mimari tasarım kalitesine sağladığı katkılar ile yapının görünürlüğünü, fark edilirliğini artırarak çekim merkezi haline gelmesini sağlar. Çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlar içerisinde yer alan enerji verimliliği, mimari aydınlatma tasarımının temel kriterlerinden birini oluşturmaktadır. Tasarımda tercih edilen aydınlatma elemanları, ekipmanları ve ışık kaynaklarının kontrol şekli de yapının kullanım süreci içindeki işletme maliyetini belirlemektedir (Çelebi ve Öztürk, 2011).

Günışığının konumu ve yapı kabuğuna olan etkisi düşünülerek doğal ve yapay aydınlatma arasında sağlanacak koordinasyon yardımıyla enerji kayıpları önlenebilmektedir. Mimari yapıya uygun olarak tasarlanmış aydınlatma otomasyonu ile günün belirli saatlerinde sadece doğal aydınlatmanın gücünden faydalanılmaktadır. Yalnızca yapay aydınlatmanın sağlanabildiği durumlarda ise aydınlık düzeyinin düşürülmesi gerektiği durumlarda aydınlatma elemanlarını tamamen kapatma durumuna getirerek veya aydınlık düzeyini azaltarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Yapıda kullanılan aydınlatma kontrol sistemleri enerji tasarrufu sağlanmanın yanı sıra, aydınlatma tasarımına yönelik iç ve dış mekanların atmosferini kullanım sürecinde değiştirebilecek ışık senaryolarını oluşturma

olanağı da sunmaktadır. Mimari projenin kağıt üzerinde gerçekleştirilen ilk aşamasından itibaren düşünülmesi gereken ve eş zamanlı olarak başlayacak aydınlatma tasarımı ve ilk yatırım maliyeti analizi ile çok yönlü ve planlı olarak ele alınan aydınlatma tasarım projesi işletme maliyetinin azalmasını, enerji tasarrufunun ise çevresel ve ekonomik boyutlarda artmasını sağlayacaktır. Bu parametreler doğrultusunda geliştirilebilmesi için bu çalışmada mevcut bir yapı için farklı bir mimari aydınlatma tasarımı yaklaşımı önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilirlik parametreleri dikkate alınarak optimum düzeyde aydınlatma tasarım kararının elde edilmesinin hedeflendiği bir öneriyi mevcut bir yapıda yer alan mekanlar açısından irdelemektir. Bu amaç doğrultusunda Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi D-E blokta yer alan kapalı mekanlarda halihazırda kullanılan aydınlatma armatürleri için maliyet hesaplaması yoluyla karşılaştırmalı bir analiz yapılarak alternatif öneriler geliştirilmektedir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI VE MİMARİ AYDINLATMA TASARIMININ ETKİSİ

Mimari yapılarda günışığı ve aydınlatma dördüncü boyut olarak görülmektedir ve mimari tasarımın en başından itibaren dikkatlice ele alınmalı ve tasarım süreci ile bütünleştirilmelidir. Ayrıca, günışığının analiziyle ve iç mekanlarda rasyonel kullanımıyla dikkatlice hesaplanmalıdır. Mimari yapının, yapıda kullanılan malzemelerin, dokuların, renklerin ve yansıtıcı yüzeylerin bu çerçevede değerlendirilmesi gerekmektedir. Günışığı ve aydınlatma sistemlerinin tasarımında özellikle okul, hastane gibi büyük kurumsal yapılarda duyusal kaliteye önem verilmelidir. Uygun bir aydınlatma düzeni sürdürülebilir tasarım açısından da önemli bir ögedir. Türkiye'de konut sektöründe yaşanan hızlı gelişim sürdürülebilir, çevreci ve yenilikçi tasarımları hayata geçirebilmek için iyi bir fırsattır. Bu bağlamda mimaride aydınlatma tasarımı, aydınlatmada enerji verimliliği ile yapılarda kayda değer bir iyileştirme sağlanabilir.

Sürdürülebilirlik kavramı, enerji kaynaklarının azalması, enerji maliyetlerinin artması ve enerji tüketiminin çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle mimari tasarımda son derece önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının azalması, iklim değişikliği, çevre kirliliği ve buna bağlı olarak insan sağlığını tehdit eden nedenlerden ötürü sürdürülebilir hedeflerin mimari tasarıma entegrasyonu önem kazanmıştır. Sürdürülebilirlik kavramının yapı endüstrisinde ele alınması gerektiği düşüncesini, 1987 yılında dile getiren Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu (UN WCED) sürdürülebilirliği bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeksizin karşılamak olarak tanımlamıştır. Buna göre, sürdürülebilir mimari aydınlatma tasarımı aydınlatma sistemlerinin performansını artırmak, aydınlatma enerji tüketimini

azaltmak ve mimari tasarımın ilk aşamasından itibaren kullanılan elemanların çevresel etkilerini en aza indirmek olarak ifade edilebilir.

Eğitim yapılarında, doğal ışıktan yararlanma, ısıtma, soğutma yöntemleri, aydınlatma ve malzeme seçimi kapsamında sürdürülebilirlik açısından önem taşıyan konuları da ortaya koyan Şahin ve Dostoğlu (2015) sürdürülebilir tasarım yaklaşımını, kentsel ölçekli karar alma süreçleri başta olmak üzere, bir yapı malzemesinin üretim biçiminin seçimine kadar farklı boyutlarda ele almaktadır. Bu boyutlardan biri de enerji etkin bina sistemleridir (Şahin ve Dostoğlu, 2015). Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı ise uygun aydınlatma sistemi ve yönetimi konularını içermektedir. Mimaride aydınlatma konusunda uzman uluslararası kuruluşlar (DiLaura v.d., 2011) sürdürülebilir aydınlatma tasarımının hedeflerini, ilk tasarım aşamasından itibaren aydınlatma sistemlerinin performansını arttırmak ve aydınlatma enerjisi tüketimini azaltarak minimum çevre etkisine sahip aydınlatma elemanlarını tercih etmek olarak belirtilmiştir. Bu nedenle tasarım aşamasından itibaren aydınlatma tasarımlarının bu açılardan performansının belirlenmesi son derece önemlidir. Bu kapsamda aydınlatma enerjisi tüketimini minimize eden sürdürülebilir aydınlatma tasarımı konusunda dikkate alınması gereken kriterler DiLaura v.d. (2011) tarafından şöyle sıralanmaktadır: İç mekan tasarımında doğal ışıktan maksimum faydalanarak konforlu ve esnek bir aydınlatma sistemini belirlemek, yapay aydınlatma ihtiyacını azaltmak, aydınlatma enerjisinden tasarruf etmek ve böylece yapay aydınlatma elemanlarının hizmet ömrünü arttırmak, aydınlatma kontrol sistemleri ve enerji tasarruflu aydınlatma elemanı seçerek yapay aydınlatma nedeniyle enerji tüketimini en aza indirmek (DiLaura v.d., 2011).

Dolayısıyla, sürdürülebilir mimari aydınlatma elemanı seçimi için hacimlerde istenen görsel konfor koşullarının elde edilmesinin yanı sıra minimum aydınlatma enerji gereksinimi olacak çözümlerin üretimi ve optimum maliyet kavramı gözetilerek gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Sürdürülebilir bir aydınlatma tasarımının bu doğrultuda değerlendirilmesi, detaylı analiz ve hesaplamalar sonucunda periyodik aydınlatma enerji gereksinimleri ve enerji maliyeti miktarlarının hesaplanması gerekmektedir. Böylece, aydınlatma ile ilgili standartlara uygunluk açısından değerlendirilebilir ve ilgili alternatifler birbirleri ile karşılaştırılabilir. Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının elde edilmesi bu parametrelerin bütüncül bir anlayış ile ele alındığı bir aydınlatma tasarımı yaklaşımı ile olanaklıdır.

Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımları için görsel konfor koşullarının minimum enerji ile sağlanmasının yanı sıra, doğal veya yapma aydınlatma elemanlarının minimum enerji tüketen ürünler olarak seçilmesine özen gösterilmelidir. Günümüzde, halojen, akkor, metal ışık kaynakları, kompakt floresan ve LED (ışık yayan diyot) veya OLED (organik ışık yayan diyot) gibi giderek daha popüler enerji tasarruflu lambalar ile değiş-

tirilmiştir. Aydınlatma cihazlarının ve LED ışık kaynaklarının verimliliği, Güç (watt) başına ışık akısı (lümen) değerleri ile ölçülür. Bununla birlikte, verimli, kaliteli aydınlatma cihazlarının ve LED'lerin seçimi sadece lümen / watt değerine bakarak yapılmaz. LED'lerde bu seçimleri etkileyecek renk oluşturma indeksi (CRI), LED'in servis ömrü (L70) ve MacAdam elipsine göre renk sıcaklığını netleştiren bin aralıkları gibi özellikler bu ürünlerin tercih edilip edilmemesine neden olmaktadır. Ayrıntılı bir kurgusal aydınlatma tasarımı projesinde, aydınlatma kontrol sistemleri ile birleştirildiğinde cihazların ve ışık kaynaklarının seçiminden kaynaklanan enerji tasarrufu kademeli olarak artmaktadır.

Bir armatürü inceleyecek olursak 1 yılda enerji tasarrufu aşağıdaki sonuçlarla açıklanabilir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından verilen örneğe göre Türkiye'de 40 milyondan fazla konutta sadece 1 adet 20W armatür kullanıldığında, 1,6 milyon ton CO2 açığa çıkar ve 3,2 milyar kWh enerji tasarrufu sağlanır. Parasal açıdan karşılığı ise € 544 milyon'dur. Yıllık 3,2 kWh tasarruf, 500 MW gücünde elektrik üretime tekabül eder, 3,2 milyar kWh enerji üretmek için 800.000 ton ham petrole ihtiyaç vardır, 1,6 milyon ton CO2 için, 80 milyon adet ağaca ihtiyaç vardır. Yılda 1000 saat kullanıldığında; 100W akkor lamba yerine kullanılır ve kWh başına, 0,5 kg CO2 açığa çıkar. Dolayısıyla, seçilen aydınlık kaynağının çevre dostu olması tercih kriterleri arasında olmalıdır.

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Avrupa'da, 2002 yılında binaların enerji performansının arttırılması ve CO2 salımının azaltılması hedefiyle yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Direktifi (Recast, E. P. B. D.), 2010 yılında revize edilmiştir. Bu dokümanda "yaklaşık sıfır enerjili bina" ile "optimum enerji performansı ve maliyet" kavramları ortaya konmaktadır. AB üye ülkelerinde binalarda minimum enerji kullanımı ile optimum maliyet düzeylerinin hesaplanması beklenmektedir (Recast, E. P. B. D., Directive 2010/31/EU, 2010). Direktifte tanımlanan çerçeve yöntem, 2012 yılında yayınlanan AB yönetmeliği ile açıklanarak ilgili yönetmelikte binalarda enerji performansı analizleri ve maliyet analizleri ile optimum enerji performans düzeylerinin belirlenmesi hedeflenir (Council, E., 2012 - EU No 244/2012; Ganiç ve Yılmaz, 2014). 2012 yılında yayınlanan 244/2012 yönetmeliğinde "net bugünkü değer yöntemi" ile hesaplanması öngörülmektedir. Bu yöntem, binaların veya bina alt sistemlerinin maliyet açısından değerlendirilmesi hedefiyle hazırlanmış olan "EN 15459 Avrupa Standardı'nda açıklanmaktadır (EN 15459, 2007).

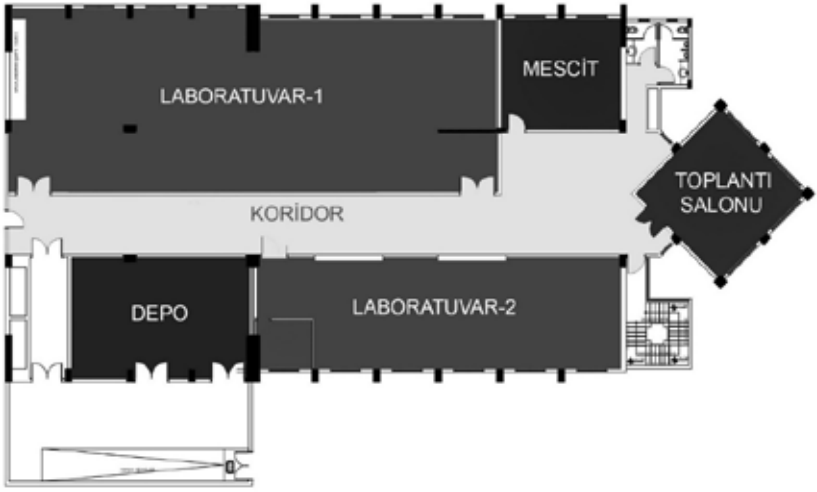
AB ülkelerinde Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nin (2002/91/EC) yayınlanması sonucu, aday ülke olan Türkiye'de bu direktif gereği Bina Enerji Performansı Türkiye Ulusal Hesap Modeli (BEP-TR) hazırlanmış ve BEP-TR Aydınlatma Enerjisi Gereksinimlerinin Hesaplan-

ması bölümünde EN 15193 standardı uyarınca binalarda aydınlatma enerjisi performansının hesaplanması yöntemi, konutlar ve diğer binalar için geliştirilmiştir (BEP-TR, 2010). Akdeniz Üniversitesi'nde bulunan Mühendislik Fakültesi binası ele alınarak gerek aydınlatma tasarımı gerekse yapı kabuğu ve iç mekan tasarımının aydınlatma projesiyle olan ilişkisi enerji tasarrufu açısından incelenecektir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2009) Kamuda Verimli Aydınlatmaya Geçiş Raporunda enerji tasarrufu için kamu binalarında kullanılan Akkor Flamanlı Lamba yerine Kompakt Floresan Lamba ile değiştirildiği söylenmiştir. Uygulama sonucunda toplam 1.828.742 ampul çıkarılarak yerine 1.758.954 adet verimli lamba takılmıştır. Satın alınan verimli lambalar için toplam 11.549.139 lira ödenmiştir. Bu uygulama sonrasında yapılan hesaplar doğrultusunda; Günde 4,5 saat kullanılan, toplamda 137.150kW gücünde ampul; 0,24684 TL/kWh üzerinden günde 152.343 lira harcar. Yani çıkarılan ampuller günde ortalama 152.000 liralık elektrik tüketmektedir.

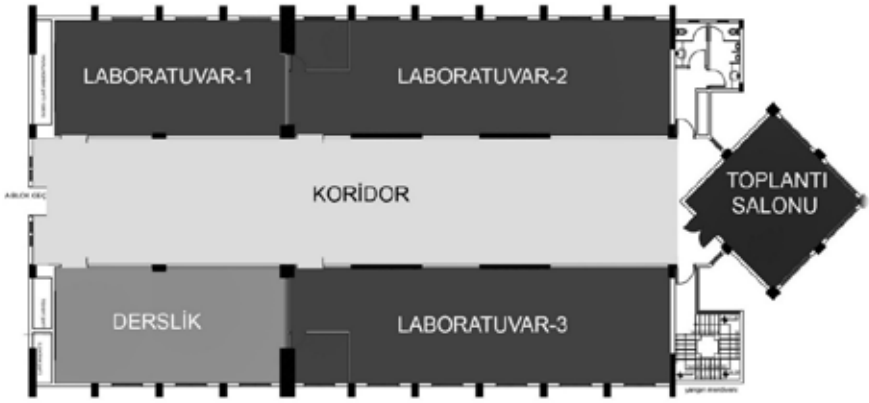
Günde 4,5 saat kullanılan toplam 35.170 kW gücünde verimli lamba; 0.24684 TL / kWh üzerinden günde 39,066 lira harcıyor. Başka bir deyişle, verimli lambalar günde 39.000 lira elektrik tüketmektedir. Bu nedenle, değişim sonrasında kamu kurumlarının günlük elektrik tüketimi 113.000 TL azaldı. 101 günde 11,5 milyon liralık satın alma bedeli geri kazanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen uygulamadan yola çıkılarak Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi D-E Blok incelenmiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda hesaplar yapılmıştır. Şekil 1'de Mühendislik Fakültesi D-E blok -2. kat planı mevcuttur. Bu kat gün ışığı görmemekle birlikte çok kullanılmamaktadır. Şekil 1'deki plan şemasında görüldüğü üzere, bu katta 2 adet laboratuvar, 1 mescit, 1 toplantı salonu, 1 depo yer almaktadır.



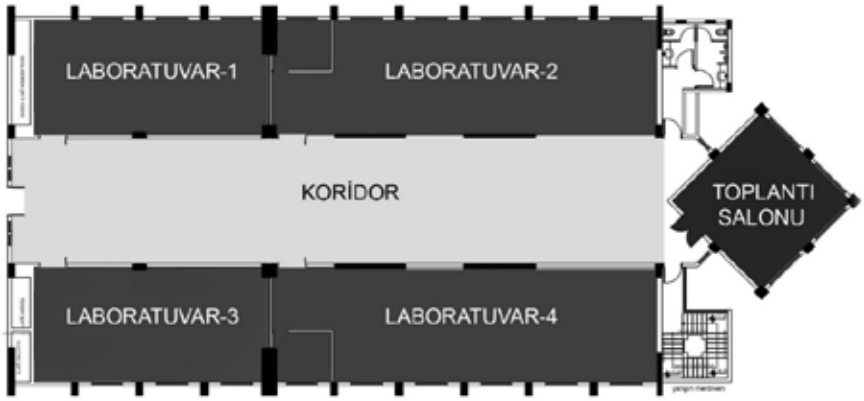
Şekil 1. D-E blok -2. kat planı

Şekil 2'de Mühendislik Fakültesi D-E blok -1. kat planı mevcuttur. Bu kat gün ışığı görmektedir ve aktif kullanılmamaktadır. Şekil 2'deki plan şemasında görüldüğü üzere, bu katta 3 adet laboratuvar, 1 derslik, 1 toplantı salonu yer almaktadır.



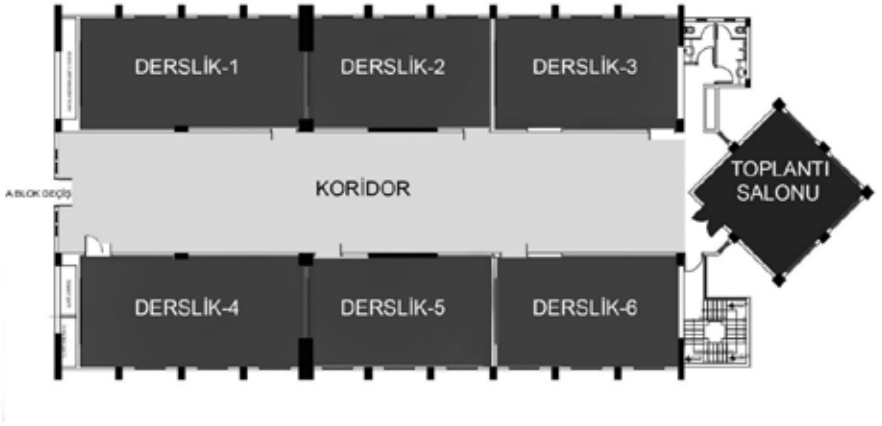
Şekil 2. D-E blok -1. kat planı

Şekil 3'de Mühendislik Fakültesi D-E blok zemin kat planı mevcuttur. Bu kat gün ışığı görmektedir ve aktif kullanılmamaktadır. Şekil 3'deki plan şemasında görüldüğü üzere, bu katta 4 laboratuvar ve 1 toplantı salonu bulunmaktadır.



Şekil 3. D-E blok zemin kat planı

Şekil 4'de Mühendislik Fakültesi D-E blok 1. kat planı mevcuttur. Bu kat gün ışığı görmektedir ve aktif kullanılmamaktadır. Bu kat planında, 3 laboratuvar, 6 derslik ve 1 toplantı salonu vardır.



Şekil 4. D-E blok 1. kat planı

Şekil 5'de Mühendislik Fakültesi D-E blok 2. kat planı mevcuttur. Bu kat gün ışığı görmektedir ve aktif kullanılmamaktadır. Bu katta, 2 adet O-1 tipi ofis, 10 adet O-2 tipi ofis, 10 adet O-3 tipi ofis olmak üzere toplam 22 adet öğretim üyesi çalışma ofisleri ve 1 adet toplantı salonu yer almaktadır. Mimari plan şemalarında yer alan mekanların m2 cinsinden büyüklüklerine ilişkin dağılım Tablo 1'de gösterilmektedir.



Şekil 5. D-E Blok 2. Kat Planı

Tablo 1. Kat Planlarına göre Mühendislik Fakültesi D-E blokta yer alan Mekanlar ve M² 'ler

Kat	Mekan Adı	Alan (m2)	Adedi
-2	Laboratuvar-1	318	1
	Laboratuvar-2	147	1
	Mescit	50	1
	Depo	53	1
	Toplantı Salonu	53	1
	Koridor	162	1
-1	Laboratuvar-1	88	1
	Laboratuvar-2	147	1
	Laboratuvar-3	147	1
	Derslik	88	1
	Toplantı Salonu	53	1
	Koridor	244	1
Zemin	Laboratuvar-1	88	1
	Laboratuvar-2	147	1
	Laboratuvar-3	88	1
	Laboratuvar-4	147	1
	Toplantı Salonu	53	1
	Koridor	244	1
1	Derslik-1	88	1
	Derslik-2	73	1
	Derslik-3	74	1

	Derslik-4	88	1
	Derslik-5	73	1
	Derslik-6	74	1
	Toplantı Salonu	53	1
	Koridor	244	1
2	Ofis-1	15	2
	Ofis-2	26	10
	Ofis-3	24	10
	Toplantı Salonu	53	1
	Koridor	244	1
Toplam		**3911**	

BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Araştırma sonuçlarına göre aydınlatmada enerji kaybı, öncelikle yanlış lamba ve armatür seçiminden dolayı ışık üretimi sürecinde yaşanan enerji kayıplarıyla gerçekleşmektedir. Bunun dışında, iç mekan dekorasyonundan kaynaklı olarak bazı yüzeylerde ışık yutularak yok olmaktadır. Bu problemler ışığında özellikle aydınlatma için harcanan parasal miktarın düşürülmesi için gerekli önlemler yapılan çalışmalarda sırasıyla şöyle açıklanmaktadır. Mevcut kullanılan armatürlerin elektronik balastlı yeni nesil armatürlerle değiştirilerek CFL ve LED lambaların kullanılması önerilmektedir. CFL lamba (Kompakt Floresan Lamba) enerji tasarruflu lamba anlamına gelir. LED lambalar (ışık yayan diyotlar) elektron geçişinden ışık sağlar. CFL ve LED lambalar, normal bir ampulden çok daha az enerji tüketir ve elektrik faturalarından tasarruf sağlar.

İç mekan dekorasyonuna bağlı olarak armatürlerin konumu incelenerek aydınlatılmak istenen alana göre ışık kaynağının düzenlenmesi gerekmektedir. Böylece gereksiz alanların aydınlatılmaması aydınlatma masraflarının azaltılması yönünde avantaj sağlamaktadır. Işık kaynağının kullanılmayan zamanlarda kapatılması veya ihtiyaç düzeyine bağlı olarak armatür anahtarlarının ayarlanabilir (dim edilebilir) olanlarla değiştirilmesi ve düşük watt'lı ampüller kullanılması son derecede önemlidir. Her zaman açık olan lambalar kullanılıyorsa, bu lambaların düşük watt değerine sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Örneğin, 15 watt'lık bir ampul, 75 watt'lık bir ampulden %80 daha az enerji tüketir. Sürekli olarak aydınlatılması gereken mekanlarda düşük voltajlı ampuller seçersek, yüksek enerji tasarrufu sağlanabilir.

Otomasyon sistemi ile aydınlatma kontrolünün sağlanması da maliyet açısından fayda sağlamaktadır. Özellikle iç mekan aydınlatmada kullanılacak hareket sensörü, aydınlatma araçlarının sadece kullanıcı mekanda

bulunduğu anda açılan ve orada kimse yokken otomatik olarak kapanan ışık kaynakları enerji tasarrufu sağlamaktadır. Hareket sensörlerinin ilk yatırım maliyeti biraz fazla olsa da sağlayacağı enerji tasarrufu, hareket sensörünün fiyatını kısa zamanda amorti edebilir. İç mekan dekorasyonuna bağlı olarak duvar, tavan gibi büyük yüzey renklerinin incelenerek kirlilik oranına göre daha açık renklerin kullanılması hem doğal hem de yapay ışığın kullanımı açısından tasarruf sağlayacaktır.

Çoğu araştırmanın sonucu binalarda gün ışığını kullanmanın aynı zamanda kullanıcının psikolojisini de pozitif yönde etkilediğini savunmaktadır. Bu bağlamda, gün ışığını kullanan doğal aydınlatma, bir mekan için en uygun ve en verimli aydınlatma formlarından biridir. Doğal ışığın ve mimari yapının etkisi göz önüne alındığında, perdelerin gündüz açık tutulması ve doğal güneş ışığının mekanlara dağılmasını sağlamak aydınlatma açısından tasarruf sağlar.

Düşük güçte sayıca fazla aydınlatma armatürü yerine güçlü ve yeterli sayıda armatür kullanılması da önerilmektedir. Sonuç olarak, düşük verimli ışık kaynağı, aydınlatma armatürü biçimi, ışık dağılımı, iç mekandaki büyük yüzeylerde ışığın niteliği ve biçimini bütünleşik bir şekilde değerlendiren aydınlatma tasarımı enerji verimliliği açısından önemlidir. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi D-E Blok'ta bulunan mevcut armatürlerin güçleri ve ışık akısının mekanlara göre dağılımı aşağıdaki tabloda sıralanmıştır. Bu tabloya göre güç ve maliyet hesapları mekan bazında yapılmıştır. Tablo 2'de yer alan ve mekan bazında harcanan toplam elektrik gücüne karşı maliyet açısından da tasarruf sağlayacak alternatif ışık kaynağı ilerleyen bölümlerde önerilmektedir.

TL bazında tüketim hesaplama yöntemi olarak "Kullanılan Süre (Saat) * Güç (kW) * Elektrik Birim Fiyatı (TL/kW)" formülü kullanılmıştır. Verilen hesaplama yöntemine göre günde 4,5 saat kullanılan, toplam 40kW gücünde ampul, 0,44TL/kW üzerinden; günde 79.2 lira harcamaktadır. Değiştirme önerisi yapılan ampuller günde ortalama 80 liralık elektrik tüketmektedir. Tasarruf amaçlı kullanılması önerilen armatürlerin güçleri ve ışık dağılım akısının mekanlara göre dağılımı ise Tablo 3'de yer almaktadır. Bu tabloya göre önerilen ampullerin güç ve maliyet hesapları yapılmıştır.

Tablo 2. Mühendislik Fakültesi D-E blokta yer alan mekanlarda mevcut armatürlerin kurulu gücü

Mekan Adı	Armatür Cinsi	Armatür Sayısı	Lamba Gücü (W)	Lamba Işık Akısı (lm)	Tip Mekanların Gücü (W)
Derslik	Tüp Floresan Lamba Arm.	93	4*18	2573	6696

Laboratuvar	Tüp Floresan Lamba Arm.	203	4*18	2573	14616
Ofis Tip 1	Tüp Floresan Lamba Arm.	20	4*18	2573	1440
Ofis Tip 2	Tüp Floresan Lamba Arm.	30	4*18	2573	2160
Toplantı Salonu	Tüp Floresan Lamba Arm.	45	4*18	2573	3240
Depo	Tüp Floresan Lamba Arm.	12	4*18	2573	864
Mescit	Tüp Floresan Lamba Arm.	9	4*18	2573	648
Koridor	Tüp Floresan Lamba Arm.	146	4*18	2573	10512
				TOPLAM	40176

TL bazında tüketim hesaplama yöntemi ile "Kullanılan Süre (Saat) * Güç (kW) * Elektrik Birim Fiyatı (TL/kW)" formülü kapsamında günde 4,5 saat kullanılan, toplam 20kW gücünde ampul, 0,44TL/kW üzerinden; günde 39,6 lira harcamaktadır. Mevcut ampüllerin yerine önerilen ampuller günde ortalama 40 liralık elektrik tüketmektedir. Tablo 3'de görüldüğü üzere "Ledli Panel Armatür"ün kullanılması yoluyla maliyet açısından önemli bir tasarruf sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Mühendislik Fakültesi D-E blokta yer alan mekanlar için önerilen armatürlerin Kurulu Gücü

Mekan Adı	Armatür Cinsi	Armatür Sayısı	Lamba Gücü (W)	Lamba Işık Akısı (lm)	Tip Mekanların Gücü (W)
Derslik	Ledli Panel Armatür	93	36	3060	3348
Laboratuvar	Ledli Panel Armatür	203	36	3060	7308
Ofis Tip 1	Ledli Panel Armatür	20	36	3060	720
Ofis Tip 2	Ledli Panel Armatür	30	36	3060	1080
Toplantı Salonu	Ledli Panel Armatür	45	36	3060	1620
Depo	Ledli Panel Armatür	12	36	3060	432
Mescit	Ledli Panel Armatür	9	36	3060	324
Koridor	Ledli Panel Armatür	146	36	3060	5256
				TOPLAM	20088

SONUÇ

Aydınlatma sistemi tasarımlarında ele alınan tipoloji için gerekli görsel konfor koşullarının sağlanması ve bu doğrultuda uluslararası standartlarca belirlenmiş kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir. İç mekanlarda istenen görsel konfor koşullarının sağlanması, fizyolojik ve psikolojik gereksinimlere karşılık veren doğru bir aydınlatma sistemi tasarımı ile mümkündür. Artan enerji ihtiyacı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji maliyeti nedeniyle, mimari aydınlatma sistemi tasarımında enerji etkinliğin gözetilmesi konusu son derece önemlidir. Aydınlatma kontrol stratejisi kapsamında binalarda harcanan aydınlatma enerjisinin azaltılması için doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin bu amaca yönelik tasarlanması gerekmektedir.

Bir iç mekanda, görülecek hiçbir nesnenin olmadığı yönlere giden ışık, belirli bir oranda emilir ve bu yönlerde karşılaştığı yüzeylere belirli bir oranda yansır. Bu yüzeylerden yansıyan ışık çevresel görünürlüğü yaratır ve yutulan ışık boşuna harcanır. Buna göre, boşuna harcanan ışık, üzerine düştüğü yüzeyleri yansıtmayan ışıktır. Bu yüzeylerden yansıyan ışığın görünürlüğünü ve faydalı alana oranını sağlamak için bu yüzeyler açık renkli olmalıdır. Böylece, yansıma yoluyla faydalı alana düşecek olan ışık aynı oranda artacaktır. Bu nedenle, özellikle eğitim binalarında, iç mekanlarda duvar ve tavan gibi geniş yüzeyler açık renkli olmalı, karanlık yüzeyler mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. Duvar ve perde gibi yüzeylerin kirlenmesiyle, faydalı alana düşen ışıkta ve bu yüzeylerin görünürlüğünde gözle görülür bir azalma vardır. Bu yüzeylere giden ışık miktarı aydınlatma şekline bağlı olarak arttıkça bu düşüşler giderek daha önemli hale gelir.

Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesi, istenen görsel konfor koşullarının sağlanması, psikolojik ve fizyolojik açılardan uygun çözümlerin dikkate alınması, aydınlatma sistemlerinin minimum enerji gereksinimine sahip olması, aydınlatmada minimum çevresel etki ve optimum maliyet kavramlarının bir arada ele alınması ile mümkündür. Yapılan bu çalışmada parasal miktarı düşürmek için önerilerimizden bir tanesi olan armatür değişimi ile elektrik tüketiminden %50 tasarruf edilmiştir. Ledli Panel Armatür'ü kullanarak günlük elektrik tüketimi yarıya düşürülerek enerji tasarrufu sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

BEP-TR (2010). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 05 Aydınlatma, 07 Aralık 2010 Perşembe, Resmi Gazete, Sayı:27778.

BEP-TR (2010). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 07 Referans Bina Belirleme, 07 Aralık 2010 Perşembe, Resmi Gazete, Sayı:27778.

Council, E. (2012). Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings by Establishing a Comparative Methodology Framework for Calculating Cost-optimal Levels of Minimum Energy Performance Requirements for Buildings and Building Elements.

Çelebi, Şen Ş., Öztürk L. (2011) Büro Hacimlerinin İç Yüzeylerindeki Uygun Işıklılık Oranlarının İncelenmesi, 8. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, Türkiye, 14 Nisan 2011, ss.83-86

David DiLaura, K. H., Mistrick, R., & Steffy, G. (2011). The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application. Illuminating Engineering, 10, 429, ABD.

Elektrik İşleri Etüd İdaresi. (2017). www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/konut_ulas/en_tasarruf_ bina_ay.html

EN 15459 (2007). Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings, European Committee for Standardisation.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2009) Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı, Kamuda Verimli Aydınlatmaya Geçiş Raporu, Ankara

Ganiç, N., & Yılmaz, A. Z. (2014). Adaptation of the cost optimal level calculation method of Directive 2010/31/EU considering the influence of Turkish national factors. Applied Energy, 123, 94-107.

Gençoğlu, M. T. (2005). İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu. EMO III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Ankara.

Recast, E. P. B. D. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union, 18(06), 2010.

Şahin, B. E., & Dostoğlu, N. (2015). Okul binaları tasarımında sürdürülebilirlik. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 20(1), 75-91.

Tombak, E. T. (2017). Binalarda Enerji Verimliliği ile İlgili Türk Mevzuatı, TTMD Dergisi, Mart-Nisan, Sayı 108, Sayfa 32 - 37.

Yılmaz, Ö., & Erken, N. (2003). İç Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Tasarrufu. 3E Electrotech Dergisi, Sayı 111.



Bölüm 4

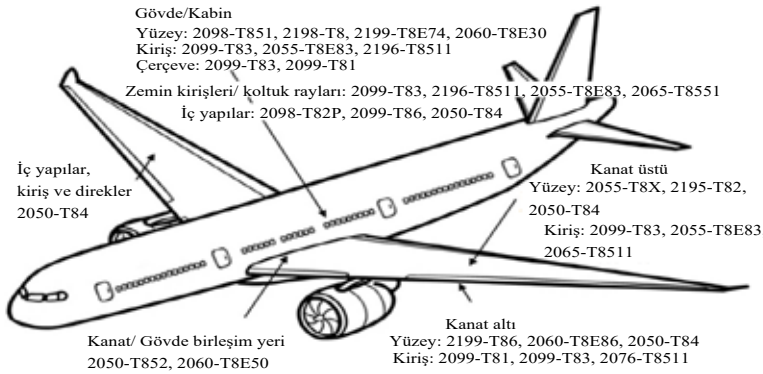
YENİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMALARI

İlyas KACAR[1], Süleyman KILIÇ[2]

1 Dr. Öğr. Üyesi., Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, ikacar@ohu.edu.tr
2 Dr. Öğr. Üyesi., Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik -Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, suleymankilic@ahievran.edu.tr

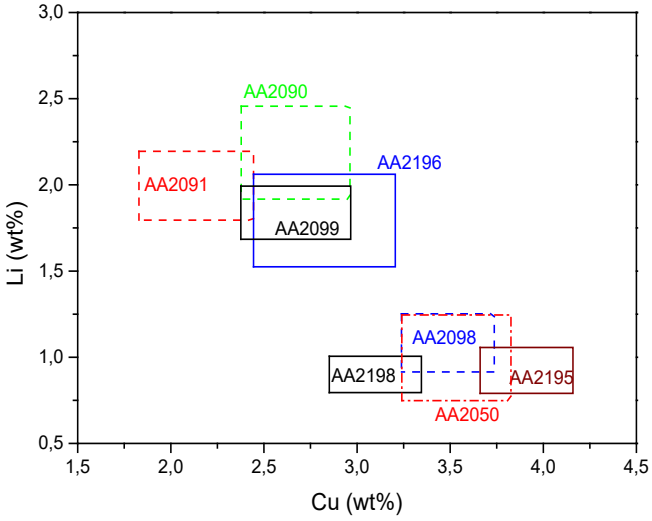
Bu çalışmada, havacılık endüstrisinde son zamanlarda popüler olan Alüminyum-Lityum (Al-Li) alaşımlarından AA2050 ve AA2198 alaşımları hakkında güncel bilgiler verilmiştir. Alüminyum alaşımları; İngilizce "Aluminum Alloy" kelimelerinin baş harfleri olan "AA"'dan sonra, içerisinde barındırdığı katkı elemanlar ine göre 1xxx, 2xxx … şeklinde sembolize edilirler ve sırasıyla bin serisi, iki bin serisi… alaşım diye adlandırılırlar. İki bin serisi alüminyum alaşımlarında öne çıkan element "Lityum" dur. En önemli avantajı düşük yoğunluk sağlamasıdır. En bariz dez avantajı ise korozyona sebep olmasıdır.

Alüminyum alaşımları hafif olmasından dolayı, geçmişten bugüne havacılık endüstrisi için önemli bir malzeme olmuştur. Lityumun alaşımdaki ağırlığının %1 oranında artması, alaşımda %3 yoğunluk azalışı ve elastisite modülünde %6 oranında artış sağladığı bilinmektedir [1]. Bu sayede de hafiflik elde edilmekte ve hava araçlarında daha uzun mesafelere uçuşlar gerçekleştirilmektedir. Havacılık endüstrisinde alüminyum alaşımlarının kullanılması 1900'lü yılların başlarına dayanmaktadır. Al-Li alaşımları da ilk olarak 1920'li yıllarda üretilmeye başlanmış ve hava araçlarında kullanılmıştır. Özellikle hafifletme, korozyona dayanıklılık, yorulma direnci vb. konularda uçak endüstrisi, kendini sürekli olarak yenilemekte ve geliştirmektedir. İki bin serisi alaşımlarda da zaman içerisinde tespit edilen problemlerden dolayı sürekli geliştirmeler yapılmış ve eski nesil, yeni nesil alaşım olarak ta ayrılmışlardır. Günümüzde de geliştirme çalışmaları yoğun olarak devam etmektedir. Şekil 1'de yolcu taşımacılığında kullanılması önerilen yeni nesil malzeme grupları verilmiştir [2].



Şekil 1. *Yolcu taşımacılığında kullanılması önerilen Al-Li esaslı alaşımlardan üretilmiş parçalar [2].*

Şekil 2'de ikinci ve üçüncü nesil Al-Cu-Li alaşımları verilmiştir [3]. Kimyasal bileşimdeki bakır ve lityum içeriğinin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Üçüncü nesil Al-Li alaşımlarının hasar toleransı daha yüksektir [3]. AA2050 alaşımı AA7XXX serisi yerine, AA2198 alaşımı ise AA2XXX serisi yerine kullanılmak üzere geliştirilen alaşımlardır.



Şekil 2. *Al-Li alaşımlarında kimyasal bileşim oranları [3].*

Büyük üreticilerin ise Alcoa, Constellium gibi firmalar olduğu bilinmektedir. Al-Li alaşımlarının üretim maliyetlerinin yüksek olmasından ve ticari pazarda belli sayıda firmanın bu ürünleri üretmesinden dolayı fiyatları yüksek seviyededir. Bu nedenle de Al-Li alaşımları özellikle askeri ve havacılık uygulamalarında tercih edilmektedir. Üretim yöntemlerine bakacak olursak: 2050, 2195, 2098, 2090, 2091; plaka olarak üretilmektedir. 2099, 2196; ekstrüzyon ürünü olarak üretilmekte ve 2198, 2090, 2091 ise sac ürünü olarak üretilmektedir.

1. AA2050 ALAŞIMI

2050 alaşımı hava araçlarında özellikle büyük yapısal parçalarının (üst kanat levhası, alt kanat levhası, gövde, direkler, iskeletler, çerçeveler) imalatında kullanılmaktadır [4]. AA2050 alaşımından üretilen bir ürün; yüksek mukavemet, yüksek hasar toleransı ve düşük yoğunluğun bir arada olduğu benzersiz bir ağırlık tasarrufu potansiyeline sahiptir [5]. Düşük yoğunluğu, mekanik özellikleri ile yorulma direnci arasındaki denge durumu, önceki nesil alaşımlara kıyasla üstün korozyon direnci, Al-Cu-Li alaşımlarının belli başlı dikkat çeken özellikleri arasındadır [6]. AA2050 alaşımını

oluşturan esas elementleri 3.5%Cu + 0.4% Mg + 1% Li oluşturmaktadır. Mukavemet artışına, lityum içermeyen AA2139 (5% Cu- 0.4% Mg + Ag) alaşımında Ω (Al_2Cu) çökeltisi etkili olurken, Al-Cu-Li içerikli alaşımlarda ise T_1 (Al_2CuLi) çökeltisi etkili olmaktadır [6]. Havacılık alanında bu alaşımın sıklıkla, T34 (doğal yaşlanmış durumu) ve T84 (pik yaşlanma durumu) temperleri kullanılmaktadır [7]. AA2050'nin geliştirilme sebebi ise 7050-T7451 ve 2024 alaşımlarının yerine kullanmak içindir [8, 9]. Zira 7050-T7451 alaşımın yerine AA2050-T84 kullanılması durumunda;

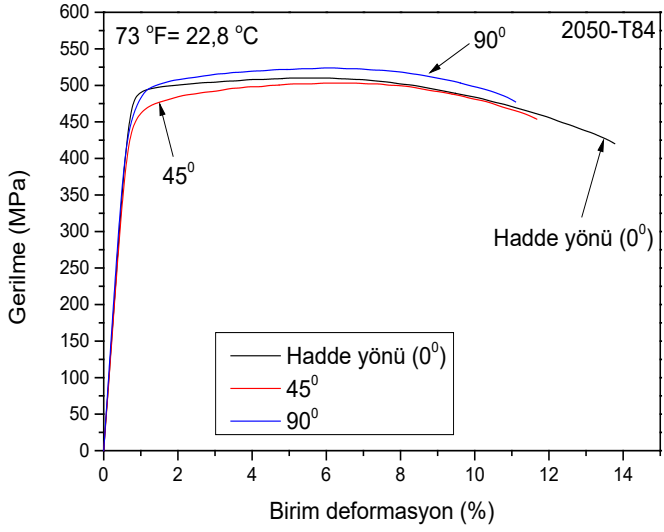
- yaklaşık %8 mukavemet artışı,
- yaklaşık %6 tokluk artışı,
- yaklaşık %4 yoğunluk azalışı,
- kırılma tokluğu dayanımı artışı,
- gerilmeli korozyon çatlamasına karşı direnç artışı

sağlanacağı söylenmektedir [10]. Tablo 1 de bu alaşımın tipik bir kimyasal içeriği verilmiştir.

Tablo 1. *Kimyasal bileşimi [2].*

Alaşım	Li	Cu	Mg	Ag	Zr	Mn	Zn	Yoğunluk, (g/cm^3)
AA2050	1,0	3,6	0,4	0,4	0,11	0,35	0,25 mak.	2,70

Şekil 3'de oda sıcaklığında AA2050-T84 alaşımına ait farklı yönlerdeki gerilme-birim deformasyon eğrileri verilmiştir [11]. Bu alaşımın yöne bağlı olarak çok farklı davranmadığı görülmektedir.



Şekil 3. *2050-T84 alaşımında hadde yönüne göre farklı yönlerdeki gerilme birim-deformasyon eğrileri [11].*

Malzemelerin çok düşük sıcaklıklarda (-196 ^{o}C) soğutularak özelliklerinin incelendiği sıcaklığa "kriyojenik sıcaklık" denilmektedir. Bu alaşım, kriyojenik sıcaklıklara dayanıklı olduğundan O_2 tankı yapımında kullanılmış olup, mevcut kriyojenik tank alaşımları olan AA2195 ve AA2219 ile mukayese edilebilecek özelliklere sahiptir. Akma mukavemeti AA2195 ten düşük olmasına rağmen tank malzemesi olarak kullanılabildiği ifade edilmektedir [12]. Tablo 2'de bu alaşımın faklı temper durumları için mekanik özelikleri verilmiştir [13].

Tablo 2. *Faklı ısıl işlem türleri için mekanik özellikler [13].*

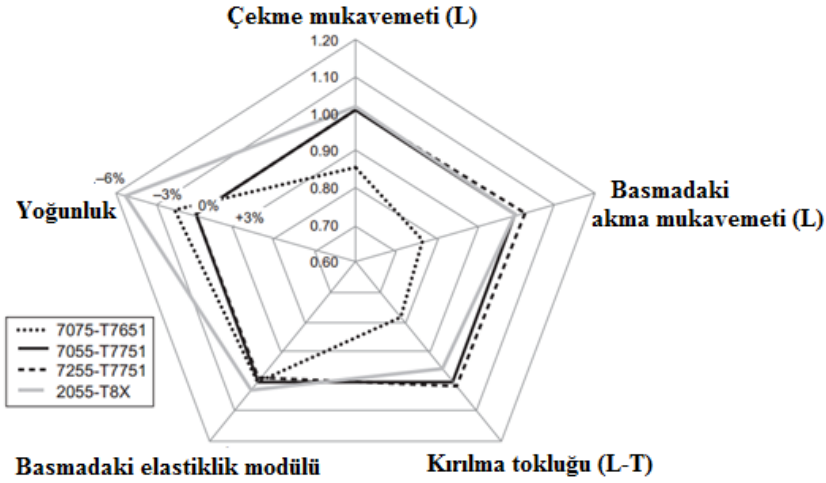
Isıl işlem kodu	**Akma Muk. (MPa)**	**Çekme Muk. (MPa)**	**Uzama (%)**
T34	280	470	20
T84	520	590	10,5

Tablo 3' de ise farklı kalınlıktaki plakaların mekanik özellikleri kıyaslanmıştır [14]. Görüleceği üzere kalınlık değişiminin, mekanik özellikler üzerinde çok fazla etkili olmadığı görülmektedir.

Tablo 3. *Farklı kalınlıklara sahip plaka ürünlerde mekanik özellikler [14].*

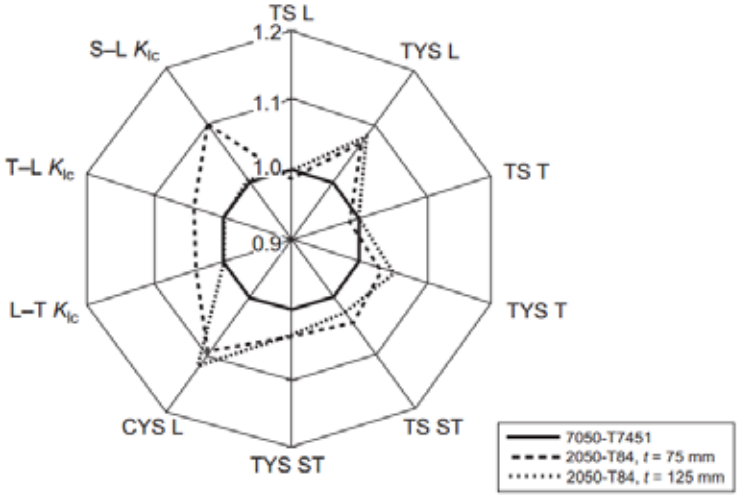
Özellik	**12,7<t<38,1**	**38,1<t<50,8**	**50,8<t<76,2**	**76,2<t<101,6**	**101,6<t<127**	**125<t<175**
Çekme Muk. (MPa)	503	496	496	490	490	490
Akma Muk. (MPa)	476	462	462	462	455	455
Uzama (%)	8	8	7	6	5	4
Kırılma Tokluğu	36	34	31	29	28	24
E (GPa)	76,5					
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,7					

Şekil 4, 5'de yerine geçmesi planlanan alaşımlar ile AA2050 alaşımının özellik karşılaştırmaları verilmiştir [15]. Tablo4'de ise Alcan firması tarafından Airbus A380-800 tipi yolcu uçağı için bu alaşımın uygulama bölgeleri gösterilmektedir [16].



Şekil 4. *Farklı alaşımlarda özelliklerin karşılaştırılması [15].(CYS: basmada akma mukavemeti)*

Plaka şekilli ürünlerin mekanik özellikleri, haddelenme neticesinde değişiklik gösterebildiğinden dolayı, bu gibi ürünlerin özellikleri genellikle hadde yönüne göre tariflenirler. Kartezyen koordinat sistemi kullanmak kafa karıştırıcı olabileceği için hadde yönü "*L*- longitudinal (boyuna)" olarak adlandırılırken, buna dik doğrultu "*T*-transverse (enine)" ve her ikisine de dik olan doğrultuya ise "*N*-normal" yön olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca enine doğrultunun, "*LT*- long transverse (büyük en)" ve "*ST*-short transverse (kısa en)" şeklinde adlandırıldığı da olmaktadır. Şekil ve grafikleri değerlendirirken bu hatırlatmaya dikkat ediniz.



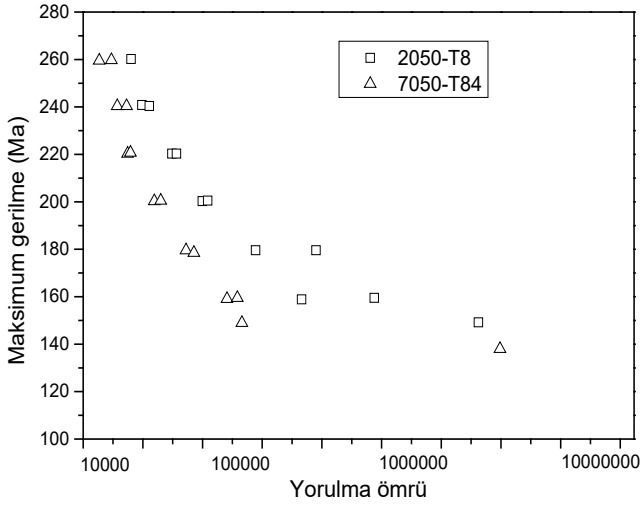
Şekil 5. *AA7050 ve AA2050 alaşımları karşılaştırılması (Direkler, iskelet ve diğer iç yapılar) [15]. (TS: çekme mukavemeti, TYS: çekmede akma mukavemeti,*

CYS: basmada akma mukavemeti, K: Kırılma tokluğu)

Tablo 4. *Airbus A380-800 de kullanılan malzemeler ve kullanım yerleri [16].*

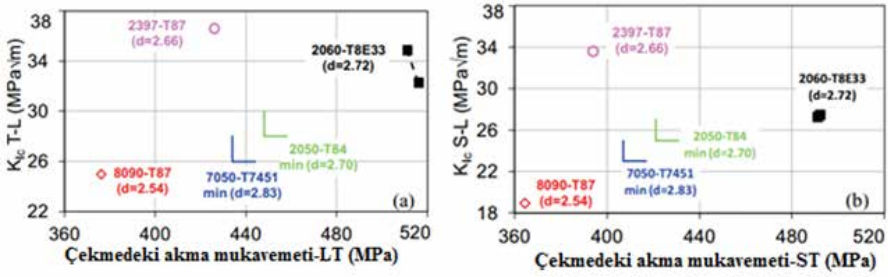
Biçim	Alaşım ve temperi	A 380 uçağında uygulama yeri	Açıklama
Plaka	7056-T7951	Üst kanat panelleri	A380-800F
	7449-T7951	Üst kanat	
	2024A-T351	Alt kanat takviyesi	
	2050-T84	Alt kanat takviyesi	
	2027-T351	Alt dış kanat paneli	A380-800 F
	7010-T7651	Üst dış kanat paneli. Ayar kanadının iskelet kirişleri	Entegre işlenmiş
	7040-77451	Gövde ana çerçeveleri, kokpit pencere çerçeveleri, kirişler, bağlantı parçaları	
	7449-T7651	Alt mastar kanat dişleri	
	7040-T7651	Kanat Uçları	İç ön ve iç merkez
Büyük kesitler	7449-T79511	Üst kanat kirişleri	
	2027-T3511	Alt kanat kirişleri	
	2196-T8511	Zemin-kirişler	
Küçük kesitler	7349-T6511	Koltuk rayları, orta kanat kutusunun takviyeleri	
	7349-T76511	Gövde takviyeleri	
	2024HS-T432	Gövde çerçeveleri	
	6056-T78	Gövde takviyeleri	6056-T78 sac ile ilişkili
	6056-T6	Gövde takviyeleri	6156C1-T6 sac ile ilişkili
	2196-T8511	Zemin yapısı, gövde takviyeleri	
Sac	6056-T78	Kokpit tabanının altındaki basınç perdesi	
	6156C1-T6	Gövde panelleri	

Şekil 6'da havacılık endüstrisinde kullanılan iki farklı malzemenin Wohler diyagramı verilmiştir [4]. Şekilde birbiri yerine kullanılması düşünülen AA2050 ve AA7050 alaşımlarında **yorulma ömürleri** karşılaştırılmış ve AA2050 alaşımının daha iyi olduğu görülmüştür [4]. Bu nedenle AA2050 alaşımının yorulma dayanımı açısından da AA7050 alaşımının yerine geçmesi uygundur.



Şekil 6. *Farklı alaşımlara ait yorulma-ömür grafikleri [4].*

Hava araçlarında, tasarımlarının önemli bir parametresi **kırılma tokluğu** olup, mukavemetle değişim grafiği farklı alaşımlar için Şekil 7' de verilmiştir [17]. Birbiri yerine geçmesi planlanan AA7050 ve AA2050 serisi alaşımlardan AA2050-T84 alüminyum alaşımının hem daha yüksek mukavemete sahip olduğu hem de daha yüksek kırılma tokluğuna sahip olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığından -160 °C sıcaklığa düşüldüğünde AA2050-T84'ün kırılma tokluğunda bir artış olduğu da ayrıca gözlemlenmiştir. [12].



Şekil 7. *51-76mm kalınlıklara sahip farklı alaşımların LT ve ST doğrultularındaki mukavemet-kırılma tokluğu değişim grafiği (d: yoğunluk g/cm³) [17].*

Bu alaşımlar plaka şeklinde üretilmiş olduğundan dolayı talaşlı imalat yöntemleri ile istenilen şekiller verilebilmektedir. **Talaşlı işlenebilirlik**; işleme planında istenen geometrik ve boyutsal özelliklere sahip parçalar üretme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Talaşlı işleme tabi tutulan parça ile tasarlanan parça (CAD) arasında ne kadar az fark olursa, işlenmiş parçanın kalitesi o kadar iyi olur. İşlenmiş parçadaki kalite, artık gerilmelerin ortaya çıkması sebebiyle de zaman içerisinde bozulmamalıdır.

• Kesme kuvvetleri nispeten küçüktür ve kesme kuvvetlerine bağlı olarak ortaya çıkan bozukluklar sadece ince kenarların işlenmesi sırasında ortaya çıkabilmektedir. Bu durum, bu alaşımın çok iyi işlenebilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

• İşleme sırasının ve takım yolunun, işleme kalitesi üzerindeki etkileri genellikle göz ardı edilebilecek kadar azdır [18].

• Soğutma sıvılarının kullanılması, ısının yeterince transfer edilebilmesinde yeterli olmaktadır.

• Al2198-T3 ile kıyaslandığında AA2050'den imal edilen parçanın işlenmesi neticesinde ayna gibi parlak bir yüzey elde edilmiştir [19].

• Kimyasal talaş kaldırma işlemi çok artık bırakmıştır. Bu nedenle bu yöntem ile verimli bir talaş kaldırmak için özel ekipman gerekmektedir [20].

• AA2050 plakaların artık gerilme miktarları, varil yöntemi kullanılarak ölçüldüğünde, artık gerilmelerden etkilenen derinliğin, frezeleme işlemi baz alındığında 250 μm'nin altında kaldığı görülmüştür. Buda, bu alaşımın önceki nesil alaşımlardaki artık gerilme oluşma dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Artık gerilmelerin az olması, işlenen parçanın zaman içerisinde özelliğini muhafaza edeceği anlamına gelmektedir [21].

• Alcan Aerospace tarafından üretilen AA2050, yerleşik AA2024 alaşımına (ve hatta AA2024A ve AA2027 gibi yüksek hasara toleranslı versiyonlarına) ve AA7050 alaşımına göre düşük yoğunluklu olup korozyona daha dayanıklıdır.

Bir Al-Cu-Li alaşımı olan AA2050'nin, talaşlı imalat açısından da, yerine geçmesi planlanan alaşımlar ile benzer davranışlar sergilediği görülmüştür [9]. Bu nedenle AA7050 alaşımından imal edilmiş olan bir yapısal parça, tekrar tasarlanmadan AA2050 alaşımından da talaşlı imal edilebilecektir [9].

2. AA2198 ALAŞIMI

Yoğunluğun, hafifletme işlemlerinde en etkili parametre olduğu bilinmektedir [22]. Bazen mukavemet %15 artırıldığında yaklaşık %4 lük bir hafifletme elde edildiği görülürken, yoğunluğun %15 düşürülmesi ile yaklaşık %14 lük bir hafifletme elde edilebilmektedir. Her ne kadar birinci nesil ve ikinci nesil Al-Li alaşımlarının yoğunluğu 2,4 g/cm^3 mertebesine kadar düşürülebilmiş ise de ürünlerde daha sonradan meydana gelen çatlama, korozyon gibi nedenlerden dolayı üçüncü nesil grubunda yer alan AA2050 ve AA2198 alaşımlarının yoğunlukları 2,7 g/cm^3 civarındadır (Tablo 5).

Tablo 5. *Kimyasal bileşimi [2].*

Alaşım	Li	Cu	Mg	Ag	Zr	Mn	Zn	Yoğunluk, (g/cm3)
AA2198	1,0	3,2	0,5	0,4	0,11	0,5 mak	0,35 mak	2,69

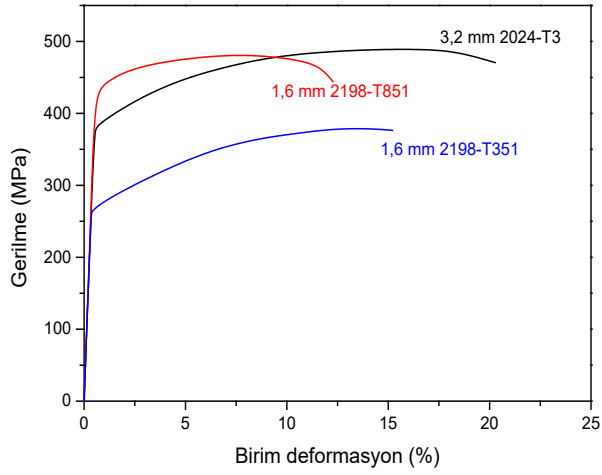
Tablo 6'da bu malzemelerin bazı mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 6. *Farklı ısıl işlem görmüş AA2198 alaşımın mekanik özellikleri*

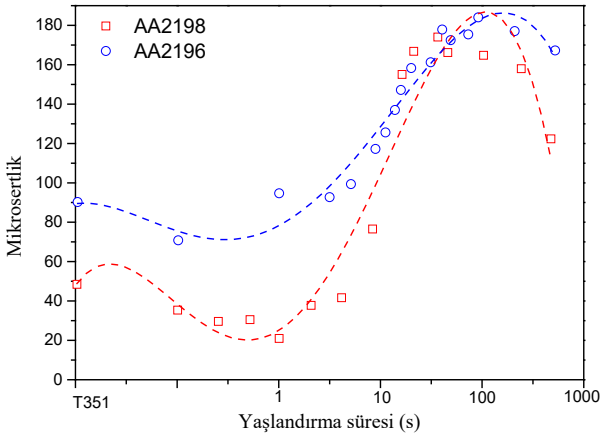
Isıl işlem kodu		Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)	Anizotropi	Referans
T3	0	324	442	13	0,52	[23]
	90	300	416	15,4	1,63	
	45	266	363	21,1	1	
T3	0	385	475	14,5	0,951	[24]
	90	322,5	432,5	17,2	2,073	
	45	337,5	455	15,9	0,779	
T8	0	490	530	14	0,64	[23]
	90	470	512	12,3	1,25	
	45	404	453	13	1,06	

T3: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış, T8: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

Şekil 8'de farklı temperlerdeki AA2198 alaşımı ve yerine geçeceği AA2024 alaşımına ait gerilme-birim deformasyon eğrileri verilmiştir [25]. AA2024 alaşımının, AA2198'den biraz daha sünek olduğu görülmektedir. Mukavemet seviyesinin ise ısıl işlem durumu ile ayarlanabileceği görülmektedir. Şekil 9' da ise uygulanan yaşlandırma süresinin sertliğe olan etkisi gösterilmiştir.

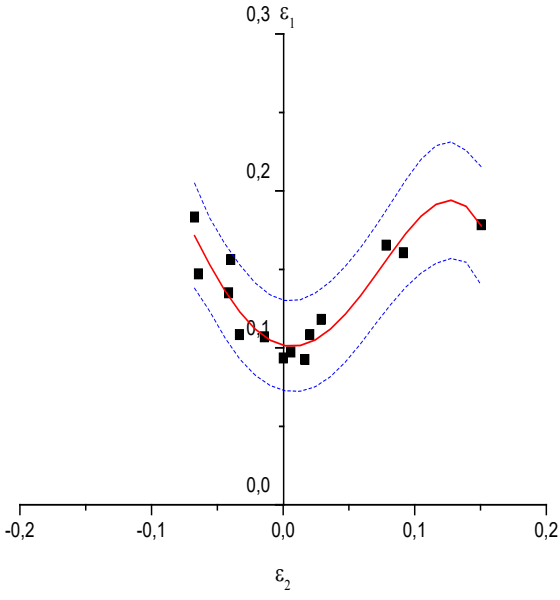


Şekil 8. *Farklı alaşımların gerilme-birim deformasyon eğrileri [25].*



Şekil 9. *Farklı alaşımlarda yaşlandırmanın mikro sertliğe etkisi [26].*

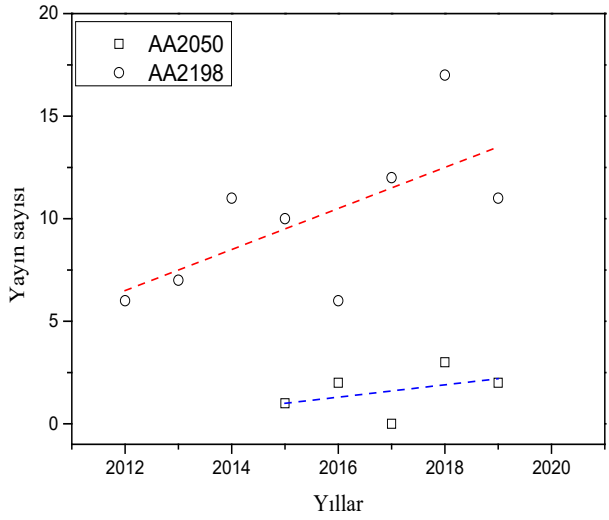
Bu alaşım sac formunda üretildiği için şekillendirilebilme sınır diyagramı (ŞSD), istenilen şeklin alıp almaması bakımından bu malzeme için önemli bir göstergedir. Yarım küre şeklinde bir zımba kullanılarak deneysel olarak şekillendirilebilme sınır diyagramı (ŞSD) oluşturulmuştur [24]. Sekiz farklı deneysel numune kullanılarak elde edilen ŞSD eğrisi Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. *2198-T3 alaşımında ŞSD eğrisi [24].*

3. ARAŞTIRMA SAYILARI

SCOPUS verilerine göre geçmiş yıllardan itibaren yapılmış yayın sayıları aşağıdaki Şekil 11'de verilmiştir [27]. Kaynak tarama kısmında yayın başlığı, özet ve anahtar kelimeler referans alınmıştır. Grafiğe göre bu AA2050 ve AA2198 alaşımlarının literatürde oldukça yeni olduğu görülmektedir. Bu nedenle çok fazla detaylı araştırma yapılması gerekmektedir. Özellikle diğer alaşım gruplarına göre pahalı bir malzeme olmasından dolayı yapılacak işin olumlu ve olumsuz yanları iyice hesaplanmalıdır.



Şekil 11. *Yıllara göre araştırma sayılarının değişimi [27].*

SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki bin serisinin üçüncü nesil AA2050 ve AA2198 alaşımları için mevcut durum değerlendirmesi sunulmuştur. Mümkün olan datalar kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bu iki alaşım çok yeni olmakla birlikte hafifletme stratejilerinin öne çıktığı uygulamalarda, özellikler havacılık endüstrisinde yer edineceği görülmektedir. AA2050 alaşımının talaşlı işleme, yorulma, kırılma tokluğu, mukavemet açısından AA7050 alaşımının yerine geçebileceği, bu durumda da ilaveten yoğunluk kazancı, korozyon direnci elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Havacılık endüstrisindeki yapısal parçaların doğrudan yer değiştirme olarak kullanılabilecektir.

AA2198 alaşımı hakkında daha az bilgi olmakla beraber, mukavemet, süneklik gereksinimi olan uygulamalarda bu alaşımın muadil olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Literatürde mevcut çalışmalar ilerledikçe, yerini alabilecek alaşım türlerinin de artacağı düşünülmektedir.

KANAKLAR

[1] A. M. Media. (2017). *Production ramps up for Aluminum-Lithium Alloys*. Available: http://advancedmanufacturing.org/production-ramps-aluminum-lithium-alloys/

[2] N. E. Prasad, A. Gokhale, and R. Wanhill, *Aluminum-lithium alloys: processing, properties, and applications*: Butterworth-Heinemann, 2013.

[3] D. Tsivoulas, "Effects of combined Zr and Mn additions on the microstructure and properties of AA2198 sheet," 2011.

[4] A. Daniélou, J. Ronxin, C. Nardin, and J. Ehrström, "Fatigue resistance of Al-Cu-Li and comparison with 7xxx aerospace alloys," in *ICAA13 Pittsburgh*, ed: Springer, 2012, pp. 511-516.

[5] Constellium, "Airware 2050-T84 PLATE ®," vol. XXXX_ airware_2050_t84_plate.pdf, 2017.

[6] C. Henon and S. Rouault, "Comparison of corrosion performance and mechanisms of Al-Cu alloys with and without Li addition," in *ICAA13 Pittsburgh*, ed: Springer, 2012, pp. 431-436.

[7] Y. Li, Z. Shi, J. Lin, Y.-L. Yang, and Q. Rong, "Extended application of a unified creep-ageing constitutive model to multistep heat treatment of aluminium alloys," *Materials & Design,* vol. 122, pp. 422-432, 2017.

[8] S. J. Hales and K. M. Taminger, "Aerospace Applications of Aluminum-Lithium Alloy Thick Plate."

[9] P. Lequeu, K. P. Smith, and A. Daniélou, "Aluminum-Copper-Lithium Alloy 2050 Developed for Medium to Thick Plate," *Journal of Materials Engineering and Performance,* vol. 19, pp. 841-847, August 01 2010.

[10] Constellium. (2019). *Airware®2050-T84 PLATE*. Available: https://www.constellium.com/sites/default/files/markets/airware_2050_t84_plate.pdf

[11] R. A. Hafley, M. S. Domack, S. J. Hales, and R. N. Shenoy, "Evaluation of Aluminum Alloy 2050-T84 Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Cryogenic Temperatures," 2011.

[12] R. D. Hafley, Marcia & Hales, Stephen., "Evaluation of Aluminum Alloy 2050-T84 Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Cryogenic Temperatures.," *Technical Report,* vol. accepted manuscript.pdf, 2011.

[13] M. Guérin, J. Alexis, E. Andrieu, C. Blanc, and G. Odemer, "Corrosion-fatigue lifetime of Aluminium–Copper–Lithium alloy 2050 in chloride solution," *Materials & Design,* vol. 87, pp. 681-692, 2015.

[14] https://www.constellium.com/sites/default/files/markets/airware_2050_t84_plate.pdf.

[15] R. J. H. Wanhill and G. H. Bray, "Chapter 2 - Aerostructural Design and Its Application to Aluminum–Lithium Alloys," in *Aluminum-lithium Alloys*, N. Eswara Prasad, A. A. Gokhale, and R. J. H. Wanhill, Eds., ed Boston: Butterworth-Heinemann, 2014, pp. 27-58.

[16] P. Lequeu, P. Lassince, and T. Warner, "Aluminum alloy development: For the airbus A380-Part 2," *Advanced materials & processes,* vol. 165, pp. 41-44, 2007.

[17] J. Boselli, G. Bray, R. Rioja, D. Mooy, G. Venema, G. Feyen*, et al.*, "The Metallurgy of High Fracture Toughness Aluminum-Based Plate Products for Aircraft Internal Structure," in *ICAA13 Pittsburgh*, ed: Springer, 2012, pp. 581-586.

[18] X. CERUTTI, "Numerical modelling and mechanical analysis of the machining of large aeronautical parts: Machining quality improvement," ParisTech INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MINES ParisTech, CEMEF - UMR CNRS 7635, 1 Rue Claude Daunesse, 06904 Sophia Antipolis, France, 2014.

[19] A. R. Summary, "Final Report Summary - AFSIAL (Advanced fuselage and wing structure based on innovative Al-Li alloys) " *Project ID: 296595,* vol. Funded under: FP7-JTI.

[20] ECSS, "Space engineering " *ECSS Secretariat, ESA-ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands* vol. ECSS-E-HB-32-20_Part5A.pdf, 2011.

[21] K. P. S. Ph. Lequeu, and A. Danie lou, B. S., "Aluminum-Copper-Lithium Alloy 2050 Developed for Medium to Thick Plate," *JMEPEG,* vol. XXXX_Aluminum-Copper-Lithium Alloy 2050 Developed.pdf, 2010.

[22] J. Ekvall, J. Rhodes, and G. Wald, "Methodology for evaluating weight savings from basic material properties," in *Design of Fatigue and Fracture Resistant Structures*, ed: ASTM international, 1982.

[23] J. Chen, Y. Madi, T. F. Morgeneyer, and J. Besson, "Plastic flow and ductile rupture of a 2198 Al–Cu–Li aluminum alloy," *Computational Materials Science,* vol. 50, pp. 1365-1371, 2011/02/01/ 2011.

[24] X. Li, N. Song, G. Guo, and Z. Sun, "Prediction of forming limit curve (FLC) for Al–Li alloy 2198-T3 sheet using different yield functions," *Chinese Journal of Aeronautics,* vol. 26, pp. 1317-1323, 2013.

[25] N. D. Alexopoulos, E. Migklis, A. Stylianos, D. P. Myriounis, and B. Prajeesh, "Fatigue behavior of the aeronautical Al–Li (2198) aluminum alloy under constant amplitude loading," *International Journal of Fatigue,* vol. 56, pp. 95–105, 2013.

[26] T. Kvačkaj, J. Bidulská, R. Kočiško, and R. Bidulský, "Effect of Severe Plastic Deformation on the Properties and Structural Developments of High Purity Al and Al-Cu-Mg-Zr Aluminium Alloy

“ vol. 134876795-Aluminum-Alloys-Theory-Application-2011.pdf.
[27] https://www.scopus.com.



Bölüm 5

SYMPES YÖNTEMİYLE MEDİKAL GÖRÜNTÜLERİN MODELLENMESİ

İnci ZAİM GÖKBAY[1]

1 Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Üniversitesi, Enformatik Bölümü, inci.gokbay@istanbul.edu.tr

1. Giriş

Sinyal işleme, verilerin yakalanıp ölçme ve değerlendirme işleminden sonra, farklı bir cihazda okunabilir bir biçimde dönüştürülmesi ya da elektronik bir ortamdan başka bir elektronik ortama aktarılmasına yönelik bir çalışmadır. Görüntü işleme ise sinyal işlemeden farklı olarak bir görüntüden yeni bir görüntünün veya görüntü içeriğinde bulunan verilerin elde edilmesi işlemlerini gerçekleştiren tüm analiz uygulamalarını kapsamaktadır (Gonzalez and Woods 2007). Görüntü işleme yöntemleri, sayısal görüntünün elde edilmesinin ve kaydının kolaylaşmasıyla günümüzde daha da önemli hale gelmiştir. Bu tekniklerin kullanımıyla birbirinden farklı birçok bilim dalında çalışmalar yürütülmekte ve günlük hayatımızda da yaygın biçimde kullanılmaktadır. Örneğin; elimizdeki cep telefonlarında dahi kullanılan yüz, parmak izi tanıma gibi güvenlik sistemlerinden, elektromanyetik radar sistemlerine, medikal sistemlerden, yer ve gök bilimi araştırmalarına, haritalama ve kontrol sistemlerinden insan davranışının analizine kadar birçok alanda etkin biçimde kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle görüntü işleme teknikleri öngörmeye dayalı önleme hizmetlerinde de yer almaktadır. Bu sistemler sayesinde farklı disiplinlerdeki birçok patolojik davranış biçimine ilişkin bilgiler edinilmekte, hatta gerekli durumlarda önlemler alınarak davranıştan en az hasar görülmesi sağlanmaktadır. Coğrafi alanlarda yapılacak öngörmeyle oluşabilecek doğal felaketlerden en az etkilenme sağlanabilmektedir. Klinik ortamda bu hizmeti sunan veya hekimin uzmanlık dışı ya da deneyim dışı gözünden kaçabilecek ufak ayrıntıları dahi yakalama kapasitesinde olan sistemler klinik karar destek sistemleridir (CDSS). CDSS, ham verileri klinisyenlerin hastalar için daha iyi kararlar almasına yardımcı olmak için yararlı bilgilere dönüştüren analitik bir araçtır (Jamal, McKenzie, and Clark 2009). CDSS, elektronik sağlık kaydında (EHR) uygulanabilir ve tedavi planında bir çelişki olduğunda klinisyenleri uyarabilir veya bir hastanın tedavisini klinik verilerdeki açık olmayan örüntülere göre değiştirmek gerektiğine ilişkin bilgiler sunabilir (Andersen 2002; Moxey et al. 2010). Tüm destek sistemleri gibi CDSS'ler arka planda yoğun biçimde sinyal ve görüntü işleme tekniklerinden elde edilen sonuçlardan bilgi almaktadır.

Tanı alanında, tıbbi görüntüleme yaygın olarak kullanılması nedeniyle önemli bir rol oynamaktadır. Hastanenin her alanında hasta bakımını da etkilemektedir (Abujudeh et al. 2010). Görüntüleme zincirinin başlangıcında CDSS, yönlendiren hekimlere ve diğer sağlayıcılara en uygun görüntüleme kararlarını vermede yardımcı olmak için kanıta dayalı öneriler sağlamaktadır. Görüntüleri alırken, bu sistemler kontrast ajanları ve alerjilere kontrendikasyon gibi sorunlar için uyarılar ve hatırlatmalar sağlayabilmekte ve ayrıca olumsuz ilaç reaksiyonlarına yol açabilecek hataları tespit edip düzeltebilmektedir. Yorumlama ile ilgili olarak, bu sistemin uygulanması

radyologları destekleyebilmekte ve daha doğru yorumlamalarına yardımcı olabilmektedir. Görüntü bulguları sırasında hataları azaltmaya, tanı koymak için bu bulguların yorumlanmasına ve vaka yönetimi ile ilgili karar ve önerilere yardımcı olabilmektedir. Zincirin sonunda, sonuçların iletilmesinde, bu sistemler zamanında rapor geri dönüşünü, kritik test sonuçlarının iletişimini ve takip muayeneleri ihtiyacını bildirebilmektedir (Brook et al. 2010; Mendelson and Rubin 2013; Rubin 2011).

CDSS'lerin tüm bu hayat kolaylaştıran ve iş yükünü azaltan özelliklere sahip olması nasıl oldu? Aslında tüm bu sistemlerin temelinde görüntü işleme ve sıkıştırma için yapılan araştırmalar yatmaktadır. Örneğin mamogram görüntüleri üzerinde iyi huylu / kötü huylu kitle ayrımını gerçekleştiren bir Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) sisteminin önerildiği; ön-işleme, bölütleme, özellik çıkarma ve sınıflama aşamalarından oluşan sistem nodülleri %90 oranında doğru hesaplanmıştır (Dandıl, Ekşi, and Çakıroğlu 2015). Beyin MR görüntülerindeki tümörlerin otomatik olarak tespit edilmesi için geliştirilen sistemle 13 hastaya ait 845 adet MR görüntü kesiti üzerinde %86.39 sınıflandırma başarısı elde edilmiştir (Ari, Alpaslan, and Hanbay 2015). Bu sistemlerin özellikle CDSS'lere entegre biçimde çalışması hekimin deneyiminden bağımsız olarak hastalığın en kısa sürede teşhisinin konulmasına destek verilmesinde temel adımları oluşturmaktadır. Bu çalışmaların en büyük başarısı mümkün olan en yüksek sayıda ve farklı olasılıklara sahip görüntülerle beslenmesidir. Bunun en büyük getirisi ise bu verilerin saklanması için gerekli alan problemidir. Bu nedenle verilerin depolanması için teşhise elverişli biçimde sıkıştırılarak saklanması önemlidir.

Dünyada insanların halen kalp damar hastalıkları, kanser, solunum yolları hastalıkları ve diyabet gibi önlenebilir hastalıklardan hayatlarını kaybetmesi elde edilen verilerin önleyici sistemlerin gelitirilmesinde ne kadar zaruri olduğunun göstergesidir. Bu çalışmanın konusu olan kanser hastalarından elde edilen medikal görüntülerde doktorun elde edilen görüntüye bakmasıyla sağlanacak erken teşhis hayat kurtarıcı niteliktedir. Medikal görüntülerde sistemin başarısı diğer görüntülerde başarım ölçütü sayılan PSNR değerlerinden bağımsızdır. Normal bir görüntü için çok iyi sonuçlar elde edilirken medikal görüntülerde kullanıldığında anlamsız sonuçlar elde edilmesine sebep olabilmektedir. Bu çalışmada anlatılan yöntem bu nedenle farklı kurumlarda çalışan tecrübe ve bilgi deneyimi farklı radyoloji hekimleri tarafından incelenerek yorumlanmıştır.

Önerilen yöntem iki temel oluşum adımından ve her temel oluşum adımını oluşturmak için kullanılan matematiksel yöntem olmak üzere 3 ana kısımdan oluşmaktadır:

Birinci Adım: Kodlama (encoder) ve kod çözücü (decoder) evrelerin-

de uygulanacak matematiksel metodun anlatılması,

İkinci Adım (Birinci oluşum adımı): Kod kitabı olarak nitelendirilen veri tabanındaki medikal görüntülerden özelleştirilmiş enerji ve yapı öbeklerinin oluşturulması,

Üçüncü Adım (İkinci oluşum adımı): Yeniden oluşturulacak medikal görüntünün özelleştirilmiş enerji ve yapı öbeklerinin oluşturulmasıdır.

2. Görüntü Sıkıştırma Algortimalarında Kullanılan Matematiksel Yaklaşımlar

Sayısal görüntü işleme yöntemleri *özelleşmiş* alanına göre ve amac*ına* uygun olarak farklı yöntemler kullanmaktadır. Adım adım incelenirse tüm süreç g*örüntü*nün zenginleştirilmesi, g*örüntünün onarılması*, g*örüntü*nün kodlanması ve sıkıştır*ıl*ması, görüntünün bölütlenmesi, bölütlenen *görüntülerin sınıflandırılarak* bireysel düzeyde sınıflandırılması ya da birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya çıkarılması da görüntü algılanması olarak sıralanabilir. Bu çalışmanın konusu olan g*örüntü kodla*nması ve sıkıştır*ıl*ması sayısal bir görüntüyü yeterli miktarda temsil edebilecek en düşük veri miktarının bulunması çalışmalarıdır (Gonzales and Woods 2002).

Görüntü sıkıştırılması; kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Kayıpsız görüntü sıkıştırmada sıkıştırılan görüntü orijinaliyle aynı olacak şekilde elde edilmektedir. Ancak bu tip sıkıştırma yöntemleri düşük oranda sıkıştırma sağlamaktadır. Daha yüksek oranlarda sıkıştırma ihtiyacının olduğu durumlarda ise sıkıştırılan görüntünün orijinaliyle aynı olmadığı kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Kayıplı görüntü *sıkıştırmalarının temeli* verinin mümkün olduğunca az bilgi ile ifade edilmesini sağlamak, bunun yanında da kalitesini mümkün olduğunca korumaktır. Bunun için görüntünün içerisinde onu oluşturan pikseller arasındaki ilişki ilintisizleştirilmeye çalışılmaktadır. İlk çalışmalarda önce teorik olarak optimal olan fakat oldukça karmaşık Karhunen-Loeve dönüşümü (KLT) kullanılmıştır. KLT, Hilbert uzayına benzer iç çarpımlı, tam düzgünleştirilmiş doğrusal bir vektör uzayı ile sınırlıdır. Sayısal işaretler ile çalışılması nedeniyle gerçel ve sonlu boyutlar yönünden de sınırlandırmalar da gerekmektedir. Bu yöntemde amaç, varsayılan uzay içinde uzayı oluşturan $u_i=\{i=1,2,3\ldots,M\}$ gerçek vektör kümesinin birbirleri ile ilintisiz ve N uzunluğunda φ temel vektör serileri ile temsil edilmesini sağlamaktır. Ancak karmaşıklığı nedeniyle yeni arayışlar içine girilmiştir. Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT), sıkıştırma performansı ve hesaplama verimliliği nedeniyle birçok pratik görüntü / video sıkıştırma sisteminde yaygın olarak kullanılmıştır. Frekans alanında uygun enerji dağılımı göstermesinden JPEG (Pennebaker and Mitchell 1992), MEPG (Le Gall 1992) ve H.26x (Recommendation 1993) ve HDTV yayınları da dahil

olmak üzere birçok görüntü ve video sıkıştırma standardı tarafından kabul edilmiştir.

DCT sinyal veya görüntünün frekans bilgisinin elde edilmesini sağlmaktadır. Yöntem zaman içinde frekans bilgisi değişmeyen sinyaller için tersine işlem uygulandığında sorunsuz olarak çalışırken, zaman içinde frekans bilgisi değişen sinyaller için hangi frekansın hangi zaman diliminde etkin olduğu bilinemediği için tersine işlem sırasında sorun yaşanmasına neden olmaktadır (Polikar 1996). Zaman-frekans düzleminde yaşanan bu yetersizlik sorunu çoklu çözünürlük analizlerinin temelini oluşturan Dalgacık Dönüşümünün ortaya atılmasını sağlamıştır. İlerleyen çalışmalarda hibrid algoritmalar kurgulanarak daha fazla sıkıştırma oranında daha kaliteli bir görüntünün yeniden yapılandırılması üzerine çalışmalar yapılmıştır.

SYMPES modeli ses sinyallerinin yeniden yapılandırılmasında önerilmiştir (U Guz, Gurkan, and Yarman 2006). Yöntemde özelleştirilmiş zarf ve imza fonksiyonlarının tanımlanmasıyla EKG (GÜRKAN, YARMAN, and GÖNÜLEREN 2011) ve EEG (Gurkan, Guz, and Yarman 2008) sinyallerinin de yapılandırılmasında başarıyla kullanılmıştır. 2011 yılında ise metod görüntünün yeniden yapılandırılmasında kullanılmıştır (Umit Guz 2011). Bu çalışma kapsamında ise modelin MR, CT, Röntgen, Ultrason gibi farklı görüntüleme teknikleri kullanılarak elde edilen medikal görüntülerin teşhise elverişli biçimde sıkıştırılması ve yeniden yapılandırılma sırasında kullanılan veri tabanlarının içeriklerinin gelen görüntüyle olan ilişkisi incelenmiştir. Son olarak ölçekleme sabiti, özelleştirilmiş enerji ve yapı öbeklerinin farklı kombinasyonlarının kullanılmasıyla daha fazla sıkıştırmanın sağlanması yönünde analizler yapılmıştır.

3. Özelleştirilmiş Enerji ve Yapı Öbeklerinin Bulunmasında Kullanılan Matematiksel Yöntem

3.1. Veri Tabanının Oluşturulmasında Kullanılan Görüntüler

Çalışma kapsamında MR, CT ve Dijital Röntgen olmak üzere toplam 60 hastadan elde edilen farklı açılardan toplam 21.963 görüntü kullanılmıştır. Görüntüler cihazlardan dicom formatında alınmıştır. Arşivden alınan görüntüler rasgele seçimlerle Tablo 1'de verilen dağılımlarda veri tabanı görüntüleri, deney seti görüntüleri ve test seti görüntüleri olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Görüntüler birbirinden ayrılırken karışıklık yaşanmaması için kodlanmıştır. Örneğin, DB_CT_BR_4; veri tabanında bulunan bilgisayarlı tomografi yöntemi ile elde edilmiş 4 numaralı hastanın beyin görüntüsüdür. DS_MR_MM_2 deney setinde bulunan manyetik rezonans yöntemi ile elde edilmiş 2 numaralı hastanın meme görüntüsüdür.

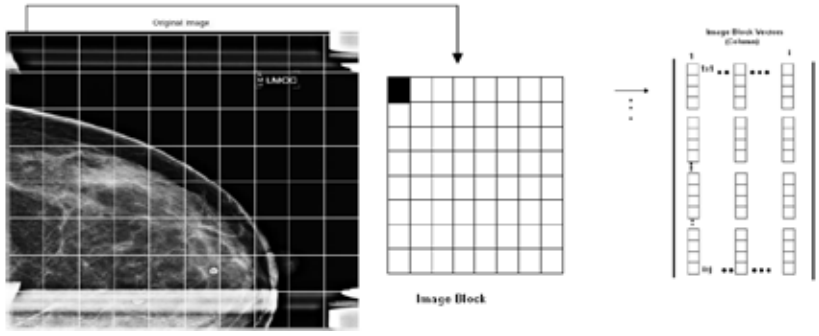
Tablo 1. Oluşturulan Veri Tabanlarının Dağılımı

Görüntüleme Yöntemi	Hasta Sayısı	Veri Tabanı	Deney Seti	Test Seti
MR	30	5	5	5
CT	24	5	5	5
Dijital Röntgen	7	0	4	3

3.2. Temel Tanım (Enerji) ve Yapı Öbeklerinin Oluşturulmasında Kullanılan Matematiksel Yöntem

Enerji ve yapı öbeklerinin oluşturulması aşamasında iki farklı görüntüleme yönteminden her biri için 3 farklı veri tabanı için 3 farklı biçimde enerji ve yapı öbeği oluşturulmuştur. Bu öbeklerin oluşturulması için görüntü bloklarına ayrılmaktadır. Her görüntü esasında 0-255 arasında tam sayı veya 0-1 arasında gerçek değerlerin girişlerinin olduğu MxN boyutunda *Im(m,n)* olarak adlandırılan bir veri matrisidir. Görüntüyü oluşturan piksel indislerinin satır ve sütunları sırasıyla M ve N değerleriyle ifade edilmektedir.

İlk adım olarak şekil 1'de de gösterildiği üzere görüntü bloklarına ayrılmaktadır. Bu bloklar üst üste binmemekte, $i=j=(n\geq 2)$ boyutunda ve olarak tanımlanmaktadır. ile ifade edilen boyut konumu k 'ıncı satır ve l'inci sütun bloklarındaki piksellere aittir. Ve piksel indisleri $k=1 \ldots i$ ve $l=1 \ldots j$ biçiminde ifade edilmektedir.



Şekil 1. Görüntünün Bloklarına Ayrılması ve Vektör Formunda Yeniden Düzenlenmesi

Görüntü veri matrisi olan *Im(m,n)* 'nin barındırdığı toplam blok sayısı ile tanımlanmaktadır ve $N_B = \frac{MxN}{ixj}$ 'ye eşit olmaktadır. $B_{r,c}$ ile ifade edilen görüntü bloklarının indislerinin ifadesi sırasıyla, $r = M / i$ ve $c = N / j$ aralığında olmaktadır. Şekil 1 'den de görüleceği üzere, soldan sağa sütun

matrisi olarak $B_{r,c}$'lerin yeniden yapılandırılmasıyla yeni bir matris oluşturulmakta ve B_{lm} ile ifade edilmektedir. Farklı veri tabanlarının oluşturulması amacıyla tamamı eşit sayıda piksele sahip olan, farklı kombinasyonlarda ve sayılarda ki görüntüler enerji ve yapı öbeği oluşturmak için seçilmiştir. Oluşturulan enerji ve yapı öbekleri CEPB ile ifade edilmiştir. Tüm görüntü dosyalarında aynı sayıda, N_B, görüntü bloklarına sahip olunabilmesi için veri tabanında yer alan tüm görüntüler, eşit ixj (16×16 (i=j=16)) görüntü bloklarına bölünmektedir. Formül 2.1'de ifade edilen görüntü verisi matrisi öbekleme işlemi sonunda elde edilmektedir;

$$Im = \begin{bmatrix} B_{1,1} & B_{1,2} & \cdots & B_{1,\left(\frac{N}{j}\right)-1} & B_{1,\left(\frac{N}{j}\right)} \\ \vdots & & \ddots & \vdots & \\ B_{\left(\frac{M}{i}\right),1} & B_{\left(\frac{M}{i}\right),2} & \cdots & B_{\left(\frac{M}{i}\right),\left(\frac{N}{j}\right)-1} & B_{\left(\frac{M}{i}\right),\left(\frac{N}{j}\right)} \end{bmatrix} \quad 2.1$$

Bu adımın ardından her görüntü bloğu *ixj* pikseli olacak şekilde yeniden şekillendirilmekte ve bir sütun vektörüne dönüştürülmektedir. Elde edilen görüntü blok vektörü ise, *IBV*, olarak tanımlanmaktadır.

$$B_{Im} = \left[B_{1,1} \quad \dots \quad B_{1,\left(\frac{N}{j}\right)} \; B_{2,1} \quad \dots \quad \dots \quad B_{\left(\frac{M}{i}\right),\left(\frac{N}{j}\right)}\right] \quad 2.2$$

IBV olarak ifade edilen görüntü blok vektörü B_{lm} matrisinin, uzunluğu L_{IBV}=*ixj* (8x8=64, 16x16=256,.. vs) biçimindeki sütunlarıdır.

Önceki adımlarda da bahsedildiği gibi, yöntemdeki ölçekleme sabiti, enerji ve yapı öbeklerinin çarpımından elde edilmektedir. Uzunluğu L_{IBV} olan herhangi *i*'nci IBV'nin yaklaşık olarak değeri ise denklem 2.3'teki gibi ifade edilebilir;

$$IBV_i \approx G_i E_{IE} P_{IP}, (i = 1, \dots, N_B) \quad 2.4$$

Gerçel sabit olan G_i, IBV'nin kazanç faktörüdür. Modelde kullanılan tanımla ölçekleme sabitidir. Oluşturulan yapı öbeklerinin, yani CPB'nin, indis sayısı $I_P \epsilon \{1,2,\dots, N_{IP}\}$'dır. Oluşturulan enerji öbeklerinin, yani CEB'nin, indis sayısı $I_E \epsilon \{1,2,\dots, N_{IE}\}$,'dır. Bu indis sayılarının toplamı ise N_{IP} ve N_{IE}'dir. Tüm I_P, N_{IP} ve I_E, N_{IE} değerleri tamsayıdır. Kullanılan görüntünün ve temelde enerji karakteristiği bilgisini içeren IBV_i'nin geniş anlamda irdelenmesiyle elde edilen parlaklık bilgisinden faydalanılarak vektör formundaki CEB oluşturulmuştur. Denklem 2.4'teki gibi gösterilebilir,

$$E_{IE}^{T} = [E_{IE1} \quad E_{IE2} \dots \quad E_{LBV-1} \quad E_{LBV} \quad] \tag{2.4}$$

IBV_i 'nin neredeyse en yüksek enerjisini en küçük kareler anlamında (LMS) niceliği taşımaktadır. 'nin parlaklık seviyesinin ölçeklenmesini sağlayan, sabitidir.

$$G_i = [CEB]^T E_{IE} \tag{2.5}$$

Köşegen matrisi biçimindeki CPB, (L_{IBV}x L_{IBV}) vektör formunda denklem 2.6'daki gibi ifade edilmektedir;

$$P_{IP} = diag[P_{IP1} \quad P_{IP2} \; P_{IP3} \dots . \quad P_{IPLBV} \quad] \tag{2.6}$$

Görüntüdeki kenarlar ve keskin ton geçişlerinde P_{IP} rol almaktadır. Yapım aşamasındaki görüntü blok verisinin ayırt edici özelliklerini yansıtmaktan ise $G_i E_{IE}$ 'dir. Her IBV, ortonormal vektörler, $\{\varphi_{ik}\}$, tarafından oluşturulmuş vektör uzayında dağınık biçimde yer alabilir. Denklem 2.7'de sunulan Φ_i^T'nin, gerçel ortonormal vektörlerin transpozunun alındığı dönüşüm matrisinin sütunları olması halinde;

$$\Phi_i^T = [\varphi_{i2} \quad \phi_{i1} \dots \quad \phi_{iLBV-1} \quad \phi_{iLBV} \quad] \tag{2.7}$$

açıkça

$$IBV_i = \Phi_i^T G_i \tag{2.8}$$

olacak ve bu durumda,

$$G_i^T = [g_1 \quad g_2 \dots \quad g_{LBV-1} \quad g_{LBV} \quad]$$

olacaktır. $IBV_i \Phi_i = \Phi_i \; \Phi_i^{-1} G_i$ eşitlikleri $\Phi_i^T = \Phi_i^{-1}$ özelliği kullanılarak elde edilebilir. Böylece, IBV_i ortonormal vektörlerin ağırlıklı toplamları biçiminde (Denklem 2.9) ifade edilebilir;

$$IBV_i = \sum_{k=1}^{L_{IBV}} g_k \varphi_{ik} \tag{2.9}$$

IBV'lere ait katsayılar ise Denklem 2.9'dan alde edilebilir.

$$g_k = IBV_i \phi_{ik}^T \qquad , k = 1,2,3, \dots L_{IBV} \tag{2.10}$$

IBV_i'nin $1_1 \leq t \leq L_{IBV}$ biçiminde kesilmiş hali $IBV_{it} = \sum_{k=1}^{t} g_k \phi_{ik}$

olsun. Bu durumda eğer, $t = L_{IBV}$ ise IBV_{it}=IBV_i olacaktır. Yaklaşık hata ise aşağıda ki gibi olacaktır,

$$\varepsilon_t = IBV_i - IBV_{it} = \sum_{k=t+1}^{L_{IBV}} g_k \phi_{ik} \qquad 2.11$$

Bu denklemde, en küçük kareler anlamında en aza indirilecek biçimde ϕ_{ik} hatanın beklenen değeri ϕ_{ik} 'ya bağlı olarak belirlenir. Daha önceden de ifade edildiği üzere LMS süreci takip eden özvektör probleminin sonucudur.

Sonuç olarak, IBV_i 'nin özilinti matrisinin (R_i) özvektörleri olarak ϕ_{ik}'lar hesaplanır. Ortonormallik durumununun kullanılmasıyla, LMS hatası,

$$\varepsilon_t \varepsilon_t^T = \sum_{k=t+1}^{L_{IBV}} g_k^2 \qquad 2.12$$

$$J_t = E[\varepsilon_t \varepsilon_t^T] = \sum_{k=t+1}^{L_{IBV}} E[g_k^2] \qquad 2.13$$

olarak verilir. Toplam kareler hatasının, $\varepsilon_t \varepsilon_t^T$, beklenen değerini J_t belirtsin. Bu durumda,

$$E[c_k^2] = E[\phi_{ik}^T (IBV_i^T IBV_i) \phi_{ik}] = \phi_{ik}^T R_i \phi_{ik} \qquad 2.14$$

$R_i = E[(IBV_i^T IBV_i)]$ IBV_i 'nin özilinti matrisi olarak tanımlanmıştır. Verilen t için, J_t 'yi en aza indiren ortonormallik kısıtlamasına uygun olacak ϕ_{ik} yı bulmak en uygun dönüşümün olması sebebiyle istenir. En aza indirgeme ise Lagrange çarpanıyla, λ_k , sağlanır,

$$J_t = \sum_{k=t+1}^{L_{IBV}} [\phi_{ik}^T R_i \phi_{ik} - \lambda_k (\phi_{ik}^T \phi_{ik} - 1)] \qquad 2.15$$

Denklemin gradyanını alınmasıyla yukarıdaki durum aşağıda verilen şekilde elde edilir,

$$\frac{\partial J_t}{\partial \varphi_{ik}} = \frac{\partial}{\partial_{ik}} \sum_{k=t+1}^{L_{IBV}} [\phi_{ik}^T R_i \phi_{ik} - \phi_k (\phi_{ik}^T \phi_{ik} - 1)] \qquad 2.16$$

$$2R_i \phi_{ik} - 2\lambda_k \phi_{ik} = 0 \qquad 2.17$$

$$R_i \phi_{ik} = \lambda_k \phi_{ik} \quad 2.18$$

Özilinti matrisi, R_i, gerçeldir. Aynı zamanda diyagonal elemanlarının simetrik olmasına bağlı yarı kesin artı ve toeplitz matristir.

$$R_i = \begin{bmatrix} r_i(1) & r_i(2) & \cdots & r_i(L_{IBV}) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_i(L_{IBV}) & r_i(L_{IBV-1}) & \cdots & r_i(1) \end{bmatrix} \quad 2.19$$

$$r_i(d+1) = \frac{1}{L_{IBV}} \sum_{j=[(i-1)L_{IBV}+1]}^{[(iL_{IBV})-1]} X_j X_{j+d}, \quad d = 0,1,2,\ldots, \quad L_{IBV} - 1 \quad 2.20$$

Probleme ait özdeğer λ_k ve özvektör ϕ_{ik}'dir.

Özilinti matrisi Ri' nin özdeğerleri gerçel, negatif değil ve ayrıktır, yani eşit olmayan değerleri bulunmaktadır. Hatta ϕ_{ik} 'nın özdeğerlerinin tümü ortonormaldir.

Özvektörlerin karşılığı olacak biçimde özdeğerler; $\lambda_{1i} \geq \lambda_{2i} \geq \lambda_{3i} \geq \ldots \lambda_{L_{IBV}{}^i}$ yani azalan şekilde sıralanmış olsun. Böylece IBV_i 'nin toplam enerjisi; $IBV_i^T IBV_i$ ile elde edilecektir.

$$IBV_i^T IBV_i = \sum_{k=1}^{L_{IBV}} g_{ik}^2 = \sum_{k=1}^{L_{IBV}} \lambda_{ik} \quad 2.21$$

Denklem 2.21'de IBV_i'ye ait ilk en yüksek enerjisi, p, prensip parçalarının elde edilmesiyle denklem 2.22'de sunulduğu gibi kesilebilir.

$$IBV_i \cong \sum_{k=1}^{p} g_k \phi_{ik} \quad 2.22$$

p=1 sağlandığında Denklem 2.23'de sunulan formüle ait basit hal oluşacaktır. Sonuç olarak özvektör ϕ_{ik} enerji vektörü adını alacaktır. Özetle, enerji vektörünün, en küçük kareler anlamında yaklaşık en yüksek enerjiye sahip, IBV_i 'ye ait bütün görüntü bloklarının, enerji vektörü olduğu ifade edilebilmektedir.

$$IBV_i \cong g_1 \phi_{i1} \quad 2.23$$

Böylece, Denklem 2.23'de gösterildiği gibi L_{IBV}, neredeyse tüm enerjinin ilk terimlerde toplanmasını sağlayacaktır. Daha geride kalan ve düşük enerji taşıyan terimlerin ihmal edilebileceği bir katsayı olarak alınabilir.

Bu sebeble orijinal görüntünün gözden geçirilmesiyle oluşan *IBV*'ye ait en değerli bilgiyi ϕ_{il}, taşımaktadır. Denklem 2.23'ün elde edilmesinin ardından örnek terim p_i her *IBV* denklemine dönüştürülerek IBV_i şöyle hesaplanabilir;

$$IBV_i = G_1 P_i \phi_{i1} \qquad 2.24$$

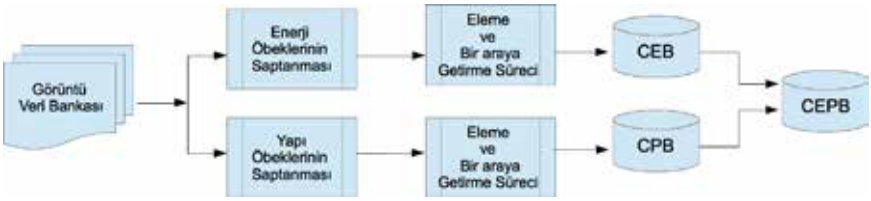
Denklem (2.25)'de, enerji vektörünün (ϕ_{il}) girişleri, ϕ_{ilr} ve IBV_{ir} 'ye ait olan piksel girişlerinin (IBV_i), basit bölümü ile P_i matrisine ait diyagonal girişleri (P_{ir}) belirlenir;

$$p_{ir} = \frac{IBV_{ir}}{G_i \phi_{ir}} \quad r = 1,2,\dots,L_{IBV} \qquad 2.25$$

Aslında, Denklem 2.25'deki p_{ir} nicelikleri bir şekilde (2.23) 'te kesme ile elenen terimlerdeki enerjiyi emmektedir. Çalışma sırasında elde edilen on binlerce *IBV* incelenmiştir. Binlerce enerji ve yapı bloğu oluşturulmuş ve bu blokların tekrarlayan benzerlikler gösterdiği görülmüştür. Buradan hareketle benzeyen enerji ve yapı bloklarının özelleştirilmiş enerji ve yapı blokları şeklinde ya da birim blokları oluşturacağı düşünülmüştür. Pearson özilinti katsayısı (PCC) benzerliklerin elenmesi için kullanılmıştır. Denklem 2.28'de sunulduğu üzere PCC, ρ_{YZ} tarafından tasarlanmıştır,

$$\rho_{YZ} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{L} y_i z_i - [\sum_{i=1}^{L} y_i \sum_{i=1}^{L} z_i]}{L}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{L} y_i^2 - (\sum_{i=1}^{L} y_i)^2 / L\right]\left[\sum_{i=1}^{L} z_i^2 - (\sum_{i=1}^{L} z_i)^2 / L\right]}} \qquad 2.26$$

Karşılaştırma konusu iki dizi Y=[y_1 y_2 … y_L] ve Z=[z_1 z_2 … z_L]'dir. $0.9 \leq \rho_{YZ} \leq 1$ olması halinde, Y ve Z'nin yaklaşık özdeş olduğu varsayılır. Bu durumda, benzer enerji ve yapı blokları bunun sonucu olarak elenecektir. Eleme ardından birim şekilleri olan enerji blokları bu defa özelleştirilmiş enerji blokları olarak adlandırılan CEB={ $E_{n_{iE}}$; n_{iE}=1,2,3,..., N_{IE} } içindeki elemanların sayısı N_{IE} ile ifade edilen küme altında toplanmaktadır. Aynı biçimde elenerek azaltılan yapı blokları da içindeki elemanların sayısı N_{IP} ile ifade edilen ,özelleştirilmiş yapı blokları CPB={ $P_{n_{ip}}$; n_{ip}=1,2,3,..., N_{IP} } altında toplanırlar.



Şekil 2. CEPB Oluşturma Basamakları Akış Şeması

3.3. Veri Tabanlarına ait Enerji ve Yapı Öbeklerinin Özellikleri

Bilgisayarlı Tomografi ve manyetik rezonans kullanılarak elde edilen farklı kesit kalınlıklarındaki farklı vücut bölgelerine ait görüntülerden derlenen 4 veri tabanına ilişkin bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır. Tablodan da görüleceği üzere her veri tabanında farklı sayıda enerji ve yapı bloğu elde edilmiştir.

Tablo 1: Veri Tabanlarına İlişkin Özellikler

Veri Tabanı Kodu	Görüntüleme Yöntemi	Hasta Sayısı	Kesit Kalınlığı	Seçilme Biçimi	Enerji Öbeği	Yapı Öbeği
DB_CT_1	CT	2	5mm	10 Rasgele Beyin	142	11036
DB_CT_2	CT	2	7 mm	5 Rasgele Toraks, 5 Ciğer	175	26017
DB_CT_3	CT	1	5mm	10 Sıralı Beyin	200	4544
DB_ MR_1	MR	2	2,5 / 3 mm	10 Rasgele Meme/	236	35989
DB_ MR_2	MR	2	4 / 5mm	10 Rasgele Meme/ Beyin	100	29618

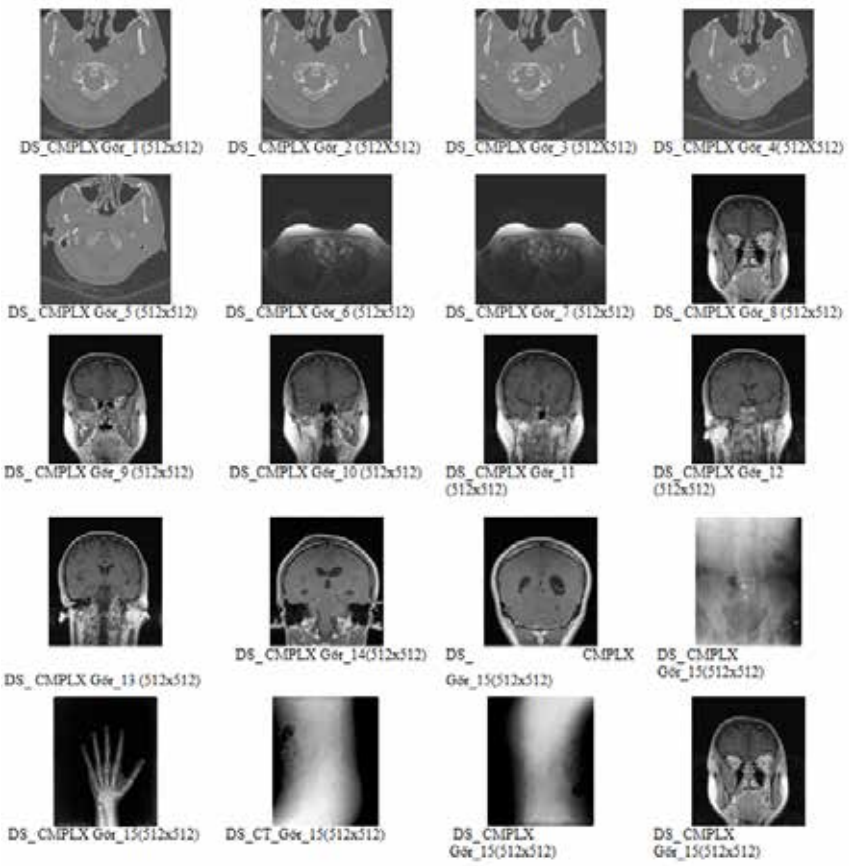
Tüm kod kitaplarının eşit sayıda enerji ve yapı öbeği içermesi ve buna bağlı olarak verimliliklerinin doğru incelenebilmesi için 1967 yılında J.B. MacQueen (MacQueen 1967) tarafından geliştirilen k-ortalama algoritması kullanılmıştır. Algortimayla yapı ve enerji blokları eşit sayılarda elenmiş ve aynı sıkıştırma oranları elde edilmiştir. K-ortalama kümeleme yönteminin değerlendirilmesinde en yaygın olarak karesel hata kriteri kullanılmaktadır. En düşük karesel hata kriteri değerine sahip kümeleme sonucu en iyi sonucu verir. Nesnelerin bulundukları demedin merkez noktalarına olan uzaklığı aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$SSE = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in c_i} dist^2(m_i, x) \qquad 2.27$$

3.4. Deney Seti Veri Tabanı Görüntüleri ve Özellikleri

Bilgisayarlı Tomografi kullanılarak elde edilen 15 rasgele beyin ve karın bölgelerinden oluşan DS_CT deney seti 3 hastanın birbirini takip etmeyen (sıralı olmayan-rasgele) verilerini içermektedir. Manyetik Rezonans kullanılarak elde edilen toplam 15 adet rasgele seçilmiş meme ve sıralı seçilmiş beyin görüntülerinden oluşan DS_MR deney seti 3 hastanın görüntülerini içermektedir.

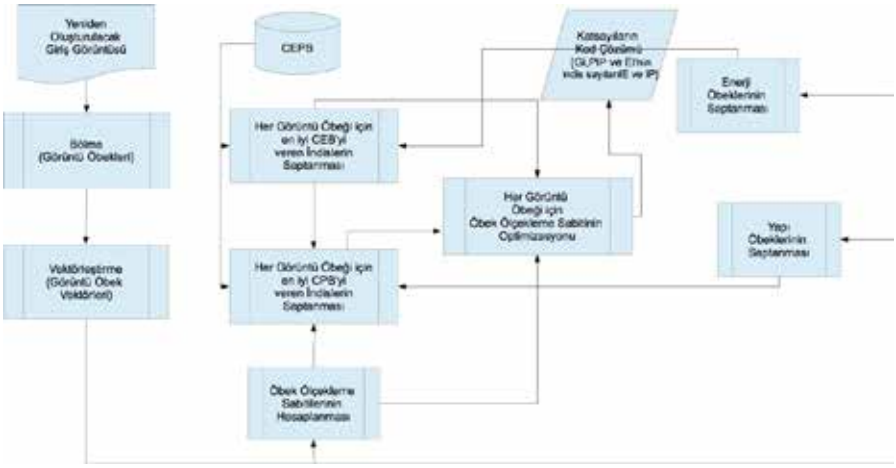
Bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans ve bilgisayarlı röntgen yöntemi ile 8 hastadan elde edilen DS_CMPLX kodlu deney seti rastgele ve sıralı olmak üzere toplam 20 farklı kesit görüntülerinden oluşmaktadır. Örnek olması için DS_CMPLX deney setinin içeriği Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. DS_CMPLX Deney Setinin Görüntüleri

3.5. Görüntünün Kodlaması İşlemine Yönelik Algoritma

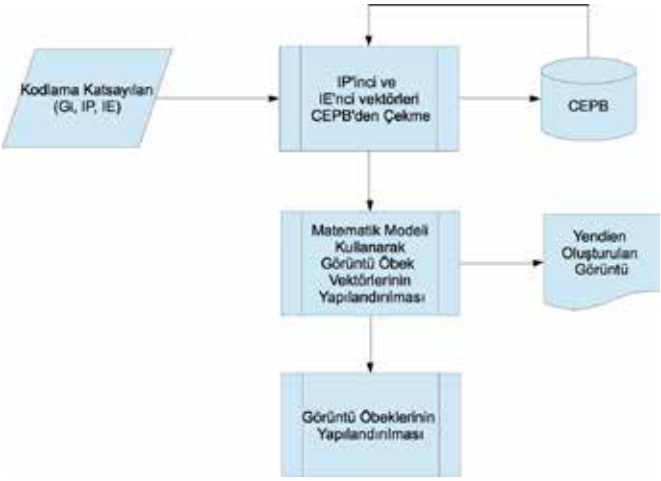
Bu adımda daha önce enerji ve yapı blokları kod kitabının (CEPB) oluşturulmasında kullanılan benzer yöntem kullanılmaktadır. Bu aşamada birinci adımda elde edilen CEPB 'deki benzerleri elenmiş enerji ve yapı blokları ile sıkıştırılacak görüntünün enerji ve yapı blokları sırasıyla karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmayla eleme yapılmakta ve kodlama değişkenleri elde edilmektedir. Her blok için elde edilen kodlama değişkenleri optimum sayıda ölçekleme katsayısı ve CEPB 'deki özelleştirilmiş enerji ve yapı blokları ile yeniden oluşturulacak giriş görüntüsünün sırasıyla enerji ve yapı blokları ile en iyi eşlemeyi sağlayan indeks numaralarını içermektedir. Kodlama algoritması aşamasında izlenen basamaklar ve akış şeması Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Kodlama Süreci Akış Şeması (Verici Kısmı Kodlama Süreci)

3.6. Kodlamanın Çözülmesi İşlemi

Kodlama işleminde veri tabanında bulunan enerji ve yapı bloklarıyla karşılaştırılarak benzerliklerinin bulunmasının ardından indeksleri bulunan orijinal görüntü sıkıştırılıp iletiminin yapılmasının ardından kod çözme işlemi ile yeniden oluşturulmaktadır. Giriş görüntüsü (kodlanan görüntü) önceki bölümde anlatılan matematiksel model ile elde edilen en iyi değişkenler: blok ölçekleme sabiti (BSC), özelleştirilmiş enerji blok indeksi (IE) ve özelleştirilmiş yapı blok indeksi (IP) kullanılarak öbek yeniden oluşturulmaktadır. Kod çözme aşamasında izlenen basamaklar ve akış şeması Şekil 5'te sunulmaktadır.



Şekil 5. Kod Çözme Süreci (Alıcı Kod Çözme Süreci)

3.7. Tartışma ve Sonuç

İstanbul Üniversitesi, Biyomedikal Müdendisliği Doktora programında 2013 yılında "SYMPES Yöntemiyle Biyomedikal Görüntülerin Modellenmesi" adıyla sunulan doktora tezi kapsamında elde edilen veriler radyoloji uzmanları tarafından da değerlendirilmiş ve kullanılabilir bir algortima olarak yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında temel tanım ve zarf vektörlerinin etkileri, farklı veri tabanlarının görüntülerin elde edilmesindeki etkileri irdelenmiştir. Ve sıkıştırma için kullanılan kod kitabının içerisinde ne kadar farklı radyolojik yöntem kullanılarak elde edilen farklı vücut bölgeleri ve hastalıklarına ait görüntü varsa o denli yüksek başarım elde edilmektedir. Hali hazırda günümüzde de teknolojinin ilerlemesiyle algortimalar gelişmiş, derin öğrenme yöntemleriyle daha fazla verinin de kullanımıyla çok daha iyi sonuçlar alınan modellere evrilmiştir. Ancak bu modellerde de yapılan yorumlar değişmemiş kod kitabının içerisindeki veri çeşitliliğinin önemi her zaman ön planda olmuştur.

Manyetik rezonans görüntülerinin yer aldığı deney seti kümesi (DS-MR), CT ve MR görüntülerinden derlenen veri tabanlarının kullanılmasıyla 1024x(32,16,8) 512x(32,16,8) ve 256x(32,16,8) sıkıştırma oranlarında yeniden oluşturulmuştur. DB-CT veri tabanlarında 1024x32, 1024x16, 1024x8 sıkıştırma oranlarında en iyi sonuçlar minimum 32.04 dB ve maksimum 32.59 dB PSNR değerleriyle DB-CT-2 veri tabanıyla elde edilmiştir. Diğer iki veri tabanıyla PSNR değeri olarak 1 dB'lik fark bulunmaktadır. Aynı deney seti kümesinin 512x32, 512x16, 512x8 sıkıştırma oranlarında en iyi sonuçlar minimum 31.33 dB ve maksimum 35.73 dB

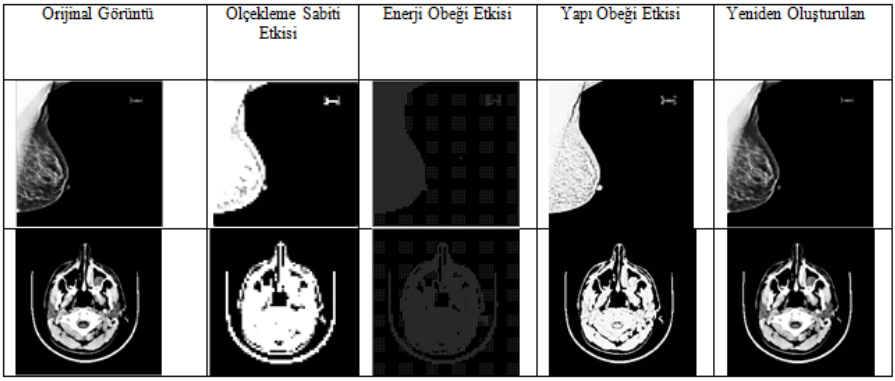
PSNR değerleriyle DB-CT-1 veri tabanıyla elde edilmiştir. Bu kümenin DB-CT-2 ve DB-CT-3 veri tabanları ile yeniden oluşturulmasında bu veri tabanından elde edilen değerlerle arasında 3 dB 'lik bir fark bulunmaktadır. 256x32, 256x16, 256x8 sıkıştırma oranlarında en iyi sonuçlar minimum 32.06dB ve maksimum 32.76 dB PSNR değerlerinde DB-CT-2 veri tabanıyla yeniden oluşturulmasında elde edilmiştir. Diğer iki veri tabanından elde edilen PSNR değerleri kayda değer bir fark yaratmamıştır. DS-MR test kümesinin DB-CT veri tabanları ile yeniden oluşumunda DS-CT test kümesine göre daha iyi PSNR değerleri elde edilmiştir.

DS-MR deney seti kümesinin DB-MR veri tabanlarında 1024x32, 1024x16, 1024x8 sıkıştırma oranlarında en iyi sonuçlar minimum 31.53 dB ve maksimum 32.05 dB PSNR değerleriyle DB-MR-1 veri tabanıyla elde edilmiştir. DB-MR-2 veri tabanıyla arasında elde edilen sonuçlarda PSNR değeri olarak 3 dB'lik fark bulunmaktadır. 512x32, 512x16, 512x8 sıkıştırma oranlarında DB-MR-1 veri tabanıyla minimum 31.43 dB, DB-MR-2 veri tabanıyla minimum 29.04 dB, DB-MR-1 veri tabanıyla maksimum 31.43dB değerini DB-MR-2 ise maksimum 28.99 dB PSNR değerini almaktadır. 256x32, 256x16, 256x8 sıkıştırma oranlarında DB-MR-1 veri tabanıyla minimum 32.01 dB ve maksimum 31.60 dB PSNR değerini almaktadır. DB-MR-2 veri tabanı ile arasındaki fark 2 dB'dir. DS-MR test kümesi genel olarak bakıldığında DB-CT veri tabanları ile yeniden oluşturulduğunda DB-MR veri tabanlarına göre yaklaşık 0.5-1 dB daha iyi PSNR değerlerine sahip olmaktadır. DS-CMPLX deney seti kümesinin yeniden yapılandırılmasında tüm sıkıştırma oranlarında diğer deney setlerine oranla yüksek PSNR değerleri bulunmuştur. 1024x32 sıkıştırma oranında maksimum 36.21 dB değerini alırken minimum 256x8 sıkıştırma oranında 12.68 dB'lik PSNR değerleri elde edilmiştir.

Tez çalışmasında (Gökbay 2013) ön plana çıkan diğer husus görüntüsel olarak sabit katsayı 'nin, enerji fonksiyonu olan E'nin ve yapı fonksiyonu olan P'nin görüntünün oluşumu üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Dicom formatında olan orijinal görüntüler önerilen matematiksel modele uygun olarak ölçekleme katsayısı, enerji ve yapı öbekleri kombinasyonları kullanılarak derlenmiştir. Görüntüler radyologlar tarafından körleme değerlendirmeyle analiz edilerek teşhis edilmeye çalışılmıştır. Daha önceki bölümlerde ayrıntısıyla anlatılan Tablo 2'de birer örneği verilen , ölçekleme sabiti orijinal resmin bloklanmış, detayları eksiltilmiş biçimine benzemektedir. Enerji fonksiyonları (E) ise derlenen görüntüler yeterince büyütülerek incelendiğinde dikey çizgiler halinde görüntünün dış çizgilerini taşımaktadır. Yani bu katsayı görüntünün kaba bir eskiz çizimi gibi oluşmaktadır. Yapı fonksiyonları (P) incelendiğinde görüntülerde mamogram görüntülerinde meme dokusu içinde kalan tüm damarları net olarak taşıdığı ancak renklerin geçişinde yeterli olamadığı için beyaz ağırlıklı bir

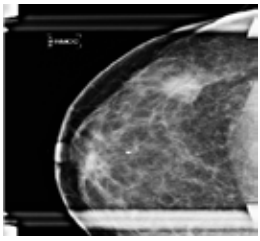
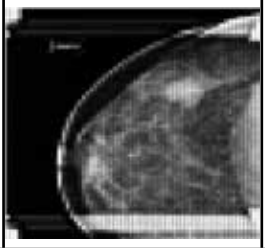
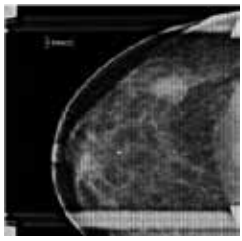
görüntü ortaya çıktığı görülmektedir. Buradan da yapı fonksiyonlarının görüntülerdeki ayrıntıları taşıdığı sonucuna varılmaktadır. Beyin MR'ları ise meme görüntüleri kadar ince detayları taşımamaktadır. Ancak kenarlar çok net çizgiler halinde oluşmaktadır.

Tablo 2: Meme ve Beyin Görüntüleri Üzerinde Ölçekleme Sabiti, Enerji Fonksiyonu ve Yapı Fonksiyonu Etkileri



Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda hekimlere GxE ve GxP kombinasyonlarında yeniden oluşturulan görüntüler orijinal halleri gösterilmeden sunulmuştur. Hekimlerin genel yorumları görüntülerin bozuk olduğu yönündedir. Ancak bir kısmında tanı yapılabilirken bir kısmında tanı yapılamaz biçiminde yorumlar alınmıştır. Özet olarak önerilen yöntem orijinal haliyle kullanıldığında DCT algoritmalarıyla benzer PSNR sonuçlar elde edebilir ve hekimler tarafından orijinaliyle aynı tanının yapılmasına olanak sağlarken sıkıştırma oranının daha da düşürülmesi için enerji veya yapı fonksiyonlarının kullanılmaması tanısal olmama riskini ortaya koymuştur.

Tablo 3: Farklı Kombinasyonlarda Derlenen Görüntülere Yapılan Uzman Analizleri

ORİJİNAL GÖRÜNTÜ	YENİDEN OLUŞTURULAN GxE	YENİDEN OLUŞTRULAN GxP
		
Orijinal görüntüde CC grafide meme üst kadranda kontur spikülasyonları bulunan opasite artışı mevcuttur. ikincisi meme orta hatta retromamiller alanda opasite artışı izlenmiştir. Sonografi ile korele değerlendirilmelidir. Meme orta hat düzeyinde kaba kalsifikasyon izlendi. Heterojen dens paternde meme parankimi mevcuttur. Görüntü yüksek çözünürlüklü ve tanısaldır.	Düşük uzaysal rezolüsyon ve veri kaybı nedeniyle kesinlikle tanısal değildir. üst kadranda lezyon konturları ve detay seçilememektedir. doku parankimindeki mimari yapılar kesinlikle ayırt edilememektedir.	Orijinal görüntüye nazaran veri kaybı mevcut ve çözünürlük düşüktür, GxE komprese görüntüdeki kadar olmasa da ara formu şeklinde minimal düzeyde de olsa lezyonun konturları seçilebilmekte ve meme parankim mimarisi ve doku paterni ayırt edilebilmektedir. Orijinal görüntüye kıyasla parankim ve lezyon opasifikasyon derecesi azalmıştır. Burada kooper ligametleri zemindeki danistenin azalması (verikaybına sekonder) sonucu belirginleşmiştir.

3.8. Teşekkür

Hayatımın birçok zamanında her zaman yanımda olan, çalışmalarım boyunca gösterdiği destekten dolayı çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Sıddık YARMAN 'a ve canım dostum Güneş CÖMERT'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin 16806 numaralı tez projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Abujudeh, Hani H, Rathachai Kaewlai, Benjamin A Asfaw, and James H Thrall. 2010. "Quality Initiatives: Key Performance Indicators for Measuring and Improving Radiology Department Performance." *Radiographics* 30(3): 571–80.

Andersen, S E. 2002. "Implementing a New Drug Record System: A Qualitative Study of Difficulties Perceived by Physicians and Nurses." *BMJ Quality & Safety* 11(1): 19–24.

Ari, Ali, Nuh Alpaslan, and Davut Hanbay. 2015. "Computer-Aided Tumor Detection System Using Brain MR Images." In *2015 Medical Technologies National Conference (TIPTEKNO)*, IEEE, 1–4.

Brook, Olga R et al. 2010. "Quality Initiatives: Anatomy and Pathophysiology of Errors Occurring in Clinical Radiology Practice." *Radiographics* 30(5): 1401–10.

Dandıl, Emre, Ziya Ekşi, and Murat Çakıroğlu. 2015. "Mamogram Görüntülerinden Bilgisayar Destekli Kitle Teşhisi Sistemi."

Le Gall, Didier J. 1992. "The MPEG Video Compression Algorithm." *Signal Processing: Image Communication* 4(2): 129–40.

Gökbay, İnci Zaim. 2013. "SYMPES Modeliyle Biyomedikal Görüntülerin Modellenmesi", İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gonzales, Rafael C, and Richard E Woods. 2002. "Digital Image Processing."

Gonzalez, Rafael C, and Richard E Woods. 2007. "Image Processing." *Digital image processing* 2: 1.

Gurkan, Hakan, Umit Guz, and B Siddik Yarman. 2008. "A Novel Electroencephalogram (EEG) Data Compression Technique." In *2008 IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference*, IEEE, 1–4.

GÜRKAN, Hakan, Sıddık YARMAN, and Ali Nur GÖNÜLEREN. 2011. "Elektrokardiyogram (EKG) Işaretlerinin Temel Tanım ve Zarf Fonksiyonları Ile Modellenmesi." *İTÜDERGİSİ/d* 5(2).

Guz, U, Hakan Gurkan, and B Siddik Yarman. 2006. "A New Speech Modeling Method: SYMPES." In *2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, IEEE, 4-pp.

Guz, Umit. 2011. "A Novel Image Compression Method Based on Classified Energy and Pattern Building Blocks." *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011: 1–20.

Jamal, Aziz, Kirsten McKenzie, and Michele Clark. 2009. "The Impact of Health Information Technology on the Quality of Medical and Health Care: A Systematic Review." *Health Information Management Journal* 38(3): 26–37.

MacQueen, James. 1967. "Some Methods for Classification and Analysis

of Multivariate Observations." In *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Oakland, CA, USA, 281–97.

Mendelson, David S, and Daniel L Rubin. 2013. "Imaging Informatics: Essential Tools for the Delivery of Imaging Services." *Academic radiology* 20(10): 1195–1212.

Moxey, Annette et al. 2010. "Computerized Clinical Decision Support for Prescribing: Provision Does Not Guarantee Uptake." *Journal of the American Medical Informatics Association* 17(1): 25–33.

Pennebaker, William B, and Joan L Mitchell. 1992. *JPEG: Still Image Data Compression Standard*. Springer Science & Business Media.

Polikar, Robi. 1996. "The Wavelet Tutorial."

Recommendation, H. 1993. "261: Video Codec for Audiovisual Services at Px64 Kbits/S." *International Telecommunication Union (ITU-T)*.

Rubin, Daniel L. 2011. "Informatics in Radiology: Measuring and Improving Quality in Radiology: Meeting the Challenge with Informatics." *Radiographics* 31(6): 1511–27.



Bölüm 6

ETMEN TABANLI SİSTEM YAKLAŞIMI VE UYGULAMA ALANLARI

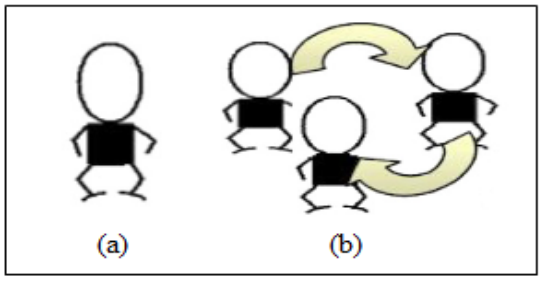
Melek IŞIK[1]

1 Arş. Gör. Dr., Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, demirtasm@cu.edu.tr

1.Giriş

Mevcut piyasa koşulları, çeşitli sistemlerin faaliyetlerini dinamik ve belirsiz bir ortamda geliştirmesini gerektirmektedir. Son zamanlarda, etmen tabanlı sistemler de bu gereklilikleri karşılayarak daha hızlı bir çözüm yaklaşımı olarak popüler hale gelmektedir. Birçok uygulamada mühendislik avantajları sunan bu sistemlerin kurulumu için yeterli bir bilgi ve uyarlama yeteneğine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle üretim sistemleri için önemli hale gelen bu sistemler içerisine birçok yöntemin eklenmesiyle problemlere çözüm aranmaktadır.

Etmen teknolojilerinin, nesne tabanlı programlama ve yapay zekâ gibi bilgisayar bilimi içindeki teknolojilerin yakınsamasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Etmenler, yapay zekânın ürünü olarak insan ile bilgisayar etkileşimi gibi dallarla zeki etkileşimler sunmaktadır. Birçok yapay zekâ araştırmacısı basit ve gelişmiş olarak Wooldridge'in etmen tanımını desteklemektedir (Wooldridge & Jennings, 1995). Basit kavram olarak, etmen terimi özerk, sosyal ve reaktif özelliklere sahip olarak tanımlanmaktadır. Gelişmiş kavram olarak, bir etmen sistemi yukarıdaki tanımlamadaki tüm özelliklere sahip ayrıca ortamlara entegre edilerek insan yönetimli uygulamalardan daha fazla verimli bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1'de temsili olarak gösterilen etmen ve bir arada etkileşim haline geldiklerinde çoklu etmen sistemlerini meydana getirdiği hali belirtilmektedir.



Şekil 1. (a) Etmen ve (b) Çoklu Etmen Etkileşimi

Bu çalışmada, akıllı sistemler içerisinde yer alan etmen tabanlı sistemler açıklanarak kullanım alanları belirtilmiştir. Bu yaklaşım ile işlemlerin daha hızlı ve geribildirimlerin doğru olduğu sistem tasarımları olacağı ortaya konmuştur.

2. Etmen Tabanlı Sistemler

Son yıllarda, teknolojideki değişikliklere tepkiselliği arttırmak için genel bir eğilim olmaktadır. Etmen teknolojisi şu anda akıllı sistemlerin geliştirilmesi için önemli bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Etmen

sistemleri, çok çeşitli karmaşık problemleri çözme açısından diğer yöntemlerden daha yaygın bir etki göstermektedir. Etmen tabanlı sistem, birlikte çalışan veya tek yazılım aracıları için karmaşık olan sorunların cevabını bulmak için organize olan akıllı yazılım aracılarının bir koleksiyonudur. Bir problem karmaşık ve büyük boyutta ise, bu problem için etmen sistem geliştirilmesi ile çözüm sağlanabilmektedir (Sycara, 1998).

Bir etmen, hedeflerine ulaşmak için bir ortamda bulunan ve bu ortamda özerk eylem yapabilen bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanmaktadır (Wooldridge & Jennings, 1995). Başka bir tanımına göre, bir etmen, çevresini algılayan ve ona etki eden özerk, hesap yapabilen bir varlıktır (Farahvash & Boucher, 2004). Akıllı bir etmen, aşağıdaki özelliklere sahip bir yazılım parçasıdır (Padgham & Winikoff, 2005);

- Konumlanmış
- Özerk
- Reaktif
- Proaktif
- Esnek
- Güçlü
- Sosyal

İnanç-Arzu-Niyet mimarisi en popüler etmen mimarilerinden birisidir (Padgham & Winikoff, 2005). Bu yaklaşım, planlama probleminde algılanan bir soruna yanıt olarak geliştirilmiştir. Bu tür etmenlerde karar verme, etmenin inançlarını, arzularını ve niyetlerini temsil eden veri yapılarının etkileşimine bağlı olmaktadır. Bu etmenler, insan benzeri davranışa ihtiyaç duyan sistemler için yararlı hale gelmektedir (Komma, Jain, & Mehta, 2011). Bu yeni yaklaşımın aşağıdaki genel bilgileri mevcuttur (Monostori, Váncza, & Kumara, 2006);

• Etmen, dinamik bir ortamda bulunan ayrıca özerk ve akıllı davranış sergileme yeteneğine sahip bir hesaplama sistemidir.

• Bir etmenin, diğer etmenleri içeren bir ortamı olabilmektedir. Etkileşen etmen topluluğu, bir bütün olarak, çok etmenli bir sistem olarak değerlendirilmektedir.

Tüm modelleme tekniklerinde olduğu gibi etmen sistemlerde de ortak olan tek nokta, bir modelin sadece oluşturulduğu amaç kadar fayda sağlamasıdır. Bu amaca ulaşmada, etmenleri zorlayan durumlar ortaya çıkabilmektedir. Sağlamlık açısından kontrol edilebilecek parametre alanının boyutunda pratik bir üst sınır vardır ve bu işlem hesaplama açısından yoğun ve zaman alıcı olabilmektedir. Etmen tabanlı modelin yüksek hesaplama gereksinimi, büyük sistemleri modellerken bir dezavantaj olmaya devam

etmektedir. Bu zorluklara rağmen çoklu etmen tabanlı sistemler aşağıdaki avantajlara sahiptir (https://www.cs.cmu.edu/);

- Etmenler, kaynak kısıtları, performans darboğazları veya kritik arızalarla karşılaşsa da bu problemleri dağıtık bir sistem düzeni olması sayesinde çözüme kavuşturmaktadır.
- Mevcut birden fazla eski sistemin birbirine bağlanmasına ve birlikte çalışmasına izin vermektedir. Bir etmen başka bir etmen grubuna dahil edilebilmektedir.
- Görev paylaşımı ve takım planlaması gibi özerk etkileşimli bileşenler sayesinde sistem modellenmektedir.
- Lokal olarak dağıtılan kaynaklardan bilgileri verimli bir şekilde alarak, filtre eder ve global olarak koordine ederek çözümler sunmaktadır.
- Özellikle hesaplama verimliliği, güvenilirlik, genişletilebilirlik, sağlamlık, sürdürülebilirlik, yanıt verebilirlik ve esneklik gibi genel sistem performansını artırmaktadır.

Keşif yapmayı hedefleyen bir yaklaşımı benimseyen etmen tabanlı bir modelin amacı, çalıştırıldığında gerçek dünyanın analizini yapabilmektir. Zeki etmen davranışlarını ve etkileşimlerini programlamak gerçek sistemleri dinamik olarak yansıtabilmek açısından önemli bir hale gelmektedir.

3. Etmen Tabanlı Sistemlerin Uygulamaları

Günümüzde, çeşitli sektörler için etmen tabanlı sistemler tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir. Askeri, sağlık ve biyoloji gibi bilim dallarında da tercih edilen etmenlerin bir araya gelerek oluşturdukları çok etmenli sistemlerin uygulama alanları çok çeşitlidir.

Etmen tabanlı sistemler yaygın olarak üretim sistemleri, telekomünikasyon ve ulaşım sistemlerini kapsamaktadır (Colombo, Schoop, & Neubert, 2006). Etmenlerin tasarlanmasında üretim için holonik üretim sistemleri geliştirilmiştir. Telekomünikasyon alanında ise ağ kontrolü, iletim ve anahtarlama, servis yönetimi ve ağ yönetimi gibi bölümlerde etmenler etkili olmaktadır (Magedanz, Rothermel, & Krause, 1996). Ulaşım sistemleri olarak sınıflandırılabilen tedarik zinciri yönetimi uygulamaları da etmen tabanlı sistemlerde sıklıkla kullanılan problemlerdendir (Baykasoğlu & Kaplanoğlu, 2015). Bu çalışmada, çeşitli alanlarda kullanılan etmen sistemler üretim ve hizmet olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir.

3.1. Üretim Sistemleri Uygulama Alanları

Üretim sistemleri içerisinde etmenler taleplere göre üretim kaynakları ve bilgisi kullanılarak mal üretimi, sosyal ve ekonomik yönden faaliyetleri

içermektedir. Etmen tabanlı sistemlerin üretim sistemleri içerisinde uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır (Monostori et al., 2006);

Mühendislik Tasarımı: Etmen tabanlı sistemler çeşitli mühendislik dallarındaki mekanik, elektrik ve kontrol faaliyetlerine eklenebilmektedir. Ayrıca, ürün yaşam döngüsüne katılan eşzamanlı mühendislik, pazarlama, tasarım, dağıtım, satış, bakım ve onarım gibi bölümler de paralel olarak etkileşime girebilmektedir. Müzakere yoluyla etmenler sistem iyileştirilmesi yönünde büyük rol oynamaktadır.

Süreç Planlaması: Süreç planlama hem tasarım hem de üretimle ilgili kavramları içermektedir. Üretim süreçleri, makineler, taşıyıcılar, aletler ve tutma ekipmanları gibi parçaların etmen sisteme dahil edilmesi mümkün hale gelmektedir.

Üretim planlama: Kaynak kısıtlı üretim ortamlarında çalıştırılabilen ve tasarlanan üretim operasyonları için planlar oluşturmayı amaçlamaktadır.

Üretim Çizelgeleme ve Kontrol: Çizelgeleme, alternatif planlar arasından seçim yapma ve plandaki faaliyetlere kaynak ve zaman atama işlemidir. Üretim kontrolü, üretim tesisinin hem şimdiki hem de geçmişte gözlemlenen durumları ve piyasadan gelen talep dikkate alınarak bir üretim tesisinin işletilmesi için stratejiler ve algoritmaların üretilmesidir. Üretim sistemlerinde meydana gelen çizelgeleme problemleri için matematiksel yöntemler, sezgisel yöntemler ve benzetim yöntemleri gibi bir dizi yaklaşım sunulmuştur. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ve iş kavramını anlamadaki değişiklikler sayesinde bu yaklaşımlar modası geçmekte ve sorunlara uygun çözümler sunmak için yetersiz kalmaktadır. Bu tür sorunlar genellikle dinamik doğasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden, dinamik bir ortam sağlayarak çizelge üretebilmek etmen tabanlı sistemler sayesinde olmaktadır. Bir üretim sisteminde yer alan malzeme taşıma sistemleri ve makinelerin dinamik çizelgelenmesine yönelik gelişimsel bir çizelgeleme yaklaşımı etmen geliştirme platformu kullanılarak modellemek mümkündür. Çizelgeleme çalışması ile etkili bir gerçek hayat uygulamasının nasıl geliştirilebileceği gösterilebilmektedir (Erol, Sahin, Baykasoglu, & Kaplanoglu, 2012). Holonik üretim sistemi kullanılan bu çalışmada, etmenlerin gruplandırılması yapılmış ve esnek üretim organizasyonu için modellenmiştir. Kelime olarak Holon, Yunanca'da "bütün" anlamına gelen holos kelimesinden türetilmiştir (Koestler, 1968). Holonik üretim sistemleri, esnek ve sağlam dağıtılmış bir malzeme taşıma sistemi geliştirmek için uygulanmaktadır (Liu, Gruver, Kotak, & Bardi, 2000). Esnek bir üretim sistemi içerisinde gelen siparişlere teslim zamanı atayan etmen tabanlı holonik bir kontrol yapısı tasarımı dinamiklik ihtiyacını karşılamak için çalışmak mümkündür (Şahin, 2016).

3.2. Hizmet Sistemleri Uygulama Alanları

Etmen tabanlı sistemlerin geliştirilmesi, hem bilgisayar bilimi hem de diğer uygulama alanlarında araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Etmen sistemlerin zekâ, davranış ve ilgili konuları anlama yeteneğinden dolayı birçok farklı alanda kullanılabilmektedir.

Dinamik ve karmaşık karar verme süreçlerini içeren lojistik alanı için etmen tabanlı sistemler ciddi uygulama alanları bulmaya başlamış ve gelecek yıllarda temel bir yazılım geliştirme sistematiği olacağı öngörülmektedir (Baykasoğlu & Kaplanoğlu, 2015). Lojistik gibi faktörlerin yanı sıra trafik problemini çözmek için kullanılan tekniklerden birisi etmen tabanlı sistemlerdir (Wang, 2005). Trafiği oluşturan nesnelerin sayısı arttıkça yönetimi zorlaşmaktadır. Sıkışıklıkların sebebi planlamanın yanlış yapılması ve yolların trafik ağırlığını kaldıramamasıdır. Çoklu etmen tabanlı sistemler trafik yönetim sisteminin tasarımı için önemli hale gelmektedir (Soysal, Balcılar, & Sönmez, 2008). Ayrıca havayollarını kapsayan unsurlar gibi birçok faktörün bir arada olduğu problemlerin çözülmesinde de etkilidirler (Castro & Oliveira, 2005).

Biyolojik olayların modellenmesine yönelik etmen tabanlı yaklaşımlar popüler hale gelmektedir (Coakley, Smallwood, & Holcombe, 2006). Acil sağlık planlaması gibi önemli ve anlık değişimlerin olduğu durumlarda etmen tabanlı sistemler probleme çözüm olarak sunulmaktadır (Narzisi, Mysore, & Mishra, 2006).

Çoklu etmen sistemleri kullanarak dağınık durumdaki bilgi kaynaklarını çözmek için müze gibi sanatsal mekânlarda uygulamasını sağlamak mümkündür (Pluchino, Garofalo, Inturri, Rapisarda, & Ignaccolo, 2013). Müzelerdeki yaya akışını doğru planlamak, bina içerisinde meydana gelebilecek sıkışıklığı ve dar boğazları engellemek etmen sistemleri sayesinde gerçekleşmektedir (Şeker, 2006).

Yazılım işlemleri için kullanılan etmenler, algılama, anlama, müzakere, karar ve eylemin özerk bir yönü ile esnek ve akıllı iletişim sistemlerinin uygulanması için yeni araçlar sunmaktadır (Abar, Theodoropoulos, Lemarinier, & O'Hare, 2017). Bu sayede elektronik ticaret ve belge yönetiminde etmen tabanlı sistemler önem arz etmektedir (DiPippo, Fay-Wolfe, Nair, Hodys, & Uvarov, 2001).

4. Sonuç

Günümüzde, çok etmenli sistemler popüler hale gelen modelleme tekniklerinden birisidir. Dinamikliği sağlamak ancak doğru analiz yaklaşımı ile karmaşık sistemlerin çözümlenmesine bağlıdır. Bu modeller ile karmaşık sistemleri tasarlamak ve çözüm önerisi sunmak kolaylaşmaktadır.

Geleneksel yöntemlerin geride kaldığı yapay zekânın ön plana çıktığı son zamanlarda bu yöntemin önem kazanacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada, yapay zekâdan doğan etmen tabanlı sistemlerin tanımı yapılmış ve uygulama alanları incelenmiştir. Hem üretim hem hizmet sektörüne uygulanabilirliği açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle, yenilikçi, sağlam ve dağıtık sistemler için yeniden yapılandırılabilen bu mimariler ortaya çıkabilecek sorunlara karşı doğru cevap verebilmektedir. Gelecek çalışmalar için umut vaat eden bu yöntem hem üretim sektöründe hem hizmet sektöründe yaygınlaşmaktadır.

5. Kaynaklar

Abar, S., Theodoropoulos, G. K., Lemarinier, P., & O'Hare, G. M. (2017). Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. Computer Science Review, 24, 13-33.

Baykasoğlu, A., & Kaplanoğlu, V. (2015). An application oriented multi-agent based approach to dynamic load/truck planning. Expert Systems with Applications, 42(15-16), 6008-6025.

Castro, A. J., & Oliveira, E. C. (2005). A Multi-agent System for Intelligent Monotoring of Airline Operations. Paper presented at the EUMAS.

Coakley, S., Smallwood, R., & Holcombe, M. (2006). From molecules to insect communities-How formal agent based computational modelling is uncovering new biological facts. Scientiae Mathematicae Japonicae, 64(2), 185-198.

Colombo, A. W., Schoop, R., & Neubert, R. (2006). An agent-based intelligent control platform for industrial holonic manufacturing systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53(1), 322-337.

DiPippo, L. C., Fay-Wolfe, V., Nair, L., Hodys, E., & Uvarov, O. (2001). A real-time multi-agent system architecture for e-commerce applications. Paper presented at the Proceedings 5th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems.

Erol, R., Sahin, C., Baykasoglu, A., & Kaplanoglu, V. (2012). A multi-agent based approach to dynamic scheduling of machines and automated guided vehicles in manufacturing systems. Applied soft computing, 12(6), 1720-1732.

Farahvash, P., & Boucher, T. O. (2004). A multi-agent architecture for control of AGV systems. Robotics and computer-Integrated manufacturing, 20(6), 473-483.

Koestler, A. (1968). The ghost in the machine.

Komma, V. R., Jain, P. K., & Mehta, N. K. (2011). An approach for agent modeling in manufacturing on JADE™ reactive architecture. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 52(9-12), 1079-1090.

Liu, S., Gruver, W. A., Kotak, D., & Bardi, S. (2000). Holonic manufacturing system for distributed control of automated guided vehicles. Paper presented at the Smc 2000 conference proceedings. 2000 ieee international conference on systems, man and cybernetics.'cybernetics evolving to systems, humans, organizations, and their complex interactions'(cat. no. 0.

Magedanz, T., Rothermel, K., & Krause, S. (1996). Intelligent agents: An emerging technology for next generation telecommunications? Paper presented at the Proceedings of IEEE INFOCOM'96. Conference on Computer Communications.

Monostori, L., Váncza, J., & Kumara, S. R. (2006). Agent-based systems for manufacturing. CIRP annals, 55(2), 697-720.

Narzisi, G., Mysore, V., & Mishra, B. (2006). Multi-objective evolutionary optimization of agent-based models: An application to emergency response planning. Computational Intelligence, 2006, 224-230.

Padgham, L., & Winikoff, M. (2005). Developing intelligent agent systems: A practical guide (Vol. 13): John Wiley & Sons.

Pluchino, A., Garofalo, C., Inturri, G., Rapisarda, A., & Ignaccolo, M. (2013). Agent-based simulation of pedestrian behaviour in closed spaces: a museum case study. arXiv preprint arXiv:1302.7153.

Soysal, K., Balcılar, M., & Sönmez, A. C. (2008). Çoklu Etmen Tabanli Trafik Yönetim Sistemi.

Sycara, K. P. (1998). The many faces of agents. AI magazine, 19(2), 11-11.

Şahin, C. (2016). Dinamik Teslim Zamanı Atama Problemi için Holonik Sistem Tasarımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1), 149-158.

Şeker, E. M. (2006). Etmen Tabanlı Sistemlerle Kullanıcı Hareketinin Modellenmesi: Müze Örneği. Fen Bilimleri Enstitüsü,

Wang, F.-Y. (2005). Agent-based control for networked traffic management systems. IEEE Intelligent Systems, 20(5), 92-96.

Wooldridge, M., & Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. The knowledge engineering review, 10(2), 115-152.

Web, https://www.cs.cmu.edu/~softagents/multi.html



Bölüm 7

AKUSTİK UYGULAMALAR İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TEKSTİL MALZEMELERİ

Merve KÜÇÜKALİ ÖZTÜRK[1], F. Banu NERGİS[2], Cevza CANDAN[3]

1 Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Bilgi Üniversitesi, Moda Tasarımı Bölümü, merve.kucukali@bilgi.edu.tr
2 İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi
3 İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi

1. AKUSTİK İLE İLGİLİ TEMEL TANIMLAR VE BİLGİLER

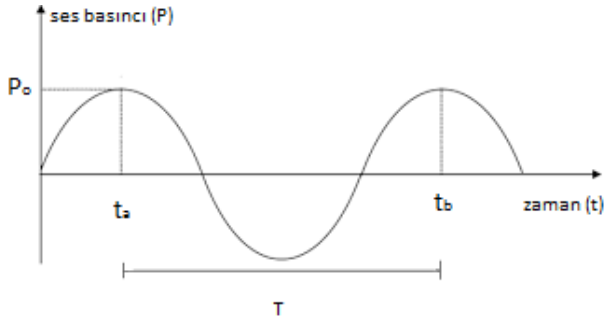
1.1 Temel Ses Bilgileri

1.1.1 Ses

Ses belli bir ortamda oluşan ve kulaklarımız tarafından algılanan basınç değişimleridir. Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletilmesiyle gerçekleşir. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar, havada basınç değişiklikleri meydana getirir. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilir ve beyin tarafından "ses" olarak algılanır [1].

1.1.2 Ses dalgalarının özellikleri- periyot, frekans, dalga boyu, yayılma hızı

Basit harmonik ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncı atmosferik basıncın değişme miktarını göstermekte olup zamana bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: *Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi [1].*

p_0 ile gösterilen basıncın en büyük değerine (o noktadaki atmosferik basınçtan olan en büyük farkına) genlik denir. Basıncın birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen zamana ise periyot denir ve (T) ile gösterilir. Periyotun (T) birimi zaman birimi olan saniyedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi basınç değişimi her periyotta (T zamanında) aynen tekrarlanmaktadır. Periyodun tersi (1/T) frekanstır (f) ve "birim zamandaki basınç değişim devri sayısı" olarak tanımlanır. Burada "basınç değişim devri" ile anlatılmak istenen, basıncın aynı düzeye ulaştığı (aynı yönden yaklaşarak) birbirini izleyen iki nokta (örneğin a ve b) arasındaki kısımdır. Frekans, genellikle "bir saniyedeki devir sayısı" ile ölçülür ve birimi Hertz (Hz)'dir. Dalganın tek bir salınım turunu tamamladığı süre (periyot) boyunca kat ettiği yol dalga boyu olarak adlandırılır ve λ ile ifade edilir. Böylece sabit

bir c hızında hareket eden dalga, T zamanında $\lambda = c/f$ kadar yol kat edecektir [1,2]. $\lambda = c / f$ eşitliğinden, düşük frekanslı seslerin (kalın seslerin) uzun dalga boyuna, yüksek frekanslı seslerin (ince seslerin) ise kısa dalga boyuna sahip olduğu söylenebilir [3,4].

1.1.3 Ses ölçüm birimi: desibel

Desibel bir "oranı" ya da göreli bir "değeri" gösterir. Alexander Graham Bell'in anısına "bel" adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle; 1 bel oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Öte yandan bu oran çok yüksek olduğundan genelde "desibel" adı verilen ve söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının logaritmasının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın kullanılmaktadır. Özellikle alt ve üst sınırları arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur. Desibel ile ölçülen büyüklüklere "düzey" adı verilir [2].

1.1.4 Ses ile ilgili temel ölçü parametreleri

Ses enerjisi (SI), ses dalgaları titreşimli bir nesneden veya ses kaynağından dışarı doğru hareket ettiğinde üretilen enerjidir ve birimi Joule'dir (J). Ses gücü ise bir ses kaynağından ses şeklinde yayılan enerjinin birim zamandaki miktarına denir, birimi Watt'tır. Ses şiddeti, belli bir ortamda ses dalgalarının yayılımına dik şekilde birim alandan geçen ortalama ses gücüne denir ve birimi Watt/m^2 şeklinde verilir. Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok, belli bir noktada yarattığı ses basıncı değişimi önemlidir, zira ses basıncı insan kulağının hissettiği bir parametredir [5].

1.2 Gürültü

İnsanlar üzerinde olumsuz etki yapan ve hoşa gitmeyen seslere gürültü denir. Gürültünün insanlar üzerinde fiziksel, fizyolojik, psikolojik ve performans açısından olumsuz etkileri bulunmaktadır. Gürültünün işitme duyusu üzerindeki olumsuz etkileri "ani" veya "zamanla" ortaya çıkabilir [6]. Ani ve yüksek bir sesin kulak zarını yırtması ya da hassas korti yapısının fizyolojik yapısını düzelmeyecek şekilde bozması ani oluşan etkilere örnek olarak verilebilir. Bunun yanında, ani zarar oluşturmayacak düzeydeki gürültüye uzun süre maruz kalan kişilerde sürekli işitme kayıpları görülebilir. Gürültünün; kan basıncının artması, dolaşım bozuklukları, solunumda hızlanma, kalp atışlarında yavaşlama, ani refleks, stres, uykusuzluk gibi bir takım fizyolojik etkileri de bulunmaktadır. Stres ve uykusuzluk dışında, bu etkilerin çoğu kısa süren etkilerdir. Son olarak gürültü; davranış bozuklukları, aşırı sinirlilik, korku ve tedirginlik gibi etkilere de neden olabilmektedir. Bu durumda; kişilerde konsantrasyon bozukluğu ve

hareket kabiliyetinde yavaşlama gibi iş verimini olumsuz etkileyebilecek sonuçlar ortaya çıkabilir [7].

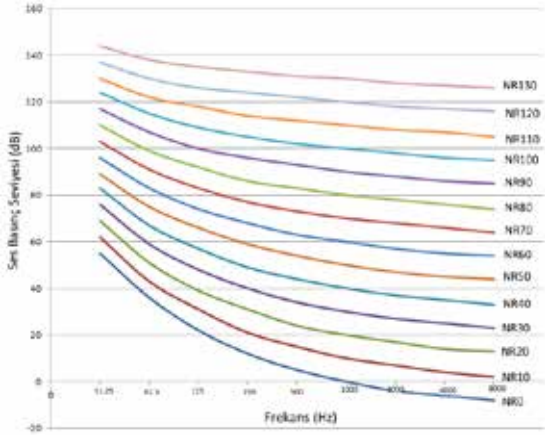
1.2.1 Gürültü ölçümü

Gürültü ölçümünde amaç; gürültü kaynağını bulmak, belli bir noktadaki gürültü düzeyini saptamak, gürültünün frekans dağılımını belirlemek veya darbe gürültüsünü saptamak gibi farklı biçimlerde olabilir. En çok kullanılan ölçüm, istenilen bir yerdeki gürültü düzeyinin saptanmasıdır [8]. Bu tür ölçümler, genellikle çevre gürültüsünün standartlara uygunluğunu veya iş yerlerindeki gürültü düzeyinin istenen sınırlar içinde olup olmadığını kontrol etmek için yapılır. Gürültü ölçümleri, kaynağın bulunduğu ortamda veya özel tasarlanmış test odalarında yapılır. Ses kaynağının ses yayma özelliklerinin ve ses gücü düzeyinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu ölçümlerde genelde ses düzeyinin tespiti yoluna gidilir. Ses düzeyinin ölçümü için; her banttaki ses basıncı düzeyi belirlendikten sonra, ağırlık eğrisi kullanılarak "ağırlıklandırılmış" toplam ses basıncı düzeyinin hesaplanması gerekir. Ses düzeyi ölçer ile bir noktadaki ses düzeyi doğrudan ölçülebilir. Ses düzey ölçerlerin bir kısmında A, B, C, D ağırlıklı ses düzeylerini bulmak için ayrı elektronik devreler bulunur. Böylece ses düzeyi, dBA, dBB, dBC veya dBD olarak ölçülebilir. Basit ses düzey ölçerler sadece ses düzeyi ölçerler. Ancak ölçüm sonucunda gürültünün fazla olduğuna ve azalması gerektiğine karar verilirse; gürültünün frekans dağılımının da bilinmesi gerekir. Bu da frekans analizi (spektrum analizi) yoluyla sağlanabilir [1]. Frekans analizinde pratikte genellikle 1/3 oktav ya da 1/12 oktav bantları kullanılır. Frekans analizlerinde kullanılan bant genişliği azaldıkça analiz daha hassas hale gelmektedir. Buna karşılık analizin yapılacağı bant sayısı çoğalacağı için analiz süresi artmaktadır [1]. Gürültülü bir ortamda çalışan bir kişi, kararsız gürültü etkisi altındaysa veya değişik sürelerde değişik gürültü düzeylerindeki ortamlarda bulunuyorsa, kişinin gürültüden etkilenme durumunu belirlemek için etkisinde kaldığı gürültü dozunu hesaplamak gerekir. Gürültü dozu ölçerler, yüzde olarak gürültü dozunu verdiği gibi söz konusu zaman aralığında kişinin etkisi altında kaldığı en yüksek gürültü düzeyini de saptar [1].

1.2.2 Gürültü ölçütü eğrileri

Arka plan gürültüsü, bir ortamda incelenen gürültü kaynağı dışındaki bütün gürültü kaynaklarının yarattıkları toplam gürültüyü ifade eder. Kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsünün düzeyini saptamak ve bilinen sınırlı değerlerle kıyaslamak üzere gürültü ölçütü (NC-Noise Criteria) eğrileri kullanılmaktır. Daha çok Amerika'da kullanılan NC, sesin basınç değerinin dB ya da dB(A) gibi bir ölçüsüdür. Her eğri, verilen bir NC değeri için ulaşılabilecek en yüksek oktav bant basıncı düzeyini göstermektedir. En basit kullanımda, incelenen gürültünün oktav bant basıncı düzeyleri NC

eğrilerinin üzerine işaretlenir; en büyük NC değerine yakın nokta, gürültünün NC değerini belirler. Öte yandan, NC eğrilerinin fazla duyarlı olması gerekçesiyle, 1971 yılında yine Amerika'da "tercih edilen gürültü ölçütü PNC (Preferred Noise Criteria) eğrileri kullanılmaya başlanmıştır. PNC eğrileri, NC eğrilerine göre; 125, 250, 500 ve 1000 Hz oktav bantlarında yaklaşık 1 dB, öteki oktav bantlarında ise 4-5 dB daha düşüktür. Avrupa'da ise NC ve/veya PNC eğrileri yerine, sesin basınç değerinin dB ya da dB(A) gibi bir ölçüsü olan gürültü derecesi NR (Noise Rating) eğrilerinin kullanımı tercih edilmektedir. Gürültü ölçütü eğrileri NC, PNC ve NR'nin en büyük yararı, kapalı yerler için izin verilen gürültü üst sınır değerlerinin tek bir sayı ile belirlenebilmesine imkân sağlamalarıdır [1]. Şekil 2'de NR gürültü ölçüt eğrilerine bir örnek verilmiştir. NR eğrileri 1000 Hz'deki ses basınç seviyesini göstermekte olup, örneğin NR60 1000 Hz'de ses basıncının 60 dB seviyesinde olduğuna işaret etmektedir [9].



Şekil 2: *Ses Seviyesi NR Grafiği [9].*

1.2.3 Gürültü Kontrolü

Gürültünün çevredekilere verdiği zararı engellemek amacıyla; gürültünün yaratıldığı ortamın özelliğine, çevredeki kişilerin gürültülü ortamda bulunma sürelerine ve koşullarına bağlı olarak, değişik gürültü düzeyi sınır değerleri belirlenmiştir. Bu bağlamda hem çevresel hem de endüstriyel gürültünün, yasal sınır değerlerin altında tutulması beklenir [1, 9]. Gürültü ile mücadele etmede üç ana yaklaşıma gerek vardır: Gürültüyü kaynakta kontrol altına almak, gürültüyü kaynakla alıcı arasındaki alanda kontrol altına almak ve gürültüyü alıcıda, gürültüye maruz kalan kişide kontrol altına almak [10]. Temel kural, mümkün olduğu kadar gürültünün kaynakta azaltılmasıdır. Gürültünün yayılma alanında kontrol altına alınması ise; alan müsait olduğunda, makinelerin birbirlerine olan uzaklıklarının ayarlanması yolu ile duvar, taban ve tavan yüzeylere ses yutucu malzemeler yerleştirilmesiyle ve yapısal olarak ses kırıcı bariyer ve duvar uygulamaları ile yapılabilir [10].

1.3 Ses Yutumu

1.3.1 Ses yutum katsayısı

Ses yutma, ses dalgalarının akustik enerjisini başka bir forma, genellikle ısıya dönüştüren bir malzeme özelliğidir. Bir malzemenin yutma yeteneğini ifade eden ses yutum katsayısı (α) 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bir ses dalgası akustik bir malzemeye çarptığında, ses enerjisinin bir kısmı yutulur ve diğer kısmı da malzeme tarafından yansıtılır. Malzemenin ses yutum performansı, yutulan enerjinin oranına bağlıdır. Bu tanıma göre, bir yüzeye gelen ses enerjisinin yansımayan kısmının ne kadarının gerçekten yutulduğu, ne kadarının ise malzemenin diğer tarafına iletildiği ile ilgilenilmez. Maksimum ses yutumu; malzeme empedansının, havanın karakteristik empedansına eşitlenmesi halinde meydana gelir. Bu nedenle, malzemenin ses yutum katsayısı, ses dalgalarının frekansı ve açısına göre değişen malzeme empedansına (Z_0) bağlıdır [1, 11]. Bazı yapı malzemelerinin oktav bandı merkez frekanslarındaki ses yutum katsayısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1*: Bazı yapı malzemeleri için ses yutum katsayıları [1].*

Malzeme	**Oktav Bandı Merkez Frekansı (Hz)**					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alçıpan tavan (12 mm kalınlıkta)	0.29	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04
Beton blok (pürüzlü)	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Beton blok (boyalı)	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	008
Beton oda zemini	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Beton üzerinde plastik yer karosu zemin	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Cam (pencere camı)	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Cam (kalın plaka)	0.18	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02
Cam yünü levha (4 cm kalınlığında)	0.86	0.91	0.80	0.89	0.62	0.47
Halı (beton üzerinde)	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Halı (kauçuk köpük üzerinde)	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73
Kontrplak levha (1 cm kalınlığında)	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Mermer yer karosu	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Parke oda zemini	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Sıva (kaba)	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03
Sıva	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
Tahta blok (5 cm kalınlığında)	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Tahta kapı	0.10	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04
Tahta tavan kaplaması (geçmeli)	0.24	0.19	0.14	0.08	0.13	0.10
Tahta zemin	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Tuğla	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Tuğla (boyalı)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03

1.3.2 Ses yutum katsayısı ölçüm yöntemleri

Akustik bir malzemenin ses yutum katsayısını ölçmek için kullanılabilecek iki standart ölçüm yöntemi vardır. Bunlardan biri çınlama odası yöntemi, diğeri ise standart dalga oranı ya da transfer fonksiyon esasına dayanan empedans tüpü yöntemidir.

Çınlama odası yöntemi

Çınlama odası metodu, bir odada çıkan sesin çınlama süresinin, odaya yerleştirilen ses yutum malzemesinin etkisiyle değişimini gösterir. Bu sayede malzemenin "yutum" katsayısı belirlenir. Ses seviyesinin 60 dB azalması için gereken süre, çınlama süresi veya T_{60} olarak adlandırılır. Çınlama süresi, ses yutum malzemesinin ortama yerleştirilmesinden önce ve sonra ölçülür. Çınlama odalarında yapılan testler uluslararası standartlar dâhilinde yapılan ölçümlerdir. Çınlama odası yöntemi, ISO R354-2003, ASTM C423-17 ve AS 1045-1988 standartlarına uygun olarak yapılır [12-14]. Ölçüm test numuneleri ASTM C423 standardına göre en az 6,69 m^2 ve üzerinde olmalıdır [15].

Empedans tüp yöntemi

Empedans tüp yönteminde; ucuna örnek malzemenin yerleştirildiği yeterince uzun, rijit ve doğrusal bir tüpte oluşturulan durağan dalganın maksimum ve minimum basınç değişimleri elde edilerek örnek malzemenin yutma katsayısı hesaplanır. Düzlemsel dalgalar bir ses kaynağı tarafından üretilir. Ses basıncı numuneye yakın iki noktadan ölçülür. İki mikrofonla uygulanan testte mikrofonlar arasında faz kalibrasyonu yapılır ve bu iki mikrofon sinyalleri arasındaki transfer fonksiyonu (H) ölçülür. Transfer fonksiyonu kullanılarak; kompleks yansıma faktörü (r), ses yutma katsayısı (α) ve numunenin empedansı hesaplanır. Kullanılabilir frekans aralığı tüpün çapına ve mikrofonlar arasındaki mesafeye göre belirlenir. Ölçüm işleminde kullanılan standart cihazlar; empedans tüp aparatı, sinyal üreteci, PC, frekans ölçer ve sinyal ölçerdir [16].

2. DOĞAL LİFLERİN SES YUTUM PERFORMANSLARI

Lif tabanlı yalıtım malzemeleri uygulamaları esnasında farklı formlarda kullanılabilirler. Bu formlar şu şekilde sınıflandırılabilir [17, 18]:

- Havlı/Tüylü Formlar: Yaygın olarak bina uygulamalarında kullanılan bir form olup, malzeme serbest halde kullanım alanına püskürtülerek tatbik edilebilir. Kohezyon bulunmaz, gevşek dolgu olarak kullanılabilir (Şekil 3).

- Rijit levha/Paneller: Kendi ağırlıkları ile deforme olmazlar. Malzeme kohezyonu vardır ve tabaka formuna sokulabilirler.

• Yarı rijit levhalar/Keçe veya rulo formunda esnek malzemeler: Kendi ağırlıkları altında eğilebilirler. Tatbik edilmeleri rijit olanlara göre biraz daha zordur.



Şekil 3: Püskürtme tekniği uygulaması [19]

Ses yutumu ve gürültü kontrol uygulamaları amacıyla minerallerden yapılmış taş yünü, cam yünü, sünger, köpük gibi ürünler ticari olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Taş yünü; diğer ismi ile kaya yünü, açık ve gözenekli yapısı sayesinde etkili olan doğal bir ses bariyeridir. Volkanik kayaçların 1600 °C ve üzerinde kalan sıcaklıklara maruz kalıp eritilmesiyle elyaf haline getirilmesinden elde edilmektedir. Taş yününün elde edildiği volkanik kayaçlar, mineral oranı açısından en zengin inorganik taşlardır ve bu nedenle taş yünü tercih edilen doğal yalıtım malzemeleri arasında yer almaktadır. Taş yünü; yüksek frekanslı gürültülerin azaltılmasında oldukça etkili olup, 1000 °C'ye varan yüksek sıcaklıklardaki sistemlerde ses yalıtımı amaçlı A1 sınıfı yanmaz ürün olarak da kullanılabilmektedir [20-23]. Cam yünü; mineral kökenli olup, silis kumunun 1200°C – 1250°C'de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu elde edilmektedir. Kum, çakıl taşı gibi maddelerin en az %95 SIO_2 içeren bileşenlerine silis denir ve silis yerkabuğunun yaklaşık %26'sını oluşturur. Cam yünü, ısı ve ses yalıtımı amaçlı kullanılabilen gözenekli ve lifli bir yalıtım malzemesidir [20, 24, 25]. Seramik yünü de mineral esaslı olup, 1400 °C'ye varan yüksek sıcaklıklarda ısıl yalıtımının yanında ses ve yangın yalıtımı amaçlı da kullanılmaktadır. Beyaz renkli olup, yoğunluğu kullanım alanına göre genellikle 100 – 150 kg/m^3 arasında değişiklik gösterir. Şilte, levha ve dökme şeklinde farklı formlarda üretilip kullanılabilir [20, 26].

Ortamdaki sesin akustik düzenlemesini sağlayan akustik süngerlerin üretiminde poliüretan ve melamin hammaddesi kullanılmakta ve rahatsız edici seslerin yutumu için yüksek performans göstermektedirler [20, 27]. Genleşmiş polistiren; strafor ya da köpük adıyla da bilinen termoplastik bir yalıtım malzemesidir. Polistiren, polistiren taneciklerinin pentan gazıyla genişletilmesi ve taneciğin içindeki pentanın bir süre sonra hava ile yer değiştirilmesiyle oluşur ve dolayısıyla malzemenin %98'i havadır. Bu özelliği, malzemeye hafiflik ve büyük bir ısıl direnç özelliği kazandırır. Isı

yalıtım malzemesi olarak kullanılan genleşmiş polistiren özel bir işlemden geçirildikten sonra ses yalıtımı amacıyla da kullanılabilir [28]. Mineral ve sentetik malzemelerden yapılmış bu ürünlerin toksisite seviyelerine bağlı olarak çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri bulunmaktadır. Özellikle hava ile doğrudan ve uzun süre temas etmeleri halinde liflerin akciğerlere dolması veya cilt tahrişleri gibi sorunlar ortaya çıkarabilir. Bu malzemelerin üretimlerinin, doğal malzemelere kıyasla atmosfere daha fazla karbon dioksit salabileceği de belirtilmektedir (Tablo 2) [29-32].

Tablo 2: *Mineral ve sentetik esaslı malzemeler ile doğal malzemelerin çevresel etkileri [30,31]*

Lif Tipi	Küresel Isınma Potansiyeli (Kg CO_2 eşdeğeri)
Doğal Kauçuk (6,4 kg/m3)	2,4
Hindistan cevizi lifleri (50 kg/m3)	0,0
Keten lifleri (25 kg/m3)	0,0
Yün lifi (30 kg/m3)	-0,3
Selüloz yumakları (35-70 kg/m3)	0,2
Sünger (130 kg/m3)	3,7
Cam lifi (34 kg/m3)	2,1
Taş yünü (56-60 kg/m3)	1,2
Polistiren köpük (EPS) (30 kg/m3)	2,3

Doğal liflerden elde edilen ses yutucu malzemeler yenilenebilir olma özelliği bulunan, çevre dostu üretim yöntemlerine sahip, düşük enerji maliyetli malzemelerdir. Bitkisel liflerin üretimi için ihtiyaç duyulan enerji miktarının, sentetik lifler için duyulanın yarısı kadar olduğu ifade edilmektedir [32]. Buna ilave olarak, doğal lif içerikli malzemeler, mineral esaslı akustik keçelere kıyasla iyi bir nem absorpsiyon özelliği de göstermektedir [29,30]. Tüm bu değerlendirmeler ışığında, akustik uygulamalarda doğal lif kullanımının avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Düşük seviyede çevre kirliliğine sebep olurlar.
- Düşük karbon emisyonları vardır.
- Solunum hastalıkları ve cilt rahatsızlıklarına sebebiyet vermezler.
- Bio-çözünür olmaları nedeniyle daha az atık malzeme ortaya çıkar.

Doğal lifler elde edildikleri kaynaklara göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar [33,34]:

Bitkisel Kaynaklı Lifler

Çekirdek (Tohum) Lifleri: Pamuk, kapok

Gövde (Sap) Lifleri: keten, kenevir, jüt, rami

Yaprak Lifleri: Agave, sisal, rafya

Meyve Lifleri: Hindistan cevizi

Hayvansal Kaynaklı Lifler

Deri Ürünü Lifler: Yün (Koyun), Keçi yünü, Lama yünü, Deve Tüyü, Moher, Angora, Alpaka, Kaşmir, At Kılı

Salgı Lifleri: Doğal İpek, Tussah İpeği

Mineral Kaynaklı Lifler: Asbest Lifleri, cam lifi

Bitkisel veya hayvansal kökenli organik liflerin pek çoğu ses yutum uygulamaları için potansiyel malzemelerdir. Bu noktadan hareketle, Suddell [35] yalıtım malzemesi olarak kullanılan bitkisel lifleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

(1) Kamış (mısır ve buğday)

(2) Çim (bambu)

(3) Gövde- Sap (Keten, kenevir, vs.)

(4) Yaprak (Sisal)

(5) Tohum (Pamuk)

(6) Meyve (Hindistan cevizi, ananas)

(7) Odun (Orijinal kaynaklarına bağlı olarak Çam, talaş)

Bitkisel lifler, ağırlıklı olarak selülozik ve uzun, kalın duvarlı hücrelere sahip olup; kimyasal bileşimlerinde selülozun yanı sıra hemiselüloz, pektin, lignin gibi maddeler de bulundurur. Bu liflerin elde edildiği bitkiler arasında pamuk, keten, kenevir, kenaf, rami, sisal, bambu, abaka yer almaktadır [36]. Kenevir, keten, jüt, rami gibi gövde lifleri, bitki kabuğunun hemen altında yer alır ve yaprak liflerine göre nispeten daha yumuşaktır. Öte yandan, sisal, agave, muz, palmiye gibi yaprak lifleri ise genellikle sert tutumlu liflerdir. Jüt, kenevir ve sisal lifleri 100 mikron ve üzeri çapları ile kalın liflerdir. Pamuk, keten, rami gibi lifler ise 13-25 mikron arasında değişen çapları ile ince liflerdir. Hayvansal lifler koyun, alpaka, lama, keçi, deve gibi hayvanlardan elde edilen yün ve kıl kökenli liflerdir. Koyundan elde edilen yün lifleri protein, yağ, kalsiyum ve sodyum içerir [37]. Ses yutumu performansı açısından; mineral, sentetik, doğal gibi farklı içerikli panel formunda malzemelerin karşılaştırmalı bir değerlendirmesi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: *Mineral, sentetik ve sürdürülebilir malzemelerin ses yutum katsayıları [31,38-40]*

Lif Tipi	Ses Yutum Katsayısı (500 Hz)	Malzeme Kalınlığı (cm)
Kenevir	0,60	5
Kenaf	0,74	5
Pamuk	0,50	5
Keten	0,40	5
Jüt	0,20	5
Hindistan cevizi lifi	0,42	4
Yün lifi	0,38	6
Ahşap yünü	0,32	4
Cam yünü	1	5
Taş yünü	0,9	5
Polistiren köpük	0,5	4

Tablo 4'te ise doğal lif esaslı panellerin inceliklerine bağlı olarak ses yutum katsayılarının değişimi yer almaktadır.

Tablo 4: *Doğal liflerin inceliklerine bağlı olarak ses yutum katsayısı değişimi [41]*

Lif Tipi	Lif inceliği (mikron)	Malzeme Kalınlığı (cm)	Ses Yutum Katsayısı (500 Hz)
Pamuk	13,5	5	0,50
Keten	21,8	5	0,40
Rami	24,4	5	0,40
Jüt	81,2	5	0,20
Yün	37,1	5	0,20
Sisal	213	5	0,10

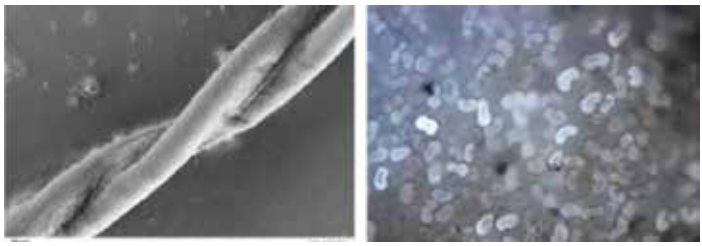
Doğal liflerin ses yutum mekanizması, mikro yapılarına bağlı olarak sentetik liflere kıyasla daha karmaşıktır ve bu mekanizma üç fiziksel işlemi içermektedir [42].

- Liflerin üzerine ses dalgasının gelmesiyle; lifler ile hava boşlukları arasındaki viskoz etki ses enerjisinin bir kısmını azaltır ve ısıya dönüştürür.
- Liflerin birbirlerine sürtünmesi neticesinde, lifler arasındaki sıcaklık farklarına bağlı olarak ısı transferi gerçekleşir. Bu izotermal proses yardımıyla ses enerjisi dağılır.
- Liflerin içerisindeki havanın titreşimi, liflerin titreşimine neden olarak ses dalgası enerjisinin yayılması sağlar.

2.1 Pamuk

Doğada en saf haldeki selüloz olan pamuğun yassı, bükümlü, şeride benzer bir yapısı vardır. Bükümler lif yüzeyine düzgünsüz bir görünüm

verirler. Kesiti böbrek veya fasulye şeklindedir. En dışta primer çeper, ortada lifin karakteristik özelliklerini belirleyen sekonder çeper, merkezde ise lümen adı verilen merkezi bir kanal vardır.

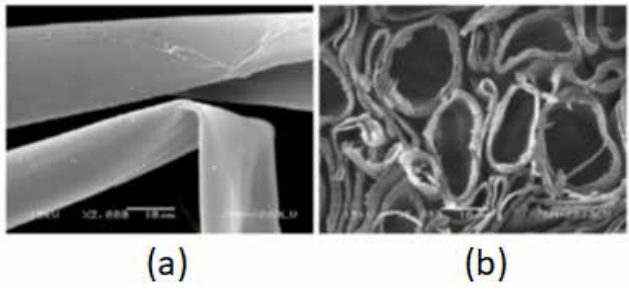


Şekil 4: *Pamuk Lifinin Boyuna ve Enine Kesiti [43].*

Doğal liflerin ses yutum performanslarının incelendiği bir çalışmada, aynı kalınlıktaki taş yünü ve cam yünü numuneleri ile 13,5 mikron çapa sahip pamuk lifinden elde edilen sıkıştırılmış lif formunda numunelerin benzer ses yutum katsayıları verdikleri ifade edilmiştir [44]. Bir diğer çalışmada; pamuk lifleri, bağlayıcı olarak kullanılan geri kazanılmış polyester lifleri ile karıştırılmış ve 50 mm kalınlığa gelecek şekilde sıkıştırılarak özel numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin empedans tüpünde yapılan ölçümlerinde, 1000 Hz gibi nispeten düşük frekansta ses yutum katsayısının 1'e yakın değerler verdiği görülmüştür [38].

2.2 Kapok

Kapok lifi tek hücreli, silindirik biçimli, bükümsüz bir liftir. Liflerin kesiti oval-yuvarlaktır. Pamuğun 1/6'sı kadar ağırlıktadır. Hafif olduğundan dolgu maddesi olarak kullanılır. İçi hava ile dolu geniş bir lümeni bulunmaktadır. Bu geniş lümen sayesinde mükemmel ısı ve ses yalıtım özelliğine sahiptirler. Anılan özellikleri nedeniyle uçaklarda kullanımı bulunmaktadır [45,46].



Şekil 5: *Kapok Lifinin (a) Boyuna ve (b) Enine Kesiti [45].*

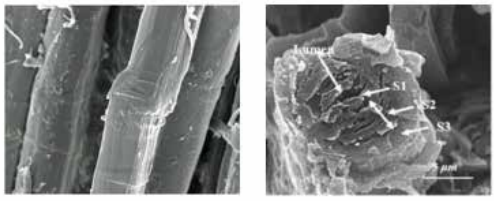
Yapılan bir çalışma; laboratuvar ortamında kontrollü bir şekilde oryante edilen kapok lif tutamlarının ses yutum performansının; tutam yoğunluğu, kalınlığı ve kapok liflerinin yerleşiminden önemli derecede etkilendiğini, ancak lif uzunluğuna daha az bağlı olduğunu göstermiştir. Çalışmada

ayrıca, benzer yoğunluğa sahip olacak şekilde sıkıştırılmış kapok ve pamuk lif numunelerinin ses yutum performansları birlikte değerlendirilmiş ve kapok lif numunelerinin daha iyi bir performans sergilediği ortaya konulmuştur. Pamuk ile benzer ses yutumu seviyelerine sahip kapok numunelerinin daha düşük yoğunluk değerlerinde olduğu belirtilerek, bu sonuca aşağıdaki unsurların sebebiyet verebileceği ifade edilmiştir [47,48]:

- Kapok liflerinin içi boş ve silindirik formdaki yapıları, ses dalgaları ile kapok lifleri arasındaki sürtünme direncini artırmıştır.
- Kapok lifinin yoğunluğu pamuğa göre daha düşük olduğundan kapok liflerinin titreşimi daha kolay olmuştur.
- Ses dalgalarını oluşturan havanın sıkışması ve genleşmesi sadece kapok lifleri arasında değil, lifin tüp şeklindeki içi boşluklu yapısı içerisinde de gerçekleşir ve böylelikle ısıl difüzyona bağlı olarak ses enerjisi yayılır. Pamuk lifleri söz konusu olduğunda ise bu durum sadece lifler arasında gerçekleşir [47].

2.3 Keten

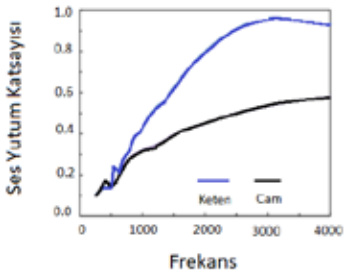
Keten lifi, bitkinin sap ve gövdesinden elde edilir. Keten sapının enine kesitinde, en dışta epiderm adı verilen bir kabuk tabakası görülür. Bu tabakanın iç kısımlarında yer alan odunsu hücreler arasında demetler halinde lif hücreleri bulunur. Lif hücreleri primer çeper, sekonder çeper ve lümenden oluşur (Şekil 6b). Bu lif demetleri birbirine ve kabuktaki diğer dokulara (odunsu hücrelere), pektin maddesi ile bağlanmıştır. Lif hücrelerini birbirine bağlayan pektin maddesi (iç pektin) ile demetleri odunsu hücrelere bağlayan pektin maddesi (dış pektin) arasında yapı bakımından hafif farklılıklar vardır. Lif kesiti çokgen şeklindedir. Lifin mikroskobik yüzey görünümünde uzun, şeffaf ve silindirik kanallar yer alır. Bunların aralarında boğum veya düğüm denilen enlemesine çizgilenmeler vardır ki bu yapı keten için karakteristiktir (Şekil 6a) [49].



Şekil 6: *Keten Lifinin (a) Boyuna ve (b) Enine Kesiti [50,51].*

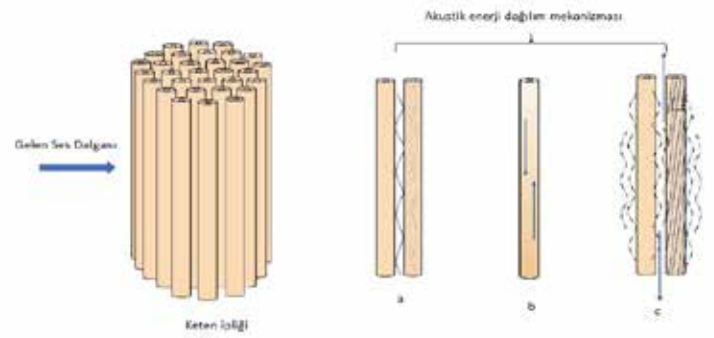
Kompozit uygulamalar için kullanılan ve ticari olarak pazarda mevcut bulunan; tek yönlü, keten ve cam lif şeritlerinden oluşan benzer gramaja sahip tabakaların ses yutum katsayılarının belirlendiği bir çalışmada; yo-

ğunluk farklılığına bağlı olarak cam lifi içerikli numunelerin kalınlıklarının yaklaşık % 50 daha ince olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, 250-4000 Hz frekans aralığında daha kalın olan keten lifi içerikli numunelerin çok daha iyi ses yutum performansı sergilediği gözlenmiştir [51].



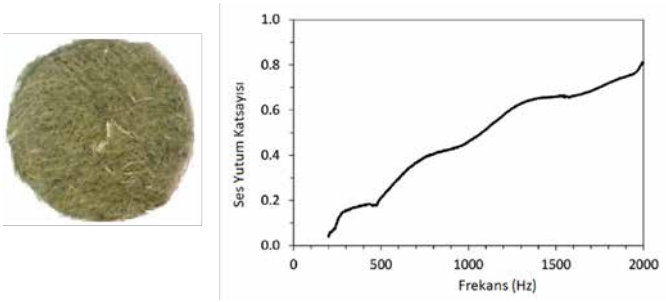
Şekil 7: *Keten ve cam lifi içeren tabaka formunda numunelerin ses yutum performansı [51].*

Bu çalışmada ayrıca Şekil 7'den de görüleceği üzere, keten lifi içerikli numunenin ses yutum katsayısının, 1000 Hz frekansın üzerinde 0,5 değerlerini aştığı ve en yüksek ses yutum katsayısına (0,96) 3200 Hz'de ulaştığı belirlenmiştir. Araştırmacılar aynı frekans aralığı için cam lifi içerikli numunenin ses yutum katsayısının 0,5'in altında kaldığını ifade etmişler ve bu durumu şöyle açıklamışlardır: "Gelen ses enerjisi lifler arasındaki ve lümenler içerisindeki hava moleküllerinin titreşimine sebep olurlar. Bu da hava ile lif hücre duvarı arasında bir etkileşime sebep olur. Bunun sonucu olan viskoz direnç, akustik enerjinin bir kısmını ısıl enerjiye çevirir (Şekil 8a). Bu esnada, lifin komşu partikülleri arasındaki ısı alışverişine bağlı olarak da ses yutumu sağlanır (Şekil 8b). En önemlisi ise, cam liflerinin rijit yapılarından farklı olarak keten liflerinin titreşim yapabilmesi sayesinde ses enerjisi ısı enerjisine kolaylıkla dönüşebilmektedir (Şekil 8c)" [51].



Şekil 8: *Keten ipliklerin akustik enerji dağılım mekanizmaları [51].*

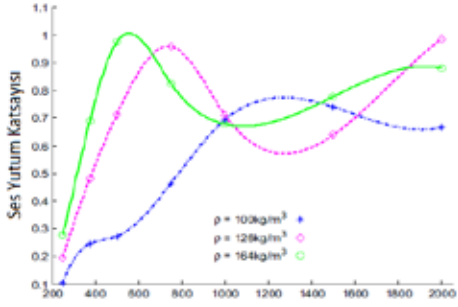
2.4 Kenevir



Şekil 9: *Kenevir lifi ses yutum performansı (3 cm) [52].*

Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kenevir lifi oldukça yüksek akustik karaktere ve ısıl yalıtım özelliğine sahiptir [44]. Kenevir liflerinin toksik özellikler taşımadığı ve gerek işlenmesi gerekse de kullanımı esnasında sağlık açısından tehlikeli olmadığı bilinmektedir [29].

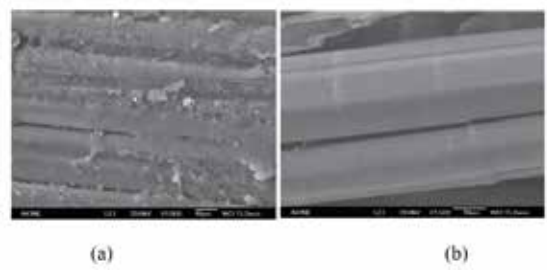
Kenevir liflerinin çapları 16 – 50 μm arasında değişmekte olup, geniş ve düz bir lümenleri bulunmaktadır. Köşeleri yuvarlak formda çokgen bir kesite sahiptir. Lifin uzunlamasına görüntüsünde çıkıntı şeklinde yüzey düzgünsüzlükleri vardır ve lif uçları konik formdadır. Kenevir lifleri keten liflerine göre daha kalındır [43]. Kenevir liflerinden oluşan, 50 kg/m^3 yoğunlukta ve 3 cm kalınlıktaki vatka formunda numuneler ile yapılmış olan bir çalışmada, lifin ses yutum katsayısının 2000 Hz frekansta 0,82'ye ulaştığını göstermiştir (Şekil 9). Önceki araştırmalardan farklı olarak daha yüksek yoğunluklara sahip olacak şekilde ve bağlayıcı (binder) kullanılmaksızın sıkıştırılmış kenevir lifi topaklarının ses yutum davranışlarının değerlendirildiği bir çalışmada ise numunelerin performansının 400–600 Hz arasında en üst seviyeye çıktığı ve numune yoğunluğu arttıkça düşük frekanslarda çok daha etkin ses yutum performansları elde edildiği belirtilmiştir (Şekil 10) [53].



Şekil 10: *Farklı yoğunluklara sahip kenevir liflerinin ses yutum performansları [53].*

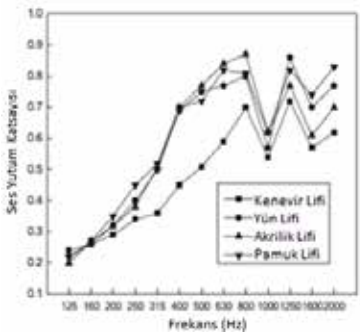
Hui ve Fan tarafından kenevir lifleri ile yapılan bir çalışmada; dövülmüş ve lif demetleri birbirinden ayrılmış kenevir liflerinin kalınlık ve yoğunluk-

ları ile lif çapları yanında, numune arkasında bırakılan hava boşluğunun ses yutum performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir [54]. 101,9 kg/m^3 yoğunluğa sahip kenevir lifi yığını kalınlığı 10 cm, 15 cm ve 20 cm olacak şekilde değiştirildiğinde, sırasıyla 800, 500 ve 400 Hz'lerde en yüksek ses yutum katsayısı değerlerine ulaşıldığı belirtilmiştir. Malzeme yoğunluğunun ve numune arkasında bırakılan hava boşluğunun artırılmasının da ses yutum performansı üzerinde olumlu etkileri olduğu değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, dövülerek ayrılmış kenevir lifi demetlerine uygulanan zamk giderme (degumming) işleminin malzemenin ses yutum performansına etkisi tartışılmıştır. Araştırmacılar, zamk giderme işleminin lif çapında azalmaya sebep olması nedeniyle kenevir liflerinin ses yutum performansına olumlu katkı sağladığını ve işlem süresindeki artışın bu etkiyi daha da güçlendirdiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, muamele edilmiş liflerin üzerlerinde bulunan safsızlıklar uzaklaştırıldığı için lifler daha düzgün yüzeylere sahip olmuş ve demetten daha fazla lif ayrılmıştır (Şekil 11) [54].



Şekil 11: *(a) Dövülmüş kenevir lifi (b) Zamk giderme işlemi uygulanmış kenevir lifi [54].*

Son olarak aynı çalışmada, dövülmüş kenevir liflerinden elde edilmiş aynı kalınlık ve yoğunluktaki malzemelerin ses yutum katsayıları ile yün, pamuk ve akrilik liflerinden mamul benzer özellikli malzemelerin performansları karşılaştırılmıştır (Şekil 12). Kenevir lif çaplarının, diğer liflere göre daha kalın olması nedeniyle ses yutum katsayılarının nispeten daha düşük çıktığı değerlendirilmiştir [54].



Şekil 12: *Kenevir, yün, akrilik ve pamuk liflerinin ses yutum performanslarının karşılaştırılması [54].*

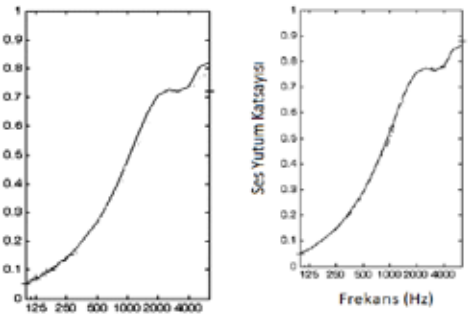
2.5 Jüt

Bir yıllık bir bitki olan jütün gövdesinde lif hücreleri demetler halinde bulunur. Hücrelerin primer duvarlarında büyük ölçüde lignin vardır. Sekonder duvardaki selüloz tabakaları da bir miktar lignin içerir. Bitki gövdesinin enine kesiti incelendiğinde beşgen veya altıgen şeklinde köşeli hücreler görülür. Hücrelerde lümenler daha geniştir. Jüt lifinin yüzeyi pürüzlü olup ses dalgalarının yüzeyden defalarca yansımasına ve zayıflamasına sebep olur [49, 55]. 1 cm kalınlığında, hava kabarcıklı naylon, strafor, köpük, alçı taşı ve jüt olmak üzere beş farklı malzemenin 400 Hz frekansta ses yutum performanslarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, elde edilen ses şiddeti düzeyi değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Tablodaki verilerden de görüleceği üzere, ses şiddeti düzeyi ortalama 51dB ile jüt malzeme en iyi performansı sergilemiştir.

Tablo 5: *Hava Kabarcıklı Naylon, Strafor, Köpük, Alçı Taşı ve Jüt Malzemelerden Geçen Ses Şiddeti Düzeyi [55].*

Malzeme	Ses yutucu malzemeden geçen sesin ortalama şiddet düzeyi (dB)
Hava kabarcıklı naylon	60,33
Köpük	60,33
Strafor	59,66
Alçı Taşı	58,33
Jüt	51,00

Araştırmacılar, malzemeler arasındaki performans farklılıklarını şu şekilde açıklamışlardır:



(a) *(b)*

Şekil 13: *(a) Jüt (b) yün liflerinin ses yutum performansları [44].*

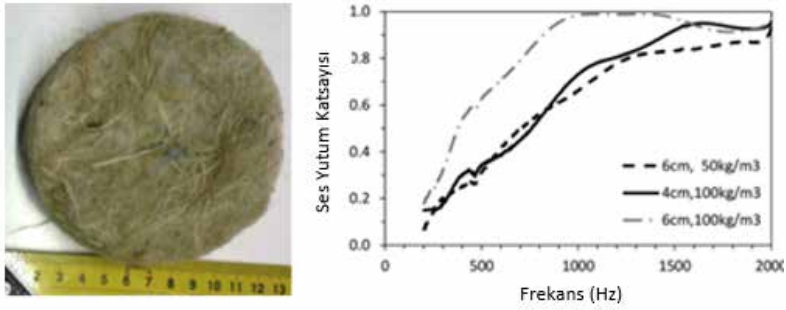
"Hava kabarcıklı naylon, içerisindeki hava ceplerinin oluşturduğu kabartılar; strafor, bünyesinde bulunan hava delikleri ve yapı düzgünsüzlüğü ve köpük, yumuşak olması ve içerisindeki ufak kabarcıklar nedeniyle sesin dağılmasını ve yutulmasını sağlamıştır. Alçı taşı, sert ve yüzey düzgünsüzlüğü bulunan bir malzeme olup, sesin yutulmasından ziyade yansımasına sebep olmuştur. Jüt ise, yumuşak yapısı, düzgünsüz yüzeyi ve lif yapısına

bağlı olarak ses yutumunda en yüksek performansı göstermiştir.” Taraklanmış, 62,1 mikron kalınlığında jüt liflerinin ses yutum performanslarının, 37,1 mikron yün liflerininki ile karşılaştırıldığı bir çalışmada (Şekil 13), jüt lifleri daha kalın olmalarına rağmen yün lifleri ile benzer bir ses yutum performansı sergilemişlerdir. Araştırmacılar bu durumu, jüt liflerinin yün liflerine göre daha kolay sıkıştırılarak kompakt bir yapı oluşturabilmesine ve ölçümü yapılan jüt numunenin daha düşük gözenekliliğe sahip olmasına bağlamışlardır [44].

Mohanty ve Fatima, jüt keçelerin ev tipi çamaşır kurutucusunda ve elektrikli süpürgelerdeki ses yutum performanslarını incelemişler ve ses düzeyinde dBA seviyelerinde önemli düşüşler gözlediklerini belirtmişlerdir. [56,57].

2.6 Kenaf

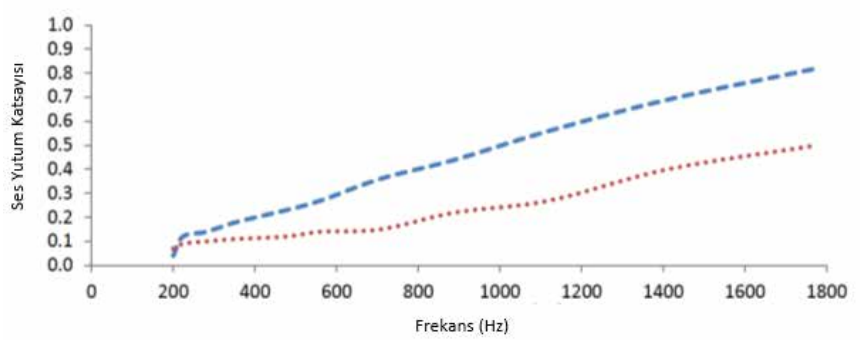
Kenaf, lifli yapısından dolayı hem tek başına, hem de kompozit olarak yaygın kullanıma sahiptir. Köşeleri yuvarlak çokgen bir kesite sahip olup, lümeni geniş ve oval/dairesel şekildedir. Kenaf lifinin lümen kalınlığı lif uzunluğunca değişmekte ve kesintiye uğramaktadır. Kenaf lifinin ses yutumu açısından değerlendirildiği bir çalışmada; yoğunlukları 50 ve 100 kg/m^3 olan kenaf liflerinden hazırlanan 4 ve 6 cm kalınlığındaki panel numunelerin orta ve yüksek frekanslarda yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Kalınlık değiştirilmeksizin yoğunluğun artırılması 2000 Hz frekans bandında ses yutum katsayısının 0,94 seviyesine ulaşmasını sağlanmıştır. Ayrıca, aynı yoğunluktaki kenaf malzemesinin kalınlığının %50 oranında artırılmış olması, 250-1500 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısının da artmasına sebep olmuştur [29,52].



Şekil 14: *Farklı yoğunluk ve kalınlığa sahip kenaf numunelerinin ses yutum katsayıları [52].*

6, 9, 11 mm kalınlık, 10, 20, 30 gram ağırlık ve 41, 51, 52 kg/m^3 yoğunluğa sahip sıkıştırılmış kenaf liflerinin ses geçiş kayıplarının tayin edildiği bir başka çalışmada, 500 Hz frekansta 10 gram kenaf numunesinin 15,60 desibel ses geçiş kaybı, 30 gram kenaf numunesinin ise 630 Hz

frekansta 17,86 desibel ses geçiş kaybı sağladığı görülmüştür [58]. Çalışmada ayrıca; kapok liflerinin Hindistan cevizi liflerine göre ses geçiş kaybı açısından üstün özellikler sergilemiş olduğu da belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada ise; kenaf ve pirinç saman liflerinin Üniversal Test Makinesi'nde kalıp kullanılarak sıkıştırılmasıyla elde edilmiş lif demetlerinin ses yutum katsayısı ölçümleri yapılmış ve 6 cm kalınlığındaki kenaf lif demetinin 1800 Hz frekansta ses yutum katsayısı değerinin 0,8'e ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 15) [59].



Şekil 15: *Kenaf numunelerinin ses yutum katsayıları [58].*

Kenaf ve Hindistan cevizi liflerinin farklı sıralarda dizilmesiyle oluşturulan katmanlı yapıların ses yutum performanslarının çınlama odası ve empedans tüpü yöntemleriyle tayin edildiği bir çalışmada, kenaf lif katmanının gelen sesi ilk karşılayacak şekilde yapıda bulunması halinde numunenin düşük frekanslarda ses yutum performansının iyileştiği, ses dalgasının geliş yönüne göre ikinci katman olarak konumlandırılması halinde ise benzer iyileşmenin daha yüksek frekanslarda ortaya çıktığı belirtilmiştir [60].

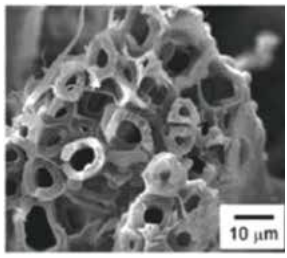
2.7 Rami

Lif hücreleri, bitkinin gövdesinde kabuk kısmının altında yer alır. Hücreler diğer bast liflerinden farklı olarak; demet halinde değil, tek tek dizilmiş şekildedir. Liflerin enine kesitleri ketenden çok pamuk lifine benzer. Lif yüzeyi üzerinde çatlaklar bulunan, yassı bir şeride benzer. Rami liflerinin %80-85'ini selüloz oluşturur. Bu liflerde lignin yoktur, pektin ise yapıda % 6,5-7,5 oranında yer alır. Jüt lifi ile doğal kauçuk/jüt kompozit malzemenin kullanılmasıyla ses yutum katsayısı ve ses geçiş kaybının incelendiği deneysel bir çalışmada, içerisinde jüt dolgulu akustik battaniyenin yalıtım malzemesi olarak kullanıldığı ev tipi bir kurutma makinasından yayılan ses gücünde 6 dB azalma sağlanmıştır [61,62].

2.8 Sisal

Sisalin yapısında % 65-72 selüloz, ayrıca hemiselüloz, pektin ve % 9-14 lignin bulunur. [41]. Sisal lifleri, birbirleri ile yapışık halde, içi boş

hücre demetleri şeklindedir. Lifin hücre duvarları ise milyonlarca nano-liften oluşmaktadır (Şekil 16). Yang ve Li, sisal liflerinin, düzgün ve birbirlerine benzer kesitlere sahip cam ve karbon liflerine göre daha iyi ses yutum performansı göstermesinin lifin içerisindeki hava boşluğundan ve hücre duvarındaki nano fibrillerin mevcudiyetinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir [59].



Şekil 16: *Sisal Lifinin Boyuna ve Enine Kesiti [41].*

140 kg/m^3 yoğunluğa sahip ve su bazlı bir bağlayıcı (binder) ile bir arada tutulan sisal liflerinden oluşan numunelerin, 1000 Hz'de tam yutum performansı sergilediği görülmüştür [38].

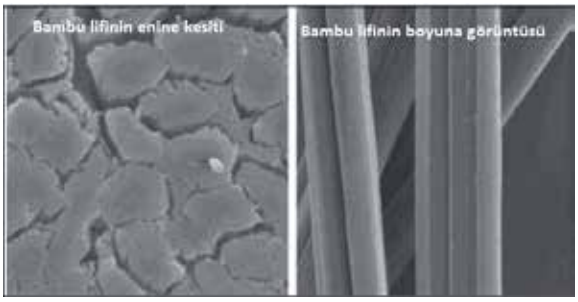
2.9 Hindistan Cevizi Lifleri

Hindistan cevizi, uygun toprak ve nem bulduğu takdirde bütün tropik bölgelerde yetişen palmiye familyasından bir bitkidir. Boyu 18-34 m' dir. Bu bitkinin meyvesi olan hindistan cevizinin üstünü örten lifli tabakadan Hindistan cevizi lifleri elde edilir. Hindistan cevizi liflerinin boyuna görünüşü iğ şeklindedir. Süngerimsi bir zarla kaplıdır. Enine kesiti muntazam kapalı bir kılıf tarafından çevrilmiş lif hüzmelerinden oluşur. Bu lif hüzmeleri 30 -300 lif hücresinden oluşur. Kesiti eliptik, oval veya yuvarlağa yakındır. Kimyasal yapısı selüloz ve ligninden oluşur. Yapısında % 3–4 oranında pektin ve % 0,15–0,25 oranında hemiselüloz da bulunmaktadır. Dış pektin ve diğer suda çözünen maddeler havuzlama sırasında liften ayrılır. Hindistan cevizi diğer meyvelere göre daha az selüloz içerir [49]. Çalışmalar, Hindistan cevizi lifinden mamul ses yutum panellerinin, uygun kalınlıklarda (20 mm ve üzeri gibi) ve 2500 Hz ve üstü frekanslarda sahip olduğu 0,98'lik ses yutum katsayısı performansı ile sentetik esaslı (cam elyaf veya mineral esaslı sentetik malzemeler gibi) ticari ürünlere alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir [29]. Hindistan cevizi lifinin ses yutucu malzeme olarak kullanım performansını tayin etmek üzere gerçekleştirilmiş bir çalışmada, 20 mm kalınlığındaki lif demet numunesinin arkasına gözenekli bir malzeme olarak dokuma kumaş ve kalınlığı 1 mm, delik çapı 2 mm ve delik oranı 0,20 olan perfore panel konularak ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, arkasında gözenekli malzeme olduğu halde Hindistan cevizi lifi numunesinin 2750-2825 Hz aralığında 0,97 ses yutum katsayısına, perfore panel destekli numunenin

ise 2600-2700 Hz aralığında 0.94-0.95 ses yutum katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, sentetik esaslı ticari ses yutucu malzemelerin yerine Hindistan cevizi liflerinin kullanılma potansiyeli bulunduğunu ifade etmişlerdir [63]. Zulkifli ve arkadaşları, Hindistan cevizi lifinin ve içerisinde anılan liften dolgu malzemesi bulunan perfore panellerin akustik özelliklerini test etmişlerdir. Yaptıkları deneysel ve simülasyon çalışmaları neticesinde, Hindistan cevizi lifinden elde edilmiş malzemenin 1000-2000 Hz aralığında 0,6'nın üzerinde bir ses yutum katsayısı verdiğini, perfore panel kullanımıyla bu aralıkta ses yutumunun arttığını belirlemişlerdir [64]. Hindistan cevizi lifleri ve perfore paneller ile yapılan diğer çalışmalar da bu sonucu destekler niteliktedir [65,66]. Bir başka çalışmada ise Hindistan cevizi liflerinden oluşturulmuş katmanlı yapıların ses yutum performansları simüle edilmiş, numunelerin arkasında hava boşluğu bırakıldığında, önüne perfore yüzey yerleştirildiğinde ve katman sayısı artırıldığında yutum performansının iyileştiği sonucuna ulaşılmıştır [67]. Fouladi ve arkadaşları, 70 mm kalınlığındaki Hindistan cevizi lif demetinin arkasında 20 mm hava boşluğu bırakarak ses yutum katsayısı ölçümleri yapmışlardır. Bu sonuçları 35'şer mm kalınlıktaki lif demetleri arasında 20 mm hava boşluğu bırakarak elde ettikleri numuneler ile karşılaştırmışlar ve numune arkasında bırakılan hava boşluğunun sonuca daha efektif katkı sağladığı sonucuna varmışlardır. Bu durumu, ses dalgasını karşılayan yüzeyin daha ince olmasına ve malzemenin daha fazla yansımaya sebep olmasına bağlamışlardır [68].

2.10 Bambu

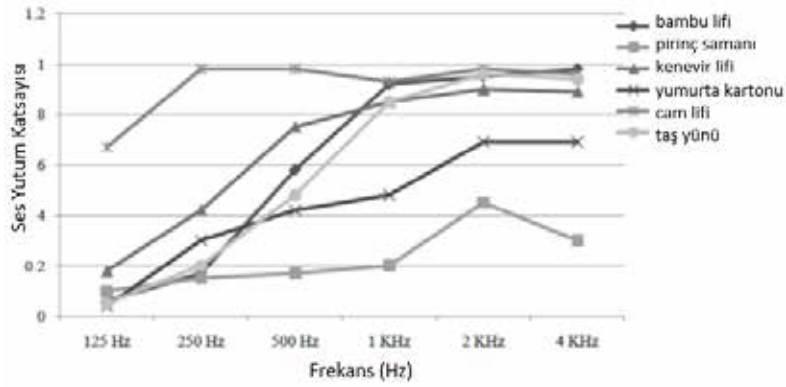
Doğal bambu lifleri yüzeyde yer alan kanal görüntüsü ile karakterize edilmektedir. Lifin enine kesiti böbrek şekline yakın olup, lümen ortada açık bir şekilde görülmektedir [69].



Şekil 17. *Bambu Lifinin Boyuna ve Enine Kesiti [70].*

Şekil 18'de, benzer kalınlık ve yoğunlukta hazırlanmış doğal lif içerikli kompozit malzemeler ile cam yünü, taş yünü ve yumurta kartonu gibi ticari ses yutucu malzemelerin ses yutum performansları karşılaştırmalı olarak yer almaktadır. Doğal lif içerikli kompozit malzemeler; 250 Hz

ve altındaki frekanslarda zayıf bir performans gösterirken, özellikle 1000 Hz frekansın üzerinde diğer malzemelere benzer veya daha iyi ses yutum performansı sergilemektedirler [71].



Şekil 18: *Bambu lifi ses yutum performansının diğer malzemelerle karşılaştırılması [71].*

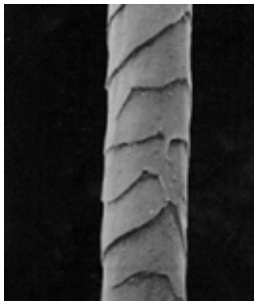
Rijit bir duvarın önüne yerleştirilmiş 60 kg/m^3, 120 kg/m^3 ve 180 kg/m^3 yoğunluğa sahip doğal bambu lifi içeren numunelerin ses yutum performansları açısından değerlendirildiği bir çalışmada 180 kg/m^3 yoğunluklu numune ile 500-1000 Hz arasında 1'e yakın ses yutum katsayısı elde edilmiştir. Aynı çalışmada 75 mm kalınlıkta bambu lifleri de benzer performans göstermiştir [72]. Koizumi ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmanın sonuçları, 90-125 mikron, 125-210 mikron ve 210-425 mikron kalınlıklarına sahip doğal bambu liflerinin 1000 Hz frekansta ses yutum katsayılarının 0,8'in üzerinde olduğunu ve bambu lifinin incelmesiyle ses yutum performansının arttığını göstermiştir. Aynı kalınlıktaki cam yünü ve keçe şeklinde sıkıştırılmış bambu lifi içerikli malzeme için yapılan kıyaslama ise bambu lifinin daha yüksek performansa sahip olduğunu gözler önüne sermiştir [73].

2.11 Koyun Yünü

Eski zamanlardan beri koyun yünü sağladığı ısı yalıtımı sayesinde giysilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak araştırmalar yünün ses yalıtımında da kullanılabileceğini de göstermiştir. Yün liflerinin mineral liflere göre insan sağlığına karşı tespit edilmiş bir zararı bulunmamaktadır. Bir yün lifinin enine kesiti incelendiğinde üç tabakadan oluştuğu görülür: Epidermis (Kütikül, örtü hücreleri, pul) tabakası, Korteks tabakası ve Medula tabakası.

Kütikül de denilen epidermis tabakası elyafın en dış yüzeyidir. Lifin mikroskop altında görünen yüzeyi bu tabakadır. Birbiri üzerine kapanan pul şeklinde hücrelerden ibarettir. Pulların serbest uçları dışa doğru çıkın-

tılar yapar. Bu tabaka elyafın iç kısmının korunmasına yardım eder ve ona bir miktar sertlik verir (Şekil 19).



Şekil 19: *Yün lifinin boyuna görünüşü [74].*

İnce fibrillerden oluşan korteks tabakası, yün lifinin esas dokusunu (%90'ını) oluşturur. Medula, life paralel şekilde uzanan ve korteks tabakasının ortasında yer alan bir kanaldır. Medula hücrelerinden oluşan bu kanal ince lifte bir adet, kalın yünde ise birkaç adet şeklinde bulunur. Hatta bazı çok ince liflerde medula kanalına rastlanmamaktadır. İçi hava dolu olduğundan mikroskop altında siyah görünür. Medulanın başlıca görevi, lif içerisinde dahili hava boşlukları oluşturarak lifin koruyucu özelliklerini geliştirmektir. Yün lifinin molekül zincirlerinin sarmal yay şeklindeki yapısı lifin rezilyansını artırmaktadır. Yün lifinin ses yutum özellikleri hakkında bilgi; akış direncinden, yoğunluğundan ve lif çapından elde edilebilir. Klasik üretim yöntemleri kullanılarak elde edilen malzeme yoğunlukları 10-100 kg/m^3 olabilmektedir. Bundan daha yüksek yoğunlukların elde edilmesi yün liflerinin rezilyansına bağlı olarak zordur. Ses yalıtımı amacıyla kullanılan yün lifleri mineral liflerden daha kalın çaplara sahiptir. Düşük yoğunluğa ve kalın lif çapına sahip yün liflerinden elde edilen malzemelerin hava akış dirençleri düşüktür. Bu nedenle, düşük akış direncinin problem olmadığı uygulamalar için daha efektiftir. Bununla birlikte yünün, titreşimleri sönümleyerek ses yalıtımını iyileştirmek üzere kullanıldığı ifade edilmektedir. Titreşim sönümleme ve ses yutum özelliklerinin beraberce kullanılacağı uygulamalar (ayırıcı paneller gibi) yün açısından önemli avantaj sağlamaktadır [75]. Diğer malzemelerde de gözlendiği gibi, yün lifi içerikli malzemelerin numune kalınlığı arttıkça ses yutum özelliğinin arttığı gözlenmektedir. Yürütülen çalışmalarda, 4 cm kalınlıkta koyun yünü numunesinin lineer artış göstererek 1800 Hz' de en yüksek değerine ulaşarak, 0,97 ses yutum katsayısı değeri verdiği gösterilmiştir. Aynı şekilde 6 cm kalınlığa sahip numunenin ise daha düşük bir frekansta 800 Hz' de 0,98 en yüksek değerine ulaştığı ve bu kalınlıklarda ideal ses emici malzeme oldukları vurgulanmıştır [29, 38, 74]. Berardi ve Iannace'nin yaptığı bir çalışmada, içerisinde bulundurduğu mikro boşluklar nedeniyle mükemmel bir ses yutucu malzeme olan yünün orta ve yüksek frekanslarda, kararlı bir davranış sergileyerek yüksek ses yutum performansı gösterdiği gözlenmiş-

tir [76]. 37,1 mikron çapa sahip ham yün numunelerinin ses yutum katsayısı performansının incelendiği bir başka çalışmada ise 1000 Hz frekansta malzeme ses yutum katsayısının 0.5'e ulaştığı, 4000 Hz'de ise efektif bir ses yutumu gösterdiği görülmüştür. Aynı çalışmada incelenen 13,5 mikron çapa sahip pamuk liflerinin, ham yün numunelerinden daha iyi bir performans sergiledikleri belirtilerek bunun liflerin inceliklerinin farkından ve yün liflerinin yaylanma özellikleri sebebiyle kompakt hale getirilememelerinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir [44]. Yün liflerinden elde edilen levhalar ile yürütülen bir çalışmada yün lifi içerikli malzemelerin iyi bir ses yutum performansı sergilediği, 40 kg/m^3 yoğunluklu, herhangi bir işlemden geçmeksizin sıkıştırılmış ham yün lifi içerikli malzemenin 800 Hz frekansta 0,98 ses yutum katsayısına ulaştığı ve akustik uygulamalarda kullanılan mineral lif içerikli malzemelere alternatif olabileceği ifade edilmiştir [77, 78]. Yang ve arkadaşları kaşmir, kaz tüyü, kapok ve akrilik lif toplulukları ile yaptıkları ses yutum katsayısı belirleme çalışmalarında, aynı malzeme yoğunluğuna sahip doğal liflerden yapılmış numunelerin düşük-orta frekans bandında akrilik lifinden daha iyi ses yutum performansı sergilediklerini ifade etmişlerdir [79]. Çalışmada incelenen doğal lifler arasında kaşmir en düşük ve akriliğe yakın bir performans sergilemiştir. Araştırmacılar, lif yoğunluğu 1,14 g/m^3 olan kaz tüyünün 0,29 g/m^3 lif yoğunluğuna sahip kapok lifine benzer ses yutum performansı göstermesini ise şaşırtıcı bulmuş ve bunu kaz tüyünün dallanmış yapısından kaynaklanmış olabileceği şeklinde değerlendirmişlerdir.

3. TARIMSAL ATIKLARIN KULLANILDIĞI TEKSTİL ESASLI AKUSTİK MALZEMELERDE SES YUTUM PERFORMANSI

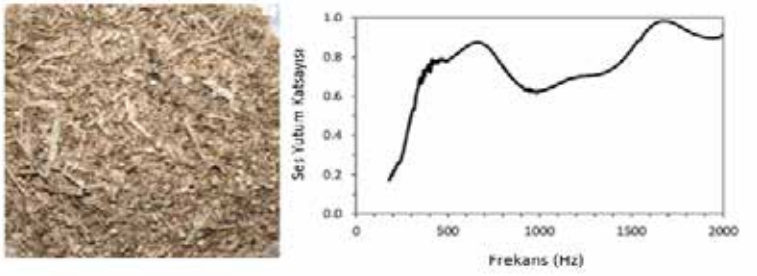
3.1 Ekin Sapı Balyası

Tahıl tarımının bir yan ürünü olan ekin sapı pek çok ülkede düşük maliyetlerde ve büyük miktarlarda mevcut olup, bu yan ürün özellikle son on yılda yeşil binalarda kullanılan ilk malzemelerden biri olma özelliğini göstermektedir. Ekin saplarının, bina cephe sistemlerinde kullanımına ilişkin ilk çalışmalar 2006 yılına rastlamaktadır. İlerleyen zamanda çalışmaların içerik ve derinliklerinin de arttığı görülmüştür. Böyle bir araştırmada; buğday ekin saplarının yer aldığı yapıların, özellikle trafik gürültüsüne karşı önemli bir ses yutumu performansına işaret ettiği tespit edilmiş ve bu yapılardan okul binalarının akustik iyileştirmeleri bağlamında faydalanılabileceği belirtilmiştir. Tekstil ve plastik atıkların geri kazanımının hedeflendiği NOISEFREETEX projesinde ise yenilikçi akustik malzemelerin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Bu bağlamda, 37 farklı ürün için performans karşılaştırmaları yapılmış ve %30 ekin sapı içeren 3 cm kalınlığında bir

tekstil kompozitin; %64 yün, %16 akrilik ve % 20 polyesterden mamul 6 cm kalınlığında bir kompozit ile benzer ses yutum özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Her iki kompozit için ses yutum katsayısı 500 Hz için 0,6 ve 1000 Hz için 1,0 olarak verilmiştir [37]. Bir başka çalışmada Dance ve arkadaşları, ekin sapı içeren alçıpan duvarların ses yalıtım özelliklerini irdelemiştir. Bunu yaparken numuneler, Avrupa normları dikkate alınarak çift katmanlı alçıpan bölme kullanarak ve kullanmadan hazırlanmıştır. Araştırmacılar, çift alçıpan katmanlı bölümlemede kullanılan numunelerin ulusal normları karşıladığını ifade etmişlerdir [80].

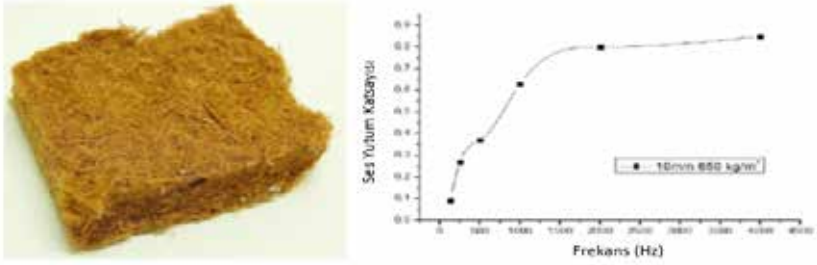
3.2 Talaş

Ahşap işleme işlerinden artan ahşap atıklarından üretilen paneller ses yutumu amacıyla kullanılabilmektedir. Ahşap panellerin üretiminde şekil kararlılığını sağlamak üzere yapıştırıcılar kullanılır. Yapıştırıcı kullanılmaksızın ses yutum performansı test edilen 6 cm kalınlığındaki saf ahşap liflerin 500 Hz ve biraz üzerindeki frekanslarda 0,80; 1650 Hz üzeri gibi yüksek frekanslarda ise 0,90 gibi iyi bir ses yutum performansı sergilediği görülmüştür [81].



Şekil 20: *6 cm kalınlığındaki odun lifinin ses yutum katsayısı [81].*

10 mm kalınlık ve 650 kg/m^3 yoğunluğa sahip odun lifi malzemenin ise 1500 Hz üzerinden 0,80'in üzerinde bir ses yutum performansı göstermiştir [29, 82].



Şekil 21: *Odun lifi ses yutum katsayısı [82]*

Benzer amaçla, talaş ve hindistan cevizi liflerinin birlikte kullanıldığı yenilikçi malzeme araştırmaları da bulunmaktadır. Hardiman ve Tirta ge-

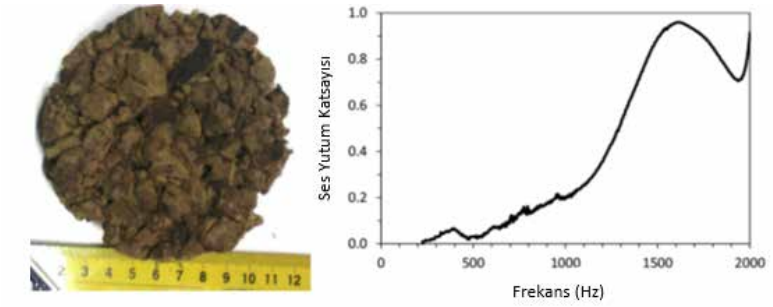
liştirdikleri ses yutum malzemesine gofreli bir yüzey görünüşü vererek ses yutum performansını iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Talaş içeren gofreli panelin, hindistan cevizi liflerinden mamul gofreli panelden daha yüksek bir yoğunluğa sahip olduğunu tespit eden araştırmacılar; her iki malzemenin ses iletim kayıp (STL) değer aralıklarını ise; talaş içerikli panel için 47,301 – 62,688 dB ve hindistan cevizi lifi içerikli panel için 46,134 – 51,312 dB olarak belirlemişlerdir. Buna karşılık ses yutum katsayılarının; hindistan cevizi liflerinin kullanıldığı panellerde 0,432-0,511 aralığında, talaş kullanılan panellerde ise 0,469 – 0,529 aralığında gözlendiği ifade edilmiştir [83]. Ahşap lifi ve polyester lifi kullanılarak tasarlanan bir başka ses yutumu sağlayan kompozit malzeme tasarımı çalışmasında polyester köpük ve ahşap bazlı kompozit teknolojilerinin kullanıldığı görülmüştür. Geliştirilen malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri yanında hava akış direnci ve kompozit içi boşlukların ses yutum performansına etkileri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar en iyi fiziksel, mekanik özellikler ile ses yutum performansının elde edilme şartlarının 150 ^{0}C baskı sıcaklığı, 10 dakika baskı zamanı, 3:1 oranında ahşap/polyester lifi karışımı, % 8'lik köpük ajanı kullanımı ve 0,2 g/cm^3'lük nominal kompozit yoğunluğu olduğunu göstermiştir. Kompozitin 1,98 × 105 Pa·s/m^2'lik hava akış direnci değeriyle süper bir ses yutum performansı gösterdiği ve kompozit içi boşluk derinliklerinin artması halinde daha düşük frekanslarda akustik absorbsiyonun iyileştiği de görülmüştür [84]. Xu ve arkadaşları, geri kazanılmış kauçuk ve odun lifi levha kullanarak geliştirdikleri ses yutucu kompozit malzeme de yapıştırıcı olarak taze HDPE kullanmışlardır. Hazırlanan karışım; 20 dakika süreyle 185 °C'de ve 1 MPa basınç altında kalıplanmıştır. Daha sonra panellere çapları 1 mm–6 mm arasında ve 3 farklı perfore yüzdelerinde (%3, %6, ve %9) delikler açılmıştır. Hazırlanan perfore panellerin özellikle 1000 Hz altı frekanslarda çok yüksek bir ses yutum özelliği gösterdiğini belirten araştırmacılar; deliklerin derinlikleri yanında perfore boyut ve yüzdelerinin de malzemenin ses yutum frekans aralığını genişletme noktasında etkili olduğunu belirtmişleridir. Öyle ki, perfore oranları arttıkça veya delik çapı küçüldükçe malzeme performansının daha geniş bant aralıkları için kullanılabileceği belirtilmiştir [85]. Tiu ve arkadaşları yakın zamanda geliştirdikleri kompozit yapılarda, poliüretan köpüğünü yapıştırıcı ve köknar/kayın ahşap lifini ise diğer benzer çalışmalardan farklı olarak takviye malzemesi şeklinde kullanmışlardır. Bu yapıların morfolojik mekanik özellikleri yanında termal ve ses yutum özellikleri de değerlendirilmiştir. Ses yutumuna ilişkin elde edilen sonuçlar; malzeme kalınlığının, yapıştırıcı yüzdesinin, ahşap lif tipi ve boyutunun etkili parametreler olduğunu göstermiştir. Yapıştırıcı yüzdesi ve malzeme kalınlığı arttıkça, düşük frekanslarda ses yutum performansının da arttığı görülmüştür. 2 kHz - 4 kHz frekans aralığı hariç, 4 mm partikül boyutu üzerinde ahşap lifi kullanımı halinde kompozit malzemenin daha yüksek ses yutum katsayılarına ulaştığı belirtilmiştir [86].

3.3. Diğer Tarımsal Atıklar

Literatür araştırması; çay yaprağı, mantar ve lif kabağı gibi diğer tarımsal atıkların da akustik malzeme tasarımında kullanılmaya başlandığını göstermiştir. Ancak, bu tip tasarımlarda tekstil malzemelerinin ikinci bir katman olarak kullanıldığı veya hiç yer almadığı görülmüştür. Diğer tarımsal atıkların akustik uygulamalarına ilişkin kısa bir değerlendirme aşağıda sunulmuştur.

Çay Yaprağı: Ülkemizde Karadeniz Bölgesi'nde çok miktarda yetiştirilen çay yaprağının işlenmesi sırasında oluşan atık malzemenin değerlendirilmesi amacıyla ses yutucu malzemenin geliştirildiği bir çalışmada çay yaprağı atıkları, üç farklı katmana sahip olacak şekilde ve arkalarında dokuma bir kumaş varken ve yokken, ses yutum performansları açısından test edilmiştir. Deneysel çalışmalar, arkasında dokuma kumaş bulunan 1 cm kalınlığındaki çay yaprağı lifi atıklarının, altı kat dokuma kumaş performansına eşdeğer bir ses yutumu sergilediğini göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, çay liflerinin kullanılabilir sınırlar içerisinde olduğu ve ses emici malzeme olarak değerlendirilebileceği yönündedir [87]. Bir başka çalışmada, doğal çay yaprağı ve kabak lifleri ile desteklenen poliüretan köpüğün (PU) ses yutum özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, çay yaprağı liflerinin köpük içindeki oranı arttıkça malzemenin ses yutum özelliğinin iyileştiğini göstermiştir. Kabak liflerinin dolgu malzemesi olarak kullanımının ise tüm frekans aralıklarında köpüğün ses yutum davranışını olumlu etkilediği gözlenmiştir. Bu çalışmada, köpük malzemesinin kalınlığı ile ses yutum davranışı arasında doğrusal bir ilişki olduğu da belirlenmiştir [88].

Mantar: Mantar meşesi olarak bilinen bir cins ağacın kabuklarından elde edilen, doğal mantar veya meşe mantarı olarak tanınan bu malzeme bilinen en eski ses yalıtım malzemesi olup, taneli bir iç yapıya sahiptir. Bu kabuk, içi hava dolu ve birbirleri ile ilişkisiz küçük hücrelerden oluşmuştur. Ağaçtan soyulan şekilsiz kabuklar biçimindeki mantar çeşitli boyutlarda kırılır, öğütülür, özel yöntemlerle içerisindeki hava hücrelerinin şişmesi sağlanarak genleştirilir. Genleştirme sırasında, kendi doğal reçinesi, katran ya da kireç-kazein karışımı gibi bir bağlayıcı yardımıyla birbirlerine bağlanır [20, 52]. Şekil 22'de, mantar granüllerinin boyutuna bağlı olarak düşük ve orta frekanslarda ses yutum performansı oldukça zayıfken, 1600 Hz'in üzerindeki frekanslarda ses yutum katsayısının 0,90'a ulaştığı görülmektedir. Mantar paneller kullanarak iyi bir ses yutum performansı elde etmek üzere kalın mantar panellerinin kullanılması avantajlı olacaktır [52].



Şekil 22: *Mantar panel ses yutum katsayısı [51].*

Maderuelo-Sanz ve arkadaşları, serbest haldeki mantar granüllerinin akustik performanslarını inceledikleri çalışmada, granül boyutuyla malzemenin ses yutum performansının değiştiğini belirlemişler; deneysel ve teorik çalışmalarından elde ettikleri veriler granül boyutunun 3,5 mm ve üzerinde olması halinde, malzemenin akustik performansının belirgin şekilde değiştiğini göstermiştir [89]. Araştırmacılar bir başka çalışmasında ise alkollü içki sektöründe kullanılan şişe mantarlarından elde ettikleri 8 farklı beyaz mantar granül karışımının (0,5-0,8 mm arası parçacık boyut aralığına göre düzenlenmiş) yalıtım iyileşme indeksini teorik ve deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Karışımları hazırlamada düşük viskoziteli (280 mPa·s) poliüretan ve epoksi (600 mPa·s) reçineleri yapıştırıcı olarak ağırlıkça %80 oranında kullanmışlardır. Ayrıca 11 adet mantar içerikli ticari üründen hazırladıkları numuneler ile kendi malzemelerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Elde edilen veriler, geri kazanılan mantar granüllerinin, rezilyans özellik göstermesi nedeniyle akustik malzemelerin alt katmanlarında kullanılabileceğini ve reçine ilavesinin granüller arasında sürtünmeyi azaltması nedeniyle yalıtım iyileşme indeksini düşürdüğünü belirlemişlerdir. Bu bağlamda katmanların akustik performansının, epoksi reçine ile daha fazla azaldığını da belirlemişlerdir [90].

Lif Kabağı: Türkiye'nin güney bölgesi dâhil olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde yetişen kabak liflerini de içeren biyomalzemeler ve / veya bunların bileşimleri ses yalıtımında oldukça değerlidir. Lif kabaklarının yalın veya kompozit olarak ses yalıtımında kullanımının olumlu bir gelişme olduğu araştırmalarda belirlenmiştir. Ses yutum değerlerini 500 Hz ve 6000 Hz aralığında lineer ve istikrarlı bir şekilde arttığı ve lif kabağının matris malzeme olarak kompozit malzemelerde kullanılarak ses yutumuna önemli katkı sağlayacağı vurgulanmıştır [30].

4. GERİ KAZANILMIŞ LİFLERDEN AKUSTİK MALZEMELER

Pamuk, jüt, kenevir gibi yaygın, geri kazanılmış doğal liflerin yanında, kümes hayvanları sanayiinin bir yan ürünü olan tavuk tüylerinden elde

edilen liflerin de daha yenilikçi kompozit malzemelerin geliştirilmesinde kullanıldığı görülmüştür. Asdrubali ve arkadaşları, otomotiv sektörü için tavuk tüy lifleri ile yüksek yoğunluklu poliüretan/polipropilen (HDPE/PP) lifini karıştırarak kompozit bir malzeme tasarlamışlardır. Çalışmalarında malzemenin, tavuk tüy lifi oranına bağlı olarak esneklik ve diğer mekanik özelliklerine ilave olarak akustik performansını da irdelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, tavuk tüyü lif konsantrasyonunun %35'lere ulaşması halinde en yüksek ses yutum katsayısına ulaşıldığını göstermiştir [38]. Paşayev ve arkadaşları da benzer bir yaklaşımla tavuk tüy liflerinin kullanıldığı, nonwoven yapılar üretmişler ve bu yapılarda farklı binderler kullanmışlardır. Malzeme kalınlığı, gözeneklilik ve hacimsel yoğunluk gibi parametrelerin ses yutum performansında etkili olduğunu ve geliştirilen malzemelerin ses yalıtım amaçlı kullanılabileceğini belirtmişlerdir [91]. Bir başka çalışmada tekstil atıklarından ve mantardan oluşturulan plakaların katmanlar halinde ses yutum performansı irdelenmiş ve bu tip katmanlı kompozit yapıların akustik uygulamalarda yer alabileceği değerlendirilmiştir [92]. Geri kazanılmış doğal malzemeler bağlamında ilgi çekici bir çalışma Escobar ve Maderuelo-Sanz'dan gelmiştir. Araştırmacılar; selülozik asetattan üretilen kullanılmış ve kullanılmamış sigara izmaritlerini değişen sayılarda (10,11, 14 gibi) dairesel bir kesit içine yerleştirerek, değişen gözeneklilikte yüzeyler oluşturmuşlar ve daha sonra bu yüzeylerin ses yutum performansını ISO 10534–2:1998 standardına uygun ölçüp değerlendirmişlerdir. Malzemelerin; izmarit paketlemesine, uzunluğuna, kullanılmış olup olmamasına bağlı olarak orta frekanslarda (1100-2000 Hz gibi) ortalama 0,8 ses yutum katsayılarına ulaştığı, yüksek frekans değerlerinde ise bu katsayının 1,0'e kadar çıkabildiğini göstermişlerdir. Bununla birlikte araştırmacılar, numune seçim ve hazırlığında çalışmada iyileştirmelere ihtiyaç olduğunu özellikle vurgulamışlardır [93].

5. SONUÇ

İstenmeyen seslerden, yani gürültüden arındırılmış konforlu bir ortam insan sağlığı açısından önemli bir gerekliliktir. Gürültüye sürekli maruz kalan kimselerde, işitme kaybı (geçici veya kalıcı), sinir zayıflığı, iç dokularda ağrı, kalp problemleri ve uzun vadede yüksek kan basıncı gibi ciddi sağlık problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, gürültü azaltma anlayışı çalışılması gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilir kaynaklardan doğal ve geri dönüştürülebilir malzemelerin geliştirilmesine yönelik eğilim, bu malzemelerden üretilen akustik özellikli ürünlere olan talebi artırmaktadır. Sentetik malzemelerin olumsuz çevresel etkileri nedeniyle doğal liflerin akustik uygulamalarda kullanımı ivme kazanmaktadır. Sentetik malzemelerin yanı sıra, akustik amaçlarla kullanılan taş yünü ve cam lifi gibi mineral lifler de kanserojen olup, insan sağlığı üzerinde olum-

suz etkileri bulunmaktadır. Akustik absorbsiyonu iyileştiren lif özellikleri arasında lif uzunluğu, inceliği, mukavemeti gibi parametreler yer almakta olup, akustik malzemelerin tasarımında, kullanım alanı ve beklenen ürün ömrüne bağlı olarak, doğru malzeme seçimi önemlidir. Akustik uygulamalarda yüksek performans gösterecek özelliklere sahip doğal lifler arasında keten, kenevir, jüt ve Hindistan cevizi gibi lifler yer almakta olup, bu amaçla doğal liflerin kullanılmasının sağladığı avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Sebep oldukları çevresel kirlilik seviyesi düşüktür.
- Daha az karbon emisyonuna sahiptirler.
- Solunum ve deri rahatsızlıkları gibi sağlık problemlerine neden olmadıkları için cam liflerinden daha sağlıklıdır.
- Biyo-çözünür olmaları sebebiyle daha az atığa neden olurlar.

Doğal liflerin yanı sıra, kabul edilebilir akustik özellikleri sergilemeleri nedeniyle tüketiciden gelen tekstil atıkları veya artık kumaşlar gibi endüstriyel tekstil atıkları da akustik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Akustik malzeme tasarımında dokuma ürünlere kıyasla pazarda ağırlıklı olarak dokusuz yüzeylerin yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada, doğal lifler gibi çevre dostu malzemelerin ana bileşen olduğu yenilikçi akustik malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar irdelenmiş olup; adı geçen malzemelerin yakın gelecekte gürültü kontrolü noktasında daha etkin bir rol oynayacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Özgüven, H. N., (2008), *Gürültü Kontrolü, Endüstriyel ve Çevresel Gürültü*, Türk Akustik Derneği - Teknik Yayınları, İstanbul

2. Rumsey, F., & McCormick, T. (2012). *Sound and recording: an introduction*. Routledge.

3. Kaya, A. İ., & Dalgar, T. (2017). Ses Yalıtımı Açısından Doğal Liflerin Akustik Özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 8(Özel (Special) 1), 25-37.

4. Speaks, C. E. (2017). Introduction to sound: acoustics for the hearing and speech sciences. Plural Publishing. pp. 448

5. Kuttruff, H., (2007), *Acoustics: An Introduction. Acoustic variables and basic relations.* London, UK: CRC Press.

6. Baughn, W.L., (1973), *Relation Between Daily Noise Exposure and Hearing Loss Based on the Evaluation of 6835 Industrial Noise Exposure Cases*. Report No. AMRL-TR-73-53, Wright-Patterson

AFB, U.S. Air force.

7. Clark, C. ve Stansfeld, S.A., (2007), *The Effect of Transportation Noise on Health and Cognitive Development: A Review of Recent Evidence*. International Journal of Comparative Psycholog, 20, 145-158.

8. B&K, 2000. *Community Noise Measurements*. Brüel and Kjaer, Naerum, Danimarka.

9. *Noise Rating,* www.acousticcomfort.co.uk Son erişim tarihi: 05.09.2019

10. Şahin, E., (2003), *Gürültü kontrol yöntemleri*, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 4, 67-80.

11. Everest, F. A., (1994), *The Master Handbook of Acoustics (3rd edition).* New York, USA: TAB Books.

12. ISO R354-2003 - Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003

13. ASTM C423-17 - Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method, 2017

14. AS 1045-1988 - Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room, 1988.

15. Sabine, W. C., (1922), *Collected Papers on Acoustics*. Cambridge, US: Harvard University Press.

16. Jaatinen, J., (2011), *Alternative methods of measuring acoustic absorption*, Master's thesis, Aalto University, Aalto, Finland.

17. *Commercial cellulose based insulation materials and manufacturing processes,* http://intechfibres.com/, Son erişim tarihi: 18.04.2019

18. *An Introduction to Natural Fibre Insulation,* https://asbp.org.uk/, Son erişim tarihi: 11.04.2019

19. Chandler M., Why I Don't Use Cellulose or Blue-Jean Insulation, https://www.finehomebuilding.com/2009/06/29/why-i-dont-use-cellulose-or-blue-jean-insulation, Son erişim tarihi: 20.09.2019

20. Yılmaz, S., *Ses Emici Malzemeler ve Uygulamaları,* https://www.bonusyalitim.com.tr/sertifika-ve-teknik-dokumanlar/bonus-tas-yunu, Son erişim tarihi: 11.04.2019

21. Kucukali Ozturk, M., Nergis, B. ve Candan, C., (2012), *Sürdürülebilir Malzemelerin (Liflerin) Akustik Özellikleri*, Fiber&Yarn Trends, s. 64

22. http://rwviatur.inforce.dk/neden+yalitim/tas+yununun+fark+yaratan+ozellikleri-c8-toggle/ustun+akustik+performans, Son erişim tarihi: 11.04.2019

23. Zihlif, A. M., & Ragosta, G. (2003). A study on the physical properties of rock wool fiber—polystyrene composite. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 16(3), 273-283.

24. https://www.gnyapi.com.tr/cam-yunu/, Son erişim tarihi: 11.04.2019

25. Väntsi, O., & Kärki, T. (2014). Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. Journal of Material Cycles and Waste Management, 16(1), 62-72.
26. Bakanlığı, Ç. V. S. G., & Müdürlüğü, İ. Asbestle Çalışmalarda İş Sağlığı Ve Güvenliği Uygulama Rehberi.
27. https://www.akustiksungerfiyatlari.org/akustik-sunger-uretimi.html, Son erişim tarihi: 11.04.2019
28. *Yalıtım ve Straforun Önemi,* http://www.teksistemsigorta.com.tr/, Son erişim tarihi: 11.04.2019
29. Müssig, J., (2010), *Industrial Applications of Natural Fibers: Structure, Properties and Technical Applications*, John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-69508-1
30. Kaya, A. ve Dalgar, T., (2017), *Ses Yalıtımı Açısından Doğal Liflerin Akustik Özellikleri,* Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1: 25-37.
31. Asdrubali, F., (2006), *Survey On The Acoustıcal Propertıes of New Sustaınable Materıals For Noise Control*, Euronoise 2006, Tampere, Finland.
32. Asdrubali, F., (2007), *Green And Sustainable Materials For Noise Control In Buildings*, 9th International Congress on Acoustics Madrid, 2-7 September 2007
33. Megep, *Doğal Lifler*, Tekstil Teknolojileri, Ankara, 2014.
34. Tobler-Rohr, M., (2011), *Handbook of sustainable textile production*, Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 124.
35. Suddell, B.C., (2008), *Industrial fibres: recent and current developments*. Proceedings of the Symposium on Natural Fibres, Rome.
36. Lü X., Lu T., Lipponen, O. ve Viljanen, M., (2013), *Insulation Materials Made with Vegetable Fibres, Insulation Materials Made with Vegetable Fibres,* Nearly Zero Energy Building Refurbishment, 411-455. Springer, London.
37. Padhye, R. ve Nayak, R., (2016), Acoustic Textiles, 73-92. Springer, Singapore.
38. Asdrubali, F., Schiavoni, S. ve Horoshenkov, K.V., (2012), *A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications*, Buıldıng Acoustıcs, 19, 4, 283–312.
39. Desarnaulds, V., Costanzo, E., Carvalho, A. ve Arlaud, B., (2005), *Sustainability of Acoustic Materials and Acoustic Characterization of Sustainable Materials,* 12th International Congress on Sound and Vibration, 11-15 July 2005.
40. Mamtaz, H., Fouladi, M.H., Al-Atabi, M. ve Namasivayam, S.N., (2016), *Acoustic Absorption of Natural Fiber Composites,* Journal of

Engineering, 2016(7), 1-11.
41. Zhu, X., Kim, B., Wang, Q. ve Wu, Q., (2014), *Recent Advances is Sound Insulation Properties of Bio-Based Materials*, BioResources, 9(1).
42. Tang, X. ve Yan, X., (2017), *Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review,* Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 101, 360–380.
43. Smole, M.S., Hribernik S., Kleinschek K.S. ve Kreže T., (2013), *Plant Fibres for Textile and Technical Applications,* Advances in Agrophysical Research, Chapter 15, 369-397.
44. Oldham, D.J., Egan, C.A. ve Cookson, R.D., (2011), *Sustainable acoustic absorbers from the biomass,* Applied Acoustics, 72, 350–363.
45. Rijavec, T., (2008), *Kapok in technical textiles,* Tekstilec, 51, 319–331.
46. Huang, X.F. ve Lim, T.T., (2006), *Performance and mechanism of a hydrophobic–oleophilic kapok filter for oil/water separation,* Desalination, 190 (1–3), 295–307.
47. Xianga, H., Wanga, D., Liua, H., Zhaoa, N. ve Xua, J., (2013), *Investigation on Sound Absorption Properties of Kapok Fibers,* Chinese Journal of Polymer Science, 31, 3, 521−529.
48. Zheng, Y., Wang, J., Zhu, Y. ve Wang, A., (2015), *Research and application of kapok fiber as an absorbing material: A mini review, Review article,* Journal of Environmental Sciences, 27, 1, 21-32.
49. Mangut, M. ve Karahan, N., (2006), Tekstil Lifleri, Ekin Kitabevi, Akademik Kültür
50. Bos, H., (2004), *The Potential of Flax Fibres as Reinforcement for Composite Materials,* Adhesion in Flax Fibre Reinforced Composites, University Press Facilities, Eindhoven, the Netherlands.
51. Zhang, J., Yiou Shen, I.D., Jiang, B. ve Li, Y., (2018), *Sound Absorption Characterization of Natural Materials and Sandwich Structure Composites*, Aerospace, 5, 75.
52. Berardi, U. ve Iannace, G., (2015), *Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications,* Building and Environment, 840-852.
53. Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S. ve Walker R., (2016), *Acoustic absorption of hemp-lime construction*, Construction and Building Materials, 122, 674–682.
54. Hui, Z. ve Fan, X., (2009), *Sound Absorption Properties of Hemp Fibrous Assembly Absorbers*, Sen'i Gakkaishi, 65, 7, 191-196.
55. Karuppiah, T. ve Ramiah K., (2017), *Testing Various Synthetic and Natural Fiber Materials for Soundproofing*, Journal of Emerging Investigators, 1-5.
56. Mohanty, A. R. ve Fatima, S., (2012), *Noise Control Using Green*

Materials, Sound & Vibration, /July, 13-15.

57. Fatima, S. ve Mohanty, A. R., (2012), *Noise Control of Home Appliances* – The Green Way, NVB December 2012

58. Tan, W., Lim, E, Chuah, H., Cheng, E. ve Lam C.K., (2016), *Sound Transmission Loss of Natural Fiber Panel,* International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, 16, 6, 33-42.

59. Zunaidi, N. H., Tan, W.H., Majid, M.S.A ve Lim, E.A., (2017), *Effect of physical properties of natural fibre on the sound absorption coefficient,* IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 908.

60. Lima, Z.Y., Putra, A., Nora, M.J.M., Yaakob, M.Y., (2018), *Sound absorption performance of natural kenaf fibres,* Applied Acoustics, 130, 107–114.

61. Mohanty, A.R. ve Fatima, S., (2010), *Jute as An Acoustical Material for Noise Control of A Domestic Dryer,* Proceedings of the 17th International Congress on Sound and Vibration, Australia.

62. Yang, W. ve Li, Y., (2012), *Sound absorption performance of natural fibers and their composites,* Science China Technological Sciences, 55, 8, 2278–2283.

63. Zulkarnain, Zulkifli, R. ve Mohd Nor, M. J., (2010), *Noise Control Using Coconut Coir Fiber Sound Absorber with Porous Layer Backing and Perforated Panel,* American Journal of Applied Sciences, 7, 2, 260-264.

64. Zulkifh, R., et al., (2008), *Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel,* Journal of Applied Sciences, 8, 20, 3709-3714.

65. Hosseini Fouladi, M., et al., (2010), *Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel*, Applied Acoustics, 71, 3, 241-249.

66. AL-Rahman L., Raja R.I., Rahman A., (2012), *Attenuation of Noise by Using Absorption Materials and Barriers: A Review,* International Journal of Engineering and Technology, 2, 7, 1207-1217.

67. Nor M., Jamaludin N. ve Tamiri F.M., (2004), *A preliminary study of sound absorption using multi-layer coconut coir fibers,* Electronic Journal «Technical Acoustics», 3, 1-8.

68. Fouladı M.H., Nor M., Ayub M.D. ve Ghassem M., (2012), *Enhancement Of Coir Fiber Normal Incidence Sound Absorption Coefficient,* Journal of Computational Acoustics, 20, 1, 1-31.

69. Karahan A., Öktem T. ve Seventekin N., (2006), *Doğal Bambu Lifleri*, Tekstil Ve Konfeksiyon, 4, 236-240.

70. Keser, F., (2016), *Bambu Elyafı,* https://www.derstekstil.name.tr/bambu-elyafi.html, Son erişim tarihi: 17.10.2019

71. Ghotbi Ravandi, M.R., Mardi, H., Langari, A.A.A., Mohammadian, M. ve Khanjani, N., (2015), *A Review on the Acoustical Properties*

of Natural and Synthetic Noise Absorbents, Open Access Library Journal, 2, 1-11.

72. Nordin M.N, Wan L. M., Zainulabidin M. H., A Kassim. S. M ve Aripin A. M., (2016), *Research Finding in Natural Fibers Sound Absorbing Material,* Journal of Engineering and Applied Sciences, 11, 14, 8579-8584.

73. Koizumi T., Tsujiuchi N. ve Adachi A., (2002), *The Development of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers,* High Performance Structures and Composites, WIT Press, USA.

74. Jackson S., (2009), *Why wool carpets and fabrics in a theatre?,* Restoring America's Historic Treasures, http://www.stuartjacksonllc.com/download/Why_wool_carpets_fabrics_theatre.pdf.

75. Ballagh K.O., (1996), *Acoustical Properties of Wool,* Applied Acoustics, 48, 2, 101-120.

76. Berardi U. ve Iannace G., (2017), *Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant*, Applied Acoustics, 115, 131–138.

77. Berardi U., Iannace G. ve Gabriele M., (2016), *Characterization of sheep wool panels for room acoustic applications,* Proceedings of Meetings on Acoustic, 28, 1-8.

78. Qui H. ve Enhui Y., (2018), *Effect of Thickness, Density and Cavity Depth on The Sound Absorption Properties of Wool Boards,* Autex Research Journal, 18, 2, 1-6.

79. Yang, S., W. Yu, ve N. Pan, (2011), *Investigation of the sound-absorbing behavior of fiber assemblies*, Textile Research Journal, 81,7, 673-682.

80. Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S., (2015), *A review of unconventional sustainable building insulation materials,* Materials and Technologies, 4, 1–17.

81. Wassilieff, C., (1996), *Sound absorption of wood-based materials*, Applied Acoustics, 48, 4, 339-356.

82. Kaya, A. İ., (2015), *Atık Kağıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

83. Setyowati, E., Hardiman G. ve Atmaja, S. T., (2015), *Green Materials Comparation of Sawdust and Coconut Fibre Acoustical Waffle Panel*, Applied Mechanics and Materials, 747, 221-225.

84. Peng, L, Song, B., Wang, J. ve Wang, D., (2015), *Mechanic and Acoustic Properties of the Sound-Absorbing Material Made from Natural Fiber and Polyester,* Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2015, Article ID 274913, http://dx.doi.org/10.1155/2015/274913.

85. Xu, X., Wang, H., Sun, Y., Han, J. ve Huang, R., (2018), *Sound absorbing properties of perforated composite panels of recycled rubber, fiberboard sawdust, and high density polyethylene*, Journal of Cleaner Production, 187, 215-221.

86. Tiuc, A. E., Nemeş, O., Vermeşan, H. ve Toma, A. C., (2019), *New sound absorbent composite materials based on sawdust and polyurethane foam,* Composites Part B: Engineering, 165, 120-130.

87. Ersoy, S. ve Küçük, H., (2009), *Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties,* Applied Acoustics, 70, 215-22.

88. Ekici, B., Kentli, A. ve Kucuk, H., (2012), *Improving Sound Absorption Property of Polyurethane Foams by Adding Tea-Leaf Fibers,* Archives Of Acoustics, 37, 4, 515–520.

89. Maderuelo-Sanz, R., Barrigón Morillas, J. M. ve Gómez Escobar, V., (2014), *Acoustical performance of loose cork granulates,* European Journal of Wood and Wood Products, 72, 3, 321–330.

90. Maderuelo-Sanz, R., (2014), *The performance of resilient layers layers made from cork granulates mixed with resins for impact noise reduction,* Holz als Roh- und Werkstoff, 72, 6, 833-835.

91. Paşayev, N., Kocatepe, S. ve Maraş, N, (2018), *Investigation of sound absorption properties of nonwoven webs produced from chicken feather fibers*, Journal of Industrial Textiles, 1-20.

92. Iaşnıca, I., Vasile, O. ve Iatan, R., (2015), *Sound Absorption Analysis for Layered Composite made from Textile Waste and Cork,* Acta Electrotechnica, 57, 1-2, 312-319.

93. Gómez Escobar, V. ve Maderuelo-Sanz, R., (2017), *Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts,* Applied Acoustics, 125, 166-172.



Bölüm 8

PHYTON İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME MİMARİSİNDE AHP UYARLAMASI

Neşe YALÇIN[1], Fatih KILIÇ[2], M. Taha CONTARLI[3]

1 Prof. Dr., Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, nyalcin@atu.edu.tr

2 Dr. Öğr. Üyesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, fkilic@atu.edu.tr

3 Yüksek Lisans Öğrencisi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, mehmetcontarli@gmail.com

Giriş

Karar vermenin amacı, insanların kendi anlayışlarına göre karar vermelerine yardımcı olmaktır. Karar verme süreci tüm insanların her zaman en sık gerçekleştirdiği etkinlik olduğundan, günümüzde insanların daha iyi kararlar vermelerine yardımcı olmak için kullanılan teknikler muhtemelen insanların biyolojisine ve psikolojisine belli bir zamanda tasarlanan ve dağıtılan tekniklerden daha yakın kalmalıdır. Kararlar sonsuza dek sürse de, tüm bilgilerin yaptığı gibi artık eskimiş olacaktır. Bu, daha iyi kararlar alınmasına yardımcı olmak için sunulan yöntemlerin açıklayıcı ve oldukça şeffaf olmaya daha yakın olması gerektiğini düşündürmektedir. Ayrıca standartları yakalayabilmeli ve normatif olarak alınan kararları tanımlayabilmelidirler. Doğal bilim, karar verme gibi, karmaşık bir dünyayla akıllıca başa çıkmamıza yardımcı olmak için çoğunlukla tanımlayıcı ve öngörücüdür. Karar vermenin, iyi ve kötü tüm faktörleri listelemekten daha karmaşık olduğuna inanmak kendine özgü bir şey değildir, kişi akla gelebilecek bazı analiz yöntemlerine göre en iyi sonucu ortaya çıkaran sayısal manipülasyonlara girebilir. Her karar için dikkate alınacak olumlu ve olumsuz faktörler vardır. Bunlar genellikle psikolojik olarak faydalar (kazançlar) ve fırsatlar (potansiyel kazançlar) ile maliyetler (kayıplar) ve riskler (potansiyel kayıplar) şeklinde yorumlanır. Bir kararın bu esaslara göre nasıl değerlendirileceği ve bunların tek bir genel cevapta nasıl birleştirileceği kolay değildir. Çok ölçütlü karar alma sürecinin, birçok maddi olmayan yapısıyla bu önemli, karmaşık ve kaçınılmaz kaygı üzerinde anlamlı niceliksel yardım sağlaması gerekmektedir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) / multi criteria decision making (MCDM) geniş bir bilimdir ve karar verme sürecinin en tanınmış dallarından biridir. Bir takım karar kriterleri altında karar problemleriyle ilgilenen genel bir yöneylem araştırmasının bir alt dalıdır. Son yıllarda ÇKKV / MCDM yöntemleri literatürde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Her türlü bilimsel alanda başarıyla uygulanmaktadır ve çok sayıda varyasyon ile birlikte çok sayıda metodolojisi mevcuttur. MCDM problemlerinin çözümünde yöntemlerin kullanılma amaçları; seçenekler arasından seçim, derecelendirme, sınıflandırma ve tanımlama yapmak şeklinde olabilir. Bu amaçlar doğrultusunda kullanılan bazı yöntemler şunlardır: AHP, ANP, MAUT/UTA, TOPSIS, VIKOR, SAW, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE, GRA, GP, DEA, COPRAS, MOORA, MULTIMOORA, SWARA, ARAS, WASPAS, AHP Sort, UTADIS, FlowSort, ELECTRE-Tri, GAIA, FS-Gaia vb. (Ishizaka ve Nemery, 2013; Yıldırım ve Önder, 2014; Uludağ ve Doğan, 2016).

Literatürde çok sayıdaki araştırmacının MCDM yöntemleri ile karar verme problemlerinin çözümünde genel olarak Microsoft Office Excel programını kullandığı çalışmalarında her hangi bir programdan / yazılımdan bahsetmemiş olmalarından kolayca anlaşılmaktadır. MCDM yöntem-

lerinin Phyton programlama dilinde kodlanarak çözüm sunabilecek bir araç olarak kullanılmasına yönelik literatürde hemen hemen yok denecek kadar az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Birçok araştırmacı tarafından iyi bilinen ve sıklıkla kullanılan bazı MCDM yöntemlerinin son zamanlarda programlamada kullanım kolaylığına ve yüksek işlevselliğe sahip olan Phyton dili ile kodlanarak çözüm sunuyor olması literatür açısından önemli bir katkı olacaktır.

Bu kapsamda literatürde uzun zamandır yaygın kullanılan AHP, TOPSIS, VIKOR ve SAW yöntemleri ile birlikte literatürde son zamanalarda geliştirilen yeni sayılabilecek EDAS yönteminden oluşan bir takım MCDM yöntemi seçilerek Phyton programlama dilinde bir yapı oluşturulmuştur. Böylece, bu çalışma kapsamında ele alınan AHP yöntemi ile birlikte çalışma kapsamı dışında tutulan diğer MCDM yöntemlerinin Phyton programlama dilinde kodlarının yazılması ve bu yazılan kodlar vasıtasıyla uygulayıcıların / araştırmacıların MCDM yöntemlerini kendi özel ihtiyaçlarına göre adapte edebilmesi, yöntemlerin özelliklerini analiz edebilmesi ve teorik deneyimlerini doğrulayabilmesi yada yeni modüller ve / veya yöntemler geliştirebilmesi için temel oluşturulması amaçlanmıştır. Bu yöntemlerden AHP (Analytical Hierarchy Process / Analitik Hiyerarşi Prosesi), 1971 yılında Pittsburgh Üniversitesi'nden Profesör Thomas L. Saaty tarafından karmaşık çok ölçütlü karar problemlerinin çözümünde kolaylıkla uygulanabilecek bir yöntem olarak geliştirilmiştir. AHP, uygulama alanındaki genişliği, uygulamadaki kolaylığı, hem sübjektif hem de objektif verileri birlikte değerlendirebilme özelliği sebebiyle en çok bilinen ve kullanılan MCDM yöntemlerinden biridir (Vaidya ve Kumar, 2006; Ho, 2008). AHP yöntemi yapısı gereği karmaşık ve zor problemleri çözmek için uygundur (Zahedi, 1986). TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution / İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği) yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından çok kriterli karar problemlerini çözmek amacıyla geliştirilmiştir. TOPSIS, alternatifleri ideal çözüme olan uzaklıklara göre sıralayan pratik ve kullanışlı bir tekniktir (Shih vd., 2007). Bu yöntem bir alternatifin en iyi çözüme en yakın ve en kötü çözüme en uzak mesafelerini dikkate alarak hesaplama yapan öklidyen mesafesi temeline dayanmaktadır (Zanakis vd., 1998). VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, meaning multicriteria optimization and compromise solution / Çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm) yöntemi birbirleri ile ilişkisi olmayan kriterlerden oluşan karar problemlerini çözmek amacıyla Opricovic (1998) tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak gerçek dünya problemine uygulanmıştır. VIKOR yöntemi, karar verme problemine en yüksek grup faydası ve en düşük bireysel pişmanlığı sağlayacak bir çözüm bulmayı amaçlar (Yıldız ve Deveci, 2013). Çok kriter tabanlı karar verme bağlamında, VI-

KOR, özellikle karar vericinin sistem tasarımının erken aşamasında tercihini nasıl ifade ettiğini bilmediği durumlarda avantajlıdır (Kang ve Park, 2014). SAW (Simple Additive Weighting / Basit Ağırlıklı Toplam) yöntemi, Churchman ve Ackoff (1954) tarafından portföy seçim problemine uygulanılarak literatüre kazandırılmıştır. SAW yöntemi literatürde Ağırlıklı Toplam Model (Weighted Sum Model) olarak da bilinmektedir (Çakır ve Perçin, 2013). Bu yöntemde alternatiflerin sıralaması, kriterlerin fayda ve maliyet durumlarının dikkate alınmasıyla hesaplanan alternatif tercih değerlerine göre elde edilmektedir. MCDM literatüründe son zamanlarda geliştirilmiş yöntemler arasında yer alan hemen hemen yeni sayılabilecek EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution- Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme) yöntemi, uzun zamandır yaygın kullanılan diğer karar verme yöntemlerine (özellikle TOPSIS ve VIKOR) alternatif olarak Keshavarz Ghorabaee vd. (2015) tarafından geliştirilmiş ve envanter kalemlerinin ABC sınıflandırmasında kullanılmıştır. Bu yöntemin özelliği alternatiflerin ortalama çözüm dikkate alınarak değerlendirilmesidir.

Bu çalışmada AHP yönteminin Phyton programlama dilinde bir takım MCDM yöntemi ile geliştirilen mimariye uyarlanması sürecinin detaylı şekilde açıklanarak uygulayıcıların / araştırmacıların AHP yöntemini kendi özel ihtiyaçlarına göre adapte edebilmesi, yöntemin özelliklerini analiz edebilmesi ve teorik deneyimlerini doğrulayabilmesi için temel oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın literatür kısmında öncelikle AHP yönteminin uygulandığı farklı karar promlemlerine değinilmiş ve sonrasında AHP ve diğer çok kriterli karar yöntemleri için geliştirilmiş bilgisayar programlarından / yazılımlardan bahsedilmiştir. Daha sonra, çalışmanın metodoloji kısmında öncelikle AHP yönteminin hesaplama süreci hakkında bilgi verilmiş ve ardından AHP ile diğer dört yöntemin Python programlama dilinde kodlanarak kullanıcıların bu yöntemlerin hepsini bir takım MCDM aracı olarak kullanabilmelerini sağlayacak (çalışmada "MCDM-Tool" olarak ifade edilmiştir) yapının mimarisine yönelik çerçeve açıklanmıştır. Bulgular kısmında, MCDM-Tool içinde yer alan AHP yöntemi için yazılan kodların geçerliliğini test etmek amacıyla literatürden iki örnek problemün çözümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Son olarak, çalışmanın hem literatür hem de araştırmacılar açısından öneminden bahsedilmiştir.

2. Literatür Taraması

Bu bölümde öncelikle AHP yöntemi ile ilgili çok kriterli karar problemlerindeki farklı kullanım alanlarına yönelik bir literatür taraması verilmiştir. Daha sonra, MCDM yöntemlerinin çözümü için geliştirilmiş farklı bilgisayar programlama dilleri ile ilgili literatürden bahsedilmiştir.

1971 yılında Thomas L. Saaty tarafından tarafından geliştirilen AHP yöntemi, ekonomi, politika ve mühendisliğin çeşitli alanlarında çok sayıda uygulamada kullanılan güçlü bir MCDM aracıdır. Literatürde çok yaygın kullanım alanına sahip AHP yönteminin farklı uygulamalarının analizi ile ilgili detaylı literatür araştırması Vaidya ve Kumar (2006) tarafından yapılmıştır. AHP yönteminin çeşitli karmaşık karar verme problemlerinin çözümünde kullanıldığı çalışmalardan bazıları şunlardır: müşteri şikayetlerinin değerlendirilmesinde (Oğuzlar, 2007), lojistik, tedarik zinciri yönetimi ve dağıtım konularında (Sharma vd., 2008; Daim vd., 2013), tedarikçi seçiminde (Levary, 2008; Chan ve Chan, 2010; Asamoah vd. 2012; Verma ve Pateriya, 2013; Koç ve Burhan, 2014), otomobil tercihleri ve seçiminde (Yavuz, 2012), yenilenebilir enerji alternatiflerinin tedarikçi seçiminde (Rajesh ve Malliga, 2013), en iyi taşıma modu seçiminde (Kumru ve Kumru, 2014), limanların sürdürülebilirlik sıralamasında (Asgari vd., 2015), tedarik zincirinde sürdürülebilir tüketim ve üretim girişimlerini benimsemedeki engelleri değerlendirmede (Luthra vd., 2016), izole güç sistemi kombinasyonunun belirlenmesinde (Lombardi vd., 2016), karar destek modeli olarak otomotiv endüstrisinde tedarikçi seçiminde (Dweiri vd., 2016), tuzdan arındırma tedarik zincirinin çevresel ve ekonomik performansını değerlendirmede (Balfaqih vd., 2017), küresel tedarik zincirlerinin sosyal risklerini ve tedarikçi seçimini değerlendirmede (Zimmer vd., 2017), tedarikçi segmentasyonunda (de Oliveira Moura Santos vd., 2017).

Çok sayıdaki farklı MCDM yaklaşımları için mevcut yazılımların kapsamlı bir listesi, bu konuda uluslararası toplumun (International Society on MCDM) resmi web sayfasında (http://www.mcdmsociety.org/content/software-related-mcdm) verilmektedir. MCDM yöntemlerinin çözümünde birçok araştırmacı tarafından genellikle Microsoft Office Excel programının kullanıldığı çalışmalarda her ne kadar belirtilmese de kullanılan her hangi bir program / yazılımdan bahsetmemiş olmalarından anlaşılmaktadır. Bununla birlikte bazı MCDM yöntemlerinin çözümü için geliştirilmiş programlar/yazılımlar bulunmaktadır. Örneğin; AHP için 1983 yılında Thomas Saaty ile Ernest Forman arasındaki işbirliğiyle geliştirilmiş olan *Expert Choic*e yazılımı, hem AHP hem de ANP yöntemlerinin her ikisine de kullanıcı dostu uygulamasına izin veren Creative Decisions Foundation'dan ücretsiz olarak edinilebilen *Super Decisions* yazılımı mevcuttur.

Mathematica, Maple ve Matlab gibi bilimsel bilgi işlem ortamlarının popülaritesi, bilim insanlarının ve mühendislerin bu tür ortamlarda daha üretken hissetmeleri nedeniyle son on yılda önemli ölçüde artmıştır. Literatürde Özçalıcı (2018) tarafından yapılan çalışmada; AHP, TOPSIS, Gri İlişkisel Analiz, VIKOR ve MOORA teknikleri MATLAB yazılımında birer fonksiyon haline getirilmiş ve her bir yöntemin MATLAB kodlarından elde edilen sonuçları literatürdeki örnek problemlerle desteklenmiştir.

Mukhametzyanov (2020a) tarafından MCDM tools geliştirilmiş ve kullanıcılara sunulmuştur. Ayrıca, Mukhametzyanov (2020b) tarafından MCDM yöntemlerinin duyarlılık analizine yönelik Matlab kodları da yazılmıştır.

Literatürde bazı MCDM yöntemleri için Phyton programlama dili kullanılarak çözüm sunan oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Papathanasiou ve Ploskas (2018) tarafından Phyton programlama dili ile TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE, SIR, AHP ve Hedef Programlama yöntemlerinin klasik ve bulanık modellerine ait kodlar ve her bir yöntemin bu kodlar ile çözülmesine yönelik örnekler verilmiştir. Bir diğer çalışma Yadav vd. (2019) tarafından kapsamlı analiz sonrası uzantıları ile TOPSIS yöntemi için yazarların bilgisine sunulacak şekilde ücretsiz ve açık kaynaklı bir yazılım (FOSS - no free and open-source software) olmadığı belirtilmiş ve bu nedenle Berkeley Software Distribution (BSD) -3-Clause lisansı ile TOPSIS için Python-3 tabanlı bir PyTOPS aracı geliştirilmiştir. Bu çalışmada PyTOPS geliştirilmesi ile büyük bir karar matrisi (binlerce özellik ve alternatif) ve analiz sonrası için bir milyona kadar simülasyon ile TOPSIS için bir FOSS eşdeğeri sağlamak amaçlanmıştır. Bu çalışmaların yanı sıra, Git kullanarak yazılım geliştirme sürüm kontrolü için barındırma sağlayan ABD merkezli bir küresel şirket olan GitHub'da bazı MCDM yöntemleri (özellikle AHP, TOPSIS ve VIKOR) için Phyton kodları mevcuttur.

3. AHP Yöntemi ve Python ile Programlama

Bu bölümde öncelikle bu çalışma kapsamında MCDM yöntemi olarak ele alınan AHP yönteminin hesaplama süreci hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra, AHP ile birlikte diğer dört MCDM yöntemini birlikte ele alan Python programlama dili kullanılarak geliştirilen *MCDM-Tool* olarak adlandırılan mimariden bahsedilmiştir.

3.1. AHP Yöntemi

Çok sayıda birbiriyle çelişen kriterin yer aldığı karar verme problemlerinin çözümünde en sık kullanılan MCDM yöntemlerinden biri, 1971 yılında Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir. AHP, hem bilgili hem de uzman kişilerin yargısına ve karar vermek için gereken mevcut ölçümlere ve istatistiklere dayanan hem nicel (somut) hem de niteliksel (soyut) ölçütlerin mutlak ölçekleri üzerinde göreli bir ölçüm teorisidir. AHP, kararların çelişkili, ölçülemez ve belirsiz etkilerini açıkça dikkate alma potansiyeli nedeniyle değerlendirme için umut verici bir çerçeve olarak kabul edilir. Bu yöntemin gücü, seçim kriterlerini belirlemeye ve ağırlıklandırmaya yardımcı olarak, kriterler için toplanan verileri analiz ederek ve karar verme sürecini hızlandırarak karmaşık kararları bire bir karşılaştırmalar dizisine indirebilme yeteneğine dayanmaktadır (Lepetu, 2012). AHP, alternatiflerin nispi önemine göre sıralanabile-

ceği hedeflerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırmasına dayanmaktadır. İkili karşılaştırmalar ile karar verici aynı anda sadece iki hedefi göz önünde bulundurur ve böylece hedeflerin ağırlıklandırılması süreci kolaylaştırılır.

AHP'nin yürütülmesi, dikkate alınan kriterlerin birbiriyle ikili olarak karşılaştırılmasını içerir (Saaty, 1980, 1990, 2008). Karşılaştırmalar ikili elemanlar *i* ve *j*'de karşılaştırılarak ve a_{ij}

$(i, j = 1, 2, \cdots, n)$ değer elde edilerek gerçekleştirilir:

$$a_{ij} = 1 \qquad for\, i = j,$$
$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \qquad for\, i \neq j \qquad (1)$$

Karşılaştırmalar için Tablo 1'de verilen bir karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1990) kullanılır.

Tablo 1. *AHP için ikili karşılaştırmalar ölçeği (Saaty, 1990)*

Önem Derecesi	Değer Tanımları (Açıklaması)
1	Eşit derecede önemli (her iki faaliyet amaca eşit katkıda bulunur)
3	Zayıf bir şekilde daha önemli (deneyim ve karar, bir kriteri / etkinliği diğerine göre hafifçe destekler)
5	Çok daha önemli (tecrübe ve muhakeme, bir kriteri / faaliyeti diğerine karşı şiddetle destekler)
7	Bariz şekilde daha önemli (bir kriter / faaliyet diğerine göre çok kuvvetli bir şekilde tercih edilir, egemenliği uygulamada gösterilmiştir.
9	Kesinlikle daha önemli (bir kriteri / etkinliği diğerine tercih eden kanıtlar, mümkün olan en yüksek onaylama düzenine sahiptir)
2, 4, 6, 8	Ara / Uzlaşma Değerleri (bazen bir uzlaşma kararını sayısal olarak enterpole etmek gerekir, çünkü onu tanımlamak için iyi bir kelime yoktur)

Karşılaştırmaların yapılması sonrasında tablo halinde tercih matrisi (aij elemanlarından oluşan A matrisi) elde edilir. AHP'nin bir sonraki adımı, Saaty (1980, 1990, 2008)'ye göre, aşağıdaki formül kullanılarak A tercih matrisinin normalleştirilmesini ve B matrisinin oluşturulmasını gerektirir:

$$B = \lfloor b_{ij} \rfloor$$

$$b_j = \frac{a_j}{\sum_{i=1}^{n} a_j} \qquad (2)$$

Normalize edilmiş B matrisinde her bir matris satırı için ω özvektörleri aşağıdaki Eşitlik (X)'de verilen formül ile hesaplanarak gösterilir.

$$\omega = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} b_i \qquad (3)$$

AHP'nin sonraki aşamasında ise önerilen karşılaştırmaların tutarlılık oranı (*CR*) hesaplanarak tutarlılık açısından kontrolü yapılır (Saaty, 1990, 2008; Alonso ve Lamata, 2006; Cabala, 2010). Bunun için de öncelikle aşağıda verilen eşitlik kullanılarak maksimum özdeğer hesaplanır.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{(A\omega)_i}{\omega_i} \qquad (4)$$

Daha sonra, CR değeri için Tablo 2'de verilen tutarlılık indeks (CI) değerleri dikkate alınarak aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\text{CR} = \frac{\lambda_{\max} - n}{r(n-1)} \cdot 100\% \qquad (5)$$

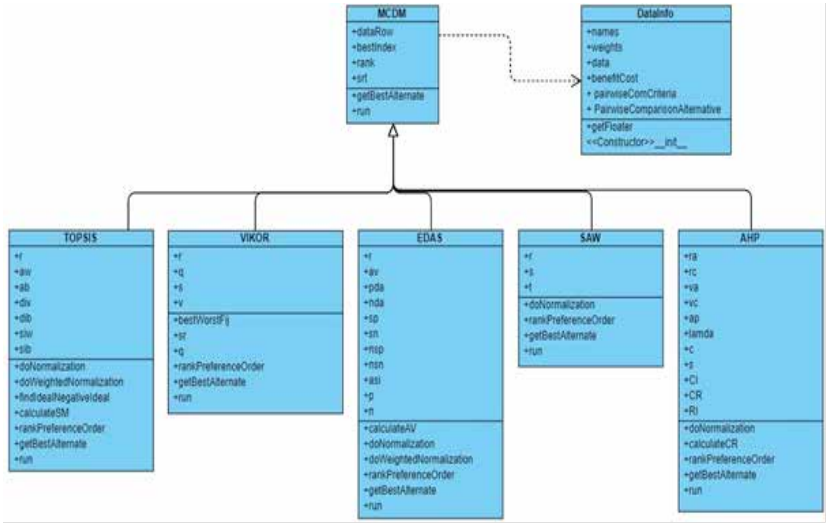
Tablo 2. *Matris boyutuna göre rastgele CI değerleri (Saaty, 2000)*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.44	1.45	1.49

İkili karşılaştırmaların tutarlı olarak kabul edilebilmesi için tutarlılık oranının 0,10'un altında olması gerekir (0,10'dan daha büyük bir CR değerinde tutarsızlığı azaltmak için ikili karşılaştırmalar gözden geçirilmelidir). AHP'nin en son adımında en yüksek nihai öncelik değerine sahip olan alternatif seçilerek süreç tamamlanır.

3.2. MCDM-Tool mimarisi ve AHP metodunun uyarlaması

MCDM-Tool, nesne yönelimli bir mimariye göre tasarlanmıştır. Bu yönüyle bu aracın yeni metotlar ile genişletilmesi mümkün olup, bu doğrultuda çalışan geliştiricilere ve / veya araştırmacılara yeni bileşenler ekleyebilme imkanı sunulmuştur. Bu yazılım aracı AHP ile birlikte dört farklı MCDM yönteminin kütüphanelerini içermektedir. Şekil 1'de MCDM-Tool Sınıf Diyagramı sunulmuştur.



Şekil 1. *MCDM-Tool Sınıf Diyagramı*

MCDM-Tool kütüphanesi toplamda yedi sınıf dosyasından oluşmaktadır. DataInfo sınıfı MCDM teknikleri için genel veri yapısının işlenmesinde kullanılmaktadır. DataInfo sınıfı içerisinde kriter isimleri (names), ağırlıklar (weights), kriterlerin fayda maliyet durumu (benefitCost), alternatifler (alternatives), AHP metodu için kriter çiftleri karşılaştırması (pairwiseComparisonofCriteria) özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca bu sınıf içerisinde getFloater metodu mevcuttur. Bu metot girilen farklı türdeki verileri kayan noktalı veri türüne çevirerek olası hatalardan korumaktadır.

MCDM sınıfı çok kriterli karar verme teknikleri için temel sınıf dosyasıdır. Tüm MCDM teknikleri temel sınıf dosyası MCDM sınıfından türetilerek genişletilecektir. Bu sınıf içerisinde bir adet DataInfo türünde dataRow özelliği vardır ve bu değişken kendinden türetilen tüm sınıflarda kullanılabilmektedir. Bunun yanında getBestAlternate ve run metotları polimorfik olarak tanımlanmıştır. Bu metotlar kendinden türetilen metotlarda tekrardan tanımlanmalıdır. Bu şekilde tüm MCDM teknikleri içerisinde benzer şekilde en iyi alternatif seçimi için aynı işlevsel metot isimleri kullanılmalıdır.

AHP metodunun MCDM-Tool'a adapte edilmesi

1. Adım: Sınıf tanımlaması adımıdır. AHP sınıfı MCDM sınıfından türetilerek AHP sınıf dosyası oluşturulur. AHP sınıfında 12 adet özellik vardır. Bu özellikler şu şekildedir: *ra* her bir kriter için ayrı ayrı alternatiflerin karşılaştırma matrislerinin normalize edilmiş halini, *rc* kriterlerin karşılaştırma matrisinin normalize edilmiş halini, *va* her bir kriter için alternatiflerin önem derecelerini, *vc* her bir kriterin ağırlıklandırılmış halini, *ap* alternatifler arası kıyaslama yapılmasında önem seviyesini göstermede kullanılırken, dört özellikle olan *CI, CR, RI* ve λ ise tutarlılık oranının hesaplanmasında kullanılır. Diğer değişkenler ise ara işlemlerdeki matris operasyonlarında kullanılır.

```
class AHP(MCDM):
    ra = None
    rc = None
    va = None
    vc = None
    nl = None
    ap = None
    lamda = None
    c = None
    s = None
    CI = None
    CR = None
    RI = [0, 0, 0.58, 0.90, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41,1.45, 1.49]
```

2. Adım: Normalizasyon işlemi adımıdır. Her bir karşılaştırma matrisindeki değerler, sütundaki değerlerin toplamına bölünerek Normalizasyon matrisleri oluşturulmaktadır. Her bir kriter için alternatiflerin karşılaştırma matrisleri ayrı ayrı değerlendirilir. Kriterler ise kendi arasında ayrı değerlendirilir.

```
def doNormalization(self):
    self.ra = np.zeros((self.dataRow.colNum,self.dataRow.rowNum, self.dataRow.
rowNum))
    self.rc = np.zeros((self.dataRow.colNum, self.dataRow.colNum))
    for k in range(self.dataRow.colNum):
        for i in range(self.dataRow.rowNum):
            for j in range(self.dataRow.rowNum):
                rt = np.array(self.dataRow.pairwiseComAlternative[k])
                nm = sum(rt[:, j])
                self.ra[k, i, j] = self.dataRow.pairwiseComAlternative[k, i, j] / nm
    self.va = np.zeros((self.dataRow.colNum,self.dataRow.rowNum))
    for k in range(self.dataRow.colNum):
        for i in range(self.dataRow.rowNum):
            rt = np.array(self.ra[k])
            self.va[k,i] = (sum(rt[i, :]) / self.dataRow.rowNum)
```

3. Adım: Aritmetik ortalama işlemi adımıdır. Bu işlem adımında oluşturulan her bir Normalizasyon matrislerinin satırlara göre aritmetik ortalamaları alınarak her bir kriter için ayrı ayrı önem dereceleri hesaplanır. Kriterler için de ayrı bir şekilde bu işlem yapılarak her bir kriterin ağırlık seviyeleri belirlenir.

```
for i in range(self.dataRow.colNum):
    for j in range(self.dataRow.colNum):
        nm = sum(self.dataRow.pairwiseComCriteri[:, j]
        self.rc[i, j] = self.dataRow.pairwiseComCriteri[i, j] / nm
self.vc = np.zeros(self.dataRow.colNum)
self.dataRow.weights = np.zeros(self.dataRow.colNum)
for i in range(self.dataRow.colNum):
    self.vc[i] = (sum(self.rc[i, :]) / self.dataRow.colNum)
self.dataRow.weights = self.vc
print("weights",self.dataRow.weights)
```

4. Adım: Tutarlılık oranının belirlenmesi adımıdır. Karşılaştırma matrislerinin ağırlıklarıyla çarpılmasında oluşan matrislerin tekrardan ağırlık değerlerine bölünmesi sonucu oluşan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak lambda (λ) değerleri hesaplanır. Lamda (λ) değeri, matris boyutu sayısından çıkartılarak matris boyutu sayısının bir eksiğine bölünür ve tutarlılık indeksi hesaplanır. Tutarlılık oranı ise tutarlılık indeksinin matris boyutunun sayısına göre rassallık değerine bölünmesiyle hesaplanır.

```
def calculateCR(self):
    self.s = self.dataRow.pairwiseComCriteri * self.dataRow.weights
    self.nl = np.zeros(self.dataRow.colNum)
    for i in range(self.dataRow.colNum):
        self.nl[i] = sum(self.s[i,:])
    self.lamda = sum(self.nl/self.dataRow.weights)/self.dataRow.colNum
    self.CI = (self.lamda - self.dataRow.colNum) / (self.dataRow.colNum – 1)
    self.CR = self.CI / self.RI[self.dataRow.colNum-1]
    if self.CR < 0.1:
        print("CR value of Criterias",self.CR)
    else:
        print("matrix is not consistincy")
    self.c1=[]
    for k in range(self.dataRow.colNum):
        self.c1.append(self.dataRow.pairwiseComAlternative[k]*self.va[k])
    self.lm=np.zeros((self.dataRow.colNum,self.dataRow.rowNum))
    for k in range(self.dataRow.colNum):
        for i in range(self.dataRow.rowNum):
            kl=np.array(self.c1[k])
```

```
            self.lm[k,i]=sum(kl[i,:])
    self.lm1=np.zeros(self.dataRow.colNum)
    for i in range(self.dataRow.colNum):
        self.lm1[i]=sum(self.lm[i]/self.va[i])/self.dataRow.rowNum
    self.CIA=np.zeros(self.dataRow.colNum)
    for i in range(self.dataRow.colNum):
        self.CIA[i]= (self.lm1[i]-self.dataRow.rowNum)/(self.dataRow.rowNum-1)
    self.CRA=np.zeros(self.dataRow.colNum)
    for i in range(self.dataRow.colNum):
        self.CRA[i]=self.CIA[i]/self.RI[self.dataRow.rowNum-1]
        if self.CRA[i]<0.1:
            print("CR values of alternative:",i+1,self.CRA[i])
        else:
            print("matrix is not consistincy",i+1,self.CRA[i])
```

5. Adım: Bu adımda her bir kriter için alternatiflerin önem seviyeleri ağırlıklarıyla çarpılarak alternatiflerin kendi aralarındaki önem seviyesi belirlenir.

```
self.ap = np.zeros(self.dataRow.rowNum)
self.c = self.va.T *self.dataRow.weights
for i in range(self.dataRow.rowNum):
    self.ap[i] = sum(self.c[i,:])
print(self.ap)
```

6. Adım: Bu adımda alternatiflerin önem seviyeleri arasında en yüksek orana sahip olan alternatif ideal sonuç olarak belirlenir.

```
maxs = self.ap[0]
self.bestIndex = 0
for j in range(self.dataRow.rowNum):
    if (maxs < self.ap[j]):
        maxs = self.ap[j]
        self.bestIndex = j
```

7. Adım: Son adımda alternatiflerin arasında en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru sıralaması yapılır.

```
self.srt = sorted(self.ap, reverse=True)
self.rank = np.zeros(self.dataRow.rowNum)
for i in range(self.dataRow.rowNum):
    for j in range(self.dataRow.rowNum):
        if self.srt[i] == self.ap[j]:
            self.rank[i]=j+1
print("ranking",self.rank)
```

MCDM-Tool örnek kullanımı

Algoritma2 içerisinde MCDM-Tool'un AHP örnek kullanımı gösterilmiştir.

```
1. from AHP import AHP
2. from DataInfo import DataInfo
3. names = [“c1”, “c2”, “c3”, “c4”]
4. pairwiseComAlternative=[]
5. datac1 = [[1,3,1],[1/3,1,0.2],[1,5,1]]
6. pairwiseComAlternative.append(datac1)
7. datac2 = [[1,6,1/3],[1/6,1,1/9],[3,9,1]]
8. pairwiseComAlternative.append(datac2)
9. datac3 = [[1,1/3,1],[3,5,1],[1,1/5,1]]
10. pairwiseComAlternative.append(datac3)
11. datac4 = [[1,1/3,1/2],[3,1,3],[2,1/3,1]]
12. pairwiseComAlternative.append(datac4)
13. pairwiseComCriteri = [[1,1/5,3,4],[5,1,9,7],[1/3,1/9,1,1],[1/4,1/
7,1,1]]
14. dr= DataInfo(names, None,None
,None,pairwiseComCriteri,pairwiseComAlternative)
15. t = AHP(dr)
16. t.run()
17. bestIndex=t.getBestAlternate()
18. print(“BestIndex:” + str(bestIndex))
```

Algoritma 2: AHP kullanım örneği

Python programlama dili ile geliştirilen bu örnekte ilk satırda MCDM-Tool'da kullanılmak istenilen çok kriterli karar verme metodu tanımlanır. Satır 2'de seçim işlemleri için genel veri yapısı olan DataInfo sınıfı tanımlanır. Satır 3'de kriter isimleri tanımlandıktan sonra satır 4 – 12 arasında alternatiflerin karşılaştırma matrislerinin bilgileri tanımlanır ve bu matrisler pairwiseComAlternative dizisine atanır. Satır 13'de kriterlerin karşılaştırma matris değerleri girilir. Satır 14'de tanımlanan dizi şeklindeki veriler DataInfo türündeki bir nesneye dönüştürülür ve ardından Satır 15'de AHP sınıfından bir nesne yaratılır. Satır 16'da AHP için alt süreçlerin işlemesini sağlayan run metodu çağrılır. Son Adımda ise getBestAlternate metodu ile seçilen alternatifin kendisi ve indeks bilgileri elde edilir.

4. AHP yönteminin Python Uygulaması

Bu bölümde AHP yönteminin Python uygulamasında literatürden iki örnek problem seçilmiş ve bu örneklerin çözümü için geliştirilen MCDM-Tool (AHP) ile elde sonuçlar verilmiştir. Bu örneklerden ilki bir tesis yerleştirme problemi (Papathanasiou ve Ploskas, 2018), ikincisi ise en iyi bilgisayar sistemi seçimi (Triantaphyllou ve Mann, 1995) problemidir.

Örnek1 (Papathanasiou ve Ploskas, 2018): Tesis yerleştirme problemi için 4 kriter ve 6 farklı alternatif alan belirlenmiştir. Bu kriterler; yatırım maliyeti (C1), işçi ihtiyaçları (C2), sosyal etki (C3) ve çevresel etki (C4) şeklindedir. Her bir kriter açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisleri sırasıyla Tablo 3'de ve kriterler arasındaki ikili karşılaştırma matrisi ise Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. *Örnek1 için alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisleri*

C1 kriterine ait matris							C2 kriterine ait matris						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	1	5	1	1	1/3	3	1	1	7	3	1/3	1/3	1/3
2	1/5	1	1/3	1/5	1/7	1	2	1/7	1	1/3	1/7	1/9	1/7
3	1	3	1	1/3	1/5	1	3	1/3	3	1	1/5	1/5	1/5
4	1	5	3	1	1/3	3	4	3	7	5	1	1	1
5	3	7	5	3	1	7	5	3	9	5	1	1	1
6	1/3	1	1	1/3	1/7	1	6	3	7	5	1	1	1
C3 kriterine ait matris							C4 kriterine ait matris						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	1	1/9	1/7	1/9	1	1/5	1	1	1/5	1/5	1/3	1/7	1/5
2	9	1	1	1	5	3	2	5	1	1	3	1/3	1
3	9	1	1	1	5	1	3	5	1	1	1	1/3	1
4	9	1	1	1	7	3	4	3	1/3	1	1	1/7	1
5	1	1/5	1/5	1/7	1	1/3	5	7	3	3	7	1	5
6	5	1/3	1	1/3	3	1	6	5	1	1	1	1/5	1

Tablo 3 ve 4'de verilen karşılaştırma matrisleri MCDM-Tool (AHP)'ye girildiğinde elde edilen sonuç Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 4. *Örnek1 için kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi*

	C1	C2	C3	C4
C1	1	1	5	3
C2	1	1	5	3
C3	1/5	1/5	1	1/3
C4	1/3	1/3	3	1

```
priorities [0.11848691 0.0720196  0.09644456 0.21083854 0.34757816 0.15463222]
ranking [5. 4. 6. 1. 3. 2.]
CR value of Criterias 0.016251828082473503
CR values of alternative: 1 0.033690895023144686
CR values of alternative: 2 0.02696981141606909
CR values of alternative: 3 0.022261646802855767
CR values of alternative: 4 0.03988682812302702
BestAlternate:5
```

Şekil 2. *Örnek1 için elde edilen MCDM-Tool (AHP) sonucu*

Şekil 2'de Python üzerinden, alternatiflerin öncelik sıralaması, en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru sıralaması ve her bir karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranları gösterilmektedir. Tablo 5'den elde edilen sıralama sonucu ile referans alınan çalışmadaki sıralama sonucunun birebir uyuştuğu görülmektedir.

Tablo 5. *Örnek1 için sıralama sonuçlarının karşılaştırılması*

MCDM-Tool (AHP) ile elde edilen sıralama sonucu	Papathanasiou ve Ploskas (2018) tarafından elde edilen sıralama sonucu
5-4-6-1-3-2	5-4-6-1-3-2

Örnek2 (Triantaphyllou ve Mann, 1995): En iyi bilgisayar sistemi seçimi problemi için 4 kriter ve 3 alternatif belirlenmiştir. Bu kriterler; donanım genişletme (C1), donanım onarma (C2), finansman kullanılabilirliği (C3)ve kullanıcı tatmini (C4) şeklindedir. Her bir kriter açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 6'da ve kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ise Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. *Örnek2 için alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisleri*

C1 kriterine ait matris				C2 kriterine ait matris			
C1	1	2	3	C2	1	2	3
1	1	6	8	1	1	7	3
2	1/6	1	4	2	1/7	1	1/3
3	1/8	1/4	1	3	1/3	3	1
C3 kriterine ait matris				C4 kriterine ait matris			
C3	1	2	3	C4	1	2	3
1	1	1/9	1/7	1	1	1/5	1/5
2	9	1	1	2	5	1	1
3	9	1	1	3	5	1	1

Tablo 7. *Örnek2 için kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi*

	C1	C2	C3	C4
C1	1	5	3	7
C2	1/5	1	1/3	5
C3	1/3	3	1	6
C4	1/7	1/5	1/6	1

Tablo 6 ve 7'de verilen karşılaştırma matrisleri MCDM Tool (AHP)'ye girildiğinde elde edilen sonuç Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'de Python üzerinden, alternatiflerin öncelik sıralaması, en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru sıralaması ve her bir karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranları gösterilmektedir.

```
priorities [0.66636689 0.13619266 0.19744045]
ranking [1. 3. 2.]
CR value of Criterias 0.09050949070811762
matrix is not consistincy 1 0.12062025335167682
matrix is not consistincy 2 0.2220676402473212
matrix is not consistincy 3 0.12062025335167682
CR values of alternative: 4 0.07495630655172662
BestAlternate:1
```

Şekil 3. *Örnek2 için elde eilen MCDM-Tool (AHP) sonucu*

Tablo 8'den elde edilen sıralama sonucu ile referans alınan çalışmadaki sıralama sonucunun birebir uyuştuğu görülmektedir.

Tablo 8. *Örnek2 için sıralama sonuçlarının karşılaştırılması*

MCDM-Tool (AHP) ile elde edilen sıralama sonucu	Triantaphyllou ve Mann (1995) tarafından elde edilen sıralama sonucu
1-3-2	1-3-2

5. Sonuç

Bugün, çok kriterli karar analizi yöntemlerinin çoğu belirli bazı yazılımlar tarafından desteklenmektedir. Uygulayıcıların kapsamlı ve ayrıntılı analiz yapmak için kendilerine ait geliştirdikleri çözüm sağlayan araçları bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu özel yazılım parçaları, farklı yöntemler arasında karşılaştırma yapma, yöntemleri özel karar problemlerine uyarlama veya yöntemlerin yeni gelişmelerini veya uzantılarını test etmeyi kolaylaştırma özelliğine sahip değildirler. Bu açıdan, son zamanlarda programlamada kullanım kolaylığından ve yüksek işlevselliğinden dolayı popüler olan Python yazılım geliştirme dili ile bir çok kriterli karar verme (MCDM) kütüphanesi oluşturmak önemli olacaktır. Bu kapsamda litera-

türde hem uzun zamandır yaygın kullanılan (AHP, TOPSIS, VIKOR ve SAW) hem de son zamanlarda geliştirilerek etkinliği kanıtlanmış (EDAS) yöntemlerden oluşan bir takım MCDM yöntemi seçilerek Phyton programlama dilinde bir yapı oluşturulmuştur. Böylece, bu yazılım kütüphanesinde başta AHP olmak üzere toplamda beş MCDM yöntemi kodlanmıştır. Geliştirilen yazılım kütüphanesi nesne tabanlı olarak tasarlandığından, diğer geliştiriciler / araştırmacılar tarafından genişletilebilir bir yapıya sahiptir.

Bu çalışmada sadece AHP yönteminin Phyton programlama dilinde bir takım MCDM yöntemi ile geliştirilen mimariye uyarlanmasıyla uygulayıcıların / araştırmacıların AHP yöntemini kendi özel ihtiyaçlarına göre adapte edebilmesi, yöntemin özelliklerini analiz edebilmesi ve teorik deneyimlerini doğrulayabilmesi için temel oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun yanısıra, bu kütüphane aracılığıyla Python programlama dili ile yeni tanışan veya üst düzeyde yazılım programlama bilgisine sahip olmayan araştırmacıların MCDM problemlerini daha basit irdelemelerine olanak sağlanmaya da çalışılmıştır. Ayrıca, kolay kullanımı ve örnek test senaryolarının da ayrıca kodlanması ile araştırmacılara çözecekleri problemlere daha fazla odaklanma imkanı sunulmaya da çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında literatürden iki örnek problemin çözümü için MCDM-Tool (AHP) test edilmiştir. Elde edilen çözüm sonuçlarının problemlerin çözüm sonuçlarıyla uyuştuğu görülmüştür. Literatürde özellikle de AHP yöntemi çok kriterli karar problemlerinde hem kriter ağırlıklarının belirlenmesinde hem de alternatiflerin sıralamasında yaygın olarak kullanıldığından, Phyton ile uyarlanan AHP yöntemi hem literatür hem de araştırmacılar açısından oldukça faydalı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından kabul edilen 18103036 nolu BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

Alonso, J., Lamata, T.M. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: A new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14, 445–459.

Asamoah, D., Annan, J., Nyarko, S. (2012). AHP Approach for Supplier Evaluation and Selection in a Pharmaceutical Manufacturing Firm in Ghana. *International Journal of Business and Management*, 7(10), 49-62.

Asgari, N., Jones, D., Hassani, A., Nguyen, H. (2015). Sustainability ranking of the UK major ports: methodology and case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 78, 19-39.

Balfaqih, H., Al-Nory, M.T., Nopiah, Z.M., Saibani, N. (2017). Environmental and economic performance assessment of desalination supply chain. *Desalination*, 406, 2-9.

Cabala, P. (2010). Using the analytic hierarchy process in evaluating decision alternatives. *Operations Research and Decisions*, 20, 5–23.

Chan, F.T.S., Chan, H.K. (2010). An AHP model for selection of suppliers in the fast changing fashion market. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9), 1195-1207.

Churchman, C.W., Ackoff R.L. (1954). An Approximate Measure of Value. *Journal of Operations Research Society of America*, 2(1), 172-87.

Çakır, S., Perçin, S. (2013). AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-Topsıs Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 77-95.

Daim, T.U., Udbye, A., Balasubramanian, A. (2013). Use of analytic hierarchy process (AHP) for selection of 3PL Providers. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(1), 28-51.

de Oliveira Moura Santos, L.F., Osiro, L., Lima, R.H.P. (2017). A model based on 2-tuple fuzzy linguistic representation and analytic hierarchy process for supplier segmentation using qualitative and quantitative criteria. *Expert Systems with Applications*, 79, 53 – 64.

Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.

Ho, W. (2008). Integrated Analytic Hierarchy Process and Its Applications - A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 186, 211-228.

Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications, Berlin: Springer.

International Society on MCDM. Software Related to MCDM, http://www.mcdmsociety.org/content/software-related-mcdm, (Erişim tarihi: 29.02.2020).

Mukhametzyanov, I. (2020a). MCDM Sens_Analysis, MATLAB Central File Exchange, https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/67803-mcdm-sens_analysis, (Erişim tarihi: 29.02.2020).

Mukhametzyanov, I. (2020b). MCDM tools, MATLAB Central File Exchange, https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/65742-mcdm-tools, (Erişim tarihi: 29.02.2020).

Ishizaka, A., Nemery, P. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software, Wiley & Sons, Ltd., Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom.

Kang, D., Park, Y. (2014). Review-based measurement of customer satisfaction in mobile service: Sentiment analysis and VIKOR approach. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1041–1050.

Keshavarz Ghorabaee, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (edas), *Informatica*, 26(3), 435-451.

Koç, E., Burhan, H.A. (2014). An Analytic Hierarchy Process (AHP) Approach to a Real World Supplier Selection Problem: A Case Study of Carglass Turkey. *Global Business and Management Research: An International Journal*, 6(1), 1-14.

Kumru, M., Kumru, P.Y. (2014). Analytic hierarchy process application in selecting the mode of transport for a logistics company. *Journal of Advanced Transportation,* 48, 974-999.

Lepetu, J.P. (2012). The Use of Analytic Hierarchy Process (AHP) for Stakeholder Preference Analysis: A Case Study from Kasane Forest Reserve, Botswana. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 3(10), 237–251.

Levary, R.R. (2008). Using the analytic hierarchy process to rank foreign suppliers based on supply risks. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 535-542.

Lombardi, P., Sokolnikova, T., Suslov, K., Voropai, N., Styczynski, Z.A. (2016). Isolated power system in Russia: A chance for renewable energies? *Renewable Energy,* 90, 532-541.

Luthra, S., Mangla, S.K., Xu, L., Diabat, A. (2016). Using AHP to evaluate barriers in adopting sustainable consumption and production initiatives in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 181, Part B, 342-349.

Oğuzlar, A. (2007). Analitik Hiyerarşi Süreci İle Müşteri Şikayetlerinin Analizi. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 14, 122-134.

Opricovic, S. (1998). Multi-criteria optimization of civil engineering systems: PhD Dissertation. Belgrade, Faculty of Civil Engineering.

Özçalıcı, M. (2018). Matlab ile Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri. Nobel Akademik Yayıncılık, Türkiye.

Papathanasiou, J., Ploskas, N. (2018). Multiple Criteria Decision Aid Methods, Examples and Python Implementations. Springer International Publishing AG.

Rajesh,G., Malliga, P. (2013). Supplier selection based on AHP QFD methodology. *Procedia Engineering*, 64, 1283-1292.

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill International: New York, NY, U.S.A.

Saaty, T.L. (1990). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex Word. RWS Publication: Pittsburgh, PA, USA.

Saaty, T.L. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP. RWS Publications: Pittsburg, CA, USA.

Sharma, M.J., Moon, I., Bae, H. (2008). Analytic hierarchy process to assess and optimize distribution network. *Applied Mathematics and Computation*, 202, 256-265.

Shih, H.S., Shyur, H.J., Lee, E.S. (2007) An Extension of TOPSIS for Group Decision Making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45, 801-813.

Triantaphyllou, E., Mann, S.H. (1995). Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. *Inter'l Journal of* Industrial *Engineering: Applications and Practice*, 2(1), 35-44.

Uludağ, A.S., Doğan, H. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılmasına Odaklı Bir Hizmet Kalitesi Uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 17-47.

Vaidya, O.S., Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, 169, 1-29.

Verma, D.S., Pateriya, A. (2013). Supplier Selection through Analytical Hierarchy Process: A Case Study In Small Scale Manufacturing Organization. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT),* 4(5), 1428-1433.

Yadav, V., Karmakar, S., Kalbar, P.P., Dikshit, A.K. (2019). PyTOPS: A Python based tool for TOPSIS. *SoftwareX*, 9, 217–222.

Yavuz, S. (2012). Öğretmenlerin Otomobil Tercihlerinde Etkili Olan Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Belirlenmesi. *DPUJSS*, 32(II), 29-46.

Yıldırım, B.F., Önder E. (2014). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Dora Yayıncılık, Bursa.

Yıldız, A., Deveci, M. (2013). Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci. *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 427-436.

Zahedi, F. (1986). The Analytic Hierarchy Process — A Survey of the Method and its Applications. *Interfaces*, 16(4), 96-108.

Zanakis, S.H., Solomon, A., Wishart, N., Dublish, S. (1998). Multi-Attribute Decision Making: A Simulation Comparison of Select Methods. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 507-529.

Zimmer, K., Fröhling, M., Breun,P., Schultmann, F. (2017). Assessing social risks of global supply chains: A quantitative analytical approach and its application to supplier selection in the german automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 149, 96-109.



Bölüm 9

DERİNİN FARKLI SANAT DALLARINDA KULLANIMI

Nuray Olcay IŞIK[1], Meruyert KAYGUSUZ[2]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, nry.isik@gmail.com
2 Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, meruyertk@pau.edu.tr

GİRİŞ

Sanat; bir duygu, tasarı, güzellik anlatımında kullanılan yöntemlerin tamamı veya bu anlatım sonucunda ortaya çıkan üstün yaratıcılık anlamına gelmektedir (TDK, 2020).

İnsanoğlu ilk çağlarda öncelikle beslenme ve barınma ihtiyaçlarını karşılamış ondan sonra da yaşadığına dair bir iz bırakmak istemiştir. Bu nedenle sadece bu iz için o çağlardan başlayarak bugünlere kadar bilerek ya da bilmeyerek sanat ile uğraşmıştır. Sanatı, önceleri mağara duvarlarına kazıdıkları ve boyadıkları sembolik çizimler şeklinde yaparken, sonraları bunları daha estetik, biçimsel ve teknik zenginliği olan sanat ürünlerine dönüştürmüştür. Sanat eserleri oluşturulurken farklı malzemeler kullanmakla birlikte onu ulaştırma biçimleri de farklı olmuştur. Böylelikle farklı disiplinler oluşmaktadır. Bu disiplinler içerisinde genel olarak sanat, sanatın tüm dallarını kapsayan (grafik tasarım, resim, tiyatro, bale, sinema, fotoğraf, müzik, yazı, drama, gösteri, dans, heykel, mimari, çevre tasarımı vb.) ve bu kapsam içerisinde yer alan unsurlarla bireyin estetik, sosyolojik, biyolojik, psikolojik yönlerini ve yaratıcılığını geliştirmeye çalışan etkinlikler bütünü olarak kabul edilmiştir. Birçok düşünür, sanatı haklı gerekçelerle içerik olarak aynı, fakat biçim olarak farklı şekillerde sınıflandırmışlardır (Mercin, 2019).

Sanat, genel olarak pratik sanatlar (endüstriyel sanatlar) ve güzel sanatlar olarak 2 gruba ayrılmaktadır.

Güzel sanatlar deyimi, güzellik ve zevkle uğraşan sanatlar için kullanılmaktadır. Bu terim ilk defa Fransızcada beaux arts olarak, resim, heykel, baskı gibi görsel sanatları tanımlamak için bulunmuştur. Günümüzde daha çok, klasik veya akademik sanatla bağlantılı olan geleneksel görsel sanatlar anlamına gelmektedir.

Güzel sanatlar adlandırması tekstil ve seramik gibi zanaat ve uygulamalı sanatların farklılıklarından ötürü, resim ve heykel gibi görsel sanatları ayırmak için ortaya çıkmıştır. Güzel ve güzellik kavramı estetiği temsil etmektedir. Günümüzde icra edilen ve sadece resim, heykel ve baskıyla kısıtlı olmayan modern ve çağdaş sanat eserleri için açıklayıcı ve kapsayıcı olmadığından, buna alternatif olarak görsel sanatlar tabiri kullanılmaktadır.

GÜZEL SANAT DALLARI VE ÖZELLİKLERİ

Güzel sanatları, geleneksel ve çağdaş olmak üzere iki biçimde sınıflamak gerekir.

1 – Geleneksel Sınıflandırma

Bu sınıflandırmada sanat eserlerinin seslendiği duyu organları belirleyici unsurdur.

Geleneksel sınıflandırmaya göre sanat dalları 3'e ayrılır:

a)Görsel Sanatlar: Diğer bir deyişle plastik sanatlardır. Örneğin; resim, heykel, mimari vb.

b)İşitsel Sanatlar: Kulağa hitap eden sanatlar yani fonetik sanatlardır. Müzik, edebiyat vb.

c)Karma Sanatlar: Görsel ve işitsel olan sanatlardır. Bunlara ritmik sanatlar da denir. Tiyatro, sinema, opera gibi.

Bu sınıflandırmaya girmeyen karikatür ve seramik gibi türler de bulunmaktadır. Bu yüzden bir başka sınıflandırma şekli olan çağdaş sınıflandırmaya ihtiyaç duyulmuştur.

2 – Çağdaş Sınıflandırma

Çağdaş sınıflandırma yapılırken sanat dalının niteliği ve tekniği baz alınmıştır.

Yüzey Sanatları: Tüm iki boyutlu sanat çalışmaları, yani bir eni ve bir boyu olan kâğıt veya tuval üzerine, bir duvar ya da kumaş üzerine uygulanan sanatlardır. Resim ve türleri (yağlı boya, sulu boya, baskı sanatları vb.), duvar resmi, minyatür, karikatür, fotoğraf, süsleme vb.

Resim; varlıkların, doğadaki görünüşlerinin kalem, fırça gibi araçlarla kâğıt, bez vb. üzerinde yapılan biçimleridir (TDK,2020).

Hacim Sanatları: Üç boyutlu sanat çalışmalarıdır, heykel, seramik, anıtlar vb. Heykel; taş, tunç, bakır, kil, alçı vb. maddelerden yontularak, kalıba dökülerek veya yoğrulup pişirilerek biçimlendirilen eser, yontu, statüdür (TDK,2020).

Mekan Sanatları: İç ve dış mekanı düzenleyen sanatlardır. Mimari ve çevre düzenlemesi gibi mekana ilişkin tüm tasarımlar bu sınıflandırmaya girer.

Dil Sanatları: Edebiyat ve yazı türlerini kapsayan sanatlardır. Roman, hikaye, şiir, deneme, tiyatro metni ve film senaryosu vb.

Ses Sanatları: Sesin kullanıldığı sanattır yani müziktir. Müzik, birtakım duygu ve düşünceleri belli kurallar çerçevesinde uyumlu seslerle anlatma sanatıdır (TDK,2020).

Eylem Sanatları: Anlatım için insan bedeninin kullanıldığı sanatlardır. Bale, dans, pandomim vb.

Dramatik Sanatlar: İnsanın bir eylemle kendini veya bir olayı, bir olguyu anlattığı sanatlardır. Bunlar; tiyatro, opera, müzikal oyun, kukla, sinema, gölge oyunlarıdır. (Can, 2020).

GÜZEL SANATLAR ALANLARINDA DERİ

Güzel sanatlar yüzyıllar içinde çeşitli akımlardan, olaylardan, savaşlardan, insanlardan etkilendikçe sanat için çok farklı materyaller kullanılmaya başlanmıştır. Zanaatta kullanılan çeşitli materyaller de güzel sanatların çekim alanına girmiştir. Bu materyallerden en eski olanlarından biri de deri ve deri ürünleridir.

Deri, dünyada insanın varoluşundan bile eskidir. İnsan, deriyi avcılığa başladığında keşfetmiştir. Bu yeni materyali barınma, giyinme ve farklı amaçlarla kullanmaya başlamıştır. Zaman içinde deri, güzel sanat dallarında kullanılır ve farkedilir olmuştur. Deri, kullanıldığı yere eşsiz bir görünüm kazandırmaktadır. Her deri parçası aslında kupon bir parçadır, çünkü bir tane daha aynı deriden yoktur. İnsanların farklı olması gibi her hayvan da tektir, hayvandan elde edilen deri de bu durumda eşsizdir.

Mukavemet özellikleri ile elastik, plastik, estetik ve akustik özellikleri, derinin keşfedildiği zamandan beri farklı ürün yapımında kullanılmasını ve günümüzde de yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır (Sarı, 2007). Ayrıca, deri materyali dayanıklılığı, zamanla iyileşen görünümü ve tarz olarak modern veya klasik, minimal ya da gösterişli tasarımları üzerinde güzel taşıması ile sanatçılar için geçmişten günümüze vazgeçilmeyecek bir materyal olmaya devam etmektedir.

Müzik aletleri

Deri, yaşamsal önem arz eden mucizevi bir doğal malzeme olup, farklı sanat dallarında yüzyıllardır kullanılmıştır. Eski derilerden olan ve bir yazı malzemesi olarak bilinen parşömen kıymetli bir materyaldir. Parşömenin yaklaşık İ.Ö. 2000 yılında davul ve tef gibi müzik aletlerin kaplanmasında kullanıldığı, İ.Ö. 1400 yılında 18. Hanedanlık'a ait bir mandolinin ceylan derisinden yapılan parşömenle kaplandığı rapor edilmektedir (Lucas, 1948). Kahire Müzesi'nde sergilenen Eski Mısır Uygarlığı'nın XVIII. Hanedanlık dönemine ait sazın ses kutusunun kaplumbağa kabuğunun üzerine deri gerdirilerek yapıldığı anlaşılmaktadır (Celasin, 2002).

Böylece derinin eskiden beri müzik aletlerin yapımında kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Daha çok tef, darbuka ve davul gibi vurmalı çalgılarda kullanılmaktadır. Bunun yanında üflemeli bir çalgı olan tulumda da deri kullanılmaktadır. Tulumda oğlak derileri kullanılırken, vurmalı çalgılarda büyükbaş hayvan derilerinden özellikle dana ve deve derileri, küçükbaş derilerden ise keçi derileri tercih edilmektedir. Günümüzde hala kullanılmakta olmasının nedeni, bu derilerin vurmalı çalgıların yapımına uygun strüktüre ve benzersiz tını karakterine sahip olmalarıdır. Ton açısından en iyi sesi keçi ve oğlak derisinin verdiği bildirilmektedir. Yüzey görünümü, tutum, yumuşaklık, esneklik ve yoğunluk gibi kriterler kaliteli bir çalgı için kullanılacak derinin temel değerlendirme ölçütleridir (Alaskan, 2012).

Davul: Davul, insanoğlunun ilk ve en eski vurmalı çalgılardan biridir. Ahşap, maden ya da pişmiş topraktan silindirik bir gövdeye gerilen deriden oluşur. Dünyanın her yerinde kullanılan bu çalgı farklı biçimlerde olabilir. En basit çalgılardan biri olup iki temel parçadan oluşmaktadır. Bunlardan biri boru ya da silindiri andıran kasnaktır. İkincisi bu kasnak gövdenin bir ya da iki yüzüne gerilerek geçirilen ince dana derisi veya günümüzde kullanılan polimerik malzemedir. Gerilen bu malzemeye "davul derisi" denmektedir (Anonim, 2020).

Darbuka: Darbuka, gövdesi pişmiş toprak veya madenden yapılan, deri gerili kısmı geniş, dip tarafı dar, silindir şeklinde bir vurmalı çalgıdır. Diz üzerine yerleştirilip iki elin parmakları ile vurularak çalınır (Sözer, 1964). Orta Doğu'da kullanılan bu vurmalı çalgı daha çok oynak ve eğlence amaçlı müziklerde kullanılmaktadır.

Def (Tef): Yuvarlak bir tahta kasnağın bir veya iki yanına deriden bir örtü geçirilerek yapılan ve parmak vuruşlarıyla çalınan müzik aletidir. Eskiçağlardan günümüze ulaşan def betimlemelerinde defin bir insan başı büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Def müzik aletinin, ilk örnekleri, Mezopotamya'da III. Ur Devri'nde görülmektedir. Genellikle kadınlar tarafından çalınan bir enstrümandır. Yeni Asur devrinde yuvarlak deflerin yanında kare biçiminde ve çift yüzünde deri olan defler yapılmıştır (Dinçol, 2003).

Kudüm (Nakkare): Vurmalı çalgılar sınıfında yer alan diğer müzik aleti – kudüm, Türk musikisinin en temel ritim aletlerinden olup kendine özgü bir sese sahiptir. Kudüm, belli ölçülerde yapılan bakır bir tas üzerine deri gerilerek yapılmaktadır.

Kös: Diğer bir adıyla "kus", yarım küre biçimindeki bakır büyük bir kase ile üzerine gerilmiş deve derisinden oluşan iki tahta tokmak ile çalınan çalgıdır (Akbulut, 1990). Mehteran sazıdır.

Kabak Kemane: Telli, yaylı ve deri kapaklı sazlarımızın tek örneğidir. Menşei Orta Asya'ya dayanmaktadır. Kabak kemane, Türkiye'de özellikle Ege Bölgesi'nde ve Teke (Toroslar) yöresinde yaygın olarak kullanılan bir sazdır. Kabak, kabak kemane, rebap (Güneydoğu Anadolu'da rubaba, Hatay yöresinde hegit) ve ıklığ gibi adlar ile bilinmektedir (Anonim, 2020). Su kabağının üzeri deri ile kaplanıp ağaçtan bir sap takılarak yapılmaktadır.

Tulum: Tulum çalgısı üflemeli çalgılar arasında yer almaktadır. Bu çalgının değişik tiplerine Türkiye dışında başka ülkelerde de rastlanmaktadır. Tulum, Türkiye'de özellikle Doğu Karadeniz'de yaşayan halk için çok önemlidir. O bölgede tüm eğlencelerde ve festivallerde tulum çalınmaktadır. Tulum genellikle tek başına çalınır, tulumla beraber başka bir saz

çalınmaz. Tulum oğlak derisinden yapılmaktadır. Tulumun içi hava ile doldurulmakta, sonra çalgı kol altına sıkıştırılmaktadır. Tuluma takılı olan iki kamış elle kavranır. Bu kamışların uç kısımlarına klarnet ağzı takılmıştır. Bu çalgı açısından ilginç olan bir detay da, fa notasının çalınamamasıdır. (Yılmaz, 2018) (Bknz. Fotoğraf 1-7).



Fotoğraf 1-7. *Deri kaplı müzik aletleri*
(sırasıyla davul, kudüm, tef, darbuka, kös, kemane ve tulum)

Tiyatro maskları

Mask; tanınmamak, korunmak, gizlenmek ve güzel görünmek gibi farklı amaçlarla yüze ve başa takılan, çeşitli malzemelerden hazırlanan yapay yüz ve başlıktır. Mask, en genel anlamıyla boyalı karton, kumaş, deri veya plastikten yapılan ve çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere yüze geçirilen yapma yüzdür. Masklar, İlkçağdan itibaren tiyatro gösterilerinde, dinsel törenlerde ve eğlence amacıyla şenliklerde kullanılmıştır (Işık ve Aslan, 2017).

Eski Yunan'da masklar tiyatro oyunlarında mutlaka kullanılırdı. Masklar her oyunda kostümün bir parçası olarak bulunurdu. Toplumda belli bir grubu temsil etmekteydi. Maskların, maskı takanlara bir güç ve mistik bir bilgi verdiği düşünülürdü. Tüm dünyada tiyatroda vazgeçilmez bir yeri olan mask özellikle batılı olmayan tiyatro formlarında çağdaş tiyatronun içinde yer almaya ve kullanım amacına göre biçimler almaya devam etmektedir (Bknz. Fotoğraf 8-9).

Masklarla anılan ve halkın masklarla eğlendiği en bilinen festival, Venedik Festivali'dir. Hristiyanlıktan sonra masklar önemini kaybetse de eski çağlardan kalan geleneklere bir gönderme olarak masklar festivalin en önemli parçası olmaya devam etmektedir. Masklar hala birçok dinde önemini yitirmediğinden, ayinlerde kullanımına devam edilmektedir (www.konak.bel.tr).

Dünyada yaklaşık 60 adet mask müzesinin bulunduğu düşünülmektedir. Bunlardan en tanınmış olanları; Kore'de yer alan Hahoe Mask Müzesi, Oxford'da yer alan Pitt Rivers Müzesi ve Kiev'de bulunan Ölüm Maskları Müzesi'dir. Türkiye'de ise 2011 yılında ilk mask müzesi olan İzmir Mask Müzesi İzmir'de açılmıştır. Müze Türkiye'de tek olma özelliği de taşımaktadır. (www.konak.bel.tr).

Günümüzün teknolojik olarak kendini aşmış filmlerinin ve televizyonunun renksiz gerçekçiliği içinde, hala maskeye vereceğimiz bir rol vardır. Zira maske karakterleri, geçmişi çok eksiye dayanan çoğunlukla efsane ve ritüel kökenli tarihsel bir olgudur. Maske bize şu anda bile heyecan vermektedir. Oyuncunun, çocukların oyun oynarken oynadığı karaktere dönüştüğüne inanılmaktadır (Azizov, 2017).

Günümüz dramatik formlarının, sahne ve gösteri sanatlarının önemli öğelerinden biri olan maskenin dramaya geçişi ritüel kaynaklıdır. Doğu ve Batı tiyatro kültürlerinin pek çoğunun başlangıcında maske vardır. Hakiki bir halk sanatı biçemi olarak maske; tanrıların, ruhların, mevsimlerin ve varlıkların kutsal kişileştirilmesinden öykü karakterlerinin laik temsiline uzanan bir araçtır (Wilsher, 2007).

Maskların üretimi ve kullanımı Anadolu kültüründe de hala devam etmektedir (Dağtaş, 2007). Kalo Kağan maskı ve Kose Geli Maskı, Anadolu kültürüne ait mask çeşitleri olup, hala bu maskların başrol oynadığı festivaller ve gelenekler devam etmektedir. Bu maskların üretiminde daha doğal ve orjinal renk veren bitkisel tabaklama maddeleri kullanılmaktadır.



Fotoğraf 8-9. *Deriden yapılan tiyatro maskları (*www.commediamask.com*)*

Tablolar, resimler

Mükemmel yüzeyi ve dayanıklılığı sayesinde parşömen deri Ortaçağ boyunca dini ve dünyevi yazıların yanı sıra müzik aletleri için tercih edilmiş, kitap, sayfa, etiket ve rulolarda, genellikle yaldızlı süsleme ve resimlerde de yoğun bir şekilde kullanılmıştır. 17. yüzyıla kadar da özellikle resim sanatında portre sanatçıları tarafından sınırlı bir ölçüde kullanılmaya devam etmiştir (Mayer, 1969). Üzerine resim yapılması ile Rönesans ve Barok dönemde büyük ilgi görmüştür. Albrecht Dürer ve Rembrandt gibi ressamlar baskılarının bir bölümünü parşömen üzerine gerçekleştirmişlerdir (Kaygusuz vd., 2019).

Soyut resim, somut varlık ve objelerin oluşturduğu dünyamıza ait hiçbir örneği içermeyen, sadece soyut formlar kullanılarak oluşturulan bir resim türüdür (Üner, 2013). Soyut resim gerçeğin dışında olan çalışmaları kapsamaktadır. Leke veya geometrik formlar soyut resmin olmazsa olmazlarıdır. Soyut sanatta nesne kavramı tamamen ortadan kalkmış, dış gerçekliğin ifadesi terk edilerek renk, şekil, çizgi gibi öğelere yer verilmiştir (Işık ve Erdiren, 2014). Derinin soyut resim üzerinde kullanımı ise geçmişe dayanmaktadır. Sanatçılar tarafından geçmişten günümüze kadar gelen popüler bir sanat haline gelmiştir. 1910-1920 yılları arasında Fransa, Avusturya, Hollanda, Almanya ve Rusya gibi birçok ülkede görülen akım, Wassily, Kandisky, Kasimir Malevich, Piet Mondrian Tatlin gibi önde gelen sanatçıların farklı anlayışlarını kapsamaktadır (Güneş, 2013). Alberto Buri soyut sanatta deriyi asamblaj tekniği olarak kullanan en bilinen isimlerden biridir. Deri üzerine renk, ışık ve gölgeleme uygulamıştır. Buradaki en önemli nokta; derinin tuval, heykel gibi sanat objelerinde kullanılmasıdır. Böylelikle deri ve resim sanatı farklı bir boyuta geçmiştir (Işık ve Erdiren, 2014).

Yüzyıllar önce deri sanatı ile ilgilenilmiş, bu sanattan zevk alınmış ve bu sanatın kökeni tarihte kaybolmuştur. Orijinal deri sanatı, işlenmiş hayvan postları üzerinde basit tasarımların oyulması, derinin kalıplanması ve boyanmasını kapsamaktadır.

Günümüzde dünyada bazı sanatçılar deri üzerinde çalışma yapmaya devam etmektedirler. Örneğin, George Mgona, Belinda Marshall ve Jannice Everitt isimli ressamların deri üzerinde yaptıkları eserlerden örnekler aşağıda verilmiştir. Eserlerin genel teması Afrika doğası ve safari hayvanları ile ilgilidir (Bknz. Fotoğraf 10-15).

Bunların dışında Ian Anderson ve James Jackson'un da deri üzerinde büyüleyici resimleri mevcuttur (Bknz. Fotoğraf 16-19).











Fotoğraf 10-15. *George Mgona, Belinda Marshall ve Jannice Everitt deri eserlerinden örnekler (www.tci.co.zw)*









Fotoğraf 16-19. *Ian Anderson (www.iananderson fineart.com) ve James Jackson'un deri üzerinde resimleri (www.jamesfjackson.art)*

Türkiye'de de deri üzerinde yağlı veya akrilik boya ile farklı teknikler kullanan ressamlar vardır. Bu ressamlardan biri olan Ömer Ünsal, derileri tuval haline dönüştürmeden önce birçok işleme tabi tuttuğunu ifade etmiştir. Ham deriyi seçip satın aldıktan sonra tabaklama işlemi yaptırdığını, tabaklamadan deriyi özel boyalar ile bizzat kendisinin boyadığını ve derinin tuval haline gelebilmesi için gereken sürenin yaklaşık bir ayı bulduğunu belirtmiştir (Işık ve Erdiren, 2014). İşlenmiş deri üzerine resmedilen figürleri kesici ve kazıcı aletler aracılığı ile yaptığını kaydeden Ünsal, deriden yapılmış bir tablonun yapım süresinin bir aydan altı aya kadar çıkabildiğini de sözlerine eklemektedir. Her yeni üründe yeni teknikler deneyerek en iyi tekniği bulmaya çalıştığından bahsetmiştir. (Bknz. Fotoğraf 20-21).



Fotoğraf 20-21. *Ömer Ünsal'ın deri eserleri (www.etkihaber.com)*

Heykeller

Teknolojideki gelişmeler çeşitli heykel üretimi için yeni malzemelerin kullanılmasını mümkün kılmıştır. Eski zamanlardan beri heykellerin yapımında taş, kil, metal, çimento vb. malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemeler genellikle büyük yapıtlar için kullanılmış ve işlemleri bazen tehlikeli ve yorucu olabilmektedir. Heykel yapımı için yeni arayışlarda olan sanatçılar alternatif materyaller keşfetmeye devam etmişlerdir. Deri materyali de önceden küçük oyuncak vb. tasarımları için kullanılmış ve daha sonra büyük yapıtlarda kullanılmaya başlanmıştır. Deriye farklı görünüm vermek için bazen kabartma tekniği bazen de oyma tekniği uygulanarak şekil verilmiştir. Ayrıca heykel yapımında kalıp biçimini alması için ıslak deri veya deri parçaları kalıp üzerine konularak form verilmiş ve kurutulmuştur. Oluşturulan formlarda deri parçaları birleştirilmesi için tutkal ile yapıştırılmış ve üzeri cilalanmıştır.

Almanya'da Offenbach Deri Müzesi'nde deriden tarihi bir insan heykeli ve XV. Ludwig Dönemi'nden domuz derisi kaplı ahşap bir fil heykeli sergilenmektedir. İnsan heykeli tamamen deriden yapılmış ve 180 cm boyundadır (Bknz. Fotoğraf 22-24).

Günümüzde deriden en çok heykel yapan Taiwan'lı bir sanatçı olan Liu-Miao Chan'dır. Chan eski ve uzun süredir kaybolmaya yüz tutmuş deri heykel sanatı ile ilgilenmiş, bu sanat dalında ustalaşmak ve zanaatını mükemmelleştirmek için beş yıllık bir araştırma kapsamında deneyler yapmıştır. 1986'da Tayvan Hükümeti tarafından desteklenen "Yaşayan Hazine" adlı çalışmasını Seul'de, New York'ta, San Francisco'da, Los Angeles'ta ve Paris'te sergilemiştir. Onun eserlerinin sırrı, deri çalışmalarındaki eşsiz yeteneği ile ilgilidir. Chan, çalışmaları için işe öncelikle en iyi inek derisini seçerek başlamaktadır. İnce deriler, dokusu ve esnekliği nedeniyle heykelin yüz hatları, uzuvlar, kaslar ve kolların yapımında kullanılırken, daha kalın deriler daha kaba dokuları yapmak için ve masa, sandalye ve diğer dekoratif aksesuarlar gibi daha soyut öğeler için kullanılmaktadır (Bknz. Fotoğraf 25-27).

Deriden üretilen eserler; iç mekan dekorasyonuna uygun, portatif, hafif ve taşınabilir heykellerdir. Turizm endüstrisine destek vermek için hediyelik eşya olarak küçük ve hafif deri heykeller üretilebilir. Bu şekilde, yorucu ve enerji tüketiminin çok olduğunu düşünen ve bu tür eserlerin üretiminden çekinen gençler için bu tür çalışmalar örnek teşkil edebilir.

Ayrıca, bu tür heykeller heykel yapımı için geleneksel malzemelerin edinilmesinde onları hantal ve zor bulanlara bir ipucudur. Dayanıklı derilerin araştırılarak heykel yapımında kullanılması heykel üretimin ucuz ve kolay bir yolu olarak düşünülebilir. Böylece, bu tür heykeller daha fazla üretilecek ve derinin kullanım alanının genişlemesine katkı sağlanacaktır.







Fotoğraf 22-24. *Offenbach Deri Müzesinde bulunan deri heykeller (www.leather-dictionary.com)*







Fotoğraf 25-27. *Liu Miao Chan'ın deriden eserleri (www.galeriezuger.com)*

Sonuç ve Öneriler

İnsanın kendini var etme sürecinde yararlandığı sanat ilerleyen süreçte yaratıcılığının göstergesi haline dönüşmüştür. İnsan, güzel ve eşsiz bulduğu her türlü materyali sanatta kullanma eğiliminde olmuştur. İlk keşfettiği materyallerden biri de deri ve deri ürünleridir. İnsanoğlu, deriyi pratikte insan kullanımına uygun şekilde işleyip üretmenin yanı sıra derinin esneklik ve yıllara meydan okuyan dayanıklılık özelliklerinden kaynaklı olarak sanat eserlerinde de tercih etmiştir. Bu nedenle, çeşitli hayvanların derileri örneğin; deve, keçi, oğlak, kuzu, koyun, domuz vb. ve işlenme teknolojisine göre parşömen, davul derisi, kösele, vaketa, wet blue, crust gibi deri türleri farklı sanat dallarında çeşitli ürün yapımında kullanılmaktadır.

Derinin, müzikte, heykelde, resimde kullanımına dair çok çeşitli eserler bulunmaktadır. Eserlerde derinin tümü veya parçaları kullanılmış ve bu şekilde derinin her yerinden de yararlanılmış olmaktadır. Doğanın bizlere sunduğu bu rakipsiz materyal sanatla birleşmiştir. Çalışmamızda sunulan tüm çalışmalar çok zahmetli ve çaba gerektiren çalışmalardır. Bu eserlerin ortaya çıkması sanatçıların sadece hayal gücü ve yeteneğine bağlı değil, aynı zamanda derinin tüm özelliklerini bilmesi ve ustaca kullanmasına bağlıdır. Bundan dolayı çalışma yapacak sanatçıların ham deri türlerini, işleme tekniklerini, boyama, yağlama ve en son işlem olan finisajı cilalama yapma amacıyla da iyi bilmesi, eserleri yaratma sürecinde sanatçılara çok yardımcı olacaktır. Deri teknolojisinin gelişmesiyle insanların her yerde kullanımına sunulan deri ve deri mamulleri, sanatçıların da özel ilgi alanı olmaya devam edecektir. Deri; mühendislikle sanatın bir türevi olma özelliğini her geçen gün artıracaktır.

Kaynaklar

Akbulut, İ. (1990). Mehterhane'de Deri, Deri - Leather Fashion Dergisi, 20, 7-9.

Alaskan, A. M. (2012). Strüktürel Özelliklere Bağlı Olarak Deride Müziksel Ses ve Özelliklerinin Araştırılması, Doktora tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.

Anonim, (2020). Çalgılar. http://atasehirpirireisoo.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/34/34/727392/dosyalar/2016_01/18023259_calg%C4%B1lar.pdf Erişim tarihi 15.03.2020.

Azizov, V. (2017). Tiyatroda Maske Kullanımı: İstanbul Devlet Tiyatrosu Prodüksiyonlarında Son 10 Yılın Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul.

Can, R. (2016). Güzel Sanatların Sınıflandırılması. http://www.guzelsanatlarfakultesi.com/tr/guzel-sanatlarin-siniflandirilmasi.gsf,

www.guzelsanatlarfakultesi.org Erişim tarihi: 25.05.2020.
Celasin, C. (2002). Hıristiyanlık Öncesi Anadolu Medeniyetlerinde Müzik Aletleri, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
Dağtaş L. (2007). Müze ve Koleksiyonlardan Deri Eserler, İstanbul.
Dinçol, B. (2003). Eski Önasya ve Mısır'da Müzik, Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü Yayınları, 2. Basım, İstanbul.
Güneş, N. (2013). Resim Sanatında Kolaj, Asamblaj ve Türk Resmine Yansımaları, Edirne.
Işık, N.O., Aslan, A. (2017). Mask Üretimi, 16. Uluslararası Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Gelişmeler Sempozyumu, Bursa, 4-6 Mayıs 2017, Poster Bildiri.
Işık, N.O., Erdiren, O. (2014). Deride Asamblaj Tekniğinin Uygulanması, I. International Academic Research Congress, Antalya, 3-6 Ekim 2016, Sözlü Bildiri.
Kaygusuz, M., Işık, N., Arğun, F.N. (2019). Parşömen Tarihi ve Bergama'daki Geleneksel Parşömen Ustaları. Motif Akademi Halkbilimi Dergisi, 12 (28), 1116-1133.
Lucas, A. (1948). Ancient Egyptian Materials and Industries. London.
Mayer, R. (1969). Parchment. A Dictionary of Art Termsand Techniques, New York: Thomas Y. Crowell Company, 282-283.
Mercin, L. (2019). Sanat Nedir?, Sanat Eğitimi ve Görsel Sanatlar Öğretimi, PEGEM Akademi, Ankara, 15-20.
Sarı, Ö., Başaran, B., Bitlisli, O. B., Alaskan, M. (2007). Bazı Vurmalı Çalgılarda Kullanılan Doğal Derilerin Ses Özelliklerinin Araştırılması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, No: 2003 Müh 007, İzmir.
Sözer, V. (1964). Müzik ve Müzisyenler Ansiklopedisi, Tan Gazetesi ve Matbaası, İstanbul.
TDK (Türk Dil Kurumu Sözlükleri), https://sozluk.gov.tr/ Erişim tarihi: 25.05.2020.
Üner, Ö. (2013). Resmin Temelleri, Say Yayınları, İstanbul.
Yılmaz, O. (2018). Tulum Çalgısının Yapısal ve İcrasal Özellikleri, EJMD, 13, 147-163.
Wilsher, T. (2007). The Mask Handbook: A Practical Guide. Routledge.

İnternet kaynakları

www.konak.bel.tr Mask Müzesi. http://www.konak.bel.tr/sayfa/mask-muzesi/hakkinda-609024 Erişim tarihi: 15.03.2020.
https://commediamask.com/ Erişim tarihi: 25.05.2020.
http://www.tci.co.zw/?s=leather&submit=Search Erişim tarihi: 25.05.2020.
https://ianandersonfineart.com/product-category/portfolio-1/leather-art-carving-tooling-leather-craft/ Erişim tarihi: 25.05.2020.
https://jamesfjackson.art/leatherwork/ Erişim tarihi: 25.05.2020.

http://www.etkihaber.com/amasyada-deri-uzerine-islenmis-resim-sergisi-acildi-205192h.htm Erişim tarihi: 25.05.2020.
https://www.leather-dictionary.com/index.php/Sculptures_of_leather Erişim tarihi: 25.05.2020.
https://galeriezuger.com/art/artist/liu-miao-chan Erişim tarihi: 25.05.2020.



Bölüm 10

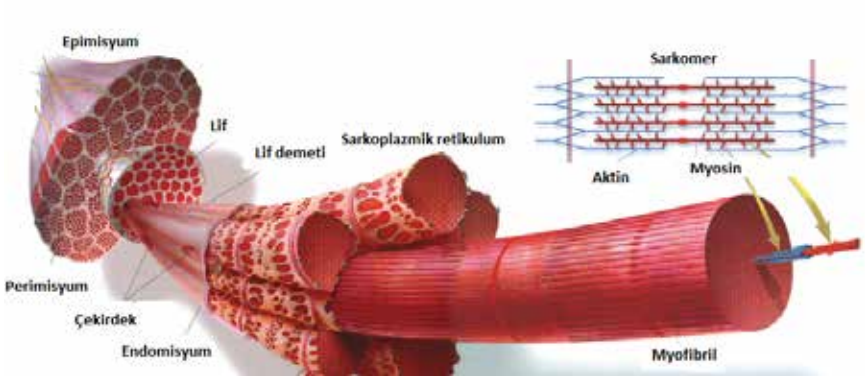
KAS FİBRİL TİPLERİ VE ET KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Emel ÖZ [1]

1 Arş. Gör. Dr., Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, emel.oz@atauni.edu.tr

Giriş

Bütüncül anlamda et kalitesi renk, lezzet, sululuk ve tekstür gibi çeşitli özelliklerin bir kombinasyonu olarak tanımlanabilmektedir (Ryu et al., 2005). Bununla birlikte pre-rigor, rigor ve post-rigor dönemlerindeki pek çok faktör bu parametreler üzerine etki edebilmektedir (Lefaucheur, 2010). Genel anlamda et olarak ifade edilen çizgili kas dokusu; ortalama %75 su, %19 protein, %0,5-8 lipit ve %1 glikojen içeren ve bağ doku, kas içi lipit, kan damarları ve sinir doku ile birlikte myofibriller dahil olmak üzere pek çok doku ve hücre tipinden oluşan oldukça kompleks bir yapıdır (Lefaucheur, 2010). Çizgili kas dokusu genellikle kas lifleri ve onlarla ilişkili bağ dokusunun özel bir düzenlemesi ile karakterize edilir. Epimisyum olarak bilinen bir bağ dokusu ile çevrili olan çizgili kas dokusu, demetler halinde düzenlenmiş ve perimisyum adı verilen bağ dokusu ile çevrili lif demetlerinden oluşmuştur. Bu lif demetleri ise etrafı endomisyum adlı bağ dokusu ile çevrili olan ve sarkolema adı verilen hücre zarına sahip fibrillerden oluşmuştur (Frontera and Ochala, 2015). Yaklaşık çapı 10-100 µm olan kas liflerinde neredeyse tüm hücre içi hacmini kaplayan myofibriller bulunmaktadır ve kas lifinin kasılma birimi sarkomerlerdir (Listrat et al., 2016). En küçük kontraktil birimler olan sarkomerler, çizgili kasların güç üreten temel makineleri olarak işlev görmektedir (Ertbjerg and Puolanne, 2017) (Şekil 1).



Şekil 1. *Çizgili kas dokusunun genel organizasyonu (Listrat et al., 2016)*

Çizgili kas dokusunun eşsiz özelliklerinden biri morfolojik ve biyokimyasal özelliklerindeki çeşitliliktir (Chang et al., 2003). Çizgili kas dokusu, farklı yapısal protein kümelerinin koordineli ifadesinin sonuçları olan farklı lif türlerinden oluşmaktadır (SchiaYno and Reggiani, 1996; Ryu et al., 2005) ve belirli bir kasın temel özellikleri, bu kas lif tiplerinin nispi bileşiminden etkilenmektedir (Chang et al., 2003). Kas lifleri yapısal, kontraktil, metabolik ve fizyolojik özelliklere göre farklılık gösteren heterojen bir popülasyonu temsil etmektedir (Lee et al., 2010) ve hareket, denge ve koordinasyon sağlamak gibi görevlere sahip olmaları nedeniyle hayvan

vücudunda yer alan yüksek organize yapılardır. Bu yapıların organizasyonu ve metabolizması hem kasılma sırasında hem de erken post-mortem evrede bütünlüğün korunmasında kilit role sahiptir (Huff-Lonergan et al., 2010).

Kas lif tiplerinin morfolojik ve biyokimyasal özellikleri, hem canlı hayvanların iskelet kaslarındaki enerji metabolizmasını hem de kasın ete dönüşümünü içeren post-mortem değişiklikleri etkileyen önemli faktörlerdir (Ryu and Kim, 2006). Kas liflerinin çeşitliliği, glikojen ve lipit içeriği, sululuk, renk, tekstür ve aroma özellikleri ile ilişkili olduğundan lif tipi kompozisyondan etkilenen metabolik özellikler, nihai et kalitesini etkilemektedir (Lee *et al.* 2010; Lefaucheur, 2010). Klont et al. (1998), farklı kaslarda görülen yapısal farklılıkların bu kasların sahip olduğu lif tipindeki farklılıklarla ilişkili olduğunu ve bu durumun kasların kalitesini etkileyen önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle kas lif tiplerinin ante ve post-mortem kas metabolizmasını nasıl etkilediğinin anlaşılması, nihai et kalitesinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Mevcut bu derlemede çizgili kas dokusunu oluşturan kas fibril tiplerinin karakteristik özellikleri ile et kalitesi üzerine etkileri irdelenmiştir.

Kas lif tiplerinin karakteristikleri

Kas lifleri, yaklaşık 10-100 µm çapında, çok çekirdekli ve iğ biçimli hücrelerdir (Listrat et al., 2016). Kas lifleri moleküler, metabolik, yapısal ve kasılma özelliklerine göre farklılık göstermeleri nedeniyle, myofibriller protein izoformları, metabolik enzim profilleri, yapısal ve kasılma özellikleri gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak sınıflandırılabilmektedir (Bottinelli and Reggiani, 2000; Choi and Kim, 2009). Yıllar içerisinde farklı lif tiplerini tanımlamak amacıyla çeşitli histokimyasal tanımlama yöntemleri kullanılmıştır (Morita et al., 2000). Bununla birlikte, kas lifi tiplerinin saptanmasında, kasılma hızı ile ilişkili miyosin ATPaz aktivitesinin pH duyarlılığına dayanan yöntem, en çok kabul gören sınıflandırma şekli olmuştur (Brooke and Kaiser, 1970). Tablo 1'de ATPaz aktivitesinin pH duyarlılığından yararlanılarak yapılmış sınıflandırma biçimi verilmiştir.

Tablo 1. *Kas liflerinin sınıflandırılması (Brooke and Kaiser, 1970; Taylor, 2004; Choi and Kim, 2009)*

	Tip I	**Tip IIA**	**Tip IIB**
ATPaz pH 9,4	+	+++	+++
ATPaz pH 4,6	+++	-	++
ATPaz pH 4,3	+++	-	-

Kas lifleri bu yönteme göre Tip I, Tip IIA ve Tip IIB olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır. Tablo 1'de Tip I liflerin pH 4,6 ve 4,3'de yüksek, pH 9,4'de ise düşük ATPaz aktivitesi gösterdiği, Tip IIB liflerin pH 9,4'de yüksek ATPaz aktivitesine sahip olduğu, ancak pH 4,3'de negatif olduğu,

Tip IIA liflerin ise pH 9,4'de güçlü bir reaksiyon gösterdiği, ancak pH 4,3 ve 4,6'da herhangi bir reaksiyon göstermediği görülmektedir.

Diğer taraftan kasın kasılma özellikleri esas olarak, kalın flament içerisinde yer alan myosin ağır zincirlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Listrat et al., 2016). İlk tanımlamadan sonraki yıllarda, lif tipleri ve myosin ağır zincirlerinin farklı izoformları arasında yakın bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir. Her myosin izoformu için spesifik monoklonal antikorların kullanılması, Tip IIX adı verilen dördüncü bir lif tipinin tanımlanmasına neden olmuştur (Realini et al., 2013a). Tablo 2'de myosin ağır zincir izoformlarına göre sınıflandırılan lif tiplerinin çeşitli özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. *Kas lif tiplerinin biyolojik özellikleri (Lefaucheur, 2010)*

	I	IIA	IIX	IIB
Kasılma hızı	+	+++	++++	+++++
Myofibriler ATPaz	+	+++	++++	+++++
Kasılma eşiği	+	+++	++++	+++++
Günlük kasılma süresi	+++++	++++	+++	+
Yorulma direnci	+++++	++++	++	+
Oksidatif metabolizma	+++++	++++	++	+
Glikolitik metabolizma	+	++++	++++	+++++
Fosfokreatin	+	+++++	+++++	+++++
Glikojen	+	+++++	++++	+++++
Trigliserit	+++++	+++	+	+
Fosfolipitler	+++++	++++	+++	+
Myoglobin	+++++	++++	++	+
Tamponlama kapasitesi	+	+++	+++++	+++++
Z çizgisi genişliği	+++++	+++	+++	+
Fibril çapı	++	+,++	++++	+++++

+: çok düşük, ++: düşük, +++: orta, ++++: yüksek, +++++: çok yüksek

Tip I kas lifleri, yavaş oksidatif, Tip IIA lifleri hızlı oksido-glikolitik ve Tip IIX veya Tip IIB lifleri ise hızlı glikolitik olarak adlandırılmaktadır (Lee et al., 2010). Lif tiplerinde yavaş ve hızlı tanımlaması myosin ağır zincirlerinin ATPaz aktivitesi ile ilgilidir. Diğer bir deyişle Tip I lifinin ATPaz aktivitesi diğer tiplere göre daha düşüktür (Picard et al., 1998). Kas liflerinin glikolitik veya oksidatif olarak adlandırılması ise ATP rejenerasyonu ile ilgilidir. Kasta ATP rejenerasyonu için aerobik (oksidatif) veya anaerobik (glikolitik) olmak üzere iki ana yol bulunmaktadır (Listrat et al., 2016). Tip I kas lifleri ATP resentezi için gerekli olan enerjiyi genel olarak aerobik enerji transferi yoluyla üretmektedir (Choi and Kim, 2018). Ayrıca bu lifler, oksijen taşıyıcısı olan ve kırmızı renkten sorumlu myoglobin pigmenti bakımından oldukça zengin olmaları nedeniyle kırmızı lifler olarak da adlandırılmaktadır. Glikolitik lifler ise ATP resentezi için gerekli

enerjiyi anaerobik yoldan karşılamaları nedeniyle, diğer bir deyişle oksijen gereksinimleri oldukça sınırlı olduğu için neredeyse hiç myoglobin pigmenti içermezler ve beyaz kas lifi olarak da adlandırılmaktadır (Listrat et al., 2016). Beyaz lifler, mitokondriyal solunum yerine glikolitik yola eğilimi nedeniyle hızlı kasılırlarken, kırmızı liflerin kasılma hızı düşüktür. Bununla birlikte kırmızı ve beyaz lifler arasında özellik gösteren ara lifler ise alternatif metabolik kapasitelere sahiptir (Jurie et al., 1999). Genel olarak kas lif tiplerinde kasılma hızı Tip I < Tip IIA < Tip IIX < Tip IIB düzenindedir (Lefaucheur, 2010). Tip IIA ve Tip IIX lifleri özellik olarak birbirlerine benzemekle birlikte, Tip IIB liflerinden daha yavaş kasılma hızı sergilerler (Schiaffino and Reggiani, 1996). Tip II lifleri özellikle de Tip IIB, enerjiyi hızla transfer etme yeteneğine sahip olduğu için kuvvetli kas hareketleri için önem arz etmektedir (Stienen et al., 1996). Essen et al. (1992), Tip I ve Tip IIA lif tiplerinin Tip IIB lif tipine göre daha fazla hücre içi lipit ve myoglobin içeriği ile kılcal damara sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Kas lif tipi, türler, kas tipleri ve hatta aynı kas içindeki bölgeler arasında dahi önemli farklılıklar göstermektedir. Kasın hayvanın ihtiyaçlarına cevap veren dinamik bir organ olmasını sağlayan, lif tiplerinin değişkenliğidir. İskelet kasları yüksek miktarda enerji kullanır ve depolar, bu nedenle enerji dengesini optimize etmek için çeşitli lif türlerini değişen oranlarda içerirler (Taylor, 2004). Kas lif tiplerinin dağılımına bağlı olarak, kaslar kırmızı, orta renkli ve beyaz kaslar olarak adlandırılabilmektedir (Christensen *et al.* 2004).

Kas lif tipi ve et kalitesi

Kas fibril tipi renk, sululuk, lezzet ve tekstür gibi çeşitli kalite parametrelerini etkileyen önemli bir varyasyon kaynağıdır (Lefaucheur, 2010). Renk, tüketici tercihinde rol oynayan önemli bir kalite kriteridir ve teorik olarak yüksek oranda Tip I lifleri içeren etlerin daha kırmızı renkte olduğu kabul edilmektedir (Taylor, 2004). Tip I liflerinin daha kırmızı olması bu kas liflerinde, renk pigmenti myoglobin miktarının daha yüksek olması ile ilgilidir. Nam et al. (2009) domuz *Longissimus dorsi* kasının Tip I kas lifi alanı ile kırmızılık değeri arasında pozitif korelasyon olduğunu, Tip IIB ile toplam Tip II lif alanları yüzdesiyle ise negatif korelasyon olduğunu bildirmiştir. Henckel et al. (1997) da hem pigmenti ile Tip I kas lifi yüzdesi arasında pozitif korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir. Tavuk *Pektoralis* kasının ise yaklaşık %95 oranında Tip IIB lif çeşidi içermesi nedeniyle beyaz renkli olduğu bildirilmiştir (Taylor, 2004). Farklı oranlarda farklı lif tiplerini içeren kasların renk özelliklerinin incelendiği bir araştırmada, oksidatif *Masseter* kasının pigment, metmyoglobin ve hem demiri içeriğinin ve kırmızı renk yoğunluğunun glikolitik *Longissimus* kasından daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kırmızı renk yoğunluğunun Tip I lif

özellikleri ile pozitif, Tip II lif özellikleri ile ise negatif korelasyon gösterdiği rapor edilmiştir (Realini et al., 2013a). Benzer şekilde Ozawa et al. (2000), kırmızı lif tip çapı ve kırmızılık ile ilgili bilgi veren a* değeri arasında pozitif korelasyon olduğunu ve bu durumun bu kas liflerinin daha fazla myoglobin içermesi ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir.

Kas lif tipi etin renk özelliklerinin yanı sıra renk stabilitesi üzerine de etki edebilmektedir. Lif tipine bağlı olarak kasın oksijenle etkileşiminde görülen değişiklikler, renk stabilitesindeki varyasyonların önemli bir kaynağıdır. Gotoh (2003), *Longissimus* gibi beyaz kasların renk stabilitesinin, *Psoas major* gibi yüksek oranda Tip I ve Tip IIA liflerini içeren kırmızı kaslara kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmiştir.

Kas fibril tipi, etin renk özelliklerinin yanı sıra pH değeri, su tutma kapasitesi ve damlama kaybı üzerine de etki edebilmektedir. Post-mortem dönemde pH düşüş oranı, protein denatürasyonunun bir sonucu olarak etin su tutma kapasitesinde değişikliklere yol açabilmektedir (Lefaucheur, 2001). Ölüm sonrası nihai pH değerinin, Tip I lif oranı ve oksidatif kapasite ile pozitif, kesim öncesi glikojen içeriği ile ise negatif ilişkili olduğu bildirilmiştir (Laborde et al., 1985). Bu bağlamda, Realini et al. (2013a) oksidatif *Masseter* kasının pH değeri ile su tutma kapasitesinin glikolitik *Longissimus Thoracis* kasının pH değeri ile su tutma kapasitesinden daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Ryu and Kim, (2005 ve 2006), kasların Tip IIB fibril yüzdesinin, nihai pH değeri ile negatif, damlama kaybı ile ise pozitif korelasyon gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Choe et al. (2008), erken post-mortem dönemde yüksek glikojen ve laktat içeriğine sahip kasların daha hızlı post-mortem glikoliz nedeniyle soluk yüzey rengine sahip olduğunu ve bu etlerde damlama kaybının yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumun bu kaslardaki Tip IIb lif içeriğinin yüksek ve Tip I lif içeriğinin ise düşük olması ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Hayvanın kesimini müteakip kan dolaşımı durduğundan kaslar oksidatif metabolizma için gerekli olan enerjiden yoksun kalmaktadır. Bu nedenle post mortem dönemde gerçekleşen glikoliz sonucu laktat birikimi nedeniyle pH değerinde düşüş görülmektedir. Ancak Tip IIB lifleri esas olarak glikolitik yolu kullandığından, erken post-mortem evrede metabolik hıza daha fazla katkıda bulunmaktadırlar. Bu nedenle bu lif tipinin yüksek olduğu kaslarda pH düşüşü hızlı olmaktadır. Hızlı pH düşüşü, halen yüksek olan karkas sıcaklığı ile birlikte daha yüksek protein denatürasyonuna neden olmaktadır. Bu durum ise bu kaslarda pigment ve damlama kaybının yüksek olmasına neden olmaktadır (Briskey, 1964; Joo et al.,1999; Choe et al., 2008; Choi and Kim, 2009). Bununla birlikte, kas lif tipi ette damlama kaybına neden olan önemli bir parametre olmakla birlikte bu özellik üzerine etki eden tek parametre değildir. Bu durumun en klasik örneği, stres kaynaklı pH düşüşü görülen domuzlarda soluk, yumu-

şak, sulu et oluşumuna neden olan PSE durumudur. Bu durum, kas metabolizmasındaki spesifik metabolik değişiklikler ile ilişkilidir. Bu nedenle kasın glikolitik potansiyelinin ölçülmesi, damlama kaybının tahmininde önemlidir (Taylor, 2004).

Kas lif tipinin lipit miktarı ve kompozisyonu üzerine etkisi halen çelişkili bir konudur. Genel olarak oksidatif kasların daha fazla lipit içerdiği ve glikolitik kaslara kıyasla lipit kompozisyonunda doymamışlığın daha yüksek olduğu kabul edilmektedir (Cava et al., 2003; Taylor, 2004; Realini et al., 2013b). Glikolitik kasların oksidatif olanlara kıyasla daha az lipit içerdiği ve bu durumun hızlı kasılan liflerin temel enerji kaynağı olarak karbonhidratları, yavaş kasılan liflerin ise lipitleri kullanması ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Leseigneur-Meynier and Gandemer, 1991). Bununla birlikte kas lif tipi ile lipit miktarı ve kompozisyonu arasında ilişki tespit edilemediğini gösteren bazı araştırmalar da literatürde bulunmaktadır (Nam et al., 2009; Kang et al., 2011). Fernandez et al. (1995) ise kas lif tipi ile lipit içeriği arasındaki ilişkinin kullanılan kasa bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Farklı kaslarda lipit miktarı ve kompozisyonu üzerine kas lif tipinin etkisinin incelendiği bir araştırmada, lif tipinin intramuskular lipit miktarı ve yağ asidi kompozisyonu ile ilişkili olduğu ve glikolitik *Longissimus Thoracis* kasının, *Semitendinosus* ve *Masseter* kaslarından daha az lipit ve çoklu doymamış yağ asidi içerdiği tespit edilmiştir (Realini et al., 2013b). Renand et al. (2001), intramuskular lipit miktarı ile et lezzet yoğunluğu arasında pozitif bir korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir. Leseigneur-Meynier and Gandemer (1991), çoklu doymamış yağ asidi miktarı ile fosfolipit içeriğinin kasların oksidatif aktivitesi ile artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Kaslar arasındaki yağ asidi kompozisyonu farklılıklarının, oksidatif kasların yüksek çoklu doymamış yağ asidi içeriğine sahip fosfolipitler bakımından zengin olan hücresel ve hücre içi membranları yüksek sayıda içermesi ve mitokondrinin diğer zarlara oranının bu kaslarda glikolitik kaslara kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Alasnier et al., 2000; Realini et al., 2013b). Ayrıca 2003 yılında yürütülen bir araştırmada kas içi yağ miktarının diğer bir deyişle mermerleşme derecesinin kas fibrillerinin histokimyasal özellikleri ile ilgili olduğu ve kas içi yağ oranının Tip I fibril yüzdesi ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği rapor edilmiştir (Gotoh, 2003).

Sertlik, et kalitesini belirleyen temel parametrelerden biridir ve genellikle et ürünlerinde kabul edilemezliğin yaygın bir nedenidir (Maltin el al., 2003). Et sertliği üzerine lif tipinin etkisi halen tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Bununla birlikte bu konu ile yayınlanan literatür verileri incelendiğinde, genel olarak Tip IIB lif içeriği yüksek olan etlerin, bu lif tipinin daha büyük olması ve çiğneme veya mekanik işlemlere karşı daha dirençli olması nedeniyle daha sert olduğu bilgisi ile karşılaşılmaktadır (Taylor,

2004). Benzer şekilde Karlsson et al. (1993), Tip IIB lif içeriği yüksek olan domuz etinde yumuşaklık skorunun düşük olduğunu bildirmişlerdir. Maltin et al. (1998) ise sığır etinin yumuşaklık değeri ile yavaş-oksidatif fibril oranının pozitif korelasyon, hızlı-glikolitik lif oranı ile ise negatif korelasyon gösterdiğini rapor etmişlerdir. Henckel et al. (1997), kas glikojen miktarından ve dolayısıyla kas lif tipinden etkilenen pH değerinin, et sertliği üzerine etki eden önemli bir parametre olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca *Longissimus dorsi* kasının glikojen içeriği ile pH ve kesme kuvveti arasında negatif korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir.

Post-mortem dönemde endojen proteolitik enzimler vasıtasıyla myofibriler proteinlerde gerçekleşen degradasyon seviyesi de et sertliğine ve tekstürüne etki eden önemli bir parametredir (Koohmaraie, 1996; Öz, 2018). Koohmaraie et al. (1988) protein degradasyon oranının beyaz kaslarda kırmızı kaslara kıyasla daha hızlı olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Kirchofer et al. (2002), yavaş kasılan kırmızı kasların hem kalpain hem de kalpastatin (kalpain inhibitörü) miktarının yüksek olduğunu, yüksek proteaz inhibitör seviyesinin yüksek olması nedeniyle post-mortem dönemde daha az proteoliz oranı görüldüğü için bu kas gruplarının olgunlaşma hızının, hızlı kasılma özelliği gösteren beyaz kaslara kıyasla yavaş olduğunu rapor etmişlerdir.

Genel olarak, daha yüksek oranda Tip I liflerini içeren kasların, kalpastatin aktivitelerinin yüksek olması nedeniyle yüksek oranda Tip II liflerini içeren kaslara kıyasla düşük proteoliz oranına sahip olduğu kabul edilse de, Melody et al. (2004) hızlı post-mortem soğutma sırasında büyük oranda Tip I lifi içeren *Psoas major* kasında artan kalsiyum salınımından dolayı proteolizin hızlı gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Öte yandan, Chiristensen et al. (2004), ağırlıklı olarak Tip IIB liflerini içeren M. *Longissimus dorsi*, M. *Semimembranosus*, M. *Semitendinosus* kasları ile ağırlıklı olarak Tip I liflerinden oluşan M. *Vastus intermedius* ve her iki lif tipini içeren M. *Soleus* kaslarının post-mortem proteoliz seviyesini inceledikleri araştırmalarında, bazı proteinlerin (Desmin ve Troponin-T) post-mortem proteoliz oranlarının kaslar arasında farklılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. M. *Longissimus dorsi* kasının proteolitik potansiyelinin, incelenen diğer kaslardan daha yüksek olduğunu, M. *Semitendinosus* kasının lif tipinin M. *Vastus intermedius* ve M. *Soleus* kaslarının lif tiplerinden belirgin şekilde farklı olmasına rağmen aynı degradasyon oranına sahip olduğunu ve bu nedenle proteolitik degradasyon oranı ve dolayısıyla et sertliği üzerine sadece lif tipinin değil spesifik kas özelliklerinin de etki edebileceğini bildirmişlerdir. Benzer olarak, Whipple and Koohmaraie, 1992 yılında yürüttüğü bir araştırmada, oksidatif M. *Supraspinatus* kasının proteoliz derecesinin glikolitik M. *Gluteus medius* kasından daha düşük olduğunu ve bu durumun proteoliz seviyesine etki eden kalpastatin aktivitesindeki farklılıklar ile

ilişkili olabileceğini rapor etmişlerdir. Öz and Kaya (2019), *Longissimus thoracis et lumborum* ve *Semitendinosus* kaslarından üretilen pastırmaların proteoliz seviyesini inceledikleri araştırmalarında, her ikisi de beyaz kas olmasına rağmen *Longissimus thoracis et lumborum* kasından üretilen pastırmaların proteoliz derecesenin daha yüksek olduğunu, bu durumun spesifik kas özelliklerinin özellikle de proteaz aktivitesinin farklılığından kaynaklanabileceğini rapor etmişlerdir. Taylor (2004) ise kas lif tipinin et sertliği üzerine etki eden önemli bir parametre olduğunu ancak, ölüm sonrası gerçekleşebilen soğuk kısalmasının da lif boyutunu güçlü bir şekilde etkileyen ve sertliğe neden olan önemli bir parametre olduğunu ve bu durumun lif tipinin sertlik üzerine etkisinin yorumlanmasını zorlaştırabileceğini bildirmiştir.

Kas fibrilleri, etin çeşitli kalite özellikleri üzerine etki edebildiği gibi, canlı hayvan ağırlığı üzerinde de rol oynayabilmektedir. Bu nedenle kasaplık hayvanların büyüme takibinde lif tiplerinin bir araç olarak değerlendirilebileceği bildirilmiştir (Ozawa et al., 2000). Francisco et al. (2011), kas lif tipi ile kesim ağırlığı arasında belirgin bir ilişki olduğunu, yüksek kesim ağırlığına sahip gruplarda *Longissimus dorsi* kasının yavaş tip lif oranının daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar vücut ağırlığı arttıkça, hareketin yavaşladığı ruminasyon süresinin uzadığı ve bu nedenle daha az çalışan yavaş lif tiplerinin hızlı lif tiplerine dönüşmeye başladığını bildirmişlerdir. Benzer olarak Pette and Staron (1997), fibril tipinin değişen fonksiyonel taleplere yanıt olarak değişebileceği ve fibril tipleri arasında geçişin söz konusu olabileceğini bildirmişlerdir. Gotoh (2003), *Longissimus thoracis* kasında vücut ağırlığı ile Tip IIB fibril oranı arasında pozitif korelasyon olduğunu ve bu sonucun büyüme esnasında fibril tipleri arasında görülen değişiklikler ve geçişlerle ilgili olduğunu tespit etmiştir.

Sonuç

Mevcut derlemede incelenen literatür verileri ışığında, kas lif tipi ile et kalitesi arasında bir ilişkinin söz konusu olduğu görülmektedir. Genel olarak, kasta Tip I lif içeriği yüksekliğinin renk, pH ve su tutma kapasitesi gibi bazı kalite parametrelerini olumlu yönde etkilediği yönünde ortak bir kanı oluştuğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, kas lif tipinin lipit miktarı ve sertlik gibi bazı kalite parametreleri üzerine etkisi ile ilgili halen bazı tartışmalı perspektifler bulunmaktadır. Gerçekte bu durum, kas lif tipinin et kalitesi üzerine etkisinin tür, cinsiyet, yaş, kas çeşidi, bağ doku miktarı ve kesim sonrası işleme koşullarına bağlı olarak önemli varyasyonlar gösterebilmesidir. Bu nedenle, kas lif tipinin et kalite özelliklerine etkisini net olarak ortaya koymak için, kas lif tipinde varyasyona neden olan faktörleri de göz önüne alarak hayvan bilimcilerin ve genetikçilerin da yer aldığı multidisipliner çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alasnier, C., Meynier, A., Viau, M. & Gandemer, G. (2000). Hydrolytic and oxidative changes in the lipids of chicken breast and thighmuscles during refrigerated storage. *Journal of Food Science*, *65*, 9–14.

Bottinelli, R. & Reggiani, C. (2000). Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Prog. Biophys. Mol. Biol., 73*, 195–262.

Briskey, E.J. (1964). Etiological status and associated studies of pale, soft, exudative porcine musculature. *Adv. Food Res., 13*, 89–178.

Brooke, M.H. & Kaiser, K.K. (1970). Muscle fibre types: How many and what kind? *Archives of Neurology*, *23*, 369–379.

Cava, R., Estevez, M., Ruiz, J. & Morcuende, D. (2003). Physicochemical characteristics of three muscles from free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90 kg live weight. *Meat Science*, *63*, 533–541.

Chang, K.C., Da Costa, N., Blackley, R., Southwood, O., Evans, G., Plastow, G., Wood, J.D. & Richardson, R.I. (2003). Relationships of myosin heavy chain fibre types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat Science*, *64*, 93–103.

Choe, J.H., Choi, Y.M., Lee, S.H., Shin, H.G., Ryu, Y.C., Hong, K.C. & Kim, B.C. (2008). The relation between glycogen, lactate content and muscle fiber type composition, and their influence on postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat Science*, *80*, 355–362.

Choi, Y.M. & Kim, B.C. (2009). Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science*, *122*, 105–118.

Christensen, M., Henckel, P. & Purslow, P.P. (2004). Effect of muscle type on the rate of post-mortem proteolysis in pigs. *Meat Science*, *66*, 595-601.

Ertbjerg, P. & Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*, *132*, 139–152.

Essen-Gustavsson, B., Karlstrom, K. & Lundstrom, K. (1992). Muscle fibre characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality. *Meat Science*, *31*, 1–11.

Fernandez, X., Lefaucheur, L. & Candek, M. (1995). Comparative study of two classifications of muscle fibres: Consequences for the photometric determination of glycogen according to fibre type in red andwhitemuscle of the pig. *Meat Science*, *41*, 225–235.

Francisco, C.L., Jorge, A.M., Dal-Pai-Silva, M., Carani, F.R., Cabeco, L.C. & Silva, S.R. (2011). Muscle fiber type characterization and myosin heavy chain (MyHC) isoform expression in Mediterranean buffaloes. *Meat Science*, *88*, 535–541.

Frontera, W.R. & Ochala, J. (2015). Skeletal Muscle: A Brief Review of

Structure and Function. *Calcif Tissue Int., 96*, 183–195.

Gotoh, T. (2003). Histochemical properties of skeletal muscles in Japanese cattle and their meat production ability. *Animal Science Journal*, *79*, 339−354.

Henckel, P., Oksbjerg, N., Erlandsen, E., Barton-Gade, P. & Bejerholm, C. (1997). Histo- and biochemical characteristics of the *Longissimus* muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality. *Meat Science*, *47*, 311–321.

Huff Lonergan, E., Zhang, W. & Lonergan, S.M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle — Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, *86*, 184–195.

Joo, S.T., Kauffman, R.G., Kim, B.C. & Park, G.B. (1999). The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water holding capacity in porcine *Longissimus* muscle. *Meat Science*, *52*, 291–297.

Jurie, C., Picard, B. & Geay, Y. (1999). Changes in the metabolic and contractile characteristics of muscle in male cattle between 10 and 16 months of age. *Histochem. J., 31*, 117–122.

Kang, Y.K., Choi, Y.M., Lee, S.H., Choe, J.H., Hong, K.C. & Kim, B.C. (2011). Effects of myosin heavy chain isoforms on meat quality, fatty acid composition, and sensory evaluation in Berkshire pigs. *Meat Science*, *89*, 384–389.

Karlsson, A., Enfalt, A.C., Essen-Gustavsson, B., Lundstrom, K., Rydhmer, L. & Stern, S. (1993). Muscle histochemical and biochemical properties in relation to meat quality during selection for increased lean tissue growth rate in pigs. *Journal of Animal Science*, *71*, 930–938.

Kirchofer, K.S., Calkins, C.R. & Gwartney, B.L. (2002). Fiber-type composition of muscles of the beef chuck and round. *Journal of Animal Science*, *80*, 2872–2878.

Klont, R.E., Brocks, L. & Eikelenboom, G. (1998). Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science, 49*, 219–229.

Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, *43*, 193−201.

Koohmaraie, M., Seideman, S.C., Shollmeyer, J.E., Dutson, T.R. & Babiker, A.S. (1988). Factors associated with the tenderness of three bovine muscles. *Journal of Food Science*, *53*, 407–410.

Laborde, D., Talmant, A. & Monin, G. (1985). Enzyme, metabolic and contractile activities in 30 pig muscles and their relationship with ultimate postmortem pH. *Reproduction Nutrition Development*, *25*, 619–628.

Lee, S.H., Joo, S.T. & Ryu, Y.C. (2010). Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality. *Meat Science*, *86*, 166–170.

Lefaucheur, L. (2001). Myofiber typing and pig meat production. *Slovenian Veterinary Research*, *38*, 5–28.

Lefaucheur, L. (2010). A second look into fibre typing—Relation to meat quality. *Meat Science*, *84*, 257–270.

Leseigneur-Meynier, A. & Gandemer, G. (1991). Lipid composition of pork muscle in relation to the metabolic type of the fibres. *Meat Science*, *29*, 229–241.

Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B. & Bugeon, J. (2016). How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *The ScientificWorld Journal*, *3182746*, 1-14.

Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R. & Delday, M. (2003). Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, *62*, 337–347.

Maltin, C.A., Sinclair, K.D., Warriss, P.D., Grant, C.M., Porter, A.D., Delday, M.I., et al. (1998). The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fibre type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. *Animal Science*, *66*, 341−348.

Melody, J.L., Lonergan, S.M., Rowe, L.J., Huiatt, T.W., Mayes, M.S. & Huff-Lonergan, E. (2004). Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water holding capacity of three porcine muscles. *Journal of Animal Science*, *82*, 1195−1205.

Morita, S., Iwamoto, H., Fukumitsu, Y., Gotoh, T., Nishimura, S. & Ono, Y. (2000). Heterogeneous composition of histochemical fibre types in the different parts of M. *Longissimus thoracis* from Mishima (Japanese native) steers. *Meat Science, 54*, 59–63.

Nam, Y.J., Choi, Y.M., Lee, S.H., Choe, J.H., Jeong, D.W., Kim, Y.Y. & Kim, B.C. (2009). Sensory evaluations of porcine *Longissimus dorsi* muscle: Relationships with postmortem meat quality traits and muscle fiber characteristics. *Meat Science*, *83*, 731–736.

Öz, E. (2018). Kas tipinin pastırmanın proteolitik değişimleri ve bazı kalitatif özelliklerine etkisi. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Öz. E. & Kaya, M. (2019). The proteolytic changes in two different types of pastırma during the production. Journal of Food Processing and Preservation, 43, e14042.

Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., Itagaki, K., Kohno, Y. & Dohgo, T. (2000). The characteristics of muscle fiber types of *Longissimus thoracis* muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. *Meat Science, 54*, 65–70.

Pette, D. & Staron, R.S. (1997). Mammalian skeletal muscle fiber type

transitions. *Int. Rev. Cytol., 170*, 143–223.

Picard, B., Duris, M.P. & Jurie, C. (1998). Classification of bovine muscle fibres by different histochemical techniques, *The Histochemical Journal*, *30*, 473–477.

Realini, C.E., Pérez-Juan, M., Gou, P., Díaz, I., Sárraga, C., Gatellier, P. & García-Regueiro, J.A. (2013a). Characterization of *Longissimus thoracis*, *Semitendinosus* and *Masseter* muscles and relationships with technological quality in pigs. 2. Composition of muscles. *Meat Science*, *94*, 417-423.

Realini, C.E., Vénien, A., Gou, P., Gatellier, P., Pérez-Juan, M., Danon, J. & Astruc, T. (2013b). Characterization of *Longissimus thoracis*, *Semitendinosus* and *Masseter* muscles and relationships with technological quality in pigs. 1. Microscopic analysis of muscles. *Meat Science*, *94*, 408-416.

Renand, G., Picard, B., Touraille, C., Berge, P. & Lepetit, J. (2001). Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science*, *59*, 49–60.

Ryu, Y.C. & Kim, B.C. (2005). The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig *Longissimus dorsi* muscle. *Meat Science*, *71*, 351–357.

Ryu, Y.C. & Kim, B.C. (2006). Comparison of histochemical characteristics in various pork groups categorized by postmortem metabolic rate and pork quality. *Journal of Animal Science*, *84*, 894–901.

Ryu, Y.C., Choi, Y.M. & Kim, B.C. (2005). Variations in metabolite contents and protein denaturation of the *Longissimus dorsi* muscle in various porcine quality classifications and metabolic rates. *Meat Science*, *71*, 522–529.

Schiaffino, S. & Reggiani, C. (1996). Molecular diversity of myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. *Physiol. Rev., 76*, 371–423.

Schiaffino, S. & Reggiani, C. (1996). Molecular diversity of myofibrillar proteins: Gene regulation and functional significance. *Physiological Reviews*, *76*, 371–423.

Stienen, G.J., Kiers, J.L., Bottinelli, R. & Reggiani, C. (1996). Myofibrillar ATPase activity in skinned human skeletal muscle fibres: fibre type and temperature dependence. *J. Physiol,. 493*, 299–307.

Taylor, R.G. (2004). Muscle fiber types and meat quality. *Encyclopedia of meat sciences* (pp. 876–882). Oxford, UK: Elsevier.

Whipple, G. & Koohmaraie, M. (1992). Effects of lamb age, muscle type, and 24-hour activity of endogenous proteinases on postmortem proteolysis. *Journal of Animal Science*, *70*, 798–804.



Bölüm 11

TERMAL SULARIN RADYOAKTİVİTE VE KİMYASAL İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ; DENİZLİ PAMUKKALE ÖRNEĞİ

İbrahim DORUK[1], Meruyert KAYGUSUZ[2], Kadriye ESEN ERDEN[3], Cem GÖK [4]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Adnan Menderes Üniversitesi, ibrahim.doruk@adu.edu.tr
2 Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi,
3 Dr.öğr. Üyesi, Kocaeli Ünversitesi,
4 Prof.dr., Pamukkale Üniversitesi

GİRİŞ

Termal yeraltı suları ülkelerin değerli doğal kaynaklarından biridir. Türkiye jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengin bir konumdadır. Ülkemizde çok farklı sıcaklık değerlerinde termal kuyular mevcuttur. Termal su sıcaklıkları 20-242 ^{0}C arasında değişiklik göstermektedir. Ege bölgesi termal kaynaklar açısından çok zengin olup ülkemizin termal kaynaklarının yaklaşık %80'i bu gölgede yer almaktadır (R. Ilgar, 2005). Bu termal kaynaklar çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Isıtma ve turizm amaçlı olarak değerlendirilmelerinin yanında seracılıkta ve su kırlığının olduğu dönemlerde tarımsal sulamaya uygun olmamalarına rağmen bitki sulamada da kullanılırlar. Termal suların içerikleri çıktıkları ortamın jeolojik yapısı tarafından belirlenmektedir. Termal sulardaki kimyasal içerik su kalitesi açısından önemlidir. Su kalitesi değeri bu suların tarımsal sulama maksatlı olarak kullanılıp kullanılamayacağını değerlendirmede önemli bir kriterdir. Ayrıca sudaki doğal radyasyonun en önemli kaynağı olan radon içeriği insan sağlığını da yakından ilgilendirmektedir. Termal kaplıcalardan ya da suların doğal oluşum bölgelerinden faydalanan halk belli bir düzeyde radona maruz kalır. Radon radyoaktif bir gaz olup solunumla vücuda alındığında iç ışınlama oluşturmaktadır. Akciğer kanserinin sebepleri arasında radon önemli bir yer tutmaktadır (H.E. Wichmann. et al., 2002). Yerin altında bulunan kayaçlardaki radyoaktif maddeleri çözündüren sular radyoaktif özellik kazanmaktadırlar. Yeraltı sularında bulunan başlıca radyoaktif elementler K^{40}, Rb^{87}, Th^{235}, U^{235} ve U^{238}'dir. U^{238}'in bozulması ile ortaya çıkan Ra^{226} ve Rn^{222} (radon) yer altı sularında bulunmaktadır. Radon anomalileri temel olarak toprak gazının fay kırıkları boyunca çıkışı ile ilişkilidir. Radon (Rn), nadir elementlerden biridir. Kimyasal açıdan inert olmakla birlikte radyoaktif özelliği açısından önemlidir. Atom numarası 88 olup izotoplarının kütle numaraları 210'dan 230'a ve yarı ömürleri 10^{-3} saniyeden 1620 yıla kadar değişmektedir (A. Şahinci, 1986). Geçtikleri yörelerdeki kireç taşlarını çözen jeotermal sular bunları $Ca(HCO_3)_2$ şeklinde litosfer yüzeyine taşımışlardır. Daha sonra atmosfer sıcaklığı sonucu buralarda çökelen kireç taşları traverten oluşumlarına neden olmuşlardır. Yerin altından gelen sıcak suların içeriğinde bulunan NaCl bulunması ve bu suların yüzeyde buharlaşması ve soğuması sonucu arazi yüzeyinde tuz-kalker kabuğu oluşumuna neden olmuştur (Ü. Altınbaş&Bolca, M. 1995). Termal sular çok iyi çözücü olup bulunduğu arazinin bileşimine göre içeriğinde çözünebilir tuzları ve ağır metalleri bulundururlar. Bu içerik civardaki akarsu, yer altı suları ve toprakları zamanla kirletmekte ve onların verimsiz hale gelmelerine neden olurlar. Jeotermal suların içeriğinde ayrımlı oranlarda çözünebilir tuzlar ve ağır metaller bulunmaktadır. Kimyasal olarak kirlenen sulara maruz kalan topraklardaki canlıların fotosentez ve solunum işlevleri bozulur ve sonuçta toprakların dinamizmini sağlayan iyon den-

geleri altüst olur (Ü. Altınbaş&Bolca, M. 1995). Termal sular çevresindeki hayvan, bitki ve tarımsal atıkların organik maddelerinde yoğunlaşır. Askıdaki bu organik maddeler zamanla alıcı ortamlara doğru, doğrudan veya dolaylı yollardan taşınmakta ve oralarda birikimlere ve dip çamuru oluşumlarına neden olurlar. Bu çamurlarda metan gazı ve toksik maddelerin artışı söz konusudur (Ü. Altınbaş&Bolca, M. 1995). Jeotermal suların kimyasal yapıları iyi bir çözücü ortamı olduğundan, yeryüzüne çıktıkları noktalara bağlı olarak çözünebilir tuzları, ağır metalleri ve radyonüklitleri yüksek miktarda içerebilmektedirler. Jeotermal kaynakların farklı alanlarda kullanılması ile açığa çıkan atık sular civardaki akarsu, yeraltı su kaynakları ve toprağı zamanla kirleterek verimsiz ve sağlık açısından tehlikeli hale getirebilir. Bu nedenle termal atık sularla sulanmış tarım topraklarda yetişen tarım ürünlerini tüketenlerin sağlık açısından risk altındadırlar.. Bu sebeple konu ile ilgili akademik dünyada çok yoğun araştırmalar yapılmış ve termal bölgelerin risk dereceleri belirlenmeye çalışılmıştır (M. Bakaç & M.N.Kumru, 2003). Ege Bölgesinde bulunan Büyük Menderes Havzası tarımsal potansiyeli açısından Türkiye'nin önemli bölgelerinden birisidir. Pamukkale'yi de içerisine alan bu havzada tektonik fay hatları boyunca yüksek potansiyele sahip jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Jeotermal alanlardan çıkan suyun çevredeki su kaynaklarına akması ve bu kaynaklarla da tarım arazilerinin sulanması sonucunda yer altı suları, yüzey suları ve ekim alanları termal suyun zararlarından olumsuz yönde etkilenmektedir. Büyük Menderes'e tahliye edilen denetimsiz akışkanlar nehirdeki biyolojik canlılığa zarar vermektedir.

Bu çalışmada, Denizli Pamukkale-Karahayıt bölgesinde yer alan termal sular çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu alandaki termal suların ağır metal ve radyoaktivite içeriği tarım ya da su kalitesi açısından önem arz etmektedir. Bu amaçla belirlenen altı istasyondan su numuneleri alınmıştır. Analiz edilen su örnekleri istasyonları arasında seralar, turistik kaplıcalar, fide yetiştirme işi yapılan yerler ve bu tesislerden çıkan suyun Menderes nehrine karıştığı son durak yer almaktadır. Alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta olmak üzere radyoaktivite ölçümleri yapılmış, elementel içerikleri incelenerek, örneklem yerlerindeki sıcaklık ve pH analizleri yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Pamukkale-Akköy-Yenicekent bölgesi jeotermal suları kimyasal içerik ve radyoaktivite konsantrasyonları toplam alfa ve toplam beta aktivitesi yönünden incelenmiştir. 15-24 Nisan 2016 tarihleri arasında Pamukkale-Akköy-Yenicekent hattında altı istasyondan su numuneleri alınmıştır. Tablo 1'de arazi çalışmalarında Pamukkale-Akköy-Gölemezli boyunca, termal suların gözlendiği numune alma noktaları verilmiştir. Çalışma bo-

yunca Pamukkale, Karahayıt kaplıcaları, Akköy'de iki nokta ve Yenicekent'deki iki noktadan termal su örnekleri alınmıştır. Su numunelerinin kimyasal içerikleri Namık Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı NABİLTEM'de analiz edilmiştir. Su örneklerinde radyoaktivite analizleri ÇNAEM -Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır.

Tablo 1. Numune Alma Noktaları

Örnek No	**Numune Alma Noktaları**
1	Pamukkale
2	Karahayıt
3	Akköy-Sera
4	Akköy- Yenicekent yolu
5	Yenicekent-Sera
5a	Yenicekent-Sera arıtılmış suyu
5n	Yenicekent-Sera atık suyunun Menderes'e atım noktası
6	Menderes nehri sulama suyu olarak kullanım noktası

Termal Sularda Radyoaktivite Ölçümleri

Jeotermal sular geçtikleri kayalardan radyoaktif maddeleri çözündürerek radyoaktif özellik kazanırlar. Sulardaki radyoaktif elementlerin su içinde bulunma oranlarını i alfa-beta radyoaktivite değerleri göstermektedir. Bu nedenle alınan jeotermal su örneklerinde toplam alfa-beta radyoaktivite analizi gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde çevresel materyallerde radyoaktivite araştırmalarına olan ilgi, örnekleme ve ölçüm tekniklerinin gelişmesi, ayrıca değişik amaçlı radyoizotoplarının ayrı ayrı analizlenmesi ve değerlendirilmesi konuları giderek artış göstermiştir. Ağır doğal radyonüklitlerden U-238, U-234, Th-232, Th-228, Ra-228, Ra-226, Ra-224, Pb-210, Po-210 ve Rn-222'un kayaçlarda, drenaj sularında, dip sedimentlerde, toprak ve bitkilerde dağılımları ve antropojenik etkileri literatürde geniş yer bulmakta ve önem arz etmektedir. Bu tür çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler ve veriler, yaşayan organizmaların aldıkları doğal radyasyon dozlarının tahmininde çok önemli olmaktadır.

Bu amaçla, su örneklerinde toplam alfa ve beta analizleri yapılmıştır. Toplam Alfa Analizleri yöntemi, sularda çözünmüş halde bulunan alfa verici izotoplardan gelen toplam alfa aktivitesini vermektedir.

Termal Sularda Kimyasal Analiz

Su numunelerinin kimyasal analizi ve ağır metal içerikleri Namık

Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı NABİLTEM'de ICP -MS ve ICP-OES cihazında gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Kimyasal Özellikler

Araştırma alanındaki altı farklı numune alma noktasından alınan su örneklerinin örneklem zamanındaki sıcaklık ve pH sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Numune sıcaklıkları örneklem noktaları itibari ile 19 °C ile 65 °C arasında değişirken pH değerlerindeki değişim ise 6.4 ile 8.5 arasındadır.

Tablo 2. Numunelerin ilk anda sıcaklık ve pH değerleri

Örnek No	Sıcaklık (°C)	pH
1	36	6.5
2	55	6.4
3	50	6.9
4	65	7.4
5	58	6.9
5a	25	7.0
5n	19	8.5
6	20	8.1

Tablo 3'de numunelere ait elementel analiz değerleri verilmiştir. Analiz edilen jeotermal su örneklerinde dikkat çeken oranda bulunan B, Hg, As, Se, Sn gibi elementler tarımsal sulama suyu kalitesi açısından önem arz etmektedir., Hassas bitkiler için 0.3 ppm'e kadar bor içeren sular I. sınıf olarak değerlendirilirken 1.2 ppm ve üzeri değerler kullanılamaz olarak tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde bora dayanıklı bitkiler için 1 ppm'e kadar olan kısım I. sınıf olarak değerlendirilirken 3.7 ppm ve üzeri değerler kullanılamaz, yani V. sınıf olarak değerlendirilmiştir (L.A. Richards, 195. - D. Uygan, Ö. Çetin, 2004). Analiz edilen 3, 4 ve 5 nolu numunelerde bor miktarı oldukça yüksek görülmüş olup bu suların kullanım alanları düşünüldüğünde tehlikenin boyutu anlaşılmış ve derhal önlem alınması gerekliliği sonucu bir kez daha vurgulanmıştır. Numunelerin hiç birinde Pb, Bi, Sb, Cr, Cu, Co, Si ve Ti tespit edilmemiştir.

Tablo 3. Element analizi sonuçları

Element	Birim	Örnek No							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**5a**	**5n**	**6**
		441.7	441.7	441.7	441.7	441.7	441.7	441.7	441.7
			407,6	407,6				407,6	407,6
		456,7	456,7	456,7	456,7	456,7	456,7	456,7	456,7
		311,3	311,3	311,3	311,3	311,3	311,3	311,3	311,3
		238,4	238,4	238,4	238,4	238,4	238,4	238,4	238,4
		3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
		85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8
		121,9	121,9	121,9	121,9	121,9	121,9	121,9	121,9
Ca	ppm								
		42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
			52,5	52,5				52,5	52,5
		72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
		45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5
		16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
		20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
Mg	ppm								
		6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
			4,9	4,9				4,9	4,9
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
		4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Ni	ppb								

		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			0,0	0,0				0,0	0,0
		71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3
		156,3	156,3	156,3	156,3	156,3	156,3	156,3	156,3
		88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
		37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
P	ppb								
Fe	ppb	2.6	365.5	79.2	1442.8	578.5	1238.8	29.0	224.2
Sn	ppb	207.5	169.7	88.6	65.4	95.2	11.3	0.0	0.0
		32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32,4
			85,7	85,7				85,7	85,7
		364,9	364,9	364,9	364,9	364,9	364,9	364,9	364,9
		156,2	156,2	156,2	156,2	156,2	156,2	156,2	156,2
		347,4	347,4	347,4	347,4	347,4	347,4	347,4	347,4
		9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
		48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9
		123,7	123,7	123,7	123,7	123,7	123,7	123,7	123,7
Na	ppm								
Hg	ppb	51.5	44.2	30.0	16.3	24.3	0.0	0.0	0.0
Cd	ppb	3.6	3.3	2.3	1.9	2.6	1.3	1.4	1.2
K	ppm	4.3	20.6	53.0	45.9	75.9	0.4	6.7	22.6
Al	ppb	472.0	221.3	547.5	0.0	194.2	0.0	0.0	0.0
As	ppb	0.0	0.0	0.0	0.0	42.1	0.0	0.0	33.6
B	ppm	0,9	1.8	6.7	2.7	3.9	0.1	0.2	1.1
Mn	ppb	9.5	18.0	171.5	22.0	50.0	51.8	5.5	5.5
Zn	ppb	17.4	14.8	27.2	6.4	10.3	10.9	3.7	3.4
S	ppm	172.3	226.3	488.3	108.3	159.3	1.9	51.6	76.0
Se	ppb	107.2	97.2	63.2	34.1	55.8	0.0	0.0	0.0

Radyoaktivite Sonuçları

Analiz edilen jeotermal su örneklerinde özellikle 2, 4 ve 5 numaralı istasyonlarda yüksek oranda toplam alfa ve beta radyoaktivite değerleri görülmüştür (Tablo 4). İnsanlar, birçok kaynaktan gelen radyasyona maruz kalmaktadır. Bu kaynaklardan bazıları, çevrenin doğal yapısında yer almaktadır. Toprak, sediment, hava, su, bitki, yaşayan organizmalardaki önemli radyonüklitler K-40, U-238 ve Th-232 bozunma zincirinden kaynaklanmaktadır. Direkt dışsal maruz kalmaya neden olan çevresel örneklerdeki radyonüklit konsantrasyonu, kaynak kayaçlardaki aktivite konsantrasyonu ile büyük oranda ilişkilidir.

Bilindiği üzere, dünya üzerindeki doğal radyoaktivitenin büyük bir kısmı primordial radyonüklitler olan U-235, U-238, Th-232 ve K-40 orijinlidir. Bunların yanı sıra nükleer testler ve nükleer santral kazaları sonucunda kontamine olan toz bulutlarının radyoaktif yağışlar ile yeryüzüne inerek özellikle toprakların ve suların kirlenmesine yol açtığı bilinmektedir. Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda, toprak, kayaç, sediment, yeraltı ve yüzey su kaynaklarında, çeşitli besin maddelerinde bir çok radyonüklitin konsantrasyonları saptanmıştır. Bu tür çalışmalar gelişmiş ülkelerde sistematik olarak devam etmektedir. Elde edilen veriler, insanlar için absorplanan doz oranları ve efektif yıllık dozların hesaplanmasında önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

Yeraltı ve yerüstü içme suyu kaynaklarının, çeşitli karakterdeki toprakların, çevresel örneklerin radyoaktivite düzeyi ile ilgili olarak çok amaçlı bilgilerin toplanması, konu ile ilgili analizlerin yapılması, bilimsel verilerin ve istatistiksel analiz sonuçlarının stoklanması şarttır. Özellikle Avrupa Birliğine giriş hazırlıkları içerisindeki IAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) üyesi olan ülkemiz, her alanda çok amaçlı envanter ve dokümana ihtiyaç duymaktadır.

İnsanlar yaşadıkları ortamda doğal radyoaktif çevreden yayımlanan doğal radyasyona sürekli maruz kalmaktadır. Alınan bu radyasyonun karasal kökenli olan bölümünün miktarı ve özellikleri; üzerinde yaşanılan toprağın, içilen suyun ve alınan gıda maddelerinin taşıdığı radyoaktif maddelerin cinsine, konsantrasyonuna ve kimyasal karakterine bağlıdır.

Çevresel radyasyonu oluşturan kaynaklar, toprak ve kayaçların yapısında bulunan primordial radyonüklitlerdir (U-238, Th-232, K-40 ve bozunma ürünleri). Bu radyonüklitler, değişik mekanizmalarla atmosfere, yiyecek zincirine, sulara geçerek insan için iç ve dış radyasyon kaynaklarını oluşturur.

Su örneklerinde Toplam Beta Analizleri yöntemi ise, sularda beta verici izotoplardan gelen toplam beta radyoaktivitesini vermektedir. Numu-

nelerdeki toplam alfa-beta radyoaktivite analizleri düşük ortam saymalı alfa-beta sayım sistemiyle gerçekleştirilmiştir. 0-3,75 Bq/L aralığında toplam alfa ve 0,37-6,70 Bq/L aralığında toplam beta aktivitesi değerleri tespit edilmiştir. Numune alınan noktalardaki jeotermal suyun kullanım şekilleri ve radyoaktivite içerikleri değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Radyoaktivite Analizi Sonuçları

Örnek No	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
1	<0.03	0.37±0.08
2	2.8±0.20	6.70±0.46
3	0.18±0.02	2.25±0.27
4	3.75±0.25	5.99±0.34
5	2.05±0.14	6.77±0.42
6	0.25±0.02	1.50±0.09
ÖMD*	0.03	0.04

- Ölçülebilen maksimum değer (Bq/L)

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Denizli ili Pamukkale Bölgesinde yer alan jeotermal su kaynaklarındaki altı noktadan numuneler alınmış ve bazı fiziksel, kimyasal ve radyoaktivite özellikleri incelenmiştir. Bölgedeki jeotermal suların çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra çevre suları ile karışması ve bunun sonucunda toksik veya radyoaktif elementlerin konsantrasyon düzeylerinin artması bir çok olumsuz sonuç doğurmaktadır.

Radyoaktivitenin yüksek olması flora ve fauanada bir çok olumsuz etki yaratması dışında insanlardaki kanser oranlarının artmasına neden olmaktadır. Örneklem noktalarındaki en yüksek toplam alfa ve beta değerleri sırasıyla 3.75±0.25 ve 6.77±0.42 Bq/L olarak bulunmuştur. Daha önce yapılmış bölgede bulunan değerlerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (F.S. Erees et al., 2007; P.E. Erden et al. 2014). Ancak radyoaktif izotopların düşük konsantrasyonlarda dahi radyotoksik etkileri ve biyobirikim olasılığı nedeniyle radyoaktivite düzeylerinin sürekli izlenerek kontrol altında tutulması gerekmektedir. Radonun, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle bilhassa kansere neden olmasından dolayı belirli aralıklarla izlenmesi çok önemlidir. Bunun yanında, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) insan sağlığı açısından içme sularında minimum toplam alfa değerinin 0.5 Bq/L, toplam beta değerinin 1 Bq/L olması gerektiğini önermektedir (WHO, 2011). Örneklerdeki pH değerlerinin 6.4 ile 8.5 arasında olduğu belirlenmiştir. Sıcaklıkları ise 19 ile 65 ºC arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yapılan

çalışmalar sonucunda elde edilen pH ve sıcaklık değerleri literatür verileri ile uyumludur.

Özellikle tektonik açıdan aktif bir bölge olmasından dolayı, örneklerin elementel içerik ve aktivite değerleri kayaçların gözeneklilik ve kırık doğası ile ilişkilidir. Yeraltı sularının, kayaçlardan geçerken aldıkları element ve mineraller, suların mineralli, radyoaktivite gibi özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır. Jeotermal suların zengin mineral içeriği düşünüldüğünde elde edilen yüksek Ca, Na, Mg, Fe, K, Zn ve özellikle S normal değerdedir. Jeotermal suların içeriğinde de yüksek konsantrasyonlarda bulunabilen bor ve arsenik gibi toksik etki yarabilecek bazı elementlerin izlenmesi içme, kullanma ve sulama sularında sağlık açısından önem taşımaktadır ve limit değerlerin düzeyleri düzenli olarak araştırılmalıdır. Büyük Menderes Havzasının tarımsal potansiyeli de göz önüne alınırsa yüksek oranda bor ve arsenik içeren suların neden olabileceği hastalıklar irdelenmeli ve bu tür suları kullanmanın ekolojik denge üzerindeki etkileri bilinmelidir.

Bir diğer dikkat çekici sonuç da 5. ve 6. örneklem noktalarında arsenik konsantrasyon değerlerinde görülmektedir. Canlı yapısında oldukça yüksek toksik etkisi bilinen arsenik insan ve hayvan sağlığını ciddi bir şekilde etkilemektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), arsenik değeri açısından içme ve kullanma sularında 10 ppb' ye kadar bulunabileceğini, 50 ppb'den daha yüksek miktarlarda arsenik içeren suların ise kesinlikle kullanılmaması gerektiğini bildirmiştir (WHO, 2011). Özellikle yüksek konsantrasyon değerlerinde tarımsal verim üzerinde olumsuz etkilere sahip bor elementi için üst sınır 1 ppm olarak verilmektedir (WHO, 2011). Bazı noktalardaki değerlerin (3, 4 ve 5. örneklem noktaları) üst sınırın üzerinde olduğu görülmüştür. Bundan dolayı bu sularla yapılan tarımsal faaliyetlerde ciddi sıkıntılar ortaya çıkacaktır. Bazı noktalardaki düşük değerlerde göz önüne alınırsa, bor derişimine ve diğer metal konsantrasyonlarına göre sular düzenli bir izleme (monitoring) çalışmaları sonucu tarıma uygun olup olmadıklarına göre sınıflandırılabilirler.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yazarlar, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM)'ne, TAGEM14ARGE44 nolu proje desteği nedeni ile teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

R. Ilgar, "Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşımş," Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, C.4, S.13, 88-98. 2005

H.E. Wichmann, J. Heinrich, M. Gerken, M. Kreuzer, J. Wellmann, G. Keller, L. Kreienbrock. "Domestic Radon And Lung Cancer-Current Status İncluding New Evidence From Germany,"International Congress Series 1225, 247- 252, 2002.

A. Şahinci, "Yer Altı Suları Jeokimyası," Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, 1986.

Ü. Altınbaş, M. Bolca, "İçmeler (Seferihisar-İzmir) Jeotermal Kaynakların Çevre Kirliliğine Olan Etkileri Üzerine Araştırmalar," Türkiye Toprak İlmi Derneği İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu Bildirileri Kitabı, II, 27-29, Ankara, 31-40, 1995.

M. Bakaç, M.N. Kumru, "Orta Gediz Havzasından (Ege Bölgesi) Toplanan Su, Sediment ve Toprak Örneklerinin İçerdiği Doğal Radyasyon Miktarı," 8th National Nuclear Sciences and Technology Conference, 15-27, Kayseri, pp.127, 2003.

L.A. Richards, "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils" Us Salinity Lab. USA.,1954.

D. Uygan, Ö. Çetin, "Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası," Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü, Su Yönetimi Bölümü, Eskişehir II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 2004.

F.S. Erees, S. Aytas, M.M. Sac, G. Yener, M. Salk, "Radon Concentrations İn Thermal Waters Related To Seismic Events Along Faults İn The Denizli Basin, Western Turkey," Radiation Measurements 42 (1), 80–86, 2007.

P.E. Erden, A. Dirican, M. Seferinoğlu, E. Yeltepe, N.K. Şahin, "238u, 234u And 226ra Concentrations İn Mineral Waters And Their Contribution To The Annual Committed Effective Dose In Turkey, "Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 301 (1), 159–166, 2014.

WHO 2011. "Guidelines for Drinking Water Quality, 4rd. ed.," World Health Organization, Genova, Switzerland.

WHO 2011. "Arsenic. Environmental Health Criteriai"18. World Health Organization, Genova, 1-174.

WHO 2011. "Guidelines For Drinking Water Quality," 4rd. ed. World Health Organization, Genova, Switzerland.



Bölüm 12

GERİLİM DENETLEYİCİSİ: YÖNTEM VE PRENSİPLER

Gamze AYDOĞMUŞ[1], Hatice Nur YALÇIN[2], Mehmet YÜKSEKKAYA[3]

1 Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, gamzeydogmus@gmail.com

2 Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, hnuryalcn@gmail.com

3 Doktor Öğretim Üyesi , Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, mehmety@baskent.edu.tr

GİRİŞ

Elektrokimya, analitik, organik, inorganik, fiziksel kimya ve ötesini kapsayan modern kimyasal araştırmaların önemli bir konusudur. Elektrokimyada bir elektrokimyasal hücre sisteminin kimyasal reaksiyonlarını analiz etmek, kimyasal bileşiklerin konsantrasyonunu ve özelliklerini anlamak için elektroanalitik yöntemler kullanılır. Elektrokimyasal hücrede gerçekleşen reaksiyonda iki kimyasal bileşik arasında elektron alışverişi oluyorsa bu şekilde oluşan reaksiyonlara redoks reaksiyonları denir. Elektron alan kimyasal bileşik indirgenir elektron veren kimyasal bileşik yükseltgenir. Elektrokimyasal hücrelerin elektroanalitik yöntemlerle ölçümlenmesinde sisteme dışarıdan akım veya voltaj gibi elektriksel etkiler verilir ve benzer etkiler kimyasal reaksiyonların durumuna ve kimyasalların miktarına göre izlenir.

Gerilim denetleyicisi, elektrokimyasal göze sistemine uygulanan voltajı kontrol eden ve akımı ölçen elektrokimyasal analizde kullanılan bir donanımdır. Günümüzde modern gerilim denetleyicisi cihazlarının fiyatları yaklaşık 2500$- 25,000$ arasında değişmektedir. (Aremo et al., 2015)

Bu bölümde gerilim denetleyicisinin kullandığı prensip olan dönüşümlü voltametrinin özellikleri, redoks reaksiyonunda kullanılan elektrokimyasal hücreler, elektrokimyasal hücreyi oluşturan elektrotlar ve özellikleri, gerilim denetleyicisinin çalışma prensibini oluşturan devre şeması, bu devre parçalarının çalışma sistemleri ve özellikleri anlatılmıştır. Son olarak taşınabilir gerilim denetleyicileri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Bu bölümde anlatılan içerik, mühendislere elektrokimyasal analiz uygulamalarında gerilim denetleyicisi kullanımı ve tasarımı hakkında temel bilgileri verebilir.

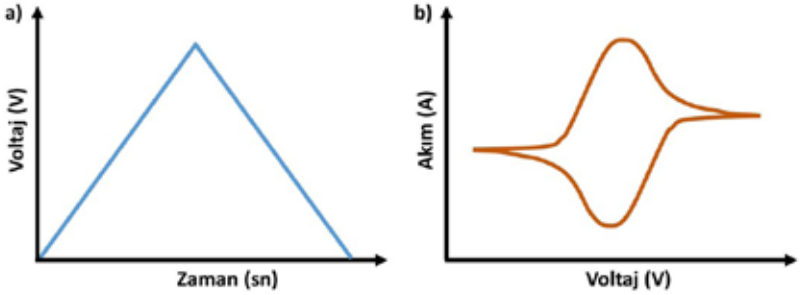
1. DÖNÜŞÜMLÜ VOLTAMETRİ

Elektroanalitik yöntemler, bir elektrokimyasal hücre sistemine elektriksel etki yapılarak sistemin özellikleri hakkında bilgi almayı sağlayan nicel analitik yöntemlerdir. Gerilim denetleyicisi ile ölçülen büyüklük voltaja göre akım değişimi olduğu için elektroanalitik yöntemlerden çoğunlukla voltametri yöntemi kullanılmaktadır. Voltametri**,** uygulanan potansiyelin bir fonksiyonu olarak akımın incelenmesidir. Elektrokimyasal hücre deneylerinde, redoks potansiyelinin çift yönlü taranması gerektiğinden dönüşümlü voltametri yöntemiyle çalışmak kullanışlı olmaktadır.

Dönüşümlü voltametri, elektrokimyasal verilerin analiziyle birlikte konsantrasyon ve tarama hızı gibi değişken parametrelerin etkisinin incelenmesi için çok yönlü bir elektroanalitik yöntemdir. Bu yöntemi kullanarak kimyasal türlerin redoks davranışını geniş bir uygulama potansiyeli

aralığında gözlemlemek mümkündür. Bir redoks aktif bileşik çözeltisine potansiyel uygulandığında ve redoks reaksiyonu meydana geldiğinde, ortaya çıkan akım o anda uygulanan potansiyele karşı okunabilir, yükseltilebilir ve çizilebilir. (Elgrishi et al., 2018)

Potansiyel, çözeltideki kimyasal tepkimeye giren numunelerin redoks potansiyelinin ötesine tarandıkça, akım artar ve sonra tüm numune tükendiğinde (en azından elektrot yakınında) azalır. (Suroviec, 2013) Çalışma elektrotuna uygulanan potansiyel katodik (negatif) yönde artırılırsa, elektrotta analit indirgenir ve çalışma elektrotu katot olarak davranır. İndirgenme prosesi sonucu ölçülen akım katodik akım (i_{pc}) olur. Tarama tersine çevrildiğinde, potansiyel anodik (pozitif) yönde artırılırsa, indirgenmiş analit yeniden yükseltgenir ve çalışma elektrotu anot olarak davranır. Yükseltgenme prosesi sonucunda ise anodik akım (i_{pa}) oluşur. Böylece, dönüşümlü bir voltamogram olarak çizilen pozitif ve negatif akım tepe noktaları elde edilir. Dönüşümlü voltamogram, (voltametri eğrileri) Şekil 1 a)'da uygulanan zamana karşı uygulanan giriş voltajı ve Şekil 1 b)'de uygulanan voltaja karşı akım çıkış değeri olarak ifade edilir.



Şekil 1: Dönüşümlü voltametri eğrileri a) giriş voltaj değerinin zamana göre değişimi, b) voltaja göre sistemden ölçülen akım eğrileri

Yükseltgenme/anodik tepe potansiyeli (E_{pa}) ve indirgenme/katodik tepe potansiyeli (E_{pc}) arasındaki fark, tepe potansiyel farkı (ΔE_p) olarak adlandırılır. Redoks reaksiyonlarında bir elektron transferi için tepe potansiyel farkının değeri, 25 °C'de 0.059 V/n (59 mV/n) değerine yakındır. Tersinir (geri dönüşümlü) bir redoks reaksiyonunda yer alan elektronların (n) sayısı, tepe potansiyellerinin farkı ile,

$$\Delta E_p = E_{pa} - E_{pc} = 59 \text{ mV/n} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bununla birlikte, bu denklem yalnızca tersinir redoks reaksiyonlarında uygulanabilir. Çünkü tersinir olmayan reaksiyonlar için tepe potansiyellerinin farkı genişler. (Mendoza et al., 2015) Dönüşümlü voltamogram reaksiyonun tersinir olup olmadığı hakkında da bilgi verebilir.

Katodik tepe ve anodik tepe potansiyelleri arasındaki orta nokta potansiyeli, standart elektrot potansiyeli (E^o) olarak, yaklaşık değerdir. Çünkü oksitleyici ve indirgeyici maddeler için difüzyon katsayısı arasında bir fark yoktur. Bu nedenle, dönüşümlü voltametri ile yaklaşık olarak standart elektrot potansiyeline ulaşılabilir.

$$E^o = (E_{pc} + E_{pa})/2 \quad (2)$$

Tersinir bir reaksiyon için tepe akımı (üretilen akım miktarı), tarama hızı ve konsantrasyon ile ilişkili olarak belirlenebilir. Redoks reaksiyonu tersinir ise Randles-Sevcik denklemine göre (25 °C'de) tepe akımı (i_p),

$$i_p = 2.69 \times 10^5 n^{3/2} A D^{1/2} v^{1/2} C \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir.

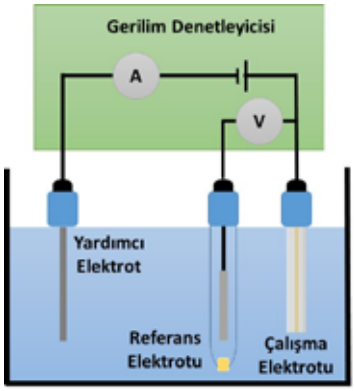
- i_p: tepe akımı (amper)
- n: redoks durumunda transfer elektron sayısı (örnek olarak, $Fe(CN)_6^{3-} + e^- \leftrightarrow Fe(CN)_6^{4-}$ redoks tepkimesinde n=1)
- A: elektrot alanı (cm^2)
- D: redoks türlerinin difüzyon katsayısı ($cm^2 s^{-1}$)
- v: tarama hızı ($V\,s^{-1}$)
- C: redoks türlerinin konsantrasyonu (mol cm^{-3})

2. GERİLİM DENETLEYİCİSİ

Archie Hickling elektrolitik bir hücrede elektroliz gerçekleştirmek için elektrotun potansiyelini kontrol ederek gerilim denetleyicisi geliştirmiş ve kullanmıştır. (Hickling, 1942)

1950'lerde basit entegre yükselteçler ile temel gerilim denetleyicisi

devreleri kurulmuştur. Daha sonrasında 1980'li yıllarda elektrokimya, analitik kimya ve elektrofizyoloji alanlarında çalışmalar için oldukça gelişmiş işlemsel entegre yükselteçler ile bir takım analog çıkışlı cihazlar ortaya çıkmıştır.(Harrar, 2013)

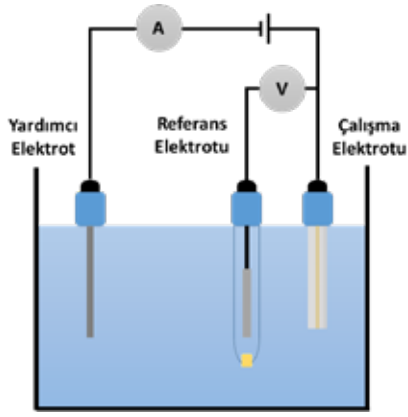


Şekil 2: *Gerilim denetleyicisi modellemesi.*

Gerilim denetleyicisi, elektrokimyasal göze sistemine uygulanan voltajı kontrol eden ve akımı ölçen donanımdır. Ölçülen elektriksel akım bilgilerinden kimyasal reaksiyon ve kullanılan malzemenin miktarı hakkında bilgiler edinilebilir. Bu cihaz, kimyasal bir numunede elektrokimyasal testler yapan elektronik bir devreden oluşmaktadır. (Fu et al., 2015) Gerilim denetleyicisi, elektrokimyasal hücre sistemine daldırılmış elektrotlar ile birlikte Şekil 2'de belirtilmiştir.

3. ELEKTROKİMYASAL GÖZE SİSTEMİ

Tipik bir elektrokimyasal hücre, bir çözücü içinde çözünen analitten, bir iyonik elektrolitten ve uygun bir elektrolit çözeltisine daldırılmış elektrotlar olarak isimlendirilen elektriksel iletkenlerden oluşmaktadır. Elektrokimyasal hücreler çeşitli boyutlarda, şekillerde ve malzemelerde bulunur. Kullanılan hücre, numunenin miktarına, türüne, tekniğine ve elde edilecek analitik verilere bağlıdır.(Aikens, 1983) Elektrokimyasal hücre ve elektrotlar Şekil 3'te belirtilmiştir.



Şekil 3: *Elektrokimyasal hücre ve elektrotlar.*

Standart bir elektrokimyasal testte üç elektrot kullanılır. Bu elektrotlar Çalışma Elektrotu (WE), Referans Elektrotu (RE) ve Sayaç Elektrotu (CE)'dur. ("Potentiostats," 2019) Sayaç elektrotu bazı kaynaklarda Yardımcı Elektrot (AE) adlandırmasıyla da geçmektedir. Çalışma elektrotu, iyi bir elektronik iletken olmalı ve elektrot-çözelti arayüzünde elektron alışverişinde bulunduğundan elektrokimyasal olarak inert olmalıdır. Yaygın çalışma elektrotları, platin, altın, cıva ve camsı karbon elektrottur. Çalışma elektrotundaki reaksiyon, referans elektrota göre gerçekleşir. Bu nedenle iyi bir referans elektrotu, küçük akımlar için potansiyelini korumalıdır. Potansiyel değerler referans elektrota göre rapor edilir. Yaygın referans elektrotları, doymuş kalomel elektrotu veya gümüş/gümüş klorür elektrotudur. Sayaç elektrotu, reaksiyona müdahale edebilecek reaksiyon ürünleri üretmeyen herhangi bir elektrot olabilir. Amacı, çalışma elektrotunda meydana gelen redoks reaksiyonunu dengelemektir. Yaygın sayaç elektrotları, platin, altın ve karbon gibi elektrokimyasal olarak inert malzemelerden yapılmaktadır.

Elektrokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi gereken veya bir yükün transfer edilebileceği arayüzü sağlayan elektrot, çalışma elektrotu olarak adlandırılır. Devreyi tamamlayan ve elektrokimyasal hücrede akımın akması için bir yol sağlayan ikinci elektrot, yardımcı elektrot (sayaç elektrotu) olarak adlandırılır. Elektrolit ve çalışma elektrotu arasındaki voltajı ölçmek için kullanılan üçüncü elektrot, referans elektrotu olarak adlandırılır.

3.1. Referans Elektrotu

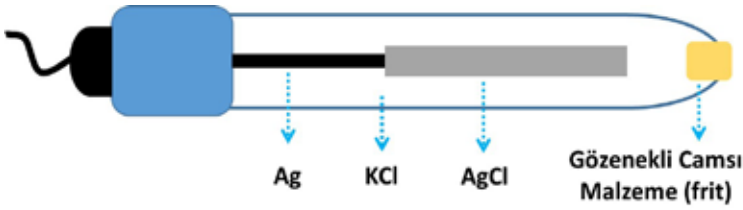
Referans elektrotu, analit çözeltisinin bileşiminden bağımsız sabit elektrot potansiyeline sahip bir yarı hücre oluşturur. Potansiyel kontrol ve ölçüm için elektrokimyasal hücrede referans noktası olarak kullanılır. Referans elektrot potansiyelinin yüksek kararlılığına, genellikle sabit (tamponlanmış veya doymuş) bileşimden oluşan bir redoks sistemi kullanılarak

ulaşılır. ("Autolab Application Note EC08 Basic Overview of the Working Principle of a Potentiostat/Galvanostat," 2011) Tablo 1'de referans elektrotlarının örnekleri belirtilmiştir. Oluşan reaksiyon ve referans kabul edilen standart hidrojen elektrotuna (E°= 0 V) karşılık gelen yarı hücre potansiyelleri belirtilmiştir.

Tablo 1: *Yaygın olarak kullanılan referans elektrotları (Reference and Auxiliary Electrodes, 2019)*

Elektrot	Tepkime	$\mathbf{E^{\circ}}$=0 V Göre Potansiyeli
Gümüş-gümüş klorür (Ag/AgCl)	$AgCl + e^{-} \leftrightarrow Ag + Cl^{-}$	0.197
Doymuş kalomel	$Hg_2Cl_{2(s)} + 2e^{-} \leftrightarrow 2Hg + 2Cl^{-}$	0,244

Gümüş-gümüş klorür (Ag/AgCl) elektrotu, doymuş kalomel elektrottan üstün olarak, daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmektedir. Aynı zamanda gümüş (Ag) iyonları, civa (Hg) iyonlarına göre daha az sayıda analitle reaksiyona girdiklerinden bu tip referans elektrotların kullanımı çalışma açısından daha avantajlıdır. Şekil 4'te gümüş-gümüş klorür referans elektrotu örneği verilmiştir.



Şekil 4: *Referans elektrotu.*

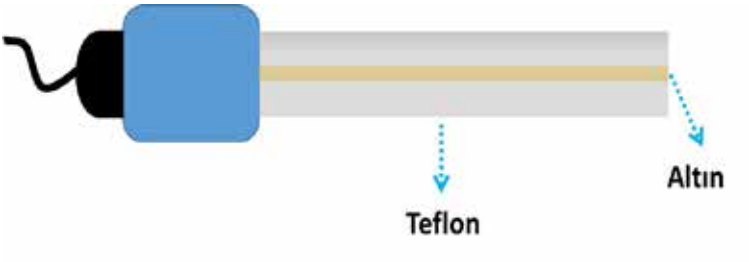
3.2. Çalışma Elektrotu

İlgilenilen reaksiyonun meydana geldiği bir elektrokimyasal sistemdeki elektrottur. Reaksiyon sonucu çözelti ile elektrot arayüzünde elektron transferleri gerçekleşir. Çalışma elektrotu, referans elektrota bağlı olarak çalışır ve cevabı analit derişimine bağlı olarak değişir.

Tablo 2: *Yaygın olarak kullanılan çalışma elektrotları (Working Electrodes, 2019)v*

Elektrot	Avantajları	Sınırlamaları
Altın (Au)	İyi elektrokimyasal inertlik Geniş negative potansiyel aralığı	Yüksek maliyet Pozitif potansiyel aralığı sınırlı
Platin (Pt)	İyi elektrokimyasal inertlik Geniş pozitif ve negatif potansiyel aralığı Birçok formda üretim kolaylığı	Yüksek maliyet
Camsı karbon (GC)	Elektrokimyasal inertlik Ucuz İyi pozitif ve negatif potansiyel aralığı Fiziksel dayanıklılığı daha yüksek	İşlenmesi zor Yüzeylerinde elektron aktarım hızları metal elektrotlara göre daha yavaş
Cıva (Hg)	Negatif potansiyel aralığının yüksek olması	Pozitif potansiyel aralığı sınırlı Toksik bir metal olması

En yaygın kullanılan altın, platin, camsı karbon ve cıva elektrot malzemeleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Şekil 5'te altın çalışma elektrotu örneği verilmiştir.



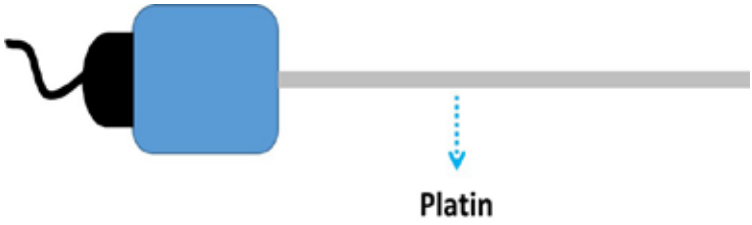
Şekil 5: *Çalışma elektrotu.*

3.3. Yardımcı (Sayaç) Elektrot

Yardımcı elektrot, akımın çözelti içinden çalışma elektrotuna doğru akması için bir yol sağlamaktadır. Yaygın yardımcı elektrotlar platin, altın, grafit, camsı karbon gibi inert bir malzemeden yapılabilir. Analit çözeltisi ile reaksiyona girmediği ve iyi çalıştığı sürece, elektrot için özel bir malzeme gereksinimi yoktur.

Yardımcı elektrot için en yaygın kullanılan malzeme, inertliği ve çoğu reaksiyonun elektrot yüzeyinde meydana gelme hızı nedeniyle platindir. ("Autolab Application Note EC08 Basic Overview of the Working Princip-

le of a Potentiostat/Galvanostat," 2011) Şekil 6'da platin yardımcı elektrot örneği verilmiştir.

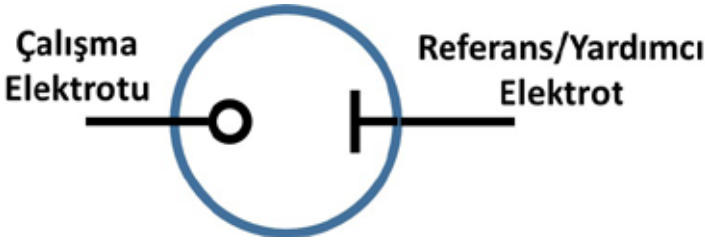


Şekil 6: *Yardımcı (Sayaç) elektrot.*

3.4. Gerilim Denetleyicisi Elektrot Sistemleri

3.4.1. İki Elektrot Sistemi

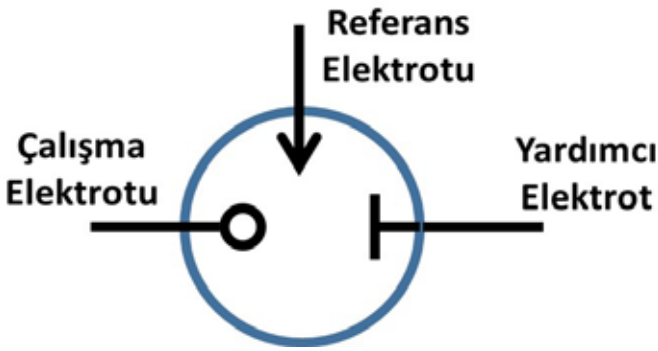
İki elektrot sistemi, çalışma elektrotu ve hücrenin diğer bir yarısı gibi davranan yardımcı elektrot ile referans elektrotun görevini tek başına gerçekleştiren bir elektrottan oluşur. Bu elektrot iki işleve sahiptir. Birincisi, akımdan bağımsız olarak hücre içerisinde potansiyelinin sabit değişmemesini sağlamak, diğeri ise hücrenin içinde yük geçişine izin vermektir. İki elektrotun kullanıldığı sistemde elektrokimyasal hücre içinde akım akışı gerçekleşirken aynı zamanda potansiyeli korumak mümkün olmayabilir. Bu durumlar göz önüne alındığında ise gerçekleştirilecek deney düzeneğinde yanlış ölçümler alınma olasılığı oldukça yükselmektedir. (Kissinger & Heineman, 1996) Şekil 7'de iki elektrot sistemi modellemesi verilmiştir.



Şekil 7: *İki elektrot sistemi.*

3.4.2. Üç Elektrot Sistemi

Üç elektrot sistemi, iki elektrotlu sistemdeki birçok sorunu çözer. Üç elektrot sistemi çalışma elektrotu, yardımcı elektrot ve referans elektrottan oluşur. Referans elektrotun rolü, herhangi bir akım akışı gerçekleşmeden çalışma elektrotunun potansiyelini ölçmek ve kontrol etmek için bir referans olarak hareket etmektedir. Üç elektrotlu gerilim denetleyicisinde sayaç elektrotun tek rolü, çalışma elektrotun da gözlemlenen akımı dengelemek için gereken tüm akımı iletmektedir. (Kissinger & Heineman, 1996) Şekil 8'de üç elektrot sistemi modellemesi verilmiştir.



Şekil 8: *Üç elektrot sistemi.*

3.5. Gerilim Denetleyicisinde İncelenen Elektrokimyasal Tepkime Örneği

Bir elektrot üzerinde çalışılabilecek en iyi redoks türlerinden biri olduğu için gerilim denetleyicisiyle test yapılan deneylerde ferrisiyanür/ferrosiyanür redoks sistemi standart olarak tercih edilen sistemdir. Ferrisiyanürün, ferrosiyanüre indirgenme tepkimesi denklem 4'te ve ferrosiyanürün, ferrisiyanüre yükseltgenme tepkimesi denklem 5'te gösterilmiştir.

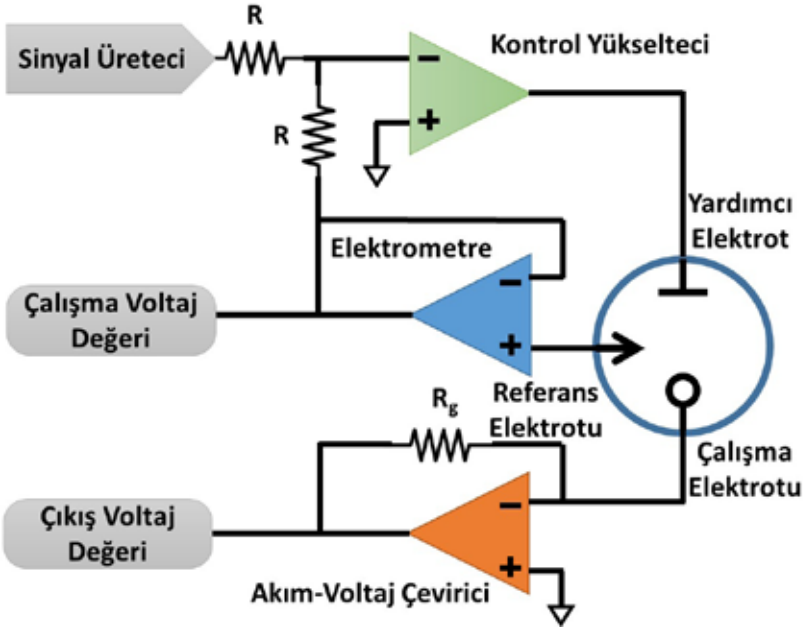
$$Fe(CN)_6^{3-} + e^- \rightarrow Fe(CN)_6^{4-} \quad (4)$$

$$Fe(CN)_6^{4-} \rightarrow Fe(CN)_6^{3-} + e^- \quad (5)$$

Çalışma elektrotu arayüzeyinde $Fe(CN)_6^{3-} + e^- \leftrightarrow Fe(CN)_6^{4-}$ redoks tepkimesi gerçekleşirken dönüşümlü voltametri yöntemiyle uygulanan potansiyele karşı akım veya zaman kontrollü voltametri grafiği oluşturulur. Potansiyel pozitif yönde taranırken (potansiyelin artırılması işlemi) $Fe(CN)_6^{4-}$ 'ten $Fe(CN)_6^{3-}$ elektrokimyasal olarak üretilir. Tarama tersine dönerse, negatif yönde tarama (potansiyelin azaltılması işlemi) ile $Fe(CN)_6^{3-}$ 'ten $Fe(CN)_6^{4-}$ elektrokimyasal olarak üretilir.

Ferrisiyanür / ferrosiyanür reaksiyon çifti, elektrotlarda iyi bir elektron transfer kinetiğine sahip olması nedeniyle elektrokimyasal reaksiyonlarda sinyalin düzgün elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu redoks çifti kimyasal reaksiyonların ilerlemesinde veya sonrasında herhangi bir zorluk olmadan, geri dönüşümlü bir elektrot reaksiyonu sergiler. Bu nedenle dönüşümlü voltametri yöntemi ile yapılan deneylerin birçoğunda ferrisiyanür/ferrosiyanür redoks sistemiyle çalışılmaktadır.

4. GERİLİM DENETLEYİCİSİ ELEKTRONİK DEVRESİ



Şekil 9: *Gerilim denetleyicisi elektronik devresi blok şeması.*

Gerilim denetleyicisi devresi temel olarak voltaj kaynağı için sinyal üreteci, akım okuma devresi için akım/voltaj dönüştürücü, potansiyel kontrol devresi için elektrometre ve kontrol yükselteci olmak üzere dört ana bölümden oluşur. Şekil 9'da gerilim denetleyicisi devresinin blok şeması verilmiştir.

4.1. Sinyal Üreteci

Sinyal üreteci devresi, kontrol yükseltecinin eviren girişine uygulanır. Kontrol yükseltecine gelen değerlerin okunabilmesi için analog değere çevrilmesi gerekir. Bunun için dijital-analog çeviricilere ihtiyaç vardır. (*Potansiyostat Temelleri*, 2019)

4.2. Akım/Voltaj Dönüştürücü

Hücre akımını okuyan devre bölümüdür. Akım/voltaj dönüştürücünün çalışma prensibi elektrokimyasal hücrede üretilen akımın bir voltaj değerine doğrudan dönüştürülmesine dayanmaktadır. Akım/voltaj dönüştürücü hücreden gelen akımın girişi ile çıkışı arasında geri besleme direnci (R_g) üzerinden geçerek voltaj değerine dönüşür. Akım/voltaj dönüştürücü yük-

seltecinin hücreden gelen akım R_g direnci üzerinden geçirmek için giriş empedansı yüksek olmalıdır. (*Potansiyostat Temelleri*, 2019)

$$V_{çıkış} = -I_{hücre} \times R_g \quad (6)$$

İdeal durumda yükseltecin giriş gerilimi $V_{giriş} = 0\ V$ olduğunda çıkış gerilimi $V_{çıkış} = 0\ V$ olmalıdır. Pratikte ise akım/voltaj dönüştürücü yükseltecinin girişinden çok küçük kutuplama akımı geçmektedir. Giriş kutuplama akımı yükselteç çıkışının gerilimini etkiler ve hatalı değerler alınmasına sebep olabilir.(Jung, 2005) Bundan dolayı akım/voltaj dönüştürücü yükseltecinin üzerinden herhangi bir akım geçirmeden R_g direncinin üzerinden geçmesi için düşük kutuplama akımına sahip bir yükselteç seçilmelidir. (*Electrochemical Sensors Application Note 2 Design of Electronics for Electrochemical Gas Sensors*, 2015)

4.3. Kontrol Yükselteci

Kontrol yükselteci, elektrokimyasal hücre ile referans elektrotuna gelen potansiyel değerlerini karşılaştırarak aynı potansiyel değerine gelene kadar elektrokimyasal hücre akımını değiştirmektedir. (*Potansiyostat Temelleri*, 2019)

Kontrol yükseltecinin evirmeyen girişi toprağa bağlandığı için eviren girişi $0\ V$ olmaktadır. Referans elektrotun potansiyeli, sinyal üreteci devresinden gelen akımın kontrol yükseltecinin eviren girişteki iki eş R direnci üzerinden geçerek girişteki potansiyelin eksi değerine eşittir ve her zaman $-V_{giriş}$ olmaktadır.

$$\frac{V_{giriş} - 0V}{R} = \frac{0V - V_{ref}}{R} \quad (7)$$

$$V_{ref} = -V_{giriş} \quad (8)$$

Elektrokimyasal bir hücrede yardımcı elektrottan çalışma elektrotuna sabit potansiyelde akımın ölçülmesine izin verecek şekilde kontrol etmektedir. Kontrol yükselteci çalışma elektrot ile referans elektrotunun

aynı potansiyelde tutmak için düşük giriş dengeleme gerilimi seçilmelidir. Genel kural, 1 mV 'tan daha düşük giriş dengeleme gerilimi yükselteç seçilmelidir.

Gerilim denetleyicisinde referans elektrot üzerine düşen potansiyelin sabit kalması için kontrol yükseltecinin üzerinden akım geçmemelidir. Bundan dolayı giriş kutuplama akımı oldukça küçük seçilmelidir. Eğer giriş kutuplama akımı çok büyük ise düşük gaz konsantrasyonları, hassas elektrokimyasal ölçümler de algılama işlemi için çalışma elektrotundan çıkan akımı etkiler. (*Electrochemical Sensors Application Note 2 Design of Electronics for Electrochemical Gas Sensors*, 2015)

4.4. Elektrometre

Elektrometre, referans elektrot ile çalışma elektrotunun potansiyel farkının ölçülmesidir. Referans elektrota gelen potansiyelin sabit kalması için tampon yükselteç görevini üstlenir. (*Potansiyostat Temelleri*, 2019)

Referans elektrot için tampon özelliği taşıyan elektrometrenin potansiyeli değişmemesi için giriş kutuplama akımı ve giriş dengeleme gerilimi oldukça düşük seçilmelidir. Çünkü tampon özelliği taşıyan elektrometrenin üzerinden akım geçmesi alınabilecek ölçümlerin yanlış sonuçlar vermesine neden olabilmektedir. (*Electrochemical Sensors Application Note 2 Design of Electronics for Electrochemical Gas Sensors*, 2015)

5. TAŞINABİLİR GERİLİM DENETLEYİCİLERİ

Taşınabilir gerilim denetleyicilerinin en büyük avantajı istenilen yerde istenilen parametrelerin kolaylıkla tespit edilmesidir. Örneğin suyun yüzeyinde bulunan kurşun konsantrasyonunu ölçmek için hızlı bir şekilde gerekli parametreleri vermektedir. Diğer bir avantajı laboratuvarda kullanım kolaylığı sağlayarak daha az yer kaplayıp kablosuz bağlantıları ile analizler yapmaktadır. Günümüzde gerilim denetleyicilerinin daha küçük ve daha taşınabilir hale gelmesi yönünde çalışmalar yürütülmektedir.

Çoğu endüstri uzmanları çok kanallı sistemin tek bir bilgisayar tarafından kontrol edilip eş zamanlı analizler yapılabileceğine olanak vermektedir. (Smith & Hinson-Smith, 2002) Gelecekte ise laboratuvar üstü çip ve mikro akışkan teknolojileri kullanılarak küçük elektrot ve gerilim denetleyici dizileri ile biyosensörler tasarlanabilir. Gerilim denetleyicisi cihazları, pratik yerinde teşhis yapabilen cihazların bir modülü olabileceğinden toplum sağlığına destek yeni projeler oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

Aikens, D. A. (1983). Electrochemical methods, fundamentals and applications. *Journal of Chemical Education*, *60*(1), A25.

Aremo, B., Oyebamiji Adeoye, M., Obioh, I. B., & Adeboye, O. A. (2015). A Simplified Microcontroller Based Potentiostat for Low-Resource Applications. *Open Journal of Metal*, *05*(04), 37–46.

Autolab Application Note EC08 Basic overview of the working principle of a potentiostat/galvanostat. (2011). In *Metrohm Autolab.B.V*.

Electrochemical Sensors Application Note 2 Design of Electronics for Electrochemical Gas Sensors (Issue 08067077). (2015).

Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., & Dempsey, J. L. (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*, *95*(2), 197–206.

Fu, H., Chow, H., Lew, M., Menon, S., Scratchley, C., & Parameswaran, M. A. (2015). An Electrochemical Potentiostat Interface for Mobile Devices: Enabling Remote Medical Diagnostics. *ArXiv Preprint ArXiv*, 1–15.

Harrar, J. E. (2013). The potentiostat and the voltage clamp. *Electrochemical Society Interface*, *22*(4), 42–44.

Hickling, A. (1942). Studies in electrode polarisation. Part IV. - The automatic control of the potential of a working electrode. *Transactions of the Faraday Society*, *38*(0), 27–33.

Jung, W. (2005). Op Amp Applications Handbook. In *Elsevier*.

Kissinger, P. T., & Heineman, W. R. (1996). Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry. In *Journal of the American Chemical Society* (Vol. 118, Issue 44). American Chemical Society (ACS).

Mendoza, S., Bustos, E., Manríquez, J., & Godínez, L. A. (2015). Voltammetric Techniques. *Agricultural and Food Electroanalysis*, 21–48.

Potansiyostat Temelleri. (2019). Referans Kimya. http://www.referanskimya.com/bilgi/PotansiyostatTemelleri.php

Potentiostats. (2019). *Chemistry LibreTexts*, 2019. https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Analytical_Sciences_Digital_Library/JASDL/Courseware/Analytical_Electrochemistry%3A_The_Basic_Concepts/05_Experimental_Hardware/D._Potentiostats

Reference and Auxiliary Electrodes. (2019). Chemistry LibreTexts. https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Analytical_Sciences_Digital_Library/JASDL/Courseware/Analytical_Electrochemistry%3A_The_Basic_Concepts/05_Experimental_Hardware/B._Reference_and_Auxil

Smith, J., & Hinson-Smith, V. (2002). Product Review: The Potentiostat: Electrochemistry's Utility Player. *Analytical Chemistry*, *74*(19), 539 A-541 A.

Suroviec, A. H. (2013). Introduction to Electrochemistry. *Journal of Laboratory Chemical Education*, *2013*(3), 45–48.

Working Electrodes. (2019). Chemistry LibreTexts. https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Analytical_Sciences_Digital_Library/JASDL/Courseware/Analytical_Electrochemistry%3A_The_Basic_Concepts/05_Experimental_Hardware/C._Working_Electrodes



Bölüm 13

DERİLERDEN YAPILAN ÜÇ BOYUTLU TABLOLAR

Meruyert KAYGUSUZ[1], Selime ÇOLAK[2], Neslihan Fatoş ARĞUN[3]

1 Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, meruyertk@pau.edu.tr
2 Prof. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Geleneksel El Sanatları Bölümü, scolak@pau.edu.tr
3 Öğr. Gör., Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Geleneksel El Sanatları Bölümü, fargun@pau.edu.tr

GİRİŞ

Deri üretimi; birbirini takip eden bir dizi fiziksel ve kimyasal işlemler sonrası derinin endüstriyel bir üretim malzemesi olarak kullanılır hale getirilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Deri üretimindeki işlem basamakları kısaca; ıslatma yumuşatma, kıl giderme-kireçlik, kireç giderme, sama, yağ giderme, pikle, tabaklama, retenaj (ikinci tabaklama), boyama, yağlama ve finisaj olarak sıralanmaktadır (Toptaş, 1993).

Bu işlemlerden sonra bozulabilen ve organik bir materyal olan ham deri, bozulmaz bir yapıya dönüşerek konfeksiyon, ayakkabı, saraciye, döşemelik gibi farklı alt sektörlerde ham madde olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde deri üretimi, kırmızı et üretimi faaliyeti sonucunda ortaya çıkan ve doğaya bırakılacak olan bir atık malzemenin değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Dericilik ilk zamanlarında ihtiyaçları karşılamak amacı ile kullanılmıştır. Günümüzde ise, neredeyse hayatın her alanına girmiş, tasarımları çoğalmıştır. Hem eski dönemlerde, hem de günümüzde derinin çok tercih edilen ve sıkça kullanılan bir malzeme olmasının en önemli sebebi kullanımının ve işlenmesinin kolay olmasıdır. Deri esnek yapısı sayesinde her şekle girebilmektedir. Kıyafet, çanta, cüzdan, kemer, ayakkabı, takı, ev aksesuarı gibi ürünlerde deri tercih edilen bir hammaddedir.

Deriyi işleyerek, ondan çeşitli eşyalar yapmak en eski zanaatlardan biridir (Yıldız, 1993). Deri kullanımının yaygınlaşması ve ürünlerdeki çeşitliliğin artması ile birlikte, deriden yapılmış ürünler, modern yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Deriden yapılmış ürünler, sosyal hayatın her alanında kaliteli işçilik ve üstün sanat değeri taşıyan ürünler olarak dikkat çekmektedirler.

Deriden yapılan sanat eserlerinin her biri; doğallıklarının yanı sıra, benzersiz bir tasarım ve özgünlük taşımaktadırlar. Bu eserler birer dekor ürünü olmanın ötesinde, dikkati üzerine çeken, göz zevkine hitap eden ve düşündüren birer sanat eseri olma özelliklerini de bünyelerinde barındırmaktadırlar.

Derinin bir tuval veya zemin olarak sanat eserlerinde kullanılması, onun eşsiz özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Doğal, sağlam ve dayanıklı olmasının yanı sıra elastik oluşu (esneme özelliği sayesinde istenen formu alması ve verilen formu koruyabilmesi), su geçirmezliği, hava ve su buharı geçirgenliği (nefes alabilirlik) bu özellikleri arasında yer almaktadır.

ÜÇ BOYUTLU TABLO YAPIMINDA KULLANILACAK DERİLERİN SEÇİMİ

Deriden sanatsal bir ürünün üretiminde en önemli nokta kullanılması gereken deri türünün belirlenmesi ve bu derinin özelliklerini tanımaktır.

Bunun sebebi derilerin farklı tabaklama maddeleri ile tabaklanması ve her tabaklama maddesinin deriye farklı özellikler kazandırmasıdır.

Örneğin, kromla tabaklanmış deriler, bitkisel tabaklanmış derilere göre daha dayanıklı deriler verirken, deriye aynı zamanda yumuşaklık kazandırırlar. Böylece, esneklik ve yumuşaklığın önem taşıyacağı bir ürün yapımında kromla tabaklanmış deri seçilmelidir. Sıkılık ve sertliğin ön planda olması gereken oyma, kakma tekniklerinin kullanılacağı bir çalışmada, tasarlanan ürün için bitkisel tabaklanmış deri türleri seçilmelidir (Menteş Çolak ve Gürler Karaman, 2019).

Hamderi ve tabaklama türü deri ürün üretiminde ve süsleme amacıyla kullanılacak tekniğin seçimi üzerinde de etkilidir. Bu nedenle her deri türüne her süsleme tekniği ya da birleştirme tekniği kullanılamamaktadır. Uygun deri seçimi yapılmadığında yüzey süsleme işlemlerinde beklenen performans da sağlanamamaktadır. Örneğin, koyun derisinden üretilen derilerin yumuşak olmasından dolayı, kakma süsleme tekniğini uygulamak mümkün değildir. Bu tür bir uygulama için dana ya da sığır derisinden yapılmış, vejetal olarak üretilmiş vaketa ya da kösele denilen deri türleri uygundur (Menteş Çolak ve Gürler Karaman, 2019).

Çalışmamızda yer alan eserlerin daha çok kösele veya vaketa deriler üzerinde yapıldığı, bazı eserler için ise, finisajlı derilerin kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Kösele: Sığır, dana gibi büyükbaş hayvanlardan elde edilen genellikle bitkisel ya da bitkisel krom kombine tabaklanan çok sert, kalın deri türüdür.

Vaketa: Bitkisel tabaklanmış dana, sığır derileridir. Finisaj yapılmamış vejetal derilerdir. Bu deriler suya ve lekelere karşı hassastır.

Söz konusu deriler, özellikle oyma, yakma, kakma vb. tekniklerin uygulanabildiği deri türleridir. Güneş ışığı, ter gibi unsurlar zamanla derinin okside olarak renklerinin koyulaşmasına ve farklı bir görüntü vermesine neden olmaktadır (Menteş Çolak ve Gürler Karaman, 2019). Bazı ürünler için bu istenen bir durumdur.

Derinin diğer özellikleri onun esnekliği ve elastikliğidir. Doğası gereği, çeşitli kıvrımlı yönleri olan nesnelerin şeklini ve biçimini alabilir. Şişelerin, vazoların, kavanozların ve hatta heykel biçimlerinin kalıplanmasında kolaylıkla kullanılabilir. Böylece, belirli bir forma uyması için herhangi bir basınca gerek kalmaksızın biçimlendirilebilir. Doğal deri, gerdirme, şekillendirme veya biçimlendirme işlemlerine uygun yapıdadır. Derinin esnek olması, hemen her alanda kullanılmasını kolaylaştırdığı gibi her şekilde süslenebilmesini de sağlamaktadır. Kalem işi, lake kabare, aplike, yaldızlı bezeme gibi birçok teknik deri üzerine uygulanabilmektedir. Kalınlığı ne-

deniyle doğal deri yüzeyi oyulabilir, kabartma ve baskı yapılabilir haldedir.

Deri ile çalışılırken en önemli nokta, tasarlanan ürüne uygun deri kullanımı ve derinin cilt yüzeyine uygulanan tekniklerde dikkatli ve hassas çalışılmasıdır. Özellikle finisajlanmamış deriler, baskı ve çizilmeye karşı çok hassastır ve bu tür bir hasar geri döndürülemez bir cilt kusuru ile kalite kaybına neden olabilir (Menteş Çolak ve Gürler Karaman, 2019).

Ayrıca, derinin göz ardı edilemez bir diğer özelliği de elde edildiği hayvanın özelliğini ve dokusunu taşımasıdır. Her deri elde edildiği hayvana özgü doku ve yapıya sahiptir. Bunlar sadece hayvanın cins, ırk, yaş, yetiştiği yer ve iklim şartlarından kaynaklı olmayıp, derinin üretildiği süreçte uğradığı modifikasyonlara da bağlıdır. Bu nedenle deri materyali özgün olmakla birlikte, deriden üretilen ürünlerin de desen ve modelleri kendine hastır. Birbirinin aynı doku yapısında iki ayrı deri bulunmadığı gibi, aynı model ve desene sahip ikinci bir deri ürünün üretimi de mümkün değildir. Bu da deri eserlerine, özel, butik bir üretim özelliği kazandırmaktadır.

DERİLERİN ÜÇ BOYUTLU TABLOLARA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNDE KULLANILAN TEKNİKLER

Deri sanatı, ortaya çıktığı günden bugüne çok fazla gelişim göstermiştir. Birçok ürün yapımında kullanılan ve pahalı bir malzeme olan derinin gelişen teknoloji ile birlikte işleme şekilleri de gelişmiştir. Yapılan deri ürünlerinde işlevselliğin yanı sıra, dekoratif olma özelliği, dekoratif ürün denildiğinde ise ürünün işlevselliğinden çok süsleyici özelliği olması ön plandadır (Sözen, 1994).

Süsleme sanatı bir yapıyı, bir eşyayı kullanış amacıyla birlikte göze daha güzel göstermek için çeşitli türlerde yapılan estetik çalışmaların tümü olarak tanımlanmaktadır. Deri ürünlerinde süsleme, malzeme çeşitliliğine ve yaratıcılığa bağlı olarak sınırsız seçenekler sunar ve tasarımcının hayal gücü ile zenginleşen sanatsal çalışmaları kapsar.

Deri üzerine uygulanan başlıca süsleme ve form verme teknikleri kakma (gömme), kabartma, oyma, oturtma, rölyef, birleştirme ve aplike tekniklerdir. Elde şekillendirme teknikleri; derinin doğal karakterini ve işlevini değiştirmeden deriyi güzelleştirmek ve biçim kazandırmak için uygulanan beceriye dayalı tekniklerdir (Ceyhan, 2010).

Şekil vermek için deriler su ile ıslatılarak da kullanılabilmektedir. Özellikle vaketa derilerin ıslandığı zaman kolay şekil alabilme özelliği deriye farklı şekiller vermeyi mümkün kılmaktadır. Uygun süsleme tekniğinde uygun derinin kullanılabilmesi için deri özelliklerinin ve tabaklama türünün deriye kazandırdığı farklılıkların iyi bilinmesi, tasarlanan ürünün istenilen kalite ve görünümde üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Tüketicilerin ürünlere bakış açıları değişmiş, ürün tercihlerinde geçmişin izlerini taşıyan, aynı zamanda da farklı ve modern çizgilerini koruyan arayışlara yönelmişlerdir (Özdemir vd., 2018). Deri lüks bir tüketim eşyasına dönüştürülebilme potansiyeli bulunan mükemmel bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Özellikle son zamanın trendi üç boyutlu (3D veya 3B) tasarımlar lüks evlerin, yatların, uçakların ve arabaların iç dekorasyonlarında sıkça tercih edilmektedir. Tasarımcının hayal gücünün genişliği doğrultusunda yeni bir stil olarak gerçek derilerin 3B formlarda boyanıp şekillendirildiği, temel ve doğal bir malzemeden yükselen yeni bir sanat fikridir. Tüm eserler bir hikâye anlatmak ve insanların iç benliklerini ortaya çıkaran tutumlarını renklendirmek içindir.

İki ve üç boyutlu kavramları kimi zaman birbiri ile karıştırılabilmektedir. Çünkü üç boyutlu görüntü elde edilmeye çalışılırken sık sık iki boyutlu araçlar kullanılmaktadır. Üç boyut geometriden alındığı şekliyle X, Y, Z düzlemleri olarak adlandırılmaktadır. X düzlemi yatay yönü belirtmek için kullanılırken, Y düzlemi dikey yönü belirtmede, Z düzlemi ise, derinliği belirtmede kullanılmaktadır. İki boyutlu bir görüntü ile üç boyutlu bir görüntü arasındaki fark da burada ortaya çıkmaktadır. İki boyutlu görüntülerde Z düzlemi bulunmamaktadır. Derinlik, üç boyutlu bir görüntüyü iki boyutlu bir görüntüden ayıran en önemli farktır (Balaban, 2007).

DERİDEN ÜÇ BOYUTLU HARİKALAR YARATAN SANATÇILAR

Tarafımızdan yapılan araştırma ve kaynak tarama çalışması sonucunda yurtdışında ve ülkemizde bu sanat dalında uğraş veren bazı ustaların eserleri: sanat akımı, kullanılan deri türü, uygulanan şekil verme ve süsleme tekniği bakımından incelenmiştir.

Bunlardan biri Mark Evans, Sorensen Leather ile çalışan genç ve son derece yetenekli deri gravür sanatçısıdır. El işi deri eserleri, dünya çapında lüks evlerde, otellerde ve özel koleksiyonlarda bulunmakta ve yüksek talep görmektedir. Evans'a göre, "En temiz postlar, yemyeşil meralarının olduğu ve derilerini kesen veya derilerine takılan dikenli tel çitlerin olmadığı İskandinavya'dan gelen sığır derileridir". Evans, "Deri antikadır, ama yine de "havalı"dır. Deri kültürel mirastır ama aynı zamanda "rakınrol"dur (ya da "rock 'n' roll"dür). Deri yıllar geçtikçe değerleniyor. Deri erkeksidir. Gladyatörlerden, vahşi batı silâhlı soyguncularına… Ama aynı zamanda deri kadınsı ve şehvetlidir. Hakiki derilerin insanlara hitap eden kendi hoş kokusu vardır. İyi kahve gibi… Plastik, sentetik, dijital bir dünyada deri, nefes alabilen, gerçek, doğal bir malzemedir" (Anonim, 2020). Evans'ın çalışmaları milimetrenin onda birinde mikro heykeltıraşlık içermektedir (Bknz. Fotoğraf 1-4). Ayrıca, bir parçanın bitmesinin aylar sürdüğü ve 500.000£'a kadar getirisi olabileceği bildirilmektedir.



Fotoğraf 1-4. *Mark Evans eserlerinden örnekler (www.sorensenleather.com)*

Clay Banyai, yaklaşık 40 yıl önce ortaokuldaki bir derste öğrendiğinden beri deri işçiliğinin sanata bürünen halinden keyif almış kemerden cüzdanlara ve eyerlere kadar deriden sanat üreten ancak günümüzde de, deriye yepyeni bir teknik ve görünüm kazandıran usta, özel bir sanatçıdır. "Rapid City" adındaki atölyesi, sıradan bir deri parçasının 3B olacağı bir yerdir; birçoğumuzun deri ile ilgili düşündüğümüzden daha fazlası olduğunu kanıtlayan bir yer. Deri sanatçısı Clay Banyai şöyle söylemiştir: "Ben her zaman yaban hayatı, hayvanları sevdim. Bu yüzden bunu bir parça deri ve tüm farklı dokularda yeniden canlandırmak istedim. Deri çizmeleri ve ceketleri görmeye alıştık, ama derinin görselin yıldızı olduğu vahşi yaşam portrelerini görmüyoruz."

Clay Banyai'nin eserlerine bazen başka bir deri parçasıyla küçük detaylar eklense de genellikle sadece tek parça deriden yapılmaktadır. Sanatçı yaklaşık on iki yıl önce geleneksel deri işlerinden, yani bir zamanlar yaptığı süslü eyerlerden 3B deri sanatı yaratmaya geçmiştir. Deri üzerinde oyarak yaptığı hayvan figürleri sadece hayal gücünden kaynaklanmamaktadır. Sanatçıya göre, atölyesinin her köşesindeki deri işleme aletleri, inek derisini "havalı" bir şeye dönüştürmek için beklemektedirler. Bu işlem sırasında bir mermer parçasının üzerine deriyi yerleştirerek tokmakla dövme işini başlattığını ve derinin kabartılarak şekil almasını sağlamak için yüzeye su püskürttüğünü bildirmektedir (Long, 2017). Bu işlem deri parçasının uzamasına neden olmaktadır. Deri dokusunu oymak için ise başka araçlar kullanmakta ve çok detaylı çalışmaktadır (Bknz. Fotoğraf 5-10).








Fotoğraf 5-10. *Clay Banyai eserlerinden örnekler (www.badlandsleather.com)*

Ülkemizdeki tanınmış deri sanatçısı ise 1959 Malatya doğumlu Mehmet Akif Şenoğlu'dur. 1983'te İstanbul'da pek çok disiplinden sanatçının da yer aldığı Akademi Kösele'yi kurarak, 1983-1993 yılları arasında sürdürdüğü çalışmaları yurtiçinde ve yurtdışında yoğun ilgi görmüştür.

Mehmet Akif Şenoğlu, son yıllarda, deri üzerine resim, rölyef ve heykel çalışmalarına Saray Bahçeköy – Istranca Ormanı'nda bulunan atölyesinde, bilgi birikimini öğrencilerine aktararak, hem çeşitli ekip projeleri için çalışarak, hem de bireysel sanat çalışmalarını sürdürerek devam etmektedir (www.akademikosele.com). Sanatçı eserlerini reprodüksiyon, nü ve dekoratif tablolar olarak üretmektedir (Bknz. Fotoğraf 11-14).



Fotoğraf 11-14. *Mehmet Akif Şenoğlu eserlerinden örnekler (www.akademikosele.com)*

Bir diğer örnek, ana yaratıcı trendi güçlü bir bireysel karaktere sahip deri resimleri yaratmak olan, modern bir asamblaj sanatçısı, 1969 Moskova bölgesi doğumlu Rus sanatçı Andrey Korobeynikov'dur. Ahşap oymacılığı, kabartma teknikleri konusunda bilgili olmasının yanında Kaligrafi ve Uygulamalı Sanatlar Fakültesi'nden mezun olmuştur. Karakteri, tutkusu ve sürekli iyimserlik gücü, doğuştan gelen yaratıcılığını ve yeteneğini tam olarak geliştirmesine yardımcı olmuştur. Dünyada benzerleri olmayan üç boyutlu deri resimleri oluşturmak için bir teknoloji geliştirmiştir. Yaratıcılığın mükemmellik sınırı olmadığı iyi bilinmektedir - usta bilgi biriktirir ve becerilerini mükemmelleştirmek için her zaman deri ile deneyler yapar. Andrey Korobeynikov'un çalışmalarına olan ilginin her geçen gün artması şaşırtıcı değildir. Sanatçının çalışmalarının çoğu, hem Rusya'da hem de yurtdışında özel koleksiyonlarda yerini bulmaktadır. Rusya'da Andrey Korobeynikov'ın adı Yaratıcı Sanatçılar Birliği, Dekoratif ve Uygulamalı Sanatlar dalının en iyi sanatçıları listesinde yer almaktadır. Korobeynikov'un Floransa'da "Art Studio" adında deri resim atölyesi bulunmaktadır (Anonim, 2020a). Sanatçı eserlerinde çoğunlukla bu alanda kök salma, izler bırakma isteğinden olsa gerek sonsuza uzanan helezonlar ve özgürce uçuşan formlarla derinin sanat halini gözler önüne sermiş ve kullanımdan ziyade dekoratif yönüne ağırlık vermek istemiştir (Bknz. Fotoğraf 15-17).



Fotoğraf 15-17. *Andrey Korobeynikov'un eserlerinden örnekler (https://www.saatchiart.com/ankor)*

Günümüzde süslemeli deri eşya üretimi gittikçe önem kazanmaktadır. Bunun başlıca nedeni derinin doğal bir malzeme oluşu ve modern eşyalarla uyum sağlama özelliğidir (Odabaşı ve Özdemir, 2018). Son yıllarda yeni ve farklı tasarımlara duyulan ihtiyaç tasarımcıları da yeni arayışlara zorlamaktadır. Örneğin temel amacı yama ve onarım olan aplike, bu arayış içinde, malzemelerin yeniden kullanımından uzaklaşarak, çağdaş yaklaşımlarla sürekli gelişmekte ve yeniden yorumlanmaktadır (Bknz. Fotoğraf 18). Kullanıldığı alanlara farklı anlamlar yükleyebilmek, desenleri güçlendirmek, görselliği zenginleştirmek ve gösterişli bir ifade kazandırmak

için oldukça önemli bir yer edinmektedir. Yaratıcılıkta bir ifade dili olarak da nitelendirilen süsleme de, değişen beğeni ve çevresel koşullar çerçevesinde yeniden şekillenmektedir. Aplike eski yama özelliğinden tamamen kurtulup, kullanıldığı alanları çarpıcı hale getirmek ve göze daha güzel göstermek için bir süsleme yöntemi olarak kullanılmakta (Özdemir vd., 2018), tasarımcının zevkine, maharet, yaratıcılık ve yorumlamasına göre şekillenip yeni tasarımların üretiminde yerini almaktadır. Ayrıca, aplike hâlihazırda renkli deri hurdalardan oluşan çarpıcı dekoratif yastıkları, vazoları ve duvar dekorlarını, eski deri aksesuarları ve kıyafetleri, çantaları, eldivenleri, kemerleri ve ceketleri geri dönüştürmenin yaratıcı bir yoludur. Yayında yer alan bazı eserlerde gözlemlenen estetik, uçuşan saçlar, yeleler, kıvrımlar deriyi daha naif ve kadınsı hale getirmiştir.



Fotoğraf 18. *Kazakistan'lı bilinmeyen bir sanatçının eseri (M. Kaygusuz arşivinden 2019)*

SONUÇ

Deri, resim veya tablolara, duvar panolarına sınırsız tasarım potansiyeli getiren inanılmaz derinlik ve boyutta bir malzemedir. Bu çalışmada, derinin bilinen kullanım alanlarının dışına çıkarak dekoratif iç mekân tasarımında kullanılabilecek harika eşyaların yapılabileceği gösterilmektedir. Günümüzde insanoğlunun vazgeçilmezleri ve temel ihtiyaçları arasında olan seçkin bir materyale bir sanatı uygulayarak daha fazla insana ulaşmak mümkündür. Hem deri işlemedeki sanatsal değerin tekrar canlandırılması, hem de uygulama alanı çok geniş olan deriyi kullanarak günümüzün ihtiyaçlarına göre yeni ve çok çeşitli ürünlerin ortaya konulması ile olduk-

ça geniş bir kitleye hitap edilmesi ümit vericidir. Son yıllarda, bulunduğu mekâna estetik değer katan iç dekorasyonda üç boyutlu tablo ve duvar panoları, resim gibi ürünler günlük yaşamda önemli yer tutmaktadır. Bu tür sanat eserleri, bulunduğu ortama doğallık, büyüleyici güzellik, özgün bir tarz, benzersiz bir tasarım, sosyal bir statü, zariflik ve ayrıcalık katmaktadır. Bu nedenle, deri sanatçıları bu malzemeye sadık kalmaya ve sürekli yeni tasarımlar ortaya koymaya devam etmektedirler.

Kaynaklar

Anonim, 2020. Mark Evans. https://sorensenleather.com/collaborations/mark-evans/ erişim tarihi 18.05.2020.

Anonim, 2020a. Andrey Korobeynikov. https://www.saatchiart.com/ankor erişim tarihi 20.05.2020.

Balaban, Y. 2007. Üç Boyutlu Bilgisayar Grafiklerinin Sinema Filmleri İçinde Kullanımı: "Mumya", "Küçük Kardeşim" ve "Matrıx" İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İletişim Tasarımı Ana Bilim Dalı, 192 s., İstanbul.

Ceyhan, Y. 2010. İstanbul'da Dekoratif Ürünlerde Deri Kullanımı ve Ürün Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, El Sanatları Eğitimi Ana Bilim Dalı, 236 s., Konya.

Long, S. 2017. 3-D Leather Art on the Wild Side: "Along the Way". https://www.blackhillsfox.com/content/news/3-D-Leather-Art-on-the-Wild-Side--Along-the-Way-419224274.html erişim tarihi 20.05.2020

Menteş Çolak, S., Gürler Karaman, D. 2019. Saraciye Ürünlerinde Süsleme Teknikleri. "Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler" Kitabı, Editörler: Başyiğit Kılıç, G., Çifçi, A., Yılmaz, A. Gece Akademi, Ankara, 99-116.

Odabaşı, E., Özdemir, M. 2018. Deri Yüzey Süslemede Kullanılan Dival İşi Tekniği İle Yapılmış Bazı Deri Ürünler. Vocational Education, 13(3), 32-51.

Özdemir, M., Odabaşı, E., Eken, Y. 2018. Deri Yüzey Süslemede Kullanılan Aplike Tekniği, İdil dergisi, 7(50), 1207-1214.

Sözen, M., Tanyeli, V.(1994). Sanat Kavramı ve Terimleri Sözlüğü, İstanbul. Remzi Kitapevi.

Toptaş, A. (1993), Deri Teknolojisi, İstanbul: Sade Ofset Matbaacılık.

Yıldız, N. (1993). *Eski Çağda Deri Kullanımı ve Teknolojisi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.

İnternet kaynakları

https://sorensenleather.com/imagebank/mark-evans/ erişim tarihi 20.05.2020

http://www.akademikosele.com/hakkinda/ erişim tarihi 20.05.2020

https://www.saatchiart.com/ankor erişim tarihi 20.05.2020

http://badlandsleatherart.blogspot.com/ erişim tarihi 20.05.2020



Bölüm 14

BİYOTEKNOLOJİK ÜRETİMLERDE KATI KÜLTÜR FERMANTASYONU UYGULAMALARI VE BİR BİYOREAKTÖR TASARIMI ÖRNEĞİ

Sait SARGIN[1]

1 Doç. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü, saitsargin@gmail.com

1. Giriş

Mikrobiyal kaynakların kullanıldığı biyoteknolojik endüstriyel üretimler başlıca iki fermantasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birincisi ve endüstride en yaygın kullanım alanı bulan derin kültür fermantasyonu, diğeri ise katı kültür fermantasyonudur. İki fermantasyon işlemi arasındaki temel fark üretim ortamında bulunan serbest su miktarıdır. Derin kültür fermantasyon işlemleri, yoğun sıvı kütlesi içerisinde çözünen, yarı çözünen veya çözünmeyen formda substratların yer aldığı üretim sistemleridir. Mikroorganizmalar istenilen dönüşümü süspanse halde içinde bulundukları sıvı ortam içerisinde gerçekleştirerek çeşitli hücre içi ve hücre dışı değerli ürünleri üretirler. Katı kültür fermantasyonu (KKF) ise serbest suyun bulunmadığı nemlendirilmiş katı substratlar ya da inert katı destek materyalleri üzerinde mikroorganizmaların üretimini içeren bir fermantasyon işlemidir (Pandey vd., 2001; Prabhakar vd., 2005; Abdul Mannan ve Webb, 2017) KKF'da mikroorganizma metabolik faaliyeti için ihtiyaç duyduğu suyu katı materyaldeki nemden karşılamaktadır. İngilizce literatürde "Solid state fermentation " yani bire bir çeviri yapıldığında "katı hal fermantasyonu" olarak olarak ifade edilen bu fermantasyon işlemi bu makale kapsamında Türkçe ile uyum sağlanması açısından "katı kültür fermantasyonu" olarak ifade edilecektir. Nitekim literatürümüzde derin kültür fermantasyonu "sıvı kültür" olarak ifade edilebildiğine göre "katı kültür" terimi de Türkçe açısından daha anlaşılabilir ve ayırt edici olmaktadır.

Bilinen klasik gıda fermantasyonları ve enzim üretimi KKF ile ortaya çıkmıştır. Tarihte tipik KKF örnekleri uzak doğu kaynaklı geleneksel fermente gıdaların üretiminde kullanılan yöntemlerdir. Bunlardan "koji" olarak adlandırılan yiyecek üretimi M.Ö. 1000 döneminden bu yana yapılmaktadır. Bu işlem, buhar ile muamele edilmiş pirincin substrat olarak kullanımını ve *Aspergillus oryzae* ile fermente edilmesini içermektedir. Endonezya kökenli bir başka örnek ise "tempeh" üretimidir. Bu işlem patojen olmayan *Rhizophus* spp. organizmaların soya üzerinde fermantasyonu ile gerçekleştirilir (Pandey et al., 2001; Mienda vd., 2011). Bu fermente yiyeceklerde çoğu zaman temel amaç karbonhidrat açıdan zengin olan bir gıdanın proteince zenginleştirilmesi olduğu gibi bazen de substratın tamamıyla zenginleştirilmesi söz konusu olmamaktadır. Bu gıdaların spesifik olarak dolaylı yollardan zenginleştirilmesi, sindirilebilirliğinin arttırılması toksinlerin uzaklaştırılması, organik azot içeriğinin değişimi ve tat, koku, doku gibi karakteristiklerin geliştirilmesi yolları ile de mümkün olmaktadır (Mitchell and Berovic, 1998).

Günümüzde yukarıda belirtilen klasik fermente gıda üretimlerinin yanı sıra büyük ölçeklerde biyokompost üretimi ya da kültür mantarcılığı üretimleri de hali hazırda yapılmakta olan KKF üretim örnekleri olarak sa-

yılabilir. Ancak KKF ile çok çeşitli biyo-ürünün üretimi mümkün olmakta ve bu alanda yeni üretim istemleri ve biyoreaktör tasarımları ile ilgili çok sayıda çalışma yayınlanmaktadır.

Bu makale kapsamında katı kültür fermantasyon işlemlerinin temel özellikleri, kritik parametreler ve biyoreaktör tasarımlarının yanı sıra çalışma grubumuz tarafından tasarlanan tepsili biyoreaktör sistemi hakkında bilgi aktarılmaktadır.

2. Katı kültür fermantasyonunun avantajları nelerdir?

KKF yönteminin kullanımının derin kültür üretim tekniğinin kullanıldığı sistemlere göre çeşitli avantajları vardır. Sistemin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. Ucuz, düşük değerli ve sürdürülebilir hammaddelerin kullanımı,

2. Az miktarda su kullanımı ve substratın konsantre olması,

3. Spor üreten fungal kültürlerin kullanılması durumunda direkt olarak spor aşılaması yapılmasına imkan vermesi, aşı tankına ihtiyaç duyulmaması,

4. Elde edilen ürünün derişik olması nedeni ile ayırma/saflaştırma işlemlerinin maliyetinin düşük olması,

5. Verimin derin kültür sistemlerindekine eşit ya da daha yüksek olması nedeniyle küçük büyoreakör hacimleriyle çalışılabilmesi,

6. Sıvı atık miktarının ya çok düşük olması ya da hiç olmaması,

7. Üretim sonrası geriye kalan fermente katı kısmın da hayvan yemi olarak değerlendirilebilmesi (Haltrich vd., 1996; Raimbault, 1998; Mitchell ve Berovic, 1998; Pandey vd., 2001).

8. Katı kültür fermantasyon tesisi, aynı kapasitede bir derin fermantasyon tesisine oranla önemli ekonomik avantajlar içermektedir. Üretilecek enzim tipine göre:

- Toplam yatırım %50-80 daha azdır.
- Enerji harcaması %30-60 daha azdır.
- Ana hammadde % 50-70 daha ucuzdur (Pandey vd., 2001; Mitchell vd., 2006).

Şüphesiz her üretim yönteminin avantajlarının yanı sıra dezavantajları ya da dar boğazları yer almaktadır. Bu dezavantajlar ilerideki bölümlerde belirtilecektir.

3. Katı kültür fermantasyonu ile hangi ürünler üretilebilir?

KKF genel olarak biyoremediasyon, zararlı maddelerin biyolojik olarak parçalanması, agro-endüstriyel atıkların biyolojik detoksifikasyonu tahılların ya da yan ürünlerinin besinsel açıdan zenginleştirilmesi amacıyla biyo-dönüşümleri, ikincil metabolitler gibi katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesi, enzimler, organik asitler, biyoyakıtlar, biyo kontrol ajanı ve pigment maddeleri üretimi gibi çok sayıda uygulama alanları bulmuştur (Raimbault, 1998; Robinson vd, 2001; Abdul Manan ve Webb, 2017; Sadh vd., 2018).

Yukarıda belirtilen üretimlerin haricinde yine klasik olarak değerlendirebileceğimiz iki üretim de KKF üretim sistemlerinin ilgi alanı içerisindedir. Bunlardan birincisi uzun yıllardır yapılan kültür mantarı üretimleridir. Kültür mantarcılığı, beyaz şapkalı mantar olarak bilinen *Agaricus bisprous'*un kompost ortamında üretilmesi temeline dayanır. Bu üretim genellikle at ve tavuk gübreleri ve saman ana bileşenlerinden oluşan ortamın kompostlaştırılması sonrasında mantar misellerinin uygun sıcaklık ve nem koşullarında üretimini ve şapka oluşturmasını içermektedir. Bir başka mantar türü *Pleurotus spp.* ise genellikle nemlendirilmiş talaş ve buğday kepeği ve buğday samanı üretim ortamı olarak kullanılmaktadır (Eren ve Pekşen, 2016). İkinci klasik KKF uygulaması ise biyokompost üretimdir. Kompostlama, gübre, biyolojik arıtma tesisi çamuru, bitkisel atıklar ve yiyecek atıkları gibi organik maddelerin mikroorganizmalar vasıtasıyla kompost adı verilen yapıya dönüştürüldüğü biyolojik bir işlemdir. Kompostlamada şartlar kontrol altına alınarak organik maddelerin daha hızlı parçalanması sağlanır. Bu sayede özellikle aerobik olan aşamadan organik maddelerin koşullarda mikroorganizma karışımları vasıtası ile karalı hale getirildiği bir işlemdir. Kompostlama böylece ham maddeleri değerli toprak şartlandırıcısına dönüştürürken onların hem hacmini hem de ağırlığını azaltır (Tweib vd., 2011).

Bu klasik örneklerle birlikte son on yıldaki çalışmalara bakıldığında KKF yönteminin özellikle enzim üretimi konusunda kullanıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu enzimler, başlıca selülazlar, hemiseülazlar, proteazlar lakkaz, lipaz ve amilazlar olarak sıralanabilir (Soccol vd., 2017). Tablo 1' de bu çalışmalar özet halinde yer almaktadır. Burada yer alan alan çalışmalar hem laboratuvar ölçeğinde hem de pilot ölçekte yapılan çalışmaları içermektedir. Ayrıca Tablo 1'de KKF ile ilgili üretimlere örnek teşkil eden farklı uygulamalar da özet olarak sunulmuştur. Ürün çeşitliliğine bakıldığında KKF yönteminin birçok potansiyel uygulama alanı olduğu görülmektedir.

3.1 Hammaddeler (substratlar):

KKF'da kullanılan substratlar genellikle tarımsal kökenlidir. Dolayısıyla ülkemiz gibi tarıma dayalı endüstrileri olan ülkeler açısından çok geniş bir yelpazede hammadde kullanabilme olanağı mevcuttur (Sadh vd., 2018).

Tablo 1. *Katı kültür fermantasyonu ile üretilen çeşitli ürünler.*

Ürün/işlem	**Mikroorganizma**	**Kaynak**
Proteince zenginleştirme	*Trichoderma harzianum* EMCC 540 *Rhizophus oryzae*	Abo Siada vd., 2017 Kupski vd., 2012
Detoksifikasyon Kafein uzaklaştırma	*Rhizopus oryzae* *Aspergillus oryzae*	Londoño-Hernandez vd., 2019 Chen vd., 2014.
Proteazlar	*Aspergillus niger* LBA02 *Trichoderma viride* IR05.	Castro vd.. 2015 Irfan, vd., 2014
Amilazlar	*Aspergillus oryzae* S2 *Thermomyces* sp.	Sahnoun vd., (2015) Cerda, vd., 2016
Selülazlar	*Aspergillus niger NRRL 2001*	Dhillon vd., 2012.
Lipazlar	*Schizophyllum commune ISTL04*	Singh vd., (2014)
Lakkaz	*Trametes versicolor* *Pleurotus ostreatus*	Aydınoğlu ve Sargın, 2013. El-Batal vd., 2015
Ksilanaz	*Trichoderma viride-IR05* *Aspergillus tubingensis FDHN1*	Irfan, vd, , 2014 Adhyaru vd., 2016.
Sitrik asit Laktik asit	*Aspergillus ornatus ve Alternaria alternata* *Rhizopus oryzae 1526*	Ali vd., 2016. Das vd., 2015.
Giberallik asit	*Giberella fujukiroi*	Machado vd., 2002.
Antibiyotikler Meroparamycin Penisilin	 *Streptomyces sp MAR01* *Penicillium chrysogenum* NRRL 1951	 El- Naggar vd., 2009 Gonzales vd., 1988.
Pigmentler	*Monascus purpureus*	Srianta vd., 2016.
Biyolojik kontrol ajanı	*Trichoderma harzianum EGE K38* *Trichoderma viride*	Sargın vd., 2013. Bai vd., 2008.

Genel olarak kullanılan substratları içeriklerine göre 3 gruba ayırmak mümkündür:

- Nişasta içeren substratlar (pirinç, cassava, , mısır, patates artıkları, muz artıkları vb.)
- Lignoselülozik substratlar (buğday kepeği, pirinç kepeği,saman, ağaç parçaları talaş vb)
- Çözünür şekerleri yapısında bulunduran substratlar (şeker pancarı, üzüm küspesi, meyve artıkları, vb)

Birçok durumda substratın ön işlemden geçirilmesi gerekli olabilir. Uygulanan ön işlemler mekanik ya da kimyasal işlemlerdir. Buhar uygulama, kırma, taneleme, su ile tavlama, küçük parçalara ayırma, elekten geçirme, öğütme, asit, alkali ya da NaCl ile muamele etme bu işlemler arasında sayılabilir (Mitchell ve Berovic, 1998; Stuart vd., 1999; Pandey, 2001, Sadh vd., 2018). Özellikle uygulanan ısıl ve kimyasal yöntemlerin amacı sıkıştırılmış bir yapıdaki substratın yapısındaki çeşitli bağların kırılması yoluyla mikroorganizmanın penetrasyonunu kolaylaştırmaktır (Pandey, 2001).

Yukarıda belirtilen substratların yanı sıra KKF işlemleri inert katı maddelerin destek materyali olarak kullanıldığı, besin elementlarin karbon ve enerji kaynağı olarak yer almayan bu inert materyaller üzerine emdirilerek üretimlerin gerçekleştirilme olanağını sunmaktadır. Özetle, KKF işlemlerinde kullanılan hammaddeler direkt olarak karbon ve enerji kaynağı olan substratlar olabileceği gibi karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmayan inert destek materyallerine çeşitli besin elementlerinin eklenmesi sureti ile de gerçekleştirilebilir. Zeolit gibi inert inorganik materyaller üzerinde yapılmış başarılı üretim çalışmaları mevcuttur (Sargin vd., 2013)

Şüphesiz yüksek verim beklentisi olan bir üretimin başarısı uygun substratın seçilmesine bağlıdır. Hedeflenen üretim için yapısında kritik olan maddeleri barındıran substratlar tercih edilmelidir. Örneğin fenolik maddeler ile indüklenebilen bir enzim üretimi için fenolik madde açısından zengin olan bir substratın tercih edilmesi daha olumlu olacaktır (Aydınoğlu ve Sargın, 2013).

3.2 Mikoorganizmalar

KKF işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan mikroorganizma grubu funguslardır. Bunun sebebi KKF üretimlerinin fungal türlerin doğal ortamlarına çok benzer bir ortam oluşturulmasıdır. Doğada fungusların ağaç kabuklarında yapraklarda, düşük nemli birçok ortamda üreyebildikleri düşünüldüğünde bu durum daha iyi anlaşılmaktadır. Ancak KKF ile yapılan çalışmalarda farklı mikroorganizma türlerinin doğal substratlar ya da inert

materyallere besin elementleri emdirilmek suretiyle gerçekleştirildiği çalışmalar da azımsanmayacak düzeydedir (Abdul Manan ve Webb, 2017). Bu üretimlerde bakteriler mayalar ve aktinomiset türleri de kullanılmaktadır (Mienda vd., 2011).

3.3 Partikül boyutu

KKF'da en önemli fiziksel özellik partikül boyutudur. Partikül büyüklüğü yüzey alanının hacme oranını belirleyen bir niceliktir. Partikül boyutu aynı zamanda partiküller arasındaki boşluk hacmini de etkileyen bir faktördür. Küçük boşluklar fungal miseller tarafından kolaylıkla doldurulmaktadır ve difüzyonu büyük oranda kısıtlayarak havalandırmalı sistemlerde yüksek basınç düşmelerine neden olmaktadırlar (Raimbault, M., 1998). Değişik boyutta partiküller söz konusu ise küçük partiküller, büyük partiküllerin arasındaki boşlukları doldurarak toplam boşluk hacmini düşürmektedirler (Pandey, 1991).

Genel olarak bakıldığında küçük partikül boyutu yüksek ara yüzey alanı sağlaması açısından tercih edilmelidir. Ancak çok küçük boyutta unsu yapıda partiküller kullanıldığında nemlendirme sonrası kümeleşmeler oluşmakta ve bu durum kütle transfer sorunlarına yol açmaktadır. Tüm bu nedenlerle üretimde kullanılacak substratın seçiminden sonra partikül boyutu optimizasyonu yapılması üretim verimi açısından oldukça önem taşımaktadır.

3.4 Nem

Mikrobiyal üremeyi etkileyen başlıca faktör su aktivitesidir (a_w). Ancak ortamdaki mevcut su miktarının yani nemin ölçümü daha kolaydır. Su miktarı, bir materyalin ağırlığının su tarafından oluşturulan yüzdesidir. Su aktivitesi ise materyalin buhar basıncının aynı sıcaklıktaki suyun basıncına oranıdır ve mikroorganizma için elverişli olan su miktarını ifade eder. Farklı substratlar değişik su tutma kapasitesine sahip olduklarından serbest suyun görünür hale geldiği düzeyler değişmektedir. Bu nedenle KKF işlemlerinde nem miktarları kullanılan substrata göre %30 ile %85 arasında değişmektedir (Mitchell vd., 2006). Bunun yanında nem ile a_w arasındaki ilişki de geniş bir aralıkta doğrusal olarak değişmemektedir. Nem miktarındaki büyük artışlar a_w de küçük değişimlere sebep olabilir (Pandey et al., 2001). Nemin mikroorganizma fizyolojisi üzerine olan direkt etkisinin yanısıra substrat karakteristiklerini değiştiren etkileri de vardır. Yüksek nem oranı partiküller arasında gazların yer değiştirmesine ve substrat partiküllerinin kümeleşmelerine neden olmaktadır. Her iki durum da gaz difüzyon kısıtlamalarının oluşumunu hızlandırır. Ayrıca yüksek nem oranı, substrattaki çözünebilen besin öğelerinin substrat dışına çıkmasını kolaylaştırmaktadır (Cannel ve Young, 1980).

Tüm bu gerekçelerle nem oranı, KKF üretimlerde kullanılan organizmanın özelliklerine ve substratın özelliklerine bağlı bir parametre olması dolayısıyla yapılması planlanan bir üretimin başlangıcında optimize edilmelidir. Ayrıca üretim süreci boyunca nemin korunması da birçok üretim açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu hususa nem sıcaklık ilişkisinde değinilecektir.

3.5 Sıcaklık

Metabolik aktivite sonucunda oluşan sıcaklık artışı fermantasyon işlemlerinde önemli sorunlar yaratmaktadır. KKF'da sıcaklık kontrolü derin kültür fermantasyonuna göre daha zordur. Homojen olmayan substrat özellikleri nedeniyle sıcaklık gradyanları oluşmaktadır. Bu durum sistemde ısı transferini güçleştirerek bölgesel sıcaklık artışlarına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda mikrobiyal gelişim yavaşlamakta ya da bazı durumlarda mikrobiyal hücreler ölmektedirler. Bu nedenle oluşan ısının sistemden uzaklaştırılması gereklidir. KKF sistemleri tasarımında göz önüne alınması gereken en önemli kriterlerden biri de ısının uzaklaştırılmasıdır (Mitchell vd., 2000; Mitchell vd., 2006). KKF'da kullanılan birçok mikroorganizma mezofiliktir. Optimum üreme sıcaklığı 20°C ile 40°C arasında değişmektedir. Maksimum üreme sıcaklığı ise 50°C'nin altındadır (Pandey vd., 2001).

3.6 pH

Mikrobiyal gelişim substratın pH değerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Substratın tamamıyla okside edilememesi ya da amonyum iyonlarının bünyeye alınması sonucunda pH düşerken ürenin ya da diğer aminlerin deaminasyonu sonucu amonyum iyonlarının açığa çıkması ile pH yükselir. pH değişimlerinin şiddeti, mikroorganizmanın metabolik aktivitesi ve substratın tamponlama kapasitesi ile bağlantılıdır. Üretim sırasında pH değeri mikroorganizmanın gelişimini engelleyecek düzeye gelebilir. Ancak KKF'da pH kontrolu oldukça zordur. Katı materyaldeki pH değerinin ölçümü tekrarlanabilir sonuçlar vermediğinden pH ancak dolaylı yöntemlerle ölçülebilmektedir (Mitchell vd., 2006). Fermente materyalin ekstrakte edilerek pH değerinin ölçülmesi en yaygın olarak kullanılan dolaylı yöntemdir. Ancak çeşitli üretimlerde (organik asit üretimi gibi) pH düşüşleri baştan ön görülerek üretim ortamına $CaCO_3$ gibi tamponlayıcı maddeler eklenerek pH düzeyinin üretim boyunca korunması da sağlanabilmektedir (Pandey, 2001)

Başarılı bir üretim için önerilebilecek bir başka husus ise geniş bir pH aralığında üreyebilen mikroorganizmaların seçilmesi olacaktır (Mitchell ve Berovic, 1998).

3.7 Havalandırma ve karıştırma

KKF işlemlerinin büyük çoğunluğu aerobik koşullarda gerçekleştirilmektedir. Gaz fazı katı partiküller ile temas halindedir ve katı partikül üzerindeki sıvı tabakasına oksijen transferi için oldukça geniş bir yüzey alanı mevcuttur. KKF'da temel hedef, partiküller arasında yüksek oksijen bulunmasını sağlarken karbondioksit miktarının düşük seviyede tutulmasıdır (Desgranges ve Durand, 1990). Havalandırmada göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta da biyoreaktöre giren havanın kalitesi ve nemidir. Doygun hava kullanımı substratın kurumasını ve su aktivitesinin düşmesini önlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak bu uygulama her zaman tavsiye edilmemektedir. Havalandırmanın bir fonksiyonu da fermantasyon sırasında oluşan ısıyı uzaklaştırmaktır (Murthy vd., 1993). Suyun buharlaşması ve çevre ile yapılan ısı transferi işlemleri fermantasyon sıcaklığını istenilen düzeyde tutmayı sağlayan işlemlerdir. Dolayısıyla nemin korunması ve aynı zamanda ısının uzaklaştırılması gibi çelişkili iki durum söz konusudur (Mitchell et al., 1999).

KKF'da heterojen yapıyı düzenlemek üzere yapılabilecek işlemlerden birisi de karıştırma işlemidir. Karıştırma, oluşan gradyanları ortadan kaldırarak homojen bir yapı meydana getirmeyi sağlar. Ancak özellikle fungal kültürlerin kullanıldığı sistemlere karıştırma uygulandığında misellerin zarar gördüğü belirtilmektedir (Purkarthofer vd., 1993). Bunu aşmak için kesikli bir karıştırma işlemi uygulandığında genellikle olumlu sonuçlar alındığı belirtilmektedir (Kalegoris vd., 2003). Bakterilerin kullanıldığı üretimlerde ise eğer hücreler substrat üzerinde çok sıkı bir yapı oluşturmamışlarsa sürekli bir karıştırma işleminin biyokütle verimini arttırdığı belirtilmektedir (Pandey vd., 2001).

4. Katı kültür fermantasyon işleminin tipik aşamaları

KKF üretimlerini etkileyen kritik parmatrelerin incelenmesinden sonra tipik bir üretimdeki aşamaların irdelenmesi faydalı olacaktır. KKF ile bir üretimde planlandığında tipik üretim aşamaları aşağıdaki gibidir:

Substratın hazırlanması

Bölüm 3'te substrat seçimi ve partikül boyutunun KKF açısından önemine değinilmişti. Seçilen substratın fiziksel ön işlemlerden (boyut küçültme, eleme vb). geçirilmesi substratın hazırlık aşamasını oluşturmaktadır.

Substratın nemlendirilmesi ve sterilizasyonu

Substratın nemlendirilmesi işlemlerinde genel olarak distile su kullanılmaktadır. Ancak substratın çeşitli besin elementleri açısından fakir olduğu durumlarda bu nemlendirme suyunun içerisine çeşitli besin ele-

mentleri takviyesi yapılabilmektedir.Saf kültürler ile yapılan üretimlerde sterilizasyon gerekliyken, bazı üretimlerde yalnızca patajen organizmaları elimine etmek amacıyla pastörizayon işlemi uygulanabilmektedir. Örneğin biyokompost üretiminde substrat yığınının sıcaklığının 60 ^{0}C üzerine çıkması ve bu sıcaklıkta belirli süre bekletilmesi ile patajon organizmaların eliminasyonu gerçekleştirilebilmektedir.

Üretimde kullanılacak olan fungal kültürden elde edilen sporların aşılanması

Daha önce de belirtiliği gibi KKF üretimlerinde en yaygın olarak kullanılan mikroorganizma grubu funguslardır. Üretim açısından fungal kültürlerin kullanımı bir çok avantaj sunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de aşılama işleminin sporlar ile gerçekleştirilmesidir. Derin kültür işlemlerinde bir çok durumda büyük çaplı üretimler için aşı hazırlama tankına ihtiyaç duyulurken KKF üretimlerinde sporların laboratuvar çapında çoğaltılıp biyoreaktöre aşılanması mümkündür. Aşı oranı ve aşıdaki spor miktarı kullanılan suşa ve substrata bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle üretimlerde optimize edilmesi gereklidir.

Fermantasyon (biyodönüşüm aşaması)

Bu aşamada, üretim mikroorganizmanın üremesi için uygun sıcaklık, pH ve havalandırma koşullarında (kontrollü koşullarda)üretilmesi gerçekleştirilir. Laboratuvar çapındaki üretimlerde 250 ml hacimli pamuk tıpalı erlenmayerlerde 5- 10 g üretim ortamı, 500 ml hacimli pamuk tıpalı erlenmayerlerde 10-20 g üretim ortamı ile sıcaklık kontrollü inkübatörlerde üretimler başarıyla gerçekleştirilebilmektedir. Biyoreaktör üretimlerinde ise substrat miktarı ve ortam koşullarının kontrolü farklı tasarımlarla kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Bu konu ile ilgili bilgiler bölüm 5'te sunulacaktır.

Üretim sonrası işlemler

Üretim sonrası işlemleri de iki gruba ayırmak mümkündür:

1. Üretilen fermente ortamın son sürün olduğu üretimler. Birçok üretimde (fermente gıdalarda olduğu gibi) üretim ortamı üzerinde geliştirilen organizma üretim ortamı ile birlikte son ürün formülasyonuna tabi tutulur. Genellikle elde edilen ürünün raf ömrünü arttırmak üzere son ürünün kurutulması söz konusu olmaktadır. Bu üretimlerde biyoreaktör içeriği çeşitli kurutma yöntemleriyle hatta bazı durumlarda çeşitli protektan maddelerin de eklenmesiyle kurutularak formüle edilebilmektedir (Sargın vd., 2013).

2. Üretilen ürünün hücre dışı bir metabolit olması. KKF üretimlerinde üretilen ürünün son ürün olması durumunda ekstrakte edilerek biyokütt-

leden ve üretim ortamında ayrılması gerekir. Yaygın olarak enzim üretim işlemlerinde ekstraksiyon aşaması distile su eklenmesiyle gerçekleştirilir. Literatürde 1 kısım katıya 3 ya da 5 kısım su eklenmesiyle ve yarım saatten az olmayan ve karıştırma yapılan bir temas süresinin sağlanmasıyla enzimi sıvı faza aktarmak mümkündür (Pandey, 2001, Mitchell vd., 2006). Enzimin pH değişimlerine hassas olması durumunda tompon çözeltiler kullanılarak ekstrakte edildiği surumlar da vardır (Pandey 1991).

5. Katı kültür fermantasyonunda kullanılan biyoreaktör tipleri

KKF sistemlerinde kullanılan subtratın ve üretim koşullarının çoğu zaman heterojen bir karakter sergilemesinden dolayı mikrobiyal gelişim kinetiği, üretim sırasındaki besin gereksinimleri, ürün oluşum kinetiği ve mikrobiyal aktivitenin kontrolü ile düzenlenmesi konusunda yeterli bilgi edinilememektedir (Mitchell vd., 2000). Ancak ideal bir üretim için tasarımı yapılacak olan biyoreaktörün genel olarak aşağıdaki koşulları sağlaması beklenir;

- Sterilizasyon işlemine uygun olmalı ve kontaminasyona olanak vermemeli ,
- Fermente edilen substratın kızışmasını (ısı artışını) önleyecek ekipmana sahip olmalı,
- Isı ve kütle iletimini arttıracak ve homojen bir dağılım sağlayacak karıştırma sistemi olmalı,
- Oksijen ihtiyacını karşılamak üzere havalandırma sistemi

olmalı,

- Önemli üretim parametrelerinin ölçümünü sağlamalı ve inokulasyon ve örnek alma işlemlerinin yapılacağı ekipmanlara sahip olmalıdır (Mitchell ve Berovic, 1998).

KKF'da kullanılan biyoreaktörlerin dizaynı önemli aşamalardan biridir. Son 20-30 yıllık zaman aralığında KKF için değişik biyoreaktör tasarımları yapılmıştır. KKF işlemlerinde fizyolojik yapıların farklılığı ve ısının uzaklaştırılması gerekliliği nedeniyle derin kültürde ölçek büyütme işlemleri için uygulanan yöntemlerin KKF sistemlerine doğrudan uygulanması mümkün değildir. Derin kültürde aerobik koşullarda oksijen transferi kısıtlayıcı faktör olarak görülmekteyken, KKF işlemlerinde ısı uzaklaştırma temel kriterlerden birisidir (Oostra vd., 2000).

KKF işlemlerinde yapılan reaktör tasarımlarında temel olarak üç çeşit reaktör tipine rastlamak mümkündür.

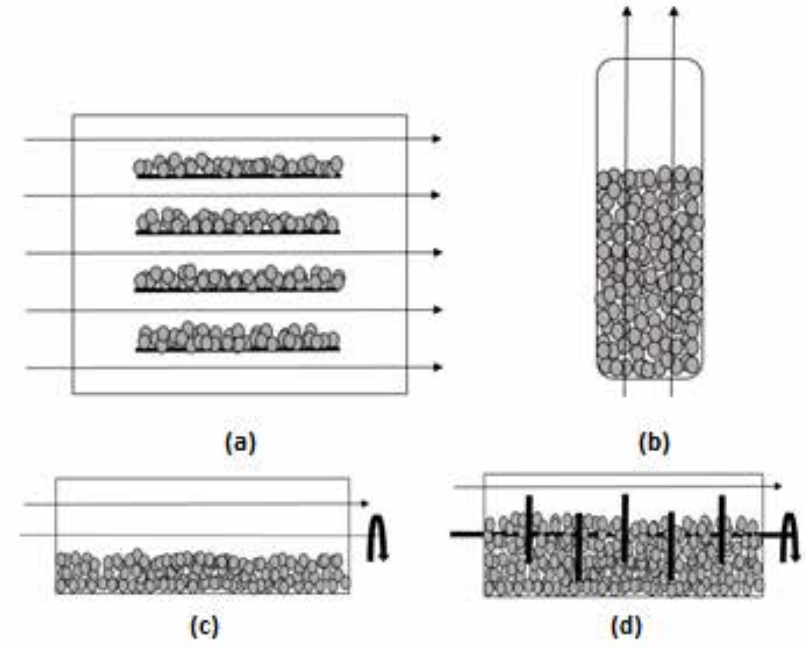
- Yüzeyden havalandırılan tepsili reaktörler (Durand vd, 1993; Mit-

chell vd., 2000; Mitchell vd., 2006).

- Dolgulu kolon reaktörler (Mitchell vd., 1999; Mitchell vd., 2000; Mitchell vd., 2006)
- Döner tamburlu (karıştırmalı) reaktörler (Almanza vd., 1995; Mitchell vd., 2000; Mitchell vd., 2006).

5.1 Tepsili biyoreaktörler

Bu reaktör tipinde yan yana ve üst üste sıralanmış bir dizi tepsinin üzerinden kontrollü sıcaklık ve neme sahip olan havanın sirküle ettirilmesi söz konusudur (Şekil1a) Kullanılan tepsilerin üst yüzeyleri açık alt kısımları ise gözeneklidir. Tepsi içerisine yerleştirilen substrat katmanının kalınlığı 5-15 cm arasında değişmektedir (Pandey vd., 2001) Bu reaktör çeşidi ile ilgili olarak eski dönemlerden günümüze değin yeni sayılabilecek modifikasyonlar ve ilerlemeler kaydedilmemiştir (Mitchell vd., 2000).



Şekil 1. *Katı Kültür biyoreaktör tipleri: a) Tepsili b) Dolgulu kolon c) Döner tambur d) Karıştırmalı tambur (oklar hava akış yönünü göstermektedir).*

Bu biyoreaktör çeşidinde çeşitli ısı ve kütle aktarımı sorunları olduğu belirtilmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri substrat katmanının orta noktasındaki sıcaklık artışlarına bağlı olarak mikrobiyal gelişimin yavaşlamasıdır. Bunun için substrat katmanı kalınlığının optimizasyonu zorunludur. Bu durum oluşan ısının uzaklaştırılması ve O_2 iletimi açısından da önem taşımaktadır. Genel olarak 5 cm'lik bir kalınlığın üzerinde ısı ve

kütle aktarımı sorunları yaşandığı belirtilmektedir (Ghildyal vd ., 1992). Bu reaktörler, laboratuvar çapında, küçük çaptaki fermantasyon işlemlerinde kullanıldığı gibi ticari boyuttaki çeşitli uygulamaları da bulunmaktadır. Bu reaktörlerin yatırım masrafları ve teknoloji ihtiyacı düşük olmasına karşılık, üretim sırasında ve sonrasındaki işçilik giderleri yüksektir. Bunun için işçilik masraflarının düşük olduğu ülkelerde tercih edilmesi gereken bir üretim sistemidir. Ayrıca bu üretim sisteminin bir başka dezavantajı da kapasite arttırımının ancak tepsi sayısının arttırımıyla mümkün olabilmesidir (Mitchell vd, 2000).

5.2 Dolgulu kolon biyoreaktörler

Bu biyoreaktör tipinde cam ya da metalden yapılmış kolonun alt kısmında gözenekli bir plaka ve bu plakanın üzerinde kolon boyunca yerleştirilmiş substrat bulunmaktadır (Şekil1b) Havalandırma, alttaki gözenekli plakadan kolonun içine beslenmektedir. Son 10 yılda bu reaktör modeli üzerindeki deneysel ve modelleme çalışmaları yoğunluk kazanmıştır (Mitchell vd., 2000; Mitchell vd., 2006). Deneysel çalışmalar, bu reaktör içerisinde oluşan sıcaklık değişim hızlarının, mikrobiyal gelişimi, O_2 değişim hızlarına göre daha yüksek oranda etkilediğini göstermektedir. Bu eksenel sıcaklık değişimleri, sisteme su ile doyurulmuş hava verilse dahi su kaybını arttırıcı bir etkiye neden olurlar. Çünkü hava kolon boyunca ısındıkça su tutma kapasitesi artar. Bu durumda substratın kuruması mikrobiyal üremeyi engeller. Karıştırma işlemi yapılmaksızın kolona yeniden su beslenmesi ise pratik değildir (Mitchell ve Berovic, 1998). Bu sebeple oluşan ısının uzaklaştırılmasında başka yollar denenmiştir. Roussos vd., (1993) 'Zymotis' tipi biyoreaktörde radyal ısı iletimini sağlamak üzere yatağın içerisine yerleştirdikleri yan yana dizilmiş bir dizi plaka kullanmışlardır. Bu reaktör tipinin kullanıldığı fermantasyon işlemlerde dikkat edilmesi gereken bir başka nokta ise meydana gelen basınç düşmesidir. Büyük basınç düşüşleri, kolon içerisinde kanalların oluşmasına substrat yığının çatlamasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, dolgulu kolon tipi reaktörlerde ısıyı uzaklaştıracak plakalar bulunmadığında büyük ölçekte sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım, küçük çapa sahip kolonlarda ısının iletiminin ve uzaklaştırılmasının kolaylaşması nedeniyle daha başarılı sonuçlar vermektedir. Plakalı sistemlerde ise substrat yüklemesi, inokulasyon ve temizleme işlemleri sorunlar yarattığından tepsili tip biyoreaktördeki gibi işçilik giderleri yükselmektedir (Mitchell vd., 2000).

5.3 Tamburlu biyoreaktörler

Bu reaktörlerin karakteristikleri şu şekilde sıralanabilir. Yatay durumda ya da eğimli olarak duran silindirik gövdenin içerisine gövdenin bir kısmını (genellikle yarı hacmini) dolduracak substrat bulunan, gövdenin

ortasından geçen eksen etrafında döndürülen (Şekil 1c) ya da karıştırıcı aparatları bulunan (Şekil 1d), bazı durumlarda gövde etrafına yerleştirilmiş engeller ile efektif karıştırma sağlanan ve reaktörün başlığından içeriye hava beslenen sistemlerdir (Mitchell vd., 2000; Mitchell vd., 2006). Tasarımda göz önünde bulundurulması gerek iki önemli nokta; uzunluğun çapa oranı ve engellerin bulunup bulunmadığıdır. İşlem sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar ise:

- Katı madde yükü
- Beslenen havanın debisi ve nemi
- Dönme hızıdır.

Bu reaktörlerde substrat yatağına gaz iletimi yatağın hareketi ile sağlanır. Yatak yeterli şekilde karıştırıldığında substrat, tepe boşluğunda hareket eder ve substrat partikülleri arasındaki boşluklar oksijen ile doldurulur. Engeller bulunmadığında, karıştırma etkinliği tamburun dönüş hızına bağlıdır. Düşük dönüş hızlarında substrat tambur döndüğü sürece iç yüzeyde kayarak hareket eder. Bu durumda substartın efektif bir şekilde karıştırılması mümkün değildir. Orta derecedeki dönüş hızlarında ise yatak içinde akış rejimleri uygun şekilde oluşur ve substrat partikülleri yuvarlanarak karışırlar. Yüksek dönüş hızlarında ise yatak iyi bir şekilde karışır ve bazı substrat parçalarının hava akımı içerisine girmesi sağlanır (Stuart vd., 1999). Ancak karıştırma hızları konusunda literatürde değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bir çok araştırmacı düşük karıştırma hızlarını (1-15 dev/dak) kullanırken bazıları yüksek dönüş hızlarını kullanmışlardır. Hızlı karıştırmanın başlıca dezavantajı misellerin zarar görmesidir. Ancak soya sosu üretimi gibi bazı işlemlerde karıştırmanın (mekanik ya da el ile)gerekli ve yararlı olduğu belirtilmektedir (Pandey vd., 2001). Bu sistemin küçük çaptaki çalışmalarda başarılı olduğu belirtilmektedir. Reu vd., (1993), 4.7 l kapasitedeki biyoreaktörün ısıyı uzaklaştırma veriminin, karıştırıldığı durumlarda iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Ancak sitemin ölçek büyütüldüğündeki davranışı konusunda kesin bir veri bulunmamaktadır.

6. Katı kültür biyoreaktörü tasarımı örneği

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümünde geliştirilen tepsili KKF biyoreaktörü tasarımı Şekil 2'de sunulmuştur. Bu tasarım patentli bir tasarımdır (TR Patent No. TR 2015-16259 B, 2018).

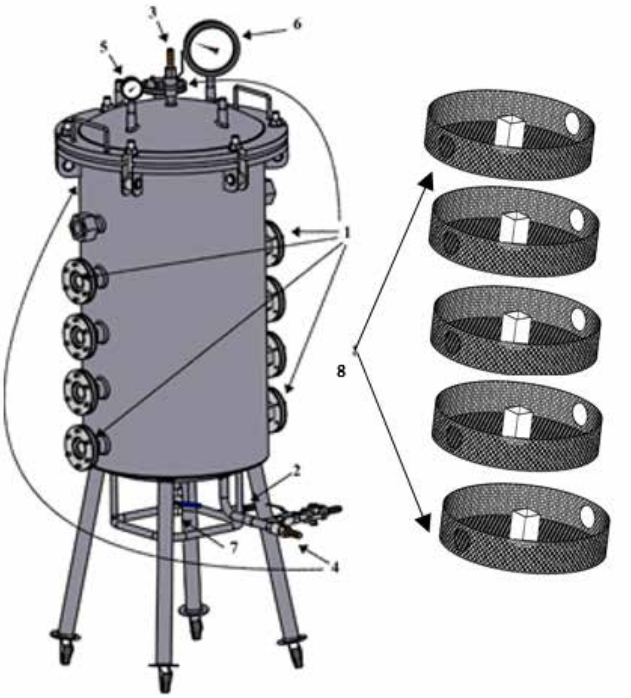
Şekil 2'de görülen biyoreaktör sistemi 25 cm çapında ve 5 cm yüksekliğinde gözenekli 5 adet tepsiden oluşmaktadır. Biyoreaktör kapalı bir sistem olup yerinde sterilize edilebilmektedir. Biyoreaktörün iç kısımları 316L kalite, dış kısımları ise 304 kalite paslanmaz çelikten imal edilmiştir. İç yüzeyler korozyona dayanıklıdır. Biyoreaktör tankı çift cidarlı olarak

imal edilmiştir. Dolayısıyla ceketten su dolaştırılarak sıcaklık kontrolü sağlanabilmektedir. Üretim sırasında tepsilere optimize edilen kalınlıkta substrat materyali serilir. Tepsiler biyoreaktöre yerleştirilir. 2 no'lu girişten biyoreaktörün içerisine

direkt buhar enjeksiyonu yapılır. Sterilizasyon sıcaklığında 121 ^{0}C de 30 dakika süreyle bekletilir.

Sterilizasyon sonrası yine 2 no'lu girişten steril filtre yardımıyla hava beslemesi yapılarak substratın başlangıç nem oranı ayarlanır. İstenilen nem oranına ulaşıldığında tepsilerin her iki yanındaki büyük dairesel deliklerden spor aşılaması yapılır. Havalandırma ve sıcaklık kontrolünün takip edildiği üretim sürecinde tepsilerin üzerinde bulunan geniş deliklerden aseptik koşullarda örnekler alınarak süreç takibi yapılır.

Üretim sonunda tepsilerden örneğin bir enzim üretimi yapılacaksa reaktörün üzerinden (3 no'lu vana) su beslemesi yapılarak ekstraksiyon gerçekleştirilir ve biyoreaktörün alt kısmındaki vanadan ekstrakt alınabilir.



Şekil 2. *Tepsili biyoreaktör tasarımı (1. Işıklandırma ve örnek alma. 2. Hava girişi. 3. Hava çıkışı. 4. Soğutma suyu giriş ve çıkışı 5. Basınç ölçer. 6. Termometre. 7. Kondensat ve ekstraksiyon sıvısı çıkış vanası 8. Gözenekli tepsiler).*

Elde edilecek son ürün fermantasyon ortamı ile formüle edilecekse üretim durdurulduktan sonra kurutma için ortama sıcak hava beslenerek tepsilerdeki materyalin neminin ağırlıkça % 10 ve altına indirilmesi ger-

çekleştirilir.

Bu biyoreaktör çeşitli üretimlerde denenmiş olup özellikle biyokontrol ajanı üretimlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermiş bir tasarım olmuştur.

7. SONUÇ

Katı kültür fermantasyon yöntemleri bir çok yönüyle avantajları olan alternatif bir üretim yöntemidir. Bu yöntemin özellikle agro-endüstriyel tabanlı üretimleri olan ülkemiz gibi ülkeler açısından önemli bir alternatif olduğu ve olacağı açıktır. Şüphesiz, her üretim yönteminin çeşitli üstünlüklerinin yanı sıra dezavantajları da söz konusudur. KKF işlemlerinde özellikle ölçek büyüdükçe metabolik ısı üretimine bağlı olarak sıcaklık yükselmesi gibi sorunlar çeşitli mühendislik yaklaşımları ve yeni biyoreaktör tasarımları ile aşılabilir. Sürdürülebilir biyoekonomi açısından KKF sistemlerinin önemli bir alternatif olarak yeni yatırımların yapılması sürecinde göz önüne alınması ülkemizin yerli ve milli üretim ihtiyacına karşılık vermesi açısından oldukça önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Abdul Manan, M., Webb, C. (2017) Modern microbial solid state fermentation technology for future biorefineries for the production of added-value products. *Biofuel Research Journal* 16, 730-740.

Abo Siada, O. A., Negm, M.S.,Basiouny, M.E. Fouad M.A., Elagroudy,S. (2017). Protein Enrichment of Agro–Industrial Waste by *Trichoderma harzianum* EMCC 540 through Solid State Fermentation for Use as Animal Feed. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International* 13(4), 1-12.

Adhyaru, D. N., Bhatt, N. S., Modi, H. A., & Divecha, J. (2016). Insight on xylanase from *Aspergillus tubingensis* FDHN1: Pro-duction, high yielding recovery optimization through statisticalapproach and application. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 6, 51-57.

Ali, S. R., Anwar, Z., Irshad, M., Mukhtar, S., Warraich, N. T. (2016). Biosynthesis of citric acid from single and co-culture based fermentation technology using agro-wastes. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9, 57-62.

Aydınoglu, T., Sargın, S. (2013). Production of laccase from *Trametes versicolor* by solid-state fermentation using olive leaves as a phenolic substrate, *Bioprocess and Biosystems Engineering,* 36(2), 215-22.

Bai, Z., Jin, B., Yuejie, L., Jian, C., Zuming, L.(2008). Utilization of winery wastes for *Trichoderma viride* biocontrol agent production by solid state fermentation. *Journal of Environmental Sciences*, 20(3), 353-358.

Barrios-González, J., Tomasini, A., Viniegra-González, G., Lopez, L. (1988). Penicillin production by solid state fermentation. *Biotechnology Letters* 10(11):793-798.

Cannel, E., Young, M. (1980). Solid-state fermentation systems. *Process Biochemistry*, 2-28.

Castro, R. J. S., Ohara, A., Nishide, T. G., Bagagli, M. P., Dias, F. F.G., Sato, H. H. (2015). A versatile system based on substrateformulation using agroindustrial wastes for protease productionby *Aspergillus niger* under solid state fermentation. *Biocatalysisand Agricultural Biotechnology*, 4, 678-684.

Cerda, A., El-Bakry, M., Gea, T., & Sánchez, A. (2016). Long termenhanced solid-state fermentation: Inoculation strategies foramylase production from soy and bread wastes by *Thermomyces*sp. in a sequential batch operation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 2394-2401.

Chen, L., Vadlani, P.V., Madl, R.L. (2014). High-efficiency removal of phytic acid in soy meal using two-stage temperature-induced *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(1), 113-118.

Das, R. K., Brar, S. K., Verma, M. (2016). Potential use of pulp andpaper solid waste for the bio-production of fumaric acid throughsubmerged and solid state fermentation. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4435-4444.

Desgranges, C., Durand, A. (1990). Effect of pCO_2 on growth, conidiation and enzyme production in solid state culture on *Aspergillus niger* and *Trichoderma viride* TS. *Enzyme and Microbial Technology*, 12, 546-551.

Dhillon, G. S., Brar, S. K., Kaur, S., Metahni, S., & M'hamdi, N.(2012). Lactoserum as a moistening medium and crude inducerfor fungal cellulase and hemicellulase induction through solid-state fermentation of apple pomace. *Biomass and Bioenergy*, 41,165-174.

Durand, A. Renaud, R., Almanza, S., Maratray, J., Diez, M. Desgranges, C. (1993). Solid state fermentation reactors: from lab scale to pilot plant, *Biotechnological Advances*, 11, 591-597.

El-Batal, A. I., ElKenawy, N. M., Yassin, A. S., & Amin, M. A. (2015). Laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its applicationin synthesis of gold nanoparticles. *Biotechnology Reports*, 5, 31-39.

El-Naggar, M.Y., El-Assar, S.A., Abdul-Gawad, S.M. 2009, Solid-State Fermentation for the Production of Meroparamycin by *Streptomyces* sp. strain MAR01, Journal of Microbiology and Biotechnology 19(5):468-473.

Eren, E., Pekşen. A. (2016). Türkiye'de kültür mantarı sektörünün durumu ve geleceğine bakış. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3),

189-196.

Machado, C.M., Soccol, C.R., de Oliveira, B.H., Pandey, A. (2002). Gibberellic acid production by solid-state fermentation in coffee husk. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 102-103(1-6), 179-191.

Mansour, A. A., Arnaud, T., Lu-Chau, T. A., Polanco, M. F., Moreira, M. T., Rivero, J. A. C. (2016). Review of solid state fermentation for lignocellulolytic enzyme production: challenges for environmental applications. *Rev Environ Sci Biotechnol* , 15, 31–46.

Mienda, B. S., Idi, A., Umar, A. (2011). Microbiological Features of Solid State Fermentation and its Applications - An overvie. *Research in Biotechnology*, 2(6), 21-26.

Mitchell, D., Berovic, M. (1998). Solid state fermentations. Bioprocess Engineering Course, Edt M Berovic, National Institute of Chemistry, Slovenia, 128-167.

Mitchell, D., Pandey, A., Sangsurasak, P. and Krieger, N. (1999). Scaleup strategies for packed-bed bioreactors for solid state fermentation. Process Biochemistry, 35, 167-178 Mitchell, D.A., Krieger, N., Beraovic, N. (2006). *Solid-state fermentation Bioreactors*, NewYork.: Springer Berlin Heiderberg,

Mitchell, D., Krieger, N., Stuart, D. and Pandey, A. (2000). New developments in solid state fermentation II. Rational approaches to design, operation and scale-up of bioreactors. Process Biochemistry, 35, 1211-1215.

Murthy, M.V., Karanth, N.G., Raghava, K.S. (1993). Biochemical engineering aspects of solid state fermentation. *Advanced and Applied Microbiology*, 38, 99-147.

Oostra, J., Tramper, J. and Rinzema, A. (2000). Model-based biorecator selection for large scale solid state cultivation of *Coniothyrium minitans* spores on oats. *Enzyme and Microbial Technology*, 27, 652-663.

Pandey, A. (1991). Effect of particle size of substrate on enzyme production in solid state fermentation. *Bioresorce Technology*, 37, 169-172.

Pandey, A., Sccol, C., Leon, J.A. and Nigam, P. (2001). Solid state fermentation in biotechnology: *Fundementals and applications*, New Delhi, Asiatech Publishers, Inc.

Prabhakar, A., Krishnaiah, K., Janaun, J., Bono, A. (2005). An overview of Engineering Aspects of Solid State Fermentation. *Malaysian Journal of Microbiology*, 1 (2), 10-16.

Purkarthofer, H., Siner, M., Steiner, W. (1993). Cellulase-free xylanase from *Thermomyces lanuginosus* : optimization of production in submerged and solid state culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 17, 114-118.

Raimbault, M. (1998). General and microbiological aspects of solid

substrate fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 1(3), 1-16.

Robinson, T. Singh, D., Nigam, P. (2001). Solid state fermentation: a promising microbial technology for secondary metabolite production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55, 284-289.

Roussos, S., Raimbault, M, Prebois, J.P. and Lonsane, B.K. (1993). Zymotis, a large scale solid state fermenter. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 42, 37-52.

Sadh, P. K., Duhan, S., Singh Dujan, J. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(1), 1-15.

Sahnoun, M., Kriaa, M., Elgharbi, F., Ayadi, D.-Z., Bejar, S., &Kammoun, R. (2015). *Aspergillus oryzae* S2 alpha-amylase pro-duction under solid state fermentation: Optimization of cultureconditions. *International Journal of Biological Macromolecules*,75, 73-80.

Sargin, S., Gezgin, Y., Eltem, R., Vardar, F. (2013). Micropropagule production from *Trichoderma harzianum* EGE-K38 using solid-state fermentation and a comparative study for drying methods. *Turkish Journal of Biology*, 37(2), 139-146.

Singh, M. K., Singh, J., Kumar, M., & Thakur, I. S. (2014). Novel lipasefrom basidiomycetes *Schizophyllum commune* ISTL04, produced by producedby solid state fermentation of *Leucaena leucocephala* seeds. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 110, 92-99.

Soccol, C.R., Ferreira da Costa, E.S., Letti, L.A.J., Karp, S.G., Woiciechowski, A.L., de Souza Vandenberghe, L.P. (2017). Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1, 52-71.

Srianta, I, Zubaidah, E., Estiasih, T., Yamada, M., Harijono, (2016). Comparison of Monascus purpureus growth, pigment production and composition on different cereal substrates with solid state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 7, 181-186.

Stuart, D.M., Mitchell, D.A., Johns, M. R. and Litster, J. D. (1999). Solid state fermentation in rotating drum bioreactors: operating variables affect performance through their effects on transport phenomena. *Biotechnology and Bioengineering*, 63(4), 383-391.

Tweib, S. A., Rahman, R. A., Kalil, M. S., (2011). A literature review on the composting. *International Conference on Environment and Industrial Innovation*, Singapore: IACSIT press.



Bölüm 15

EKLEMELİ İMALATLA ELEKTRONİK SOĞUTUCU SİSTEM TASARIMI VE İMALATI

Tuğçe TEZEL[1]

1 Dr. Öğretim Üyesi , Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, tugcetezel@akdeniz.edu.tr

1. Giriş

Makine endüstrisinde teknolojinin gelişmesiyle parçaların minyatürleşmesi süreci, elektronik ve elektromekanik sistemlere de yansımıştır. Makro boyutlu yüksek performanslı elektronik cihazlar mikro ölçeğe taşınırken güç yoğunluğunda oldukça yüksek bir artışa yol açmıştır. Bu sebeple elektronik cihazların termal kontrolü ve yönetiminde ciddi sıkıntılarla karşılaşılmaktadır. Özellikle de yüksek güç girdisi sebebiyle oluşan ısının uzaklaştırılması ve bu ısının sistem içerisindeki homojen olmayan dağılımı en önemli problemlerin başında gelmektedir.

Elektronik cihazların tasarım, üretim ve montaj süreçleri endüstriyel olarak gelişirken, bu süreç içerisinde geleneksel soğutma yaklaşımları yetersiz kalmaktadır. Üreticiler, ortaya çıkan yüksek soğutma ihtiyacı ve termal yönetimle başa çıkmak için, yüksek soğutma performansına sahip cihazlara, yüksek ısı transfer kapasitesine sahip yenilikçi tekniklere ve soğutuculara ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaçların karşılanamaması durumunda, elektronik sistem içerisinde artan çalışma sıcaklığı sebebiyle ekipman arızalarıyla karşılaşılacağı gibi, performans düşüşleri ya da kullanım ömrünün kısalması gibi sorunlarla da karşılaşmak mümkündür. Tüm bu nedenlerden ötürü yüksek performanslı elektronik cihazlar ve yongaların, çalışma sıcaklıklarını en aza indirgemek ve ömrünü en üst düzeye çıkarmak için ısıyı uzaklaştıracak yenilikçi tekniklere ve sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Tipik soğutma yaklaşımları, yüksek güce sahip modern elektronik cihazların soğutma taleplerini karşılamakta giderek zorlanmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda, bu tür elektroniklerin soğutulması için çeşitli teknikler kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve çeşitli elektronik soğutma sistemlerinde kullanılmıştır [1-6].

Elektronik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan bir dizi soğutma yöntemi vardır. Isı transfer mekanizmasına bağlı olarak, mevcut soğutma tipleri dört başlık altında toplanabilir:

- Doğal taşınım,
- Zorlanmış konveksiyonlu hava soğutması,
- Zorlanmış konveksiyonlu sıvı soğutması,
- Sıvı buharlaşması.

Yeni gelişen soğutma teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine yapılan incelemeler ve analizler, mikro kanal temelli zorlanmış konveksiyon ve faz-değişim soğutmasının (sıvı) umut verici teknikler arasında olduğunu ortaya koymaktadır. Elektronik soğutma sistemlerinde akışkan olarak suyun kullanıldığı ve kullanılmadığı birçok geleneksel soğutucu vardır. Elektronik soğutma sistemi tasarımında, herhangi bir belirli cihaz veya soğutma sistemi için en iyi soğutucuyu seçmek önemlidir.

Soğutma sıvıları için bazı genel gereksinimler vardır ve bunlar soğutma sistemlerinin ve elektronik cihazların tipine bağlı olarak değişebilir. Genel olarak elektronik soğutma için sıvı soğutuculardа aranan özellikler; yanıcı olmamalı, toksik olmamalı; yüksek termal iletkenlik, özgül ısı, düşük viskozite, iyi termofiziksel özellikler ve düşük maliyet şeklinde sıralanabilir. Bu özelliklerin yanı sıra, soğutma sıvıları, soğutma sistemleri ve cihazlarının bileşenlerinin malzemeleriyle uyumlu olmalıdır. Böylelikle korozyon ve aşınma etkileri en aza indirilebilir [7].

Soğutma sistemlerinin çoğunda, zayıf ısı transfer özelliklerine sahip olan hava, yağ, su ve su/etilen glikol/metanol karışımları gibi geleneksel soğutucu sıvılar kullanıldığından, ısı transfer kapasitelerindeki sınırlamalar nedeniyle istenilen performans elde edilememektedir. Bu nedenle, daha üstün ısı transfer performansına sahip soğutma sıvıları araştırılmaya devam edilmektedir. Son yıllarda ön plana çıkan gelişmiş soğutma sıvıları arasında nanoakışkan - su, etilen glikol, yağlar ve su ya da etilen glikol gibi geleneksel ısı transfer sıvılarında nanometre boyutlu parçacıkların süspansiyonları olan yeni sıvılar sayılabilir [8].

Nanoakışkanlar, geleneksel soğutma sıvılarına kıyasla, önemli ölçüde daha yüksek termal özelliklere sahiplerdir. Gelişmiş termal özellikleri ile, bu yeni sıvı sınıfı, elektronik ve diğer yüksek teknoloji endüstrilerinin soğutulması da dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda fayda sunmaktadır [9].

Gerek yeni soğutucu akışkanlar gerek yeni sistem tasarımları gelişmesine rağmen, yüksek ısı üreten elektronik cihazların artan soğutma ihtiyacını karşılamaktaki zorluklar devam etmektedir. Yüksek performanslı yongalar ve cihazlar, normal performans ve uzun ömürlülüğü sağlamak için soğutma hızını artırma gereksinimini, yüksek ısı transfer kapasitesine sahip yenilikçi mekanizmalara, tekniklere ve soğutuculara çevirmiştir.

Elektronik soğutma sistemlerinde ihtiyaç duyulan bu yenilikçi potansiyele sahip olan adımlardan biri, eklemeli imalatla soğutma sistemi tasarımı ve üretimi olarak göze çarpmaktadır. Üretim yöntemlerinde de soğutma sistemlerinde olduğu gibi geleneksel tekniklerden uzaklaşılarak yeni tekniklerle, üretim becerileri en üst seviyeye çıkarılmıştır. Bu noktada eklemeli imalat ve elektronik soğutma sisteminin yolu, eklemeli imalatın sunduğu tasarım esnekliği kabiliyetinde kesişmektedir. Tasarımlarda yapılan optimizasyonların, istenilen şekilde eklemeli imalatla üretilebilme fırsatı, elektronik cihazlarda yer alan ısının uzaklaştırılmasına yeni bir yaklaşım fırsatı sunmuştur.

2. Eklemeli İmalat

Eklemeli imalat veya 3D baskı, günümüzde bir bilgisayar destekli ta-

sarım (CAD) dosyasının 3D şeklini üretmek için katman katman işlendiği bir üretim tekniğidir. Bu yaklaşım, geleneksel üretim yöntemleri kullanılarak yapılmayan yüksek derecede özelleştirilmiş nesneleri imal etmek için kullanılabilir. Mevcut eklemeli imalat teknolojileri çeşitli malzemeler için kullanılabilir; metaller, polimerler, seramikler ve kompozitler. Günümüzde çelik, alüminyum ve titanyum alaşımları, süper alaşımlar, metal bazlı kompozitler ve seramik matris kompozitler dahil olmak üzere bir dizi malzeme için bazı eklemeli imalat yöntemleriyle parçaların güvenilir bir şekilde üretilmesi mümkün hale gelmiştir [10,11,12]. Böylelikle, eklemeli imalatla üretilen parça tasarımındaki esneklik ve yüksek ısı transfer performansları sayesinde ısı transfer cihazlarının mevcut tasarımında yeniliğe yol açabilir.

Eklemeli imalat yöntemleri metalik malzemeler için, hammadde türüne ve enerji kaynağına göre sınıflandırılabilir. Toz hammadde kullanılan yöntemler; toz yataklı ve doğrudan toz besleyici sistemler olarak iki başlık altında toplanabilir. Toz yataklı sistemlerde tozu sinterlemek için kullanılan lazer kaynağı ise lazer tabanlı, elektron tabancası ise elektron tabanlı olarak isimlendirilir. Seçici Lazer Ergitme (SLM), Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) yöntemleri lazer kaynaklı; Elektron Işınlı Ergitme (EBM) elektron ışın kaynaklı toz yataklı eklemeli imalat teknolojileri arasındadır. Doğrudan Enerji Biriktirme (DED) tekniğinde ise toz yatağı sistemi söz konusu değildir. Doğrudan nozul tarafından hammadde desteği sağlanır. Eklemeli imalatla elektronik soğutucu uygulamaları SLM üretimi üzerine yoğunlaşsa da EBM uygulamaları da mevcuttur [13].

Titanyum alaşımları, eklemeli imalatla üretimde yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir. Titanyum alaşımları, yüksek mukavemet, iyi şekillendirilebilirlik, yüksek korozyon ve yorulma direnciyle birlikte biyouyumluluk nedeniyle birçok havacılık ve biyomedikal uygulamada kullanılmaktadır [14]. Ayrıca literatürdeki çalışmalar, gözenekli ve kafes sistemleri gibi karmaşık yapıların titanyum alaşımlarından eklemeli imalat ile üretilebildiğini göstermektedir [15,16].

Östenitik, martenzitik gibi çeşitli çeliklerin de eklemeli imalat ile üretimi mümkündür. Geleneksel olarak üretilen çeliklerle karşılaştırıldığında, eklemeli üretimle imal edilmiş çelikler farklı mikro yapılar ve çökeltme aşamaları gösterir, bu da mekanik özelliklerin değişkenliğine yol açabilmektedir [17].

Eklemeli imalatla yaygın olarak üretilen alaşımlardan bir diğeri de ötektik Al-Si ve Al-Si-Mg alaşımlarıdır (Al12Si ve AlSi10Mg gibi). Alüminyumun eklemeli imalatla üretimi, işlenmesi zor veya form alüminyum alaşımları için de yararlıdır. Örneğin AA-6xxx serisi, onu oluşturmayı zorlaştıran büyük miktarda sert intermetalik içerir [18]. Eklemeli imalatla

üretilen alüminyum alaşımları için bir başka avantaj da özellikle döküm alaşımlarına nazaran mikro-yapısal güçlendirmedir. Eklemeli imalat ile ilişkili yüksek soğutma oranları, üretim sırasında kimyasal bileşimi değiştirmeden mikroyapısal olarak bu alaşımlarda artışa yol açar [19].

Nikel esaslı alaşımlar ve yüksek entropi alaşımlar, benzersiz özellikleriyle ilgi çekmiştir. Bu tür alaşımlar öncelikle yüksek sıcaklık, aşındırıcı ve karmaşık yükleme koşulları gibi ortamlara sahip uygulamalarda kullanılır. Nikel bazlı alaşımların işlenmesi, zayıf işlenebilirlik nedeniyle genellikle zordur. Her ne kadar nikel bazlı alaşımlar döküm ve toz metalurjisi gibi geleneksel yöntemlerle işlenebilse de, bu yöntemler karmaşık geometrili parçalarda kullanılamaz. Benzer problemler, yüksek entropi alaşımlarının işlenmesinde de söz konusudur [20-22].

TiAl bazlı alaşımların eklemeli imalatla üretimi bu teknikle üretilen diğer malzemelere nazaran son yılların araştırma konusu olmuştur. TiAl ve NbSi esaslı alaşım olmak üzere iki tip intermetalik bileşiğin eklemeli imalatta kullanılmaktadır. TiAl esaslı alaşımlar, düşük yoğunlukları, yüksek mukavemet ve sürünme dayanımı nedeniyle hafif yapı malzemeleri olarak havacılık endüstrisi için oldukça ilgi çekicidir [23]. Malzeme alanında, dünya çapında Nb-Si bazlı alaşımlar oldukça dikkat çekmiştir. TiAl ve NbSi esaslı alaşımlar, yüksek erime noktaları, düşük ve yüksek sıcaklıklarda spesifik mekanik özellikleri nedeniyle nikel bazlı süper alaşımların yerine büyük bir potansiyel aday olarak gösterildiler [24].

Yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan bakır ve alaşımları da eklemeli imalatla üretilen alaşımlar arasında yerinde almıştır. Literatürde bakır [25], bakır/elmas Kompozit [26] ve Cu-Al gibi çeşitli alaşımlarının üretimine yer verilmiştir [27].

3.Eklemeli İmalatın Elektronik Soğutma Sistemlerinde Kullanımı

3.1. Termoelektrik Malzemelerde Kullanımı

Termoelektrik malzemeler aracılığıyla termal enerji elektrik enerjisine, elektrik enerjisini de termal enerjiye dönüştürülebilir. Termoelektrik güç jeneratörleri ve soğutucularının dönüşüm verimliliği, geleneksel elektrik jeneratörleri ve buzdolaplarından daha düşüktür. Özellikle termoelektrik cihazların geometrik tasarımlarının optimizasyonu ile veriminin artırılması noktasında eklemeli imalat ön plana çıkmaktadır. Eklemeli imalatın sunmuş olduğu karmaşık geometrilerin katman katman üretimi yaklaşımı, bu zorluğun üstesinden gelme fırsatı sunmaktadır. Bu sebeple, eklemeli imalatla termoelektrik malzeme imalatı oldukça güncel bir konudur [28].

Termoelektrik eleman tasarım ve imalatında Stereolitografi (SLA), Er-

giyik Biriktirme Tekniği (FDM), Seçici Lazer Ergitme/Sinterleme (SLM/SLS) yöntemleri araştırmacılar tarafından dolaylı olarak kullanılmaktadır. Termoelektrik malzeme tozu veya filamenti üretilmek suretiyle üç boyutlu yazdırma tekniklerinden faydalanılmaktadır.

SLA ile üretilen termoelektrik malzeme üretimi yapılan çalışmada, oda sıcaklığında iyi termoelektrik özellikleri olduğu bilinen $Bi_{0.5}$ $Sb_{1.5}$ Te_3 alaşımı, 3B imalat ve ardından termal tavlama ile elde edilerek uygulanmıştır. SLA ile imalatta kullanılan foto reçinelerin çeşitliliğinin az olması bir dezavantaj olarak görülürken, destek yapıya ihtiyaç duyulmaksızın karmaşık geometrilerin bu teknikle üretimi avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır [29].

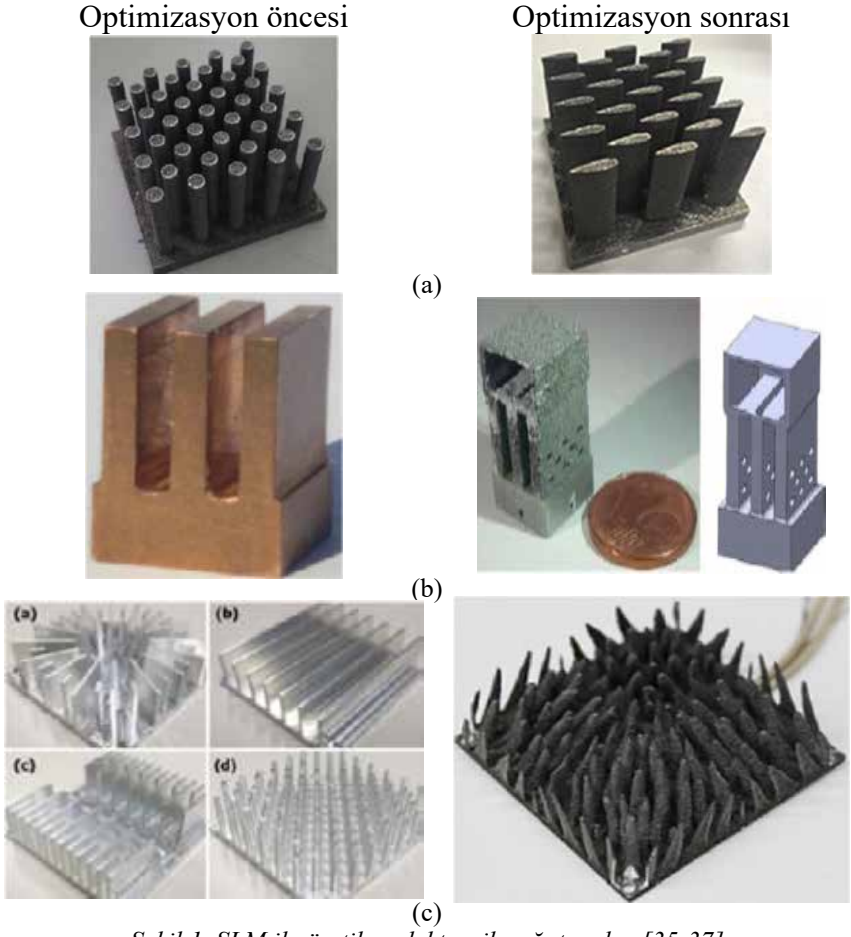
Termoelektrik elemanların FDM tekniği ile üretiminde araştırmacılar tarafından CABS/ZnO kompozit [30], Bi2Te3/ABS kompozit [31] gibi farklı kompzitlerin kullanıldığı görülmektedir. Ergiyik biriktirme tekniği ile imalatta kullanılan malzeme çeşitliliği olumlu olarak tasarım sürecini etkilerken, karmaşık geometrilerin imalatı için destek malzeme ihtiyacı olumsuz özellik olarak sayılabilir. Ayrıca bu teknikle üretim esnasında kullanılan üretim parametrelerinin, mekanik özellikleri etkilediği gibi termal ve elektriksel özellikleri de etkilediği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir.

Termoelektrik malzemelerin SLM ile üretimi kullanılarak $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ [32] ve $Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$ [33] malzemeden üretim tamamlanmış olup bu teknikte hem metal hem polimer toz kullanılmaktadır. Üretilen parçalar için destek yapı ihtiyacı duyulmaz. Bunun sebebi, katmanlar arası geçiş esnasında lazerin etki etmediği tozların destek yapı olarak davranmasıdır. Üretim maliyetinin yüksekliği dezavantaj olarak sayılabilir.

3.2. Elektronik Soğutucularda Kullanımı

Eklemeli imalat yöntemlerinden Seçici Lazer Ergitme (SLM), elektronik soğutma sistemleri tasarımı ve imalatında da termoelektrik malzemelerde olduğu gibi ön plana çıkmaktadır. SLM yoluyla, bir parça, bir toz yatağı içinde ince bir toz formunda tedarik edilen seçici eritme malzemesi ile üretilir. Bu yaklaşım, toplam parça sayısının azaltılması, eşsiz tasarım ve geometrik kısıtlamaların en aza indirilmesi gibi geleneksel üretim tekniklerine kıyasla çeşitli avantajlar sunar [34].

SLM teknolojisinin uygulanmasıyla, modern ısı transfer ekipmanlarının CAD tasarımlarına dönüştürülmesi kolaylaştırılmaktadır. SLM tekniğinin en önemli kabiliyeti, geleneksel olarak üretilen sistemlere kıyasla aynı uzunluktaki yüzey alanını artırmak için tasarım optimizasyonunun, kolaylıkla üretimini sağlayabilmesidir. Bu üretim tekniğinin sağladığı en önemli avantaj, istenilen geometride elektronik soğutucu üretebilmektedir (Şekil 1)



Şekil 1. SLM ile üretilen elektronik soğutucular [35-37]

Üretilmek istenen parçanın imalatı esnasında uygulanması gereken işlem adımları şu şekildedir:

- Üretilecek parçayı temsil eden bir CAD dosyası oluşturma ve bunun SLM tarafından okunabilen bir dosya biçimine dönüştürülmesi (*STL).

- *STL dosyasını belirtilen kalınlıkta birden çok katmana dilimleme, yönlendirme ve bu bilgilerin makineye aktarılması.

- Cihazdaki lazer taramanın, belirlenen takım yolu boyunca plakadaki toz yapıyı taraması

- Bir katmanın lazer taraması tamamlandıktan sonra, toz platformunun aşağı inmesi ve bir rulo ile katmanın üstüne yeni bir toz katmanı tabakasının bırakılması. Bu işlem son katman tamamlanana kadar devam eder.

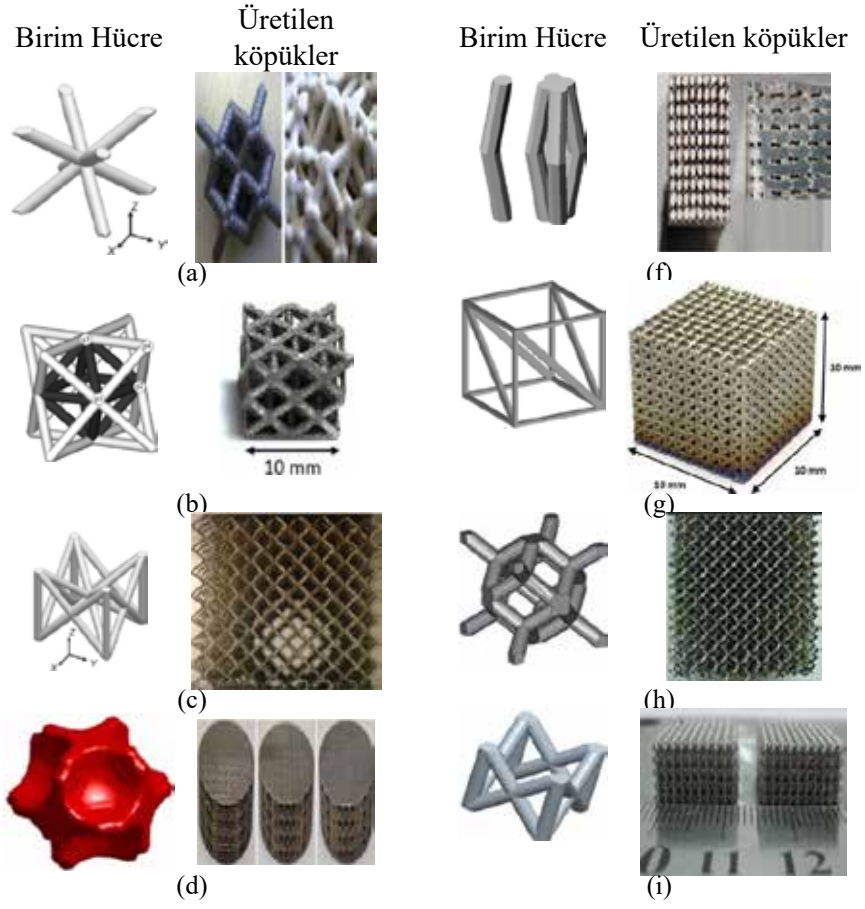
- Tüm katmanların tamamlanmasının ardından, üretilen parçanın

toz yatağından çıkarılarak temizlenmesi.

- Genellikle iç gerilmeleri azaltmak ve malzeme özelliklerini geliştirmek için bir ısıl işlem uygulanması [38].

3.3. Elektronik Köpük Soğutucularda Kullanımı

Gözenekli bir köpük ortam aracılığıyla sıvı-termal taşınım tasarımındaki gelişmeler, birçok teknolojik alanda ısı transfer sistemlerinin performansını arttırmak için kritik öneme sahiptir. Ancak yüksek performanslı gözenekli bir yapı üretmenin zorluğunun üstesinden SLM tekniğindeki son gelişmelerle gelinebilir. SLM ile geniş bir malzeme aralığında benzersiz mühendislik özelliklerine sahip yenilikçi karmaşık gözenekli ortamlar üretmek mümkündür. Gözenekli bir yapı üretmek için, yapısal geometri küçük birim hücrelerle doldurulabilir. Doldurma işlemi düzenli ya da düzensiz rastgele bir geometri ile yapılabilir [39]. Literatürde yer alan, çeşitli birim hücreler kullanılarak eklemeli imalat yöntemlerinden SLM ile üretilen gözenekli yapılar Şekil 2'de yer almaktadır.





(e) (j)

Şekil 2. Birim hücre ve üretilen köpük soğutucular [40-55].

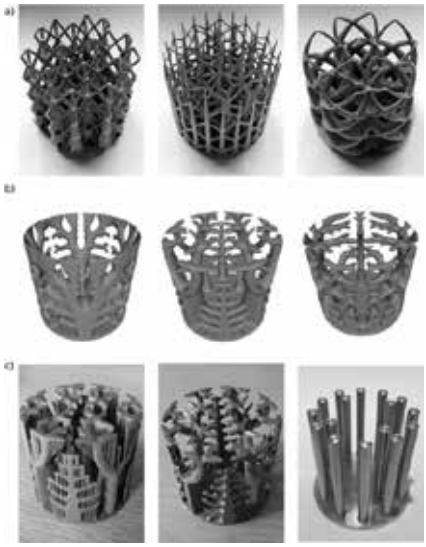
Çeşitli kafes yapıları, eklemeli teknolojilerinin geliştirilmesi ile üretimi yakın zamanda basitleştirilen karmaşık geometrilerdir. Bu hafif geometriler, büyük hacim yoğunlukları ve yüzeyden doluluk oranlarına sahiptir, bu da onları termal dağıtım uygulamaları için ideal kılar. Şekil 2'de yer alan gözenekli yapılar Titanyum alaşımları [42, 50, 51,52,53,55,57], alüminyum alaşımları [42,45,46,58,59] ve çelikler [40,41,47,49,54,56] kullanılarak imal edilmiştir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi gözenekli elektronik soğutucular çeşitli hücre şekillerinde ve boyutlarında mevcuttur. SLM çok karmaşık metal şekiller üretme imkanı tanısa da, tasarım ve imalat parametreleri değiştikçe imalat kalitesinde değişim olacağı unutulmamalıdır. Ayrıca, bu tür yapıların üretimi, karmaşık ve kontrol edilmesi zor prosedürler olması nedeniyle pek kolay değildir. Ancak, SLM ile üretime dikkat edildiğinde, belirli bir uygulama için geometrik bir karmaşıklığın geliştirilmesini sağlayan önemli bir üretim tekniği olduğu anlaşılacaktır. Bunun yanı sıra, kafes yapılarının yüzey-doluluk oranını optimize edilmesi suretiyle, ısı yayılım problemleri çözülebileceği gibi, özellikle de ortaya çıkan yayılma yapısının hacmi veya yapısal tepkisinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

4. Topolojik Optimizasyonunun Eklemeli İmalatta Elektronik Soğutma Sistemlerine Uygulanması

En iyi yapısal konfigürasyonu arayan teknik olan topoloji optimizasyonu, tasarım ve üretim süreçlerinde yenilikçi bir tasarıma yön veren, geniş çapta kabul görmüş ve benimsenmiş bir yöntemdir. Topoloji optimizasyonu seçilmiş bir performans ölçüsünü optimize ederek, öngörülen bir tasarım alanındaki bir materyali dağıtan iteratif bir süreçtir. Matematiksel programlama ile tekrarlanan sayısal simülasyonlar, regülasyon adımları ve tasarım güncellemeleri dizisi süreci tamamlar. Son yıllardaki mühendislik uygulamaları, topoloji optimizasyonu ve eklemeli imalat teknolojilerinin uygun kombinasyonunun, yüksek performanslı yapıların tasarımı için etkili bir yaklaşımla sonuçlandığını kanıtlamıştır [60].

Üretime yönelik topoloji optimizasyonu son yıllarda, özellikle geleneksel üretim yöntemlerinde talaşlı işleme, enjeksiyon kalıplama ve döküm için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Tasarım ve üretim süreçlerindeki kolay tasarım çözümlerinde topolojik optimizasyondan yararla-

nılmıştır. Eklemeli imalat, geometrik olarak karmaşık bileşenleri, katman katman üreterek geleneksel imalatta üretim kısıtı bulunan topoloji optimizasyonuna uygun geometrilerin üretilmesini sağlar [61]. Elektronik soğutma sistemlerindeki önemli yerini, bu kabiliyeti ile edinmiştir. Şekil 3'te topolojik optimizasyonla elde edilen karmaşık geometrinin eklemeli imalatla kolaylıkla üretilerek uygulanması örneğine yer verilmiştir. Aşama aşama optimize edilen tasarımın üretimi görülmektedir.



Şekil 3. Led için kullanılan soğutucu optimizasyonu [62]

Sonuç

Metal malzemelerin eklemeli imalat veya 3D baskısı, makine tasarım ve üretim endüstrisini dönüştürmektedir. Karmaşık şekilli topololoji için optimize edilmiş fonksiyonel parçaların eklemeli imalatla üretilerek hem basit konsept modellerine hem nihai ürünlerine günümüzde, biyomedikalden havacılığa, otomotivden diğer endüstrilere kadar çeşitli endüstrilerde yer verilmektedir. 3D baskı teknolojileri, geliştirilmiş performansa sahip ısı transfer cihazlarının üretimi için umut verici üretim teknikleri arasında yer almıştır. Bu üretim tekniğinin geometriden bağımsız ürün sunabilme kabiliyeti, geleneksel ısı transfer tekniklerinin termal verimliliğini artırma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

1. Lasance, C., Simons, R. (2005). Advances in high performance cooling for electronics. *Electronics Cooling*, 11(4), 22-39.
2. Ebadian, M.A., Lin, C.X. (2011). A review of high-heat-flux heat removal technologies. *Journal of Heat Transfer,* 133(11), 110801.

3. Garimella, S.V., Singhal, V., Liu, D. (2006). On-chip thermal management with microchannel heat sinks and integrated micropumps. *Proceedings of the IEEE,* 94(8), 1534-1548.
4. Agostini, B., Fabbri, M., Park, J.E., Wojtan, L., Thome, J.R., Michel, B. (2007). State of the art of high heat flux cooling technologies. *Heat Transfer Engineering,* 28, 258-281.
5. Wei, Y., Joshi, Y.K. (2004). Stacked microchannel heat sinks for liquid cooling of microelectronic components. *Journal of Electronic Packaging,* 126, 60-66.
6. Chang, Y.W., Cheng, C.H., Wang, J.C., Chen, S.L. (2008). Heat pipe for cooling of electronic equipment. *Energy Conversion and Management,* 49(11), 3398-3404.
7. Scott, W.A. (1974). Cooling of Electronic Equipment. New York: John Wiley and Sons.
8. Steinberg, S.S. (1991). Cooling Techniques for Electronic Equipment. New York: John Wiley and Sons.
9. Tong, Y., Chi, X., Kang, Q., Cho, H. (2020). Comparative investigation of efficiency sensitivity in a flat plate solar collector according to nanofluids. *Applied Thermal Engineering,* 174, 115346.
10. Murr, L.E., Gaytan, S.M., Ramirez, D.A., Martinez, E., Hernandez, J., Amato, K.N., Shindo, P.W., Medina, F.R., Wicker, R.B. J. (2012). Fabrication of Metal and Alloy Components by Additive Manufacturing: Examples of 3D Materials Science. *Journal of Materials Research and Technology,* 28, 42-54.
11. Hwa, L.C., Rajoo, S., Noor, A.M., Ahmad, N., Uday, M.B. (2017). Recent advances in 3D printing of porous ceramics: A review. *Current Opinion in Solid State and Materials Science,* 21, 323–0347.
12. Brooks, G., Kim, K., Tim, O. (2014). 3D Printing As A Consumer Technology Business Model. International Journal of Management & Information Systems, 8, 271*–280.*
13. Cheng, B., Chou, K. (2015). Geometric consideration of support structures in part overhang fabrications by electron beam additive manufacturing. *Computer-Aided Design,* 69, 102-111.
14. Bandyopadhyay, A., Shivaram, A., Mitra, I., Bose, S. (2019). Electrically polarized TiO2 nanotubes on Ti implants to enhance early- stage osseointegration. *Acta Biomaterialia,*96, 686-693.
15. Gangireddy, S., Komarasamy, M., Faierson, E.J., Mishra, R.S. (2019). High strain rate mechanical behavior of Ti-6Al-4V octet lattice structures additively manufactured by selective laser melting (SLM). *Materials Science and Engineering: A*, 745, 231-239.
16. Nicoletto, G., Maisano, S., Antolotti, M., Dallaglio, F. (2017). Influence of post fabrication heat treatments on the fatigue behavior of Ti-6Al- 4V produced by selective laser melting. *Procedia Structural*

Integrity, 7, 133-140.
17. Yan, J.J., Chen, M.T., Quach, W.M., Yan, M., Young, B. (2019). Mechanical properties and cross-sectional behavior of additively manufactured high strength steel tubular sections. *Thin-Walled Structures,* 144, 106158.
18. Lassance, D., Fabrègue, D., Delannay, F., Pardoen, T. (2007). Micromechanics of room and high temperature fracture in 6xxx Al alloys. *Progress In Materials Science*, 52, 62–129.
19. Asgari, H., Baxter, C., Hosseinkhani, K., Mohammadi, M. (2017). On microstructure and mechanical properties of additively manufactured AlSi10Mg 200C using recycled powder. *Materials Science and Engineering: A*, 707, 148-158.
20. Guan, S., Solberg, K., Wan, D., Berto, F., Welo, T., Yue, T.M., Chan, K.C. (2019). Formation of fully equiaxed grain microstructure in additively manufactured AlCoCrFeNiTi0.5 high entropy alloy. *Materials & Design,* 184, 108202.
21. Ho, I.T., Chen, Y.T., Yeh, A.C., Chen, C.P., Jen, K.K. (2018). Microstructure evolution induced by inoculants during the selective laser melting of IN718. *Additive Manufacturing,* 21, 465-471.
22. Yan, J.J., Chen, M.T., Quach, W.M., Yan, M., Young, B. (2019). Mechanical properties and cross-sectional behavior of additively manufactured high strength steel tubular sections. *Thin-Walled Structures*, 144, 106158.
23. Loria, E.A. (2001). Quo vadis gamma titanium aluminide, *Intermetallics* 9, 997–1001.
24. Bewlay, B.P., Jackson, M.R., Subramanian, P.R. (2003). A review of very high temperature Nb-silicide-based composites. *Metallurgical and Materials Transactions A,* 34, 2043–2052.
25. Guschlbauer, A., Burkhardt, A.K., Fu, Z. Körner, C. (2020). Effect of the oxygen content of pure copper powder on selective electron beam melting. *Materials Science and Engineering: A*, 779, 139106.
26. Constantin, L., Fan, L., Pontoreau, M., Wang, F., Cui, B., Battaglia, J.L., Silvain, J.F., Lu, Y.F. (2020). Additive manufacturing of copper/diamond composites for thermal management applications. *Manufacturing Letters,* 24, 61-66
27. Wang, Y., Chen, X., Konovalov, S., Su, S., Siddiquee, A.N., Gangil, N. (2019) In-situ wire-feed additive manufacturing of Cu-Al alloy by addition of silicon. *Applied Surface Science,* 487 (1), 1366-1375.
28. Du, Y., Chen, J., Meng, Q., Dou, Y., Xu, J., & Shen, S. Z. (2020). Thermoelectric Materials and Devices Fabricated by additive manufacturing. *Vacuum,* 109384.
29. He, M., Zhao, Y., Wang, B., Xi, Q., Zhou, J., & Liang, Z. (2015). 3D Printing Fabrication of Amorphous Thermoelectric Materials with

Ultralow Thermal Conductivity. *Small,* 11(44), 5889–5894.
30. Aw, Y.Y., Yeoh, C.K., Idris, M.A., Teh, P.L., Hamzah, K.A., Sazali, S.A. (2018). Effect of printing parameters on tensile, dynamic mechanical, and thermoelectric properties of FDM 3D printed CABS/ ZnO composites, *Materials,* 11, 466.
31. Oztan, C., Ballikaya, S., Ozgun, U., Karkkainen, R., Celik, E. (2019). Additive manufacturing of thermoelectric materials via fused filament fabrication. *Applied Materials Today,* 15, 77-82.
32. Mao, Y., Yan, Y.G., Wu, K.P., Xie, H.Y., Xiu, Z.K., Yang, J.H., Zhang, Q.J., Uher, C., Tang, X.F. (2017). Non-equilibrium synthesis and characterization of n-type Bi2Te2.7Se0.3 thermoelectric material prepared by rapid laser melting and solidification. *RSC Advances,* 7, 21439-21445.
33. Qiu, J.H., Yan, Y.G., Luo, T.T., Tang, K.C., Yao, L., Zhang, J., Zhang, M., Su, X.L., Tan, G.J., Xie, H.G., Kanatzidis, M.G., Uher, C., Tang, X.F. (2019). 3D Printing of highly textured bulk thermoelectric materials: mechanically robust BiSbTe alloys with superior performance. *Energy & Environmental Science* 12, 3106-3117.
34. Lott, P., Schleifenbaum, H., Meiners, W., Wissenbach, K., Hinke, C., Bultmann, J. (2011). Design of an optical system for the in situ process monitoring of selective laser melting (SLM), lasers in manufacturing. In*: Proceedings of the sixth international conference on lasers in manufacturing,* 12, 683–690.
35. Ho, J.Y, Wong, K.K., Leong, K.C., Wong, T.N. (2017) Convective heat transfer performance of airfoil heat sinks fabricated by selective laser melting. *International Journal of Thermal Science,* 114, 213–228.
36. Fasano, M., Ventola, L., Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E.P., Chiavazzo, E., Asinari, P. (2016). Passive heat transfer enhancement by 3D printed Pitot tube based heat sink. *International Communications in Heat and Mass Transfer,* 74, 36–39.
37. Dede, E.M., Joshi, S.N., Zhou, F. (2015). Topology optimization, additive layer manufacturing, and experimental testing of an air-cooled heat sink. *Journal of Mechanical Design,* 137, 111403-111409.
38. Frazier, W.E. (2014). Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance,* 23,1917–1928.
39. Ameli, M., Agnew, B., Leung, P.S., Ng, B., Sutcliffe, C.J., Singh, J., McGlen, R. (2013). A novel method for manufacturing sintered aluminium heat pipes. *Applied Thermal Engineering,* 52, 498–504.
40. McKown, S., Shen, Y., Brookes, W.K., Sutcliffe, C.J., Cantwell, W.J., Langdon, G.S., Nurick, G.N., Theobald, M.D. (2008). The quasistatic and blast loading response of lattice structures. *International Journal of Impact Engineering*, 35, 795–810.
41. Shen, Y., McKown, S., Tsopanos, S., Sutcliffe, C.J., Mines, R.A.W.,

Cantwell, W.J. (2010). The mechanical properties of sandwich structures based on metal lattice architectures. *Journal of Sandwich Structures and Materials,* 12, 159–80.

42. Brenne, F., Niendorf, T., Maier, H.J. (2013). Additively manufactured cellular structures: impact of microstructure and local strains on the monotonic and cyclic behavior under uniaxial and bending load. *Journal of Materials Processing Technology,* 213, 1558–1564.
43. Ameli, M., Agnew, B., Leung, P.S., Ng, B., Sutcliffe, C.J., Singh, J., McGlen, R. (2013). A novel method for manufacturing sintered aluminium heat pipes. *Applied Thermal Engineering,* 52, 498–504.
44. Deshpande, V.S., Fleck, N.A., Ashby, M.F. (2001). Effective properties of the octet-truss lattice material. *Journal of the Mechanics and Physics Solids,* 49, 1747–1769.
45. Wong, K.K., Leong, K.C. (2018). Saturated pool boiling enhancement using porous lattice structures produced by selective laser melting. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 121, 46–63.
46. Leary, M., Mazur, M., Elambasseril, J., McMillan, M., Chirent, T., Sun, Y.Y., Qian, M., Easton, M., Brandt, M. (2016). Selective laser melting (SLM) of AlSi12Mg lattice structures. *Materials Design,* 98, 344–57.
47. Takezawa, A., Kobashi, M., Koizumi, Y., Kitamura, M. (2017). Porous metal produced by se- lective laser melting with effective isotropic thermal conductivity close to the Hashin-Shtrikman bound. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 105, 564–72.
48. Wadley, H.N.G. (2006). Multifunctional periodic cellular metals. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences,* 364, 31–68.
49. Son, K.N., Weibel, J.A., Kumaresan, V., Garimella, S.V. (2017). Design of multifunctional lattice- frame materials for compact heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 619–629.
50. Ryan, G.E., Pandit, A.S., Apatsidis, D.P. (2008) Porous titanium scaffolds fabricated using a rapid prototyping and powder metallurgy technique. *Biomaterials*, 29, 3625–3635.
51. Sing, S.L., Wiria, F.E., Yeong, W.Y. (2018). Selective laser melting of lattice structures: a statistical approach to manufacturability and mechanical behavior. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing,* 49, 170–180.
52. Li, S.J., Xu, Q.S., Wang, Z., Hou, W.T., Hao, Y.L., Yang, R., Murr, L.E. (2014). Influence of cell shape on mechanical properties of Ti–6Al–4V meshes fabricated by electron beam melting method. *Acta Biomaterilia*, 10, 4537–4547.
53. Li, S.J., Zhao, S., Hou, W.T., Teng, C.Y., Hao, Y.L., Li, Y., Yang, R.,

Misra, R.D.K. (2015) Functionally graded Ti-6Al-4V meshes with high strength and energy absorption. *Advanced Engineering Materials,* 18, 34–38.

54. Wang, D., Yang, Y.Q., Liu, R.C., Xiao, D.M., Sun, J.F. (2013). Study on the designing rules and processability of porous structure based on selective laser melting (SLM). *Journal of Materials Processing Technology,* 213:1734–1742.
55. Wauthle, R., Vrancken, B., Beynaerts, B., Jorissen, K., Schrooten, J., Kruth, J-P, Van Humbeeck, J. (2015). Effects of build orientation and heat treatment on the microstructure and mechanical properties of selective laser melted Ti6Al4V lattice structure*s. Additive Manufacturing,* 5, 77–84.
56. Kong, D., Ni, X., Dong, C., Zhang, L., Man, C., Cheng, X., & Li, X. (2019). Anisotropy in the microstructure and mechanical property for the bulk and porous 316L stainless steel fabricated via selective laser melting. Materials Letters, 235, 1–5.
57. Murr, L.E., Gaytan, S.M., Medina, F., Martinez, E., Martinez, J.L., Hernandez, D.H., Machado, B. I., Ramirez, D.A., Wicker, R.B. Characterization of Ti–6Al–4V open cellular foams fabricated by additive manufacturing using electron beam melting. *Materials Science and Engineering: A,* 527,7-8, 1861-1868.
58. Chaudhari, A. Ekade, P., Krishnan, S. (2019). Experimental investigation of heat transfer and fluid flow in octet-truss lattice geometry. *International Journal of Thermal Sciences,* 143, 64-75.
59. Collins, I. L., Weibel, J. A., Pan, L., & Garimella, S. V. (2019). A permeable-membrane microchannel heat sink made by additive manufacturing. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 131, 1174–1183.
60. Shi, G., Guan, C., Quan, D., Wu, D., Tang, L., Gao, T. (2019). An aerospace bracket designed by thermo-elastic topology optimization and manufactured by additive manufacturing. *Chinese Journal of Aeronautics,* In press.
61. Liu, J.K., Gaynor, A.T., Chen, S.K., Kang, Z., Suresh, K., Takezawa, A.H., Li, L., Kato, J., Tang, J., Wang, C.C.L., Cheng, L., Liang, X., To, A.C. (2018). Current and future trends in topology optimization for additive manufacturing. *Structural and Multidisciplinary Optimization,* 57 (6), 2457-2483.
62. Lazarov, B.S., Sigmund, O., Meyer, K. E., Alexandersen, J. (2018). Experimental validation of additively manufactured optimized shapes for passive cooling. *Applied Energy,* 226, 330–339.



Bölüm 16

AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ İNCELEMESİ

Demet CANDAN[1], Zuhal OKTAY[2], Can COŞKUN[3]

1 İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, mail. demetsen@gmail.com
2 Prof. Dr., İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, zuhal.oktay@idu.edu.tr
3 İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, can. coskun@idu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çevre ve insan sağlığı açısından yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönelmek önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, hidrolik (hidroelektrik), jeotermal, biyo kütle, hidrojen, dalga, gelgit enerjisi olarak sıralanabilir. Literatür incelendiğinde güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi ile ilgili çalışmaların 19. Yüzyılın ortalarında başladığı görülmektedir. Fransız bilim adamı Becquerel, 1839 yılında ilk olarak elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemlemiştir. G.W. Adams ve R.E. Day, 1876 yılında selenyum kristalleri üzerine çalışmıştır. Chapin, Fueller ve Pearson, 1954 yılında silikon güneş hücresi üzerinde çalışmalar yürütmüş ve güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümü ticari bir ürüne dönüştürmüştür (Kaya, 2016). Ülkemizde güneş enerjisi ilk defa 1960 yılının başlarında alternatif enerji kaynağı olarak anlaşılmış ve bu konu da çalışmalar başlamıştır. Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir' de gerçekleştirilmiştir. M. Boztepe 2002 yılında enerji kesintilerinde bile enerji akışını devam eden, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız PV sistemi tasarlamıştır. İzmir şartlarında bir ev için, simülasyon ve ölçümlerden elde edilen veriler ile klasik şebekeye bağlı PV sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Türkiye 2023 yılı yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretimi payının en az %30 olmasını hedeflenmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarında yüksek potansiyel güce sahiptir. Bu potansiyelin 380 GW' lık kısmını yenilenebilir enerji oluşturmaktadır. Belirtilen hedefe ulaşmak için güneş enerjisi asgari 5 GW kurulu güç olması gerekmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2014). İzmir bölgesi bu hedeflere ulaşabilmek için enerjisi üzerine kamuda ve özel sektörde birçok teşvik, eğitim ve uygulama bulunmaktadır (İzmir Kalkınma Ajansı [İZKA], 2015). Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli elektrik üretimi incelenmiştir.

2. TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli bakımından önemli bir coğrafyada yer almaktadır (Şekil 1). Türkiye için yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat, ışınım şiddeti ise 1311 kWh/m² mertebesindedir. Güneşlenme süresi incelendiğinde Güney Anadolu Bölgesi yılda 2993 saat ile en yüksek potansiyele sahip bölgedir (Tablo 1) (Özbalta, 2001).

Tablo 1. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (Kwh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Türkiye' nin brüt güneş enerjisi potansiyeli 87,5 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) olarak tespit edilmiştir. Bu oranın 26,5 milyon TEP' i ısı enerjisi üretimi 8,75 milyon TEP' i elektrik enerjisi üretimi potansiyeli olarak belirlenmiştir. Güneş enerjisi çok yaygın bir şekilde kullanılmıyor olsa da, konutlarda iş yerlerinde, tarımsal teknolojilerde, sanayide, ulaşım araçlarında, iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik enerjisi üretiminde yerini almıştır (Mutlu, 2013).



Şekil 1. Türkiye İçin Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (Coşkun ve Oktay, 2018)

2.1. İzmir ili Güneş Enerji Potansiyeli

İzmir ili güneş enerjisi potansiyeli olarak uygun değerlere sahip olup, güneş enerjili değişik uygulamaların gerçekleştirilmesine uygundur. (Güngör, 2013). İzmir ili güneş enerjisi potansiyeli Şekil 2'de sunulmaktadır.

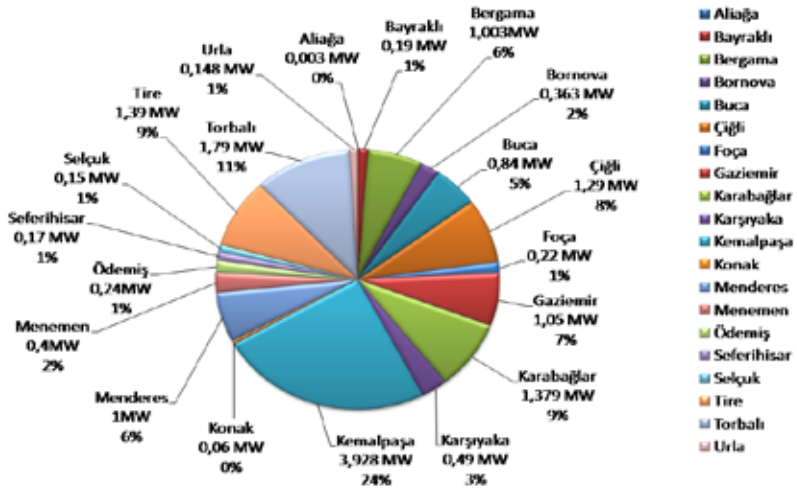


Şekil 2. İzmir Güneş Enerjisi Potansiyeli (Enerji Atlası, 2018)

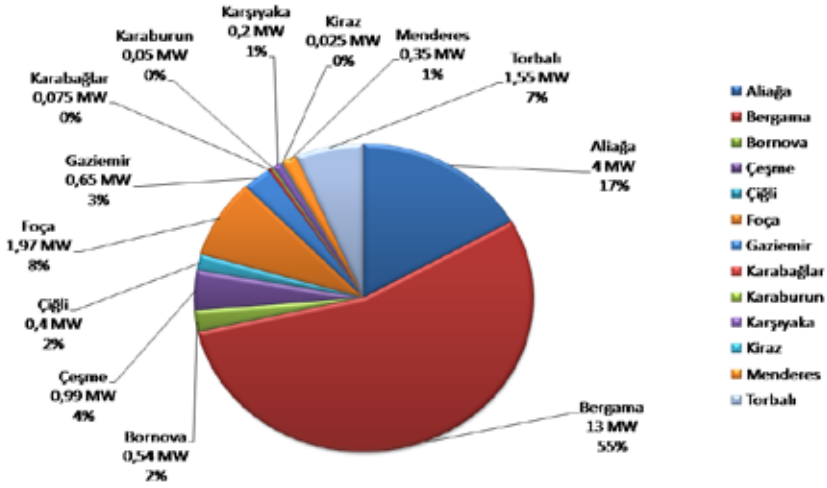
2.2. İzmir İli Aktif Güneş Enerji Santralleri

2016 yılı verilerine göre Türkiye'de bulunan 1644 GES' lerinin toplam kurulu gücü 1362,6 MW'dır (Enerji Atlası, 2018). 2018 yılında yapılan araştırmaya göre İzmir' in 20 ilçesinde bulunan GES'lerin toplam kurulu gücü 16,104 MW'tır. İzmir'deki GES'lerin kapasitesi Türkiye' deki toplam kurulu gücün sadece %1,18' ini oluşturmaktadır. GES' lerinin ilçelere göre dağılımı Şekil 3' te gösterilmiştir. Bu verilere göre, İzmir' de en fazla güneşten enerji üretim potansiyeli olan ilçe 3,93 MW kurulu güce sahip ve İzmir ilindeki toplam kurulu gücün %24' ünü oluşturan Kemalpaşa ilçesidir.

İzmir' in 13 ilçesinde kurulum aşamasında olan GES' lerinin toplam gücü 23,8 MW olacaktır. Bu GES' lerinin ilçelere göre dağılımı Şekil 4' te gösterilmiştir. Şekil 4' e göre, İzmir' de en fazla GES kurulacak olan ilçe 13 MW ile Bergama ilçesidir.



Şekil 3. İzmir İli Aktif GES'lerin kapasite bağlamında güç dağılımı



Şekil 4. İzmir ili Kurulum Aşamasındaki GES' lerin güç dağılımı

Kurulum tamamlandıktan sonra İzmir' in kurulu gücü 39,904 MW olacaktır (Tablo 2). Böylece İzmir' in Türkiye' deki toplam GES kurulu gücüne katkısı %2,93' e yükselecektir. Ulusal hedef 2023 yılında, enerji üretiminin %30' unun yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesini sağlamaktır. Bu yüzdenin 3000 MW' lık kısmı güneş enerjisinin karşılaması hedeflenmektedir. İzmir ilin GES Kurulu güç hedefleri, bu değere ulaşıl-

masını kolaylaştıracaktır. Planlanan güneş enerji santralleri kurulduktan sonra toplam dağılım sırasıyla Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Kurulum sonrası toplam kurulu güç ve yüzdelik dağılım

Sıralama	İlçe	Toplam Güç(MW)	Yüzdelik Dağılım (%)
1	Bergama	14,003	35,09
2	Aliağa	4,003	10,03
3	Kemalpaşa	3,928	9,84
4	Torbalı	3,34	8,37
5	Foça	2,19	5,49
6	Gaziemir	1,7	4,26
7	Çiğli	1,69	4,24
8	Karabağlar	1,454	3,64
9	Tire	1,39	3,48
10	Menderes	1,35	3,38
11	Çeşme	0,99	2,48
12	Bornova	0,903	2,26
13	Buca	0,84	2,11
14	Karşıyaka	0,69	1,73
15	Menemen	0,4	1,00
16	Ödemiş	0,24	0,60
17	Bayraklı	0,19	0,48
18	Seferihisar	0,17	0,43
19	Selçuk	0,15	0,38
20	Urla	0,148	0,37
21	Konak	0,06	0,15
22	Karaburun	0,05	0,13
23	Kiraz	0,025	0,06
Toplam		39,904	100

3. GÜNEŞ SANTRALİNİN İNCELENMESİ

Santralde 240 W gücünde ve %15 verim değerinde fotovoltaik güneş panelleri kullanılmıştır. Dizi ve evirici bağlantıları ile AC ara toplama panoları uygun yerlere konulmuştur. Tesis içi veri aktarımı ve haberleşme ağı alt yapı gereklerini karşılayarak bir haberleşme sistemi sağlanmıştır. Sistemde uygun yere yıldırımdan koruyan paratoner sistemi eklenmiştir. Her bir dizi evirici arasında silindir sigorta bulunmaktadır. Her evirici girişinden önce diziler için topraklama kutuları bulunmaktadır. PV modüllerinde ters akım yüklemesi oluşmaması için engelleme (by-pass) diyotu kullanılmıştır. Modül yerleşiminde konstrüksiyon eğimleri 31°'dir. Konstrüksiyon aralarındaki mesafe 2,98 m olarak ölçülmüştür. Sisteme ait genel görünüm Şekil 5'de sunulmuştur.

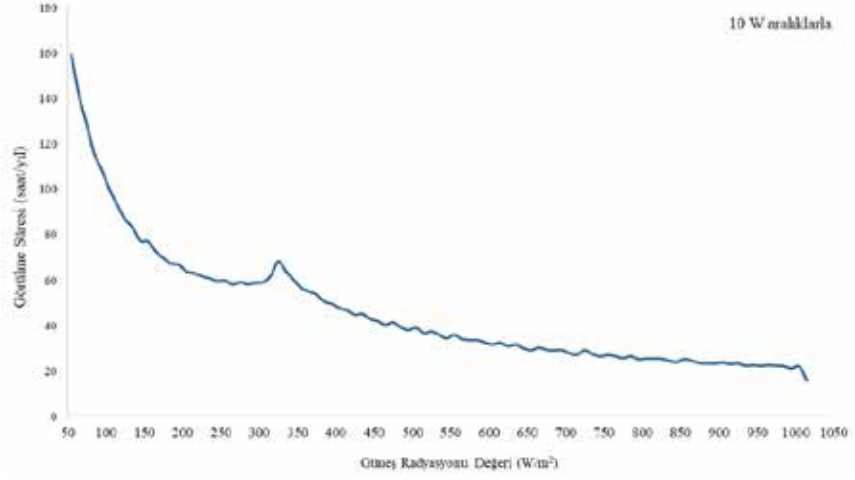


Şekil 5. GES'e ait genel görünüm

4. ANALİZLER

4.1. Işınım Şiddeti Dağılımı

Sistemde kaydedilen ışınım şiddetleri kullanılarak bu çalışmada güneş radyasyon değerine bağlı olarak görülme süresinin dağılımı incelenmiştir. 50 W ile 1020 W arasında 10W aralıkla görülme süresini dağılımı Şekil 6'da vermiştir.



Şekil 6. Güneş radyasyon değerine bağlı olarak görülme süresi dağılımı

4.2. Modül Açısı

Dünya'nın hareketleri doğrultusunda güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı farklılık göstermektedir. Güneş enerjisinden yüksek seviyede yararlanabilmek için modül açısının kurulum yapılan konuma göre ayar-

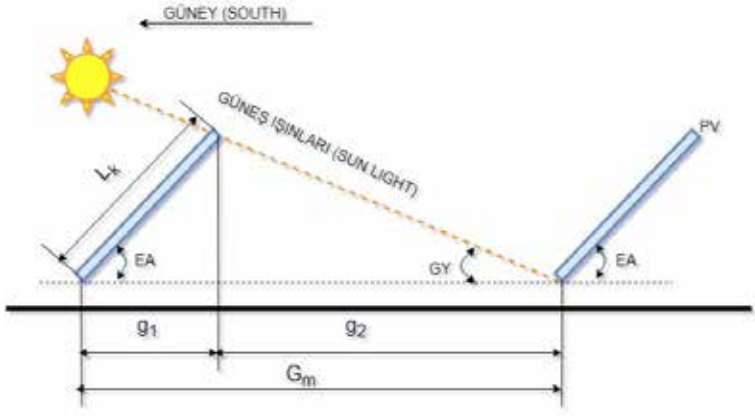
lanması gerekir (Kallioğlu, 2017). Mevcut kurulumu yapılmış modüllerin açıları (31°) ile PVGIS programında uygun görülen açıların karşılaştırılması yapılmıştır.

4.3. Kollektör dizileri arası bırakılması gereken mesafe

Birbirini takip eden kolektör dizileri arasındaki (GM) genişlik mesafesi yaklaşık olarak kolektör eğim doğrultusu ölçüsünün (L_k) üç katı olur. Bu kural 40° kuzey enleminde ve kolektör eğim açısının enlem derecesinden 15° fazla alındığı kış uygulamaları içindir (Abuşka, 2012). Kolektörler arası mesafeyi veren formül ve görsel sırasıyla Denklem 1 ve Şekil 7'de sunulmaktadır.

$$GM = L_k[Sin(EA)]/Tan(GY) + Cos(EA) \quad (1)$$

Formülde yer alan GM terimi kolektör dizileri arasında bırakılması gereken mesafeyi ifade etmektedir. L_k, kollektör eğim doğrultusu ölçüsünü ve EA, kolektörlerin yatay düzlemle yaptıkları açı (eğim açısı) vermektedir. GY, dizi halindeki kolektörlerin güneşi direkt görmeye başladıkları güneş yükseklik açısını ifade etmektedir.



Şekil 7. Dizi halinde yerleştirilmiş kolektör arası mesafe hesabı

4.4. PV sisteminde kayıplar

PV modüllerine düşen ışınım kayıpları, PV' yi oluşturan bileşenlerde yapısal, tasarımsal ve çevreden kaynaklanan sistem kayıpları, inverterler de görülen kayıplar enerji üretiminde kayıplara neden olur. PV sistemin ürettiği enerji, sistemi oluşturan bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, konfigürasyonu, coğrafi konumu, çevredeki yapılar ve işletim sırasında gerçekleşebilecek arızalara bağlıdır. Panel, düzlemin eğim açısı ve GES' nin konumu nedeniyle gölgeleme etkisinden kaynaklı %7 kayıp ilk sıradadır (Bilgili ve Dağtekin, 2017).

4.5. Nihai Hasat (Y_F)

Belirli bir döneme (gün, ay, yıl) göre, kurulu PV sistemden üretilen toplam AC enerjinin PV sistemin nominal çıkış gücüne bölünmesi ile hesaplanır (Sharma ve Chandel, 2013).

$$Y_F = E_{AC} / P_{PV,N} \tag{2}$$

4.6. Referans Hasat (Y_R)

Düzlemdeki toplam güneş ışıtım değerinin (H_T) (kWh/m^2), referans ışınım şiddetine (G) (1 kW/m^2) bölünmesi ile hesaplanır (Sharma ve Chandel, 2013).

$$Y_R = H_T / G \tag{3}$$

4.7. Panel Performans Oranı (PR)

Performans oranı, nihai hasadın referans hasata bölünmesi ile hesaplanır. Güneş ışınımına göre performans parametresi hakkında önemli bilgiler verir ve DC' yi AC' ye dönüştürürken kayıpların genel etkisinin performanstaki uzun vadeli değişikliklerin değerlendirilmesinde kullanılır (Sharma ve Chandel, 2013).

$$PR = Y_F / Y_R \tag{4}$$

4.8. Sistem Verimliliği ($\eta_{sys,m}$)

Aylık sistem verimliliği, sistemdeki aylık enerji miktarının PV yüzeyine gelen toplam enerji miktarına bölünmesi ile hesaplanır (Sharma ve Chandel, 2013).

$$\eta_{sys,m} = \frac{E_{AC,m}}{H_T * A_a} \tag{5}$$

4.9. Kapasite faktörü (KF)

Kapasite faktörü, bir enerji santralinin ne kadar verimli çalıştığını gösteren parametre olarak tanımlanmaktadır. Bu faktör, santralin nominal gücü ile yıllık sağladığı enerji miktarı arasındaki ilişkiyi vermektedir.

$$KF = \frac{E_{AC}}{P_{PV,N} * 8760} = \frac{Ortalama\ Güç}{Nominal\ Güç} \tag{6}$$

4.10. Kullanım ömrü maliyeti

Ömür maliyet analizi paranın zaman değeri kavramını temel alır. Sistemin kullanım ömrü boyunca oluşan tüm maliyetler hesaplanır. Kullanım ömrü maliyeti analizinde, tüm maliyetler bugünkü güncel değerlerine indirgenir. Bu, gelecekteki tüm maliyetleri iskonto oranı (r) ile çarparak yapılır. Tek bir gelecekteki değerden (FV), bugünkü güncel değeri (PV) hesaplamak için, aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (İbrahim, 2006).

$$PV = FV\left(\frac{1}{1+r}\right)^{n} \quad (7)$$

Formülde yer alan n terimi yıl sayısını ifade etmektedir.

5. SONUÇLAR

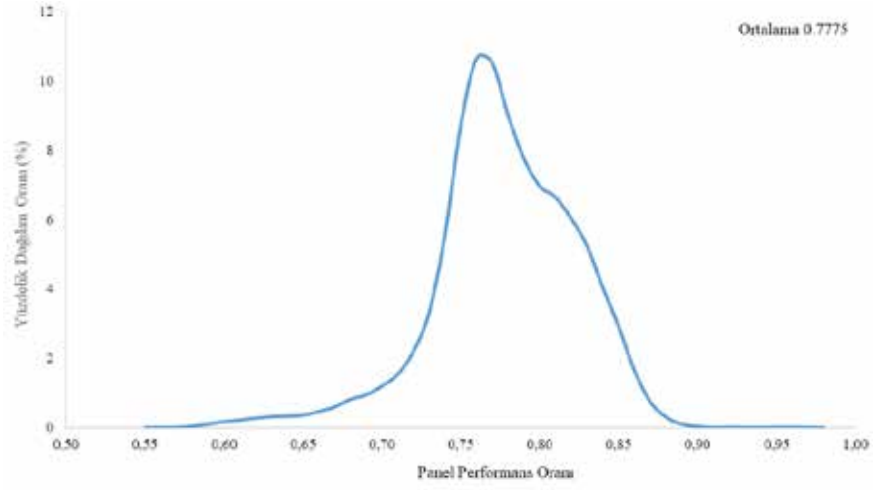
1 kW kurulu güce sahip bir güneş enerjisi sistemi için gerçek kullanım şartlarında yıllık ortalama 1370 kWh/yıl elektrik üretimi sağlanmıştır (Tablo 3). Şekil 8'den görüldüğü üzere, kapasite faktörü yıllık bazda %56 ile %97 arasında değişim göstererek ortalamada % 77.75 değerine ulaşmıştır. Katalogda yer alan panel elektrik üretim verimi %15 değeri gerçek saha şartlarında kapasite faktörü oranına bağlı olarak %11.66 değerine düşmektedir. Sisteme ulaşan toplam güneş enerjisi miktarı 1762 kWh/m^2.yıl olarak ölçümlenmiştir. Birim m^2'ye elektrik üretiminin güneş radyasyonuyla değişimi incelenerek Şekil 9'a sunulmuştur. Birim alanda yıllık 205.5 kWh/yıl elektrik üretilebilmektedir. 300 W ile 1000 W radyasyon değerleri aralığında yaklaşık olarak eşit düzey 'de bir elektrik üretimi olmaktadır.

İncelenen GES için 2015-2018 dönemlerine ait aylık elektrik üretim miktarları Şekil 10'da sunulmaktadır. Sistem elektrik satışından 1 kW kurulu güç için 2018 yılı perspektifinde yıllık 854,8 TL kazanç sağlamıştır. Ortalama elektrik satış fiyatı 2015 yılında kWh başına 36,36 kuruş iken bu değer 2018 yılında 62,4 kuruşa çıkmıştır (Tablo 4). Dört yıllık süreçte PV santrali için elektrik satış fiyatında TL cinsinden artış %71,6 seviyesine ulaşmıştır.

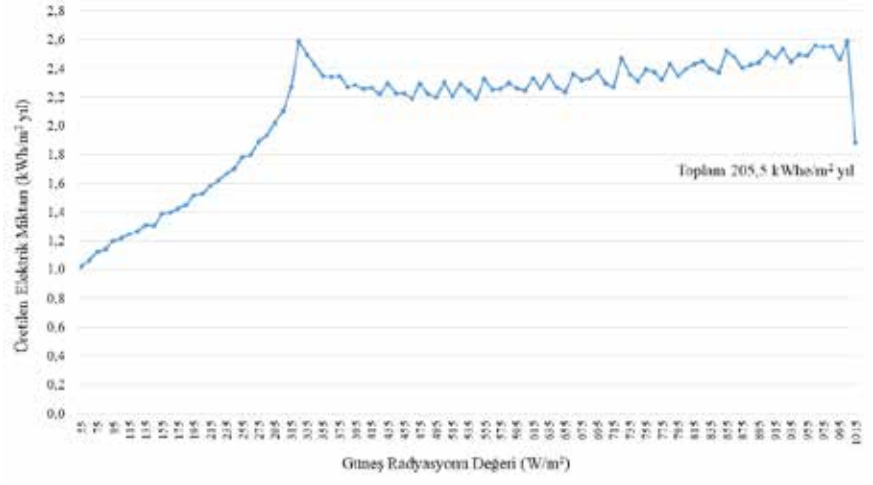
Tablo 3. 1 kW kurulu güç için üretilen ortalama elektrik miktarı

Elektrik Üretim Miktarları (kWh/ay)	
Aylar	**Ortalama**
Ocak	75,36
Şubat	84,93
Mart	103,76
Nisan	137,25
Mayıs	138,16
Haziran	131,66

Temmuz	138,85
Ağustos	146,18
Eylül	124,61
Ekim	114,07
Kasım	89,61
Aralık	85,50
Toplam	1370



Şekil 8. Yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



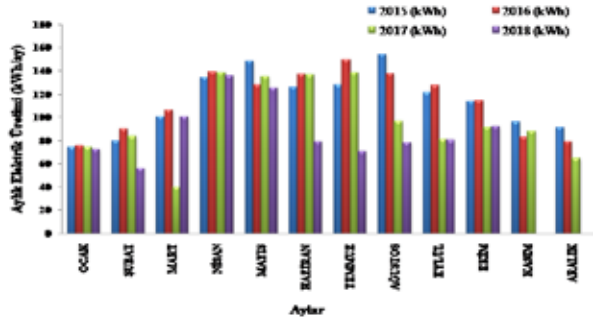
Şekil 9. Birim m² 'ye elektrik üretiminin güneş radyasyonuyla değişimi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının toplumsal maliyetlere etkisi büyük önem taşımaktadır. Emisyon azaltımı sayesinde hem çevreye hem de insanlığa büyük katkı sağlanmaktadır. 1 MW kurulu gücün yıllık elektrik üretim miktarı 3,147 MWh net yıllık sera gazı emisyon azalması

1,415 t^{CO_2} eş değeri tüketilmeyen ham petrol varili 3,291' dir. 1 kW kurulu güce göre GES' nin net yıllık sera gazı emisyonu azalması 819 $kgCO_2$' dir (600 g CO_2 / kWhe).

Tablo 4. 1 kW için elektrik üretim satış değeri (2015-2018)

GES Elektrik Üretimi (TL)				
Aylar	2015	2016	2017	2018
Ocak	23,11	30,26	37,16	36,34
Şubat	25,96	35,33	40,96	28,19
Mart	34,72	40,96	19,27	52,14
Nisan	47,62	52,65	67,24	73,08
Mayıs	52,06	49,91	64,2	73,35
Haziran	45,21	53,34	63,95	48,52
Temmuz	45,79	58,65	64,94	44,77
Ağustos	58,38	54,43	45,16	60,78
Eylül	48,69	50,08	37,24	67,85
Ekim	44,35	46,65	44,68	71,87
Kasım	36,69	36,1	45,54	-
Aralık	35,57	36,75	33,12	-
Toplam	498,2	545,1	563,5	556,9



Şekil 10. GES için 2015-2018 dönemlerindeki aylık elektrik üretimi

6. TARTIŞMA

Yapılan inceleme sonucunda elde edilen sonuçlar madeller halinde aşağıda sunulmuştur.

- İzmir ili için ortalama güneş radyasyon miktarı1762 kWh/m^2.yıl

olarak ölçümlenmiştir.

- 1 kW kurulu güce sahip bir güneş enerjisi sistemi için gerçek kullanım şartlarında yıllık ortalama 1370 kWh/yıl elektrik üretimi sağlanmıştır.

- Panel performans oranı yıllık bazda %56 ile %97 arasında değişim göstererek ortalamada % 77.75 değerine ulaşmıştır.

- Gerçek saha şartlarında panel verimi %11.66 değerine düşmektedir.

- Dış sıcaklık etkisi haricindeki toplam kayıplar %14 olarak bulunmuştur. Dış sıcaklığın etkisiyle ortalama kayıp değeri % 22.25'de çıkmaktadır. Verimsizliğin başka bir nedeni de paneller arası uzaklığın olması gerekenden kısa olmasıdır. Bu da panellerin üzerine gölge düşmesine neden olmaktadır.

- İzmir ili için konutlarda kişi başına elektrik tüketimi 798 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. 1 kW kurulu güce sahip PV sistemi ile İzmir şartlarında 1,72 kişinin konut kaynaklı elektrik tüketimi karşılanabilmektedir. İzmir ili için 2017 verileri perspektifinde 3,02 hane halkı büyüklüğü düşünüldüğünde 1,76 kW kurulu PV sistemi konut elektrik ihtiyacı için yeterli olacaktır.

Kurulacak olan yeni santrallerde yukarıda bahsedilen verimlilik düşürücü etmenlerin yok edilmesine özen gösterilmelidir. Böylece üretim verimi arttırılabilir.

Kaynakça

Kaya, A.A. (2016). *Türkiye'deki Güneş Enerjisi Santrallerinin Üretim Potansiyelinin Enerji ve Ekserji Verimliliği Açısından Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi.* İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Boztepe, M. (2002). *İzmir (Bornova) Koşullarında Şebekeye Bağlı Bir Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarımı Ve Denenmesi.* Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2014). *Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı.* T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014).

İzmir Kalkınma Ajansı (İZKA). (2015). *Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Yerel Teşvik Mekanizmaları*.

Özbalta, **N.** (2001). *Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamalar*. Yerel Gündem. 21, 18-24

Mutlu, E. (2013). *Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Ekonomisi ve Ankara İline Ait SWOT Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Yönetim Ekonomisi Bilim Dalı.

Coşkun, C. , Oktay, Z. (2018). *An Advanced Simple Method for Generating Synthetic Average Instant Hourly Solar Energy*. Journal of Management Science & Engineering Researc.01(1), 1-6.

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (Enerji Atlası). Erişim adresi: http://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye. [Erişim: 08-Kas-2018].

Kallioğlu, M.A., Ercan, U., Avcı, A.S. ve Karakaya, H.. (2017). *Güneş Panelleri için Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi.* 2nd International Energy and Engineering Conference, 180-186 p.

Güngör, A. (2013). *İzmir İlinde Termal Uygulamalarda Güneş Enerjisi Neden Bir Gereksinim?* . TMMOB 2. İzmir Kent Sempozyum.

Abuşka, M. (2012). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları.*

Bilgili, M., Dağtekin, M. (2017). *Fotovoltaik Piller İle Elektrik Üretiminde Uygun Eğim Açısının ve Yıllık Oluşan Enerji Farkının Belirlenmesi.* Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6 (Özel Sayı (BSM 2017)), 156-167.

Sharma, V. ve Chandel, S.S. (2013). *Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27:753-767 p.

İbrahim, D. (2006). *Güneş Enerjisi Uygulamaları*. Bilesim Yayincilik ve Fuarcilik A.S. 2006 ISBN: 975-271-108-1



Bölüm 17

GİYİLEBİLİR ELEKTRONİK ÜRÜNLER

Züleyha DEĞİRMENCİ[1], Sabiha YARLUĞKAL[2]

1 Doç.Dr. , Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, degirmenci@gantep.edu.tr
2 Yüksek Lisans Öğrencisi , Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, sabihayarlugkal@gmail.com

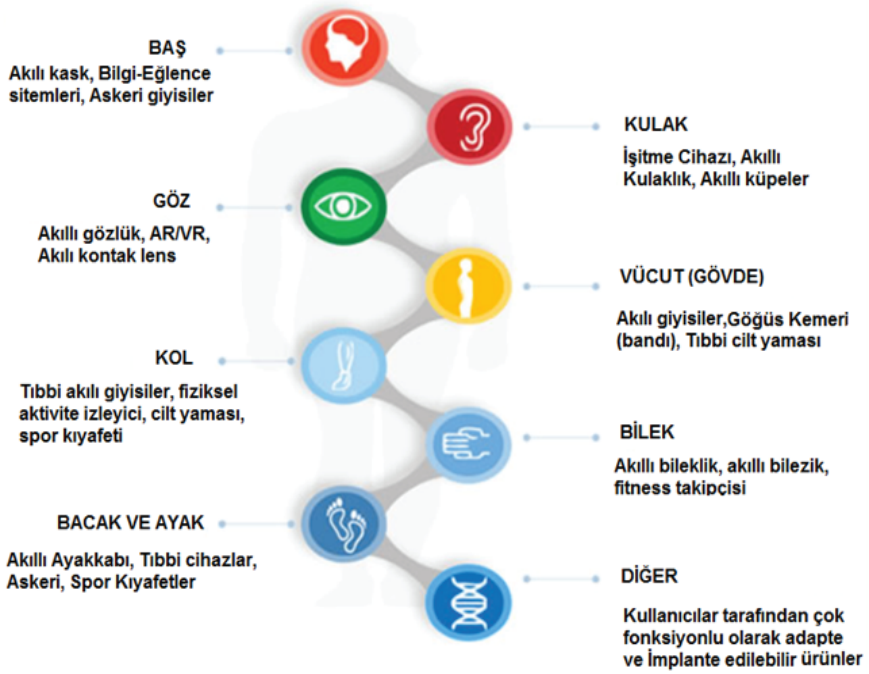
1. Giriş

Günümüzde ağ bağlantısı olan ve belirli işlemleri yapabilen cihazların kullanımının yaygınlaşması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu cihazlar aksesuar ve kıyafet gibi eşyalara da entegre edilerek giyilebilir elektronik ürün olarak kullanılmaya başlandı. Giyilebilir elektronikler klasik kullanım amaçları dışında çok fonksiyonlu özelliklere sahiptirler ve günlük hayatta kullanılan gözlük, saat, ayakkabı, tişört, ceket gibi kıyafet ya da aksesuarlar klasik üretim tekniklerinin dışında elektronik bir cihaz gibi üretilmektedir. Teknolojinin kumaşla birleşmesi ve bu ürünlerin kullanımının artmasıyla akıllı tekstil sektörü değer kazanmaya başladı. Giyilebilir elektronik ürünler içlerinde yer alan mikroçip, sensör gibi donanımlar sayesinde birbirleriyle haberleşebilmekte ve veri alışverişi yapabilmektedir. Tasarımsal değişikliklerle modaya uygun hale gelen ürünler sayesinde sağlık ve askeri alanların haricinde spor, eğlence, eğitim gibi birçok alanlarda da kullanılmaktadır (Erol & Çetiner, 2017), (Sağbaş, Ballı, & Yıldız, 2016), (Çiçek, 2015). Giyilebilir elektronik ürünleri cep telefonu ve bilgisayar gibi cihazlardan ayıran en önemli özellik ellerin serbest olmasıdır. Bu sayede kullanıcı gündelik işlerini yaparken giyilebilir elektronik ürün gerekli verileri alarak işlevini yerine getirebilmektedir (Watier, 2003).

Bu çalışmanın amacı son yıllarda önem kazanan giyilebilir elektronik ürünlerin kullanım alanlarını, geçmişteki ve günümüzdeki yeri ve önemini aynı zamanda kullanımı gün geçtikçe artan bu ürünlerin yararlarını ve zararlarını incelemektir.

2. Giyilebilir Elektronik Ürünlerin Kullanım Alanları

Giyilebilir elektronik ürünler Şekil 1'de gösterildiği gibi insan vücudunda kullanıldığı bölgeye göre kategorize edilebilir (Özgüner Kılıç, 2017). Bunun yanı sıra kullanım alanlarına göre sağlık, askeri, spor, eğlence şeklinde de kategorize edilmektedir.

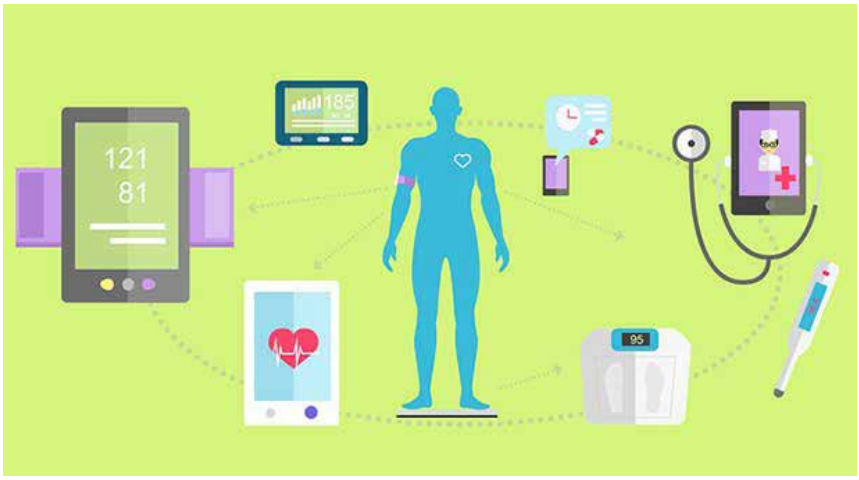


Şekil 1: *Giyilebilir Elektronik Ürünlerin Vücuttaki Konumu (Özgüner Kılıç, 2017)*

2.1. Sağlık Sektörü

Sağlık sektörü tüm dünyada en çok yatırım yapılan sektörlerin başında gelmektedir. Teknolojideki gelişmeler ve eğitim seviyesindeki artışla beraber insanlar hem kendilerinin hem de yakınlarının sağlıklarına daha çok dikkat etmeye ve bireysel ölçümlere yönelmeye başladılar. Sağlıkta tedavi dışında hastalığın erken tespiti, hastalığın düzenli takibi ve kontrol altında tutma amacıyla giyilebilir elektronik ürünler tercih edilmektedir. Özellikle nabız, kandaki oksijen seviyesi, tansiyon, şeker, kalp fonksiyonları gibi parametrelerin ölçülmesi, kaydedilmesi ve aksi bir durum olduğunda kullanıcıya ya da istenildiği taktirde üçüncü bir şahsa bilgi verilmesi tercih edilen özellikler arasındadır. Sağlık parametreleri dışında kişiler sağlıklı kalabilmek için günlük uyku düzenlerini, adım sayılarını, kilo takiplerini, yemek düzenlerini de izlemek ve kontrol altında tutmak amacıyla bu ürünleri kullanmaktadırlar (Aydan & Aydan, 2016). Giyilebilir elektronik ürünlerin en önemli özelliklerinden biri olan uyarı sistemi kullanıcıların tercih sebeplerinden biridir. Takip ve uyarı sistemleri dışında bunu bir eğlence haline getiren yazılımlar sayesinde farklı kişilerle rekabet halinde olunması, oyun gibi puan toplama ve yarış özelliklerinin olması da kullanıcıyı teşvik etmektedir.

Yaşam tarzındaki değişim ve teknolojinin yaygınlaşmasıyla kişilerde oluşan hareketsizlik ve buna bağlı olarak obezite, tansiyon ve diyabet gibi hastalıkların artmasıyla giyilebilir tıbbi cihazın pazar payı artmaktadır. Research and Markets tarafından yayınlanan rapora göre giyilebilir tıbbi cihaz pazarının 2022 yılına kadar 27,8 milyar dolar Pazar hacmine ulaşacağı ön görülmektedir.

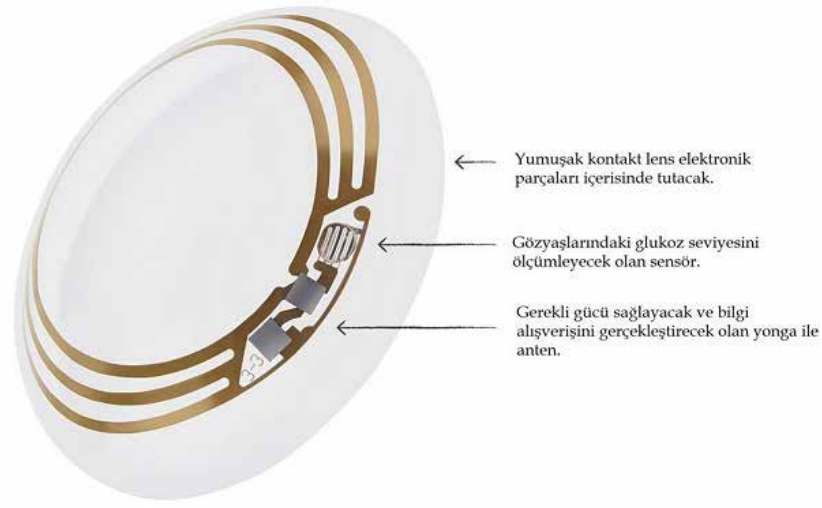


Şekil 2: *Sağlık alanında kullanılan giyilebilir elektronik ürünlerin genel bir gösterimi (Giyilebilir Cihazlar Sağlık Hizmetlerinin Her Alanına Damga Vuracak, 2016)*

Giyilebilir teknoloji denince ilk akla gelen akıllı saatler ve bileklikler spor ve eğlence dışında nabız, tansiyon, kandaki oksijen seviyesi gibi parametreleri de ölçtüğü için sağlık alanında kullanılan teknolojiler başlığı altında da yer almaktadır. Bunlar dışında sağlık alanında kullanılan giyilebilir elektronik ürünlere örnekler:

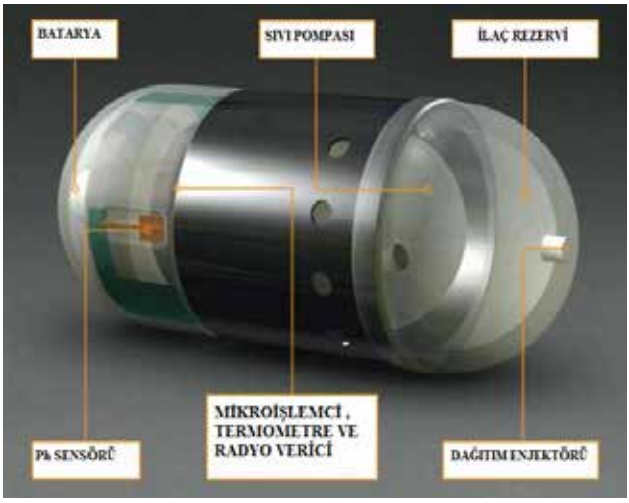
- Akıllı Kontak Lens

Google tarafından geliştirilen akıllı kontak lensler, gözlük kullanan diyabet hastalarının kan şekeri ölçümü ve kaydedilmesi amacıyla geliştirildi. Bu ürün gözyaşından her saniye kişinin kan şekerini ölçmekte ve gözlük ihtiyacını karşılamaktadır. İçerisinde bulunan mikroçip sayesinde akıllı telefonlarla bağlantı kurarak sonuçların takip edilmesi sağlanmaktadır (Oğuz, tarih yok).



Şekil 3: *Google Akıllı kontak Lens (Google'dan Akıllı Lens, 2017)*

- Akıllı Hap



Şekil 4: *Philips Akıllı Hap (Taşdelen, 2015)*

Philips firması tarafından geliştirilen akıllı hap ilacın istenilen bölgeye nokta atışı ulaşmasını ve enjekte edilemsini sağlamaktadır. Özellikle kanser tedavisinde, ya da insülin gibi kronik ilaç tedavisi gören unutkanlığa meyilli hastalarda kullanılması planlanan bu ürün ilaç rezervi ve sıvı pompası yapabilmekte ve Şekil 4 'de gösterildiği gibi pH sensörü, termometre ve mikroişlemci gibi donanımlardan oluşmaktadır (Taşdelen, 2015).

- Akıllı Ülser Sensörü

Leaf Health Care tarafından geliştirilen ürün üzerindeki sensörlerle uzun süre oturmaktan ya da hareketsiz kalmaktan kaynaklı rahatsızlıkların önüne geçmek için kişisin düzenli olarak doğru şekilde ve doğru zamanda egzersiz yapmasını sağlıyor (Oğuz, tarih yok).



Şekil 5: *Leaf Health Care Akıllı Ülser Sensörü (Oğuz, tarih yok)*

2.2. Savunma Sanayi

Askeri üniformaya entegre edilecek teknolojilerin sahip olması istenilen özellikler; iletişim altyapısı, anlık durum takibi, çevresel koşulları algılama ve gizleme sağlayabilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji ihtiyacını karşılayabilmesidir. Aynı zamanda bu özelliklerin askeri hareket kabiliyetlerini kısıtlamayacak ağırlıkta olması beklenmektedir. Nano teknolojide yaşanan olumlu gelişmelerin etkisiyle akıllı tekstiller bu sorunlara çözüm sunmaktadır (Karakoç, 2016).

Askeri alanda kullanılan giyilebilir elektronik ürünler yaralanmaya karşı koruma, yara algılama, sağlık ve stres izleme gibi kategorilere ayrılır. Diğer giyilebilir teknolojilerde olduğu gibi sensörler yardımıyla istenilen özellikler sağlanmaktadır. Kullanılan fizyolojik sensörlerle nabız, vücut sıcaklığı, kandaki oksijen seviyesi kalp fonksiyonlarının ölçümleri yapılmaktadır. Basınç, ivme ölçümü, GPS ve yön bulma gibi özellikler kinetik sensörler yardımıyla yapılmaktadır. Radyalojik, kimyasal, biyolojik ve nükleer tehlikelere karşı ise çevresel ya da ajan olarak adlandırılan sensörler kullanılmaktadır.

Savunma sanayide kullanılan giyilebilir elektronik ürünlere örnekler:

- Dış İskelet (Exoskeleton)

Felçli hastaların yürümesine yardımcı olması için üretilen dış iskeletler askerlerin gücünü ve dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanılmaya başladı. Birçok ülkenin üzerinde askeri projelerinde dış iskelet çalışmala-

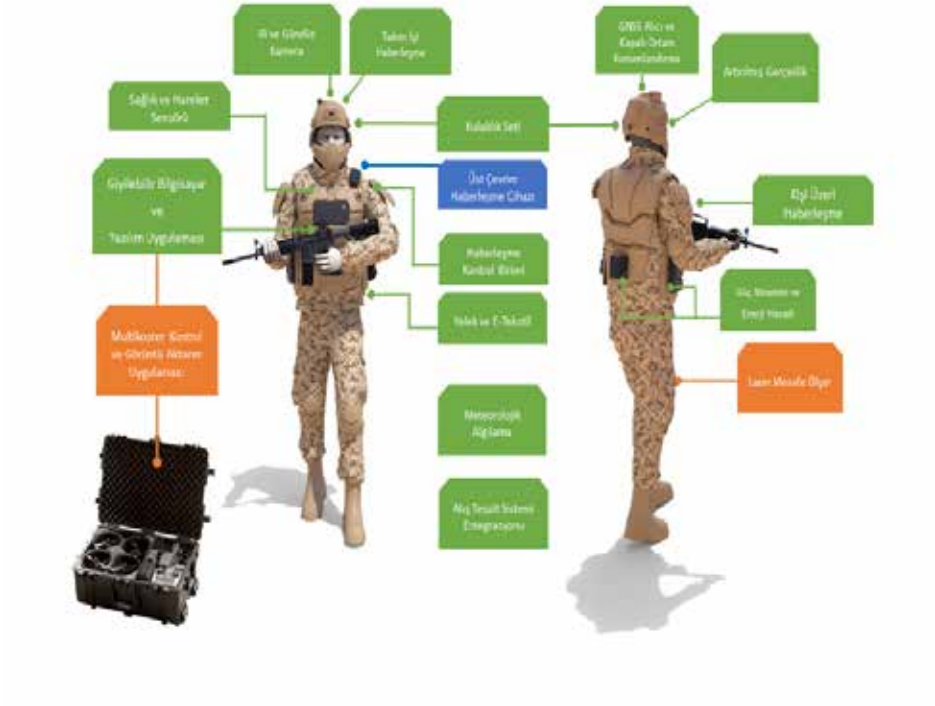
rına da yer vermektedr. Aselsan'ın geliştirmekte olduğu Şekil 6'da gösterilen yürüyüş asistanı (ASYA) yer çekiminin bacak ve kaslardaki etkisini azaltarak zorlu arazi koşullarında askerlerin yürüme, koşma, tırmanma ve sıçrama gibi hareketlerinde destek olmaktadır (Saat, 2017).



Şekil 6: *Aselsan Yürüyüş Asistanı (ASYA) (Saat, 2017)*

- Takım ve Komuta Koruma Sistemi

Aselsan tarafından geliştirilen CENKER; giyilebilir bilgisayar, akıllı muharebe sahası gözlüğü, akıllı saat, nabız ölçer, komuta bilgisayarı, dayanıklı batarya seti, hassas konuşmaya açık dış ortam sesinden arındırılan gırtlak mikrofonu, canlı görüntü aktarım kamerası, yazılım tabanlı telsiz ve silaha monte komuta biriminden oluşmaktadır. Şekil 7'de gösterildiği gibi göze, kulağa ve kola takılan sistem 2 kg ağırlığındadır. Birçok özelliğe sahip olan sistemin başlıca özellikleri arasında askerlerin sağlık ve mühimmat durumlarının takibi ve askerler arası iletişim yer almaktadır (Cenker: Aselsan'dan Türk Askeri için Giyilebilir Teknoloji, 2015).



Şekil 7: *Aselsan Takım ve Komuta Koruma Sistemi (CENKER)*

2.3. Eğlence ve Spor

Giyilebilir teknoloji günümüzde sıklıkla eğlence ve moda sektöründe kullanılmaktadır. Özellikle akıllı saat ve bileklerin fiyatlarının düşmesiyle birlikte kullanıcı sayılarında büyük bir artış görülmektedir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda eğlence ve moda sektörüne yönelik giyilebilir elektroniklerin diğer ürünlere kıyasla daha popüler olduğu ve pazar payının gün geçtikçe daha da artması beklenmektedir. Özellikle kadınların aksesuar olarak kullandıkları küpe ve kolye gibi takıların dikkat çekici olması tercih edilen bir durumdur (Öymen, 2017).

- Akıllı Saat ve Bileklik

Özellikle telefon şirketleri tarafından geliştirilen akıllı saat ve bileklikler kullanımı yaygınlaşmaktadır. Klasik bir saatten farklı olarak cep telefonlarıyla kablosuz iletişim kurabilen bu ürünler telefon bildirimleri dışında nabız ölçümü, adım sayısı, toplam uyku süresi, yakılan kalori hesaplarını yapabilmektedirler. Tasarımsal değişiklikler sayesinde daha şık ve dikkat çekici olmaları da kullanımlarını arttırmaktadır.

- Akıllı Gözlükler

Arttırılmış gerçeklik mantığıyla çalışan akıllı gözlükler giyilebilir teknolojinin en önemli özelliği olan ellerin serbest olmasını sağlamaktadır ve bu sayede gerçek dünyadan kopmadan dijital teknolojiyi kullanmayı sağlamaktadır. Şekil 8'de gösterildiği gibi birçok firmanın farklı tasarımlara sahip akıllı gözlükleri bulunmaktadır.



Şekil 8: *Akıllı gözlük örnekleri (Tunçer, 2017)*

Son yıllarda popülerlik kazanan sanal gerçeklik (VR) ve arttırlmış gerçeklik gözlükleri de akıllı gözlükler kategorisinde sayılmaktadır.

- Giyilebilir Drone

Stanford Üniversitesinde çalışan Dr. **Kohstall** tarafından üretilen ve Şekil 9'da gösterilen ürün bileğe takılan ve istenildiği zaman drone olarak kullanılabilmektedir.



Şekil 9: *Giyilebilir Drone (Strietelmier, 2014)*

Akıllı Dövmeler

MIT Media Lab ve Microsoft Research'ün ortaklaşa geliştirdikleri DuoSkin isimli akıllı dövme yüzeyine yerleştirilen ince çipler sayesinde cep telefonu, bilgisayar gibi akıllı cihazlarla bağlantı kurup onları kontrol edebilmektedir (Giyilebilir teknoloji sınır tanımıyor: Akıllı dövme, 2016). Vücudun pH değeri, glikoz seviyesi, su miktarı gibi sağlık parametrelerini ölçen ve renk değişimiyle bilgi verebilen dövmeler üzerine çalışmalar devam etse de veri gizliliği ve hasta mahremiyeti gibi etik konulardan dolayı henüz işlevsel değillerdir (Küstür, 2017).



Şekil 10: *DuoSkin (Giyilebilir teknoloji sınır tanımıyor: Akıllı dövme, 2016)*

3. Giyilebilir Elektronik Ürünlerin Geleceği

Giyilebilir elektronik ürünlerde son 10 yılda yaşanan gelişmeler göz önüne alındığında bu teknolojinin hızla gelişmeye devam edeceği ön görülmektedir. Uzun vadedeki gelişmeler net şekilde bilinemese de yapılan çalışmalar ve araştırmalar yakın gelecekte ortaya çıkabilecek ürünler hakkında fikir vermektedir. Teknolojiye olan bağımlılığın da her geçen yıl arttığı düşünüldüğünde giyilebilir teknolojinin kullanım alanlarının da artacağı tahmin edilmektedir.

Günümüzde birçok kişi için özellikle cep telefonlarının şarjının bitmesi ve şarj kaynaklarına erişim olmadığı zaman bu durum sorun teşkil etmektedir. Gelecekte giyilebilir teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan akıllı tekstiller özellikle bu duruma çözüm üretmesi beklenmektedir. Esnek güneş panellerinin günlük kıyafetlere entegre edilmesi ve tasarım olarak daha kullanışlı ve şık hale getirilmesi sağlandığında kişiler cep telefonları gibi elektronik cihazlarını kıyafetleri aracılığıyla kolaylıkla şarj edebilecektirler (Sağbaş, Ballı, & Yıldız, 2016). Bu konuda günümüzde benzer örnekleri yapılmış olsa da günlük hayatta kolaylıkla kullanım için henüz istenilen seviyeye gelmemiştir.

Nano teknoloji ve akıllı tekstillerdeki gelişmeler göz önüne alındığında şuan kullanılan giyilebilir elektroniklerin gelecekte daha da küçüleceği, günlük kıyafetlerimizin bir parçası olacağı hatta insan vücudunun içerisine yerleştirileceği kaçınılmaz bir gerçektir. Yapay zeka çalışmalarının artmasıyla beraber bu alanın giyilebilir teknolojiye etkileri de gözükmektedir. Özellikle makine öğrenme teknikleriyle duygu saptamaya yönelik çalışmalar ve bu çalışmalar sonucu oluşan ürünlerin geliştirilmesi hız kazanmaktadır.

4. Giyilebilir Elektronik Ürünlerin Zararları

Giyilebilir elektronik ürünlerin hayatı kolaylaştırması ve hayat kalitesini arttırması gibi birçok yararı bulunurken aynı zamanda göz ardı edilemeyecek zararları da mevcuttur. Teknolojinin vermiş olduğu rahatlık sayesinde insanlar tembelleşir ve hareketsiz yaşama alışır. Günlük hayatın her alanında kullanılmaya başlanan giyilebilir elektronik ürünler veri gizliliği konusunda sorun teşkil etmektedir. Kişilerin tüm verilerini ölçen ve kaydeden bu ürünler kötü amaçlı yazılımlar ya da siber saldırılara maruz kalabilmektedir (Sönmez Çakır, Tumiçin, & Aytekin, 2018). Teknolojinin insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkileri görülmeye başlandı. Bu ürünler radyasyon ve elektromanyetik dalgalar yaydığı için insan vücudu bunlara maruz kalır ve kansere yakalanma olasılığı artmaktadır. Üretim aşamasında risk analizleri düzgün yapılmadığı taktirde bu ürünler kimyasal reaksiyonlar, elektrik çarpmaları, yanıklar veya işitme kaybı gibi fiziksel sağlık

problemlerine yol açabilmektedir (4 Physical Safety Considerations of Medical Wearable Devices, 2015).

5. Pandeminin Giyilebilir Elektronik Ürünlere Etkisi

Covid-19 salgınından itibaren alınan tedbirlerle birlikte insanlar yaşam tarzlarını değiştirmeye başladı. Giyilebilir teknolojik ürünlerde de bu değişikliğe adapte olmaya başladı. Özellikle virüs bulaşmaması için alınan tedbirlerde ve hastaneye gitmeden sağlık değerlerinin ölçülmesi üzerine giyilebilir teknoloji kullanılmaya başlandı.

Özellikle Korona virüsü salgınıyla insanların vücut sıcaklığı ve nefes alış verişi gibi hayati değerlerin düzenli olarak ölçülmesi ve takip edilmesi daha da önem kazandı. Bu alanda kullanılan akıllı saat ya da bileklik gibi ürünlerden farklı olarak Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT)'nden Dr. Canan Dağdeviren ve ekibi tarafından akıllı elektronik tekstil projesi geliştirdi. Takılıp çıkarılabilen elektronik sensörler ile kalp atışını, nefes alış-verişini ölçülebilecek ve bu verileri kablosuz bir iletişim ile depolayıp paylaşılabilecek bir tişört geliştirdiler. 30 sıcaklık sensörüne sahip bu ürün makinede yıkanabilmektedir (Wicaksono, ve diğerleri, 2020).

Covid-19 salgınıyla günlük hayatın bir parçası haline gelen maskeler için Shervin Pishevar ve ekibi tarafından yeni nesil maske geliştirildi. Şekil…'de gösterilen maske mikrofon, 360 derece kamera, kızılötesi, yüz tanımaya karşı koruma, artırılmış gerçeklik gibi birçok özelliğe sahiptir. Bu özellikler sayesinde enfeksiyona ve kirliliğe karşı korumasının yanında ekstra güvenlik önemi de sağlaması planlanmaktadır (Gazan, 2020).



Şekil 11: *Yeni Nesil Yüz Maskesi (Gazan, 2020)*

6. Sonuç

Her icat bir ihtiyaçtan doğmuştur ve icatlar içinde bulunulan dönemin şartlarına uygun bir şekilde gelişmeye devam etmiştir. Giyilebilir elektronik ürünler sadece ihtiyaç için değil çoğu zamanda eğlence ve moda için geliştirilmiştir. İnsanoğlu yaşanılan olumsuzluklara ya da değişikliklere çok çabuk adapte olup bu duruma uygun hayat kalitesini yükseltecek ürünleri hızlı bir şekilde geliştirmeyi her zaman başarmıştır.

Covid-19 salgınında sonra birçok sektör çalışanlarının evden çalışma düzenine geçmesi üzerine teknoloji kullanımının arttığı ve önem kazandığı görülmüştür. Bu yüzden giyilebilir elektronikler sadece şahsi kullanımlar için değil şirketler için de kullanılacak ürünler haline gelmeye başlayacaktır. Şirketlerin çalışanlarına temin ettiği telefon bilgisayar gibi ürünlerin yanı sıra akıllı saatler, akıllı gözlükler gibi giyilebilir teknoloji ürünlerini de vereceklerdir. Spor salonları müşterilerinin günlük aktivitelerini takip etmek ve düzenli bildirimler göndermek için de bu ürünlere yönelmeye başladılar. Aynı şekilde doktorların hastalarını takip etmesi ya da hastaların hastaneye gitmeden sağlık değerlerini ölçmesi ve doktorla hızlı bağlantı kurması için de bu ürünlerin kullanımı daha da artacaktır.

Bu yüzden giyilebilir elektronik ürünler ve bu ürünlerde kullanılan teknolojiler sürekli gelişmeye açık ve pazar payının sürekli artacağı bir sektördür.

Kaynakça

4 Physical Safety Considerations of Medical Wearable Devices. (2015, 10 25). UL: https://www.ul.com/news/4-physical-safety-considerations-medical-wearable-devices adresinden alındı

Aydan, S., & Aydan, M. (2016). Sağlık Hizmetlerinde Bireysel Ölçüm ve Giyilebilir Teknoloji: Olası Katkıları, Güncel. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 325-342.

Cenker: Aselsan'dan Türk Askeri için Giyilebilir Teknoloji. (2015, 05 16). Teknolo: http://www.teknolo.com/cenker-aselsan-turk-asker/ adresinden alındı

Çiçek, M. (2015). WEARABLE TECHNOLOGIES AND ITS FUTURE APPLICATIONS. *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, 45-50.

Erol, A. D., & Çetiner, S. (2017). Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller ve Uygulamaları. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1-20.

Gazan, O. (2020, 04 01). *Teknolojik Desteğiyle Yeni Nesil Yüz Maskeleri*. Bigumigu: https://bigumigu.com/haber/teknolojik-destegiyle-yeni-nesil-yuz-maskeleri/ adresinden alındı

Giyilebilir Cihazlar Sağlık Hizmetlerinin Her Alanına Damga Vuracak.

(2016, 04 06). Medimagazin: https://www.medimagazin.com.tr/guncel/genel/tr-giyilebilir-cihazlar-saglik-hizmetlerinin-her-alanina-damgasini-vuracak-11-681-69707.html adresinden alındı

Giyilebilir teknoloji sınır tanımıyor: Akıllı dövme. (2016, 08 16). Up Lifers: https://www.uplifers.com/giyilebilir-teknoloji-sinir-tanimiyor-akilli-dovme/ adresinden alındı

Google'dan Akıllı Lens. (2017, 05 11). Neoldu: https://www.neoldu.com/googledan-akilli-lens-5295h.htm adresinden alındı

Karakoç, M. (2016, 05). *Giyilebilir Bilişim Sistemlerinin Askeri Uygulamalarının Tsk'Da Tek Er Seviyesinde 2023 Yılı İçin Tanımlanması.* Ankara: Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü.

Küstür, S. (2017, 10 02). *Akıllı dövmeler gelecekte giyilebilir sağlık ürünlerinin yerini alabilir*. Teknoblog: https://www.teknoblog.com/akilli-dovmeler-giyilebilir-saglik/ adresinden alındı

Oğuz, E. *Sağlık için 5 Giyilebilir Teknoloji*. İdeaport: https://arsiv.ideaport.org.tr/haberler/saglik-icin-5-giyilebilir-teknoloji adresinden alındı

Öymen, G. (2017). Giyilebilir Teknolojilerin Moda Endüstrisi. *1st International Conference on New Trends in Communication* (s. 131-138). İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi.

Özgüner Kılıç, H. (2017). Giyilebilir Teknoloji Ürünleri Pazarı ve Kullanım Alanları. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 99-112.

Saat, F. (2017, 04 24). *ASELSAN'nın Askeri Yürüyüş Asistanı: ASYA*. Bilim ve Tekno: https://www.bilimvetekno.com/aselsannin-askeri-yuruyus-asistani-asya/ adresinden alındı

Sağbaş, E. A., Ballı, S., & Yıldız, T. (2016). Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akademik Bilişim*.

Sönmez Çakır, F., Tumiçin, F., & Aytekin, A. (2018). Nesnelerin İnterneti ve Giyilebilir Teknolojiler. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, 84-95.

Strietelmier, J. (2014, 10 10). *I really want this wearable drone to be for real.* The Gadgeteer: https://the-gadgeteer.com/2014/10/10/i-really-want-this-wearable-drone-to-be-for-real/ adresinden alındı

Taşdelen, B. (2015, 04 14). *Akıllı Hap*. Tekno Destek: https://teknodestek.com.tr/akilli-hap/ adresinden alındı

Tunçer, C. (2017, 12 24). *Hayatımıza Giremeyen Teknolojiler #2: Akıllı Gözlükler.* LOG: https://www.log.com.tr/hayatimiza-giremeyen-teknolojiler-bolum-2-akilli-gozlukler/ adresinden alındı

Watier, K. (2003, 04 2003). *Marketing Wearable Computers to Consumers: An Examination ofEarly Adopter Consumers' Feelings and Attitudes toward Wearable Computers.* Washington, DC: Georgetown University.

Wicaksono, I., Tucker, C., Sun, T., Guerrero, C., Liu, C., Woo, W., . . .

Dağdeviren, C. (2020, 04 23). A tailored, electronic textile conformable suit for large-scale spatiotemporal physiological sensing in vivo. doi:https://doi.org/10.1038/s41528-020-0068-y



Bölüm 18

DİJİTAL PAZARLAMA VE PANDEMİ SÜRECİNİN DİJİTAL PAZARLAMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Züleyha DEĞİRMENCİ[1], Seda YAPICI SUNAÇ[2]

1 Doç.Dr. , Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, degirmenci@gantep.edu.tr
2 Yüksek Lisans Öğrencisi , Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, sedayapici@yahoo.com

1.GİRİŞ

Pazarlama bir ürün, hizmet veya düşüncenin yaratılması, fiyatlandırılası, dağıtılması ve devamlılığının sağlanması için yapılan işlemler bütünüdür. Bu işlem doğrudan veya dolaylı biçimde gerçekleşebilir. Süreç içindeki en mühim kavramlar şüphesiz ki ürün, fiyat, mekan, promosyan ve insandır. Literatürde pazarlama karışımı olarak karşımıza 4 P (Product-ürün, Price-fiyat, Place-mekan, Promotion-promosyon)olarak çıkmaya başlamış sonraları insan faktörü (Person) eklenmiştir. Bazı kaynaklarda bu karışıma süreç, fiziksel olanaklar, imaj ve halkla ilişkiler de (Process, Physical evidence, Packaging ve Public relations) eklenmiştir. Pazarlama kurallarına yenileri eklense de hala ilk 5 kural en önemlileridir. Bu kavramlar arasındaki "ürün" somut olmak durumunda değildir; hizmet veya düşünce de ürün olarak anılabilir. Temelde ürün düşünüldüğünde karşımıza üç ana öğe çıkar: İhtiyaç, istek ve arzu. Örneğin, telefonla iletişim kurabilmek insanoğlu için bir ihtiyaç iken, akıllı bir telefona sahip olmak istek ve ilave fonksiyonlara sahip marka bir telefona erişmek ise şüphesiz ki arzudur. Tüketici, hizmet alan veya müşteri nezdinde bir ürünün kabul görmesi ürünün sunulma-satılma koşullarına, fiyatına, satıldığı mekana ve hitap ettiği hedef kitleye göre farklılık gösterir. Bu nedenle üreticiler, tüketici isteklerini ya ihtiyaca ya da arzuya dönüştürmeye çalışırlar. Bu nedenledir ki satıcılar tüketiciler için akıllı bir telefonu önce ihtiyaç haline getirmiş daha sonra tüketiciler farkına varmaksızın daha pahalı telefonlar almaya yönlendirilmiştir.

Bilinen odur ki pazarlamada ürünler savaşmaz algılar savaşır. Algılar yaratılırken hedef kitle analizinin doğru yapılması oldukça önemlidir. Hedef kitle seçimi yapılırken coğrafik bölge, yaş aralığı, cinsiyet, ekonomik seviye, eğitim durumu ve sosyal statü etkili olmaktadır. Doğru satışın yapılabilmesi için öncelik hedef kitlenin doğru seçilmesidir. Önceleri satış yapılırken temelde ürün varken şimdilerde satış üzerindeki daha önemli etken insana dönüşmüştür. Bir başka ifade ile "ne üretirsek onu satarız" anlayışı yerini "tüketici ne isterse onu üretiriz" anlayışına bırakmıştır. Bu nedenledir ki ilk yapılması gereken doğru analizdir. Bu analiz hedef kitleye uygun üretilen ürün için belirlenen satış fiyatı ve satış tekniklerini kapsar. Bu tekniklerin doğruluğu ancak hedeflere ne kadar ulaşıldığının tespit edimesiyle mümkündür. Bu durum kalite analizindeki PUKÖ (Planla-Uygula-Kontrol et-Önlem al) çevrimine benzer. Hedeflere yeteri kadar ulaşılamıyorsa ya hedef kitle-ürün analizi doğru değildir ya da satış teknikleri doğru uygulanmamıştır. Sonuçta her ürün herkese satılamaz ya da herkese her ürün aynı teknikle satılamaz.

Tüketici açısından satın alma davranışının gerçekleşebilmesi için iki neden vardır: Ya tüketici gerçekten o ürüne ihtiyacı olduğunu düşünmeli ya da tüketici satış sırasında kendini savunmaya almamalıdır. Bunlardan

ilkinde gönüllülük gerektiğinden müşteri ya önceki deneyimlerinden tatmin olmuş olmalı ya da ürünü deneyimlemeyi istemelidir. İkicisinde ise tüketici farkına varmadan ürün reklamına maruz kalmalıdır. Bu maruz kalış başka birine ait mutlu bir deneyimi dinlerken, ekranda odaklanılan bir pogramı izlerken, sosyal medyada bir fenomenin sayfasında gezinirken olabilir. Gerçekte duvar-afiş reklamları da yolculuk sırasında zihnin farkına varmadan öğrenmesine yol açar. Kişiler böyle durumlarda savunmasız olduğundan daha kolay yönetilebilmektedir.

Aslında pazarlamayı etkileyen son gelişmelere bakıldığında değişen dünya ekonomisi, iş hayatının hızla küreselleşmesi ve müşteri değerinin artan önemi karşımıza çıkmaktadır. Hızla artan internet kullanımı ise bu durumun dışında tutulamaz. Son yıllarda birçoğumuz ekran karşısında uzun vakitler geçirdiğimizden dijital pazarlama önem kazanmıştır. Tabii bu noktada bilgisayar yazılımının, bilgi depolama ve bilgi iletişim teknolojilerinin gelişmesi ve şüphesiz e-ticaret uygulamalarının yaygınlaşması baş aktörlerdir.

Bu çalışmanın amacı dijital pazarlamayı anlamaya çalışmak, alternatif yollarını yorumlamak ve pandemi sürecinin dijital pazarlama üzerindeki etkilerini analiz etmektir.

2.DİJİTAL PAZARLAMA

1990'lı yıllarda internetin hayatımıza girmesiyle beraber insanların alışkanlıklarında zamanla büyük değişikler yaşanmaya başlamıştır. Son zamanlarda sıkça duyduğumuz dijital kelimesi de bu değişiklerle beraber farklı anlamlar kazanmıştır. Aslında Fransızca kökenli olan dijital kelimesinin temel anlamına bakıldığında Türk Dil Kurumu'na göre ''Verilerin bir ekran üzerinde elektronik olarak gösterilmesi'' şeklinde tanımlanmıştır (TDK, 2020). Günümüzde ise dijital kelimesi ile internet ve sanal dünya neredeyse özdeşleşmiştir. Teknoloji ve internetin gelişmesiyle farklılaşan en önemli alışkanlıklarımızdan biri de alışveriş yapma şeklimizdir. İnsanların ihtiyaçlarına ve talep ettikleri ürüne ulaşma şekillerinin internet ile değişmesiyle beraber, son yıllarda adını sıkça duyduğumuz Dijital Pazarlama kavramı daha da önem kazanmıştır.

Pazarlama kavramının genel olarak literatürdeki tanımına bakacak olursak; Philip Kotler'e göre pazarlama firmaların müşterilerinin dikkatini çekecek malları ve hizmetleri belirlemeleri ve işin idaresi, satışlar ve iletişim için strateji oluşturma sürecidir (Kotler, Wong, Saunders, & Armstrong, 2004).Amerikan pazarlama birliği ise pazarlamayı; ürünlerin üreticiden tüketiciye doğru iletilmesini sağlayan işler olarak tanımlamaktadır (Trout & Reis, 2007).

Literatürde Dijital pazarlama kavramına bakacak olursak; dijital da-

ğıtım kanallarını kullanarak ürün ve hizmetlerin tanıtımını yapmak, hedeflenen tüketicilere ulaşmak, bu tüketicilerle tekrar eden ilişki kurmak ve ölçülebilir sonuçlar üretme becerisine sahip bir uygulama olarak tanımlanmıştır (Smith, 2020).

Dijital pazarlamanın önem kazanması ile beraber tüketici kavramı, yerini dijital tüketicilere bırakmıştır. Alışveriş sitelerinde gıda, giyim, sağlık ürünleri, mobilya, beyaz eşya vb. ürünlerin farklı ödeme seçenekleri (kredi kartı, havale, eft, kapıda ödeme) ile sunulması ve bazı durumlarda kargo ücretlerinin alınmaması tüketicileri dijital ortamdan alışveriş yapmaya yönlendirerek dijital pazarlamanın gelişmesine olanak sağlamıştır.

2.1 DİJİTAL PAZARLAMANIN TARİHSEL GELİŞİMİ

1980 li yıllarda bilgisayarların boyutlarının küçülmesi, hafızalarının artması ile birlikte özellikle ticari amaçlı bilgisayarların kullanımı yaygınlaşmıştır. Pazarlama açısından incelendiğinde ise o yıllarda genellikle bilgisayarlar daha çok veri toplama amaçlı kullanılmaktaydı. Toplanan verilerin değerlendirilmesi ile müşteri talepleri, satış miktarları ve ciro rakamları daha anlamlı bir hal alıyordu. Bu nedenlerden dolayı, dijital pazarlamanın temelleri 1980'li yıllarda atılmıştır denilebilir.

1990'lı yıllarda ise internetin kullanımının başlaması ile iletişim kavramı yeni bir anlam kazanmıştır. İnternet ile kişilerin bilgilere erişimi artmış ve kolaylaşmıştır. İnternet üzerinde ilk reklam, 1994 yılında Hotwired sitesinde banner reklamı olarak yayınlanmıştır (Altınbaşak & Karaca, 2009). Yahoo'nun kurulması (1994) ve ardından Hotmail'in (1995-1996) piyasaya çıkması ile birlikte kişisel e-posta kullanımı artmıştır. Bu durum üretim ve satış yapan firmalara doğrudan müşterilere ulaşma imkanı sağlamıştır.

1998 yılında Google Arama Motoru hizmete girmesiyle dijital pazarlama yeni bir boyut kazanmıştır. Dijital pazarlamanın artan ivme ile yükselişindeki patlama 2000 yılında Google Adwords ve 2003 yılında Adsense internet reklamcılığının kurulması ile gerçekleşmiştir. Google Adwords'ü kısaca açıklamak gerekir ise; satıcı, reklamı verilen ürün üzerinden tıklama başına Google'a ödeme yapar, arama yapan kişiler de herhangi bir kelime aradıklarında arama sonuç sayfasında karşılarına ürün ile ilgili reklamlar çıkar. Google Adsense ise kendi internet sitelerine reklam alanı oluşturarak ziyaretçi kitlesine göre reklam satışı yapar.

2004 yılında web 2.0 'ın hayatımıza girmesiyle pazarlamanın dijitalleşmesi açısından önemli değişikler olmuştur. Çünkü Web 2.0 ile tek taraflı bilgi sunumu yerine tüm internet kullanıcıları arasında karşılıklı iletişim başlamıştır. Bu sayede yorum yapma, sosyalleşme, veri aktarımı ve veri toplama araçları tahminlerin ötesine geçerek küresel bir boyut kazanmıştır

(Deperlioğlu & Köse, 2010).

2004 yılında Facebook kullanılmaya başlanmış ve internette sosyalleşme alanları dijital pazar platformları haline gelmiştir. 2006 yılında Twitter ile birlikte bu sosyal ağlar daha da genişlemiştir (Erdem, 2010). 2006-2007 mobil cihazlarda sosyal ağların kullanılmaya başlanması ve bu ağlara mobil cihazlardan erişim ile beraberinde reklam verme yolunun açılması ürünün ya da hizmetin doğrudan kullanıcıya ulaşabilmesi imkanı sağlamıştır.

İnternet hızının artması, ucuzlaması, akıllı cihazlar ile birlikte dijital pazarlama dünya çapında göz alıcı bir hız kazanarak pazarlamanın önderliğini ele almıştır ve gelişimini devam ettirmektedir.

2.2 DİJİTAL PAZARLAMANIN ADIMLARI

Dijital pazarlamanın tam olarak ne olduğunu anlayabilmek adımlarını bilmek gerekmektedir. Bu adımlar incelendiğinde hedef kitleye ulaşımdan pazarlama organizasyonunu büyütülmesine kadar olan kısımlar incelenmektedir. Dijital Pazarlama temelde 4 adımdan oluşmaktadır (Koçak Alan, Tümer Kabadayı, & Erişke, 2018).

- Elde Etme (Acquire) : Müşteriyi kazanmak.
- Kazanmak (Convert) : Müşteriyi satıcının hedefine yönlendirmek.
- Ölçüm-Optimizasyon (Measure-Optimize) : Satış başarıcsı değerlendirmesi yapmak.
- Sahip çıkmak - Büyütmek (Retain&Grow): Süreklilik sağlamak.

2.3 DİJİTAL PAZARLAMANIN UNSURLARI

2.3.1 E-posta Pazarlaması

1990'lı yılların ortalarında elektronik postanın kullanılmaya başlaması ile firmalar artık kitlesel olarak bilgi paylaşımı yapmaya başlamışlardır. Önceleri daha çok iş yaşamında lider olan e-posta, 1990'lı yılların sonunda iş yaşamı ile beraber eğitim, sosyal hayatın önemli bir parçası haline gelmiştir. Kişisel e-postaların kullanımının artması firmaların tanıtım yapma, tüketicileri ürünler hakkında bilgilendirme, kişilere özel fırsatlar sunma noktalarında cazip bir hal almıştır. Müşterilere pazarlama amaçlı gönderilen e-postaların neredeyse tamamının müşteriler tarafından açıldığı ve müşterilerin yarısından fazlasının gönderilen e-postalardaki bilgileri dikkate aldığı yapılan araştırmalar ile saptanmıştır (Uydacı, 2004).

E-posta kullanımının yaygınlaşması firmaların veya kötü niyetli kişilerin istedikleri kişilere e-posta gönderme özgürlüğü bazı olumsuz du-

rumlara yol açmıştır. Kişilerin, neredeyse her gün, alaka içermeyen çok sayıda e-posta okumak zorunda kalması Spam yani istenmeyen e-posta kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu e-posta'lar ile elektronik cihazlara zarar veren virüsler ya da banka hesaplarınıza ulaşabilecek bazı dolandırıcılık yazılımları iletilebilmektedir. Bu tür güvenlik problemlerinin beraberinde gelmesi Spam önleyici programların ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir.

2.3.2 Kurumsal Web Siteleri

Dijital pazarlamada doğrudan müşteriye hitap etmenin en etkili yöntemlerinden biri de kurumsal web siteleridir. Ürün veya hizmet sunan şirketlerin kurumsal web sitelerinin olması güven oluşturma yollarından biridir. Müşterilere en doğru ve kısa yollarla hitap etmek oldukça önemli olduğundan web sitelerinin tasarımı ve kullanım kolaylığı neredeyse ürün kalitesi kadar önemli bir hal almıştır. Kurumsal web sitelerini, zaten ürün ile ilgili kişiler ziyaret ettiğinden, zorlu ve karmaşık yapılarla kişiler üzerinde olumsuz etkiler bırakılmaması gereklidir. Şirketlerin profesyonellik anlayışlarının kendi kurumsal sitelerinde insanlara yansıtılması iyi bir pazarlama stratejisi için gereklidir. Kurumsal web sitelerinde pazarlanan ürünlerin yanı sıra, firma bilgileri, tarihçe, vizyon, misyon, referanslar, iletişim bilgileri gibi firmayı güvenilir kılmak için var olması gereken tüm bilgiler yer alır. Ayrıca 2011 yılında şirketlere kurumsal web sitesi açma zorunluluğu getirilmiştir (İlhan, 2019).

2.3.3 Arama Motoru Optimizasyonu (SEO)

Search Engine Optimization (SEO) yani Arama Motoru Optimizasyonu 1998 yılında Google'ın kurulması ile hayatımızda yer edinmiştir. Arama Motoru Optimizasyonun temel ilkesi arama motorlarında kelime girişi yapıldığında arama sonuçlarının ilk sayfada gösterilmesidir yani sitelere öncelik sağlanması durumudur.

Temelde amaç doğru içerik, güvenilir ve gerçek bilgiler, dikkat çekici görseller ile web sitenizi üst sıralara taşımak yani ziyaretçi trafiğinizi arttırmaktır (Yüksel & Tolon , 2019).

İnsanlar genelde arama motorlarında herhangi bir arama yaptıklarından ilk sayfalara bakma eğiliminde olurlar, bu nedenle dijital pazarlamada, iyi bir arama motoru optimizasyonuna sahip olur iseniz daha çok kişiye ulaşır, kısaca güncelliğinizi korur, bilinirliğinizi arttırır ve pazarınızı genişletmiş olursunuz.

2.3.4 Arama Motoru Pazarlaması (SEM)

Serach Engine Marketing (SEM) yani Arama Motoru Pazarlaması ise SEO ile aynı amacı taşımasının yanında (arama motoru sonuç sayfasında

üstte yer almak) yöntemleri farklıdır (Gündebahar & Kuş-Khalilov, 2013).

2019 yılında Google, Dünya çapında arama motoru pazarının yüzde 92,63'üne sahiptir (Statcounter, 2020). Google'a ait arama motoru araçları Google Adwords ve Google Adsense 'dir.

- Google Adwords'ü daha detaylı incelemek gerekirse arama yapıldıktan sonra sonuç sayfasında bir reklam alanı çıkmaktadır ve burada yayınlanan reklamların her tıklanmasında Google reklam verenden ücret tahsil etmektedir(tıklanma başı maliyet). Google Adwords'te reklamın üst sıralarda yer alması için Google'a yüksek ücret ödenmesi yeterli değildir ayrıca Google belirlediği kalite değerini de taşıyor olmak gereklidir.

- Google Adsense incelendiğinde ise Google Adwords'teki gibi arama sonuç sayfasında değil kendi sitenizde reklam alanları oluştursunuz. Bu alanlarda yayınlanacak reklamları Google ziyaretçi ilgi alanına göre belirler ve size ödeme yapar.

2.3.5 Sosyal Medya Pazarlaması

Sosyal medya, 2004 yılında Web 2.0 ın kullanılmaya başlamasıyla internete yeni bir boyut kazandırmıştır. İnternet kullanıcıları arasında karşılıklı iletişimin başlaması ile firmalar ürün reklamlarını bu sosyal ağlar sayesinde yapmaya başlamışlardır ve günümüzde de sosyal medya kullanımı yükselen hızla devam etmektedir.

Sosyal medya pazarlaması geleneksel pazarlamaya göre daha hızlı, daha düşük maliyetli ve işletmeler için müşterilere erişim daha kolay olduğundan firmalar tarafından tercih edilmeye başlanmıştır.

We Are Social'ın Ekim-2019 ve Nisan-2020 raporları incelendiğinde; Dünya çapında aktif olarak sosyal medya kullanan kişi sayısı Ekim 2019 raporunda 3.725 milyar kişidir (Dünya nüfusunun %48'i) (Kemp, 2019). Yine aynı web sitesinin Nisan-2020 raporunda ise 3.81 milyar kişi (Dünya nüfusunun %49'u) aktif sosyal medya kullanıcısıdır (Kemp, 2020). Dünya çapında %1 lik artışla kısa sürede ciddi bir büyüme yaşanmıştır.

Sosyal medya ağlarının genişlemesi ve mobil telefonlar üzerinden sosyal medya kullanımının yaygınlaşması dijital pazarlamanın potansiyelinin artmasında etkili olmuştur. Facebook, Twitter ve Instagram gibi sosyal medya ağlarının kullanımının artması, bunların yanında Blog siteleri, Mikrobloglar, Podcast uygulamaları, Wiki'lerin de toplumu yönlendirmede yoğun olarak kullanılması sosyal medyayı dijital pazarlamanın önemli unsurlarından biri haline getirmiştir.

Sosyal medya hesaplarında kişiler genellikle belirli bir hedef kitleye hitap edip, ürün veya hizmetler hakkında bilgilendirici mesajlar vererek pazarlama görevini yürütürler. Bu nedenle sosyal medya pazarlamacıları-

nın hedef kitle (takipçiler) üzerinde güven duygusu oluşturmaları gereklidir.

2.3.6 E-ticaret ve Sanal market uygulamaları

Dijital pazarlama açısından e-ticaret uygulamalarının temelleri internetin kullanılmaya başlanması ile başlamıştır. İnternet kullanımından önceki platformlar genelde şirketler arası bilgi akışında kullanılıyordu.

E-ticaretin 1990'lı yılların başına yani internet kişisel olarak kullanılmaya başlandığı dönem ortaya çıkmıştır. İşletmeler için kitlesel iletişimin kapılarını açmıştır. İnternet genelinde ilk ürün satışı yapan e-ticaret si,tesi 1994 yılında Jeff Bezos tarafından kurulan, Amerika menşeili Amazon.com'dur (MarketingTürkiye, 2018).

Günümüzde insanlar kolaylıkla ulaşabilecekleri bir çok ürünü online alışveriş sitelerinden almayı tercih ediyor. E-ticaret ve sanal market uygulamaları sayesinde dijital pazarlamanın gelişimi hız kazanmıştır. Bu uygulamaların tercih edilme nedenlerini ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Ürün çeşitliliği,
- İndirimler ve kampanyalar,
- Zamandan tasarruf,
- Ürün fiyat ve özellik karşılaştırma imkanı,
- Sürekli kullanılan belirli markalardan alışveriş yapma,
- Bazı ürünleri sadece internet üzerinden erişim (ülke veya marka bulunmaması),
- Son dönemde yaşanan pandemi nedeni ile sosyal mesafeyi koruma çabası.

2.3.7 İçerik pazarlaması

Dijital ortamlarda hedeflenen kişileri etkileyip kazanmak adına paylaşılan yazılı, sesli ve görsel iletişim araçlarına içerik denir (İnal & Okutan, 2019).

İçerik pazarlaması, temel anlamda bilgilendirici ve dikkat çekici resim, video, metinlerle müşteriyi en kısa yoldan hızlı bir şekilde ürünle buluşturmaktır. Dijital pazarlama kavramının bu kadar yaygınlaşması ve güçlenmesi ile birlikte tüketicilerin maruz kaldıkları ürün çeşitliliği ve miktarı artmış ve ilgi çekici olma durumu daha da önem kazanmıştır.

Etkin bir içerik pazarlaması aşağıdaki özellikleri taşımalıdır;

- Ürün hakkında net ve doğru bilgiler vermelidir: Eğer ürünler hak-

kında net ve gerçek bilgiler verilmez ise marka değeri hasar görür bu durum doğrudan ürünün piyasadaki pazar durumunu etkiler. Bir çeşit üründe sorun çıkması domino etkisi yaratarak aynı markanın diğer ürünlerinin de satışına yansır. Marka değerini korumak bu anlamda çok önemli ve esas unsurdur.

- Dikkat çekici olmalıdır: Müşteri kitlesinin ilgili oldukları alanlar önceden belirlenerek içerikler onların ilgi alanlarına göre hazırlanmalıdır. Kullanılacak resim, video, metin vb. araçlar kişileri ürüne davet eder nitelikte olmalıdır.

- Sürdürülebilir olmalıdır: Müşteri güvenini kazanmak ve devam ettirebilmek için tutarlı bilgiler vermek çok önemlidir. Ayrıca kişilerin içerikleri görme sıklıkları da buradaki önemli basamaklardan biridir, ürünle karşılaşma sıklığı ürün bilinirliğini arttıracak ve dolaylı yoldan kişilerde merak duygusu yaratarak ürüne yönlendirecektir.

- Karmaşık olmamalı, anlaşılır olmalıdır: İçeriklerin anlaşılır olmaması müşteri kaybına neden olabilir. Dijital ortamda insanlar en kısa yoldan bilgiye ulaşma güdüsüyle hareket ederler. Karmaşık yapıda bir içeriği çözmek yerine yeni bir alternatif ürün bulmak daha kolay geleceğinden müşteri kaybı yaşanabilir.

- İçerik ile talep oluşturma; Buradaki stratejik bir durumdur. Yayınladığınız içerikler ile kişilerin almayı düşünmedikleri herhangi bir ürüne ihtiyaçları olduğu hissini uyandırabilir ve yeni talepler oluşturabilirsiniz.

2.3.8 Görüntülü-Videolu reklam pazarlaması

Görüntülü pazarlama web sitesi, sosyal paylaşım siteleri gibi dijital platformlarda kişilerin karşısına belirlenmiş alanlarda (banner) çıkan resimli veya videolu dikkat çekici reklam içerikleridir.

Görüntülü-Videolu reklam uygulamalarında önemli olan ve etkinliği arttıran durum doğru hedef kitleye ulaşmaktır. Doğru kitleye erişim için reklam verilecek internet sitelerinin doğru analiz edilmesi (ziyaretçilerin yaşı, cinsiyeti, ilgi alanları vb.) ve bu hususlar dikkate alınarak yayınlama yapılması gerekmektedir. Aksi halde reklamını yapmaya çalıştığınız ürün veya hizmet uygun kitleye ulaşmazsa herhangi bir verim alınamayabilir.

Görüntülü-Videolu Reklamda Önemli noktalar şunlardır;

- Reklam tasarımı, en az ürün kadar önemlidir ve anlaşılır olmalıdır.

- Ürün için belirlediğiniz hedef kitlenin dikkatini çeker nitelikte olmalıdır.

- Mümkünse görsel olarak akılda kalıcı ve etkileyici içerikler bulundurmalıdır.

- Görüntü reklamları asıl web sitesinin içeriğinin önüne geçecek kadar rahatsız edici olmamalıdır.
- Ürün ile reklam unsurları paralel olmalı yoruma açık anlatılmak istenen kullanıcıya net olarak aktarılmalıdır.

2.3.9 Mobil Pazarlama

Kişilerin hareket halindeyken kablosuz ve hücresel bağlantı elemanlarını kullanıp sinyaller üzerinden iletişim kurabilen cihazlara tümüne mobil cihazlar denir (Eru, 2013).

Mobil pazarlama kavramı; ürün veya hizmetlerle ilgili tanıtım, bilgilendirme, promosyon gibi bilgilerin mobil araçlar ile kişilere ulaştırılmasıdır.

Son dönemlerde kullanılan mobil cihazlar; cep telefonları, akıllı telefonlar, taşınabilir bilgisayarlar, tablet bilgisayarlar ve akıllı saatler gibi akıllı telefonlar ile senkronize çalışabilen diğer tüm ürünlerdir.

We Are Social'ın, Nisan-2020 yılı için dijital istatistikleri içeren raporunda; dünya nüfusunun yaklaşık üçte ikisi yani 5.16 milyar mobil kullanıcısı olduğu bildirilmiştir (Kemp, 2020). Bu kadar fazla mobil cihaz kullanıcısının olması dijital pazarlamada mobil reklamcılığın önemini arttırmaktadır.

Mobil pazarlamada kullanılan reklam türleri aşağıdaki gibidir (Kurtagıc, 2019).

- Kısa Mesajlar (SMS)
- Çoklu ortam Mesajları (MMS)
- Mobil Oyun içeriğinde reklam
- Konum odaklı mobil pazarlama
- Mobil uygulamalarda reklam
- QR yöntemiyle pazarlama

3.3.10 Yeniden pazarlama (Remarketing)

İngilizce'de Remaketing olarak adlandırılan dijital pazarlama yöntemi Türkçe'ye Yeniden Pazarlama olarak çevrilmiştir.

Yeniden pazarlama en basit anlamıyla önceden ziyaret edilen sitelerin tanıtımlarına daha sonra farklı internet sitelerinde görmektir. Bunun yapılma yöntemi ise şöyledir; ziyaret ettiğiniz site sizin bilgisayarınıza bir çerez program (cookie) yükleyerek farklı sitelere girdiğinizde sizi takip etmeye devam eder. Böylece sizin ilgi alanınız olan ürünler diğer sitelerde sürekli karşınıza çıkar.

Cookies (Çerezler) ise; kişilerin giriş yaptığı siteleri kullandıkları elektronik aletin hafızasına alan dosyalardır. Müşterileri ilgilendikleri alanlara yönlendirmeye yardımcı olmakla beraber güvenilirlikleri tartışmalıdır. Günümüzde ise ziyaret ettiğiniz sitelerin tamamına yakını kişilere çerez politikalarını zorunlu kılıp, onaylatarak site içinde gezinmelerine izin vermektedir (Taşkaya & Talay, 2019).

Yeniden pazarlama, ürün ile ilgilenen belirli bir müşteri kesimine hitap ettiği için müşteri geri dönüşü daha yüksek olabilmektedir. Yeniden pazarlamayı, geleneksel pazarlama açısından değerlendirecek olursak; asıl amacın müşteriyi ürünü almaya ikna etmek olduğunu görebiliriz. Genellikle müşteri ürünü önceden tanıdığı için ikna etme ve geri dönüş süresi daha kısa olacaktır. Bu nedenle dijital pazarlama türleri içerinde etkili ve tercih edilen bir pazarlama yöntemlerinden biridir.

3.3.11 Satış Ortaklı-Bağlı pazarlama (Affiliate Marketing)

Satış ortaklı pazarlama, adın da anlaşılacağı gibi, müşteri ile üretici arasında yer alan bir satış ortağının ürünün satılmasını sağlamasıdır. Satış ortağı ürünün satılması ile komisyon alarak gelir elde eder (Bayram, 2020).

Satış ortaklı pazarlama doğru stratejiler ile uygulanır ise üretici ve satış ortağı için de avantajları oldukça yüksektir. Çünkü üreticinin her zaman ürünle alakalı müşteriye ulaşması kolay olmayabilir satış ortağı sayesinde müşterilerine erişim sağlar ve sadece satılan ürünlerin karşılığında satış ortağına belirli bir oranda ödeme yapar. Satış ortakları genellikle ilgi alanlarına göre yönelimlerde bulunurlar ve tanıtım ağlarındaki kişilerin dikkatini çekebilecek şekilde tanıtım yaparlar, bu sayede ürünlerin ilgili kitleye ulaşması kolaylaşır.

Satış ortaklı pazarlama esas olarak güvene dayalı olarak yürür. Müşteri için satış ortağının tavsiyeleri ürün için yol gösterici niteliktedir.

3.3.12 Viral Pazarlama

Viral pazarlama yani diğer adı ile dijital ortamda ağızdan ağıza pazarlama yöntemi oldukça etkili satış yöntemlerinden biridir. Adından da anlaşılacağı gibi bir virüs gibi hızlı ve doğal yollarla bulaş etkisiyle ilerler. Sosyal medya kullanımının artması viral pazarlamanın gelişmesini sağlayan en önemli faktörlerden biridir. Bunun yanında web sitelerindeki tüketici yorum bölümleri de oldukça etkindir.

Viral pazarlama, kişiler arasında sosyal platformlar, web siteleri, kullanıcı yorumları gibi iletişim araçları ile ürün veya hizmet ile ilgili bilgilerin, toplumda hızlıca yayılması stratejisi üzerine kurulu bir dijital pazarlama yöntemidir (Aytaş, 2019)

Viral pazarlamanın oluşumundaki etkin iki faktör tüketiciler ve üreticilerdir. Tüketiciler kullandıkları ürünler üzerinden internet üzerinden bilgi aktarımında bulunarak ürünün dijital ortamda videolarla, metinler ya da görseller ile tanıtımını ve reklamını yapmaktadırlar. Tüketiciler bunu doğal yollarla yaptıkları için ciddi bir güven oluştururlar. Üreticiler ise viral pazarlamanın etkinliğini bildikleri için bunu daha profesyoneller yollarla insanlara hissettirmeden yapmayı tercih ederler. Amaç doğallık algısını kaybetmemektir. Örneğin; internet üzerinde yazılı metinlerde çok dikkat çekmeyerek ürünlerini yayınlarlar ya da videolarda ürün yerleştirme gibi tekniklerden faydalanabilirler. Amatör çekilmiş ürün videolarının sosyal medya hesaplarında paylaşılmasını sağlamak da bu yollardan biridir. Kişileri, ürünün fayda içerdiğini ve başkaları tarafından tercih edildiği göstermek ürün güvenilirliğini sağlamak yoluyla etkilemektedirler.

Viral pazarlamanın etkin olabilmesi için;

- Tüketicilerde güven duygusu oluşturmalıdır.
- Gerçekçi olmak önemlidir.
- Verilen mesajın net ve anlaşılır olması
- Üretici tarafından viral pazarlama stratejisi hazırlanıyor ise pazarlama içeriği-ürün uyumlu ve ikna edici olmalıdır.

3.3.13 Fenomen (Influencer) Pazarlaması

Fransızca kökenli olan Influencer kelimesinin Türkçe karşılığı ‘’Etkileyen’’ anlamındadır. Adından da anlaşılacağı gibi birçok insanı etkisi altına alabilen ve ikna edebilen kişilere Influencer denilmektedir. Fenomen kavramı ise yine Fransızca kökenli olup sosyal medya hayatımıza girmeden önce genelde ünlü kişiler için kullanılırdı. Günümüzde ise sosyal medya üzerinden tanınmış kişiler için her iki kavram kullanılmaktadır.

Fenomen’ler yani Influencer’lar en net anlatımla Facebook, Twitter, Youtube, Instagram gibi sosyal medya hesaplarında dikkat çeken ve yüksek miktarda takipçisi olan geniş bir kitleyi etkileyen kişilerdir.

Yüksek takipçi sayısına sahip ve ilettiği bilgiler ile hedef kitlesini etkisi altına alan kişiler Influencer olarak tanımlanmaktadır (Mert, 2018).

Fenomen pazarlaması ise bu kişilerin sosyal medya hesaplarında kullandıkları ürünleri video, fotoğraf veya dikkat çekici metinler ile yorumlayarak kendilerini takip eden kişilere tanıtım yapmalarıdır.

Fenomen pazarlama yapan kişileri aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz (Sabuncu, 2019);

- **Sosyal Medya Fenomenleri:** Facebook, Instagram gibi sosyal

medya hesaplarında genellikle görsel ve yazılı paylaşımlarda bulunarak yoğun takipçi sayısına sahip kişilerdir.

- **Youtuber'lar-Vlogger'lar:** Video paylaşımı aracılığı ile insanlarla etkileşim halinde olurlar. Dikkat çekici, bilgilendirici ve eğlendirici videolar ile abone kazanıp, popüler olurlar.

- **Blogger'lar- Wiki yazarları:** Kendi hesaplarında veya ticari internet sitelerinde metin yazmak yolu ile insanları etkileyebilen kişilerdir. Bu nedenle iyi yazma ve özgün içerikler üretme konusunda becerilerinin gelişmiş olması gereklidir.

3.3.14 Bilinçaltı Pazarlama (Neuromarketing)

Dijital pazarlamanın temel taşlarından biri olan görsel etkiler yani resimler, videolar ve renkli yazılar olunca bilinçaltı konusunun önemi pazarlama için göz ardı edilemez oluyor. Bilinçaltı pazarlama yönteminde satıcı veya reklamcı tarafından verilecek mesaj dolaylı yoldan kişilere aktarılıyor. Son zamanlarda televizyon programlarında ve internet videolarında sıkça duyduğumuz ''ürün yerleştirme'' de bu uygulamalardan biridir.

Bilinçaltı pazarlama; kişileri duyusal anlamda uyarıp yönlendirerek ürün ve hizmetler ile ilgili beyinde algı oluşturup satın almaya yönlendiren pazarlama yöntemidir.

Dijital ortamda bilinçaltı pazarlama için içerik üretenler genel olarak görsel olarak dikkat çekici olma, duygusal anlam ifade etme ve akılda kalma öğelerini dikkate alarak çalışırlar (Myemma.com, 2020).

- Dikkat çekicilik; kullanılan renkler, objeler, sesler veya dikkat çekici kişiler olabilir.

- Duygusal anlamda ifade etme; insanları manevi yönlerini etkileyen unsurları ön planda tutmak

- Akılda kalma; duygusal ve dikkat çeken öğeler ile beyinde uzun etki yaratma

3. PANDEMİ SÜRECİNİN DİJİTAL PAZARLAMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

2020 yılı itibarı ile ortaya çıkan Covid 19 virüsü nedeniyle oluşan Pandemi (Uluslararası salgın) oldukça bulaşıcı olduğu için dünya genelinde birçok davranışın değişmesine neden olmuştur. Uzun süreler boyunca insanlar evde zorunlu olarak kalmıştır. Bu süre zarfında okulların kapanması, birçok işlemin uzaktan erişim yoluyla yapılmasını mecbur kılmaktadır. Bu süre zarfında hemen her yaştan insan gerek zorunluktan gerek vakit geçirmek için internet karşısında uzun süreler harcamaktadır. İhtiyaçlar

devam ettiği için online alış-veriş miktarı artış göstermiştir. Bu süreç içinde daha önce hiç internetten ürün almayan insanlar dahi bunu deneyimlemek zorunda kalmıştır. Sosyal medya kullanımı da anlamlı bir oranda artış gösterdiğinden birçok insan bu zaman zarfında dijital reklamlara daha fazla maruz kaldığı gözlemler arasındadır. Salgınının süresi ve bu konuda yapılan yaygın haberler nedeniyle yüz yüze alışverişin güvenli olmadığı algısını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca uzun bir süre alış-veriş merkezlerinin açık olmayışı, belirli yaş aralıklarının evde bulunma zorunluluğu da bu dönemde uzaktan alış-verişi mecbur kılmıştır. Alışkanlıkların oluşması kadar değişmesi de şüphesiz zaman alır, ancak yaşanan bu salgının küresel nitelik taşıması insanların dijital hayata alışma sürelerini hızlandırmıştır. Sürecin devam etmesi dijital pazarlamanın ve e-ticaret uygulamalarının artacağının göstergesidir. Dolayısıyla salgın bir dijital evrime dönüşmüştür. Sonuç olarak pandemi dijital pazarlamayı geliştirmiştir.

Kaynakça

Altınbaşak, İ., & Karaca, E. S. (2009). İnternet Reklamcılığı ve İnternet Reklamı. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 465-466.

Aytaş, G. (2019). *Ağızdan Ağıza Pazarlama Trendi Olarak Sosyal MEdya Fenomenlerinin Marka Yayılımı ve Tüketici Satın Alma Karar Sürecine Etkisi.* Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Bayram, U. (2020, 03 28). *Niobeweb Blog*. 05 26, 2020 tarihinde Niobeweb Web Sitesi: https://www.niobeweb.net/blog/affiliate-marketing/ adresinden alındı

Deperlioğlu, Ö., & Köse, U. (2010). Web 2.0 Teknolojilerinin Eğitim Üzerindeki Etkileri ve. *Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri* (s. 337-338). Muğla: Akademik Bilişim Konferansları Bildiri Kitapları.

Erdem, E. (2010). *Elektronik Medya ve Yeni Bir Medya Olarak Sosyal Ağlar* . İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Eru, O. (2013). *Süpermarket Sektöründeki Mobil Pazarlama Uygulamalarının Tüketici Davranışlarına Etkisi: Aydın Örneği.* Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Gündebahar, M., & Kuş-Khalilov, M. (2013). Teknolojik Pazarlama Üzerine Bir İnceleme. *Akademik Bilişim 2013 –XV. Akademik Bilişim Konferansı.* Antalya: Akademik Bilişim Konferansları Bildiri Kitapları.

İlhan, F. (2019). *İhracatta Dijital Pazarlama Uygulamaları.* Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

İnal, M., & Okutan, S. (2019). Algılanan Fayda ve Sürü Davranışının Dijital İçerik Paylaşma Davranışı Üzerindeki Etkisi. *Yorum-Yönetim-Yöntem Uluslararası Yönetim-Ekonomi ve Felsefe Dergisi*, 144-146.

Kemp, S. (2019, 10 23). *Digital araound the world 2019*. 05 20, 2020 tarihinde We Are Social Web Sitesi: https://wearesocial.com/blog/2019/10/the-global-state-of-digital-in-october-2019 adresinden alındı

Kemp, S. (2020, 04 23). *Digital Around The World 2020*. 05 20, 2020 tarihinde We Are Social Web sitesi: https://wearesocial.com/blog/2020/04/digital-around-the-world-in-april-20 adresinden alındı

Koçak Alan, A., Tümer Kabadayı, E., & Erişke, T. (2018). İletişimin yeni yüzü:Dijital Pazarlama ve Sosyal Medya Pazarlaması. *Electronic Journal of Social Sciences*, 494-496.

Kotler, P., Wong, V., Saunders, J., & Armstrong, G. (2004). *Principle of Marketing.* Financial Times / Prentice Hall, Yıl: 2004.

Kurtagıc, H. (2019). *Tüketicilerin Mobil Pazarlama Uygulamalarını Kabullenmelerinde Etkili olan Faktörler: Balkan Ülkelerindeki Üniversite Öğrencileri Üzerine Bir Araştırma.* İstanbul: İstanbul

Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

MarketingTürkiye. (2018, 01 02). *Haberler: Marketing Türkiye*. 05 20, 2020 tarihinde Marketing Türkiye Web Sitesi: https://www.marketingturkiye.com.tr/haberler/amazon-kurucusu-jeff-bezos-hayat-hikayesi/ adresinden alındı

Mert, Y. L. (2018). Dijital Pazarlama Ekseninde İnfluencer Marketing Uygyulamaları. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 1311-1315.

Myemma.com. (2020, 05 28). *Resources : Strategy*. 05 28, 2020 tarihinde Myemma Web Sitesi: https://myemma.com/strategy/12-secrets-of-the-human-brain adresinden alındı

Sabuncu, O. B. (2019). *Sosyal Medya Pazarlamasında Ünlü ve Fenomen Kullanımı Tercihi: Hızlı Moda Sektörü Örneği.* İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Entitüsü.

Smith, K. L. (2020, 05 25). *profil sayfası*. 05 25, 2020 tarihinde Blogger Web Sitesi: http://digitalmarketing101.blogspot.com/2007_09_30_archive.html adresinden alındı

Statcounter. (2020, 05 22). *Search Engine Market Share Worldwide 2019*. 05 22, 2020 tarihinde Statcounter Globalstats Web sitesi: https://gs.statcounter.com/search-engine-market-share#yearly-2019-2019-bar adresinden alındı

Taşkaya, M., & Talay, Ö. (2019). Dijital Gözetimin Pazarlama Amaçlı Aracıları: "Çerezler" ve Çerez. *Akdeniz İletişim Dergisi*, 364-365.

TDK. (2020, 05 29). *Sözlükler*. 05 29, 2020 tarihinde Türk Dil Kurumu Web sitesi: https://sozluk.tdk.gov.tr/ adresinden alındı

Trout, J., & Reis, A. (2007). *Pazarlama Savaşı (Marketing Warfare çevirisi).* İstanbul: Optimist Yayım Dağıtım.

Uydacı, M. (2004). Pazarlamada Elektronik Posta Kullanımı. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 81.

Yüksel, D., & Tolon , M. (2019). Dijital Pazarlama Stratejisi Olarak Arama Motoru Optimizasyonu (SEO). *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 237-239.



Bölüm 19

BEYİN MR GÖRÜNTÜLERİNİN FREKANS UZAYI DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer KASIM[1]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, omerksm@gmail.com, omer.kasim@dpu.edu.tr

1. Giriş

Hastalıklı bölgelerin ve organların görüntülenmesiyle hastaların daha kolay tolere edebileceği etkin klinik analiz ve tedavi yöntemleri için yapılan görsel kayıtlar tıbbi görüntüleme olarak isimlendirilmektedir. Bu görüntülemede cilt ve kemikler tarafından gizlenen içyapılar görüntü olarak elde edilmektedir. Uzmanlar bu görüntüleri inceleyerek hastalıkları teşhis etmeyi ve tedavi planını oluşturmayı amaçlamaktadır. Tıbbi görüntüleme tekniklerinden birisi de Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) yöntemidir [1]. MRG, benzer işlevi yerine getiren tomografi, ultrason ve röntgen yöntemlerine göre radyasyondan kaçınmada tercih edilmektedir. Ayrıca MRG yumuşak doku kontrastına izin vermesinden dolayı diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır [2].

Bir görüntü iki boyutlu bir f(x,y) fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonda x ve y ifadeleri uzamsal koordinatları göstermektedir. f(x,y) fonksiyonun genliğine görüntünün yoğunluğu ismi verilmektedir. Yoğunluk değerlerinin tümü sonlu ve ayrık olarak bir araya getirildiğinde sayısal görüntüler elde edilmektedir. Sayısal görüntüler bilgi işleme cihazlarıyla işlenmektedir. Görüntülerin işlenmesinde uzaysal ve frekans temelli analizler yapılmaktadır [3]. Uzaysal analizde istatistiksel, topolojik ve geometrik özellikler kullanılmaktadır. Görüntünün karmaşıklığı ve görüntü verilerinin alabileceği farklı formlarda uzaysal analiz yeterli başarıyı sağlayamamaktadır. Görüntünün frekans uzayına döndürülmesiyle yapılacak analizler verilerin farklı formlarda olmasından ve verilerin karmaşıklığından bağımsız analizini mümkün kılmaktadır [4]. Frekans uzayındaki bir görüntünün grafiği, görüntü özelliklerinin düşük frekanstan yüksek frekansa doğru nasıl değiştiğini göstermektedir.

Bu araştırma yazısı ile beyin MRG'lerinin frekans uzayı dönüşüm yöntemleri incelenmiştir. Farklı dönüşüm yöntemleri kullanılarak MRG'lerin frekans uzayına dönüştürülmesi sonucu elde edilen görüntüler irdelenmiştir. Sonuç olarak literatürde şimdiye kadar yapılmış beyin MRG görüntü analizlerinin frekans dönüşümlerin nasıl tepki verdiği çalışma sonucu elde edilmiştir.

Bu araştırma yazısında sırasıyla;

- Görüntünün elde edilmesi
- Manyetik Rezonans Görüntüleme
- Manyetik Rezonans Görüntülerinin Frekans Uzayı Dönüşümleri

bölümleri yer almaktadır.

2. Görüntünün Elde Edilmesi

Görüntülenen yüzeylerin yansıtma modelleri ve kameranın algılayıcı düzleminde görüntü oluşturma süreci ile görüntü elde edilmektedir [5]. Görüntünün elde edilmesinde öncelikle algılayıcı olarak bir kameraya ihtiyaç bulunmaktadır. Kamerada görüntünün oluşumunda üç temel bileşen yer almaktadır. Bunlar görüntü biçimini oluşturan aydınlatma, yansıtma ve nokta fark fonksiyonudur. Bu parametreler ışığında görüntüler iki boyutlu analog sinyal olarak oluşturulmaktadır. Bu sinyallerden analog görüntü oluşmaktadır. Analog görüntünün örneklenmesi ve nicemlenmesiyle sayısal görüntü dönüşümü yapılmaktadır [6].

2.1. Görüntüleme

Görüntüleme, kadrajdaki alanın sayısallaştırılarak bir matris bilgisinin elde edilmesi sürecidir. Bu süreç, mekânsal ve zamansal veri bilgisi elde etmeyi kapsamaktadır. Bu verilerin elde edilmesinde Şarjlı Eşleşmiş Cihaz (CCD) kameralar kullanılmaktadır. CCD kamera ile alınan bir görüntünün kalitesi mekânsal çözünürlük, algılanabilir en düşük sinyal, dinamik aralık, görüş alanı ve pozlama zaman aralığı ile belirlenmektedir [7].

Mekânsal çözünürlük nesnelerdeki en yakın ayırt edilebilir özelliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çözünürlük, CCD kameranın objektif lensin dalga boyuna, sayısal açıklığa, dizilim algılayıcının büyütme işlemine ve piksel boyutuna bağlıdır. Dizilim algılayıcı büyütmesi ve piksel boyutu tam çözünürlüğü elde etmek için yeterince yüksek olması gereken örnekleme frekansını belirlemektedir. Çözünürlük aynı zamanda sinyal kalitesine de bağlıdır. Kameranın algılama çözünürlüğü, görüş alanının nesne çözünürlüğüne oranıdır. Dolayısıyla algılayıcı çözünürlüğü ve nesne çözünürlüğü birbiri ile ters orantılıdır. Nicemlemenin çözünürlüğü ise analogdan sayısala dönüşümlerde kullanılan nicemleme seviyelerinin sayısını ifade etmektedir. Bu anlamda daha yüksek çözünürlük, düşük karşıt görüntüleri analiz etme yeteneğini geliştirmektedir. Sonuç olarak görüş alanının boyutu ve kameranın görüntüleyicisinin boyutu görüntü çözünürlüğünü doğrudan etkilemektedir.

Algılanabilir en düşük sinyal, detektörün kuantum verimliliğine, sistemin gürültü seviyesine ve optiklerin ışığı kırma indisine bağlıdır. Bu özellikler foton sayısının sınırlı olduğu veya ölçüm için mevcut toplam sürenin sınırlı olduğu uygulamalarda önemlidir.

Alınan verilerin dinamik aralığı, bir görüntüde algılanabilecek farklı yoğunluk düzeylerinin sayısını belirlemektedir. Bu sayı, her bir pikselde mümkün olan maksimum elektron sayısına ve saptanabilir en düşük sinyale oranıdır. Bir CCD kuyusu maksimum kapasitesinin sadece %10'una ulaşırsa, dinamik aralık yazılı değerinin %10'una düşürülmektir.

Çalışma mesafesi, merceğin arkası ile hedef arasındaki uzunluktur. Görüş alanı (FOV), lens odak uzaklığı ve görüntü algılama boyutu, görüş alanı ile çalışma mesafesi arasındaki sabit ilişkiyi kurmaktadır. FOV, ilgilenilen tüm nesneleri içeren denetim bölgesinin yatay boyutu olarak seçilmektedir.

Pozlama zaman aralığı detektör tarafından belirlenmektedir Bu aralık hassasiyet kazanmak için uzamsal çözünürlükle CCD piksellerinin kümelenmesini içermektedir. Tablo 1'de tipik değer ve elde edilebilecek ortak değeri göstermektedir. Ancak kullanılan dispersiyon yöntemine ve sistem elemanlarının Yüksek Akıllı Video Analizi (AVA) objektif lensi, yüksek kuantum verimine bağlıdır [8].

Tablo 1. *Görüntüleme sisteminin karakteristik parametreleri.*

Kategori	**Özellik**	**Karakteristik**
Görüntüleme	Uzaysal Çözünürlük	250nm λ=500nm
	Görüş Alanı	50µm
	Dinamik Aralık	8-16 bit
	Algılanacak en düşük sinyal	Kısa gürültü limitli

2.2. Görüntü Oluşumu

Algılanabilecek ışık dalga boyları ışık tayfı içerisinde oldukça küçük bir alan olan 380 nm ile 700 nm arasında yer almaktadır. Bu aralık mor renk ile kırmızı renk arasında değişmektedir. Bir ışık kaynağından bu dalga boyları arsında gelen ışık foto-elektronları oluşturur. Oluşan foto-elektronlar algılayıcı yarı iletken CCD hücrelerinde sayısal sinyallere dönüştürülmektedir.

Görüntü oluşumunun ilk parametresi aydınlatmadır. Aydınlatma, ışığı algılayan mikro mercekli algılama hücresine gelen ışığın şiddetine göre yoğunluk değerinin belirlenmesinde kullanılan araçtır. Aydınlatma yükseldiğinde parlaklık artmaktadır. Gölgeleme ve yansıma vurgusu diğer aydınlatma faktörleridir. Bu parametrelerden dolayı yansıtma modeli oluşmaktadır. Görüntü oluşumunun temeli nokta yayma fonksiyonu (PSF) ile açıklanmaktadır. PSF, bir nokta kaynağının uzamsal boyutta yayılmış bir görüntüye nasıl yol açtığını göstermektedir.

2.3. Örnekleme ve Nicemleme

Bir görüntü, x ve y koordinatlarına göre süreklidir. Görüntüyü sayısal forma dönüştürmek için görüntü fonksiyonu, hem koordinatlarda hem de genlikte örneklenmektedir. Örneklenen analog piksel yoğunluklarının ayrık değerli tamsayı sayılarına dönüştürülmesi nicemleme işlemidir. Örneklenen ve nicemlenen bir görüntü, iki boyutlu uzamsal olarak değişen bir sinyal olarak değerlendirilmektedir.

Nicemleme, nicemlenmiş numune değerlerinden yeniden yapılandırılan görüntünün iyi kalitede olması ve nicemleme nedeniyle ortaya çıkan hatanın küçük olması için her numuneye tek bir değer atanmasını içermektedir. Görüntü örneklerinin alabileceği dinamik değer aralığı, sınırlı sayıda aralığa bölünür ve her aralığa tek bir seviye atanır. Nyquist ölçütüne göre örnekleme işlemi, bir görüntüde mevcut olan en ince ayrıntının yarısından daha küçük veya eşit olmalıdır.

Tek renkli görüntü nicemlemede, her görüntü örneğine tek tip uzunluk kodu atanır. Her bir örneğe atanan kod bitlerinin sayısı ise, genlik niceleme düzeylerinin sayısıdır. Bu tür bir kod ataması, darbe kodu modülasyonu (PCM) kodlaması olarak bilinmektedir. PCM ile parlaklıktaki analog değişimlerin hızı elde edilmektedir. Bu değişim ile kontur bozucu etkisi gözlemlenmektedir.

3. Manyetik Rezonans Görüntüleme

MRG'de dokudaki su moleküllerinin hidrojen çekirdeklerini polarize etmek ve uyarmak için güçlü mıknatıslar kullanmaktadır. Bu işlem ile uzamsal olarak kodlanan ve vücudun görüntülerine neden olan saptanabilir bir sinyal üretilmektedir. MRG cihazı, su moleküllerindeki hidrojen atomlarının rezonans frekansında bir radyo frekansı yaymaktadır. Radyo Frekans (RF) antenleri kullanılarak RF sinyalleri incelenecek olan dokuya gönderilmektedir. Gönderilen RF sinyalleri protonlar tarafından emilmektedir. Böylece birincil manyetik alana göre protonların yönleri değişmektedir. RF sinyali kapatıldığında, protonlar birincil mıknatısla hizalamak için gevşeyerek radyo dalgaları yaymaktadır. Sudaki hidrojen atomlarından gelen bu radyo frekansı sinyalleri ile görüntü elde edilmektedir [10].

MRG'de üç farklı elektromanyetik alan kullanılmaktadır. Bunlardan ilki hidrojen çekirdeklerini polarize etmek için 1,5 ile 3 Tesla arasında uygulanan statik manyetik alandır. İkincisi mekânsal kodlama için görüntü yoğunluklarının yönlü değişimleri olarak adlandırılan uzay ve zamana göre değişebilecek şekilde değiştirilebilen 1 kHz'lik gradyan alanlarıdır. Üçüncüsü ise RF anteni yoluyla toplanan ölçülebilir sinyaller üretmek üzere hidrojen çekirdeklerinin manipülasyonu için kullanılan RF alanıdır. Doku manyetik alanındaki değişimler, RF antenlerinde Larmor frekansına eğiş frekanslı bir alternatif elektrik akımı oluşturmaktadır. Böylece dokudan gelen sinyal ölçülebilir ve bu sinyale bağlı olarak MRG'de bir organa ait dilimin iki boyutlu görüntüsü elde edilmektedir. Bu dilimler belirli aralıklarla çekilerek organının bütünü dilimler halinde elde edilmektedir. Bu işleme belirli bir alana yönelik çekim işlemi ismi verilmektedir. Spesifik MRG'de teşhise yönelik görüntüleme için bir dizi farklı sinyal dizisi kullanılmaktadır. İstenen bilgiye bağlı olarak, farklı görüntüleme sekansları değerlendirilmektedir.

Tablo 2. *T1, T2 ve Flair Görüntüleme*

	TR (msec)	**TE (msec)**
T1 ağırlıklı (kısa TR ve TE)	500	14
T2 ağırlıklı (uzun TR ve TE)	4000	90
Flair (çok uzun TR ve TE)	9000	114

Örneklenen analog piksel yoğunluklarının ayrık değerli tamsayı sayılarına dönüştürülmesi nicemleme işlemidir. En yaygın MRG sekansları T1 ağırlıklı ve T2 ağırlıklı taramalardır. T1 ağırlıklı görüntülerde kısa TE ve TR süreleri kullanılmaktadır. Görüntünün kontrastı ve parlaklığı ağırlıklı olarak dokunun T1 özellikleri ile belirlenmektedir. Diğer taraftan T2 ağırlıklı görüntülerde ise daha uzun TE ve TR süreleri kullanılmaktadır. Bu görüntülerde ise kontrast ve parlaklık baskın olarak dokunun T2 özellikleri ile belirlenmektedir. Genel olarak Tablo 2'de görüldüğü üzere T1 ve T2 ağırlıklı görüntüler MRG görüntü dilimine bakarak kolayca ayırt edilebilmektedir. Dilim görüntülerinde T1 ağırlıklı görüntüleme karanlık gözükürken T2 ağırlıklı görüntüleme de parlak gözükmektedir. Üçüncü sekans Flair olarak isimlendirilmektedir. Bu sekansta TE ve TR süreleri uzundur [11]. Genel olarak MRG T2 ağırlıklı MRG'ye benzemektedir. Flair'de anormallikler parlak olarak görülmektedir. Ancak normal beyin omurilik sıvısı karanlık hale gelmektedir. Sonuç olarak Flair'de patolojik anormallikler beyin omurilik sıvısından bağımsız olarak elde edilmektedir.

Difüzyon ağırlıklı (DWI) MRG, su moleküllerinin hareketinin ölçülmesine dayanan bir görüntülemedir. Hücresel şişmesi olan dokular daha düşük difüzyon katsayılarına sahip olduğundan tümörlerin karakterize edilmesi ve serebral iskemide uzmanlar tarafından kullanılmaktadır [12].

4. Çalışmanın Veri seti

Rembrandt veri seti Kanser Görüntüleme Arşivi (TCIA) genel erişim deposunda yer almaktadır [13]. Rembrandt, farklı hastalıkları, bu hastalıkların ilerleme durumlarını hastaların ırkları ve yaşları olan 130 hastanın MRG çok sekanslı görüntülerini içermektedir [14]. Ayrıca farklı Glioma dereceleri (Derece II, Derece III ve Derece IV) içeren T1 ağırlıklı kontrastlı görüntüleri veri setinde yer almaktadır. Tablo 3 ve Tablo 4 sırasıyla iki veri kümesinin açıklaması hakkında ek ayrıntıları göstermektedir.

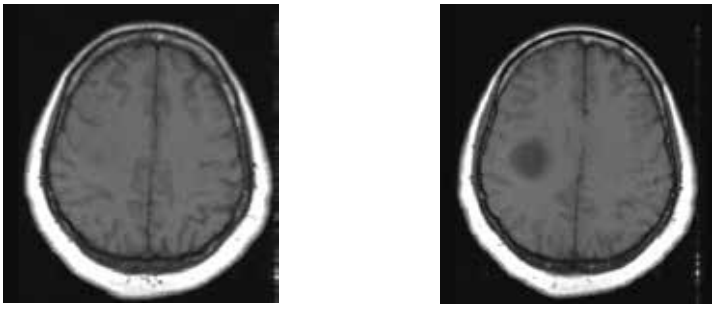
Tablo 3. *Rembrandt Veriseti Beyin Tümör Türü Dilim Sayıları*

Tümör kategorisi	**Hasta sayısı**	**Dilim sayısı**
Meningioma	82	708
Glioma	91	1426
Hipofiz	60	930
Toplam	233	3064

Tablo 4. *Rembrandt Veriseti Glioma Dereceleri Dilim Sayısı*

Glioma Derecesi	Hasta sayısı	Dilim sayısı
Derece 2	33	205
Derece 3	19	129
Derece 4	21	182
Toplam	73	516

Önerilen araştırma yazısında beyin tümörü olan ve beyin tümörü olmayan MRG dilimleri Rembrandt veri tabanında yer alan manyetik rezonans beyin tümörü görüntüleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu görüntüler veritabanında DICOM biçiminde yer almaktadır. Bu görüntüleri işlemek amacıyla öncelikle MRG görüntüleri JPEG görüntü biçimine dönüştürülmüştür. Dönüştürülen görüntülerin frekans analizinin yapılması için JPEG görüntüler kayıt edilerek RAW görüntü olarak çalışmanın veritabanına aktarılmıştır. Bu çalışma için normal ve tümörlü MR görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 1'de Rembrandt veri tabanından alınarak JPEG biçimine dönüştürülmüş normal ve tümörlü MRG dilimlerine ait görüntüler gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 1. *RAW JPEG biçimli MRG*

a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi

5. Manyetik Rezonans Görüntülerinin Frekans Uzayı Dönüşümleri

Görüntü dönüşümü temel olarak bir görüntünün temsilidir. Bir görüntüyü bir gösterimden diğerine dönüştürmenin iki nedeni vardır. İlk olarak, dönüşüm, görüntü modelinin kritik bileşenlerini, analiz için doğrudan erişilebilir olacak şekilde izole edebilir. İkincisi, dönüşüm, görüntü verilerinin daha kompakt bir biçimde yerleştirilebilmesi için verimli bir şekilde saklanabilmeleri ve iletilebilmeleri mümkündür.

5.1. Görüntü Dönüşümlerinin Sınıflandırılması

Bu bölümde tartışılan farklı görüntü dönüştürme türleri aşağıdaki gibidir [15].

1. Fourier Dönüşümü
2. Walsh - Hadamart Dönüşümü
3. Haar Dönüşümü
4. Slant Dönüşümü
5. Ayrık Kosinüs Dönüşümü
6. Karhunen Loeve Dönüşümü
7. Tekil Değer Ayrışması
8. Hough Dönüşümü

Görüntü formları temel fonksiyonların doğasına göre sınıflandırılabilir [16]. Bu sınıflardan ilki dik temel fonksiyonlarla dönüşümlerdir. Bu sınıfın içerisinde Fourier Dönüşümü ve Ayrık Kosinüs Dönüşümü girmektedir. İkinci sınıf sinüzoidal olmayan dikey temel fonksiyonlarla dönüşümlerdir. Bu sınıfa Haar Dönüşümü, Walsh-Hadamard Dönüşümü ve Slant Dönüşümü girmektedir. Üçüncü sınıf temel işlevleri girdi verilerinin istatistiklerine bağlı olan dönüşümleri içermektedir. Karhunen-Loeve Dönüşümü ve Tekil Değer Ayrışması bu kategoriye girmektedir. Dördüncü sınıf ise yönlü dönüşüm, yani temel işlevleri görüntüde bulunan yönlü bilgiyi temsil edebilen dönüşümleri içermektedir. Hough Dönüşümü bu kategoride yer almaktadır [17].

5.1.1. Fourier Dönüşümü

Zaman uzayında sürekli sinyal x(t)'nin Fourier Dönüşümü ile X(f) denklem 1 ile elde edilmektedir.

$$x(t) \rightarrow X(f) \tag{1}$$

Sürekli zaman Fourier Dönüşümü (CTFT) ise denklem 2 ile tanımlanmıştır.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t).e^{-ift}dt \tag{2}$$

Denklem 2'de x(t) sürekli zaman sinyalidir. Bu sinyal x(nT) ayrık sinyale dönüştürülmektedir. Denklem 3'de T ifadesi örnekleme gecikmesi olarak belirtilmiştir.

$$x(t) \rightarrow x(nT) \tag{3}$$

Fourier Dönüşümü sonsuz enerji ayrık zaman sinyali x(nT) denklem 4 ile verilmiştir.

$$X(e^{iw}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT).e^{-ijfnt} \quad (4)$$

Denklem 4'deki X ifadesi ayrık Fourier Dönüşümü olarak bilinmektedir. Denklem 5'te w sürekli fonksiyondur. w ve f arasındaki ilişki denklem 5'te gösterildiği gibidir.

$$w = f.T \quad (5)$$

Denklem 5'teki f ile 2πf yer değiştirildiğinde denklem 6 elde edilmektedir.

$$w = 2.\pi.f.T \quad (6)$$

Denklem 6'da T örnekleme periyodudur ve $1/f_s$'ye eşittir T ile örnekleme frekansı arasındaki ilişki denklem 7'de ifade edilmiştir.

$$w = 2.\pi.f.\frac{1}{f_s} \quad (7)$$

Fourier Dönüşümü, sıcaklık ve ısı iletiminin dağılımını açıklamak için geliştirilmiştir. Fourier Dönüşümü, görüntü işleme alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Görüntü mekânsal olarak değişen bir fonksiyondur. Uzamsal varyasyonları analiz etmenin bir yolu, görüntüyü bir dizi dikey fonksiyona ayırmaktır. Böyle bir küme Fourier fonksiyonları, bir Fourier Dönüşümü bir yoğunluk görüntüsünü uzaysal frekans alanına dönüştürmek için kullanılmaktadır. Denklem 8'de frekansın örnekleme frekansına oranıyla elde edilen k katsayısı elde edilmektedir.

$$\frac{f}{f_s} = k \quad (8)$$

Denklem 8'deki k oranı denklem 7'de yerine konulduğunda denklem 9 elde edilmektedir.

$$w = k.2.\pi \quad (9)$$

Sonsuz değerleri sonlu olarak limitlediğimizde ise denklem 9, denklem 10'daki ifadeye dönüşmektedir.

$$\frac{w}{2.\pi} = \frac{k}{N} \tag{10}$$

Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT) bir sonlu sıra olan x(n)'e bağlıdır ve denklem 11 ile elde edilir.

$$X(K) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n).e^{\frac{-2i\pi kn}{N}} \tag{11}$$

Denklem 11'de k=0,1,...,N-1'dir. DFT'de ayrık frekans karmaşık sinüs temelindeki ayrık sinyalleri temsil etmektedir.

5.1.1.1. Birimsel Dönüşüm

Ayrık lineer dönüşümü birimsel dönüşüm olarak isimlendirilmektedir. Eğer lineer dönüşüm matrisi birimsel dönüşüm koşullarına uygun ise bu dönüşüm denklem 12 ile elde edilmektedir.

$$AxA^H = I \tag{12}$$

Denklem 12'de A dönüşüm matrisi, A^H ise Hermitian matrisini ifade etmektedir. I ise birim matrisidir.

$$A^H = A^{*T}.I \tag{13}$$

Denklem 13 ile A^H birim matris ile A matrisinin transpozunun çarpımı ile elde edilmektedir.

5.1.1.2. Sekans

Sekans, bir sinyalin birim zaman başına veya uzamsal bir resmin mesafe birimi başına yaptığı pozitif giden sıfır geçiş sayısının sayısıdır. 4. dereceden DFT matrisinin işaret değişimi dönüşüm katsayıları denklem 14 ile elde edilmektedir.

$$X[k] = \begin{matrix} +1 & +1 & +1 & +1 \rightarrow \text{İşaret değişimi sayısı} = 0 \\ +1 & -i & -1 & +i \rightarrow \text{İşaret değişimi sayısı} = 2 \\ +1 & -1 & +1 & -1 \rightarrow \text{İşaret değişimi sayısı} = 3 \\ +1 & +i & -1 & -i \rightarrow \text{İşaret değişimi sayısı} = 1 \end{matrix} \tag{14}$$

5.1.1.3. İki Boyutlu DFT

f(m,n) boyutlarındaki görüntünün iki boyutlu DFT'si mxn olarak temsil edildiğinde F(k,l) denklem 15 ile ifade edilmektedir.

$$f(m,n) \rightarrow F(k,l) \tag{15}$$

Uzaysal düzlemdeki görüntü iki boyutlu DFT dönüşümü ile frekans uzayına dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde F(k,l) ifadesi frekans uzayındaki görüntünün temsilidir ve denklem 16 ile hesaplanmaktadır.

$$F(k,l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n).e^{\frac{-2i\pi mk}{M}} e^{\frac{-2i\pi nl}{N}} \tag{16}$$

Frekans uzayına dönüştürülen görüntüler tekrar uzaysal düzleme dönüştürülebilmektedir. Frekans uzayından ters DFT yöntemi ile tekrar uzaysal düzleme geçiş denklem 17 ile gerçekleştirilmektedir.

$$F(k,l) = \frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} f(m,n).e^{\frac{-2i\pi mk}{N}} e^{\frac{-2i\pi nl}{N}} \tag{17}$$

F(k,l)'nin Fourier Dönüşümü ise denklem 18 ile yapılmaktadır. Denklem 18'de F(k,l) spektrumun real kısmını temsil etmektedir ve denklem 19 ile hesaplanmaktadır. D(k,l) ise karmaşık bölümünü temsil etmektedir ve denklem 20 ile hesaplanmaktadır.

$$F(k,l) = |F(k,l)|.e^{iD(k,l)} \tag{18}$$

$$|F(k,l)| = \sqrt{(R^2 + I^2)} \tag{19}$$

$$D(k,l) = tan^{-1}\frac{I}{R} \tag{20}$$

Denklem 19'da $|F(k,l)|$ Fourier Dönüşümünün spektrum büyüklüğüdür. Denklem 20 'de $D(k,l)$ ise faz açısı ya da faz spektrumu olarak ifade edilmektedir. Burada R ve I F(k,l)'nin gerçek ve karmaşık kısımlarını oluşturmaktadır.

DFT'nin hesaplamalı olarak verimli formu Hzılı Fourier Dönüşümü (FFT)'dür. Görüntünün FFT'de iki temsil bulunmaktadır. Bunlar standart temsil ve optik temsildir. Standart temsilde yüksek frekanslar görüntünün merkezinde toplanmaktadır. Düşük frekanslar ise kenarlarda toplanmaktadır. Boş frekans ise görüntünün üst sol köşesinde yer almaktadır. Frekans aralığı ise denklem 21 ile elde edilmektedir.

$$[0, N]X[0xM] \tag{21}$$

Denklem 21'de M görüntünün yatay çözünürlüğünü N ise görüntünün dikey çözünürlüğünü göstermektedir.

Bir uzaydaki ayrıklık, diğer uzaydaki periyodik olarak tekrarlanmayla sonuçlanmaktadır. Bu yüzde sayısal görüntülerden elde edilen spektrum -π ile +π arasında ya da 0 ile 2π arasında benzersiz olmaktadır.

5.1.1.3.1. İki Boyutlu DFT'nin Özellikleri

2 boyutlu DFT'nin özellikleri 10 tanedir. Bunlar sırasıyla ayrılma özelliği, mekânsal kayma özelliği, periyodik olarak tekrarlanma özelliği, evrişim özelliği, korelasyon özelliği, ölçekleme özelliği, eşlenik simetri özelliği, diklik özelliği, üstelle çarpım özelliği ve döndürme özelliğidir.

5.1.1.3.2. Ayrılma özelliği

Ayrılma özelliği görüntünün satır ve sütunlarının 1 boyutlu olarak işlenmesiyle 2 aşamada karşılaştırılmaktadır.

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{N-1} f(m, l).\, e^{\frac{-2i\pi mk}{N}} \tag{22}$$

Denklem 22'de görüldüğü gibi görüntünün satır ve sütunlarının 1 boyutlu olarak işlenmesiyle 2 boyutlu DFT elde edilmektedir. f(m,n) görüntüsündeki satılar F(m,l) ve sütunlar F(k,l) olarak işlenmektedir. Ayrılma özelliğinin en önemli avantajı farklı boyutlardaki verilerin Fourier Dönüşümlerinin 1 boyutlu yapılarak elde edilebilmesidir.

5.1.1.3.3. Mekânsal Kayma Özelliği

f(m,n) görüntüsünün f(m-m0,n) olarak kaymış versiyonunu elde etmek için denklem 23 kullanılmaktadır.

$$f(m-m_0,n) \rightarrow \sum_{m=0}^{N-1}\sum_{n=0}^{N-1} f(m-m_0,n).e^{\frac{-2i\pi mk}{N}} e^{\frac{-2i\pi nl}{N}} \quad (23)$$

Denklem 23'de m_0, f(m,n) fonksiyonunun kaç kez kaydırıldığını göstermektedir.

5.1.1.3.4. Periyodik olarak tekrarlanma özelliği

f(m,n) fonksiyonu N periyodunda periyodiktir. Periyodik olma durumu denklem 24 ile elde edilmektedir.

$$F(k,l) \rightarrow F(k+pN, I+qN) \quad (24)$$

5.1.1.3.5. Evrişim Özelliği

Sayısal görüntü işlemede evrişim en güçlü özelliktir. Uzaysal evrişim, frekans uzayındaki çarpım işlemine eşittir. x(n) ve h(n) sekansları denklem 25 ile tanımlanır.

$$x(n) * h(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k).h(n-k) \quad (25)$$

2 dizinin ya da matrisin 2 boyutlu evrişimi, f(m,n) ve g(m,n) olarak verildiğinde denklem 26 ile hesaplanır.

$$f(m,n) * g(m,n) = \sum_{a=0}^{N-1}\sum_{b=0}^{N-1} f(a,b).g(m-a,n-b) \quad (26)$$

5.1.1.3.6. Korelasyon Özelliği

Korelasyon iki sinyal arasındaki bağıl benzerliği bulmak için kullanılmaktadır. Bir sinyalin içerisinde bulunan korelasyon, otomatik korelasyondur. İki farklı sinyal arasında bulunan korelasyon ise çapraz korelasyondur. x(n) ve h(n) iki sekansın arasındaki çapraz korelasyon, bir sekansın diğer sekansın katlanmış versiyonu ile evrişimini gerçekleştirmesine eşittir. Bu durum zaman uzayındaki iki sekansın korelasyonu frekans uzayındaki DFT'nin zamanı tersine çevrilmiş sekansı ile DFT'nin bir sekansının çarpımına eşit olmaktadır.

5.1.1.3.7. Ölçeklendirme Özelliği

Ölçeklendirme bir görüntünün boyutunun arttırılması ya da azaltılmasıdır. Bu özelliğe göre bir uzaydaki sinyaldeki genişleme diğer uzayda

sinyalin sıkıştırılması anlamına gelmektedir. Ölçeklendirme denklem 27 ile gösterilmiştir.

$$f(m,n) \rightarrow F(k,l) \text{ olduğunda } DFT\big(f(a.m,b.n)\big) = \frac{1}{|ab|} F\left(\frac{k}{a},\frac{l}{b}\right) \text{ olur.} \quad (27)$$

Yani zaman uzayındaki sıkıştırma fourier uzayında genişlemeye ya da daralmaya sebep olmaktadır.

5.1.1.3.8. Eşlenik Simetri Özelliği

Eğer f(m,n)'nin DFT'si f(k,l) ise f(m,n)'n,n eşlenik simetrisi denklem 28 ile elde edilmektedir.

$$DFT\big(f*(m,n)\big) = F*(-k,-l) \quad (28)$$

5.1.1.3.9. Diklik Özelliği

Bir DFT'nin diklik özelliği denklem 29 ile elde edilmektedir.

$$\frac{1}{N^2}\sum_{m=0}^{N-1}\sum_{n=0}^{N-1} a_{k,l}(m,n).a^*_{k',l'}(m,n) = \delta(k-k',l-l') \quad (29)$$

Denklem 29'da $\delta(k-k',l-l')$ Kronecker Delta'sıdır.

5.1.1.3.10. Üstelle Çarpım Özelliği

Eğer f(m,n)'nin DFT'si F(k,l) ise denklem 30 üstel çarpım için kullanılmaktadır.

$$DFT[f(m,n)] = \sum_{m=0}^{N-1}\sum_{n=0}^{N-1} e^{\frac{-2i\pi mk_0}{N}}.e^{\frac{-2i\pi ml_0}{N}} f(m,n).e^{\frac{-2i\pi mk}{N}}.e^{\frac{-2i\pi ml}{N}} \quad (30)$$

Denklem 30'daki işlem uzaysal f(m,n) fonksiyonunun üssünün alınması frekans uzayındaki kaymaya eşit olduğunu ifade etmektedir.

5.1.1.3.11. Döndürme Özelliği

Döndürme özelliğinde bir fonksiyon belirli bir açı ile döndürüldüğünde Fourier Dönüşümü de eşit açıda dönmektedir. Bu işlem denklem 31'de ifade edilmiştir. Denklemdeki θ açısı dönme açısını ifade etmektedir.

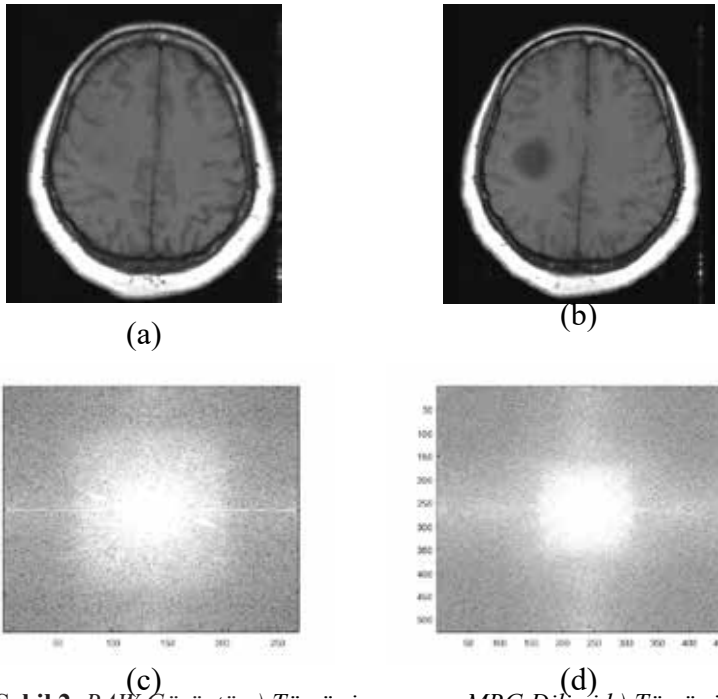
$$f(m,n) \rightarrow f(r\cos\theta, r\sin\theta) \tag{31}$$

5.1.1.4. Fazın önemi

F(k,l) Fourier Dönüşümü polar koordinatlarda denklem 32'de gösterildiği gibi ifade edilmiştir.

$$F(k,l) = |F(k,l)|.e^{iD(k,l)} \tag{32}$$

Denklem 32'de F(k,l) FT'nin spektrum gücünü ifade etmektedir. D(k,l) faz açısı ya da faz spektrumu olarak isimlendirilmektedir. f(k,l)'nin reel ve sanal kısımları R ve I ile gösterilmektedir. Bir görüntünün Fourier Dönüşümü iki önemli bilgi vermektedir. Bunlardan ilki dönüşümün katsayılarının büyüklüğü bilgisi ve faz bilgisidir.



(a) (b) (c) (d)

Şekil 2. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Fourier Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Diliminin Fourier Dönüşümü*

Beyin MRG dilimine ait Fourier Dönüşümü yapılan görüntü örnekleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2a'da tümör olmayan MRG dilimine ait işlenmemiş (RAW) JPEG biçimli görüntü yer almaktadır. Bu görüntünün Fourier Dönüşümü yapılarak frekans uzayına geçildiğinde Şekil 2c'deki görüntü elde edilmektedir. Şekil 2c'deki görüntünün merkezindeki beyaz alanlar yüksek frekans bilgilerini içermektedir. Köşe noktaları ise düşük frekans verilerini içermektedir. Görüntüde yüksek frekans verileri oldukça yoğun ve hafif dağınık olarak görülmektedir. Şekil 2b'de ise tümör olan bir MRG dilimi görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntünün Fourier Dönüşümü yapıldığında Şekil 2d'deki görüntü elde edilmektedir. Görüntüde yüksek frekans verileri merkez noktaya toplanmıştır. Bu durum tümör olan görüntülerde gözlemlenmektedir.

5.1.2. Walsh - Hadamard Dönüşümü

Fourier analizi bir sinyalin dikey sinüs dalga formlarıyla gösterimidir. Bu gösterimin katsayıları frekans bileşenleridir ve dalga formları frekansa göre sıralanmaktadır. Walsh kare dalga gösterimi bu fonksiyonu göstermek için kullanmıştır. Kare dalga olması Walsh fonksiyonun gerçek sayı olduğunu ve -1 ve +1 değerlerini aldığını belirlemektedir. Bir boyutlu Walsh Dönüşümü denklem 33 ile gösterilmektedir.

$$g(n,k) = \frac{1}{N}\prod_{i=0}^{m-1}(-1)^{b_i(n)b_{m-1-i}(k)} \tag{33}$$

Denklem 33'de n zaman indeksini, k frekans indeksini ve N 'de derecesini göstermektedir. M gönderilen bitleri $b_i(n)$ ise i inci en az anlamlı bitlerin değerlerini n onlu sayısının ikili dönüşümündeki değerlerini göstermektedir.

İki boyutlu f(m,n) fonksiyonunun Walsh Dönüşümü denklem 34'de gösterilmiştir.

$$F(k,l) = \frac{1}{N}\sum_{m}\sum_{n} f(m,n)\prod_{i=0}^{p-1}(-1)^{b_i(m)b_{p-1-i}(k)+b_i(n)b_{p-1-i}(k)} \tag{34}$$

Denklem 34'de elde edilen uzama katsayıları, benzer pozisyondaki benzer özelliklerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu katsayılar, görüntünün yerel ortalama gri değeri ile genleşmenin dc katsayısı ile normalleştirildiğinde modaliteden bağımsız olarak tamamen yerel özellikleri ölçmektedir. Walsh temel fonksiyonları, pozitif veya negatif gidiş yatay veya dikey kenar, belirli bir tipte köşe gibi yerel özelliklere karşılık gelmektedir.

İki ayrı görüntü alınmış ve bu iki görüntü I1 ve I2 ile temsil edilmiştir. I2'nin I1 ile eşleşecek şekilde deforme edilmesi gereken bir görüntüyü temsil ettiğini varsayalım. İlk olarak, sınır pikselleri, 3 × 3 bir çerçeve ve bu çerçeveden hesaplanan dokuz Walsh katsayısını her piksel etrafında elde edilir. Giriş görüntüsü f ise, denklem 35 kullanılarak g katsayıları matrisi hesaplanmaktadır.

$$g = (W^{-1})^{T}.fW^{-1} \tag{35}$$

Denklem 35'deki g matrisi, W matrisinin sıralarının vektör dış ürünleri alınarak oluşturulan temel görüntüler açısından görüntünün genişleme katsayılarını içermektedir.

Hadamard Dönüşümü genel olarak Walsh Dönüşümüne benzemektedir. Farklı olarak dönüşüm matrisinin satırları tekrar sıralanmaktadır. Karşılıklı Hadamard dikey temel vektörlerinin elemanları +1 veya -1 olabilmektedir. Dönüşüm katsayılarının hesaplanmasının karmaşıklığı düşük hesaplamalıdır. Hadamard Matrisi denklem 36 ile oluşturulabilmektedir.

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \tag{36}$$

Kronecker çarpımı işlemi ile Hadamard Matrisi denklem 37 ile elde edilmektedir.

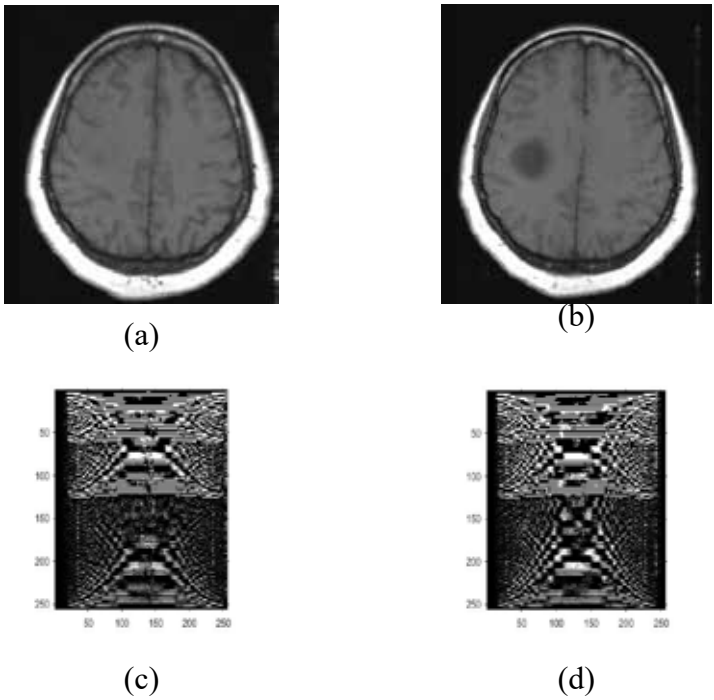
$$H_2 = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix} \tag{37}$$

N=2 olduğunda ise denklem 38'deki matris elde edilmektedir.

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{38}$$

Görüntünün Hadamard Dönüşümü, çok değişkenli çekirdekli diğer dönüşümleri uygulamaktan ziyade görüntü bilgilerine daha az değişiklik getirir. Hadamard Dönüşümü, Fourier Dönüşümünün frekansına eşdeğer olan ve Hadamard Matrisinin her bir satırındaki işaret değişikliklerinin sayısını belirleyen dizi etkisini de sunmaktadır. Sinyalin enerjisinin bü-

yük bir kısmının orta sekans adı verilen ve orta frekansa eşdeğer olan özel bantlarda paketlenebilmektedir. Orta sekans bantları daha iyi algısal şeffaflık sağlamaktadır. Şekil 3c'de Şekil 3a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün Walsh Hadamard Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Şekil 3d'de ise Şekil 3b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün Walsh Hadamard Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Tümörlü olan görüntünün Walsh-Hadamard Dönüşümü sonucu daha belirgin olarak elde edilmektedir.



Şekil 3. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Walsh-Hadamard Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Diliminin Walsh-Hadamard Dönüşümü*

5.1.3. HAAR DÖNÜŞÜMÜ

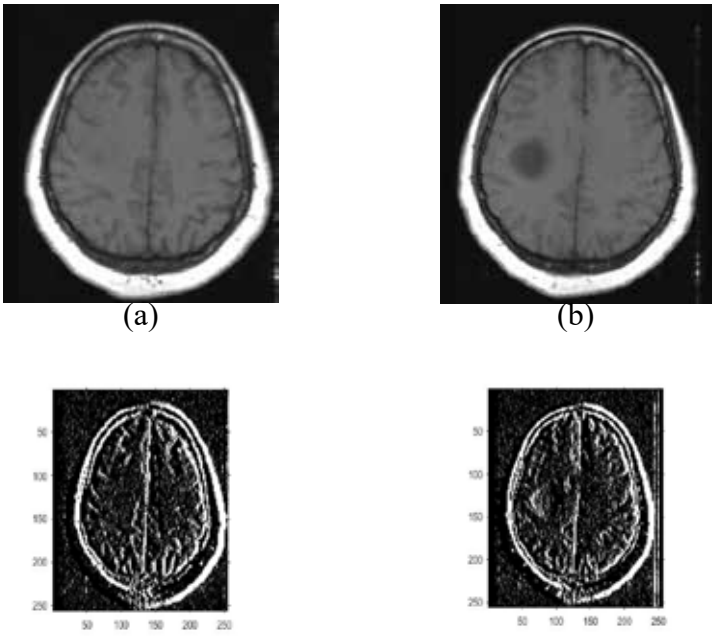
Haar Dönüşümü dikey matris sınıfına dayanmaktadır. Matrisin elemanları +1,-1, 0 veya $\sqrt{2}$ olabilmektedir. Haar Dönüşümünde bir N-nokta vektörünün dönüşümü için sadece 2(n-1) ekleme ve N çarpımı gerektirdiğinden hesaplama açısından verimlidir.

Haar Dönüşümünde öncelikle dereceye (N) karar verilir. Sonrasında $n=\log_2 N$ ile n hesaplanır. Sonraki adımda p ve q değerleri belirlenir.

k=2^{p+q-1} ile k değeri elde edilir. Z vektörü (0/N, 1/N, ... ,N-1/N) ile oluşturulduktan sonra k=0 olması durumunda H(z)= 1/ $\sqrt{N}$ değilse denklem 39 ile H(z) elde edilmektedir.

$$H_k(z) = H_{pq}(z) = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \begin{cases} +2^{p/2}, & \frac{(q-1)}{2^p} \le z < \frac{(q-1)/2}{2^p} \\ -2^{p/2}, & \frac{q-0{,}5}{2^p} \le z < \frac{q}{2^p} \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \quad (39)$$

Şekil 4c'de Şekil 4a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün Haar Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Şekil 4d'de ise Şekil 4b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün Haar Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Tümörlü olan görüntünün Haar Dönüşümü sonucu tümörlü bölgede bir çukurluk oluşmaktadır.



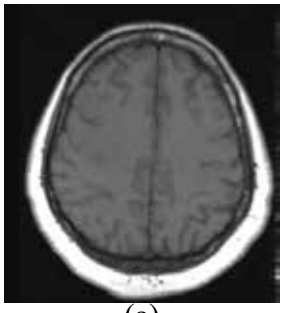
Şekil 4. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Haar Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Diliminin Haar Dönüşümü*

5.1.4. Slant (Eğim) Dönüşümü

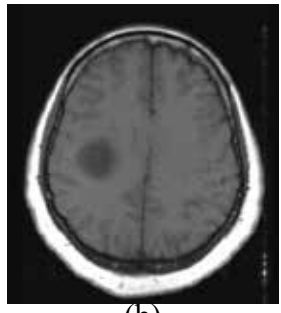
Testere dişi dalga formunda eğim temelli dikey dönüşümdür. Sabit adımlarla maksimumdan minimuma monolitik olarak azalan eğim temel vektörü, sekans özelliğine sahiptir. S_n, nxn boyutunda bir matristir. S_2 matrisi n=2 olarak düzenlendiğinde denklem 40 elde edilmektedir.

Slant Dönüşümü, doğrusal parlaklık çeşitlerini çok iyi üretmektedir. Bununla birlikte, kenarlardaki performansı KLT veya DCT kadar optimum değildir. Düşük mertebeden katsayıların eğik doğası nedeniyle, etkisi kenarları bulaştırmaktır. Şekil 5c'de Şekil 5a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün Slant Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Şekil 5d'de ise Şekil 5b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün Slant Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Tümörlü olan görüntünün Slant Dönüşümü sonucu biraz daha parlak halkalar elde edilmiştir.

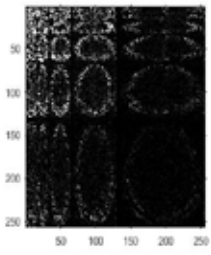
$$S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \tag{40}$$



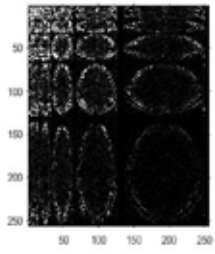
(a)



(b)



(c)



(d)

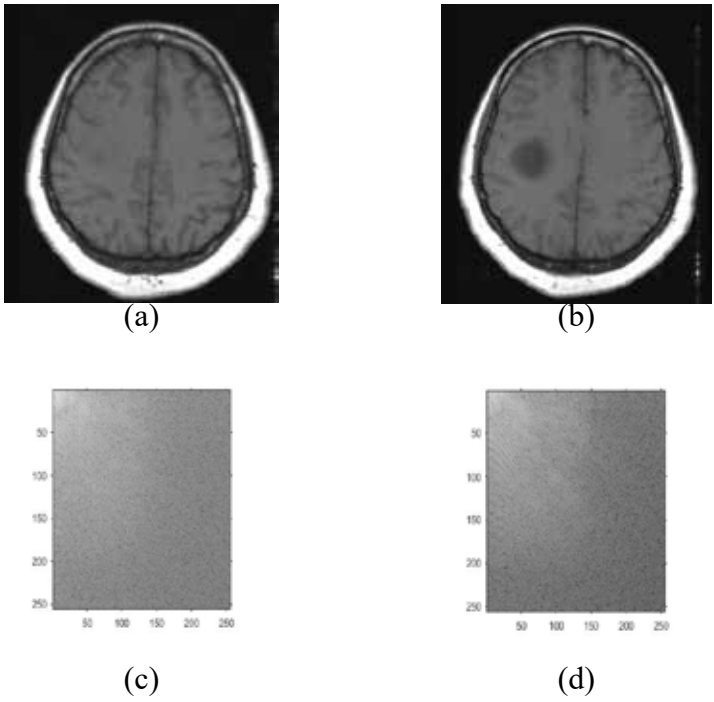
Şekil 5. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Slant Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Diliminin Slant Dönüşümü*

5.1.5. Ayrık Kosinüs Dönüşümü

Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT), gerçek değerli ayrık sinüzoidal birimsel dönüşümler ailesinin üyeleridir. Ayrık bir Kosinüs Dönüşümü, örneklenmiş kosinüs fonksiyonları olan bir dizi temel vektörden oluşur. DCT, bir sinyali temel frekans bileşenlerine dönüştürmek için kullanılan bir tekniktir DCT, $N_1 \times N_2$ boyutunda bir piksel b bloğunu gerçek sayıların bir matrisine dönüştürmektedir.

$$B(u,v) = \frac{2}{N_1 N_2} C(u)C(v) \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \cos\left(\frac{u\pi}{N_1}(i+0{,}5)\right) \cos\left(\frac{v\pi}{N_2}(j+0{,}5)\right) b(i,j) \quad (41)$$

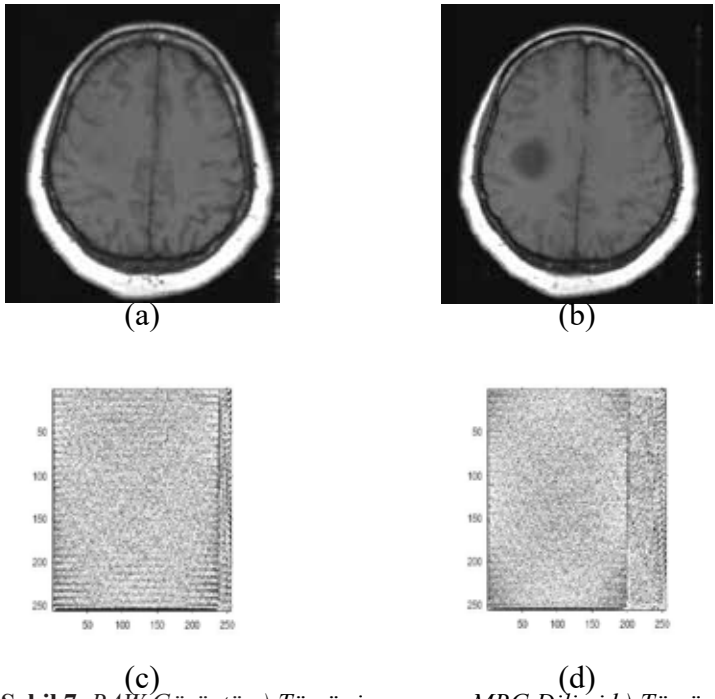
Denklem 41'de u 0 ile N_1-1 arasında v ise 0 ile N_2-1 arasındadır. C(0)=0,707 ve Ω sıfırdan farklı olmak üzere C(Ω)=1'dir. Bu işlem ile görüntüye ait öznitelikler elde edilmektedir [18]. Şekil 6c'de Şekil 6a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün Ayrık Kosinüs Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Şekil 6d'de ise Şekil 6b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün Ayrık kosinüs dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Tümörlü olan görüntünün Ayrık Kosinüs Dönüşümü sonucu biraz daha parlak çizgisel veriler gözlemlenmiştir.



Şekil 6. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Ayrık Kosinüs Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Diliminin Ayrık Kosinüs Dönüşümü*

5.1.6. Karhunen-Loeve Dönüşümü

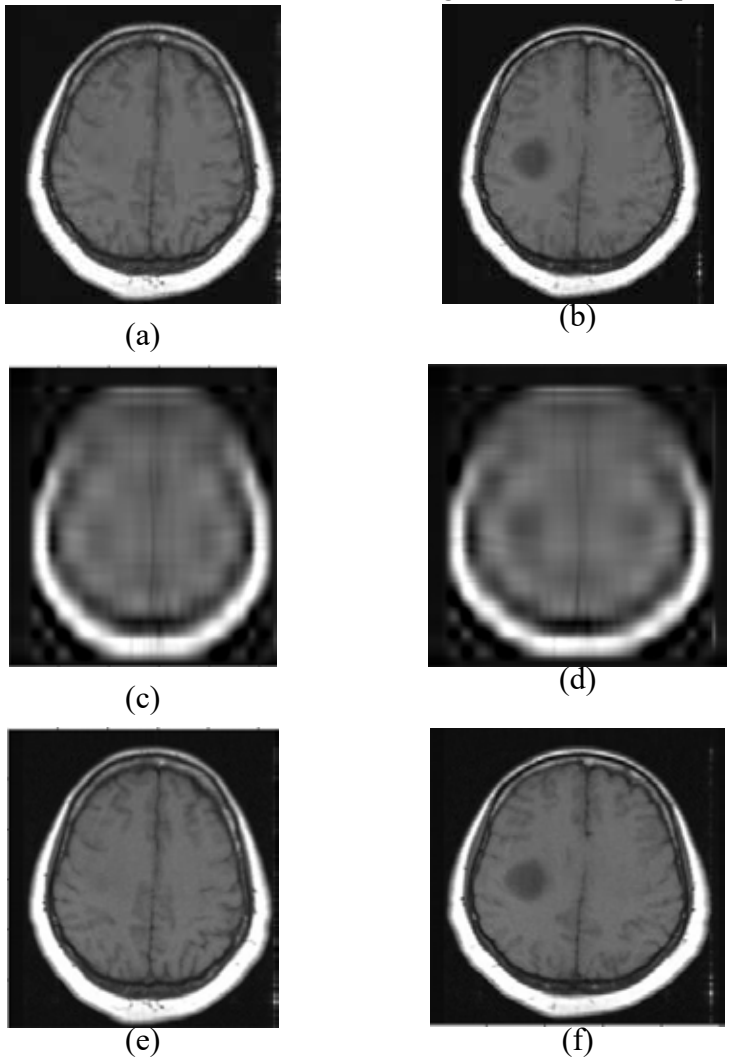
Karhunen-Loeve Dönüşümü (KLD), görüntüye ait örüntülerin tanımlanmasında kullanılan alt uzay ve izdüşümü yöntemidir. Bir görüntüye ait özniteliklerin elde edilmesinin ardından hesaplama maliyetine azaltmak ve sınıflandırma doğruluğuna negatif etki eden öznitelikleri elimine etmede kullanılmaktadır. Bu işlemler için KLD'de vektör, matris, özdeğer ve özvektör matematiksel ifadeleri elde edilmektedir. Veri kümesine ait varyans ve kovaryans değerleri bu ifadeler ile hesaplanarak boyut indirgeme öznitelik seçimi gerçekleştirilmektedir [19]. Özniteliklerin seçiminde KLD yöntemi kullanılarak görüntü örüntülerindeki birbiriyle ilişkili vektörler küçük boyutlu birbiriyle ilişkisiz vektörlere dönüştürmektedir. Bu dönüşüm ile görüntü, temel bileşenler şeklinde daha küçük bir boyutta ifade edilmektedir. İfade edilen bu temel bileşenler varyans değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Bu bileşenlerden bilgi işlem cihazı kaynak kullanımına göre optimum sonucu veren temel bileşenin KLD'nin temel avantajıdır. Şekil 7c'de Şekil 7a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün KLD sonucu gösterilmiştir. Şekil 7d'de ise Şekil 7b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün KLD sonucu gösterilmiştir. Tümörlü olan görüntünün KLD sonucu yatay paralel gürültü azalmıştır. Ayrıca dikey belirgin bir hat elde edilmiştir.



Şekil 7. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Karhunen-Loeve Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Diliminin Karhunen-Loeve Dönüşümü*

5.1.7. Tekil değer ayrışması

Tekil Değer Ayrışması (TDA), görüntü işleme uygulamalarında kullanılmaktadır. TDA, görüntünün tekil değerlerinde olabilecek küçük değişimlere karşı kararlılığın sağlanmasında avantaj sunmaktadır. TDA mxn boyutlu bir A matrisi olarak düşünüldüğünde bu A matrisi 3 matrise bağlı olarak ayrıştırılabilmektedir. Ayrıştırılan bu matrisler U,S ve V ile ifade edilmektedir. Bu matrislerin çarpımı ile $A=U.S.V^T$ olacak şekilde tekrar A matrisine dönüşebilmektedir. U matrisi mxn boyutunda iken S ve V matrisleri nxn boyutundadır. Ayrıca dönüşümün olabilmesi için S matrisi köşegen matrisidir ve A matrisinin tekil değerleri olarak hesaplanır [20].



Şekil 8. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin 5 Tekil Değer ile Ayrışması d) Tümör içeren MRG 5 Tekil Değer ile Ayrışması e) Tümör içermeyen MRG Diliminin 55 Tekil Değer ile Ayrışması f) Tümör içeren MRG 55 Tekil Değer ile Ayrışması*

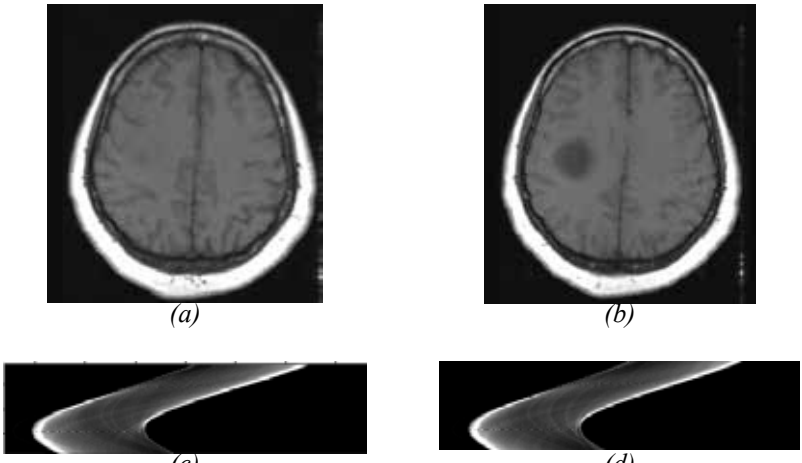
Şekil 8c ve 8e'de Şekil 8a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün TDA sonucu gösterilmiştir. Şekil 8d ve 8f'de ise Şekil 8b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün TDA sonucu gösterilmiştir. Tümörlü olan görüntünün TDA sonucu daha az veri ile ifade edildiğinde görüntünün elde edilmesi gösterilmiştir. Daha az TDA ile bulanık bir görüntü elde edilirken daha az çözünürlük ile belirli bir veri kaybı ile görüntüler ifade edilebilmektedir.

5.1.8. Hough Dönüşümü

Standart Hough Dönüşümü bir hattın parametrik temsilini kullanmaktadır. Bu temsil denklem 42 ile ifade edilmektedir.

$$\rho = x.\cos(\theta) + y.\sin(\theta) \tag{42}$$

Denklem 42'de ρ değişkeni, hatta dik bir vektör boyunca başlangıç noktasından satıra olan mesafeyi ifade etmektedir. θ başlangıç noktasından çizgiye, pozitif x ekseninden saat yönünde derece olarak ölçülen dikey izdüşümü açısıdır. θ aralığı $-90° \leq \theta < 90°$ arasındadır. Çizginin kendisi ise $\theta + 90°$'dir ve pozitif x eksenine göre saat yönünde ölçülmektedir. Şekil 9c'de Şekil 9a'daki tümör olmayan beyin MRG dilimi görüntüsünün Hough Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Şekil 9d'de ise Şekil 9b'deki tümör içeren beyin MRG dilimi görüntüsünün Hough Dönüşümü sonucu gösterilmiştir. Hough Dönüşümü genellikle şekilsel özniteliklerin çıkarılmasında kullanılmaktadır [21].



Şekil 9. *RAW Görüntü a) Tümör içermeyen MRG Dilimi b) Tümör içeren MRG Dilimi c) Tümör içermeyen MRG Diliminin Hough Dönüşümü d) Tümör içeren MRG Hough Dönüşümü*

6. Sonuç

Bu çalışmada beyin MRG'lerinin frekans uzayı dönüşümlerinde kullanılan yöntemler incelenmiştir. Fourier Dönüşümü, Walsh - Hadamart Dönüşümü, Haar Dönüşümü, Slant Dönüşümü, Ayrık Kosinüs Dönüşümü, Karhunen Loeve Dönüşümü ve Tekil Değer Ayrışması olmak üzere 7 yöntemin beyin MRG dilimlerine ait görüntülere uygulandığında elde edilen sonuçlar elde edilmiştir. Rembrandt veri setinden alınarak oluşturulan veri setindeki verilere uygulanan bu yöntemlerde özellikle tümör içeren görüntülerde belirgin farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklar çalışmanın içerisinde gösterilerek her bir yöntemin etkileri ve katkıları ifade edilmiştir.

Frekans uzayı dönüşümlerinin her birisi farklı şekillerde tümörlü bölgelerin gözlemlenmesini sağlamıştır. Performans açısından bakıldığında ise hesaplama karmaşıklıkları Tablo 5'te gösterilmiştir. Fourier Dönüşümü, Walsh-Hadamard Dönüşümü ve Slant Dönüşümü benzer hesaplama karmaşıklığına sahiptir. Ayrık Kosinüs Dönüşümü bu yöntemlerden daha fazla hesaplama maliyeti gerektirirken Haar Dönüşümü daha az hesaplama maliyetine sahiptir. Hough Dönüşümü, Karhunen Loeve Dönüşümü ile TDA ise diğer 5 yönteme göre en fazla performans harcayan yöntemlerdir [22].

Tablo 5. *Frekans Uzayı Dönüşümlerin Hesaplama Karmaşıklıkları*

Sıra No	Dönüşüm Adı	Temel	Karşılaştırılan Parametreler	Hesaplama Karmaşıklığı
1	Fourier Dönüşümü	Karmaşık üstel	Dönüşüm katsayıları	$2N^2log_2N$ (Karmaşık)
2	Walsh-Hadamard Dönüşümü	Walsh temelli +1 veya -1	Dönüşüm katsayıları	$2N^2log_2N$ (Toplamlar)
3	Slant Dönüşümü		Dönüşüm katsayıları	$2N^2log_2N$
4	Haar Dönüşümü		Dönüşüm katsayıları	$2(N-1)$
5	Ayrık Kosinüs Dönüşümü	Kosinüs fonksiyonu	Dönüşüm katsayıları	$24log_22N$
6	Karhunen Loeve Dönüşümü	Kovaryans matrisinin Eigen vektörü	Dönüşüm katsayıları	N^3
7	Tekil Değer Ayrışması	$u\sum v^T$	Temel vektörler ve tekil değerler	N^3
8	Hough Dönüşümü	$x.\cos(\theta)+y.\sin(\theta)$	Dönüşüm Açı katsayıları	N^3

Dik sinüzoidal temel fonksiyonuna sahip en güçlü dönüşümlerden biri Fourier Dönüşümüdür. Temel fonksiyonları sinüzoidal olan dönüşümler arasında Fourier Dönüşümü, Ayrık Kosinüs Dönüşümü bulunur. Bu dönüşüm görüntü sıkıştırma alanında yaygın olarak kullanılmaktadırTemel fonksiyonları sinüzoidal olmayan dönüşümler arasında Haar Dönüşümü, Walsh Dönüşümü, Hadamard Dönüşümü ve Slant Dönüşümü bulunur. Haar Dönüşümü dalgacık dönüşümünün en basit örneğidir. Dalgacık dönüşümünün önemli avantajlarından biri, sinyallerin ve görüntülerin farklı çözünürlüklerde temsil edilebilmesidir. Temel işlevi giriş sinyalinin istatistiklerine bağlı olan dönüşüm KLD ve TDA'dır. KLD, enerji sıkıştırma açısından tüm doğrusal dönüşümler arasında en iyi sonuç üreten dönüşüm olarak gözlemlenmiştir.

Fourier Dönüşümünde yüksek frekanslarda farklılık gözlemlenmiştir. Walsh-Hadamard Dönüşümü sonucu tümörlü içeren görüntünün merkez verileri daha belirgin olarak elde edilmiştir. Haar Dönüşümü sonucu tümörlü bölgede bir çukurluk oluşmaktadır. Slant Dönüşümünde halkalar tümörlü görüntülerde daha belirgindir. Ayrık Kosinüs Dönüşümünde sol üst köşegenden başlayan belirgin hatlar gözlemlenmiştir. KLD sonucu tümörlü görüntüde yatay paralel gürültü azalmıştır. TDA ile ise bulanık bir görüntü elde edilirken daha az çözünürlük ile belirli bir veri kaybı ile görüntüler ifade edilebilmektedir.

Kaynaklar

1. Grist, J. T., McLean, M. A., Riemer, F., Schulte, R. F., Deen, S. S., Zaccagna, F., ... & Patterson, I. (2019). Quantifying normal human brain metabolism using hyperpolarized [1–13C] pyruvate and magnetic resonance imaging. *NeuroImage*, *189*, 171-179.
2. Bharathala, S., & Sharma, P. (2019). Biomedical Applications of Nanoparticles. In *Nanotechnology in Modern Animal Biotechnology* (pp. 113-132). Elsevier.
3. Cassel, M., Risch, L., Mayer, F., Kaplick, H., Engel, A., Kulig, K., & Bashford, G. (2019). Achilles tendon morphology assessed using image based spatial frequency analysis is altered among healthy elite adolescent athletes compared to recreationally active controls. *Journal of science and medicine in sport*, *22*(8), 882-886.
4. Kong, W., Zhang, C., Liu, F., Nie, P., & He, Y. (2013). Rice seed cultivar identification using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate data analysis. *s ensors*, *13*(7), 8916-8927.
5. Arce, G. R., Brady, D. J., Carin, L., Arguello, H., & Kittle, D. S. (2013). Compressive coded aperture spectral imaging: An introduction. *IEEE Signal Processing Magazine*, *31*(1), 105-115.
6. Zhang, Y., Taub, E., Salibi, N., Uswatte, G., Maudsley, A. A., Sheriff, S., ... & Knight, D. C. (2018). Comparison of reproducibility of single voxel spectroscopy and whole-brain magnetic resonance spectroscopy imaging at 3T. *NMR in Biomedicine*, *31*(4), e3898.
7. Rosenberger, M., & Celestre, R. (2016, October). Smart multispectral imager for industrial applications. In *2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)* (pp. 7-12). IEEE.
8. Thiel, M., Rath, T., & Ruckelshausen, A. (2010, August). Plant moisture measurement in field trials based on NIR spectral imaging—A feasability study. In *Proceedings of 2nd International Workshop on Computer Image Analysis in Agriculture* (pp. 16-29).
9. Xu, Q., Li, M., Li, M., & Liu, S. (2018). Energy spectrum CT image detection based dimensionality reduction with phase congruency. *Journal of medical systems*, *42*(3), 49.
10. Jerban, S., Ma, Y., Jang, H., Namiranian, B., Le, N., Shirazian, H., ... & Chang, E. Y. (2020). Water proton density in human cortical bone obtained from ultrashort echo time (UTE) MRI predicts bone microstructural properties. *Magnetic Resonance Imaging*.
11. Pai, P. P., Mandal, P. K., Punjabi, K., Shukla, D., Goel, A., Joon, S., ... & Lahoti, R. (2020). BRAHMA: Population specific T1, T2, and FLAIR weighted brain templates and their impact in structural and

functional imaging studies. *Magnetic Resonance Imaging*.

12. Michielsen, K., Dresen, R., Vanslembrouck, R., De Keyzer, F., Amant, F., Mussen, E., ... & Vandecaveye, V. (2017). Diagnostic value of whole body diffusion-weighted MRI compared to computed tomography for pre-operative assessment of patients suspected for ovarian cancer. *European Journal of Cancer*, *83*, 88-98.
13. K. Clark, B. Vendt, K. Smith, J. Freymann, J. Kirby, P. Koppel, S. Moore, S. Phillips, D. Maffitt, M. Pringle, L. Tarbox, and F. Prior, "The cancer imaging archive (TCIA): Maintaining and operating a public information repository," J. Digit. Imag., vol. 26, no. 6, pp. 1045–1057, 2013.
14. L. Scarpace, A. Flanders, R. Jain, T. Mikkelsen, and D. Andrews, "Data from REMBRANDT. The cancer imaging archive," 2015. doi: 10.7937/K9/TCIA.2015.588OZUZB.
15. Kountchev, R., Todorov, V., Kountcheva, R., Mironov, R., Bekiarski, A., Boumbarov, O., ... & Petrov, P. (2013). New approaches in intelligent image processing.
16. Gonzales, R. C., & Woods, R. E. (2002). Digital image processing.
17. Prasanna, G. L., & Chand, S. R. (2016). High Performance RISC based 2D-DWT Architecture Implementation for Jpeg 2000. *International Journal of Computer Applications*, *153*(1).
18. Khan, F. A., Tahir, M. A., Khelifi, F., Bouridane, A., & Almotaeryi, R. (2017). Robust off-line text independent writer identification using bagged discrete cosine transform features. *Expert Systems with Applications*, *71*, 404-415.
19. Kaya, I. E., Pehlivanlı, A. Ç., Sekizkardeş, E. G., & Ibrikci, T. (2017). PCA based clustering for brain tumor segmentation of T1w MRI images. *Computer methods and programs in biomedicine*, *140*, 19-28.
20. Staals, J., Booth, T., Morris, Z., Bastin, M. E., Gow, A. J., Corley, J., ... & Wardlaw, J. M. (2015). Total MRI load of cerebral small vessel disease and cognitive ability in older people. *Neurobiology of aging*, *36*(10), 2806-2811.
21. Ramesh, M. (2018). Hybrid LSM-based Image Segmentation and Analysis of Morphological Variations of the Brainstem in Alzheimer MR Images. *IEIE Transactions on Smart Processing & Computing*, *7*(2), 124-131.
22. Xiang, X., Zhou, J., An, X., Peng, B., & Yang, J. (2008). Fault diagnosis based on Walsh transform and support vector machine. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *22*(7), 1685-1693.



Bölüm 20

TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBUNUN NANOMATERYALLERLE İLİŞKİSİ VE NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR İÇİN ÖNEMİ

Zafer CEYLAN[1], Turgay ÇETİNKAYA[2]

1 Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi ABD,
2 Yalova Üniversitesi, Armutlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Programı, turgay.cetinkaya@yalova.edu.tr; cetinkayat@itu.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda nanoteknoloji, nanobilim, nanomateryal, nanoyapı vb. terimlere mühendislik (kimya, gıda, makine, tekstil, malzeme, jeoloji, su ürünleri), temel bilimler ve sağlık gibi birçok alanın literatürlerinde daha sık rastlanılmaya başlanmıştır. Nanobilim ve nanoteknoloji tanım itibariyle materyal, madde veya sistemlerin üretilip bunların cihazlarını ve sistemlerini çalışarak nanometrik boyutlarda kontrol etmeyi amaçlar (Vida-Simiti ve ark., 2004). Pratikte moleküllerin küçük ölçekte manipüle edilmesi 1957'de Richard Feynman tarafından ortaya konmuştur. Norio Taniguchi tarafından ise nanoteknoloji terimi 1 um'den daha küçük doğrulukla maddeleri işlemeyi belirlemek için 1974'te geliştirilmiştir (Staszczuk, 2005).

Nanometre boyutundaki malzemelerin geliştirilmesi, mikroskop temelli araştırmalar yapılmadan düşünülemez. Çünkü bu malzemelerin yapısını ve boyutunu inceleyerek hızlı sonuç veren basit yöntemlerden biri mikroskoplardır. Nanoteknolojide en yaygın mikroskop tipi elektronların maddeyle etkileşimi prensibini temel alan taramalı elektron mikroskoplarıdır (SEM). SEM uygulamaları ile elektroeğirme (Ceylan ve ark., 2016), ultrasonikasyon prosesi (Ceylan ve ark., 2019a), sprey/dondurucu kurutma (Moayyedi ve ark., 2018) gibi farklı metotlarda tasarlanmış çeşitli nanosistemler yapısal ve morfolojik olarak değerlendirilebilmektedir. Bu cihazlar numune yüzeyinin bir elektron fasikülü ile taranması prensibine ve bir sinyal ile elektromanyetik partikül sistemine dayanmaktadır. İlk SEM cihazı 1965 yılında tasarlanmış ve ardından nanometrik boyutların araştırılması için düzinelerce mikroskop tipi geliştirilmiştir (Vida-Simiti ve ark., 2004). Çevresel SEM (ESEM), alan yayılımlı tabanca, elektron geri yansıma difraksiyonu (EBSD), enerji dağılım x-ray spektroskopisi (EDX), kriyojenik-SEM teknikleri nanomateryal analizlerinin gelişmesini sağlamıştır. Nanomateryal karakterizasyoununa ek olarak SEM cihazı in-situ nanomalzeme mühendisliği ve üretim için entegre edilebilmektedir. Nanomanipulasyon, elektron demeti nanoliyografisi ve odaklanmış iyon demetleri (FIB) teknikleri bunlara örnek olarak gösterilmektedir (Zhou ve ark., 2007).

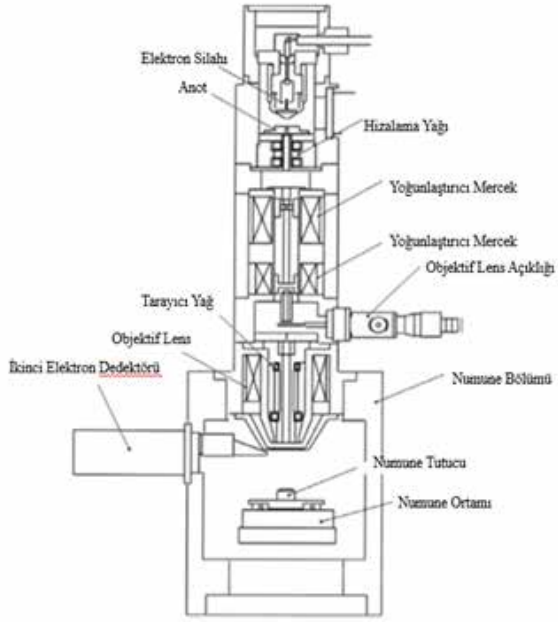
Bu çalışmada nano boyuttaki materyallerin yapısal karakterizasyonunun tespitinde kullanılan tekniklerden biri olan ve farklı araçlarla geliştirilen SEM cihazlarının nanoteknolojideki yeri ve önemi tartışılarak okuyucuların bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.

TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM)

Görüntüleri büyütmek için ışık kaynaklarını veya cam lenslerini kullanan optik mikroskopların aksine, SEM görüntüleme elde etmek için hızlandırılmış elektron demetlerini kullanır. Böylece SEM cihazıyla daha geniş alan derinliği ve daha yüksek yakınlaşma (100,000x) elde edilmek-

tedir. SEM tarafından üretilen yüksek enerjili elektronlar çeşitli sinyaller üretmek için katı örneğin yüzeyine odaklanır. Bu elektronlar etkileşime geçtikten sonra atomik kompozisyonu ve yüzeydeki topografik detayları yansıtırlar. Örnek yüzeyi boyunca elektron demetleri taranır ve elektron dedektörü taranan bölgedeki farklı yerlerde emilen elektronları saptar. Örnek yüzeyinin morfolojisi, emilen elektronların yoğunluğuna göre parlaklık derecesi belirlenerek dijital resim olarak kaydedilir (Falsafi ve ark., 2020; Duraisamy ve ark., 2020).

Geleneksel SEM cihazının temel parçaları Şekil 1'de gösterilmektedir. Materyalin morfoloji, şekil ve boyut dağılımını incelemek için hızlandırılmış voltajda bir yüksek enerjili elektron demeti kullanılır. Tepedeki elektron tabancası, elektronları üretir ve onları 0.1-30 keV enerji düzeyine kadar hızlandırır. Hairpin Tungsten tabancası tarafından üretilen elektron demetlerinin büyüklüğü yüksek çözünürlüklü fotoğraf elde etmek için çok geniştir. Elektron demetlerinin belirlenmesi ve odaklanılması ve örnek üzerinde küçük bir odaklanmış elektron noktası oluşturmak için elektromanyetik lensler kullanılır. Böylece elektron kaynağının büyüklüğü (tungsten filament için 50 μm) gereken son nokta büyüklüğüne (1-100 nm) düşürülür. Elektronların havada saçılmadan ilerlemesini sağlayan yüksek vakumlu ortam gerekir. Numunenin koyulduğu yer, elektron demeti tarama bobini, sinyal belirlenmesi ve sistem numune yüzeyinin gerçek zamanlı olarak kaydedilerek fotoğraflanmasını sağlar (Zhou ve ark., 2005).



Şeki*l 1. Taramalı elektron mikroskobunun parçalarının* şematik gösterimi (JSM—5410 *JEOL, USA) (Zhou ve ark., 2005).*

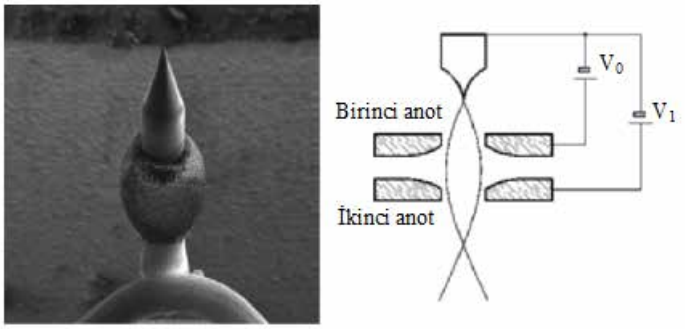
SEM analizinde nanomateryallerin karakterizasyonu için örnek hazırlanması karmaşık değildir. Örneklerin kurutulması yeterlidir. Ancak örnekler iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır. Elektik iletkenliği olmayan veya iletkenliği zayıf örnekler analizden önce metal katmanla kaplanması gerekir. Elektriksel iletkenliği sahip ultra ince bir materyalle (altın, platinyum, paladyum, karbon vb.) kaplama işlemi bu sorunu ortadan kaldırmaktadır (Vida-Simiti ve ark., 2004; Duraisamy ve ark., 2020).

SEM CİHAZININ ÇEŞİTLİ MODİFİKASYONLARI

Nanoteknolojide materyallerin boyut ve şekillerinin ayarlanması hedef uygulama için önemli bir meseledir. Nanomateryallerin belirli spesifik yapı ve boyuttaki dizaynı farklı özelliklere sahip cihazlarla incelenmektedir. Çünkü her örnek için aynı aracı kullanmak mümkün değildir. Standart SEM tekniği şekil, boyut ve yüzeydeki materyalleri belirlemek için uygun bir tekniktir. Ancak geleneksel SEM cihazıyla 200 nm altındaki örneklerin görüntülenmesi düşük çözünürlükten dolayı zorlaşmaktadır (Duraisamy ve ark., 2020; Falsafi ve ark., 2020) Geleneksel SEM'in diğer bir dezavantajı örneğin hazırlanması sırasında yapısının bozulma riski (büzülme, karakteristik değişimi vb.) olmasıdır. Ayrıca çok az miktardaki örnek Sadece küçük bir alanı temsil ettiği için heterojen örneklerin boyut dağılımları istatistiksel olarak kesin olmayan sonuçlar ortaya koyabilir (Duraisamy ve ark., 2020). Bu problemlerin üstesinden gelmek için incelenmekte olan ürünün yapısına göre farklı araçlarla SEM teknikleri geliştirilmiştir. Aşağıdaki başlıklarda bu teknikler ayrıntılı açıklanmıştır.

Alan emisyon tabancası

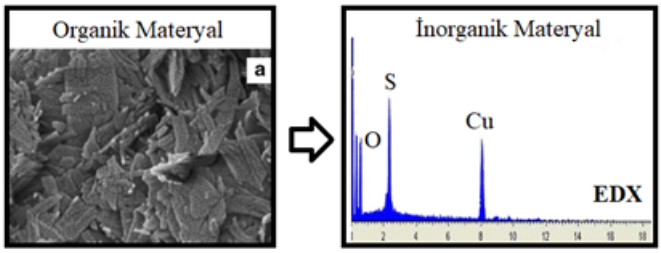
Klasik SEM cihazlarında tungsten elektron tabancaları uygun fiyatları ve geniş uygulama alanları sebebiyle uzun yıllardır kullanılmıştır. Alan emisyon tabancalarını içeren modern SEM cihazları (FESEM) ise bunlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemde, ince yönlendirilmiş uç üzerinde güçlü bir elektrik alan uygulanır ve elektronlar anotlara doğru çekilir. FESEM ile görüntüde çok daha yüksek çözünürlük elde edilir. Ancak alan yayıcılar elektron emisyonunu ve kontaminasyonu önlemek için yüksek vakum altında (10^{-9} Torr) çalışmalıdır. (Zhou ve ark., 2006). Tipik alan emisyon ucu ve şematik yapısı Şekil 2'de görülmektedir.



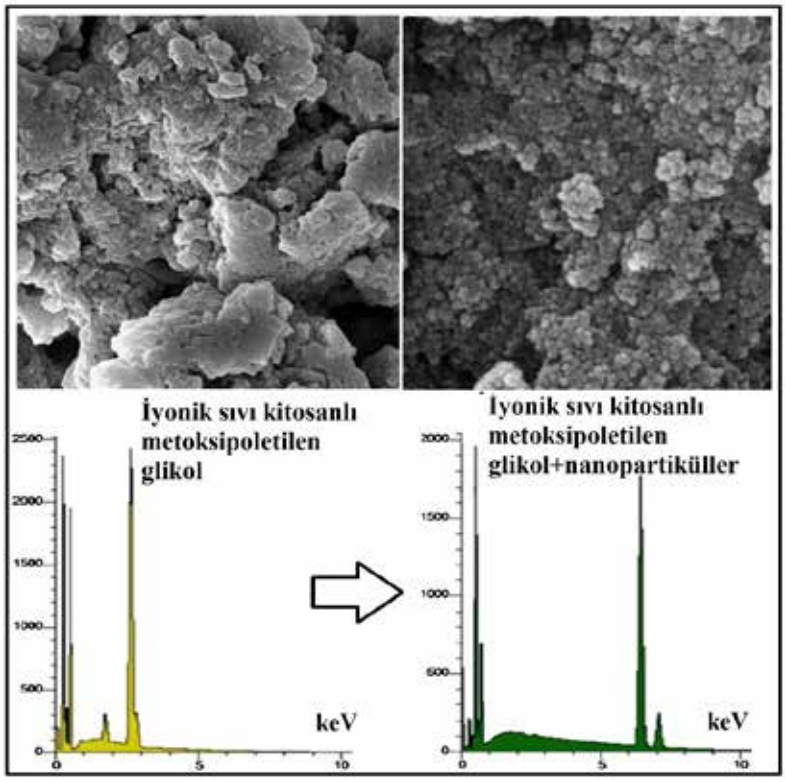
Şekil 2. Çok keskin ucu olan alan emisyon kaynağı (solda) ve tipik alan emisyon elektron kaynağının şematik diyagramı. İki anot elektron demeti oluşturmak için elektrostatik lens gibi çalışır (Zhou ve ark., 2006)

Enerji dağılım x-ray spektroskopisi (EDX)

EDX ile kombine edilen SEM tekniği (SEM-EDX) nanomateryallerin elemental kompozisyonunu tanımlamak için kullanılır. Başka bir deyişle bu yöntemle örneklerin kimyasal karakterizasyonu mümkündür (Vidasimiti ve ark., 2004). Numune yüzeyine bombardıman edilen elektronlar numuneden elektron koparır. Kopan elektronlar iç yörüngeden kopmuş ise atomik kararlılığı sağlamak için dış yörüngelerden elektronlar bu boşluklara sıçrama yaparlar. Dış yörüngedeki elektron fazla enerjisini kaybederek X ışınlarını yayar. Yayımlanan X ışınlarının karakteristik özelliği, yapının hangi element atomunun barındırdığıyla ilgili bilgi verir. Işınlar elektronik alıcılar tarafından algılanır ve veriler grafikte pik oluşturur. Böylece yüzeylerin ya da fazların yarı-kantitatif analizi yapılır (Goldstein ve ark., 2017). Organik gıda matrisi içinde yer alan inorganik nanamateryallerin ayrımında bu metottan faydalanılmaktadır (Dudkiewicz ve ark., 2011). Şekil 3'te bakır kaplanmış kitosan nanokompozitlerinin Şekil 4'te ise kitosanlı metoksipolietilen glikol ve manyetik nanopartiküllerin SEM görüntüleri ile EDX enerji dağılım spektrum verileri özetlenmiştir.



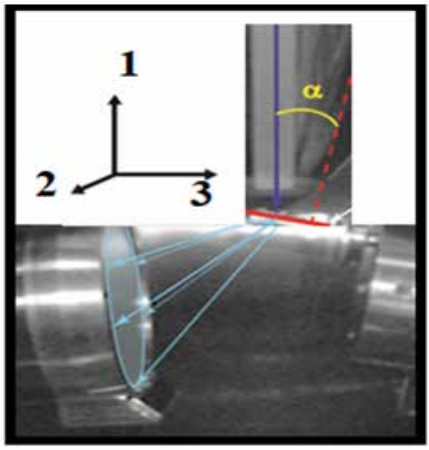
Şekil 3. Bakır kaplanmış kitosan nanokompozitlerinin SEM-EDX analiz verileri (Jaiswal ve ark., 2012)



Şekil 4. Manyetik nanopartiküllerin (Fe_3O_4) iyonik sıvı kitosan ile yüzey modifikasyonundan önce (solda) ve sonra (sağda) SEM görüntüleri ve atomların EDX verileri (Rahimi ve ark., 2018)

Elektron geri yansıma difraksiyonu (EBSD)

Şekil 5'te gösterilen EBSD SEM'e eklenebilen bir aksesuar sistemi olup, materyallerin kristalografik özelliklerini karakterize etmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle EBSD ile görüntüleme tekniği özellikle nanokristaller için uygundur (Maitland & Sitzman, 2007; Michael, 2005). Ayrıca EBSD ile atomların topografisi, yoğunluğu ve oryantasyon kontrastı nano boyutta incelenebilir (Wright ve ark., 2015).



Şekil 5. Örneğe göre ayarlanmış EBSD kamerası (oklarla gösterilen) ve SEM ızgarası (kırmızı çizgi) (Keller & Geiss, 2012)

Çevresel SEM (ESEM)

Dondurarak kurutma, metal kaplama, vakumlama işlemleri örneğin orijinal içeriğini etkileyerek morfolojik değişikliklere yol açabilmektedir. ESEM ile örnekler hazırlanırken bu işlemlere gerek kalmadan doğal formunda resimlendirilebilir (Wight & Zeissler, 1993; Kirk ve ark., 2009; Sitterberg ve ark., 2010; Falsafi ve ark., 2020). Numune odası yüksek nemli ve 10^{-50} Torr basınçlı bir ortamdır. ESEM'de ürünün yapısındaki dinamik değişiklikler incelenebilmektedir (James & Smith, 2009). Kirk ve ark. (2009) biyolojik örneklerin yapısının ESEM ile ölçülebileceğini çünkü örneğin canlı kalması gerektiğini belirtmiştir.

Kriyojenik Taramalı Elektron Mikroskobu (Kriyo-SEM)

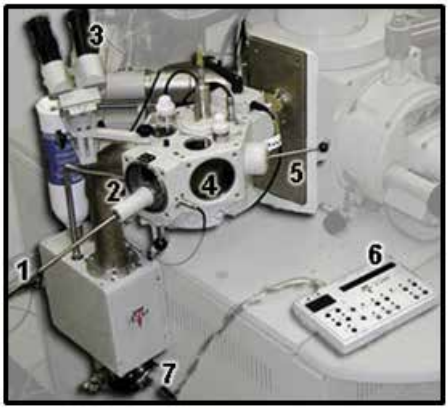
Kriyo-SEM cihazında numuneler mikroskop içinde dondurularak bırakılır ve yüksek vakum altında incelenir. Böylece yüksek çözünürlükte ve kalitede görüntü elde edilir. Biyolojik örneklerin SEM yerine dondurucu sıcaklığında yüksek çözünürlükte değerlendirilmesi daha uygundur. (Duraisamy ve ark., 2020; Dudkiewicz ve ark., 2011). Bazı durumlarda, kaplanmamış örnekleri düşük hızlandırılmış voltajda incelemek mümkündür çünkü örnekler bir dereceye kadar elektron demeti zararından düşük sıcaklıklarda korunmuş olur (Dudkiewicz ve ark., 2011).

Kriyo-SEM'in en yaygın kullanımları nanoemülsiyonların karakterizasyonu ve nanoparçacıklara bağlı yüzey gruplarının görüntüsünün elde edilmesidir (Duraisamy ve ark., 2020). Likit örneklerde bir soğutucuya (sıvı propan, etan veya azot) daldırarak dondurma yöntemi uygulanabilmektedir. Kriyo-SEM gıda karışımlarının içine kapsüllenmiş nanoboyuttaki objeleri analiz etmek için de kullanışlı bir yöntemdir. Şekil 6'da Kriyo-SEM'in bölümleri gösterilmiştir. Bu cihazın dezavantajı diğer SEM cihazlarına göre

daha pahalı olmasıdır (Duraisamy ve ark., 2020).

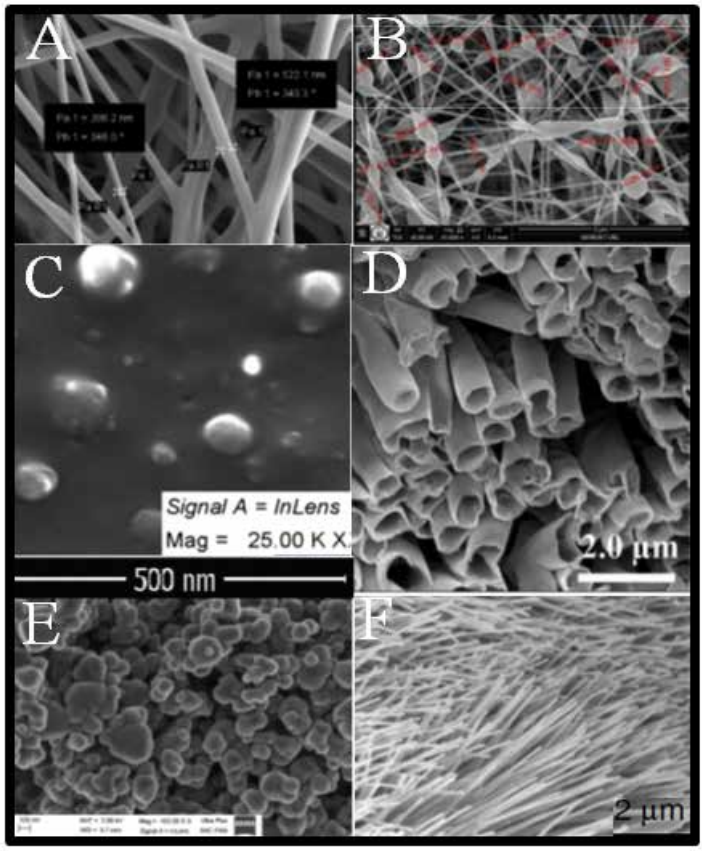
NANOMATERYAL KARAKTERİZASYONU

Nanomateryallerin eldesinden önce optimizasyon periyodu son derece önemli bir rol oynamaktadır. Optimizasyon sürecinin başarıyla tamamlandığı düşünüldüğü çalışmalarda elde edilebilecek nanomalzemenin tanımlanması gerekmektedir. Bunlara örnek olarak nanolifler, nanopartiküller, çeşitli nanoliflerin içerisine entegre edilmiş nanopartiküller, nanoemülsiyonlar ya da biyoaktif maddelerin veya mikroboyuttaki çeşitli bakterilerin nanoboyuta indirgenmesinin ispatlanması açısından karakterizasyon son derece önemli bir rol oynar. Aşağıdaki çeşitli çalışmalardan da görülebileceği üzere



Şekil 6. Kriyo-SEM bölümleri. (1) yerleştirme çubuğu, (2) numunenin dondurma ünitesinden kriyo odasına transferi için silindirik oda, (3) iki gözlü dürbün, (4) süblimasyon ünitesi ve kırma bıçağı içeren kriyo odası, (5) kırma çubuğunu taşıyan kol, (6) çalışma göstergesi, (7) sıvı azot besleme bölümü (VCB, 2020)

yaklaşık 50-700 nm aralığında üretilen çeşitli nanaometaryaller SEM cihazlarıyla da karakterize edilip doğrulanabilmektedir (Şekil 7 ve Tablo 1). Hatta karakterizasyon sonucunu başarıyla geçen nanomateryaller farklı gıda matrislerinde (örneğin balıketi, balık yağı vb.) antimikrobiyal ya da antioksidan nanoajan olarak da kullanılabilmektedir (Ceylan ve ark., 2016; Ceylan ve ark., 2017; Ceylan ve ark., 2017b; Ceylan, 2018; Ceylan ve ark., 2018a; Ceylan ve ark., 2018b; Ceylan, 2019; Ceylan ve ark., 2019a; Ceylan ve ark., 2019b; Ceylan ve ark., 2019c). Aynı zamanda aminoasitler, vitaminler, yağ asitleri ve benzeri çeşitli insan sağlığı için önemli mikroyapıdaki besin öğelerinin (Ceylan ve ark., 2018c; Ceylan ve ark., 2018d) daha uzun vadede stabilitesinin korunması amaçlı da karakterize edilmiş nanotabanlı malzemeler kullanılabilmektedir. Bu anlamda görüldüğü gibi çeşitli SEM (ESEM, FESEM, SEM-EDX, SEM-EBSD) cihazlarından elde edilen görüntüler kritik rol oynamaktadır.



Şekil 7. SEM görüntüleri kaydedilen; A) sodyum aljinat içeren nanolifler (Ceylan ve ark., 2018c), B) nanoenkapsüle L. reuteri. bakterileri (Ceylan ve ark., 2019b); C) buğday tohumu yağı içeren nanoemülsiyonlar (Ceylan ve ark., 2019a); D) bovin serum albümin+κ-karragenan nanotüpleri (Maldonado ve ark., 2019); E) TiO_2 tozlarının nanoyapısı (Dazon ve ark., 2019); F) ZNO nanotelleri (Zhou ve ark., 2006)

Tablo 1. Bazı nanomateryallerin karakterizasyonunda faydalanılan SEM görüntüleme uygulamaları

SEM çeşidi	Çalışılan **parametreler**	**Nanoyapı**	**Referans**
SEM	Morfoloji, partikül boyutu	DNA nanopartikülleri	Farris ve ark. (2017)
SEM	Morfoloji, boyut dağılımı homojenizite	Kitosan hidroklorit ve karboksimetil kitosan nanopartikülleri	Yan ve ark. (2018)

SEM	Morfoloji, lif çapları, emülsiyon çapları,	Nanoenkapsüle laktik asit bakterisi, buğday tohumu yağı nanoemülsiyonu, sodyum aljinat bazlı nanolifler	Ceylan ve ark (2018c; 2019a; 2019b)
SEM	Morfoloji değişimleri	Hidrolize nişasta–kitosan nanokompozitleri	Shehabeldine & Hasanin (2019)
SEM	Morfoloji, partikül boyut dağılımı	Lipozomal salınım sistemleri	Rezaei ve ark. (2020)
ESEM	Morfoloji, gözeneklik	Nanoemülsiyon	Arnon ve ark. (2019)
FESEM	Morfoloji, gözeneklik	Alginat bazlı nano yapılar	Ramos ve ark. (2018)
FESEM	Morfoloji değişimleri	Fonksiyonalize grafen	Zainal-Abidin ve ark. (2019)
FESEM	Morfoloji, homojenizite	Çinko ferrit nanopartikülleri	Liu ve ark. (2020)
FESEM	Morfoloji, homojenizite, gözeneklik	Kitosan/PLGA nanoyapıları	Mohammadpour ve ark. (2019)
FESEM-EDX	Elemental % analizi, yüzey morfolojisi	İyonik likit kitosan	Rahimi ve ark. (2018)
Kriyo-SEM	Morfoloji, partikül boyutu	Polimerik nanopartiküller	Win & Feng (2005)
Kriyo-SEM	Morfoloji, boyut	Polimerik nanokapsüller	Li ve ark., 2009)
Kriyo-SEM	Morfoloji, boyut	Maltodekstrin–arap gamı nanopartikülleri	Gomes ve ark. (2010)
Kriyo-SEM	Morfoloji, partikül boyut dağılımı, homojenizite	Sakız gamı nanopartikülleri	Doost ve ark. (2018)

SONUÇ

Bu çalışmanın sonuçları SEM cihazının nanomateryallerin morfolojisinin, çapının, yüzey yapısının, gözenekliğinin araştırılmasında ve hatta EDX gibi tekniklerle kombine edilerek nanomalzemelerin kimyasal kompozisoyunun karakterizasyonunda kullanılan çok yönlü enstrümanlardan biri olduğunu göstermiştir. Çalışmalarda uygulanan metotlardaki parametrelerin uygunluğunun optimizasyonu ve yapı oluşumuna etkisinin SEM ile kolayca kıyaslanabildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca nanoteknolojideki son

yıllardaki hızlı ilerlemelerle SEM cihazıyla daha iyi kalitedeki fotoğrafları elde etmek için yeni tekniklere ihtiyaç duyulmuştur. Daha yüksek kalitedeki fotoğraflar için geliştirilen SEM'e dayalı tekniklerle nanoyapıların gelecek yıllardaki hızlı analizlerinin önemi ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

Arnon-Rips, H., Porat, R., & Poverenov, E. (2019). Enhancement of agricultural produce quality and storability using citral-based edible coatings; the valuable effect of nano-emulsification in a solid-state delivery on fresh-cut melons model. *Food chemistry*, *277*, 205-212.

Ceylan, Z., Yilmaz, M. T., & Sengor, G. F. (2016). Microbiological stability of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets coated with chitosan based liquid smoke loaded electrospun nanofibers. *Journal of Biotechnology*, (231), S16.

Ceylan, Z., Sengor, G. F. U., Sağdıç, O., & Yilmaz, M. T. (2017a). A novel approach to extend microbiological stability of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets coated with electrospun chitosan nanofibers. *LWT-Food Science and Technology*, *79*, 367-375.

Ceylan, Z., Sengor, G. F. U., & Yilmaz, M. T. (2017b). A novel approach to limit chemical deterioration of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fillets: Coating with electrospun nanofibers as characterized by molecular, thermal, and microstructural properties. *Journal of food science*, *82*(5), 1163-1170.

Ceylan, Z. (2018). Use of characterized chitosan nanoparticles integrated in poly (vinyl alcohol) nanofibers as an alternative nanoscale material for fish balls. *Journal of Food Safety*, *38*(6), e12551.

Ceylan, Z., Sengor, G. F. U., & Yilmaz, M. T. (2018a). Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Journal of Food Engineering*, *229*, 43-49.

Ceylan, Z., Unal Sengor, G. F., Basahel, A., & Yilmaz, M. T. (2018b). Determination of quality parameters of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fillets coated with electrospun nanofibers. *Journal of food safety*, *38*(6), e12518.

Ceylan, Z., Meral, R., Cavidoglu, I., Yagmur Karakas, C., & Tahsin Yilmaz, M. (2018c). A new application on fatty acid stability of fish fillets: Coating with probiotic bacteria-loaded polymer-based characterized nanofibers. *Journal of food safety*, *38*(6), e12547.

Ceylan, Z., Yaman, M., Sağdıç, O., Karabulut, E., & Yilmaz, M. T. (2018d). Effect of electrospun thymol-loaded nanofiber coating on vitamin B profile of gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*). *LWT*, *98*, 162-169

Ceylan, Z., Meral, R., Kose, Y. E., & Cavidoglu, I. (2019a). Wheat germ

oil nanoemulsion for oil stability of the cooked fish fillets stored at 4° C. *Journal of Food Science and Technology*, 1-9.

Ceylan, Z., Uslu, E., İspirli, H., Meral, R., Gavgalı, M., Tahsin'Yilmaz, M., & Dertli, E. (2019b). A novel perspective for *Lactobacillus reuteri*: Nanoencapsulation to obtain functional fish fillets. *LWT*, *115*, 108427.

Ceylan, Z. (2019c). A new cost-effective process for limitation of microbial growth in fish fleshes: Wrapping by aluminum foil coated with electrospun nanofibers. *Journal of Food Safety*, *39*(5), e12697.

Dazon, C., Witschger, O., Bau, S., Fierro, V., & Llewellyn, P. L. (2019). Nanomaterial identification of powders: comparing volume specific surface area, X-ray diffraction and scanning electron microscopy methods. *Environmental Science: Nano*, *6*(1), 152-162.

Doost, A. S., Muhammad, D. R. A., Stevens, C. V., Dewettinck, K., & Van der Meeren, P. (2018). Fabrication and characterization of quercetin loaded almond gum-shellac nanoparticles prepared by antisolvent precipitation. *Food hydrocolloids*, *83*, 190-201.

Dudkiewicz, A., Tiede, K., Loeschner, K., Jensen, L. H. S., Jensen, E., Wierzbicki, R., ... & Molhave, K. (2011). Characterization of nanomaterials in food by electron microscopy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *30*(1), 28-43.

Duraisamy, N., Kandiah, K., & Ramasamy, B. (2020). Basic Techniques to Investigate the Nanostructured Materials. *Integrative Nanomedicine for New Therapies*, 1.

Falsafi, S. R., Rostamabadi, H., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2020). Morphology and microstructural analysis of bioactive-loaded micro/nanocarriers via microscopy techniques; CLSM/SEM/TEM/AFM. *Advances in Colloid and Interface Science*, 102166.

Farris, E., Brown, D. M., Ramer-Tait, A. E., & Pannier, A. K. (2017). Chitosan-zein nano-in-microparticles capable of mediating in vivo transgene expression following oral delivery. *Journal of Controlled Release*, *249*, 150-161.

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. Springer.

Gomes, J. F., Rocha, S., do Carmo Pereira, M., Peres, I., Moreno, S., Toca-Herrera, J., & Coelho, M. A. (2010). Lipid/particle assemblies based on maltodextrin–gum arabic core as bio-carriers. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *76*(2), 449-455.

Jaiswal, M., Chauhan, D., & Sankararamakrishnan, N. (2012). Copper chitosan nanocomposite: synthesis, characterization, and application in removal of organophosphorous pesticide from agricultural runoff. *Environmental Science and Pollution Research*, *19*(6), 2055-2062.

James, B. J., & Smith, B. G. (2009). Surface structure and composition

of fresh and bloomed chocolate analysed using X-ray photoelectron spectroscopy, cryo-scanning electron microscopy and environmental scanning electron microscopy. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(5), 929-937.

Keller, R. R., & Geiss, R. H. (2012). Transmission EBSD from 10 nm domains in a scanning electron microscope. *Journal of Microscopy*, *245*(3), 245-251.

Kirk, S. E., Skepper, J. N., & Donald, A. M. (2009). Application of environmental scanning electron microscopy to determine biological surface structure. *Journal of microscopy*, *233*(2), 205-224.

Li, W., Matyjaszewski, K., Albrecht, K., & Möller, M. (2009). Reactive surfactants for polymeric nanocapsules via interfacially confined miniemulsion ATRP. *Macromolecules*, *42*(21), 8228-8233.

Liu, H., Liu, J., Xie, X., & Li, X. (2020). Development of photo-magnetic drug delivery system by facile-designed dual stimuli-responsive modified biopolymeric chitosan capped nano-vesicle to improve efficiency in the anesthetic effect and its biological investigations. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *202*, 111716.

Maitland, T., & Sitzman, S. (2007). *Electron backscatter diffraction (EBSD) technique and materials characterization examples* (Vol. 14, p. 522). Berlin: Springer.

Maldonado, L., Chough, S., Bonilla, J., Kim, K. H., & Kokini, J. (2019). Mechanism of fabrication and nano-mechanical properties of α-lactalbumin/chitosan and BSA/κ-carrageenan nanotubes through layer-by-layer assembly for curcumin encapsulation and determination of in vitro cytotoxicity. *Food hydrocolloids*, *93*, 293-307.

Michael, J. R. (2005). Characterization of Nano-Crystalline Materials Using Electron Backscatter Diffraction in the Scanning Electron Microscope. In *Handbook of Microscopy for Nanotechnology* (pp. 401-425). Springer, Boston, MA.

Moayyedi, M., Eskandari, M. H., Rad, A. H. E., Ziaee, E., Khodaparast, M. H. H., & Golmakani, M. T. (2018). Effect of drying methods (electrospraying, freeze drying and spray drying) on survival and viability of microencapsulated Lactobacillus rhamnosus ATCC 7469. *Journal of functional foods*, *40*, 391-399.

Mohammadpour, F., Hadizadeh, F., Tafaghodi, M., Sadri, K., Mohammadpour, A. H., Kalani, M. R., ... & Chamani, J. (2019). Preparation, in vitro and in vivo evaluation of PLGA/Chitosan based nano-complex as a novel insulin delivery formulation. *International journal of pharmaceutics*, *572*, 118710.

Pennycook, S. J., Lupini, A. R., Varela, M., Borisevich, A., Peng, Y., Oxley, M. P., ... & Chisholm, M. F. (2006). Scanning transmission electron microscopy for nanostructure characterization. In *Scanning*

microscopy for nanotechnology (pp. 152-191). Springer, New York, NY.

Rahimi, M., Shafiei-Irannejad, V., Safa, K. D., & Salehi, R. (2018). Multi-branched ionic liquid-chitosan as a smart and biocompatible nano-vehicle for combination chemotherapy with stealth and targeted properties. *Carbohydrate polymers*, *196*, 299-312.

Ramos, P. E., Silva, P., Alario, M. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A. (2018). Effect of alginate molecular weight and M/G ratio in beads properties foreseeing the protection of probiotics. *Food hydrocolloids*, *77*, 8-16.

Rezaei, N., Mehrnejad, F., Vaezi, Z., Sedghi, M., Asghari, S. M., & Naderi-Manesh, H. (2020). Encapsulation of an endostatin peptide in liposomes: Stability, release, and cytotoxicity study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *185*, 110552.

Shehabeldine, A., & Hasanin, M. (2019). Green synthesis of hydrolyzed starch–chitosan nano-composite as drug delivery system to gram negative bacteria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *12*, 100252.

Sitterberg, J., Özcetin, A., Ehrhardt, C., & Bakowsky, U. (2010). Utilising atomic force microscopy for the characterisation of nanoscale drug delivery systems. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, *74*(1), 2-13.

Staszczuk, P. (2005). World of nanostructures-nanotechnology, surface properties of chosen nanomaterials: Determined by adsorption, Q-TG, AFM and SEM methods. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, *79*(3), 545-554.

VCB (Virtual Classroom Biology) 2020. Cryo SEM. Virtual Classroom Biology, Web modules, Radboud University https://www.vcbio.science.ru.nl/en/fesem/info/cryosem/ (Erişim Tarihi: 19.05.2020).

Vida-Simiti, I., Jumate, N., Chicinas, I., & Batin, G. (2004). Applications of scanning electron microscopy (SEM) in nanotechnology and nanoscience. *Rom. J. Phys*, *49*(9-10), 955-965.

Wight, S. A., & Zeissler, C. J. (1993). Environmental scanning electron microscope imaging examples related to particle analysis. *Microscopy research and technique*, *25*(5-6), 393-397.

Win, K. Y., & Feng, S. S. (2005). Effects of particle size and surface coating on cellular uptake of polymeric nanoparticles for oral delivery of anticancer drugs. *Biomaterials*, *26*(15), 2713-2722.

Yan, L., Wang, R., Wang, H., Sheng, K., Liu, C., Qu, H., ... & Zheng, L. (2018). Formulation and characterization of chitosan hydrochloride and carboxymethyl chitosan encapsulated quercetin nanoparticles for controlled applications in foods system and simulated gastrointestinal condition. *Food Hydrocolloids*, *84*, 450-457.

Zainal-Abidin, M. H., Hayyan, M., Ngoh, G. C., & Wong, W. F. (2019). From nanoengineering to nanomedicine: A facile route to enhance biocompatibility of graphene as a potential nano-carrier for targeted drug delivery using natural deep eutectic solvents. *Chemical Engineering Science*, *195*, 95-106.

Zhang, X. Q., Wang, X. D., Jiang, P. D., & Wei, Z. H. U. (2010). Inheritance of fertility restoration for cytoplasmic male sterility in a new Gossypium barbadense restorer. *Agricultural Sciences in China*, *9*(4), 472-476.

Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., & Joy, D. (2006). Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). In *Scanning microscopy for nanotechnology* (pp. 1-40). Springer, New York, NY.

Zhou, W., & Wang, Z. L. (Eds.). (2007). *Scanning microscopy for nanotechnology: techniques and applications*. Springer science & business media.