MÜHENDİSLİK
ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR - II

Editör :

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman GÜNDAY

gece kitaplığı

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

Düzenlenmiş Birinci Basım / Edited 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

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman GÜNDAY

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 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).

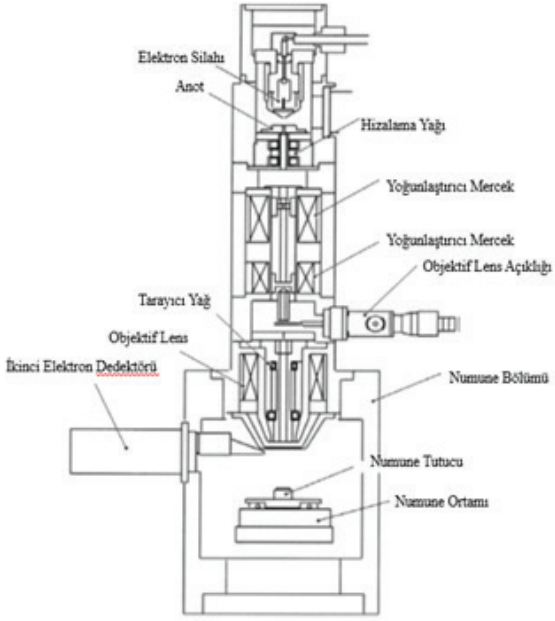
Bu çalışmada nano boyuttaki materyallerin yapısal karakterizasyonunun tespitinde kullanılan tekniklerden biri olan ve farklı araçlarla geliştirilen SEM cihazlarının nanoteknolojideki yeri ve önemi tartışılarak okuyucuların bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.

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).*

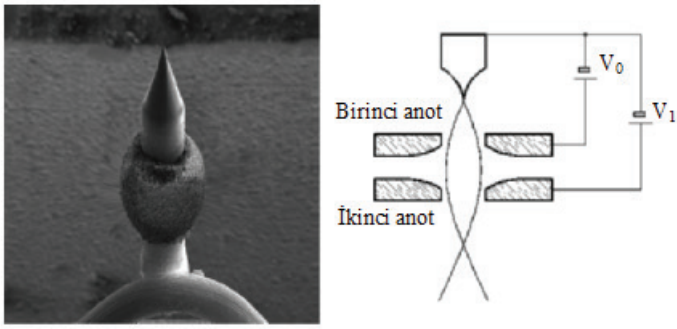
SEM analizinde nanomateryallerin karakterizasyonu için örnek hazırlanması karmaşık değildir. Örneklerin kurutulması yeterlidir. Ancak örnekler iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır. Elektik iletkenliği olmayan veya iletkenliği zayıf örnekler analizden önce metal katmanla kaplanması gerekir. Elektriksel 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

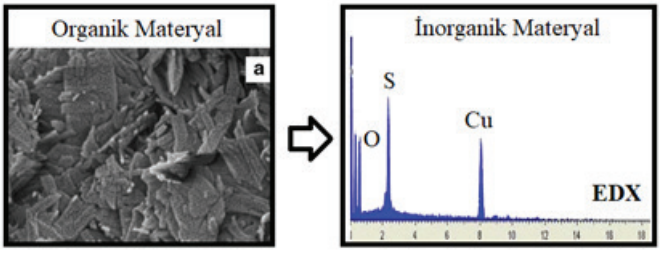
Klasik SEM cihazlarında tungsten elektron tabancaları uygun fiyatları ve geniş uygulama alanları sebebiyle uzun yıllardır kullanılmıştır. Alan emisyon tabancalarını içeren modern SEM cihazları (FESEM) ise bunlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemde, ince yönlendirilmiş uç üzerinde güçlü bir 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.



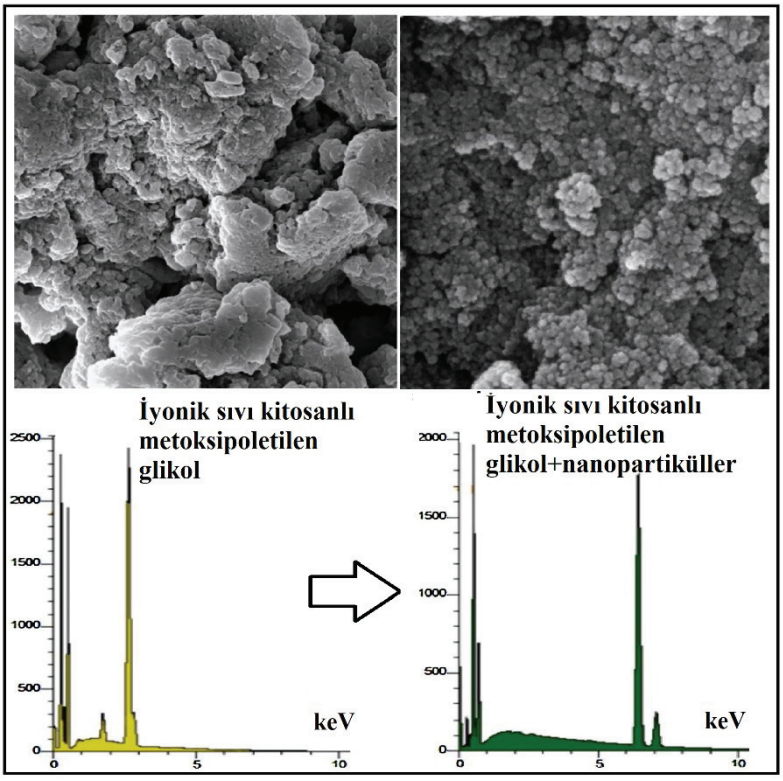
Şekil 2. Çok keskin ucu olan alan emisyon kaynağı (solda) ve tipik alan emisyon elektron kaynağının şematik diyagramı. İki anot elektron demeti oluşturmak için elektrostatik lens gibi çalışır (Zhou ve ark., 2006)

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.



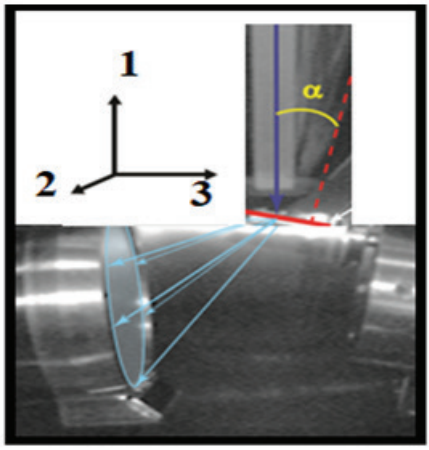
Şekil 3. Bakır kaplanmış kitosan nanokompozitlerinin SEM-EDX analiz verileri (Jaiswal ve ark., 2012)



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)

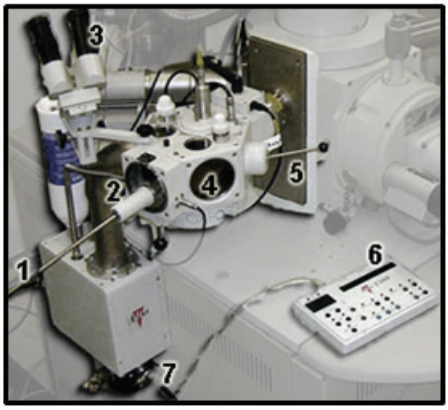
Kriyo-SEM cihazında numuneler mikroskop içinde dondurularak bırakılır ve yüksek vakum altında incelenir. Böylece yüksek çözünürlükte ve kalitede görüntü elde edilir. Biyolojik örneklerin SEM yerine dondurucu sıcaklığında yüksek çözünürlükte değerlendirilmesi daha uygundur. (Duraisamy ve ark., 2020; Dudkiewicz 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).

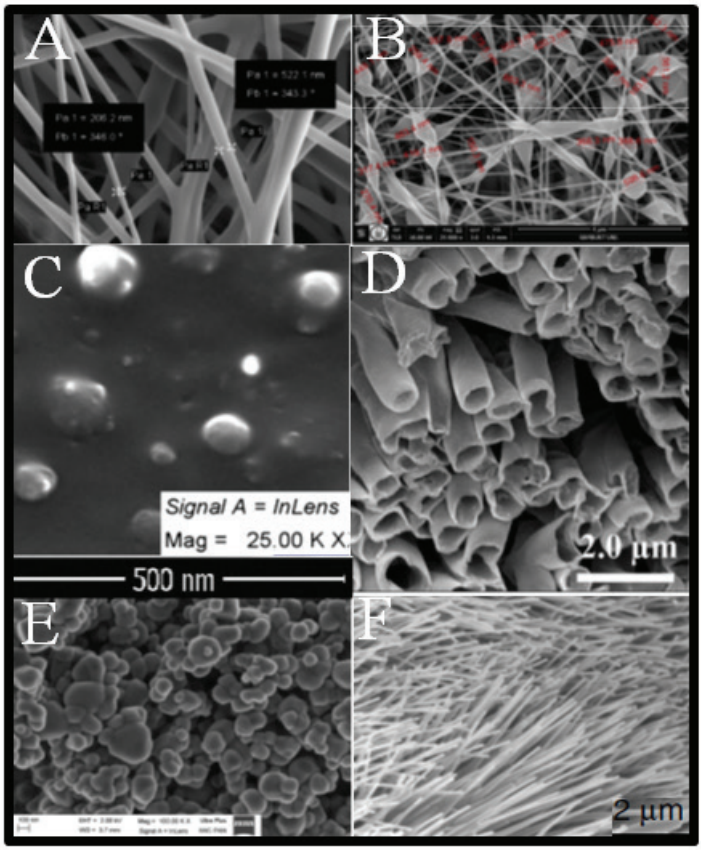
NANOMATERYAL KARAKTERİZASYONU

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.