T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SELENDİ ÇAYI HAVZASI (MANİSA) EROZYON DUYARLILIK ANALİZİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN EROZYON DUYARLILIĞINA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

YILDIZ GÜNEY
2502120017

TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. HÜSEYİN TUROĞLU

İSTANBUL - 2017

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SELENDİ ÇAYI HAVZASI (MANİSA) EROZYON DUYARLILIK ANALİZİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN EROZYON DUYARLILIĞINA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

YILDIZ GÜNEY
2502120017

TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. HÜSEYİN TUROĞLU

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 52039

İSTANBUL - 2017

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DOKTORA
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı	:	YILDIZ GÜNEY	**Numarası**	:	2502120017
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı	:	COĞRAFYA	**Danışmanı**	:	PROF.DR.HÜSEYİN TUROĞLU
Tez Savunma Tarihi	:	24.11.2017	**Saati**	:	10.00
Tez Başlığı	:	"Selendi Çayı Havzası (Manisa) Erozyon Duyarlılık Analizi ve İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Etkilerinin Modellenmesi"			

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin **50. Maddesi** uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** OYBİRLİĞİ / ~~OYÇOKLUĞUYLA~~ karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1-PROF.DR.HÜSEYİN TUROĞLU		Kabul
2-PROF.DR.BARBAROS GÖNENÇGİL		Kabul
3-PROF.DR.MERAL AVCI		Kabul
4-YRD.DOÇ.DR.BURAK ŞEN		Kabul
5-YRD.DOÇ.DR.MUSA ULUDAĞ		Kabul

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1-YRD.DOÇ.DR.CİHAN BAYRAKDAR		
2-YRD.DOÇ.DR.FATİH DÖKER		

ÖZ

SELENDİ ÇAYI HAVZASI (MANİSA) EROZYON DUYARLILIK ANALİZİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN EROZYON DUYARLILIĞINA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

YILDIZ GÜNEY

Selendi Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık analizi ve iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkileri konulu bu tez çalışması iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, arazi ve laboratuvar destekli veriler kullanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri yardımıyla Selendi Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık analizinin yapıldığı birinci bölüm ile iklim değişikliğinin bölgesel sonuçlarının ne olduğu ve bu değişikliklerin erozyon duyarlılığını nasıl etkileyeceğinin değerlendirildiği ikinci bölümdür. Bu doğrultuda çalışmada topografik, jeolojik, hidrografik, çevresel ve klimatik olmak üzere beş temel veri gurubu kullanılmıştır. Ayrıca detaylı arazi çalışmaları sonucunda araştırma alanı için bir erozyon yüzeyleri envanteri hazırlanmıştır. Standart hale getirilen bu veriler farklı parametre gurupları oluşturularak frekans oranı ve çok ölçütlü karar analizi yöntemleri ile analiz edilip, beş adet erozyon duyarlılık haritası elde edilmiştir. Erozyon duyarlılık analizinin doğruluk değerlendirmesi için araziye erozyon çivisi ve mikrotopografya profil ölçücü istasyonları kurularak 1 yıllık ölçüm yapılmıştır. Arazi doğrulaması sonucunda araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık analizinin topografik nemlilik indeksi, aşındırıcı güç indeksi, akarsu güç indeksi, bitki örtüsü, arazi kullanımı/örtüsü, yamaç şekli, ayrışma derecesi, drenaj hatlarına uzaklık, drenaj yoğunluğu, eğim, bakı, litoloji parametrelerinden oluşan veri setinin çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile analizi sonucunda elde edilen sonuç harita olduğuna karar verilmiştir. Araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık analizi sonuçlarını verdiğine kanaat edilen bu yöntem ve parametre gurubuna 2016-2099 yıllarını kapsayan HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verilerinin katılmasıyla araştırma alanı için öngörülen iklim değişikliklerinin erozyon duyarlılığında nasıl bir değişim meydana getireceği değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Erozyon duyarlılığı, Selendi Çayı Havzası, İklim değişikliği, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Küresel İklim Modelleri

ABSTRACT

EROSION SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF SELENDI RIVER BASIN (MANISA) AND MODELLING OF THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON EROSION SUSCEPTIBILITY

YILDIZ GÜNEY

This thesis study containing erosion susceptibility analysis of Selendi River Basin and modelling of the effects of climate change on erosion susceptibility of the area, is consisted of two main section. These sections are as follows; the first one is the section in which the erosion susceptibility analysis of the Selendi River Basin's was made, with the help of Geographical Information Systems and Remote Sensing methods, and by using datas supported by field and laboratory works. And in the second section, determination of the regional consequences of the climate change and how these changes would effect the region's erosion susceptibility, was made. In this direction, within the study, five main data groups which are topographical, geologic, hydrographical, environmental and climatic, were used. Furthermore, an erosion features inventory is prepared in consequence of detailed field works. Five susceptibility maps were obtained by analyzing these standardized datas with the frequency ratio and multi-criteria decision analysis methods by forming different parameter groups. For the verification assessment of the erosion susceptibility analysis, 1 year measurement was made by building erosion pin and micro-topography profile gauge stations in the field. After the field verification, it is decided that for the study field, the most suitable erosion susceptibility analysis is the result map which is obtained by multi-criteria analysis method of the data set which is consisted of topographic wetness index, erosivity index, stream power index, vegetation cover, land use/cover, slope curvature, weathering rate, distance to drainage paths, drainage density, slope, aspect and lithology parameters. How the climate change would effect the erosion susceptibility is evaluated by adding the RCP4.5 and RCP8.5 scenerio datas of the HadGEM2-ES global climate model which is including the years of 2016-2019, into the group of parameters and methods, which is tought to be giving the most suitable erosion susceptibility analysis results.

Keywords: Erosion susceptibility, Selendi River Basin, Climate change, Geographical Information Systems, Global Climate Models

ÖNSÖZ

Selendi Çayı Havzası'nın (Manisa) Erozyon Duyarlılık Analizi ve İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Etkilerinin Modellenmesi isimli bu tez çalışması kapsamında öncelikle havzanın güncel coğrafi verileri kullanılarak günümüzdeki mevcut duyarlılık durumu ortaya konulup, daha sonra bilimsel çevrelerce genel kabul görmüş iklim değişikliği senaryoları yardımıyla 2016-2099 genel periyodu ve 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 alt dönemleri için erozyon duyarlılığı konusunda öngörülerde bulunulması hedeflenmiştir.

Erozyon, arazi bozulması ve çölleşme sürecinin önemli bir parçasıdır. Bu sebeple erozyona duyarlı alanların tespiti ve erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesi hem sosyal hem de ekonomik anlamda büyük öneme sahiptir. Erozyon duyarlılık haritaları her türlü planlama ve karar verme aşamalarında ilgili kişi ya da kurumların elinde bulunması gereken temel veri kaynaklarından biridir. İklim değişikliğinin şimdiki mevcut erozyon duyarlılığı üzerinde yapacağı etkiler gelecekte oluşturulması planlanan arazi kullanım biçimlerine ışık tutması açısından faydalı olacak, tarım, orman ve yerleşim alanlarında yapılacak faaliyetlerin planlamasına katkıda bulunacaktır. Araştırma, uygulanan yöntem ve ulaşılan sonuçlar itibariyle, iklim değişikliği sebebiyle öngörülen yağış ve sıcaklık değişikliklerinin, özellikle ziraat açısından önemli veya baraj bulunan havzalardaki etkilerini aydınlattığı için de önem arz etmektedir.

Tez çalışmam süresince birçok kurum ve kişinin yardımını aldım. Öncelikle doktora tez danışmanlığımı kabul ederek bana kendisiyle çalışma fırsatı veren, tez konusunun içeriğinin şekillenmesinde büyük emek sahibi hocam Sayın Prof.Dr. Hüseyin TUROĞLU'na katkıları, destekleri ve yol göstericiliğinden dolayı şükranlarımı sunarım. Tez çalışması savunma aşamasına gelinceye kadar 1 Tez Önerisi, 6 Tez İzleme Komitesi toplantısı bilfiil yapılmıştır. Tez çalışmasının nihai halini almasında jürinin görüş, eleştiri ve önerileri oldukça etkili olmuştur. Tez İzleme Komitemde yer alarak değerli görüşlerini paylaşan hocalarım Sayın Prof.Dr. Meral AVCI'ya ve özellikle iklim değişikliği senaryoları ile ilgili tecrübe ve bilgilerinden yararlandığım, veri temin etmekten başlayıp, analiz, harita sunumu ve yorumlamalara kadar her aşamada yardımcı olan hocam Yrd.Doç.Dr. Burak ŞEN'e

teşekkür ederim. Tez çalışması kapsamındaki arazi çalışmalarını ve ayrıntılı arazi ölçmelerini tek başıma yapmam imkansızdı. Arazi çalışmalarımda kendi zaman ve enerjilerinden fedakârlık ederek beni yalnız bırakmayan arkadaşım Muhammet BAHÇEVAN'a, Uşak Dağcılık Kulübü (UDOSK) Başkanı Sadi YALGIN'a, Uşak Üniversitesi Coğrafya Bölümü öğrencilerinden Ferhat BAŞ'a, Arif GÜLKANAT'a ve aileme minnettarım. Ayrıca Selendi Çayı Havzasını araştırma alanı olarak öneren, tez sahasıyla ilgili bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım hocam Yrd.Doç.Dr. Selahattin POLAT'a, iklim değişikliği senaryoları konusunda yardımlarına başvurduğum Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün kıymetli personelleri Mesut DEMİRCAN'a ve Hüdaverdi GÜRKAN'a, istatistik ile ilgili yardımlarından dolayı Doç.Dr. M. Güray ÜNSAL'a, erozyon çivilerini temin etmemde yardımcı olan arkadaşım Şuayip TÜRKYILMAZ'a, İstanbul'daki günlerimde yanımda olan ve her başım sıkıştığında yardımıma koşan arkadaşlarım Ögr.Gör. Seda AKKURT GÜMÜŞ'e, Arş.Gör. Emirhan BERBEROĞLU'na, Ömer Faruk KÖKSAL'a, Şeyma YILDIZ'a, Mehmet BUĞU'ya ve aramızdaki mesafelere rağmen bu zorlu süreçte bana mentorluk eden Dr. Matt ROWBERRY'e teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince TÜBİTAK'ın 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında destek aldım ve bu desteği araştırmalarımda kullandım. 2211-Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında sağladığı destekten dolayı TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı birimine teşekkür ederim. Ayrıca doktora tez projemi destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine de şükranlarımı sunarım.

Yıldız GÜNEY

Temmuz, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZ ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **x**
TABLO LİSTESİ ..... **xvii**
FOTOĞRAF LİSTESİ ..... **xxi**
KISALTMALAR ..... **xxii**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM

EROZYON DUYARLILIĞINA ETKİ EDEN COĞRAFİ FAKTÖRLER

1.1. Jeolojik Özellikler 19
1.2. Morfometrik Özellikler 25
1.2.1. Eğim Özellikleri 25
1.2.2. Bakı Özellikleri 27
1.2.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi 29
1.2.4. Lokal Rölyef Özellikleri 31
1.2.5. Akarsu Ağı ve Morfometrik Özellikler 33
1.2.6. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral 42
1.3. İklim Özellikleri 45
1.3.1. Sıcaklık 48
1.3.2. Yağış 53
1.3.3. Yağış Etkinliği ve İklim Tipi 70
1.3.4. Ayrışma, Erozyon ve İklim İlişkisi 78
1.4. Toprak Özellikler 80
1.5. Bitki Örtüsü Özellikleri 83
1.5.1. Orman Formasyonu 84
1.5.2. Çalı Formasyonu 85

1.5.3. Ot Formasyonu 86
1.6. Arazi Kullanıımı ve Arazi Örtüsü 87

İKİNCİ BÖLÜM

EROZYON DUYARLILIK ANALİZLERİ

2.1. Erozyon Duyarlılığı Analizinde Kullanılan Verilerin Üretimi 89
2.1.1. Jeolojik Parametreler 89
2.1.1.1. Litoloji 89
2.1.1.2. Laboratuar Analizi Sonuçlarının ve Arazi Ölçüm Verilerinin Girdi Veri Olarak Hazırlanması 92
2.1.2. Topografik Parametreler 99
2.1.2.1. Eğim 99
2.1.2.2. Bakı 102
2.1.2.3. Yamaç Şekli (Yamaç Eğriselliği) 104
2.1.2.4. Topografik Nemlilik İndeksi 107
2.1.3. Çevresel Parametreler 110
2.1.3.1. Bitki Örtüsü 110
2.1.3.2. Arazi Kullanımı/Örtüsü 113
2.1.4. Hidrografik Parametreler 115
2.1.4.1. Drenaj Yoğunluğu 115
2.1.4.2. Drenaj Hatlarına Uzaklık 118
2.1.4.3. Akarsu Aşındırma Güç İndeksi 121
2.1.5. Klimatik Parametreler 124
2.1.5.1. Modified Fournier Yağış İndeksi Analizleri 124
2.1.5.2. Bagnouls-Gaussen Kuraklık İndeksi Analizleri 127
2.1.5.3. Aşındırıcı Güç (Erozivite İndeksi) Değerlerinin Analizi 129
2.1.6. Erozyon Yüzeyleri Envanteri Hazırlama 132
2.2. Frekans Oranı Yöntemi İle Erozyon Duyarlılık Analizi 140
2.3. Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi İle Erozyon Duyarlılık Analizi 144
2.3.1. Farklı Parametre Guruplarının Oluşturulması 149
2.3.1.1. Gurup 1 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması 150
2.3.1.2. Gurup 2 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması 151

2.3.1.3. Gurup 3 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması 153
2.3.1.4. Gurup 4 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması 154
2.4. Erozyon Duyarlılık Analizlerinin Doğruluk Değerlendirmesi..... 156

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN EROZYON DUYARLILINA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

3.1. İklim Özelliklerindeki Farklılaşma.....166
3.2. Trend Analizleri 177
3.3. Küresel İklim Model Seçimi ve İklim Modelinin Doğruluk Analizi..... 185
3.3.1. Sıcaklık Doğruluk Analizi..... 190
3.3.2. Yağış Doğruluk Analizi..... 192
3.4. HadGEM2-ES Küresel İklim Modeline Göre Yağış ve Sıcaklık Projeksiyonları 195
3.4.1. Yıllık Ortalama Sıcaklık..... 195
3.4.2. Yıllık Toplam Yağış..... 199
3.5. HadGEM2-ES Küresel İklim Modeline Göre Aşındırıcı Güç İndisi Projeksiyonları 208
3.5.1. Modified Fournier Yağış Erozivitesi İndeksi 208
3.5.2. Bagnouls-Gaussen Kuraklık İndeksi 212
3.5.3. Aşındırıcı Güç İndeksi..... 216
3.6. İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Olası Etkilerinin Modellenmesi.. 220
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 225
KAYNAKÇA 231
ÖZGEÇMİŞ..... 254

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Araştırma alanının lokasyon haritası. 4
Şekil 2: Araştırma yönteminin akış şeması. 11
Şekil 3: Araştırma boyunca sırasıyla uygulanan adımlar. 12
Şekil 4: Selendi Çayı Havzası'nın jeoloji haritası. 24
Şekil 5: Selendi Çayı Havzası eğim haritası. 27
Şekil 6: Selendi Çayı Havzası bakı haritası. 28
Şekil 7: Selendi Çayı Havzası SL İndeksi dağılışı. 31
Şekil 8: Selendi Çayı Havzası'nın mutlak rölyefi. 32
Şekil 9: Selendi Çayı Havzası'nda bölgesel rölyefin her 10000 m^2 için mekansal dağılımı. 33
Şekil 10: Araştırma alanında SYM'den üretilmiş drenaj ağının Strahler metoduna göre dizin sayıları. 34
Şekil 11: Selendi Çayı Havzası'nın ana alt havzaları. 35
Şekil 12: Selendi Çayı Havzası hipsometrik eğrisi. 44
Şekil 13: Selendi Çayı Havzası alt havzalarının hipsometrik eğrileri. 45
Şekil 14: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının konumu. 46
Şekil 15: Farklı iklim koşulları altında yağışın yüzeydeki dağılışı. 47
Şekil 16: Gediz, Simav, Uşak, Demirci ve Eşme Meteoroloji İstasyonları'nın termik rejim diyagramları. 50
Şekil 17: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının Thiessen poligonları ile oluşturulmuş etki alanları. 51
Şekil 18: Araştırma alanında yıllık ortalama sıcaklığın Spline enterpolasyonla dağılışı. 53
Şekil 19: Araştırma alanında yıllık ortalama yağışın IDW enterpolasyonla dağılışı. 55
Şekil 20: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık ve yağış grafikleri. 57
Şekil 21: Simav Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı. 66
Şekil 22: Uşak Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı. 67
Şekil 23: Gediz Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı. 68
Şekil 24: Demirci Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı. 69

Şekil 25: Thornthwaite formülüne göre araştırmada kullanılan istasyonların su bilançoları. 78
Şekil 26: Araştırma alanındaki hakim ayrışma türü. 79
Şekil 27: Araştırma alanında plüvyal erozyon durumu. 80
Şekil 28: Selendi Çayı Havzası'nın büyük toprak gurupları haritası. 83
Şekil 29: Selendi Çayı Havzası'nın bitki örtüsü haritası. 86
Şekil 30: Selendi Çayı Havzası'nın arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası. 88
Şekil 31: Erozyon yüzeyleri ile litoloji arasındaki ilişkiler. 91
Şekil 32: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının litoloji sınıflarına dağılımı. 92
Şekil 33: Araştırma alanından kayaç numunesi alınan ve Schmidt çekici ile ölçüm yapılan noktaların lokasyonları. 93
Şekil 34: Schmidt çekici ölçümleri ile bakı, litoloji ve yükselti arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri. 95
Şekil 35: Suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi değerleri ile bakı, litoloji ve yükselti arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri. 96
Şekil 36: Nokta yükü dayanım indeksi değerleri ile bakı, litoloji ve yükselti arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri. 96
Şekil 37: Selendi Çayı Havzası'nın ayrışma derecesi haritası. 97
Şekil 38: Erozyon yüzeyleri ile ayrışma derecesi arasındaki ilişkiler. 98
Şekil 39: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının ayrışma derecesi sınıflarına dağılımı. 99
Şekil 40: Erozyon yüzeyleri ile eğim parametresi arasındaki ilişkiler. 101
Şekil 41: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının eğim sınıflarına dağılımı. 102
Şekil 42: Erozyon yüzeyleri ile bakı parametresi arasındaki ilişkiler. 103
Şekil 43: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının bakı sınıflarına dağılımı. 104
Şekil 44: Selendi Çayı Havzası'nın profil yamaç eğriselliği. 105
Şekil 45: Erozyon yüzeyleri ile yamaç eğriselliği parametresi arasındaki ilişkiler. 106
Şekil 46: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının yamaç eğriselliği sınıflarına dağılımı. 107

Şekil 47: Selendi Çayı Havzası topografik nemlilik indeksi. 108
Şekil 48: Erozyon yüzeyleri ile topografik nemlilik indeksi parametresi arasındaki ilişkiler. 109
Şekil 49: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının topografik nemlilik indeksi sınıflarına dağılımı. 110
Şekil 50: Formasyon sınırlarını gösteren bitki örtüsü haritası. 111
Şekil 51: Erozyon yüzeyleri ile bitki formasyonu parametresi arasındaki ilişkiler. 112
Şekil 52: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının bitki formasyonu sınıflarına dağılımı. 113
Şekil 53: Erozyon yüzeyleri ile arazi kullanımı parametresi arasındaki ilişkiler. ... 114
Şekil 54: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının arazi kullanımı sınıflarına dağılımı. 115
Şekil 55: Araştırma alanının drenaj yoğunluğu haritası. 116
Şekil 56: Erozyon yüzeyleri ile drenaj yoğunluğu parametresi arasındaki ilişkiler. 117
Şekil 57: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının drenaj yoğunluğu sınıflarına dağılımı. 118
Şekil 58: Araştırma alanının drenaja uzaklık haritası. 119
Şekil 59: Erozyon yüzeyleri ile drenaj hatlarına uzaklık parametresi arasındaki ilişkiler. 120
Şekil 60: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının drenaj hatlarına uzaklık sınıflarına dağılımı. 121
Şekil 61: Selendi Çayı Havzası akarsu güç indeksi haritası. 122
Şekil 62: Erozyon yüzeyleri ile akarsu güç indeksi parametresi arasındaki ilişkiler. 123
Şekil 63: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının akarsu güç indeksi sınıflarına dağılımı. 124
Şekil 64: Araştırma alanının Modified Fourner Index'e göre hazırlanmış yağışın erozivitesi dağılımı. 126
Şekil 65: Araştırma alanının Bagnouls-Gaussen Index'e göre hazırlanmış kuraklık dağılımı. 129
Şekil 66: Araştırma alanında iklimin aşındırabilirliği (erozivitesi) dağılımı. 130

Şekil 67: Erozyon yüzeyleri ile aşındırıcı güç indeksi parametresi arasındaki ilişkiler. 131
Şekil 68: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının aşındırıcı güç indeksi sınıflarına dağılımı..... 132
Şekil 69: Araştırma alanınnda tespit edilen erozyon yüzeylerinin sayısal dağılımı. 133
Şekil 70: Frekans oranı yönteminde izlenen iş akış şeması..... 141
Şekil 71: Frekans oranı yöntemi ile üretilen erozyon duyarlılık analizi..... 144
Şekil 72: Çok ölçütlü karar analizi yönteminde izlenen iş akış şeması. 146
Şekil 73: Birinci parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi. 151
Şekil 74: İkinci parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi. 152
Şekil 75: Üçüncü parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi. 154
Şekil 76: Dördüncü parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi. 155
Şekil 77: Arazi doğrulama istasyonlarının lokasyonları..... 157
Şekil 78: Araştırma alanına kurulan Mikrotopografya profil ölçücü istasyonlarının 1 yıllık ölçüm sonuçlarına ait grafikler. 160
Şekil 79: Araştırma alanına kurulan istasyonlarda yapılan 1 yıllık ölçüm sonuçlarının enterpolasyonu. 161
Şekil 80: Güncel erozyon duyarlılık analizi sınıflarına düşen 1 yıllık ortalama aşınma miktarı (mm). 163
Şekil 81: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 yılları için aylık yağış miktarı ve sıcaklık ortalamaları. 167
Şekil 82: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 yılları için aylık yağış miktarı ve sıcaklık ortalamaları. 168
Şekil 83: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait Thornthwaite fomülüne göre su bilançoları. 172
Şekil 84: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait Thornthwaite fomülüne göre su bilançoları. 173
Şekil 85: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama sıcaklıklarının doğrusal trend ve Mann-Kendall grafikleri..... 180
Şekil 86: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık toplam yağışların doğrusal trend ve Mann-Kendall grafikleri..... 181

Şekil 87: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarında yıllık ortalama sıcaklığın MAKESENS trend analizi. 183
Şekil 88: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarında yıllık toplam yağışın MAKESENS trend analizi. 184
Şekil 89: 1971-2000 referans periyodu mevsimlik ortalama sıcaklıklarının gözlem verileri ile karşılaştırılması. 185
Şekil 90: Simav Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin ortalama sıcaklık parametresinin karşılaştırması. 190
Şekil 91: Uşak Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin ortalama sıcaklık parametresinin karşılaştırması. 191
Şekil 92: Gediz Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin ortalama sıcaklık parametresinin karşılaştırması. 192
Şekil 93: Simav Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin yağış parametresinin karşılaştırması. 193
Şekil 94: Uşak Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin yağış parametresinin karşılaştırması. 194
Şekil 95: Gediz Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin yağış parametresinin karşılaştırması. 195
Şekil 96: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık projeksiyonları. 196
Şekil 97: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık ortalama sıcaklık karşılaştırmaları. 197
Şekil 98: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık projeksiyonları. 198
Şekil 99: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık ortalama sıcaklık karşılaştırmaları. 199
Şekil 100: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış projeksiyonları. 200
Şekil 101: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış miktarı karşılaştırmaları. 201

Şekil 102: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış değişikliği yüzde karşılaştırmaları. 202
Şekil 103: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış projeksiyonları. 203
Şekil 104: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış miktarı karşılaştırmaları. 204
Şekil 105: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış değişikliği yüzde karşılaştırmaları. 205
Şekil 106: Araştırma alanında gelecekte öngörülen hakim ayrışma türü. 207
Şekil 107: Araştırma alanında öngörülen plüvyal erozyon. 207
Şekil 108: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre yağış erozivitesi projeksiyonları. 209
Şekil 109: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yağış erozivitesi karşılaştırmaları. 210
Şekil 110: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre yağış erozivitesi projeksiyonları. 211
Şekil 111: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yağış erozivitesi karşılaştırmaları. 212
Şekil 112: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre kuraklık projeksiyonları. 213
Şekil 113: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem kuraklık karşılaştırmaları. 214
Şekil 114: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre kuraklık projeksiyonları. 215
Şekil 115: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem kuraklık karşılaştırmaları. 216
Şekil 116: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre aşındırıcı güç indisi projeksiyonları. 217

Şekil 117: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem aşındırıcı güç indisi karşılaştırmaları. 218
Şekil 118: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre aşındırıcı güç indisi projeksiyonları. 219
Şekil 119: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem aşındırıcı güç indisi karşılaştırmaları. 220
Şekil 120: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre erozyon duyarlılık projeksiyonları. 223
Şekil 121: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre erozyon duyarlılık projeksiyonları. 224

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Literatürde erozyon duyarlılığı ile ilgili bazı çalışmalarda kullanılan parametre ve yöntemler. 18
Tablo 2: Selendi Çayı Havzası'nda jeolojik birimlerin kapladığı alan. 23
Tablo 3: Eğim sınıf aralıkları ve tanımları. 25
Tablo 4: Araştırma alanında eğim (%) özelliklerinin dağılışı. 26
Tablo 5: Araştırma alanındaki bakı özelliklerinin dağılışı. 29
Tablo 6: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının temel morfometrik özellikleri. .. 36
Tablo 7: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının dizin sayıları ve dizin uzunlukları. 37
Tablo 8: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının çizgisel morfometrik özellikleri. 38
Tablo 9: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının alansal morfometrik özellikleri. 40
Tablo 10: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının relief morfometrik özellikleri.. 41
Tablo 11: Selendi Çayı Havzası hipsometrik eğri için veri değerleri. 43
Tablo 12: Alt havzaların hipsometrik integral değerleri. 44
Tablo 13: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler. 46
Tablo 14: Gediz, Simav, Demirci, Uşak, Eşme Meteoroloji İstasyonlarına ait aylık ve yıllık sıcaklık ortalamaları. 49
Tablo 15: Araştırmada kullanılan istasyonların yükseklikleri ve sıcaklık ortalamaları. 52
Tablo 16: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık ve mevsimlik Yağış Konsantrasyon İndeksi değerleri. 56
Tablo 17: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık yağışının mevsimlere dağılışı. 57
Tablo 18: Araştırmada kullanılan istasyonların yağışlı gün sayısı ve yağış şiddetinin aylara göre değişimi. 59
Tablo 19: Simav Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları. 62
Tablo 20: Uşak Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları. 62

Tablo 21: Gediz Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1972-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları. 63
Tablo 22: Demirci Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1992-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları. 63
Tablo 23: Eşme Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1986-1993 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları. 64
Tablo 24: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının De Martonne formülüne (1923) göre hesaplanmış aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne (1942) göre hesaplanmış yıllık indis değerleri. 73
Tablo 25: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının Erinç'in yağış etkinlik indisine göre (kurak-nemli aylar) sınıflandırılması..... 74
Tablo 26: Araştırma alanı ve yakın çevresinin UNEP Kuraklık İndeksine göre hesaplanmış aylık ve yıllık kuraklık indis değerleri ve kategorileri. 75
Tablo 27: Thornthwaite formülüne göre Gediz Meteoroloji İstasyonu su bilançosu. 76
Tablo 28: Thornthwaite formülüne göre Simav Meteoroloji İstasyonu su bilançosu. 76
Tablo 29: Thornthwaite formülüne göre Uşak Meteoroloji İstasyonu su bilançosu. 76
Tablo 30: Thornthwaite formülüne göre Demirci Meteoroloji İstasyonu su bilançosu. 77
Tablo 31: Thornthwaite formülüne göre Eşme Meteoroloji İstasyonu su bilançosu. 77
Tablo 32: Modified Fournier yağış indisi sınıflaması. 125
Tablo 33: Bagnouls Gaussen kuraklık indisi sınıflaması. 127
Tablo 34: Aşındırıcı Güç İndisi sınıflaması. 130
Tablo 35: Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin bu parametre sınıflarına dağılımı. 138
Tablo 36: Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin standart sapma ve varyans değerleri..... 139

Tablo 37: Erozyon duyarlılık analizinde kulanılacak parametrelerin frekans oranı değerleri..... 143
Tablo 38: İkili karşılaştırmada kullanılan önem ölçeği..... 147
Tablo 39: Çok ölçütlü karar analizinde kullanılan parametrelerin altsınıflarının yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları..... 148
Tablo 40: Çok ölçütlü karar analizi uygulaması için guruplarda kullanılan parametreler..... 149
Tablo 41: Erozyon duyarlılık analizinde 1. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı..... 150
Tablo 42: Erozyon duyarlılık analizinde 2. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı..... 152
Tablo 43: Erozyon duyarlılık analizinde 3. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı..... 153
Tablo 44: Erozyon duyarlılık analizinde 4. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı..... 155
Tablo 45: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleriyle arazi ölçümü yapılan süreçteki (1 Haziran 2016-31Mayıs 2017) aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerlerinin standart sapma ve varyansı 165
Tablo 46: Uşak ve Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotları ile 1960-2011 yıllarına ait sıcaklık (^{o}C) ve yağış (mm) ortalamaları..... 167
Tablo 47: Uşak ve Simav Meteoroloji İstasyonları'nın 1960-1974 ve 1997-2011 yılları için yağışlı gün sayıları..... 168
Tablo 48: Uşak Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-1974, 1997-2000 ve 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve aylık dağılışları. 170
Tablo 49: Simav Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-1974, 1997-2000 ve 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve aylık dağılışları 171

Tablo 50: Thornthwaite formülüne göre Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait su bilançosu. 173
Tablo 51: Thornthwaite formülüne göre Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait su bilançosu. 174
Tablo 52: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun De Martonne formülüne (1923) göre hesaplanmış aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne (1942) göre hesaplanmış yıllık indis değerleri. 175
Tablo 53: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun De Martonne formülüne (1923) göre hesaplanmış aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne (1942) göre hesaplanmış yıllık indis değerleri. 175
Tablo 54: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun Erinç'in yağış etkinlik indisine göre (kurak-nemli aylar) sınıflandırılması 176
Tablo 55: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun Erinç'in yağış etkinlik indisine göre (kurak-nemli aylar) sınıflandırılması 177
Tablo 56: Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kullanılan küresel iklim modellerinin özellikleri. 186
Tablo 57: Temsili Konsatrasyon Rotaları. 188
Tablo 58: Araştırma alanın HadGEM2-ES küresel iklim modeline göre öngörülen yıllık ve mevsimlik Yağış Konsantrasyon İndeksi değerleri 206

FOTOĞRAF LİSTESİ

Foto 1: Araştırma alanındaki badlands alanlarda bakının etkisi. 29
Foto 2: Araştırma alanında Schmidt çekici ile ölçüm yapılması. 94
Foto 3: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış erozyonla açığa çıkmış ağaç köklerine örnekler. 134
Foto 4: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış rill ve yüzeysel akış şekillerine örnekler. 135
Foto 5: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış kütle hareketlerine örnekler. 136
Foto 6: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış gullylere örnekler. 137
Foto 7: Erozyon çivilerindeki aşınma miktarlarının arazide dijital kumpas ile ölçülmesi. 158
Foto 8: Ahmetler formasyonunda gelişmiş bir gullyde Mikrotopografya profil ölçücü ile farklı tarihlerde yapılan ölçümler ve sonuçların grafik hale getirilmesi. 159

KISALTMALAR

AGI: Aşındırıcı Güç İndisi

AR5: IPCC 5. Değerlendirme Raporu

BGI: Bagnouls-Gaussen Index

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

CORINE: Coordination of Information on the Environment

ÇÖKA: Çok Ölçütlü Karar Analizi

DEM: Digital Elevation Model

HadGEM2-ES: İngiltere Meteoroloji Servisine bağlı Hadley Merkezi tarafından geliştirilen küresel iklim modeli

IDW: Inverse Distance Weighting

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

ISRM: International Society for Rock Mechanics

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MFI: Modified Fournier Index

RCP: Representative Concentration Pathways

RMSE: Root Mean Square Error

SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

TÜMAS: Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi

USDA: United States Department of Agriculture

UZAL: Uzaktan Algılama

GİRİŞ

Amaç ve Kapsam

Çalışmanın başlıca amacı; arazi ve laboratuvar destekli sayısal veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UZAL) yöntemleri kullanılarak Selendi Çayı Havzası'nın erozyon açısından duyarlılık değerlendirmesini yapmaktır. İklim değişikliğinin erozyon duyarlılığını doğrudan etkileyen bölgesel sonuçlarının ne olduğunu ve bu değişikliklerin erozyon duyarlılığını nasıl etkilediğini değerlendirmek bu çalışmanın bir diğer amacıdır. Sonuçların; geleceğe yönelik yerel ve bölgesel planlama amaçlı kullanımlar için önerilere dönüştürülmesi de bu doktora tezinin amaçlarından biridir.

Selendi Çayı Havzası'nın (Manisa) Erozyon Duyarlılık Analizi ve İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Etkilerinin Modellenmesi isimli bu tez iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; çalışma alanının arazi ve laboratuvar destekli sayısal verileri kullanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri yardımıyla erozyon açısından duyarlılık değerlendirmesinin yapıldığı birinci bölüm ile bölgesel iklim modeli RegCM çıktıları kullanılarak 2016-2099 yılları arasında araştırma alanında öngörülen iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkilerinin ele alındığı ikinci bölümdür. Bu kapsamda çalışmada öncelikle güncel coğrafi veriler kullanılarak günümüzdeki mevcut duyarlılık durumu ortaya konulup, daha sonra bilimsel çevrelerce genel kabul görmüş iklim değişikliği senaryoları yardımıyla 2016-2099 genel periyodu ve 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 alt periyotları için araştırma alanının erozyon duyarlılığı konusunda öngörülerde bulunulması hedeflenmiştir.

Buna göre doktora tezi, havzadaki erozyon duyarlılığı ve gelecekteki iklim değişikliğinin havzadaki erozyon duyarlılığı üzerindeki etkileri olmak üzere iki temel araştırma konusunu içermektedir.

Bu amaç ve kapsam çerçevesinde yapılan çalışma 5 ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlardan ilki çalışmanın kavramsal çerçevesi, amacı, kullanılan verilerin özellikleri, yöntemi, önemi, karşılaşılan güçlükler ve literatür özetinin üzerinde durulan Giriş başlığıdır. Birinci bölümde, araştırma alanı olarak seçilen

Selendi Çayı Havzası'nda (Manisa) erozyon duyarlılığını etkileyen fiziki ve beşeri coğrafya faktörleri açıklanmıştır. Bu konuda ayrıntıya girilmemiş fakat havzada erozyon duyarlılığını etkileyen fiziki ve beşeri coğrafya faktörleri üzerinde önemle durulmuştur. Araştırma alanının jeolojik, morfometrik, klimatik, toprak, bitki örtüsü özellikleri ve arazi kullanımı özelliklerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, araştırma alanının erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin elde edilme yöntemleri ele alınmıştır. Daha sonra bu parametreler kullanılarak frekans oranı ve çok ölçütlü karar analizi ile güncel erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesinden bahsedilip, doğruluk analizi sonucunda araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık analizinin hangisi olduğuna karar verilmiştir. Üçüncü bölümde ise iklim değişikliğinin araştırma alanındaki bölgesel sonuçları ortaya konularak, erozyon duyarlılığına etkilerinin modellemesi yapılmıştır. Sonuç ve değerlendirme bölümde, çalışmanın genel değerlendirmesi yapılarak çalışmaya ait tartışma, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

Araştırmanın Önemi

Erozyon, dünyada ve ülkemizde yaygın olarak görülen arazi bozulması ve çölleşme sürecinin önemli bir parçasıdır. Bu sebeple erozyona duyarlı alanların tespiti ve erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesi hem sosyal hem de ekonomik anlamda büyük öneme sahiptir. Nitekim son yıllarda erozyon sorunu ile ilgili çözüm ihtiyaçları bir çok araştırmacıyı ve kurumu bu konu ile ilgili çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. Türkiye'de de Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından "Erozyon önlenemez kontrol edilebilir…" parolasıyla 2013-2017 yıllarını kapsayan havza temelli Erozyonla Mücadele Eylem Planı hazırlanmıştır. Bu plan ile ülke genelinde erozyonun görüldüğü bütün sahalarda, erozyonla daha etkin mücadele edileceği öngörülmüştür. Bu eylem planı kapsamında 5 yıllık süre içerisinde yapılması planlanan faaliyetlerden biri de erozyona duyarlı alanların tespitidir. Arazi kullanım planlaması projeleri eylemi altında yapılması planlanan bu işten sorumlu kuruluş olarak Tarım Reformu Genel Müdürlüğü belirtilmiştir.

Erozyon duyarlılık haritaları her türlü planlama ve karar verme aşamalarında ilgili kişi ya da kurumların elinde bulunması gereken temel veri kaynaklarından biridir. İklim değişikliğinin şimdiki mevcut erozyon duyarlılığı üzerinde yapacağı

etkiler gelecekte oluşturulması planlanan arazi kullanım biçimlerine ışık tutması açısından faydalı olacak, tarım, orman ve yerleşim alanlarında yapılacak faaliyetlerin planlamasına katkıda bulunacaktır. Ayrıca IPCC'nin 2007 yılında yayınlanan 4.Değerlendirme Raporuna (AR5) göre, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin kendini en çok göstereceği sahalar arasında gösterilen Akdeniz Havzası'nda bir ülkede yaşamamız konuyla ilgili yapılacak planlara iklim değişikliğinin etkilerini de katmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

İklim jeolojik çağlar boyunca değişmiş ve değişmeye devam etmektedir. Geleceğimizi öngörmek, yaşam ve etkinliklerimizi buna göre planlamak için iklim değişikliğinin belli konulardaki etkilerinin ne olacağının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmanın ikinci bölümünde iklim değişikliğinin araştırma alanındaki bölgesel sonuçlarının ne olduğu ve bunun erozyon duyarlılığına etkileri değerlendirilmiştir.

Araştırma, uygulanan yöntem ve ulaşılan sonuçlar itibariyle, iklim değişikliği sebebiyle öngörülen yağış ve sıcaklık değişikliklerinin, özellikle ziraat açısından önemli veya baraj bulunan havzalardaki etkilerini aydınlattığı için de önem arz etmektedir.

Özgün Değer

Pek çok çalışmada erozyon duyarlılığı analizi için tek bir yöntem ve parametre gurubu seçilip uygulanırken, bu tez çalışmasında birden fazla yöntem ve parametre gurubu oluşturulup, sonuçlar arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak araştırma alanı için en uygun ve en doğru erozyon duyarlılık analizi haritası ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Erozyon duyarlılığı analizi için kullanılan parametreler sadece literatüre veya uzman görüşüne dayalı olarak ağırlıklandırılmamıştır. Parametrelerin ağırlıklandırılması konusunda çalışma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri ve bunlarla ilgili oluşturulan istatistiksel analizler kullanılmıştır.

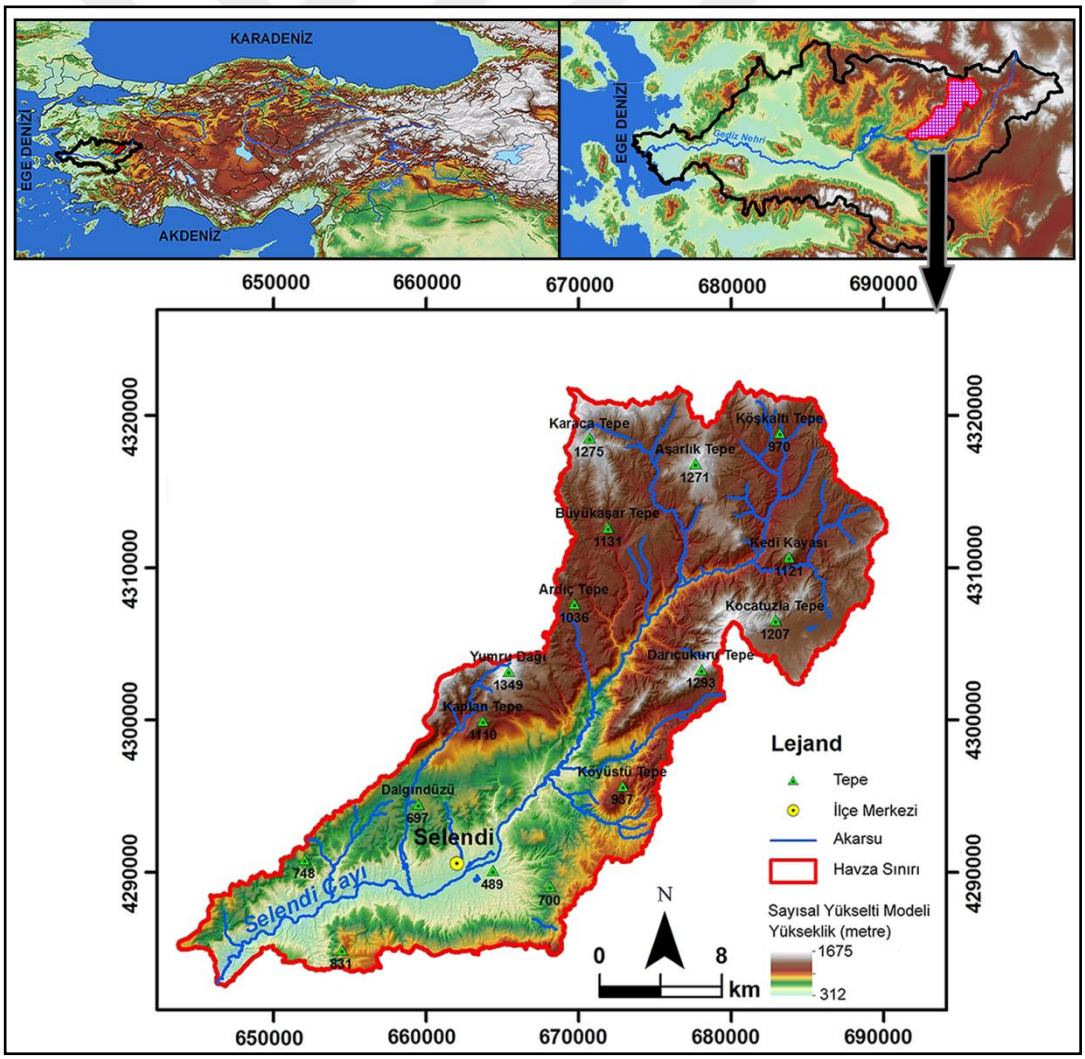
Erozyon riski ve erozyon duyarlılığı ile ilgili gerek ulusal gerekse uluslararası literatürde önemli miktarda yayın mevcuttur. Ancak gelecekte ortaya çıkabilecek değişimlerin erozyona etkisi ile ilgili çok az yayın vardır. Ulusal literatürde ise iklim

değişikliğinin erozyona etkisiyle ilgili konunun önemine ve araştırılması gerekliliğine dikkat çeken yayınlar olmakla birlikte uygulamalı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Araştırma Alanı Yeri ve Seçilme Nedeni

Selendi Çayı Havzası, Batı Anadolu'da Gediz Havzası içerisinde yer alan alt havzalardan biridir. Araştırma alanı kabaca 38°39' 41"-39°00' 47" kuzey enlemleri ile 28°39' 14"-29°11' 41" doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Selendi Çayı'nın su toplama havzasından oluşan araştırma alanı yaklaşık 716.12 km^2 alana sahiptir (Şekil 1).

Şekil 1: Araştırma alanının lokasyon haritası.



Araştırma alanı olarak belirlenen Selendi Çayı Havzası'nda özellikle litolojik ve jeomorfolojik özelliklerden dolayı şiddetli erozyon görülmektedir. Drenaj yoğunluğunun fazla olması, yüzey erozyonu ile ortaya çıkan badlands topografyasının yaygınlığı, havzanın birçok yerinde farklı şekillerde görülen gully ve rill gibi oyuntu erozyonu alanları ile bunları birbirinden ayıran keskin sırtlar araştırma alanında erozyonun şiddetli olduğunun önde gelen kanıtları olarak kabul edilebilir.

Selendi Çayı Havzası, Gediz Havzası içerisinde yer alan, farklı erozyonal süreçlere bağlı olarak ortaya çıkan ilginç morfolojik unsurları içermesi bakımından ilgi çekici bir alandır. Söz konusu erozyon süreçlerinin bölgenin gerek doğal gerekse ekonomik yapısı dikkate alındığında değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu öneme Ozaner (1988) doktora tezinde de dikkat çekmiş, araştırma alanında erozyonun çok aktif olarak devam ettiği badlands birimlerini tiplerine göre sınıflandırıp, haritalamış ve sahadaki badlands gelişimini kısa sürede önlemek mümkün olmadığı için yapılacak en akıllıca işin badlands arazilerinin doğa turizmi kapsamında değerlendirilmesi olacağını belirtmiştir. Ayrıca araştırma alanı olarak seçilen Selendi Çayı Havzası'ndaki halkın çok büyük bir bölümü geçimini tarım ve hayvancılıkla sağladığı için özellikle iklim değişikliği ile artması öngörülen erozyon da bölge için araştırmaya değer önemli bir problemdir.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada kullanılan materyaller;

- Araştırma alanının sayısal yükseklik verisi Harita Genel Komutanlığı'nın 2000 yılına ait 1/25000 ölçekli 14 adet topografya haritası (K22-a3, K22-a1, K22-a2, K22-a4, K21-a3, K21-c2, K21-d2, K21-c1, K21-b4, K21-b3, K21-b2, J21-c3, J22-d3, J22-d4) kullanılarak elde edilmiştir.
- Litolojiye ait bilgiler araştırma alanında daha önce yapılmış olan çalışmalar, haritalar ve farklı amaçlar için hazırlanmış raporlar derlenerek hazırlanmıştır. Litolojiyle ilgili veri oluşturmak için Ercan vd. (1980), Baş (1983), Crawford (1975), Ozaner (1984), Ozaner

(1988) tarafından yapılan yayınlardan ve eklerindeki jeoloji haritalarından faydalanılmıştır.

- Toprak haritası ise Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nün 1/25000 ölçekli Ulusal Toprak Veritabanı'ndan temin edilmiştir.
- Orman Amenajman verisi Denizli Orman Bölge Müdürlüğü'nden sayısal olarak temin edilmiştir.
- 2014 yılının Ağustos ayına ait LANDSAT 8 uydu görüntüsü USGS veri tabanından Geotiff formatında indirilmiştir.
- 15.04.2015 tarihli Google Earth görüntüsü
- Araştırma alanını içine alan Aster GDEM USGS'nin Global Data Explorer servisinden indirilmiştir.
- Uşak, Gediz, Simav, Eşme, Demirci Meteoroloji İstasyonlarına ait günlük sıcaklık ve yağış verileri TÜMAS (Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi) vasıtası ile temin edilmiştir.
- HadGEM2-ES küresel iklim modeli ve iki senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) ile 1971-2000 referans dönemi ve 2016-2099 yılları arası olmak üzere hazırlanmış, 20 km çözünürlüklü iklim projeksiyonları verilerinden çalışma alanını kapsayan (37°-40° Kuzey enlemleri, 26°-30° Doğu boylamları) bölge için, 20 km'lik gridlerde, aylık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve yıllık toplam yağış parametreleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.
- Coğrafi Bilgi Teknolojileri yazılımlarından ArcGIS 10.2, SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) GIS, Erdas Imagine 2014, PCI Geomatica v9.1 kullanılmıştır.
- Android işletim sistemine sahip tablet uygulamalarından OruxMaps ve PDF Maps arazi çalışmalarında kullanılmıştır.
- GARMIN Etrex 10 GPS, jeolog çekici, numune torbası ve kartları, fotoğraf makinesi, Schmidt çekici, fosforlu sprey boya, dijital kumpas.
- Erozyon çivileri ve Mikrotopografya Profil Ölçücü.

Çalışma; kaynak tarama, veri toplama ve düzenleme, arazi gözlemleri, laboratuvar çalışmaları, bilgisayar analizleri ve hesaplamaları gibi bölümlerden oluşmakta olup, en sonunda da elde edilen veriler ışığında havzadaki erozyon duyarlılığının genel görünümü ve iklim değişikliğinin bu genel görünümde yaratacağı etkiler ortaya konulmuştur. Erozyon duyarlılığının güncel görünümü ile ilgili elde edilen sonuçların arazideki gerçek durum ile ilişkileri karşılaştırılarak kullanılan farklı yöntemlerin hangisinden daha iyi sonuç alındığı tespit edilip, hangi modelin erozyon duyarlılığında daha doğru sonuçlar verdiği ortaya konulmuş ve iklim değişikliğinin etkileri de o model üzerinden değerlendirilmiştir.

Çalışmanın beş ana aşamada gerçekleşecek şekilde planlanmıştır. İlk aşamayı, konuyla ilgili literatür taraması ve veri toplama oluşturmaktadır. İkinci aşamayı, toplanan verilerin sayısallaştırılması ile erozyon duyarlılığı analizinde kullanılacak parametrelerin üretilmesi kapsamaktadır. Üçüncü aşamada, seçilen parametrelere istatistik yöntemler uygulanarak analize tabi tutulan katmanlardan erozyon duyarlılık haritalarının oluşturulması yer almaktadır. Dördüncü aşamada, IPCC'nin iklim senaryoları kullanılarak 2016-2099 dönemi için araştırma alanında küresel iklim değişikliğinin bölgesel sonuçlarının ne olacağı ortaya konulmuş ve son olarak da bu durumun araştırma alanındaki erozyon duyarlılığını nasıl etkileyeceği modellenmiştir (Şekil 3).

İlk aşama olarak ifade ettiğimiz literatür ve veri toplama aşaması aynı zamanda çalışmanın materyal kısmını da oluşturmaktadır. Araştırma sahasını içine alan 1/25000 ölçekli topografya haritaları, jeoloji haritaları, toprak haritaları, orman amenajman haritası ile araştırma alanına ait Landsat TM/ETM+, Aster GDEM, iklim verileri fiziki ortama ait veri temininde kullanılan temel materyallerdir.

İkinci aşamada, derlenen verilerden araştırma sahasını içine alan topografya haritaları, jeoloji haritaları, toprak haritaları analiz işlemleri için aynı koordinat ve projeksiyon sistemiyle veri tabanına aktarılmıştır. Bu aşamada araştırma aracı olarak çeşitli Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama teknolojileri yoğun olarak kullanılmıştır. Jeoreferanslama işlemi tamamlandıktan sonra haritaların sayısallaştırma işlemi için hazır hale getirilmesi, daha sonra bu haritalardan yararlanılarak akarsu, izohips, fay, jeolojik formasyon, toprak grupları gibi sahaya ait

veri katmanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamına aktarılması ve bu verilerden ikincil verilerin üretilmesi işleri yapılmıştır. Ayrıca araştırma alanındaki anakaya aşınabilirliğinin Zemin ve Kayaç Mekaniği Laboratuvarı'nda analizinin yapılması için araştırma alanından ana kaya örnekleri alınmıştır.

Tiff formatındaki topografya haritaları üzerinde en az 4 kontrol noktası seçilerek bu noktalara göre haritalar WGS 84 datum ve UTM Zone 35 N projeksiyon sistemine göre jeoreferanslanmıştır. Hata değeri (RMSE-Root Mean Square Error) 0.9038 pikseldir.

Jeoreferanslanmış topografya haritası üzerindeki eşyükselti eğrileri 10 metre aralıklarla sayısallaştırılarak çizgi-vektör formatında sayısal topografya haritası elde edilmiştir. Jeoreferanslama ve sayısallaştırma işlemleri ArcGIS 10.2 yazılımı ile yapılmıştır.

Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM), ArcGIS 10.2 yazılımında "Topo to Raster" komut menüsü kullanılarak, 10 metre çözünürlüklü olarak elde edilmiştir. Sayısal Yükseklik Modeli'nden erozyon duyarlılık değerlendirmesinde kullanılacak olan eğim, bakı, yamaç eğriselliği, akarsu güç indeksi gibi parametrelerin üretilecek olması nedeniyle önemli bir veridir.

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden ArcGIS 10.2 yazılımdaki hidrolojik analiz araçları ile doğal akış yönü (flow direction), doğal akış birikimi (flow accumulation) belirlenerek Selendi Çayı Havzası'nın ayrıntılı drenaj ağı ve havza sınırı çıkarılmıştır. Daha sonra Selendi Çayı Havzası'nın Sayısal Yükseklik Modeli'nden yamaç eğimi, bakı, yamaç şekli (yamaç eğriselliği), akarsu güç indeksi, topografik nemlilik indeksi, drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık verileri üretilmiştir.

Toprak haritası ise Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden sayısal olarak temin edilmiş, WGS 84 datum ve UTM Zone 35 N projeksiyon sistemine dönüştürülerek erozyon duyarlılığı için oluşturulan veri tabanına eklenmiştir.

Bitki örtüsü haritası, Denizli Orman Genel Müdürlüğü'nden sayısal olarak temin edilen orman amenajman haritasından faydalanılarak hazırlanmıştır. Orman

amenajman haritası altlık olarak kullanılarak orman formasyonu, çalı formasyonu ve ot formasyonu sınırları çizilip, ilgili formasyonların arazide tespit edilen hakim türleri haritanın üzerine işaretlenmiştir.

Araştırma alanında daha önce yapılmış çalışmalardan yararlanarak elde edilen 1/25000 ölçekli jeoloji haritasında birimler litolojik özelliklerine göre ayrılmıştır. Sayısallaştırılan jeoloji haritasında 15 birim ayrılmış ve stratigrafik istifi takip eden şekilde düzenlenmiştir.

Kayaçların erozyon duyarlılık analizi için araştırma alanı içerisinde 200 m aralıklarla 6 yükselti basamağından 4 ana yönden 14 litolojik birimden numune alınmış ve aynı lokasyonlardan Schmidt çekici ile ölçüm yapılmıştır. Çalışmada yükselti basamakları 312-512, 512-712, 712-912, 912-1112, 1112-1312, 1312-1675 metre olarak 200 metre aralıklı 6 gurup şeklinde belirlenmiştir. Bakının sınıflandırılmasında kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere 4 ana yön esas alınmıştır. Araştırma alanındaki 14 litolojik birimden belirtilen yükselti aralıklarından 4 ana yönde örnek alanlar belirlenerek Schmidt çekici ile ölçüm yapılmış ve kayaçların erozyon duyarlılığını ilgilendiren fiziksel özelliklerinin analizi için kayaç numunesi alınmıştır. Araştırma alanında yüzeylenen kayaçlardan alınan numuneler kullanılarak Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Labaratuarları'nda Doç.Dr. Hakan ELÇİ tarafından suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi ve nokta yük dayanım direnci testleri yapılmıştır. Kayaçların erozyon duyarlılığını ilgilendiren fiziksel özellikleri bu yolla ortaya konulmuştur. Bu değerler CBS ortamında noktasal enterpolasyon yöntemiyle harita formatına dönüştürülmüştür.

İklimin erozyona etkisini ortaya koymak için iklim ve erozyon arasındaki etkileşimi en iyi kuran hazır erozyon modellerinden biri olan CORINE metodolojisinden yararlanılmıştır. Erozyona iklimin aşındırıcı güç etkisini belirlemek amacıyla öncelikle araştırmada kullanılan istasyonların aylık ortalama yağış ve sıcaklık dağılış haritaları yapılmıştır. Bu veriler kullanılarak yağışın erozivitesi için Modified Fournier Index (MFI), kuraklık için ise Bagnouls-Gaussen Aridity Index (BGI) hesaplanarak haritalanmıştır. MFI ve BGI klimatik göstergeleri CORINE

metodolojisinde kullanıldığı gibi sınıflandırılıp birleştirilerek düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 sınıflı bir erozivite indeksi oluşturulmuştur.

Yukarıda saydığımız bu veri yapıları tek bir veri tabanında toplanarak sahaya ait bir veri tabanı oluşturulmuştur. Böylece bu veri tabanı içinde yapılacak değerlendirmeler üçüncü aşama ve dördüncü aşama olan istatistiksel analizler için altlık teşkil edecek niteliğe dönüştürülmüştür.

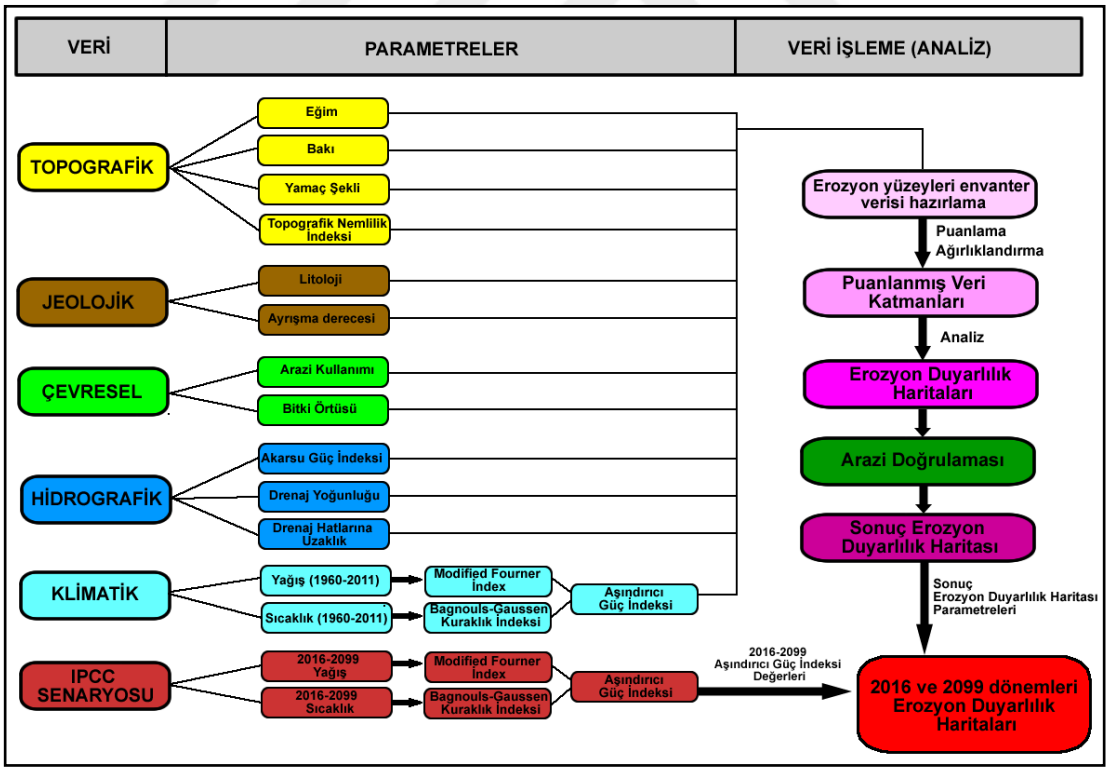
Üçüncü aşamada ise bir önceki aşamada üretilen veriler, frekans oranı ve çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) yöntemleriyle değerlendirilmiş ve böylece erozyon duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bunun için ArcGIS 10.2 yazılımının "Spatial Analyst Tools" modülündeki analiz araçlarından biri olan Raster Calculator kullanılmıştır. Analizlerde erozyon duyarlılık değerlendirilmesi için dikkate alınan parametrelerin farklı kombinasyonları yapılmış, sonuç itibariyle beş farklı erozyon duyarlılık haritası elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık haritasının hangisi olduğuna karar verilmiştir.

Dördüncü aşamada, bir önceki aşamada erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılan veri gurupları içinde yer alan parametrelerden yağış ve sıcaklığın iklim değişikliği süreciyle birlikte değişmesi öngörülen bir olgu olarak bu süreçte erozyon duyarlılığı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bunun için araştırma alanını kapsayan meteoroloji istasyonları verileri ve IPCC tarafından yayınlanan iklim değişikliği senaryoları kullanılmıştır. Ayrıca araştırma alanını kapsayan meteoroloji istasyonu verileri Mann-Kendall trend analizi, lineer regresyon gibi istatistiksel metotlar kullanılarak iklim elemanlarına ait istatistiksel değişim analizi yapılmıştır. Böylece araştırma alanını ilgilendiren meteoroloji istasyonlarının ölçüm verilerindeki değişim ve eğilimler de ortaya konulmuştur. IPCC tarafından yayınlanan iklim değişikliği senaryolarından ise gelecekteki durumla ilgili öngörülerde bulunulmuştur. İklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkilerinin modellenmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen HadGEM2-ES küresel iklim modeli RCP8.5 ve RCP4.5 senaryolarının 1971-2000 referans dönemi ve 2016-2099 yıllarını kapsayan aylık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve yıllık toplam yağış verileri kullanılmıştır. İklim değişikliğinin araştırma alanını kapsayan

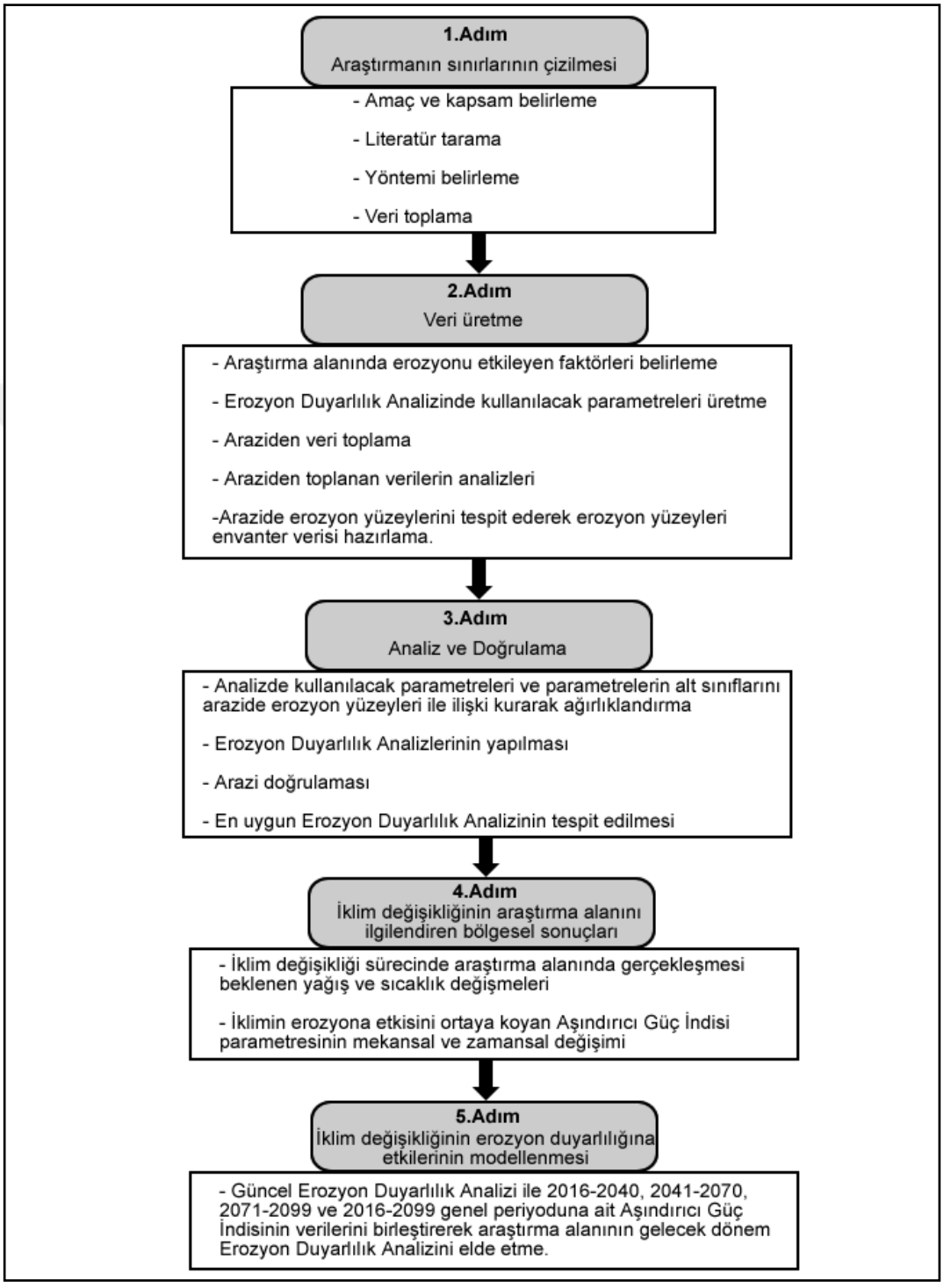
bölgedeki sonuçlarını ortaya koyabilmek amacıyla 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotları ve 2016-2099 genel periyodu kullanılmıştır. Belirtilen periyotlar için yağış ve sıcaklık değişkenleri yardımıyla yağışın erozivitesi, kuraklık ve nihayetinde aşındırıcı güç indisi hesaplanmıştır.

Son aşamada, önceki aşamada üretilen araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık analizi veri seti bu aşamada güncel durumu ortaya koymak için kullanılmıştır. Aynı veri setine 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotları ve 2016-2099 genel periyodu için öngörülen aşındırıcı güç indisi parametresi ayrı ayrı dahil edilerek analize tabi tutulmuştur. Böylece bilimsel çevrelerce kabul edilmiş mevcut iklim değişikliği senaryoları doğrultusunda yağışın erozivitesinin ve kuraklığın değişiminin bir olgu olarak erozyon duyarlılığı üzerindeki etkisi değerlendirmiştir (Şekil 2).

Şekil 2: Araştırma yönteminin akış şeması.



Şekil 3: Araştırma boyunca sırasıyla uygulanan adımlar.



Sınırlılıklar

Çalışmanın veri toplama aşamasında bir takım engellerle karşılaşılmıştır. Araştırma alanının 1/25000'lik sayısal jeoloji haritalarının temin edilememesi ve araştırma sahası sınırları içerisinde düzenli rasat verileri olan meteoroloji istasyonlarının olmaması, araziye kurulan erozyon ölçüm istasyonlarının bir kısmının kaybolması bunların başlıcalarıdır.

Çalışmada istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılacak analiz ve modelleme çalışmalarının yüzde yüz tam bir kesinlik belirtmekten çok, yaklaşık sonuçlar vermekte olduğu unutulmamalıdır. Bununla birlikte bu tip çalışmaların erozyonal süreçlerle ilgili düşünceleri ve mekânsal karşılaştırmaları kolaylaştırdıkları da gerçektir. Diğer bir deyişle, istatistiksel analizler ve modelleme çalışmaları yüzde yüz doğru ve kesin bilgiler vermeseler bile gerçek dünyadaki erozyonal süreçleri mantıklı ve tarafsız bir şekilde yansıtmayı hedeflediği için kullanılmaları önemli ve gereklidir.

İklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına doğrudan ve dolaylı etkileri olmaktadır. İklimin yağış elemanındaki değişim erozyonu doğrudan etkileyen bir faktör olmasına rağmen sıcaklıklardaki öngörülen artış toprak nemliliği, topraktaki organik madde miktarı, bitki örtüsü gibi erozyonu da ilgilendiren birçok parametre üzerinde dolaylı etkilere sahiptir. Bu konuda araştırmacıları sınırlayan esas etmen, iklimin erozyon duyarlılığı üzerindeki dolaylı etkilerinin modellemeye katılamamasıdır (Nearing vd., 2004; Nudes ve Nearing, 2011). Nitekim bu çalışmada da yukarıda belirtildiği gibi sadece sıcaklık, yağış gibi temel iklim parametrelerinde meydana gelmesi öngörülen değişikliklerden yola çıkarak iklim değişikliğinin erozyon üzerindeki etkileri modellenmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla bu, iklim değişikliğinin erozyona etkilerinin modellenmesinde kullanılacak parametrelerle ilgili bir sınırlılık yaratmaktadır. Gelecekteki iklim değişikliği öngörüleri kapsamında erozyon duyarlılığını modellerken çalışmayı sınırlandıran diğer bir faktör, şimdiki arazi kullanımının gelecekte de değişmeden devam edeceği varsayımıdır. Bu sınırlılıklara rağmen çalışma iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkisini araştıran coğrafya alanında ulusal literatürdeki bilinen ilk uygulamalı çalışmadır.

Temel Kavramlar

Erozyon konusu ile birçok bilim dalı ilgilenmesine rağmen, bu konu aynı zamanda fiziki coğrafyanın bir alt dalı olan uygulamalı jeomorfolojinin de temel araştırma alanlarındandır (Erinç, 1982). Konuyla ilgilenen farklı disiplinler erozyonu farklı şekillerde tanımlamış ve ele almışlardır. Örneğin; ormancılar, ziraatçiler ve toprak bilimciler erozyonu, mevcut toprağın doğal kuvvetlerle (su, rüzgâr vb.) aşındırılarak, başka yerlere taşınıp biriktirilmesi olayı olarak değerlendirmektedirler (Görcelioğlu, 2003; Altınbaş vd., 2008). Diğer bir ifade ile ormancıların ve toprak bilimcilerin erozyona bakış açıları toprak erozyonuyla sınırlıdır. Bu sınırlılığa dikkat çekenlerden biri de Şen (2003)'tür. Litolojinin erozyon çalışmalarında göz ardı edildiğine dikkat çeken Şen (2003), özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda erozyonun su akımlarına ve rüzgâr esmelerine maruz kalan kayaların ayrışması ile gerçekleştiğini belirtmiştir. Yapılan araştırmalara göre kumtaşlarından ortaya çıkan erozyon miktarının kuvars cinsinden kayalara göre 11 kat, granit ortama göre de 4 kat kadar olduğu örneğini vererek litolojinin önemini vurgulamıştır.

Jeoloji bilimi ve alt disiplerinin bakış açısıyla erozyon ise, toprağın oluşumuna kadar olan aşınma, ayrışma ve en son rezidüel (kalıntı) toprağın oluşmasına kadarki süreç olarak ele alınmaktadır (Akgün, 2007). Bu tanımdan anlaşılacağı üzere jeoloji ve alt disiplinlerinin erozyona bakış açıları ana kaya erozyonu ile sınırlıdır. Bu tanımlar yanlış olmamakla beraber jeomorfoloji bakış açısına göre eksiktir. Çünkü jeomorfolojik bir süreç olan erozyon sadece toprak üzerinde veya sadece ana kaya üzerinde gerçekleşmemektedir. Coğrafya'nın bir alt disiplini olan jeomorfoloji bakış açısına göre ise erozyon, yeryüzünde akan suların yerli kaya parçalarını, döküntü mantosuna veya toprağa ait unsurları koparıp sürüklemek yoluyla yaptıkları değişikliklere denilir (Erinç, 1982). Bu çalışmada erozyon; jeomorfoloji bakış açısına göre ele alınmış, araştırma alanında erozyon sürecine önemli oranda katkıda bulunan coğrafi parametreler kullanılarak, çok parametreli bir erozyon duyarlılık analizi yapılmıştır.

Önceki Çalışmalar

Literatürde erozyon duyarlılığını haritalamak için farklı yöntem ve yaklaşımların kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur (Meyer ve Martinez-Casasnovas, 1999; Mueller vd, 2005; Haboudane vd., 2007; Conoscenti vd., 2008; Akgün ve Türk, 2010; Agnesi vd., 2011; Angileri, 2012). Geleneksel uygulamalar, erozyonu arazide seçilen deneme alanlarından ölçme ile ilgili yöntemleri kapsar. Bu tarz uygulamalar pahalı, zaman alıcı ve yalnızca ölçüm yapılan noktaya ait veri sağlarlar (Harmsen, 1996). Hazır erozyon modellerinden olan deneysel (ampirik) modeller erozyonu, önceden belirlenmiş standart kriterleri olan belli bir veri seti dahilinde, erozyon konusunda önemli olduğu varsayılan parametreler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerden yararlanarak hesaplar (Kadupitiya, 2002). Deneysel modeller erozyonu tahmin etmede önceden tasarlanan şekilde uygulandığı için hızlı ve pratiktir fakat karmaşık doğal süreçler kullanılamaz ve model sadece önceden belirlenen standartlar doğrultusunda her araştırma alanı için aynı şekilde uygulanabilir (Elirehema, 2001). Deneysel modellerden literatürde çok sık rastlanan USLE (Universal Soil Loss Equation) ve onun revize edilmiş hali RUSLE (Revized Universal Soil Loss Equation) hazır erozyon modelleri değişik boyutlardaki alanlara uygulanabilen ve daha az veriye ihtiyaç duyduğu için, en fazla tercih edilen hazır modellerdendir (Desmet ve Govers, 1996). USLE ve RUSLE yöntemleri ülkemizde yapılan birçok erozyon çalışmasında da kullanılmıştır (Yılmaz, 2006; Cürebal ve Ekinci, 2006; Özsoy, 2007; Tağıl, 2007; Yılman, 2009; Çelik, 2011; Erkal, 2012; Karaoğlu, 2012; Kızılelma, 2013; Değerliyurt, 2014). Fiziksel temelli veya süreç tabanlı modeller de parametrelerin önceden belirlendiği ve çalışmalarda standart olarak uygulandığı hazır modellerdendir. Örnek olarak CREAMS, ANSWERS, WEPP, EUROSEM, PESERA modellerinin verilebileceği fiziksel tabanlı hazır modeller, erozyon sürecini anlatan matematiksel formüllere dayanmaktadır ve bu matematiksel modeller erozyonu yöneten bir takım sistemler de analize katmak için planlanmıştır. Bu yöntemlerle ilgili temel kısıtlayıcı faktör veri sağlamakla ilgili sorunlardır. Nitekim bu tip modeller çok büyük ve detaylı veri setlerine ihtiyaç duyduğu için büyük alanlarda uygulanmaları zordur (Lal, 1994; Yazidhi, 2003). Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin erozyon duyarlılığını haritalamak için

kullanıldığı yarı deneysel (sofistike ampirik) modeller literatürde ön plana çıkmaktadır. Örneğin lojistik regresyon modeli erozyon duyarlılığını hem büyük havzalar ölçeğinde (Begueria, 2006; Evrard vd., 2007) hem de küçük parsel ölçeğinde (Meyer ve Martinez-Casasnovas, 1999; Campling vd., 2002; Kravchenko vd., 2002; Mueller vd., 2005; Lesschen vd., 2008) haritalamada kullanılan istatistik modellerden biridir (Akgün ve Türk, 2010). Araştırmacıların lojistik regresyon yöntemini tercih etme sebebi bu yöntemin kendilerine parametreleri sınıflandırma ve seçme özgürlüğü sağladığı için eski haritalarda olabilecek sınıflandırma ve içerik hatalarına karşı duyarsız olmasıdır. Bu yöntem sayesinde araştırmacılar litolojik ve topografik verilerden parametre oluşturarak erozyon indisleri geliştirebilirler (Muller vd., 2005).

Literatürde erozyon duyarlılığını değerlendiren son 15 yılda yapılan bazı çalışmalarda kullanılan parametre ve yöntemler ile ilgili bir matris Tablo 1'de sunulmuştur. Bu matrisle literatürde son yıllarda genel itibariyle hangi yöntem ve parametrelerin ön plana çıktığı görülebilmektedir. Jeolojik ve topografik faktörlerin erozyon duyarlılığı ile ilgili çalışmalarda yoğun olarak kullanıldığı, özellikle litoloji, eğim ve arazi kullanımı/arazi örtüsü parametresinin hemen hemen bütün çalışmalarda kullanılan önemli parametreler olduğu görülmektedir. Klimatik ve hidrografik parametreler literatürdeki araştırmalarda en az yer verilen parametrelerdir. İklimin özellikle sıcaklık parametresi sadece CORINE ve Gavrilovic yöntemlerinde bir parametre olarak kullanılmaktadır.

Erozyonla ilgili sorunlar pek çok araştırmacının bu konuya ilgi duymasına ve geniş bir literatür oluşmasına sebep olmuştur. Erozyon duyarlılığı ile ilgili özellikle son yıllardaki çalışmalarda hazır erozyon modellerinin yanı sıra araştırmacıların parametre guruplarını ve analiz yöntemini kendi belirledikleri bağımsız modellerin oluşturulduğu çalışmalardaki artış dikkat çekicidir. Literatürde Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak yapılan erozyon duyarlılık analizi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Son yıllardaki çalışmalara bakıldığında, büyük bir çoğunluğunda istatistiksel modeller kullanıldığı dikkat çekmektedir. Çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) en çok kullanılan çok değişkenli istatistik yöntemlerin başında gelmektedir (Tablo 1).

Küresel iklim değişimi erozyon üzerinde önemli etkilere sahiptir fakat birçok faktör tarafından yönetilen erozyon oranları bu faktörler arasındaki karmaşık etkileşimleri de içerdiği için iklim değişiminin erozyon üzerindeki etkileri çok az araştırmaya konu olmuştur (Kundzewicz vd., 2007). İklim, iklim değişimi ve erozyona etkileri ile ilgili bağlantıların detaylı bir şekilde açıklandığı teorik çalışmalar Langbein ve Schumm (1958), Nearing vd. (2004), Nudes ve Nearing (2011) gibi araştırmacılar tarafından yapılmıştır. İklim değişikliğinin erozyona etkileri ile ilgili uygulamalı araştırmalar ise oldukça sınırlı olmakla birlikte sayıları özellikle son yıllarda artış göstermiştir (Nearing, 2001; O'Neal, 2005; Zhang ve Nearing, 2005; Mullan vd., 2012; Mullan, 2013). Konuyla ilgili iklim değişikliğinden en çok etkilenecek alanlardan biri olan Akdeniz havzasında proje çalışmaları da yürütülmektedir. Örneğin 2009 yılında başlayan 197988 € bütçeli ERLAND Projesi (Direct and indirect impacts of climate change on soil erosion and land degradation in Mediterranean watersheds), konuyla ilgili uygulamalı çalışmaların gerekliliğini ve aynı zamanda bu tip çalışmaların sınırlılıklarına dikkat çekmesi açısından önemlidir.

Ulusal literatürde ise iklim değişikliğinin erozyona etkilerinden bahseden ve araştırılması gerektiğini vurgulayan çalışmalar (Şen, 2003; Karaca, 2008; Kaya, 2008; Kadıoğlu, 2009; Kadıoğlu, 2012) olmakla birlikte bu konuda uygulamalı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Örneğin, iklim değişikliğinin erozyona etkilerinin araştırılması gerektiğine dikkat çeken Karaca (2008), yağışların miktar, enerji ve şiddetlerinin mekansal ve zamansal dağılımlarındaki farklılaşmanın doğrudan iklimden kaynaklanan erozyonun değişmesine sebep olacağını vurgulamış, yağış şiddetlerindeki ve miktarlarındaki artışın toprak erozyonunu da arttırabileceğini belirtmiştir. Bu sebeple, iklim değişikliği ile birlikte farklılaşması öngörülen yağış şiddeti, enerjisi gibi yağışın erozyonu etkileyen unsurlarındaki değişikliklerin analiz edilip, gelecekte bu değişikliklere bağlı olarak erozyonun tahmin edilmesi gerektiğini ve bunun konuyla ilgili gerek toprak gerekse su koruma önlemlerinin önceden alınması için önemli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca Türkiye'de erozyon denilince akla ilk gelen kurum olan TEMA Vakfı da erozyon ile mücadelenin iklim değişikliği öngörüleri ve mücadelesi ile birlikte sürdürülmesi gerektiğini ifade etmektedir.

Tablo 1: Literatürde erozyon duyarlılığı ile ilgili bazı çalışmalarda kullanılan parametre ve yöntemler.

			PARAMETRELER																						
			JEOLOJİK			PEDOLOJİK				TOPOGRAFİK							ÇEVRESEL				HİDROGRAFİK			KLİMATİK	
ARAŞTIRMACI	**YÖNTEM**	**BÖLGE**	**J1**	**J2**	**J3**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**T7**	**Ç1**	**Ç2**	**Ç3**	**Ç4**	**H1**	**H2**	**H3**	**K1**	**K2**
Lu vd. (2004)	RUSLE	Brezilya				X				X	X						X								
Bathrellos ve Skilodimo (2007)	ÇÖKA	Yunanistan	X		X					X							X				X			X	
Kheir vd. (2007)	Lojistik Regresyon	Lübnan	X			X				X		X		X	X	X									
Conoscenti (2008)	ÇÖKA	İtalya	X				X				X			X			X						X		
Milevski (2008)	Gavrilovic Yöntemi	Makedonya								X	X	X		X	X			X					X	X	X
Yüksel vd. (2008)	CORINE	Türkiye					X	X	X	X							X							X	X
Bahadur (2009)	USLE	Tayland					X			X	X						X							X	
Akgün ve Türk (2010)	Lojistik Regresyon	Türkiye	X		X					X				X			X				X		X		
Liu ve Liu (2010)	USLE	Çin					X			X	X						X	X	X					X	
Agnesi vd. (2011)	ÇÖKA	İtalya	X				X			X	X	X		X	X		X						X		
Conforti vd. (2011)	İki değişkenli istatistiksel analiz	İtalya	X							X	X	X		X	X		X						X		
Ogbonna vd. (2011)	İki değişkenli istatistiksel analiz	Nijerya	X							X	X	X		X	X		X						X		
Raissouni vd. (2012)	ÇÖKA	Fas	X							X	X						X	X						X	
Ronghua vd. (2013)	ÇÖKA	Çin				X				X	X							X						X	
Moayeri vd. (2013)	ÇÖKA	İran	X							X	X			X			X			X		X			
Hessel vd. (2014)	MESALES	Fas				X	X			X							X								

(ÇÖKA: Çok Ölçütlü Karar Analizi, AHS: Analitik Hiyerarşi Süreci, MESALES: Modèle d'Evaluation Spatiale de l'ALéa Erosion des Sols- Regional Modelling of Soil Erosion Risk, USLE: Universal Soil Loss Equation, RUSLE: Revised USLE. **J1:** Litoloji, **J2:** Büyük faylara yakınlık, **J3:** Süresizlik, çizgisellik yoğunluğu, **P1:** Toprak tipleri, **P2:** Toprak tekstürü, **P3:** Toprak derinliği, **P4:** Toprak taşlılığı: **T1:** Eğim, **T2:** Eğim uzunluğu, **T3:** Bakı, **T4:** Göreceli yükseklik, **T5:** Yamaç şekli, **T6:** Topografik nemlilik indeksi, **T7:** Sediment taşınma indeksi, **Ç1:** Arazi kullanımı/Arazi örtüsü, **Ç2:** Bitki örtüsü, **Ç3:** Nüfus yoğunluğu, **Ç4:** Yollara uzaklık, **H1:** Drenaj yoğunluğu, **H2:** Drenaj hatlarına uzaklık, **H3:** Akarsu güç indeksi, **K1:** Yağış, **K2:** Sıcaklık)

BİRİNCİ BÖLÜM
EROZYON DUYARLILIĞINA ETKİ EDEN COĞRAFİ FAKTÖRLER

1.1. Jeolojik Özellikler

Erozyon duyarlılığını, aşınıma karşı farklı direnç özellikleri gösteren litolojik özellikler etkilediği için jeolojik özellikler başlığı altında araştırma alanının stratigrafik ve litolojik özelliklerinden önemle bahsedilmiştir.

Selendi Çayı Havzası'nın stratigrafik ve litolojik özelliklerini gösteren jeoloji haritası (Şekil 4) araştırma alanında daha önce yapılan çalışmalardan (Ercan vd., 1980; Baş 1983; Crawford, 1975; Ozaner, 1984; Ozaner, 1988) yararlanılarak hazırlanmış olup, 15 birim ayrılmış ve stratigrafik istifi takip edecek şekilde düzenlenmiştir.

Araştırma alanında farklı jeolojik zamanlara ait gnays, şist, dolomit, melanj, konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker, riyolit, tüf, trakiandezit, andezit, aglomera, marn, bazalt gibi erozyona karşı farklı dirence sahip kayaçlar vardır.

Paleozoik:

Araştırma alanının en eski jeolojik birimleri Eşme formasyonu olarak isimlendirilen Paleozoik'e ait gnays ve şistlerdir. Havzanın 88.1 km^2'sini kaplarlar (Tablo 2). Menderes masifinin kuzeydoğu ucunu oluşturan bu gnays ve şistler araştırma alanının doğusunda Hurşitler ile Karaköy arasında yüzeylenmektedir (Ozaner, 1988). Gri, siyahımsı yeşil ve kahverengi renklerde çeşitli şistlerden oluşan birim içerisinde biyotit-muskovit-kuvars-grafitşist, kuvarsit, biyotit-kuvars-muskovitşist, klorit-serizitşist ve fillitler ve mermer bloklar gibi kayaç guruplarına rastlanmıştır (Aysal, 2001). Eşme formasyonu olarak adlandırılan bu gnays ve şistler araştırma alanında badlandslerin yer almadığı erozyona nispeten daha az duyarlı alanları oluştururlar.

Mesozoik:

Araştırma alanında oldukça az yer kaplayan (11.2 km^2) Mesozoik'e ait birimler, Jura dolomitleri ve Kretase melanjları ile temsil edilmektedir.

Kızılcasöğüt formasyonu olarak adlandırılan Jura dolomitleri araştırma alanında en az yer kaplayan litolojik birimdir (Tablo 2). Araştırma alanının güney sınırında Yaylak Tepe'de dar bir alanda görülmektedir.

Vezirler Melanjı olarak adlandırılan Kretase melanjları ise Çalıklı Köyü güneyinde, Beypınar Köyü civarında, Yukarı Eskin Köyü doğusunda, Çakırlar ile Yakuplar arasında KD-GB yönlü bir hat boyunca yer yer yüzeylenmektedir. Melanj, çeşitli büyüklükte ve değişik litolojide bloklardan oluşur. Bloklar arasında sedimanter (çörtlü kalker, radyolarit), volkanik (peridotit, spilit, tüf) ve metamorfik (şist, kuvarsit, mermer) kayaçlar bulunur. Hâkim kayaç türü ultramafiklerdir (Aysal, 2001). Aşınıma karşı dirençli oldukları için özellikle üzerindeki Neojen örtünün tamamen aşınarak taşındığı yerlerde, çevresindeki yatay uzanımlı alçak Neojen'e ait sedimanter birimlerin ortasında ada şeklinde kütlevi tepeler halinde görülürler (Ozaner, 1988).

Tersiyer:

Araştırma alanında Tersiyer, Miyosen'e ait sedimanter ve volkanik kayaç birimleri ile temsil edilir. Araştırma alanında oldukça geniş alan kaplayan Tersiyer'e ait birimler, Alt Miyosen konglomera ve kumtaşları; Orta Miyosen konglomera ve kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker ardalanmalı çökeller, riyolit, riyodasit, tüf gibi volkanitler; Üst Miyosen gölsel kalkerler, riyolit, trakiandezit, aglomera, andezit, tüf gibi volkanitler, kiltaşı, silttaşı, tüfit ardalanmalı çökeller ve konglomera, tüfit, kiltaşı, marn, kalker ardalanmalı çökellerden oluşur.

Kürtköy formasyonu olarak adlandırılan Alt Miyosen konglomera ve kumtaşı birimleri araştırma alanının güneyinde Dereköy civarında oldukça sınırlı bir alanda yayılış göstermektedir. Bu birim altta boyları 0.1 cm'den 50 cm'ye kadar değişen ve salt ultramafik kayaç parçalarından oluşan yeşil renkli konglomera ve kumtaşları ile bağlanmakta, üst kısımlara doğru ofiyolitli melanj birimleri ve Menderes masifi metamorfitlerine ilişkin çeşitli çakıllar içeren konglomera ve kumtaşları ile devam etmektedir. Bu birimin detritikleri bütünüyle karasal alüvyon yelpazesi ortamında oluşmuş olup, eski akarsuların temel kayaçlardan kopardıkları kırıntıları fazla taşımadan masif eteklerine uygun yerlerde, özelikle ofiyolitli melanj birimleri yakınlarında yelpaze eteklerinde depolamalarıyla oluşmuşlardır (Ercan vd., 1983).

Yeniköy formasyonu olarak adlandırılan Orta Miyosen konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker ardalanmalı çökeller 139.6 km^2 ile araştırma alanında en geniş yer kaplayan birimdir (Tablo 2). Araştırma alanının güneyinde Selendi Çayı Gediz bağlantısının doğusunda, Eskin Köyü civarında ve ayrıca araştırma alanının kuzeyinde; Karapınar, Küplüce, Pazarlar, Orhanlar, Yakuplar, Çakırlar yerleşmeleri civarında geniş yayılış göstermektedir. Menderesli nehir ortamında çökelmiş bu birim eski kayaç parçalarının akarsu yatağının belli yerlerinde tabakalı olarak birikmesiyle oluşmuştur. Yaklaşık 675 m kalınlıkta olup, yer yer düzlemsel ve tekne şekilli çapraz tabakalanma, kuruma çatlakları, akıntı ve sürüklenim izleriyle, canlı kalıntıları bulunur (Aysal, 2001). Bu birimin Eskin Köyü mevkiinde yüzlek veren bölümlerinde badlands şekilleri gelişmiş olup, erozyona duyarlı yamaç zonları oluştururlar.

Dikendere volkanitleri veya formasyonu olarak isimlendirilen Orta Miyosen riyolit, riyodasit ve tüfler Selendi Çayı anakolunun doğusunda Eskin ile Çakırlar yerleşmeleri arasında 6.6 km^2'lik sınırlı bir alanda yüzeylenmektedir (Tablo 2, Şekil 4).

Araştırma alanında Tersiyer'in en geniş yayılış alanına sahip volkanitleri Beydağı volkanitleri olarak bilinen Üst Miyosen andezit ve tüflerdir. Andezit olan birim araştırma alanının kuzeybatısında ve batısında parçalı olarak yüzeylenmekte olup, 53.7 km^2 alan kaplamaktadır. Havzanın kuzeybatı ucunda geniş bir alanda, Kuşuköy mevkiinde, Orhanlar Köyü civarında, Karataş Terziler Köyü civarında, Fakra Köyü kuzeyinde, Şehirlioğlu kuzeyinde yüzeylenmektedir. 85.8 km^2 gibi geniş bir alan kaplayan Beydağı volkanitlerine ait tüfler ise havzanın orta kesiminde Selendi Çayı anakolunun batısı boyunca oldukça geniş bir alanda yüzeylenmektedir (Tablo 2, Şekil 4).

Üst Miyosen volkanitler araştırma alanının batı ve kısmen kuzeybatısında yüzeylenmekte olup, riyolit, riyodasit, tüf, trakiandezit, andezit, aglomera gibi dış püskürük kayaçlarla temsil edilmektedir.

Üst Miyosen yaşlı gölsel kalker birimi araştırma alanının güneyinde oldukça geniş bir yayılış alanına sahiptir. Havzanın güneybatısında Fadenkaşı Tepe'den

Kelmehmet Köyü'ne kadar olan hat boyunca geniş bir alanda yüzlek verirler. Hacıhaller Köyü'nde ve Bozoğlu Damları mevkiinde dar alanlı olarak görülürler. Ayrıca araştırma alanının güneybatısında Kavakalanı ile Hurşitler arasında dar bir hat boyunca görülürler. Ulubey formasyonu olarak da adlandırılan yaklaşık 250 m kalınlıktaki gölsel kalkerleden oluşan birim, kalın ardalanmalı katmanlar şeklinde olup bol erime boşlukludur. Genellikle altta killi marn, daha üstte kumlu ve en üstte de karbonat kayaçlar yer alır (Ercan vd., 1980).

Araştırma alanının güneydoğusunda yayılış gösteren kiltaşı, silttaşı, tüfit ardalanmalı çökeller ile konglomera, tüfit, kiltaşı, marn, kalker ardalanmalı çökeller Üst Miyosen'e ait olup Ahmetler formasyonu olarak adlandırılan birimin Gedikler ve Balçıklıdere üyesidir. Balçıklıdere üyesi olarak da adlandırılan birim, akarsu ortamı ürünü, yataya yakın konglomera, tüfit kiltaşı, marn ve kalker ardalanmasından oluşup yer yer çapraz tabakalanma da gösterir. Yer yer 200 m kalınlığa ulaşan birimde kayaçlar iyi pekişmemiştir (Ozaner, 1988). Ana kayanın iyi pekişmemiş bu farklı katmanlardan yapılı olması yarıkurak iklim şartları altında gelişen ayrışma süreçlerini de hızlandırmaktadır. Dolayısıyla bu şartlar altında meydana gelen ayrışma ve aşınma süreci bu birimin olduğu yerlerde, özellikle erozyon duyarlılığı yüksek yamaç zonlar yaratmaktadır. Nitekim araştırma alanında heyelanlar ve badlans alanları genellikle bu birimin bulunduğu yamaçlarda görülmektedir.

Gedikler üyesi olarak adlandırılan diğer sedimanter birim, Balçıklıdere üyesi üzerine uyumlu olarak gelen, bataklık ve göl ortamında oluşmuş kiltaşı, silttaşı ve tüfit ardalanmalarından oluşan çökellerdir. En çok 60 m kalınlığında, açık sarı ve açık yeşil renkli, yatay ve yataya çok yakın tabakalıdır. Araştırma alanında bu birim, aşınması kolay kiltaşı, silttaşı, tüfit gibi kayaçlardan oluştukları için yarılmalar sonucunda üzerinde badlans şekillerine de yer veren erozyona duyarlı yamaç zonlarına dönüşmüşlerdir (Ozaner, 1988). Araştırma alanının güneyinde, Dolaydamları ile Karaselendi arasındaki dar şeritte, Devecidamları mevkiinde ve Dumanlar'dan Alkanlar'a kadar olan dar şerit boyunca bu birim görülür.

Kuaterner:

Araştırma alanında Kuaterner'i kızıl renkli, gevşek, kireç, tüf, kil çimentolu konglomera, kumtaşı ardalanmalı akarsu ortamında oluşmuş çökeller, genç

volkanitler (bazalt ve tefra malzemesi), Selendi Çayı ve kollarına ait taraça, birikinti konileri, eski ve yeni alüvyonlar oluşturur (Ercan vd., 1983).

Asartepe formasyonu olarak bilinen konglomera ve kumtaşları, genellikle kızıl ve turuncu renkte, gevşek kireç-kil-tüfit çimentolu, orta-kalın tabakalı, yarı yuvarlak ve yuvarlak konglomera kumtaşı ardalanmaları şeklinde olup akarsu ortamında oluşmuş çökellerdir. Üst Pliyosen sonunda araştırma alanı ve çevresinde göller kurumuş ve taşlaşan gölsel kalkerler (Ulubey formasyonu) üzerinde bir süre sonra yeniden yağışlı iklim rejiminin etkisini göstermesi ile birlikte büyük akarsuların temeldeki kaya birimlerinden kopardıkları parçacıkları yataklarının uygun yerlerinde tabakalı olarak yığmaları ile oluşmuşlardır (Ercan vd., 1983). Araştırma alanında Şehirlioğlu'nun doğusunda ve Hurşitler'in doğusunda yüzeylenmektedir (Şekil 4).

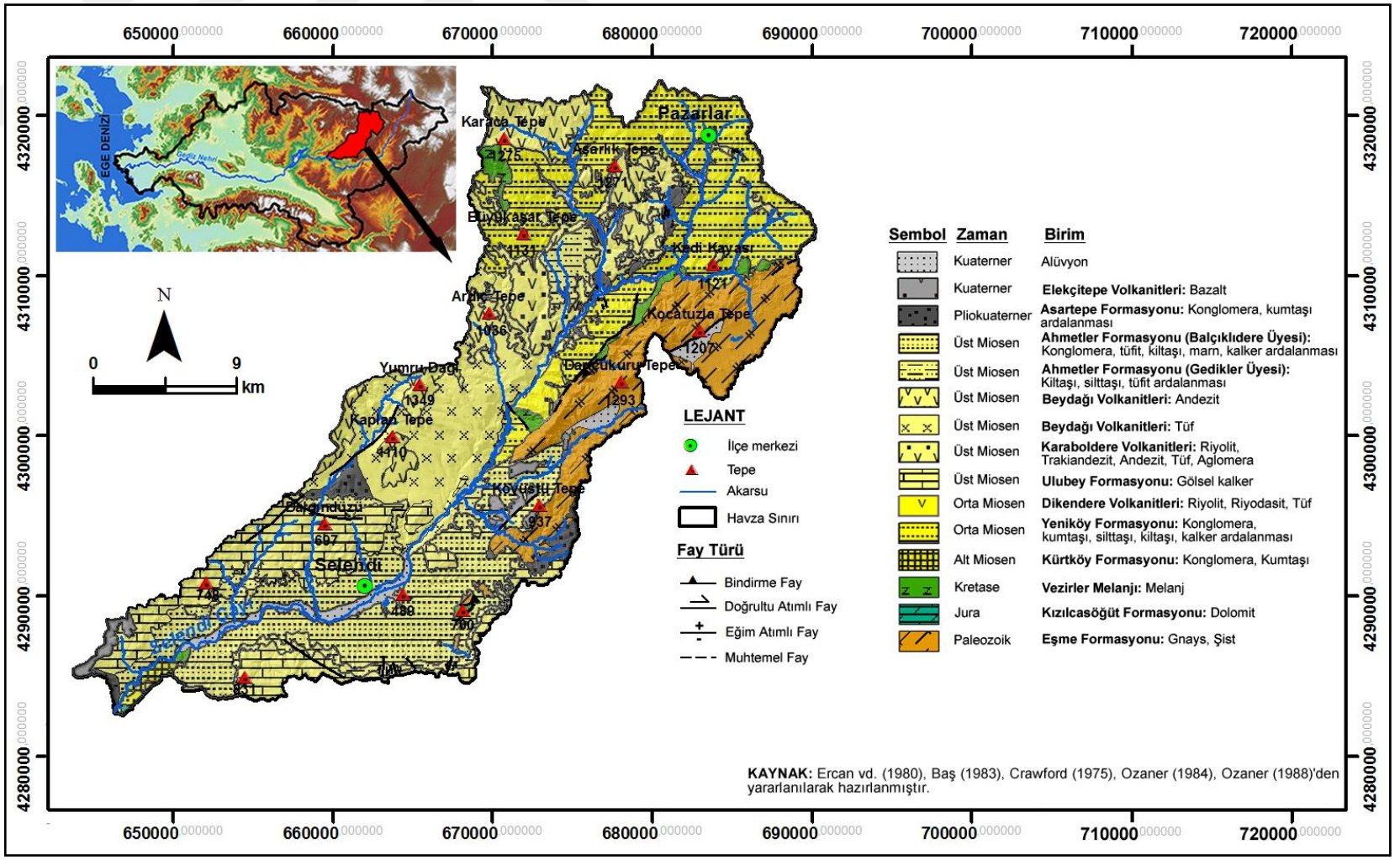
Kuaterner'e ait volkanitler ise Elekçitepe volkanitleri olarak adlandırılan bazaltlardır. Araştırma alanında Kepez mevkiinde ve Tepeköy'ün doğusunda dar bir alanda yüzeylenmektedir.

Kuaterner'nin 33.8 km^2 ile en geniş yayılış alanına sahip birimi olan alüvyonlar ise özellikle Selendi Çayı'nın anakolu boyunca görülür.

Tablo 2: Selendi Çayı Havzası'nda jeolojik birimlerin kapladığı alan.

Jeolojik Zaman	Jeolojik Birim	Alan (km^2)	Alan (%)
Kuaterner	Alüvyon	33.8	4.7
Kuaterner	**Elekçitepe Volkanitleri:** Bazalt	8.5	1.2
Pliokuaterner	**Asartepe Formasyonu:** Konglomera, Kumtaşı	9.7	1.4
Üst Miosen	**Ahmetler Formasyonu (Balçıklıdere Üyesi):** Konglomera, Tüfit, Kiltaşı, Marn, Kalker	124.1	17.3
Üst Miosen	**Ahmetler Formasyonu (Gedikler Üyesi):** Kiltaşı, Silttaşı, Tüfit	30.5	4.3
Üst Miosen	**Beydağı Volkanitleri:** Andezit	53.7	7.5
Üst Miosen	**Beydağı Volkanitleri:** Tüf	85.8	11.9
Üst Miosen	**Karaboldere Volkanitleri:** Riyolit, Trakiandezit, Andezit, Tüf, Aglomera	41.5	5.8
Üst Miosen	**Ulubey Formasyonu:** Gölsel Kalker	80.6	11.3
Orta Miosen	**Dikendere Formasyonu:** Riyolit, Riyodasit, Tüf	6.6	0.9
Orta Miosen	**Yeniköy Formasyonu:** Konglomera, Kumtaşı, Silttaşı, Kiltaşı, Kalker	139.6	19.5
Alt Miosen	**Kürtköy Formasyonu:** Konglomera, Kumtaşı	2.8	0.4
Kretase	**Vezirler Melanjı:** Melanj	10.9	1.5
Jura	**Kızılcasöğüt Formasyonu:** Dolomit	0.2	0.1
Paleozoik	**Eşme Formasyonu:** Gnays, Şist	88.1	12.3

Şekil 4: Selendi Çayı Havzası'nın jeoloji haritası.



1.2. Morfometrik Özellikler

Havzanın fiziki coğrafya özelliklerinden kaynaklanan ve erozyonu etkileyen parametrelerin sayısal bir formatta belirlenmesi ve erozyon duyarlılık analizinde çarpan faktör olarak kullanılması amacıyla; ilgili yüzey analizleri ile morfometrik analizler yapılmıştır. Ayrıca literatürde erozyon duyarlılık değerlendirmesinde kullanılmış mevcut morfometrik analizler de değerlendirilmiş ve bu çalışmada kullanılmasının uygun olacağına kanaat edilen analizler uygulama kapsamına alınmıştır. Böylelikle elimizde havzanın fiziki coğrafya özellikleriyle ile ilgili erozyon duyarlılığı analizinde birer parametre olarak kullanılabilecek sayısal bir veri tabanı elde edilmiştir.

1.2.1. Eğim Özellikleri

Eğim faktörü hemen bütün yamaç süreçlerinde olduğu gibi erozyon konusunda da en önemli temel morfometrik parametrelerden biridir. Burada esas önemli olan ise araştırmaya konu olan yamaç süreçlerinin ne olduğu ve araştırma alanının kendi içerisindeki özelliklerine uygun bir eğim derecesi sınıflaması yapmaktır. Eğimi fazla yamaçlar genellikle yüksek akış değerlerine ve düşük infiltrasyon oranlarına sahiptir. Sediment üretiminin bu tip çıplak yamaçlarda daha yüksek olması beklenir (Verstappen, 1983).

Eğim değerleri yüzde cinsinden olup, eğim sınıflaması USDA'nın (United States Department of Agriculture) Toprak Etüt Kitapçığındaki eğim sınıflaması ve tanımları göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Tablo 3). Selendi Çayı Havzası'nın eğim analizi ve bu analize ait eğim haritası (Şekil 5) bu sınıflama ve tanımlamalar doğrultusunda hazırlanmıştır.

Tablo 3: Eğim sınıf aralıkları ve tanımları.

Sınıf	Eğim Sınıf Aralıkları (%)	Eğim Sınıfı Tanımları
A	0-1	Düze yakın
B	1-3	Çok hafif eğimli
C	3-5	Az eğimli
D	5-10	Orta derecede eğimli
E	10-15	Şiddetli eğimli
F	15-25	Orta derecede diklikten sarp yamaca geçiş
G	25-33	Sarp yamaç
H	33-50	Çok sarp yamaç
I	< 50	Aşırı derecede dik yamaç

Kaynak: USDA (1993)'ün eğim sınıflama sisteminden düzenlenmiştir.

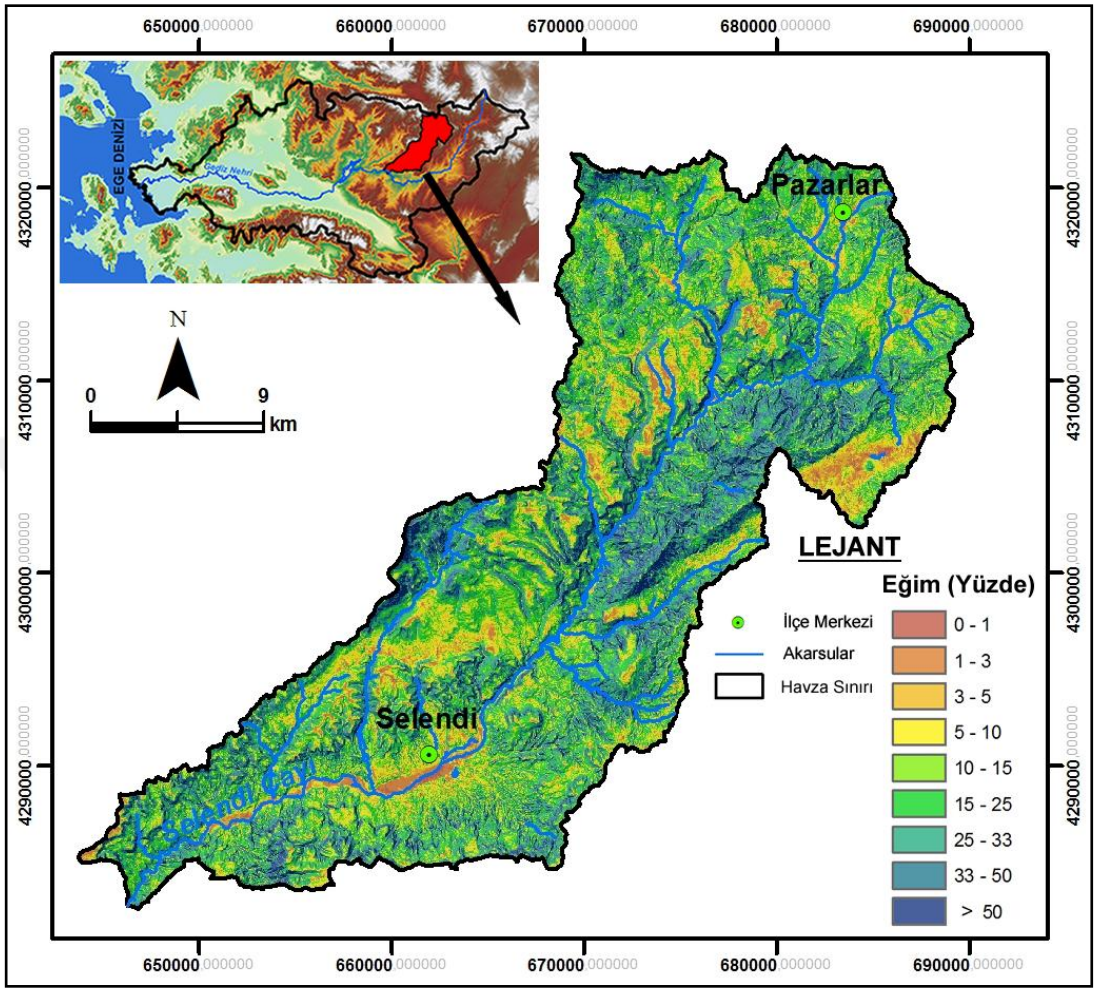
Araştırma alanında eğim değerleri % 0 ile % 141.9 arasında değişirken ortalama eğim % 23.2'dir. Yüksek eğim değerleri daha çok araştırma alanının batısında Karaselendi alt havzası ve doğuda Kuyudere alt havzası ile onun kuzeyindeki dağlık alanlarda görülmektedir. Eğim değerlerinin yüksek olması yüzeysel akışı hızlandırıp erozyonu arttıran bir faktördür. Araştırma alanında düze yakın eğim gurubu en az alanı kaplarken, en fazla yer kaplayan eğim gurubu 169.5 km^2 ile orta derecede diklikten sarp yamaca geçiş olarak tanımlanan % 15-25'lik eğim gurubudur. Erozyon duyarlılığı açısından nispeten az öneme sahip düze yakın, çok hafif eğimli, az eğimli eğim gurupları araştırma alanın % 8.3'ü gibi az bir alanını kaplarken; erozyon duyarlılığında daha önemli olan şiddetli eğimli, orta derecede diklikten sarp yamaca geçiş, sarp yamaç, çok sarp yamaç, aşırı derecede dik yamaç olarak tanımlanan eğim gurupları araştırma alanının % 77.9'u gibi önemli bir kısmını kaplamaktadır (Tablo 4).

Tablo 4: Araştırma alanında eğim (%) özelliklerinin dağılışı.

Eğim Sınıf Aralıkları (%)	Eğim Sınıfı Tanımları	Alan (km^2)	Alan (%)
0-1	Düze yakın	3.4	0.5
1-3	Çok hafif eğimli	22.7	3.2
3-5	Az eğimli	33.5	4.8
5-10	Orta derecede eğimli	98.4	13.8
10-15	Şiddetli eğimli	99.8	13.9
15-25	Orta derecede diklikten sarp yamaca geçiş	169.5	23.7
25-33	Sarp yamaç	106.3	14.8
33-50	Çok sarp yamaç	136.5	19.1
< 50	Aşırı derecede dik yamaç	45.9	6.4

Kaynak: USDA (1993)'ün eğim sınıflama sisteminden düzenlenmiştir.

Şekil 5: Selendi Çayı Havzası eğim haritası.



1.2.2. Bakı Özellikleri

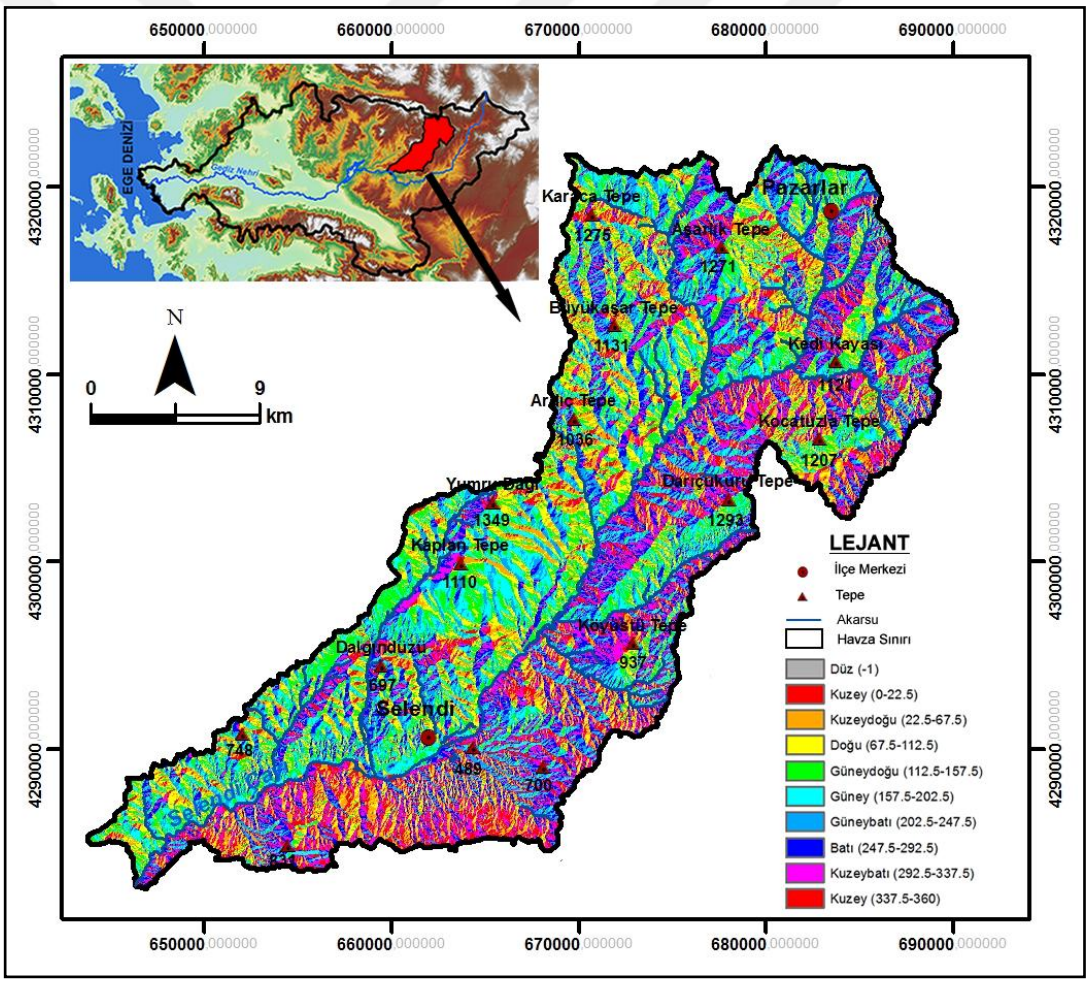
Bakı, arazi degradasyonu süreçlerinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Bakı, toprak yüzeyine Güneş ışınlarının geliş açısını ve süresini düzenlemek yoluyla mikroklima oluşmasını etkilemektedir. Akdeniz Bölgesi'nde güneye ve batıya bakan yamaçlar kuzeye ve doğuya bakan yamaçlara göre daha sıcak ve daha yüksek evaporasyon oranlarına sahip olmasına karşın daha az su depolama kapasitesine sahiptir (Kosmos vd., 1995). Bundan dolayı güney ve batıya bakan yamaçlarda kuzey ve doğuya bakan yamaçlara göre vejetasyon yenilenmesinin daha yavaş gerçekleşmesi ve yüksek erozyon oranlarının daha fazla olması beklenir.

Bakı yamacın güneşlenme süresini, yüzeydeki su depolama kapasitesini, vejetasyon tipini ve yağış miktarı ile şeklini etkilediği için erozyon konusunda

önemli bir coğrafi parametredir. Araştırma alanının bakı haritası 10 m çözünürlüklü SYM verisinden 4 ana yön 4 ara yön ve düz sahalar olmak üzere 9 sınıflı olarak hazırlanıp Şekil 6'da sunulmuştur.

Araştırma alanında % 41 ile en fazla yer kaplayan bakı sektörü güneşlenme süresinin uzun olduğu, yüksek evaporasyon oranları, düşük nem içeriği ve buna bağlı olarak zayıf vejetasyona sahip olan güney sektörlü yamaçlardır. Onu % 32.8 ile tam tersi koşullara sahip olan kuzey sektörlü yamaçlar izlemektedir (Tablo 5, Foto 1).

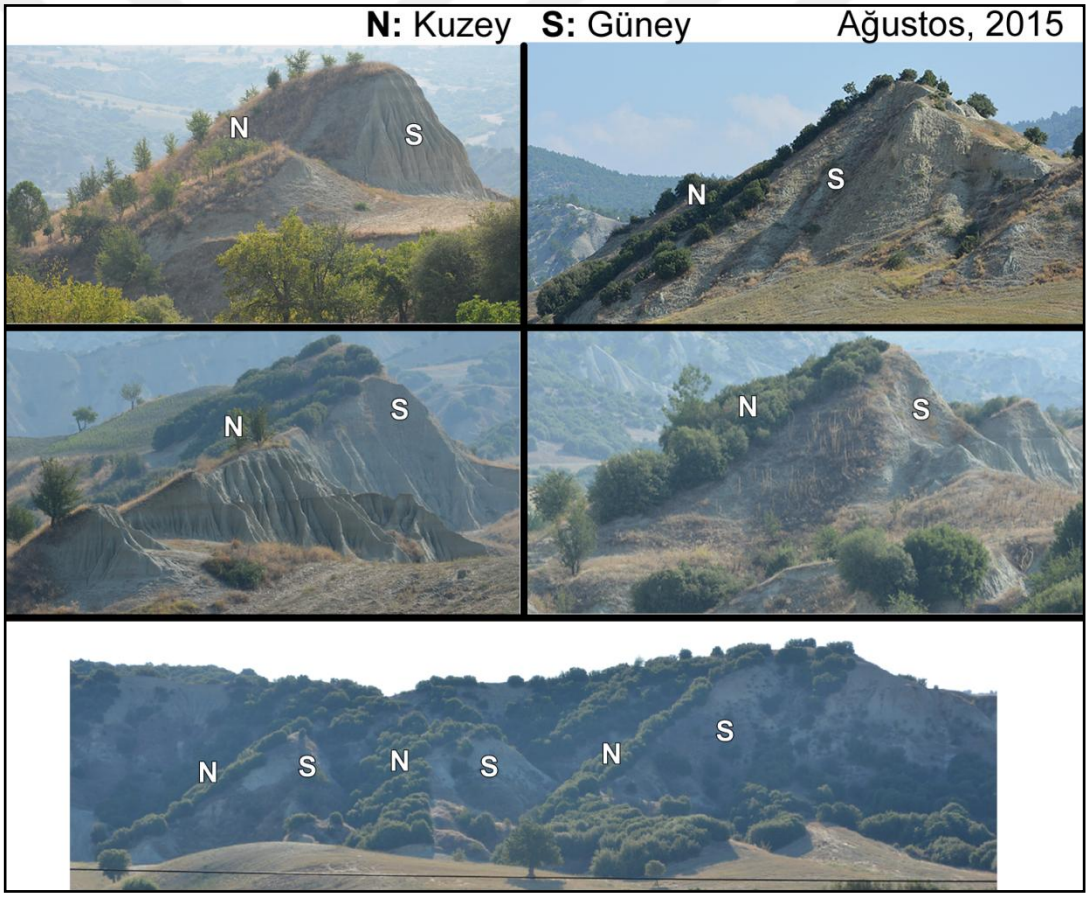
Şekil 6: Selendi Çayı Havzası bakı haritası.



Tablo 5: Araştırma alanındaki bakı özelliklerinin dağılışı.

Bakı Sınıfı	Alan (km^2)	Alan (%)
Düz	0.0	0.0
Kuzey	69.5	9.7
Kuzeydoğu	77.9	10.9
Doğu	92.7	12.9
Güneydoğu	104.4	14.6
Güney	95.2	13.3
Güneybatı	93.9	13.1
Batı	94.9	13.3
Kuzeybatı	87.4	12.2

Foto 1: Araştırma alanındaki badlands alanlarda bakının etkisi.



1.2.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi

Jeomorfometrik indisler içinde akarsu uzunluk-gradyan indeksi (SL İndeksi) akarsulardaki anormal eğim değişikliklerini ortaya koymada kullanılan pratik bir araçtır. SL İndeksindeki karışıklıklar genellikle, yüzeylenen litolojik birimlerin erozyon direncindeki farklılıkları, aktif faylanma gibi yüzeyaltı süreçleri, özellikle

küçük havzalarda doğrudan akarsu kanallarına ulaşan eğim arızalarını gösterir (Troiani, 2014).

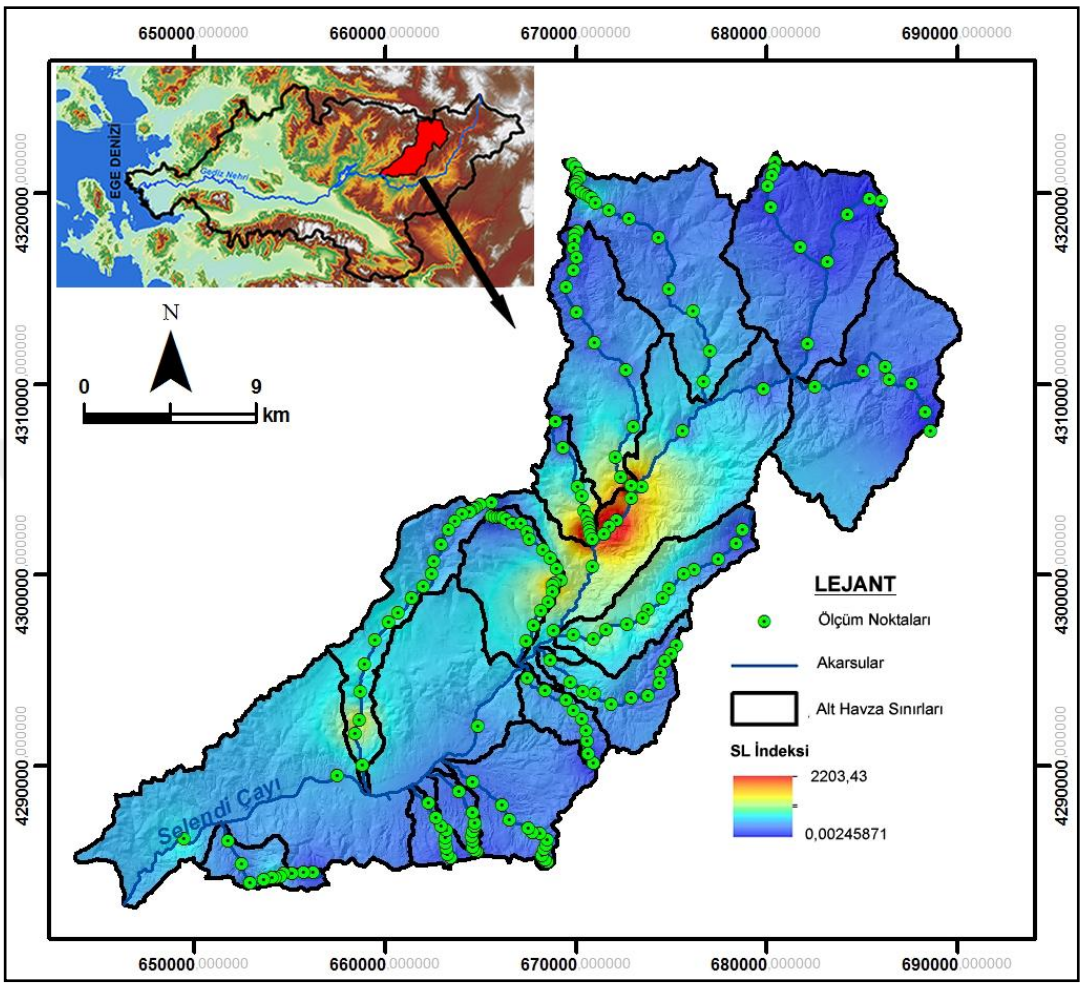
Bir akarsuyun belirli bir kolu için SL indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır (Hack, 1973):

$SL=(\mathrm{d}H/\mathrm{d}L)L$

Formüldeki dH hesaplanan kolun yükseklik değişimi, dL kolun uzunluğu ve L indeksin hesaplandığı yerden vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafedir.

Selendi Çayı Havzası SL İndeksi, eşyükselti eğrileri 40'ar metre aralıklarla baz alınarak oluşturulmuştur. Araştırma alanında Selendi Çayı ana kol olarak alınmış, ana kola katılan alt havzaların ana kolları da ayrı ayrı hesaplanmıştır. SL İndeksi hesaplanacak ölçüm noktaları bu şekilde belirlendikten sonra ArcGIS 10.2 ve ArcView yazılımları yardımıyla her bir noktanın SL İndeksi bulunmuştur. Son olarak IDW enterpolasyon ile SL İndeksi haritası elde edilmiştir. Enterpolasyon sonucu elde ettiğimiz haritada SL İndeksinin 0 ile 2203.43 değerleri arasında değişiklik gösterdiği ve özellikle havzanın orta kesimindeki değer artışı dikkat çekmektedir. Bu bölgede topografyadaki ani eğim farklılığı SL İndeks değerinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla SL İndeks değerinin yüksek olduğu bu bölgede akarsuların erozif faaliyetlerinin artacağı düşünülebilir (Şekil 7).

Şekil 7: Selendi Çayı Havzası SL İndeksi dağılışı.



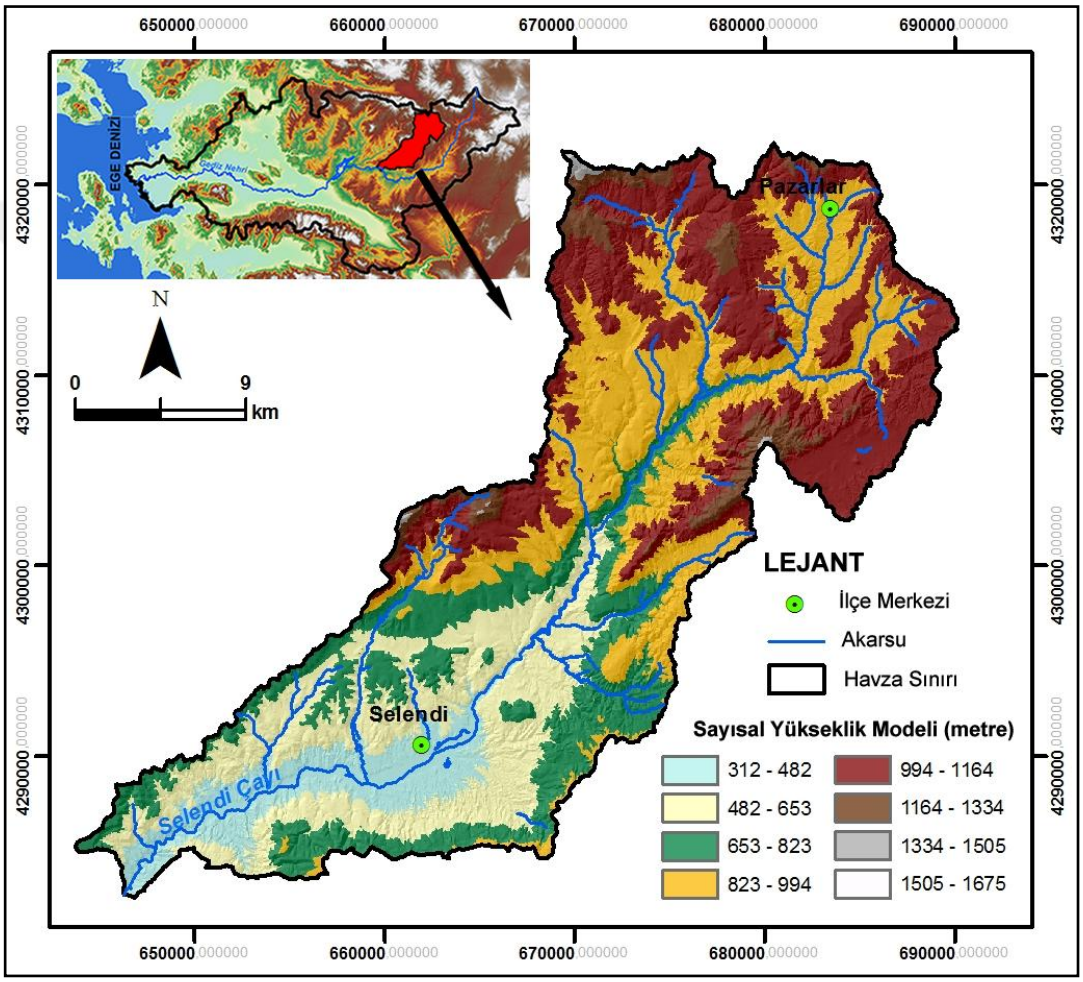
1.2.4. Lokal Rölyef Özellikleri

Araştırma alanının Sayısal Yükseklik Modeli'nden lokal rölyef formülü ile benzer yükselti farklarına sahip alanlar ortaya konulmuştur. Böylece havzada en yüksek ve en düşük yükseltilerin dağılışı ile ilgili veri elde edilmiştir.

Yaklaşık 712 km^2'lik bir alana sahip olan Selendi Çayı Havzası'nın farklı bölümleri değişik yükseklik, yükseklik farkı, rölyef enerjisi özelliklerine sahiptir. Kısa mesafelerde dahi farklı topografik özelliklere sahip olan araştırma alanının kendi içerisindeki bu farklılıkları, bölgesel özelliklerini ortaya koymak amacıyla lokal rölyef özellikleri incelenmiştir. Analizler için araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü SYM verisi kullanılmıştır. 100 x 100 metrelik gridler oluşturup her bir gridin kendi içerisinde detaylı yükseklik ve parçalanma analizleri yapılmıştır.

Mutlak rölyef (absolute relief), bir alanın deniz seviyesinden yüksekliğinin tam değerini verir (Bhunia vd., 2012). Araştırma alanında yükselti değerleri 317-1675 m arasında değişmektedir. Araştırma alanında en yüksek bölgeleri kuzeydeki dağlık alanlardayken en alçak bölgeleri güneyde vadi tabanındadır (Şekil 8).

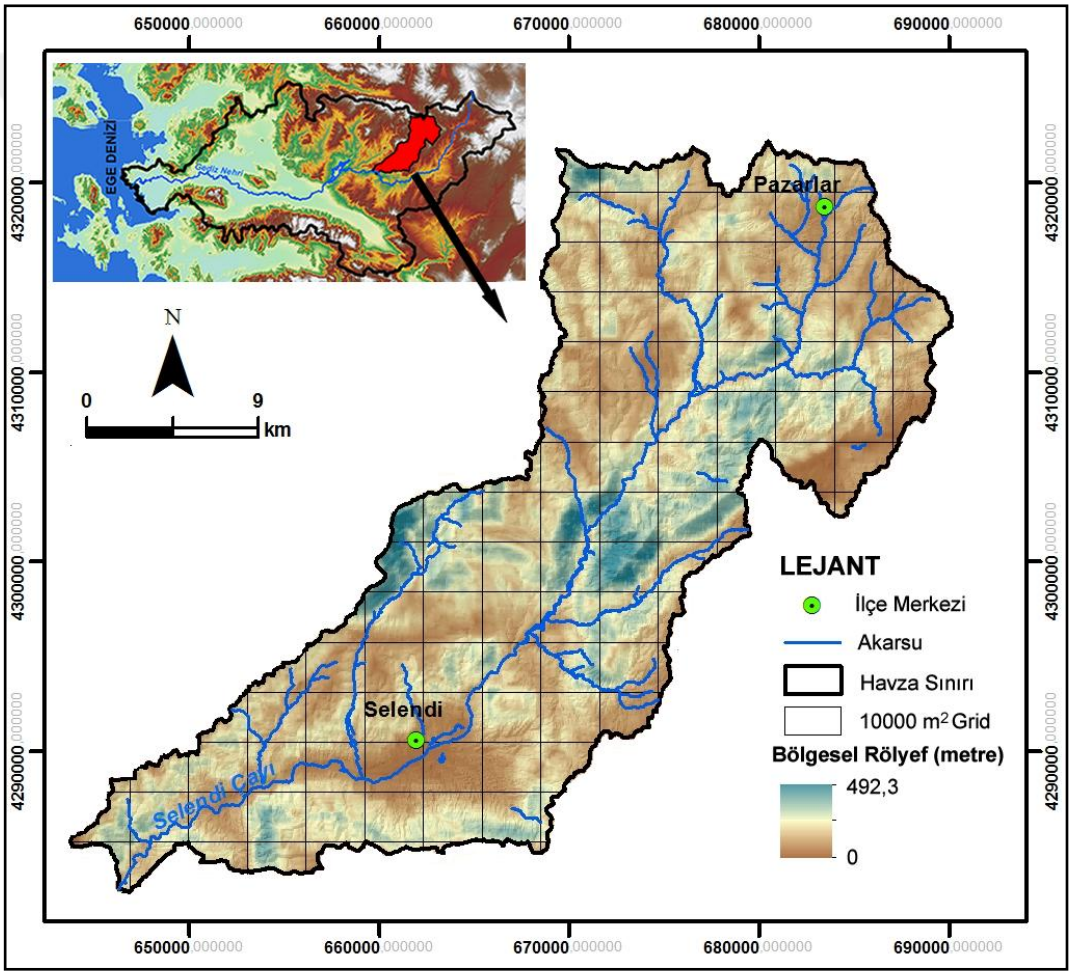
Şekil 8: Selendi Çayı Havzası'nın mutlak rölyefi.



Yüzeyin sınırlı bir alanını ifade eden lokal rölyef (local relief, relative relief) bu alan içerisindeki en yüksek ve en düşük yüksekliklerin arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bölgesel rölyefin belirli bir alanı ifade ettiği ve bu sebeple bazen göreceli rölyef (relative relief) olarak da adlandırıldığıdır (Mark, 1975). Çalışmada 10000 m^2 grid alanlar kullanıldığı için 10000 metrekarenin içinde kalan en yüksek ve en düşük yükselti değeri arasındaki farkı ifade etmektedir. Bölgesel rölyef erozyon için önemli bir özellik olan yükselti farkı hakkında bilgi verdiği için kullanılmıştır. Araştırma alanında lokal rölyef

değerlerinin arttığı alanlar daha çok havzanın orta kesimindeki dağlık sahalar ile kuzeybatısıdır. Lokal rölyef değerlerinin yüksek olduğu bu alanlarda kısa mesafelerdeki yükselti farkları, dolayısıyla topografyadan kaynaklanan erozyon duyarlılığı yüksektir. Havzanın güneyinde Selendi Çayı'nın vadi düzlüklerinde ve kısa mesafedeki yükselti farklarının az olduğu yerlerde lokal rölyef değerleri ve dolayısıyla topografyaya bağlı erozyon duyarlılığı düşmektedir (Şekil 9).

Şekil 9: Selendi Çayı Havzası'nda bölgesel rölyefin her 10000 m2 için mekansal dağılımı.



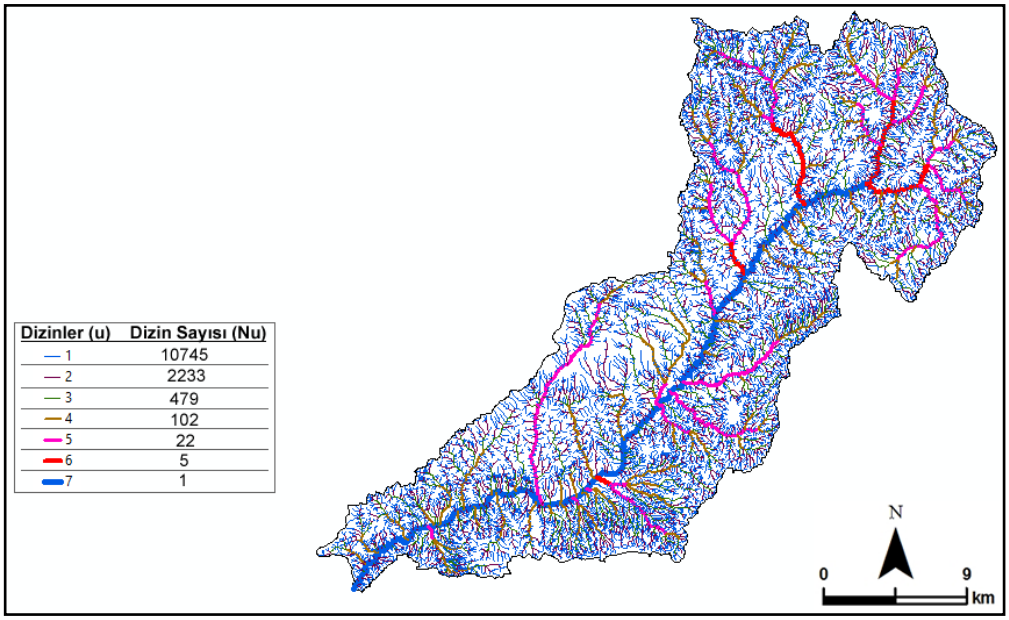
1.2.5. Akarsu Ağı ve Morfometrik Analizler

Bu bölümde SYM'den üretilmiş detaylı drenaj verisi kullanılarak araştırma alanının çizgisel, alansal ve relief morfometrik özelikleri değerlendirilmiştir. SYM'den üretilen akarsu ağı, topografya haritasından elde edilen akarsu verisinden daha detaylı bir drenaj verisi sağlamaktadır. SYM'den üretilen drenaj ağı, araştırma

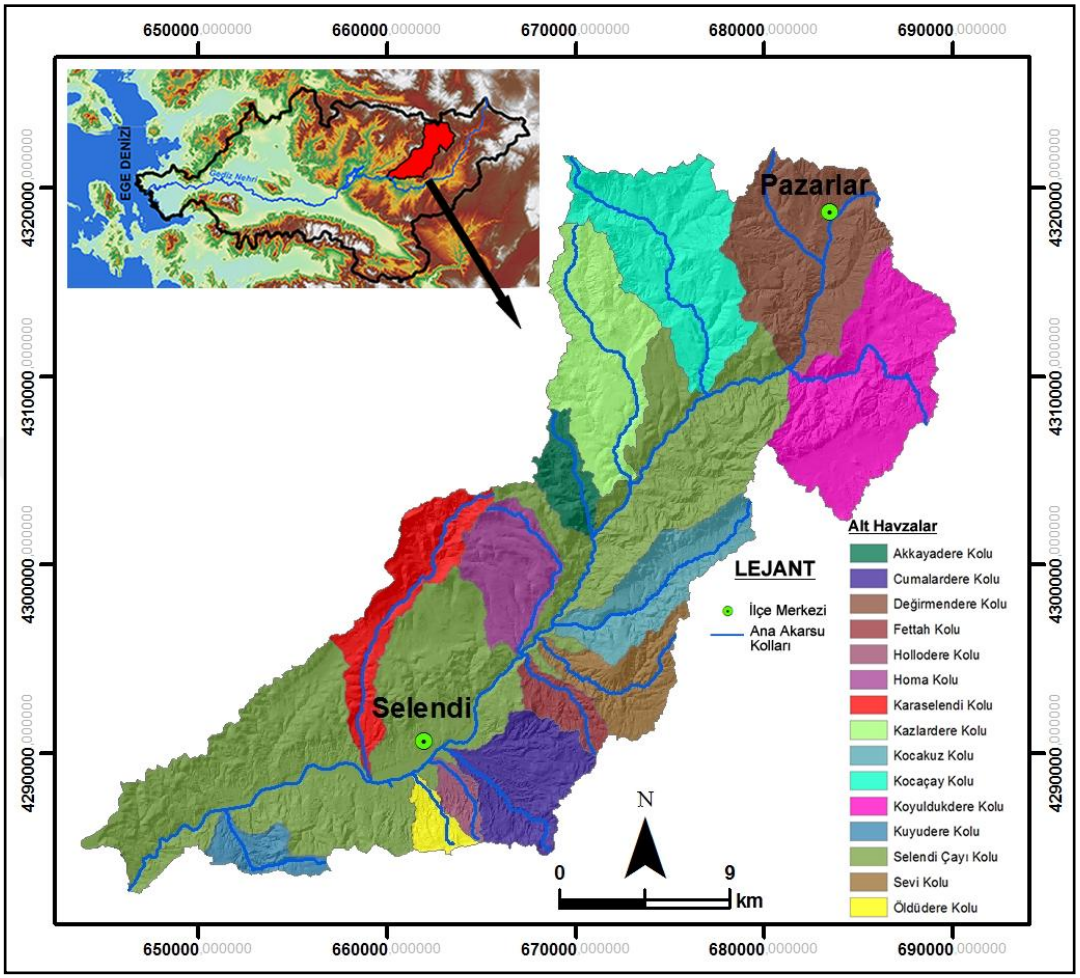
alanındaki kuru vadileri de içererek, potansiyeli ortaya koyduğu için tercih edilmiştir. Diğer bir deyişle yüzeye düşen suların kayba uğramadan yüzeysel akışa geçeceği maksimum potansiyeli SYM'den üretilen ayrıntılı drenaj ağı vermektedir. Erozyon, yağışın yüzeyde akmak suretiyle yaptığı değişiklikler olduğuna göre, yağışla birlikte akışın gerçekleştiği kuru vadilerin de analize katılması gerekmektedir. Bu da ancak SYM'den üretilecek yeterli ayrıntıyı veren drenaj verisi ile yapılabilir.

10 m çözünürlüklü SYM'den elde edilen drenaj ağının özelliklerini analiz etmek için Strahler (1964)'ün akarsu dizinleri yöntemi uygulanmıştır. 1'den 7'e kadar dizinler ayrılmıştır. Her bir dizinin toplam sayısı Şekil 10'da görülmektedir. Selendi Çayı Havzası 7. dereceden dizinin oluşturduğu bir havzadır. Kocaçay, Değirmendere, Koyuldukdere, Kazlardere, Cumalardere alt havzaları 6. dereceden dizinlerin oluşturduğu havzalar olmasına karşın, Kuyudere, Kara Selendi, Öldüdere, Hollodere, Fettah, Sevi, Kocakuz, Homa, Akkayadere 5. dereceden dizinlerin oluşturduğu althavzalardır (Şekil 11). Öncelikle havza genelinin ve alt havzaların temel morfometrik parametreleri olan alan, çevre uzunluğu, havza uzunluğu, minimum yükseklik, maksimum yükseklik, dizin sayıları ve dizin uzunlukları hesaplanmıştır (Tablo 6). Daha sonra bu akarsu ağıyla çizgisel, alansal ve relief morfometrik özellikler analiz edilip, sonuçlar Tablo 8-9-10'da verilmiştir.

Şekil 10: Araştırma alanında SYM'den üretilmiş drenaj ağının Strahler metoduna göre dizin sayıları.



Şekil 11: Selendi Çayı Havzası'nın ana alt havzaları.



Temel morfometrik parametreler olarak araştırma alanının çevre uzunluğu, alanı, havza uzunluğu, havza içerisindeki minimum ve maksimum yükselti değerleri ve akarsuların dizin sayısı (stream order) ile uzunlukları ölçülerek, elde edilen değerler Tablo 6 ve 7'de sunulmuştur. Selendi Çayı Havzası'nın toplam drenaj alanı 716.12 km^2'dir. Alt havzaların drenaj alanları ise 6.64 km^2'den (Hollodere) 252.41 km^2'ye (Selendi Çayı anakolu) kadar değişir. Çevre uzunluğu, drenaj havzası sınırının toplam uzunluğunu ifade etmektedir. Selendi Çayı Havzası'nın toplam çevre uzunluğu 185.42 km iken, alt havzaların çevre uzunluğu 188.45 km'den (Selendi Çayı anakolu) 13.75 km'ye (Hollodere) kadar değişiklik göstermektedir. Havza uzunluğu, ana akarsuya paralel olarak ölçülen, havzanın başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar olan maksimum uzunluğudur. Selendi Çayı Havzası'nın havza uzunluğu 55.17 km'dir. Alt havzalarda en uzun havza uzunluğu 52.49 km ile Selendi

alt havzasında ölçülürken, en kısa havza uzunluğu 4.85 km ile Öldüdere'nindir. Maksimum ve minimum yükseklik havza içindeki en yüksek ve en düşük yükseltiye sahip noktaların değerini ifade etmektedir. Selendi Çayı Havzası'nda maksimum yükseklik 1675 metre ile havzanın kuzeybatısındaki dağlık alandadır. Minimum yükseklik ise 317 metre ile havzanın güneybatısındaki ovalık alandadır (Tablo 6).

Tablo 6: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının temel morfometrik özellikleri.

Alt Havzalar	Çevre uzunluğu (km)	Alan (km^2)	Havza uzunluğu (km)	Minimum yükseklik (m)	Maksimum yükseklik (m)	Toplam dizin sayısı	Toplam dizin uzunluğu (km)
	P	A	L	H min	H max	Σ Nu	ΣL
Değirmendere	38.26	67.62	11.23	1275.81	814.99	1400	387.85
Kazlardere	43.59	52.83	14.51	1329.79	685.55	961	281.27
Kocaçay	47.77	66.38	12.89	1675.69	776.92	1565	403.48
Koyuldukdere	45.00	71.98	8.49	1433.58	815.07	1403	379.93
Akkayadere	20.53	13.30	7.23	1110.93	541.61	270	72.06
Karaselendi	44.78	34.77	17.81	1508.51	405.48	396	137.52
Kocakuz	33.82	33.01	13.11	1316.68	478.36	682	207.44
Sevi	30.88	24.01	8.20	991.36	467.91	559	145.29
Homa	24.88	28.49	8.65	1365.67	463.56	306	111.02
Fettah	18.37	11.37	6.80	861.87	462.94	250	66.80
Cumalardere	29.86	33.73	7.21	942.83	429.69	884	227.63
Hollodere	13.75	6.64	5.65	908.98	425.07	200	49.61
Öldüdere	15.04	7.73	4.85	901.87	419.68	230	56.03
Kuyudere	19.98	11.62	7.33	866.16	374.99	374	78.58
Selendi Çayı	188.45	252.41	52.49	1459.80	317.28	4207	1316.07
Havza Genel	185.42	716.12	55.17	1675.69	317.28	13687	3920.58

Selendi Çayı ana kol havzasını göz ardı edersek en fazla birinci dereceden kola sahip alt havzalar Kocaçay, Değirmendere, Koyuldukdere ve Kazlardere gibi Selendi Çayı Havzası'nın yukarı kesimindeki havzalardır. 1.dereceden kolların yukarı havzalarda yüksek çıkması akarsuyun yukarı bölümünde sel yarıntılarının çok etkili olduğunu göstermektedir (Tablo 7).

Genellikle maksimum dizin uzunlukları birinci dereceden kollarda görülmekte ve dizin dereceleri büyüdükçe uzunlukları azalmaktadır (Magesh vd., 2013). Bu kural Selendi Çayı Havzası için de geçerlidir (Tablo 7). Dizin uzunluklarının göreceli olarak daha kısa olması dik yamaçları ve geçirimli zemini ifade ederken, daha uzun olması ise düşük eğim değerlerini ifade etmektedir (Strahler, 1964). Bu durumu erozyon açısından değerlendirecek olursak dizin uzunlukları daha kısa olan havzalarda eğim değerleri fazla olacağı için erozyon duyarlılığı da fazla olacaktır.

Tablo 7: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının dizin sayıları ve dizin uzunlukları.

Alt havzalar	Dizin sayıları (Nu)								Dizin uzunluğu (Lu) (km)							
	Nu1	Nu2	Nu3	Nu4	Nu5	Nu6	Nu7	Σ Nu	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5	Lu6	Lu7	ΣLu
Değirmendere	1068	254	59	14	4	1	-	1400	212.58	99.08	42.75	13.28	13.65	6.49	0	387.85
Kazlardere	755	161	34	8	2	1	-	961	167.87	61.71	22.78	12.70	13.73	2.47	0	281.27
Kocaçay	1234	262	57	9	2	1	-	1565	241.81	88.26	41.74	15.71	8.35	7.61	0	403.48
Koyuldukdere	1080	252	54	13	3	1	-	1403	210.24	86.03	46.45	15.28	15.89	6.04	0	379.93
Akkayadere	215	43	9	2	1	-	-	270	45.20	12.63	7.12	4.72	2.39	0	0	72.06
Karaselendi	303	73	16	3	1	-	-	396	84.09	22.71	11.57	2.64	16.51	0	0	137.52
Kocakuz	527	123	28	3	1	-	-	682	120.98	46.50	26.11	5.42	8.44	0	0	207.44
Sevi	442	97	15	4	1	-	-	559	84.62	33.00	15.18	3.99	8.49	0	0	145.29
Homa	255	39	8	3	1	-	-	306	62.32	19.17	16.87	10.79	1.85	0	0	111.02
Fettah	195	40	11	3	1	-	-	250	37.91	14.93	5.73	4.71	3.58	0	0	66.80
Cumalardere	718	136	22	5	2	1	-	884	134.03	45.27	29.15	11.21	6.94	1.03	0	227.63
Hollodere	161	29	7	2	1	-	-	200	27.11	9.09	9.15	3.87	0.39	0	0	49.61
Öldüdere	182	38	7	2	1	-	-	230	29.85	12.85	7.43	5.14	0.76	0	0	56.03
Kuyudere	298	55	17	3	1	-	-	374	46.15	14.17	10.39	6.99	0.87	0	0	78.58
Selendi Çayı	3312	731	135	28	-	-	1	4207	756.95	298.06	152.16	55.23	0	0	53.66	1316.07
Havza Genel	10745	2333	479	102	22	5	1	13687	2261.71	863.46	444.58	171.68	101.84	23.64	53.66	3920.58

Araştırma alanının çizgisel morfometrik özellikleri kapsamında çatallanma oranı, uzunluk oranı, yüzeysel akış uzunluğu, tekstür oranı havza geneli ve alt havzalar için hesaplanmıştır (Tablo 8).

Çatallanma oranı, havzadaki bir akarsu dizininin toplam sayısının, bir üst akarsu dizini toplam sayısına oranı olarak ifade edilir (Strahler, 1964). Yeni kurulan bir akarsu şebekesi, başlangıç olan ana koldan itibaren birinci derece kolları, daha sonra ikinci üçüncü derece ve diğerleri ile artan bir sıklık göstererek gelişir ve dallanır (Turoğlu, 1997). Dolayısıyla çatallanma oranı akarsu şebekesinin ne kadar dallanıp, geliştiğinin ölçüsünü verir. Yüksek çatallanma oranı değerleri yüksek akım, olgun bir topografyayı gösterir veya dar vadilerin yer aldığı eğimi fazla kaya katmanlarının bulunduğu bölgelerde beklenir (Gajbhiye, vd., 2014). Selendi Çayı Havzası'nın genelinin ortalama çatallanma oranı 4.70 olmakla beraber alt havzalarda çatallanma oranı değerleri 3.80 (Fettah ve Hollodere) ile 5.25 (Kocakuzdere) arasında değişmektedir. Araştırma alanı içerisinde 5.25 ile en yüksek çatallanma oranı değerine sahip olan Kocakuzdere alt havzasının bu durumu onun diğer havzalara göre daha olgun olduğunu göstermektedir (Tablo 8).

Uzunluk oranı, bir akarsu dizininin toplam uzunluğunun bir sonraki akarsu dizini uzunluğuna oranı şeklinde ifade edilir (Horton, 1945). Akarsu uzunluğu, ardışık akarsu dizinleri arasında topografya ve eğim koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir ve dolayısıyla havzanın yüzeysel akışla suyunu boşaltmasında ve erozyonal durumunda önemlidir (Sreedevi vd., 2004). Araştırma alanı alt havzaları için uzunluk oranı 1.92'den 4.08'e kadar değişir ve havza geneli 2.26'dir (Tablo 8).

Alt havzalar arasında değerlerdeki farklılık havzalar arasındaki topografya ve özellikle eğim farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Yüzeysel akış uzunluğu, havzaya düşen yağışın akarsu kanallarına karışmadan önce zemin üzerinde katettiği yolun uzunluğudur ve drenaj yoğunluğu ile yakından ilişkilidir (Chorley, 1969). Yüksek yüzeysel akış uzunluğu değerleri yağışın akarsu kollarına karışmadan önce nispeten daha uzun bir mesafeden geçmesi gerektiğini gösterir (Chitra vd., 2011). Bununla birlikte düşük değerler ise yağışın hızlı bir şekilde akarsu kanallarına karışarak akıma geçeceğini göstermektedir (Ket-ord vd., 2013). Bu durumu erozyon ile ilgili değerlendirecek olursak havzaya düşen yağışın yüzeyde akışı ne kadar uzunsa erozyonu arttırıcı etkisi de o kadar fazla olacaktır. Selendi Çayı Havzası genelinin yüzeysel akış uzunluğu 0.09 iken, alt havzalarda bu değer 0.13 ile 0.07 arasında değişmektedir (Tablo 8).

Tablo 8: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının çizgisel morfometrik özellikleri.

Alt Havza Adı	Çatallanma Oranı (R_b)	Uzunluk Oranı (R_L)	Yüzeysel Akış Uzunluğu (l_o)	Tekstür Oranı (T)
	$R_b=N_u/N_{u+1}$	$R_L=L_u/L_{u+1}$	$L_o=1/2D$	$T= N_{u1}*(1/P)$
Değirmendere	4.04	2.15	0.09	27.92
Kazlardere	3.93	2.74	0.09	17.32
Kocaçay	4.43	2.10	0.08	25.83
Koyuldukdere	4.09	2.19	0.09	24.00
Akkayadere	4.07	2.21	0.09	10.47
Karaselendi	4.26	2.55	0.13	6.77
Kocakuz	5.25	2.46	0.08	15.58
Sevi	4.69	2.25	0.08	14.31
Homa	4.27	2.95	0.13	10.25
Fettah	3.80	1.92	0.09	10.61
Cumalardere	4.07	3.10	0.07	24.05
Hollodere	3.80	4.08	0.07	11.71
Öldüdere	3.93	3.06	0.07	12.10
Kuyudere	4.33	3.53	0.07	14.92
Selendi Çayı	4.92	2.42	0.10	17.58
Havza Genel	4.70	2.26	0.09	57.95

Tekstür oranı, Strahler (1964)'e göre birinci dereceden dizinlerin toplam sayısının havzanın çevre uzunluğuna oranı olarak ifade edilir. Bu değer havzalardaki litolojik özelliklere, yüzeyin geçirgenliğine, havzanın Güneş ışınlarını alış yönüne göre değişiklik gösterir. Tekstür oranı değerinin yüksek olması, ana akarsuya bağlanan birinci dereceden akarsu kollarının fazla olduğunu, az çıkması ise bu

kolların az olduğuna işaret eder. Dairesel havzalar daha yüksek tekstür oranı değerine sahipken, uzunlamasına havzalar daha düşük tekstür oranı değerine sahiptir. (Özdemir, 2011). Nitekim 6.77 ile en düşük tekstür oranı değerine sahip Karaselendi alt havzası şekil olarak uzunlamasına havza özelliğindeyken, 27.92 ile en yüksek tekstür oranı değerine sahip Değirmendere ise dairesel havza karakterindedir (Şekil 11, Tablo 8).

Araştırma alanının alansal morfometrik özellikleri kapsamında drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, havza şekli, uzunluk oranı ve gravelius indeks değerleri havza geneli ve alt havzalar için hesaplanmıştır (Tablo 9).

Drenaj yoğunluğu havzadaki toplam drenaj uzunluğunun havza alanına bölünmesiyle elde edilen erozyon açısından önemli bir göstergedir (Horton, 1945). Drenaj yoğunluğu, kayaçların aşınıma direnci, arazinin infiltrasyon kapasitesi ve klimatik koşullar gibi birçok faktör tarafından yönetilen flüvyal parçalanmanın derecesini verir (Verstappen, 1983). Drenaj yoğunluğu değerlerinin düşük olduğu havzalar yüzeysel akışa geçen suların yeraltına sızdığı, yüzeysel akışın düşük, infiltrasyon kapasitesinin büyük olduğu; buna karşılık drenaj yoğunluğu değerlerinin yüksek olduğu havzalar ise yüzeysel akışın yüksek, yüzeysel akışa bağlı aşındırmanın egemen olduğu özelliktedir (Patton, 1988). Araştırma alanında drenaj yoğunluğu 7.47 (Hollodere) ile 3.95 (Karaselendi) arasında değişmektedir (Tablo 9).

Horton (1945) tarafından tanımlanan akarsu sıklığı, havza içerisindeki toplam akarsu dizin sayısının havza alanına bölünmesiyle elde edilir. Akarsu sıklığı değerlerinin yüksek olması zeminin geçirgen olmadığı, vejetasyonun seyrek ve rölyef özelliklerinin yüksek olduğuna işaret eder. Akarsu sıklığı değerlerinin düşük olması ise zeminin geçirgen ve rölyefin alçak olduğunu gösterir (Özdemir, 2011). Araştırma alanında en yüksek akarsu sıklığı değeri 32.20 ile Kuyudere alt havzasındayken, en düşük akarsu sıklığı 10.74 ile Homadere alt havzasındadır (Tablo 9).

Havza şekli, uzunluk oranı ve gravelius indeks havzaların şekil özellikleri ile ilgili bilgiler veren hesaplamalardır. Havza şekli, havza alanının maksimum havza uzunluğunun karesine oranıdır (Horton, 1945). Schumm (1956) tarafından

tanımlanan uzunluk oranı, havzayla aynı alana sahip bir dairenin çapıyla havzanın maksimum uzunluğu arasındaki oranı ifade eder. Düşük uzunluk oranı değerleri yüksek geçirgenliğin olduğu ve düşük yüzeysel akış şartlarının olduğu alanları gösterirken, yüksek uzunluk değerleri ise erozif faaliyetlerin ve sediment taşınımının fazla olduğu havza özelliklerini ortaya koyar (Reddy, vd., 2004). Araştırma alanında en yüksek uzunluk oranı 1.13 ile Koyuldukdere'ye aittir. Selendi Çayı'nın anakoluna ait alt havza (0.34) ile Karaselendi althavzasında (0.37) ise uzunluk oranı değerleri çok düşük olup, havzalar uzunlamasına havza özelliği taşır (Tablo 9).

Havza şekli hakkında bilgi veren diğer bir analiz olan gravelius indeks değeri küçüldükçe havzaların dairesel özellik kazandığıyla ilgili bilgi verir (Özdemir, 2011). Nitekim araştırma alanınında gravelius indeks değeri en yüksek olan havza uzunlamasına bir şekle sahip olan Karaselendidir. En düşük gravelius indeks değeri ise Değirmendere'ye aittir (Tablo 9).

Tablo 9: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının alansal morfometrik özellikleri.

Alt Havza Adı	Drenaj Yoğunluğu (D_d)	Akarsu Sıklığı (F_s)	Havza Şekli (R_F)	Uzunluk Oranı (R_e)	Gravelius indeks (Kg)
	$D_d=\Sigma L/A$	$F_s=N/A$	$R_F=A/L_b^2$	$Re=2/Lm*(A/\pi)^{0.5}$	$Kg=P/\sqrt{\pi}*A$
Değirmendere	5.74	20.70	0.54	0.83	1.31
Kazlardere	5.32	18.19	0.25	0.57	1.69
Kocaçay	6.08	23.58	0.40	0.71	1.65
Koyuldukdere	5.28	19.49	1.00	1.13	1.50
Akkayadere	5.42	20.30	0.25	0.57	1.59
Karaselendi	3.95	11.39	0.11	0.37	2.14
Kocakuz	6.28	20.66	0.19	0.49	1.66
Sevi	6.05	23.28	0.36	0.67	1.78
Homa	3.90	10.74	0.38	0.70	1.32
Fettah	5.88	22.00	0.25	0.56	1.54
Cumalardere	6.75	26.21	0.65	0.91	1.45
Hollodere	7.47	30.13	0.21	0.51	1.51
Öldüdere	7.25	29.75	0.33	0.65	1.53
Kuyudere	6.76	32.20	0.22	0.52	1.65
Selendi Çayı	5.21	16.67	0.09	0.34	3.35
Havza Genel	5.47	19.11	0.21	0.54	1.95

Araştırma alanının relief morfometrik özellikleri kapsamında havza rölyefi, rölyef oranı, engebelilik değeri, akım toplanma zamanı, hipsometrik integral değerleri havza geneli ve alt havzalar için hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 10'da sunulmuştur.

Havza rölyefi havzanın en yüksek ve en alçak noktası arasındaki yükselti farkıdır. Havza rölyefi akış gradyanını etkilediği için taşkınları ve akarsuların taşıdıkları sediment miktarlarını etkilemektedir (Hadley ve Schumm, 1961). Selendi Çayı Havzası geneli için havza rölyefi değeri 1358.41 m'dir. Alt havzalarda ise bu değer 398.93 m ile 1142.52 m arasında değişmektedir. Araştırma alanında yükselti farklarının çok olmasından dolayı havza rölyefi değerleri yüksektir (Tablo 10).

Rölyef oranı, havzadaki maksimum yüksekliğin ana akarsuya paralel olan maksimum havza uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir (Schumm, 1956). Drenaj havzasının genel dikliğini ölçer ve erozyonal süreçlerin yoğunluğunun bir göstergesidir (Babu, vd., 2014). Selendi Çayı Havzası geneli için bu değer 0.02 iken, onbeş alt havzanın rölyef oranı değeri Tablo 10'da verilmiştir.

Engebelilik değeri, havza rölyefi ile drenaj yoğunluğunun çarpımıdır (Melton, 1957). Yüksek engebelilik değerinin olduğu alanlar, su kaybının az olduğu ve yüzeysel akış şartlarının uygun olduğu alanları gösterir (Baker vd., 2002; Ritter vd., 1995). Dolayısıyla engebelilik değerinin yüksek olduğu havzalarda erozif faaliyetler hız kazanır. Selendi Çayı Havzası'nın engebelilik değeri 7.43 olup, alt havzalarda bu değer 5.95 (Selendi Çayı) ile 2.35 (Fettah) arasında değişmektedir.

Tablo 10: Selendi Çayı Havzası ve alt havzalarının relief morfometrik özellikleri.

Alt Havza Adı	Havza Rölyefi (B_h)	Rölyef Oranı (R_h)	Engebelilik Değeri (R_n)	Akım Toplanma Zamanı (T_c)	Hipsometrik İntegral (H_i)
	$B_h=H_{max}-H_{min}$	$R_h=H/L$	$R_n=B_h*D_d$	$T_c=0.0195*^{L0.77}/S^{0.385}$	$Hi=H-H_{min}/H_{max}-H_{min}$
Değirmendere	460.82	0.04	2.65	124	0.40
Kazlardere	644.24	0.04	3.43	135	0.48
Kocaçay	898.77	0.07	5.46	124	0.32
Koyuldukdere	618.51	0.07	3.27	100	0.36
Akkayadere	569.32	0.08	3.09	57	0.72
Karaselendi	1103.03	0.06	4.36	126	0.41
Kocakuz	838.32	0.06	5.26	108	0.45
Sevi	523.45	0.06	3.17	91	0.58
Homa	902.11	0.10	3.52	72	0.43
Fettah	398.93	0.06	2.35	61	0.52
Cumalardere	513.14	0.07	3.46	70	0.41
Hollodere	483.91	0.09	3.61	43	0.23
Öldüdere	482.19	0.10	3.50	36	0.41
Kuyudere	491.17	0.07	3.32	57	0.44
Selendi Çayı	1142.52	0.02	5.95	515	0.32
Havza Genel	1358.41	0.02	7.43	590	0.38

Akım toplanma zamanı, suyun havzanın en uzak mesafesinden ana kola veya denize döküldüğü yere kadar geçen zamanı ifade eder (Verstappen, 1983). En yüksek akım toplanma zamanı değeri havza genelindedir (590). Alt havzalarda ise bu değer 36 (Öldüdere) ile 515 (Selendi Çayı) arasında değişiklik göstermektedir (Tablo 10).

1.2.6. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral

Bir havzanın hipsometrik eğrisi, farklı yükselti sınıflarına göre drenaj alanlarının yükseklik/alan dağılımını verir. Hipsometrik eğri grafiğini oluşturan değerler, bir havza içindeki herhangi bir yüksekliğin (h) üzerinde kalan alanın tüm havzasının alanına oranı (a/A=rölatif alan) ve (h) değeri ile havzanın en yüksek kotunun oranının (h/H=rölatif yükseklik) karşılaştırılması ile elde edilmektedir (Strahler, 1952). Hipsometrik eğrinin altında kalan alan ise hipsometrik integrali oluşturmakta ve havzadaki yükseklik değişimlerinin ortalama değere göre konumunu ifade etmektedir (Keller ve Pinter, 2002). Hipsometrik integral değeri havzanın morfolojik evrimin hangi aşamasında olduğu hakkında ipucu veren sayısal değerler olup, bu değer 1'e yakın ise havzanın genç olduğunu 0'a yakın ise havzanın olgun olduğunu göstermektedir (Strahler, 1952). Hipsometrik eğri ve hipsometrik integraller havzanın aşınım durumunun önemli göstergeleridir (Ritter vd., 2002). Hipsometrik integral değerlerindeki ve eğrinin şeklindeki farklılıklar tektonik etkiler ve erozyonun dengesindeki eşitsizliğin derecesi ile ilgilidir (Weissel, 1994). Dışbükey bir eğri ile karakterize edilen hipsometrik eğriler >0.60'dan hipsometrik integral değeri ile genç aşamanın durumunu gösterirler. Dışbükeyliği kalmamış, "S" şekilli eğri, 0.35 ve 0.60 arasındaki hipsometrik integral değeriyle olgun aşamayı ve eğrinin iç bükeyliği <0.35 integral değeriyle yaşlı aşamasını gösterir (Willgoose ve Hancock, 1998). Hipsometrik eğrinin bu şekilleri aynı zamanda havzanın erozyon durumunun da bir göstergesi olan arazinin evriminin aşamalarını ifade etmektedir (Hurtrez vd., 1999). Hipsometrik integral, hidrolojik süreçlere ve arazi degradasyon faktörlerine bağlı olarak jeolojik süreçte havzanın erozyon durumunu açıklamaya yardım eder (Bishop vd., 2002).

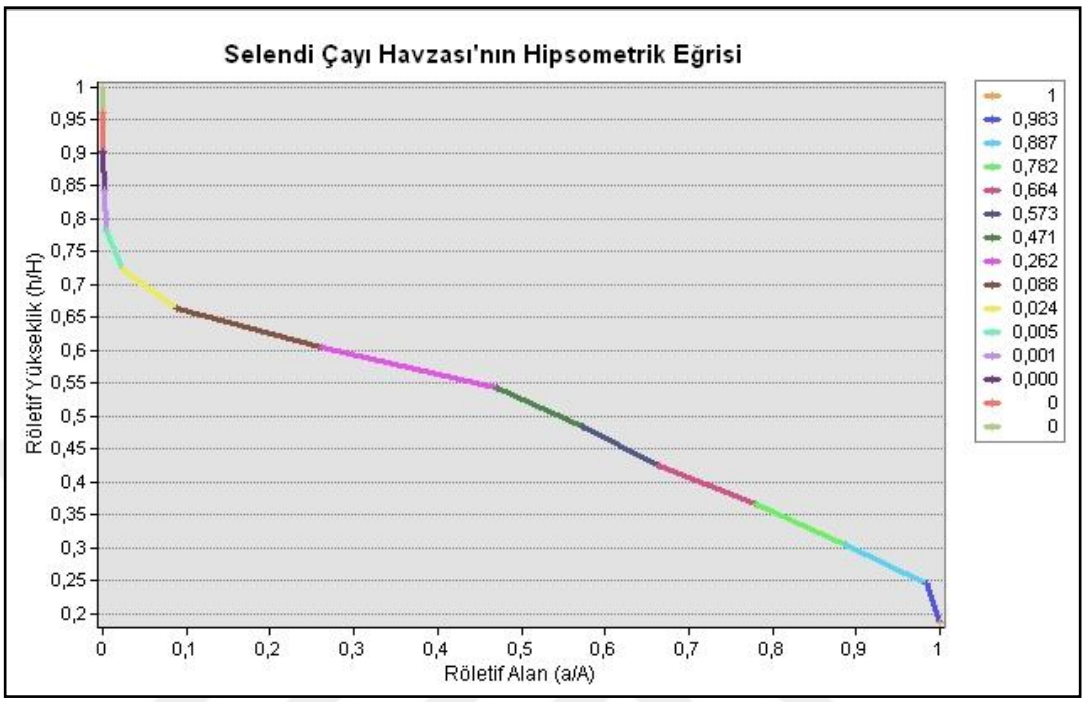
Hipsometrik integral değeri, toprak ve su koruma ölçümleri için havzanın önceliğinin belirlenmesinde havza erozyon durumunu tahmin etmede kullanılabilmektedir (Singh vd., 2008). Dolayısıyla araştırma alanının aşındırma

etmen ve süreçleri içerisinde hangi aşamada olduğunun belirlenebilmesi için havza genelinin ve alt havzaların hipsometrik eğri değerleri ile integralleri hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Bu analizler sonucunda araştırma alanının aşındırma etmen ve süreçleri içerisinde hangi devrede olduğu konusunda sayısal değerler elde edilerek, alt havzalar kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Hipsometrik eğrilerin ve integral değerlerinin karşılaştırılması sonucu Akkaya, Sevi ve Fettah alt havzalarının erozyon duyarlılığının nispeten fazla olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü diğer alt havzalara göre daha yüksek olan hipsometrik integral değerleri sahip bu havzaların daha genç olduklarını işaret etmektedir. Düşük hipsometrik integral değerine sahip Kocaçay, Hollodere ve Selendi Çayı anakolunda ise havzalar yaşlılık aşamasında olup, erozyon duyarlılığı diğer alt havzalara nispeten düşüktür (Tablo 12, Şekil 13). Havza geneli ise 0.38 integral değeri ve dışbükeyliğini henüz yitirmiş "S" harfine benzemeye başlayan hipsometrik eğriden anlaşılacağı üzere olgunluk safhasının başlarındadır (Tablo 12, Şekil 12).

Tablo 11: Selendi Çayı Havzası hipsometrik eğri için veri değerleri.

Yükseklik (h)	Max. Yükseklik (H)	Alan (a) (Yüzey Alanı) m^2	Havza Alanı (Yüzey Alanı) (A) m^2	Rölatif Yükseklik (h/H)	Rölatif Alan (a/A)
312	1676	742612707.28	742612707.28	0.19	1.00
412	1676	730338588.77	742612707.28	0.25	0.98
512	1676	659033986.83	742612707.28	0.31	0.89
612	1676	580367640.2	742612707.28	0.37	0.78
712	1676	493155738.35	742612707.28	0.42	0.66
812	1676	425819710.74	742612707.28	0.48	0.57
912	1676	349983349.23	742612707.28	0.54	0.47
1012	1676	194791662.59	742612707.28	0.60	0.26
1112	1676	65067527.75	742612707.28	0.66	0.09
1212	1676	17712863.11	742612707.28	0.72	0.02
1312	1676	3521574.99	742612707.28	0.78	0.00
1412	1676	1067922.93	742612707.28	0.84	0.00
1512	1676	222226.73	742612707.28	0.90	0.00
1612	1676	30182.88	742612707.28	0.96	0.00
1676	1676	0	742612707.28	1.00	0.00

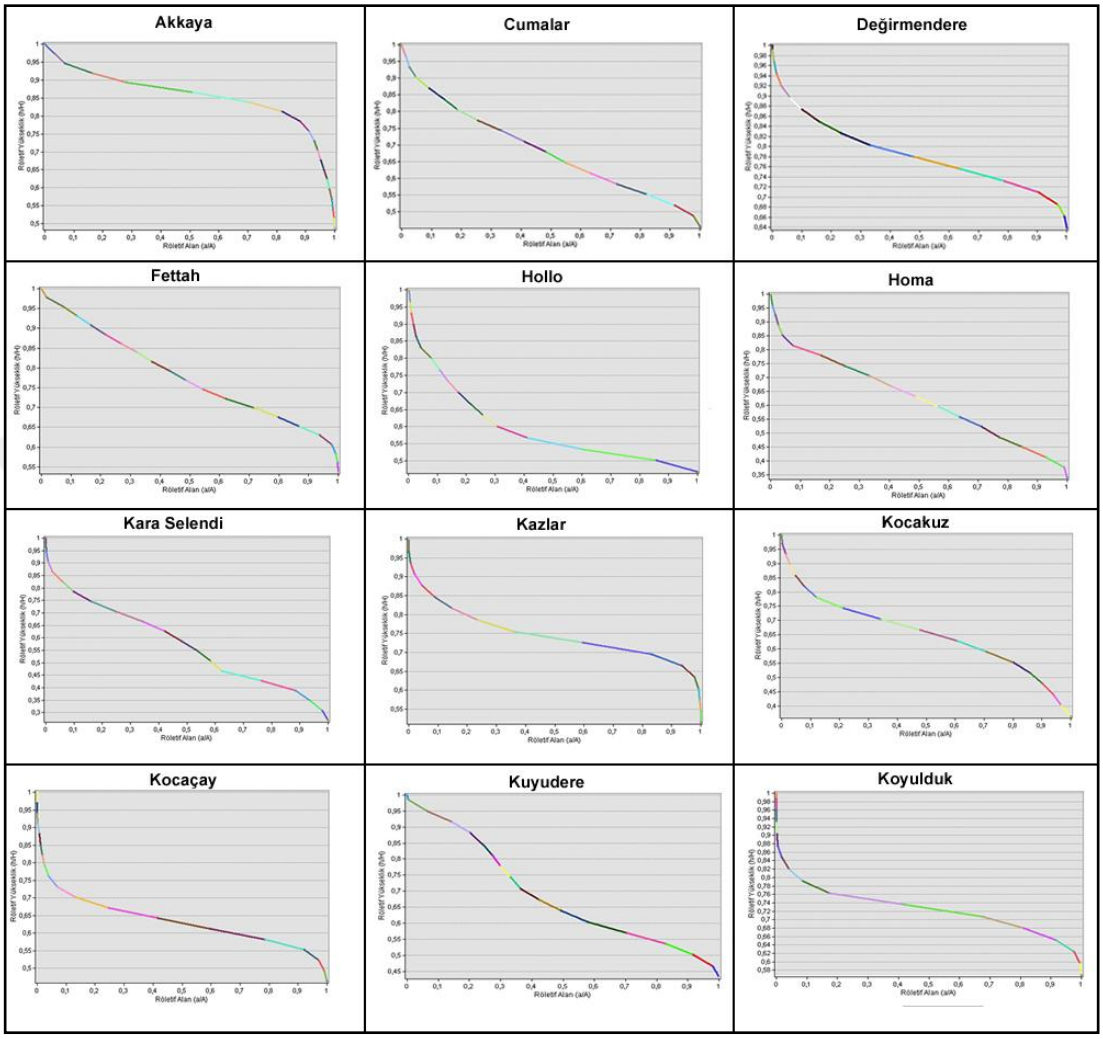
Şekil 12: Selendi Çayı Havzası hipsometrik eğrisi.



Tablo 12: Alt havzaların hipsometrik integral değerleri.

Alt Havzalar	Alanı (km^2)	Maksimum Yükseklik (m)	Minimum Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Hipsometrik Integral	Jeomorfolojik Durum
Değirmendere	67.62	1275.81	814.99	999.87	0.40	Olgun
Kazlardere	52.83	1329.79	685.55	993.98	0.48	Olgun
Kocaçay	66.38	1675.69	776.92	1061.35	0.32	Yaşlı
Koyuldukdere	71.98	1433.58	815.07	1039.10	0.36	Olgun
Akkayadere	13.30	1110.93	541.61	949.74	0.72	Genç
Karaselendi	34.77	1508.51	405.47	858.18	0.41	Olgun
Kocakuz	33.01	1316.68	478.36	856.36	0.45	Olgun
Sevi	24.01	991.36	467.91	769.31	0.58	Olgun
Homa	28.49	1365.67	463.56	848.96	0.43	Olgun
Fettah	11.37	861.87	462.94	670.29	0.52	Olgun
Cumalardere	33.73	942.83	429.69	640.89	0.41	Olgun
Hollodere	6.64	908.98	425.07	536.04	0.23	Yaşlı
Öldüdere	7.73	901.87	419.68	617.94	0.41	Olgun
Kuyudere	11.62	866.16	374.99	593.19	0.44	Olgun
Selendi Çayı	252.41	1459.8	317.28	688.27	0.32	Yaşlı
Havza Genel	716.12	1675.69	312.43	832.98	0.38	Olgun

Şekil 13: Selendi Çayı Havzası alt havzalarının hipsometrik eğrileri.



1.3. İklim Özellikleri

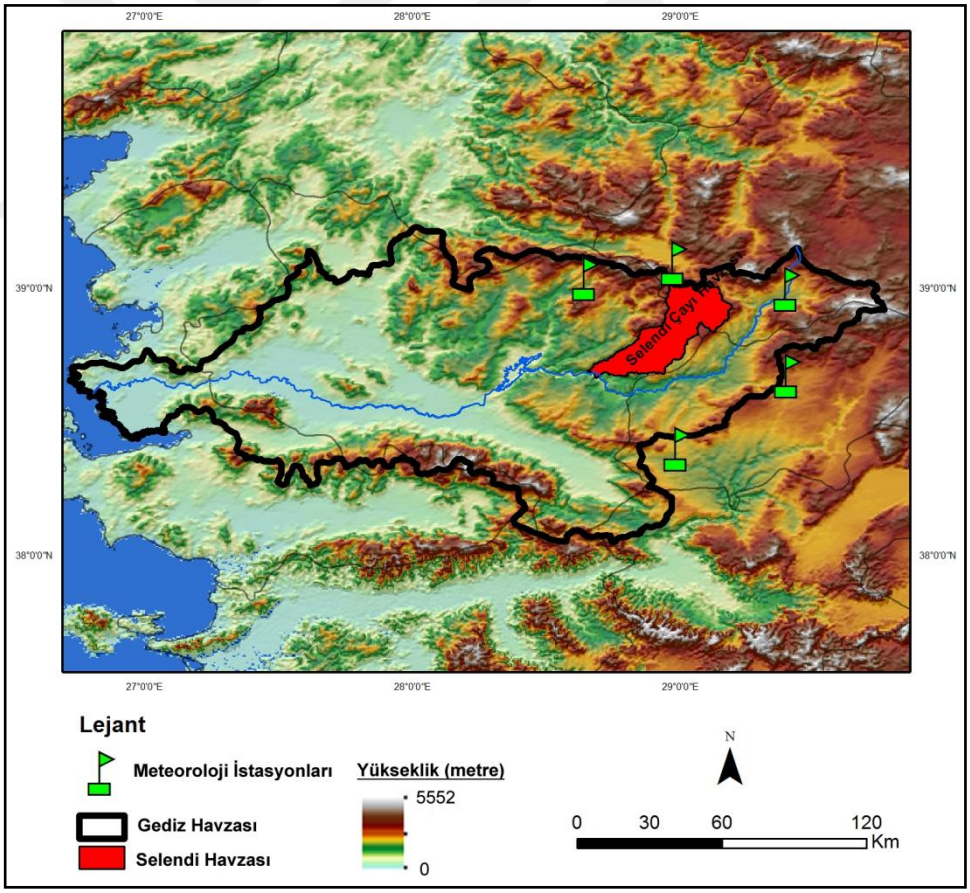
Selendi Çayı Havzası'nın iklim özellikleri incelenirken bir takım zorluklarla karşılaşılmıştır. Araştırma alanı sınırları içerisinde iklim analizlerinde kullanılabilecek kadar uzun kayıt yapan meteoroloji istasyonu bulunmamaktadır. Bu nedenle araştırma alanının erozyon duyarlılığını ilgilendiren iklim özellikleri Uşak, Simav, Gediz, Demirci ve Eşme Meteoroloji İstasyonları'nın rasat verilerinden yararlanılarak analiz edilmiş, sonuçlar tablo, grafik ve haritalarla aşağıdaki başlıklar çerçevesinde ele alınmıştır. Araştırma alanı sınırları içerisinde bulunan tek istasyon olan Selendi Meteoroloji İstasyonu'nun yalnızca 1985-1990 periyoduna ait verileri yeterince temsil edici olmayacağı için analizlere katılmamıştır. Bakı ve yükselti faktörleri göz önünde bulundurularak araştırma alanını daha iyi temsil edeceği

düşünülen Uşak, Simav, Gediz, Demirci, Eşme Meteoroloji İstasyonları'nın günlük toplam yağış miktarı, günlük minimum sıcaklık, günlük maksimum sıcaklık, günlük ortalama sıcaklık ve günlük maksimum-minimum sıcaklık farkı verileri alınmıştır (Tablo 13, Şekil 14).

Tablo 13: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler.

İSTASYON ADI	VERİ YILLARI	YÜKSEKLİK (m)	ENLEM	BOYLAM
UŞAK	1960-2011	919	38° 67' K	29° 40' D
SİMAV	1960-2011	809	39° 09' K	28° 97' D
GEDİZ	1972-2011	736	38° 99' K	29° 40' D
DEMİRCİ	1992-2011	855	39° 03' K	28° 64' D
EŞME	1986-1993	810	38° 39' K	28° 98' D

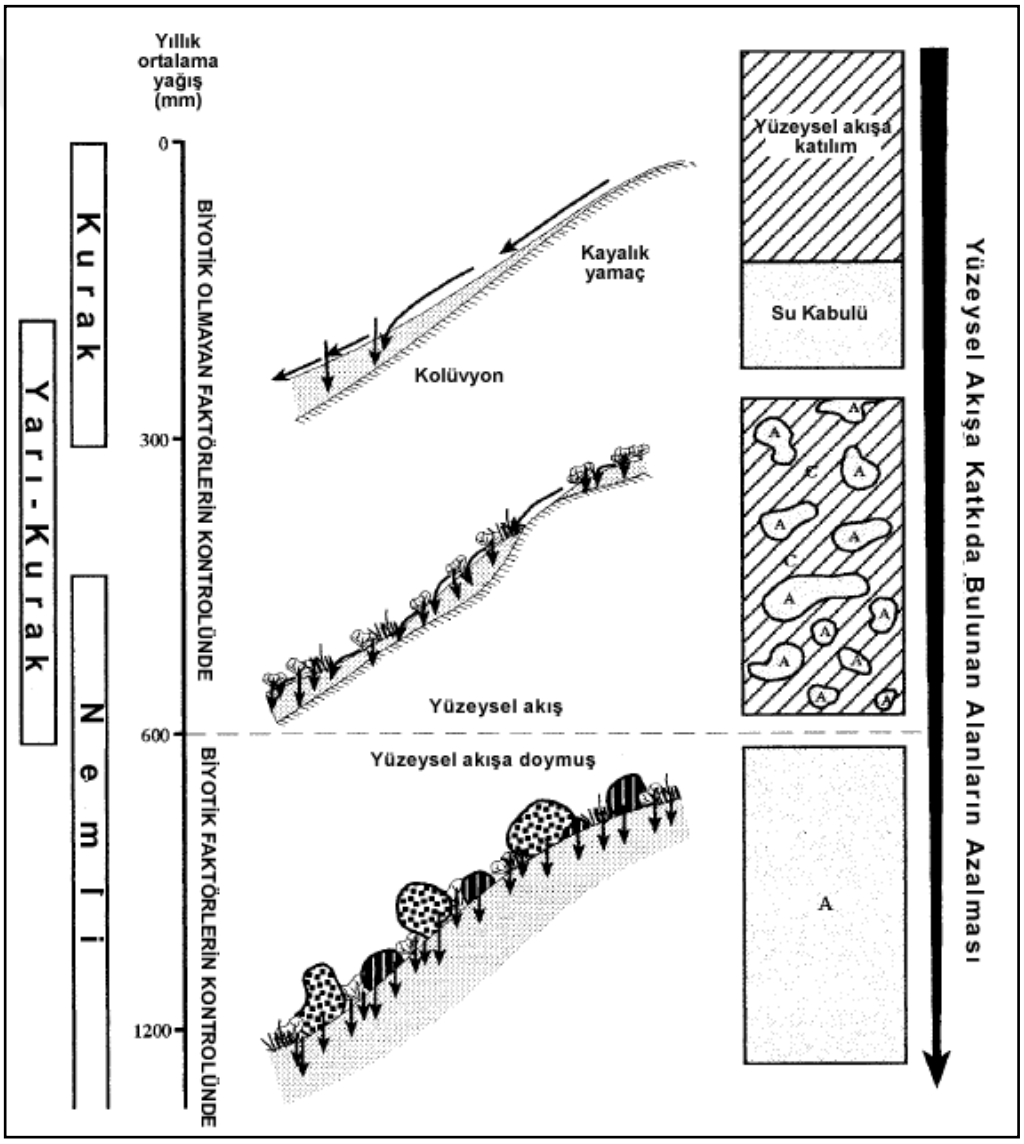
Şekil 14: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının konumu.



Şekil 15'de suyun kurak, yarıkurak ve nemli iklim koşulları altındaki bölgelerde yüzeye düştükten sonraki dağılış süreçleri ve mekansal şekilleri gösterilmektedir. Şekil 15'ten anlaşıldığı üzere nemli iklim koşullarından kurak

iklimlere doğru gidildikçe yüzeysel akış artmaktadır. Yüzeysel akışın artması ise erozyonu pozitif yönde etkileyen bir durumdur. Araştırmada kullanılan istasyonların yıllık ortalama yağış miktarları 394 mm'den 819 mm'ye kadar değişmektedir. Ortalama olarak 588 mm yıllık yağış miktarına sahip araştırma alanı bu grafiğin yarı-kurak, kısmen nemli bölümüne tekabül etmektedir. Dolayısıyla araştırma alanının sahip olduğu iklim koşulları kurak bölgeler kadar olmasa da yüzeysel akışı ve buna bağlı olarak erozyon duyarlılığını arttırıcı özelliktedir.

Şekil 15: Farklı iklim koşulları altında yağışın yüzeydeki dağılışı.



Kaynak: Lavee vd. (1998)'den düzenlenerek kullanılmıştır. (Şekildeki **A:** Suyun sızdığı alanlar **C:** Suyun yüzeysel akışa geçtiği alanlar.)

1.3.1. Sıcaklık

Ege Bölgesi'nde dağların denize dik olarak doğu batı doğrultusunda uzanması Ege Denizi'nin ılıman etkilerinin iç kısımlara sokulmasını kolaylaştırır (Koçman, 1993a). Ortalama yükseltisi 832 metre olan Selendi Çayı Havzası'nda dağlar kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanmakta olup en yüksek yerinde 1675 m'yi bulur. Havzanın alçak kesimleri ile dağ kütleleri arasında yükseltiye bağlı olarak her mevsimde sıcaklık farklarının görülmesi doğaldır.

Selendi Çayı Havzası batısındaki Ege Denizi'nden yaklaşık 200 km kadar uzak olmakla birlikte bölgede dağların uzanış şeklinden dolayı deniz etkilerini kısmen de olsa alır. Özellikle kış mevsiminde Ege Denizi'nin ılıman etkilerinin iç kısımlara kadar sokulması, İç Anadolu'dan kaynaklanan soğuk hava kütlelerinin etkisini hafifletir. Ancak sıcaklık koşullarında yükseltiye bağlı olarak deniz seviyesine göre düşük değerler görülmektedir (Koçman, 1993a). Nitekim araştırmada kullanılan istasyonların yıllık ortalama sıcaklıkları 11.9 ile 14.1 ^{o}C arasında değişir. Araştırma alanının termik rejim tablosunu incelediğimizde, en düşük sıcaklıkların Ocak ayında görüldüğü, sıcaklık değerlerinin Mart ayından itibaren hızlı bir artış göstererek en yüksek değerlere Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşıldığı, Eylül ayından itibaren ise Ocak ayına kadar sıcaklık değerlerinde düşme meydana geldiği görülmektedir. Aylık ortalama sıcaklıklar 2.4 ^{o}C (Ocak) ile 25.4 ^{o}C (Ağustos) değerleri arasında değişmektedir (Tablo 14, Şekil 16).

Termik rejim diyagramlarını[1] genel olarak değerlendirecek olursak Ocak ve Şubat ayları arasında çok az bir sıcaklıklık yükselmesi, Mart ve hatta Nisan'dan Temmuz ayına kadar belirli ve hızlı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Temmuz-Ağustos ayları arasında az bir farkla sıcaklık düşmesi görülmekle birlikte sıcaklık değerleri yüksek kalmaktadır. Eylül'den itibaren Ocak ayına kadar sıcaklıkta hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında sıcaklık 20 ^{o}C'nin üstünde olup Mayıs'tan Eylül'e kadar sıcaklık değerleri yıllık ortalamanın üzerinde kalmaktadır (Tablo 14, Şekil 16).

[1] Sıcaklığın yıl içerisinde veya mevsimler arasında gösterdiği değişmelere "termik rejim" denilir. Sıcaklığın yıl içindeki bu gidişini göstermek için "termik rejim diyagramları" çizilmektedir (Ardel vd., 1969).

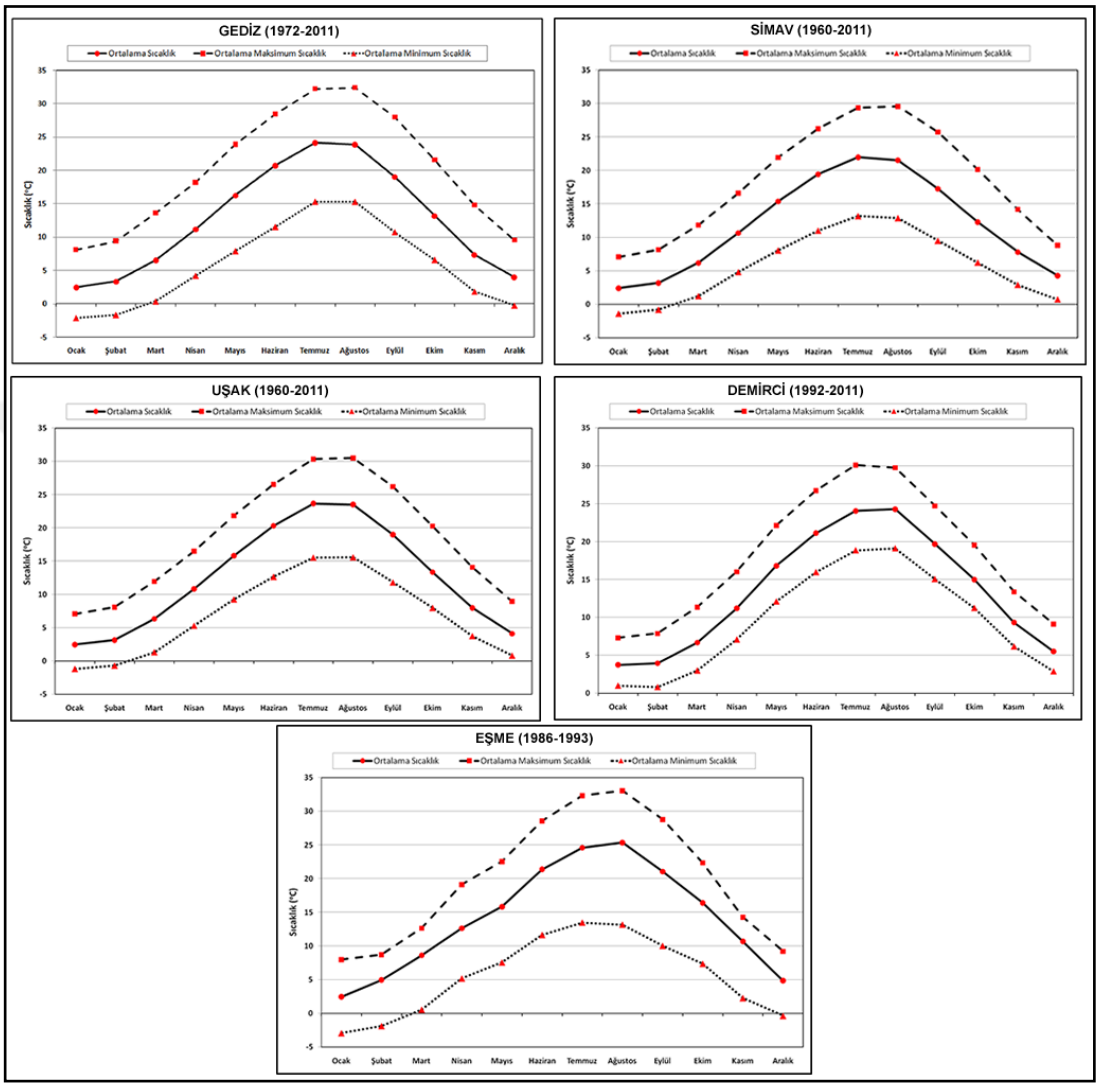
Yıllık ortalama sıcaklık farkı yani aylık ortalama sıcaklığın en yüksek (Ağustos: 25.4 ^{o}C) ve en düşük (Ocak: 2.4 ^{o}C) olduğu aylar arasındaki fark 22.9 ^{o}C'dir. Araştırmada kullanılan istasyonların yıllık ortalama sıcaklık fark değerleri, Simav'da 19.6 ^{o}C, Demirci'de 20.5 ^{o}C, Uşak'ta 21.2 ^{o}C, Gediz'de 21.7 ^{o}C ve Eşme'de 22.9 ^{o}C'dir. Sıcaklık farklarının pek yüksek olmaması araştırma alanında denizelliğin nispeten etkili olduğuna ve sıcaklığın kış mevsiminde aşırı düşük değerler göstermediğine işaret eder.

Bu değerlere göre araştırma alanında, yüksek yerler dışında yazları sıcak olan, kışları aşırı soğuk geçmeyen bir termik rejim tipi etkilidir. En soğuk ayda ortalama sıcaklığın 1-5 ^{o}C arasında değişmesi, yazın iki veya üç ayın ortalamasının 20 ^{o}C'nin üzerinde olup, Temmuz ayında ortalama sıcaklığın 21-24 ^{o}C kadar olması, yıllık ortalamanın 12-15 ^{o}C'ler arasında kalması ve amplitüdün ise 20-21 ^{o}C civarında olması nedeniyle araştırma alanının termik rejim tipi Koçman (1993b) tarafından "Karasal Geçiş Tipi" olarak tanımlanmıştır.

Tablo 14: Gediz, Simav, Demirci, Uşak, Eşme Meteoroloji İstasyonlarına ait aylık ve yıllık sıcaklık ortalamaları.

		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
Gediz (1972-2011)	Ort. Sıcaklık	2.4	3.3	6.5	11.1	16.2	20.6	24.1	23.8	19.0	13.1	7.3	3.9	**12.6**
	Max. Sıc. Ort.	8.1	9.4	13.6	18.1	23.8	28.4	32.2	32.3	27.9	21.5	14.8	9.5	**20.0**
	Min.Sıc. Ort.	-2.2	-1.7	0.3	4.1	7.9	11.5	15.3	15.2	10.7	6.5	1.8	-0.3	**5.7**
Simav (1960-2011)	Ort. Sıcaklık	2.4	3.2	6.2	10.6	15.4	19.4	21.9	21.5	17.2	12.3	7.8	4.3	**11.9**
	Max. Sıc. Ort.	7.1	8.1	11.8	16.6	21.9	26.2	29.4	29.6	25.8	20.1	14.2	8.8	**18.3**
	Min.Sıc. Ort.	-1.4	-0.8	1.2	4.8	8.1	11.0	13.2	12.9	9.5	6.2	2.9	0.7	**5.7**
Uşak (1960-2011)	Ort. Sıcaklık	2.5	3.2	6.3	10.8	15.8	20.3	23.7	23.5	18.9	13.3	7.9	4.1	**12.5**
	Max. Sıc. Ort.	7.1	8.1	11.9	16.5	21.8	26.5	30.3	30.5	26.2	20.3	14.1	8.9	**18.5**
	Min. Sıc. Ort.	-1.2	-0.7	1.3	5.3	9.3	12.7	15.5	15.6	11.8	7.9	3.7	0.8	**6.8**
Demirci (1992-2011)	Ort. Sıcaklık	3.7	3.9	6.6	11.2	16.8	21.1	24.0	24.3	19.6	14.9	9.3	5.5	**13.4**
	Max. Sıc. Ort.	7.3	7.9	11.3	16.0	22.2	26.7	30.1	29.8	24.7	19.5	13.3	9.1	**18.2**
	Min. Sıc. Ort.	1.0	0.8	2.9	7.1	12.1	15.9	18.9	19.1	15.0	11.2	6.2	2.9	**9.5**
Eşme (1986-1993)	Ort. Sıcaklık	2.4	4.9	8.6	12.6	15.8	21.4	24.6	25.4	21.0	16.4	10.6	4.8	**14.1**
	Max. Sıc. Ort.	7.9	8.7	12.6	19.1	22.6	28.6	32.3	33.1	28.8	22.4	14.3	9.2	**19.9**
	Min. Sıc. Ort.	-2.9	-1.9	0.5	5.2	7.6	11.6	13.5	13.2	10.0	7.4	2.2	-0.3	**5.5**

Şekil 16: Gediz, Simav, Uşak, Demirci ve Eşme Meteoroloji İstasyonları'nın termik rejim diyagramları.

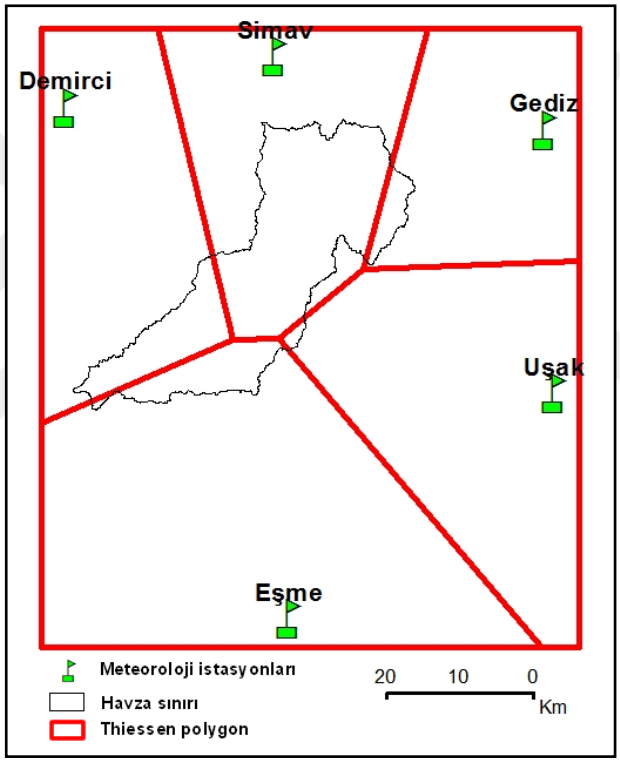


Araştırmada kullanılan güncel yağış ve sıcaklık dağılışı haritalarını yapmak için Gediz, Simav, Uşak, Demirci, Eşme Meteoroloji İstasyonları'nın ortalama sıcaklık ve yağış verileri ile yükselti ve coğrafi konumları kullanılmıştır. Ayrıca 1x1 km çözünürlüklü grid noktaları ve 10 metre mekansal çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli verileri kullanılmıştır. Bulundukları yere ait noktasal veri sağlayan söz konusu istasyonların meteorolojik gözlemleri araştırma alanının bütününün iklim özelliklerini ortaya koymakta yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizlik farklı meteorolojik formüller, enterpolasyon yöntemleri ve CBS imkanları ile giderilmeye çalışılmıştır.

Öncelikle araştırmada kullanılan istasyonların etki alanlarını belirlemek amacıyla iklim bilimci A.H.Thiessen tarafından geliştirilen thiessen poligonları

üretilmiştir (Şekil 17). Thiessen poligonları ile yakınlık analizi için nokta bazlı vektör veri tabanı ve değişkenler gereklidir. Bu çalışmadaki değişkenler sıcaklık ve yağış değişkenleridir. A.H. Thiessen, iklim çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir mekansal analiz yöntemi olan Thiessen poligonlarını geliştirilirken, iklim elemanlarına ait verilerin topolojik özelliklerden etkilenme ve topolojik özelliklere göre değişim trendlerini belirlemeye çalışmıştır (Turoğlu, 2008).

Şekil 17: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının Thiessen poligonları ile oluşturulmuş etki alanları.



Sıcaklığın yükseklikle değişmesi bölgeden bölgeye, mevsimlere ve havanın kurak ya da nemli olmasına göre önemli farklılıklar göstermektedir. Hava nemli olduğu taktirde sıcaklığın azalması daha yavaştır; çünkü havanın içerdiği su buharının yoğuşmasıyla ısı açığa çıkar ve yoğuşmanın meydana geldiği hava kütlesinin soğuması yavaşlar (Ardel, 1973). Sıcaklık yükseklikle azaldığında oluşan normal lapse-rate'in ortalama değeri 0.65^{o}C/100 m'dir. Kuru adyabatik lapse-rate uygulamada 1^{o}C/100 m olarak kabul edilmesine karşın nemli adyabatik lapse-rate yaklaşık 0.5^{o}C/100 m birçok uygulama açısından yeterli görülür (Türkeş, 2010). Sıcaklığın alansal dağılımında önemli bir unsur olan lapse-rate oranı araştırmada

kullanılacak istasyonların değişik zaman aralıklı sıcaklık verilerinin yükseklik ile değişim ilişkisine ve iklim tipi analizlerine göre belirlenmiştir. Lapse-rate oranının belirlenmesi için yapılan bu ön çalışma sonucunda araştırma alanının genel itibariyle geçiş iklimi tipine sahip olması ve kullanılan istasyonların sıcaklık verilerinin yükseklik ile değişim ilişkisi göz önünde bulundurularak, yıllık ortalama sıcaklık haritalanmasında kullanılacak lapse-rate oranı her 100 metre için 0.65 ^{o}C olarak belirlenmiştir (Tablo 15).

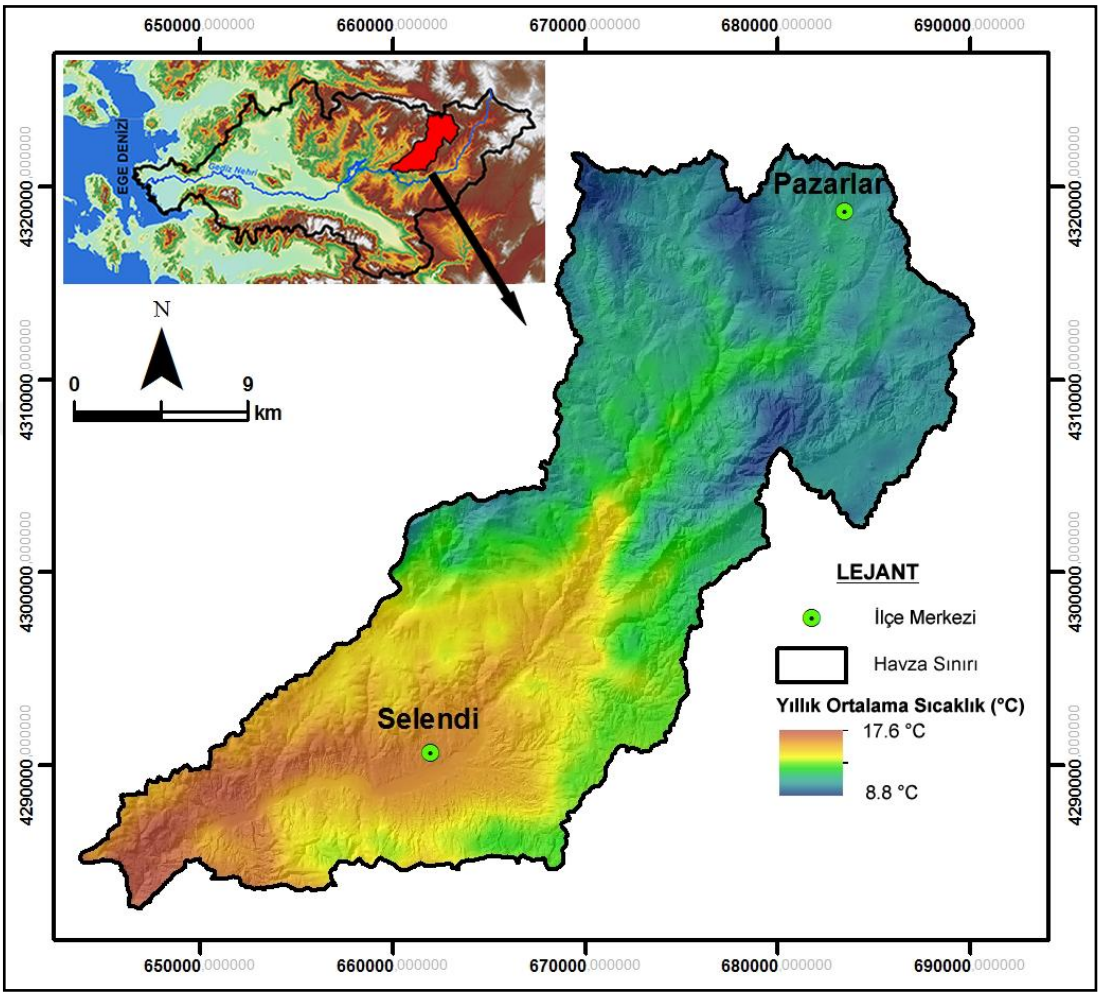
Tablo 15: Araştırmada kullanılan istasyonların yükseklikleri ve sıcaklık ortalamaları.

	Yükseklik (m)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**Yıllık Ort.**
Gediz	736	2.4	3.3	6.5	11.1	16.2	20.7	24.1	23.8	19.0	13.1	7.3	3.9	**12.6**
Simav	809	2.4	3.2	6.2	10.6	15.4	19.4	21.9	21.5	17.3	12.3	7.8	4.3	**11.9**
Uşak	919	2.5	3.2	6.4	10.8	15.8	20.3	23.7	23.5	18.9	13.3	7.9	4.1	**12.5**
Demirci	855	3.7	3.9	6.6	11.2	16.8	21.1	24.1	24.3	19.6	14.9	9.3	5.5	**13.4**
Eşme	810	2.4	4.9	8.6	12.6	15.8	21.4	24.6	25.4	21.0	16.4	10.6	4.8	**14.1**

Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait yıllık ortalama sıcaklık verileri istasyonların Thiessen poligonları ile oluşturulan etki alanları dahilinde 1x1 km çözünürlüklü grid noktalarına bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak sıcaklığın deniz seviyesinden yükseldikçe her 1 metrede 0.0065 ^{o}C düşeceği hesap edilen formül vasıtasıyla çekilmiştir.

Lapse-rate formülü ile yükseltisi bilinen grid noktalarına çekilen sıcaklık değerleri spline enterpolasyon tekniği ile haritalanmıştır. Sıcaklık gibi konuların düzenli değişen yüzeylerle temsil edilmesi sebebiyle sırt ve vadilerdeki verileri en iyi tahmin edebilecek yöntem spline enterpolasyondur (Web1). Bu veri setiyle araştırma alanını da içine alan yıllık ortalama sıcaklık dağılışı haritası oluşturulmuş ve araştırma alanı bu veriden kesilerek çıkarılmıştır. Böylece Selendi Çayı Havzası'nın yıllık ortalama sıcaklık dağılışı haritası elde edilmiştir. Araştırma alanının spline enterpolasyon tekniği ile üretilen yıllık ortalama sıcaklık haritası incelendiğinde, yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin 8.5 ile 17.1 ^{o}C arasında değiştiği görülür. Araştırma alanında vadilerin aşağı kesimlerinden dağların yamaçlarına doğru sıcaklık azalır (Şekil 18).

Şekil 18: Araştırma alanında yıllık ortalama sıcaklığın Spline enterpolasyonla dağılışı.



1.3.2. Yağış

Özellikle Akdeniz Havzası'nın kurak ve yarıkurak bölgelerinde çevresel (jeomorfolojik, hidrolojik ve ekolojik) süreçler yağış tarafından kontrol edilmektedir (Avaid vd., 2013).

Yağış dağılışı da sıcaklık ile benzer yöntem kullanılarak üretilmiştir. İlk aşamada, Gediz, Simav, Uşak, Eşme ve Demirci Meteoroloji İstasyonları'nın etki alanlarını belirlemek amacıyla thiessen poligonları üretilmiştir. Yağışın yükseltiyle ilişkisini kurma konusunda her 100 metre yükselişe karşılık yağışın 54 mm arttığını kabul eden Schreiber formülü kullanılmıştır. Schreiber'e atfedilen formül şudur (Dönmez, 1979):

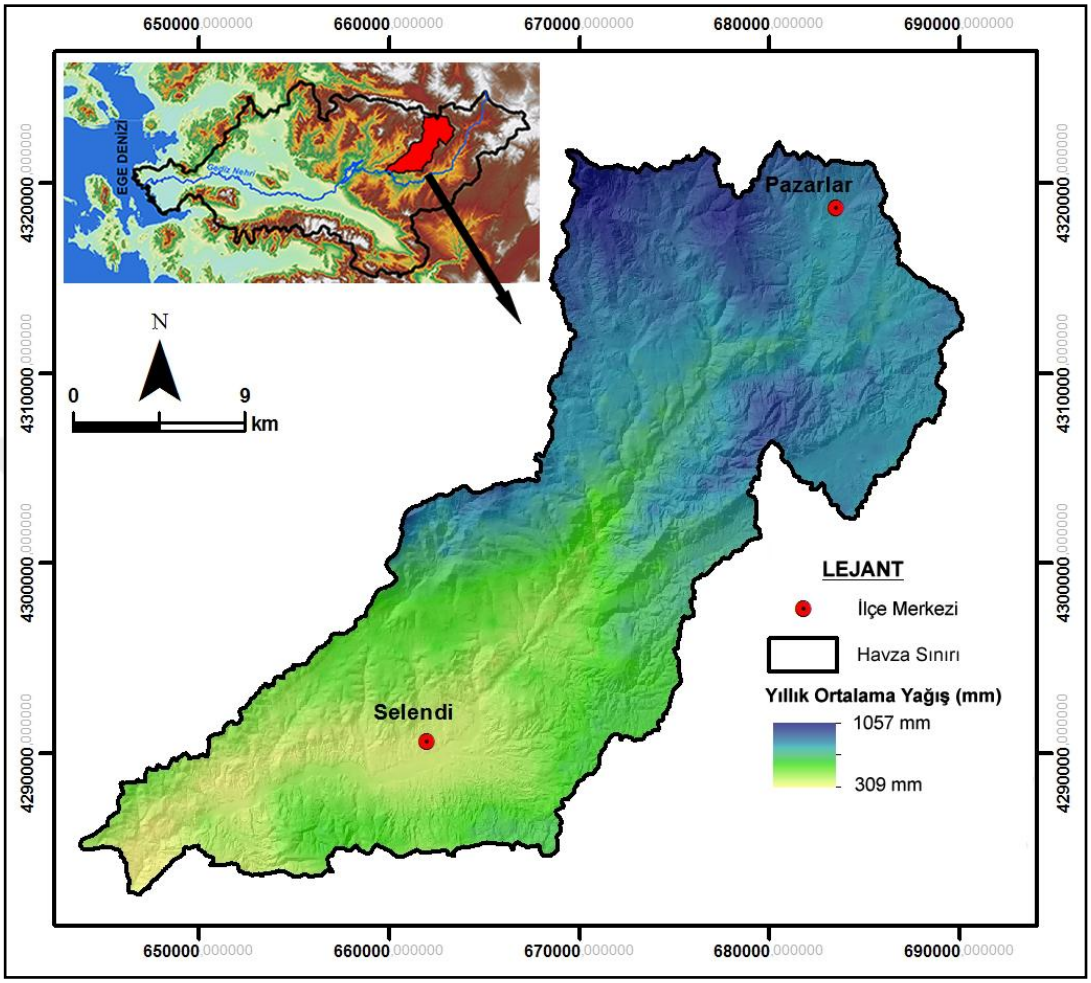
Ph=Po+54h

Ph=Yükseltisi bilinen bir noktanın bulunacak yağış miktarı,
Po=Yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapan bir istasyonun yağış miktarı,
54=Her 100 m yükseldikçe yağışın 54 mm arttığını gösteren katsayı,
h=Yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapan istasyon ile yağış miktarı bulunacak nokta arasındaki hektometre cinsinden yükselti farkı.

Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık toplam yağış miktarları, istasyonların thiessen poligonları ile oluşturulan etki alanları dahilinde 1x1 km çözünürlüklü grid noktalarının bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak deniz seviyesinden her 100 m yükselişe karşılık yağışın 54 mm arttığını kabul eden Schreiber formülü vasıtasıyla çekilmiştir. Schreiber formülü ile yükseltisi bilinen grid noktalarına çekilen yağış değerleri IDW enterpolasyon tekniği ile haritalanmıştır. Böylece araştırma alanını da içine alan yıllık yağış dağılışı haritası oluşturulmuş ve araştırma alanı bu veriden kesilerek Selendi Çayı Havzası'nın yıllık ortalama yağış dağılışı haritası elde edilmiştir.

Araştırma alanının IDW enterpolasyonla üretilen yıllık yağış dağılışına bakıldığı zaman yağışın 220 ile 1096 mm arasında değiştiği görülür. Araştırma alanının yükseltisi az olan kesimleri ile dağlık alanlar arasında sıcaklık bakımından görülen farklılaşma yağış konusunda da görülür. Beklendiği gibi araştırma alanının kuzeyine gidildikçe yükseltinin artmasıyla birlikte yağış miktarlarında da bir artış görülmektedir. Araştırma alanın en fazla yağış alan yerleri yükseltinin en fazla olduğu kuzeybatı kesimindeki dağlık alanlarken en az yağış alan yerler havzanın güneyindeki Selendi Çayı anakolunun vadi düzlükleridir. Zirvelere doğru yağış miktarı 1000 mm'yi bulur. Meteoroloji istasyonu bulunmayan dağlık alanlarda yağışın arttığını bitki örtüsünde görülen farklılaşma da kanıtlar niteliktedir (Şekil 19).

Şekil 19: Araştırma alanında yıllık ortalama yağışın IDW enterpolasyonla dağılışı.



Sıcaklıkta olduğu gibi yağış koşullarında da kıyıya göre daha düşük değerler gözlenir. Araştırmada kullanılan istasyonların yıllık yağış değerleri 394 (Eşme) ile 819 (Simav) mm arasında değişir. En fazla yağışa kış ve ilkbahar aylarında rastlanır. Bu durum bölge üzerinde etkili olan hava kütlelerinin mevsimlik hareketine bağlıdır. Kışın tropikal ve soğuk hava kütleleri arasında oluşan cephenin, Ege Bölgesini ve bu bölgede yer alan araştırma alanını etkilemesi nedeniyle cephesel yağışlar meydana gelir. Araştırma alanının bölgenin denizden uzak iç kısımlarında bulunması ve yükselti faktörü yağışların bir kısmının kar şeklinde düşmesine yol açmaktadır (Koçman, 1993a).

Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yağış miktarlarının yıl içerisindeki dağılışına baktığımızda, aylar ve mevsimler arasında yağışın düzenli dağılmadığı dikkati çekmektedir. Yağışın mevsimselliği, yağışların erozivitesi

üzerinde etkili olan önemli bir yağış özelliğidir. Bu mevsimsellik birçok araştırma kapsamında "yağış konsantrasyon indeksi (Precipitation Concentration Index-PCI)" ile ortaya konulmuştur. Formülde *Pi* aylık yağış miktarı, *P* yıllık yağış miktarı, *i* ayları ifade etmektedir (Abd Elbasit vd., 2013). Yağış konsantrasyon indeksi sonuçlarına göre araştırmada kullanılan bütün istasyonların yağışlarının yıl içerisindeki dağılımı orta derecede mevsimseldir (Tablo 16).

$$PCI = 100 \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{p_i^2}{P^2} \right)$$

Tablo 16: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık ve mevsimlik Yağış Konsantrasyon İndeksi değerleri.

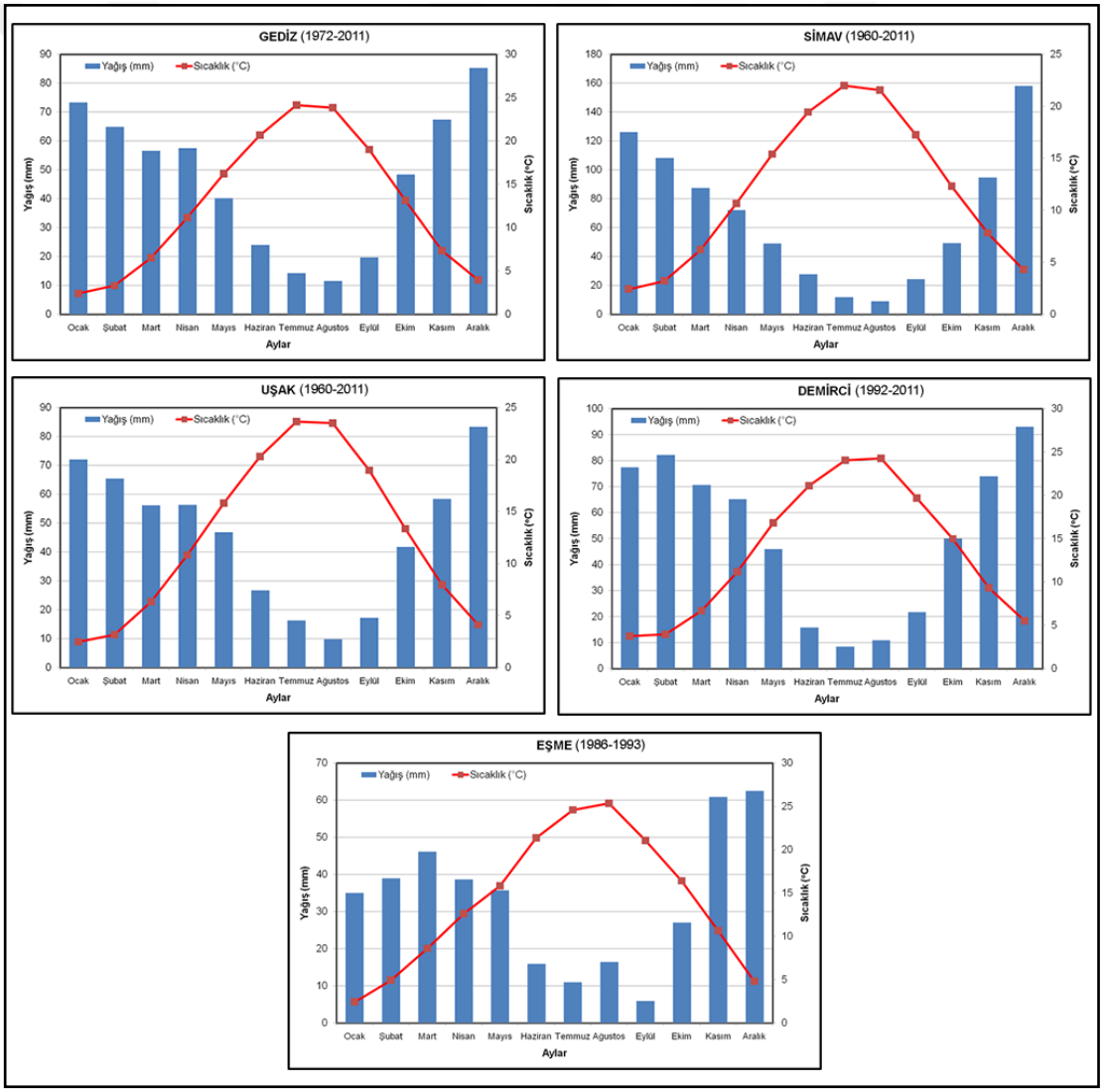
	Yaz	**Sonbahar**	**Kış**	**İlkbahar**	**Yıllık**
Gediz	9.2	9.9	8.4	8.5	10.5
Simav	10.4	10.6	8.5	8.8	12.1
Uşak	9.6	9.9	8.4	8.4	10.4
Demirci	8.9	9.9	8.4	8.6	10.9
Eşme	8.6	12.7	8.9	8.4	10.7
İndeks değerleri ve karşılığı (UNESCO, 2006)					
0.8-10			Benzer		
10-15			Orta Derecede Mevsimsel		
15-20			Mevsimsel		
20-50			Çok Mevsimsel		
50-100			Düzensiz		

Araştırmada kullanılan bütün istasyonların yıl içerisinde yağış miktarlarının en fazla olduğu mevsim kıştır. Yıllık yağış toplamlarının yarısına yakını kış mevsiminde düşmektedir. Onu ilkbahar mevsimi takip eder. Yaz aylarında ise çok az yağış düşer (Tablo 17). En yağışlı aylar Aralık, Ocak, en az yağışlı aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Ekim ayından itibaren miktarı artan yağışlar Aralık ve Ocak ayında maksimuma ulaşmaktadır. Marttan itibaren yağış miktarı azalmaya başlar ve yaz aylarında minimum değerlerine ulaşır. Sonuç olarak araştırma alanı yağış rejimi olarak Koçman (1993b) tarafından "Akdeniz-İç Anadolu Geçiş Tipi" olarak ayırt edilmiştir (Şekil 20).

Tablo 17: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık yağışının mevsimlere dağılışı.

Meteoroloji İstasyonu	mm					%			
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Uşak	220	159	52	117	550.	40.1	28.9	9.6	21.3
Simav	392	209	48	168	819	47.9	25.5	5.9	20.5
Gediz	223	154	49	135	563	39.6	27.4	8.8	24.0
Demirci	252	182	35	145	616	41.0	29.5	5.7	23.6
Eşme	136	120	43	93	394	34.6	30.5	11.0	23.8

Şekil 20: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık ve yağış grafikleri.



Yağışlı Günler Sayısı ve Yağış Şiddeti

Araştırma alanında yağışlı günlerin yıllık ortalama sayısı çok fazla değildir. Araştırmada kullanılan istasyonlarda bu sayı en fazla 109 gün ile Simav'da, en az ise 50 gün ile Eşme'de belirlenmiştir. Yağışlı günlerin aylık ortalama sayısı en yüksek değerlere yağışların arttığı kış aylarında ulaşır. Eşme Meteoroloji İstasyonu hariç araştırmada kullanılan tüm istasyonlarda en çok yağışlı gün sayısına sahip olan Aralık, Ocak aylarında yağışlı günlerin ortalama sayısı 11-14 gün arasında değişir. Yağışlı günlerin sayısı Nisan ayından itibaren azalış gösterir. İlkbahar aylarında 6-12 gün arasında değişen yağışlı gün sayıları yaz mevsimine doğru azalarak en düşük değerlerine Temmuz, Ağustos aylarında ulaşır. Bu aylarda yağışlı günler ortalaması 1 ile 3 gündür. Araştırma alanında uzun süren yaz kuraklığının bir sonucu olan bu durum Ekim'den itibaren değişmeye başlar ve yağışlı günlerin ortalama sayısı bu ayda 6-7 günü bulur (Tablo 18).

Aylık veya yıllık yağış miktarının yağışlı günler sayısına bölünmesi ile günlük yağış şiddeti hakkında genel bir fikir elde edilir. Günlük ortalama yağış şiddetinin değeri, yağış miktarı ile ilişkilidir (Erinç, 1996). Bu sebeple araştırma alanında yağış rejimine uygun olarak günlük yağış şiddetinin en yüksek değerler kış aylarında, en düşük değerler ise yaz aylarında görülmektedir. Genel itibariyle sonbahar aylarında yağış şiddeti ilkbahar aylarına göre fazladır. Yıl içerisinde en yüksek yağış şiddeti değerleri Kasım, Aralık, Ocak, Şubat aylarına aittir. Yaz aylarında görülen yüksek yağış şiddeti, bu mevsimde bazı yerlerde 2 günü bile bulmayan yağışlı gün sayısının küçük değerlerinden kaynaklanmaktadır (Tablo 18).

Tablo 18: Araştırmada kullanılan istasyonların yağışlı gün sayısı ve yağış şiddetinin aylara göre değişimi.

		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
Gediz (1972-2011)	Yağış (mm)	73	65	57	57	40	24	14	11	19	48	67	85	**563**
	Yağışlı Gün Sayısı	11.2	9.9	9.6	11.8	10.4	5.8	2.8	2.6	3.9	7.8	8.7	12.3	**96.9**
	Yağış Şiddeti	6.5	6.6	5.9	4.9	3.9	4.1	5.1	4.4	5	6.2	7.7	6.9	**5.8**
Simav (1960-2011)	Yağış (mm)	126	108	87	72	49	27	12	9	24	49	94	158	**819**
	Yağışlı Gün Sayısı	13.5	12.8	12	12.1	10.3	6.1	2.9	2.3	4.1	7.6	10.1	14.8	**108.0**
	Yağış Şiddeti	9.4	8.5	7.3	6.0	4.8	4.6	4.2	3.9	6.0	6.5	9.4	12.2	**7.5**
Uşak (1960-2011)	Yağış (mm)	72	65	56	56	46	27	16	9	17	41	58	83	**550**
	Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.6	11	11.6	10	5.4	3	2.2	3.5	7.1	8.4	13.1	**98.8**
	Yağış Şiddeti	6.1	5.6	5.1	4.9	4.7	4.9	5.4	4.5	4.9	5.9	7.0	5.6	**5.6**
Demirci (1992-2011)	Yağış (mm)	77	82	71	65	46	16	8	10	21	50	74	93	**616**
	Yağışlı Gün Sayısı	11.6	11.7	10.5	10	8.3	4.3	2	2	4.3	7.4	9.2	13.7	**94.8**
	Yağış Şiddeti	6.7	7.0	6.7	6.5	5.6	3.7	4.3	5.5	5.1	6.8	8	6.8	**6.5**
Eşme (1986-1993)	Yağış (mm)	35	39	46	38	35	16	11	16	6	27	61	62	**394**
	Yağışlı Gün Sayısı	5.0	5.0	8.4	5.6	5.9	2.9	1.3	1.7	0.7	3.7	6.3	6.1	**50.1**
	Yağış Şiddeti	7.0	7.8	5.5	6.9	6.1	5.5	8.5	9.7	8.5	7.3	9.7	10.2	**7.9**

Birim zamanda düşen yağış miktarı olarak ifade edilen yağış şiddeti, erozyon duyarlılığı konusunda önemli bir etkiye sahiptir. Yağışların erozyon üzerindeki etkisini daha net olarak ifade etmek için bunların şiddet tiplerine göre mutlaka ayırmak gerekir. Çalışmada zaman birimi olarak gün kullanılmış ve günlük yağış miktarları yağış şiddeti sınıflarına göre 5 gurup içinde sınıflandırılmıştır. Buna göre; 0.1-10 mm arasındaki günlük yağışlar hafif/normal, 10.1-25 mm arasındaki günlük yağışlar orta şiddette, 25.1-50 mm arasındaki günlük yağışlar hafif sağanaklar, 50.1-100 mm arasındaki günlük yağışlar şiddetli sağanaklar, 100.1 mm'den fazla günlük yağışlar ise çok şiddetli sağanaklar olarak ele alınmıştır. Coğrafya alanındaki araştırmalarda konu ile ilgili bu sınıflandırmaya sıklıkla başvurulması sebebiyle bu çalışmada da yağış şiddet sınıflandırılmasının benzer şekilde verilmesi uygun görülmüştür (Dönmez, 1972; Hoşgören, 1983; Koçman, 1989; Erlat, 1996). Günlük 25 mm'yi aşan yağışlar sel karakterli olarak tanımlandığı için günlük 25 mm'nin altındaki ve üstündeki yağışlar da guruplandırılmıştır (Turoğlu, 2014). Zira, kısa sürede düşen bol miktardaki yağışlar, şiddetli seyelan ve sellere sebep olarak, kuvvetli bir aşındırma faktörü durumuna geçerler. Bu durumda toprak, ihtiyaç duyduğu suyun ancak pek azından yararlanabilir, geri kalan su kütlesi ise akıp gider. Erozyon ve su kaybı gibi önemli sonuçlar yaratan sağanak yağışların[2] araştırmada

[2] Sağanak yağış, hem Sinoptik Meteoroloji'de hem de Klimatoloji'de kullanılan bir kavramdır. Sinoptik Meteoroloji açısından sağanak, cephesel ya da konvektif kararsızlık sonucu konveksiyonun

kullanılan istasyonlardaki durumunu değerlendirebilmek için günlük 25 mm'nin üzerindeki ve altındaki yağışlar özellikle sınıflandırılmıştır (Dönmez, 1979). Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonları arasında ölçüm süreleri farklıdır. Bu yüzden günlük yağışların şiddet guruplarına oransal dağılımı da hesap edilmiştir. Böylece farklı gözlem sürelerine sahip istasyonlar kendi aralarında daha doğru karşılaştırılabilmiş ve yorum yapılabilmiştir (Tablo 19-20-21-22-23).

Araştırmada kullanılan istasyonlarda 24 saatte düşen yağış miktarları incelenirse görülür ki az şiddetlisinden çok şiddetlisine kadar sağanak yağışların normal yağışlara oranı tüm istasyonlarda düşüktür. Araştırma alanında hakim olan yağış türü normal yağışlar olarak ifade edilen 25 mm'nin altındaki yağışlardır. 24 saatte düşen yağışların Simav Meteoroloji İstasyonu'nda % 92'si, Uşak Meteoroloji İstasyonu'nda % 97.7'si, Gediz Meteoroloji İstasyonu'nda % 96.5'i, Demirci Meteoroloji İstasyonu'nda % 95.4'ü, Eşme Meteoroloji İstasyonu'nda % 95.2'si 25 mm'nin altında olup sağanak karakterinde değildir. Sağanak yağışlar daha çok araştırma alanının kuzeyindeki Simav Meteoroloji İstasyonu'nda kaydedilmiştir. Sağanak yağışların tekrarlanmasına gelince, günlük 100.1 mm'den fazla olarak ifade edilen çok şiddetli sağnaklar 51 yıllık dönemde sadece Simav'da 2 defa meydana geldiği, araştırmada kullanılan diğer meteoroloji istasyonlarında ise rasat süresi içerisinde meydana gelmediği anlaşılır. Buna göre araştırma alanındaki sağanak yağışların çok büyük bir kısmı az şiddetli sağanaklar halindedir. Çok şiddetli sağanaklar ise bölgede çok nadir olarak meydana gelir (Tablo 19-20-21-22-23).

Erozyon, şiddetli yağışların yer yüzeyinin korunmasız olduğu dönemlere denk gekmesi ile epeyce artacağı için, yağışların aşındırma gücünün mevsimsel dağılışı önemlidir (Sheridan ve Rosewell, 2003). Yağış şiddeti sınıflandırılmasına göre yıl içinde 0.1-10 mm arasındaki günlük yağışlar (hafif/normal yağışlar) en yüksek frekansa sahiptir. Bu yağışların kış mevsimindeki frekansları % 58.1 ile %

---

kuvvetli olduğu dikine gelişimi iyi Kümülüs ve Kümülüs kongestus bulutlarından düşen hızlı ve iri yağışlara verilen addır. Yağış klimatolojisi açısından ise sağanak, birim zamanda düşen yağış miktarıyla, diğer bir deyişle yağış şiddetiyle ilgili bir anlama sahiptir. Genel anlamda Akdeniz iklim bölgesi dahilindeki yerlerde, ortalama bir değer olarak 25 mm'nin üstünde olan günlük yağışlar sağanak yağış, 25 mm'nin altında olan yağışlar ise normal yağış olarak kabul edilirler (Türkeş, 2010, Dönmez, 1979). Coğrafya alanındaki araştırmalarda "sağanak yağış" terimi yağış klimatolojisi açısından ele alındığı için bu çalışmada da yağış şiddetiyle ilgili anlamda günlük belli bir miktarın üzerindeki yağışları ifade etmek amacıyla kullanılmıştır.

79.8 arasında değişirken, yaz mevsiminde artarak % 80-90'lara ulaşmaktadır. 10.1-25 mm arasındaki orta şiddetteki günlük yağışların frekansının en yüksek olduğu dönem ise bütün istasyonlarda yağış miktarının en fazla olduğu kış mevsimidir. Bu aylarda düşen yağışların yaklaşık % 20-25'i orta şiddette olurken, bu oran yaz mevsimine doğru azalarak % 6-7'lere kadar düşmektedir. Araştırmada kullanılan istasyonlarda hafif sağanak yağışlar (25.1-50 mm) genel itibariyle sonbahardan itibaren artış göstermekte, kışın maksimuma ulaşmakta, yazın azalmaktadır. Bununla birlikte Uşak ve Eşme istasyonlarında hafif sağanak yağışlar en fazla sonbahar mevsiminde görülmektedir. Yaz kuraklığından sonra görülen bu sağanaklar erozyon açısından oldukça önemli etkiler yaratmaktadır. Sonbahar mevsiminde meydana gelen sağanak yağışların erozyon üzerindeki arttırıcı etkileri büyüktür. Düşen yağışın ne kadarının zemine sızacağı ne kadarının yüzeysel akışa geçip erozyona sebep olacağının yağışın karakterine bağlı olduğundan daha önce bahsedilmişti. Pek azı toprağa nüfus eden, büyük kısmı yüzeysel akışa geçen sağanak karakterindeki yağışlar erozyonu arttıran özelliktedir. Özellikle bu karakterdeki yağışların zeminin uzun süre nemsiz kaldığı yaz ve sonbahar mevsimlerinde düşmesi bu yağışların erozyon açısından etkinliğini daha da arttırmasına yol açmaktadır. Araştırmada kullanılan istasyonlarda şiddetli sağanakların (50.1-100 mm) oranı oldukça azdır. Gözlem süresi içerisinde bu şiddetteki yağışlara en fazla % 7.5 frekansla Simav Meteoroloji İstasyonu'nda kış mevsiminde gözlenmiştir. 100.1 mm'den fazla çok şiddetli sağanaklar ise sadece Simav'da 2 defa (Mart ve Aralık aylarında) kayıt edilmiştir (Tablo 19-20-21-22-23).

Sonuç olarak, araştırma alanında bütün aylarda günlük yağışların en az %58'ni 0.1-10 mm arasındaki hafif-normal yağışlar oluşturmaktadır. Yıl içerisinde her zaman 25 mm'nin altındaki normal yağışlar baskın durumdadır. 25 mm'nin üzerindeki sağanak yağış tipinde düşen yağışların oranı düşüktür, ancak hemen her ayda gerçekleşme ihtimali de vardır. Erozyon açısından önemli olan 25 mm üzerindeki günlük yağış miktarlarına daha çok Eylül-Nisan ayları arasındaki periyotta rastlanmaktadır. Bununla birlikte özellikle Uşak, Eşme gibi araştırma alanının güneydoğusundaki istasyonlarda yaz aylarında 25 mm'nin üzerindeki yağışlar sıklıkla görülmektedir. Yaz mevsiminde meydana gelen bu tip sağanakların eroziv etkisi zeminin kuru olamasından dolayı daha fazla olmaktadır. Uzun süre kuru

kalmış olan zemine kısa sürede düşen günlük 25 mm üzerindeki bu tip sağanak yağışlar erozyon miktarını arttırmaktadır (Tablo 19-20-21-22-23).

Tablo 19: Simav Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları.

Yağış miktarı (mm/gün)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
0.1-10	491	475	469	499	446	272	132	103	168	295	365	504	4219
10.1-25.0	119	121	106	92	73	33	13	15	34	75	86	156	923
25.1-50.0	61	50	30	23	7	5	4	0	8	14	53	65	320
50.1-100	17	9	6	2	0	2	0	1	0	3	11	27	78
100.1<P	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
TOPLAM	688	655	612	616	526	312	149	119	210	387	515	753	5542
P<25mm	610	596	575	591	519	305	145	118	202	370	451	660	5142
25mm<P	78	59	37	25	7	7	4	1	8	17	64	93	400
ORANSAL DAĞILIM (%)													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	71.4	72.5	76.6	81.0	84.8	87.2	88.6	86.6	80.0	76.2	70.9	66.9	76.1
10.1-25.0	17.3	18.5	17.3	14.9	13.9	10.6	8.7	12.6	16.2	19.4	16.7	20.7	16.7
25.1-50.0	8.9	7.6	4.9	3.7	1.3	1.6	2.7	0.0	3.8	3.6	10.3	8.6	5.8
50.1-100	2.5	1.4	1.0	0.3	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	0.8	2.1	3.6	1.4
100.1<P	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P<25mm	88.7	91.0	94.0	95.9	98.7	97.8	97.3	99.2	96.2	95.6	87.6	87.6	92.8
25mm<P	11.3	9.0	5.9	4.1	1.3	2.2	2.7	0.8	3.8	4.4	12.4	12.2	7.2

Tablo 20: Uşak Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları.

Yağış miktarı (mm/gün)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
0.1-10	476	474	477	509	439	239	119	96	152	286	314	517	4098
10.1-25.0	111	109	72	76	64	31	27	14	27	65	96	132	824
25.1-50.0	19	10	10	9	6	5	5	2	2	7	19	15	109
50.1-100	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	6
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	606	594	560	594	509	275	151	112	181	360	429	666	5037
P<25mm	587	583	549	585	503	270	146	110	179	351	410	649	4922
25mm<P	19	11	11	9	6	5	5	2	2	9	19	17	115
ORANSAL DAĞILIM (%)													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	78.5	79.8	85.2	85.7	86.2	86.9	78.8	85.7	84.0	79.4	73.2	77.6	81.4
10.1-25.0	18.3	18.4	12.9	12.8	12.6	11.3	17.9	12.5	14.9	18.1	22.4	19.8	16.4
25.1-50.0	3.1	1.7	1.8	1.5	1.2	1.8	3.3	1.8	1.1	1.9	4.4	2.3	2.2
50.1-100	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	0.1
100.1<P	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
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P<25mm	96.9	98.1	98.0	98.5	98.8	98.2	96.7	98.2	98.9	97.5	95.6	97.4	97.7
25mm<P	3.1	1.9	2.0	1.5	1.2	1.8	3.3	1.8	1.1	2.5	4.4	2.6	2.3

Tablo 21: Gediz Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1972-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları.

Yağış miktarı (mm/gün)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
0.1-10	335	299	307	390	372	203	96	82	126	241	243	367	3061
10.1-25.0	80	71	55	62	29	20	12	16	26	51	77	89	588
25.1-50.0	20	15	14	10	5	4	2	2	2	10	20	16	120
50.1-100	1	1	0	0	0	1	1	0	0	2	0	6	12
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	436	386	376	462	406	228	111	100	154	304	340	478	3781
P<25mm	415	370	362	452	401	223	108	98	152	292	320	456	3649
25mm<P	21	16	14	10	5	5	3	2	2	12	20	22	132
ORANSAL DAĞILIM (%)													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	76.8	77.5	81.6	84.4	91.6	89.0	86.5	82.0	81.8	79.3	71.5	76.8	81.0
10.1-25.0	18.3	18.4	14.6	13.4	7.1	8.8	10.8	16.0	16.9	16.8	22.6	18.6	15.6
25.1-50.0	4.6	3.9	3.7	2.2	1.2	1.8	1.8	2.0	1.3	3.3	5.9	3.3	3.2
50.1-100	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3	0.3
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P<25mm	95.2	95.9	96.3	97.8	98.8	97.8	97.3	98.0	98.7	96.1	94.1	95.4	96.5
25mm<P	4.8	4.1	3.7	2.2	1.2	2.2	2.7	2.0	1.3	3.9	5.9	4.6	3.5

Tablo 22: Demirci Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1992-2011 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları.

Yağış miktarı (mm/gün)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
0.1-10	153	165	148	140	127	74	33	32	67	111	119	192	1361
10.1-25.0	52	46	44	41	27	5	4	4	13	23	45	54	358
25.1-50.0	15	11	6	7	4	2	1	2	1	6	10	13	78
50.1-100	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	220	223	199	188	158	81	38	38	81	141	175	260	1802
P<25mm	205	211	192	181	154	79	37	36	80	134	164	246	1719
25mm<P	15	12	7	7	4	2	1	2	1	7	11	14	83
ORANSAL DAĞILIM (%)													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	69.5	74.0	74.4	74.5	80.4	91.4	86.8	84.2	82.7	78.7	68.0	73.8	75.5
10.1-25.0	23.6	20.6	22.1	21.8	17.1	6.2	10.5	10.5	16.0	16.3	25.7	20.8	19.9
25.1-50.0	6.8	4.9	3.0	3.7	2.5	2.5	2.6	5.3	1.2	4.3	5.7	5.0	4.3
50.1-100	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.6	0.4	0.3
100.1<P	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
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P<25mm	93.2	94.6	96.5	96.3	97.5	97.5	97.4	94.7	98.8	95.0	93.7	94.6	95.4
25mm<P	6.8	5.4	3.5	3.7	2.5	2.5	2.6	5.3	1.2	5.0	6.3	5.4	4.6

Tablo 23: Eşme Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1986-1993 yıllarına ait frekansları ve yıllık dağılışları.

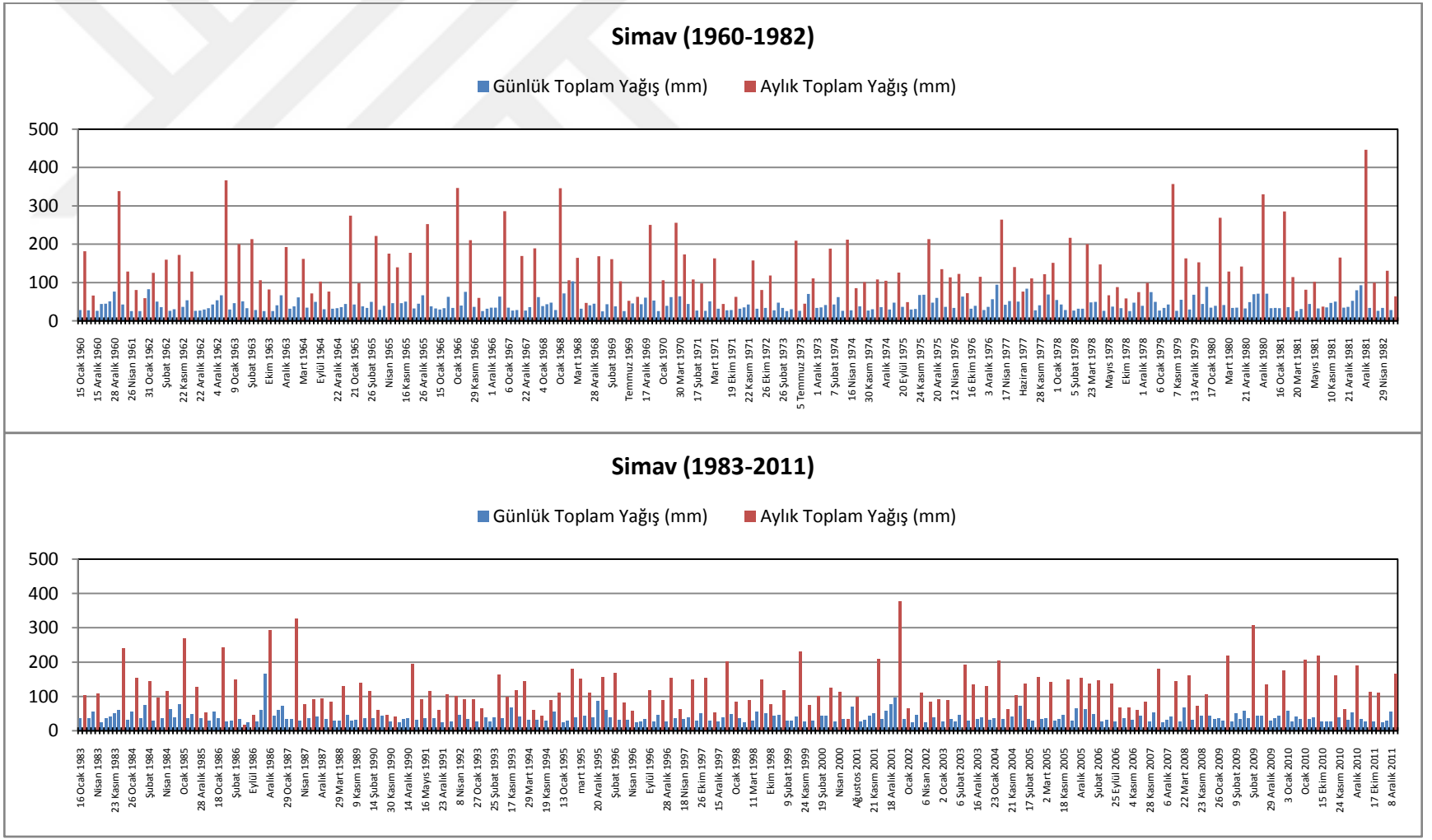
Yağış miktarı (mm/gün)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
0.1-10	24	23	29	29	32	16	6	8	4	18	26	25	240
10.1-25.0	10	10	12	10	8	4	2	3	0	7	15	13	94
25.1-50.0	1	2	1	0	1	0	1	1	1	1	3	5	17
50.1-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	35	35	42	39	41	20	9	12	5	26	44	43	351
P<25mm	34	33	41	39	40	20	8	11	4	25	41	38	334
25mm<P	1	2	1	0	1	0	1	1	1	1	3	5	17
ORANSAL DAĞILIM (%)													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	68.6	65.7	69.0	74.4	78.0	80.0	66.7	66.7	80.0	69.2	59.1	58.1	68.4
10.1-25.0	28.6	28.6	28.6	25.6	19.5	20.0	22.2	25.0	0.0	26.9	34.1	30.2	26.8
25.1-50.0	2.9	5.7	2.4	0.0	2.4	0.0	11.1	8.3	20.0	3.8	6.8	11.6	4.8
50.1-100	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
100.1<P	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
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P<25mm	97.1	94.3	97.6	100.0	97.6	100.0	88.9	91.7	80.0	96.2	93.2	88.4	95.2
25mm<P	2.9	5.7	2.4	0.0	2.4	0.0	11.1	8.3	20.0	3.8	6.8	11.6	4.8

Sağanak yağış diyagramı, 25 mm'nin üstündeki günlük yağış miktarları ile aynı aylardaki aylık toplam yağış miktarları kullanılarak çizilir. Günlük ve aylık yağış değerleri için tek bir ölçek seçilir ve bunlar dikey eksende gösterilir. Yatay eksene ise günler ve aylar işaretlenir. Sağanak yağışlar erozyon duyarlılığı açısından önemlidir. Çünkü kısa sürede düşen bol miktardaki yağışlar, şiddetli seyelan ve sellere sebep olarak, kuvvetli bir aşındırma faktörü durumuna geçerler (Dönmez, 1979). Erozyon duyarlılığının lehine işleyen bu sürecin araştırma alanındaki durumunu ortaya koymak amacıyla Simav, Uşak, Gediz ve Demirci Meteoroloji İstasyonları'nın sağanak yağış diyagramları çizilmiştir.

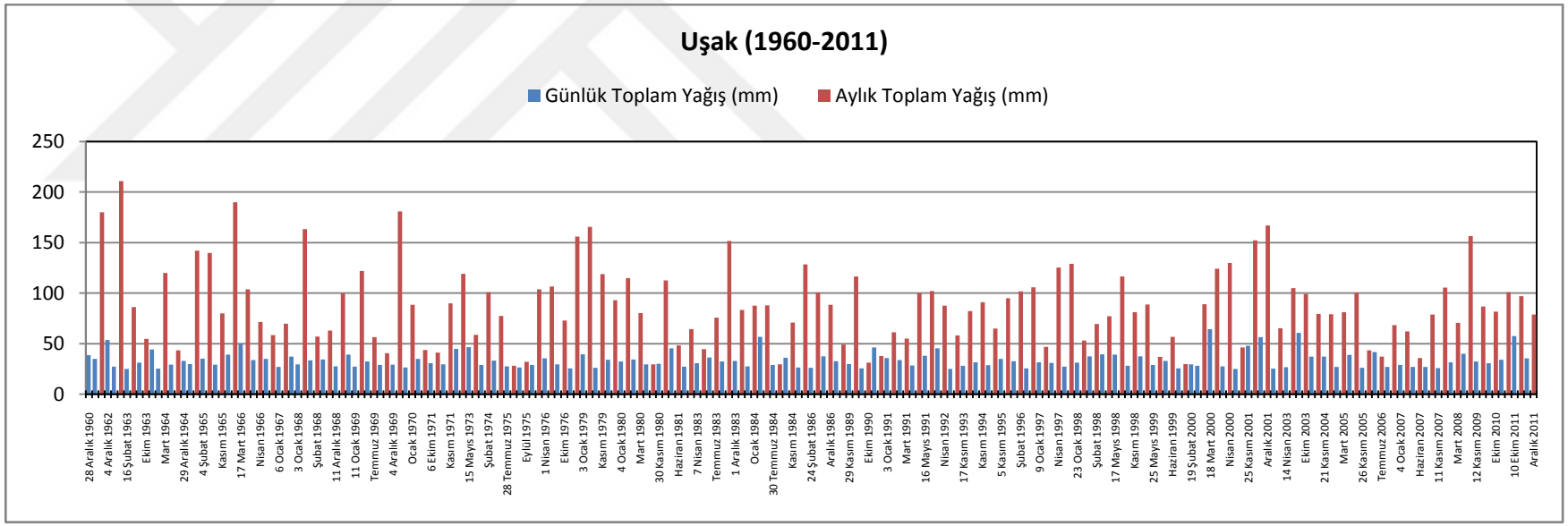
Simav'da 1960-2011 yılları arasındaki 51 yıllık dönemde günlük yağışların çok önemli bir kısmı 25 mm'nin altındaki normal yağışlardır. Bu sürede 25 mm'nin üzerindeki sağanak yağışlar 400 gün ölçülmüştür. Bunlardan 230 tanesi (%57.5) kış mevsiminde, 89 tanesi (% 22.3) sonbaharda, 69 tanesi (% 17.3) ilkbaharda, 12 tanesi (%3.0) ise yaz mevsiminde ölçülmüştür. Simav'da sağanak yağışların aylık toplam yağışlar içerisindeki payı % 51.7 (Kasım) ile % 9.6 (Mart) arasında değişmektedir. Sağanak yağışların aylık toplam yağışlar içerisindeki payı kış ve sonbahar aylarında fazla iken ilkbahar ve özellikle yaz aylarında düşüktür (Şekil 21). Uşak'ta (1960-

2011) 51 yıllık dönemde sadece 115 gün sağanak karakterli yağışlar ölçülmüştür. Bunların 47 tanesi (% 40.9) kış mevsiminde, 36 tanesi (% 26.1) sonbaharda, 26 tanesi (%22.6) ilkbaharda, 12 tanesi (%10.4) yaz mevsiminde kaydedilmiştir. Uşak'ta sağanak yağışların aylık toplam yağışlar içerisindeki payları oldukça düşüktür. % 19.9 (Temmuz) ile %6.7 (Ekim) arasında değişen değerler görülür. Burada Temmuz ayı gibi kurak bir aydaki yağışların %19.8'ini sağanak karakterdeki yağışların oluşturması erozyon duyarlılığı açısından önemlidir. Frekansı düşük olsa da yaz mevsiminde görülen sağanaklar ilgili ayların toplam yağış miktarında önemli yer tutmaktadır (Şekil 22). Gediz'de (1972-2011) 39 yıllık dönemde 25 mm'nin üzerindeki yağışlı gün sayısı 132 gündür. Bunların 59 tanesi kış mevsiminde (% 44.7), 34 tanesi (% 25.8) sonbaharda, 29 tanesi (% 22.0) ilkbaharda, 10 tanesi (% 7.6) yaz mevsiminde kaydedilmiştir. Gediz'de sağanak yağışların aylık toplam yağışlar içerisindeki payları % 26.3 (Aralık) ile % 7.5 (Eylül) arasında değişmektedir. Kış mevsimine doğru sağanak yağışların aylık toplam yağış miktarları içerisindeki payları artmakta, ilkbahar aylarında bu pay azalmakla birlikte yaz aylarında tekrar yükseliş göstermektedir. Erozyon duyarlılığı için önemli etkiye sahip yaz sağanaklarının Haziran yağışlarındaki payı %20.3, Temmuz'da %24.4 olmaktadır (Şekil 23). Demirci'de (1992-2011) 19 yıllık dönemde 83 gün sağanak yağış ölçülmüştür. Bunların 41 günü (49.4) kış mevsiminde, 19 günü (%22.6) sonbaharda, 18 günü (%21.7) ilkbaharda, 5 günü (%6.0) yaz mevsiminde ölçülmüştür. Sağanak yağış miktarlarının aylık toplam yağışlar içerisindeki durumunu değerlendirecek olursak % 29.8 (Ocak) ile %6.1 (Eylül) arasında değişen değerler görülmektedir. Kış aylarında sağanak yağışların toplam yağışlar içerisindeki payları oldukça yüksek olmakla birlikte, Haziran ve Temmuz aylarında da %23'leri bulan değerler dikkat çekmektedir (Şekil 24). Sonuç olarak araştırmada kullanılan bütün meteoroloji istasyonlarında kış ve sonbahar aylarında sağanak yağışların frekansları fazladır. Bu durumu araştırma konusu açısından değerlendirecek olursak kurak yaz mevsimini takip eden sonbahar sağanaklarının fazla olması erozyon duyarlılığı açısından önemlidir. Havzanın güneyinde yaz aylarındaki sağanak yağışların ilgili aylardaki toplam yağış miktarlarındaki payı artmaktadır. Burada yaz aylarında az miktarda gerçekleşen sağanak yağışlar ilgili ayların toplam yağış tutarlarında önemli yer tutmaktadır.

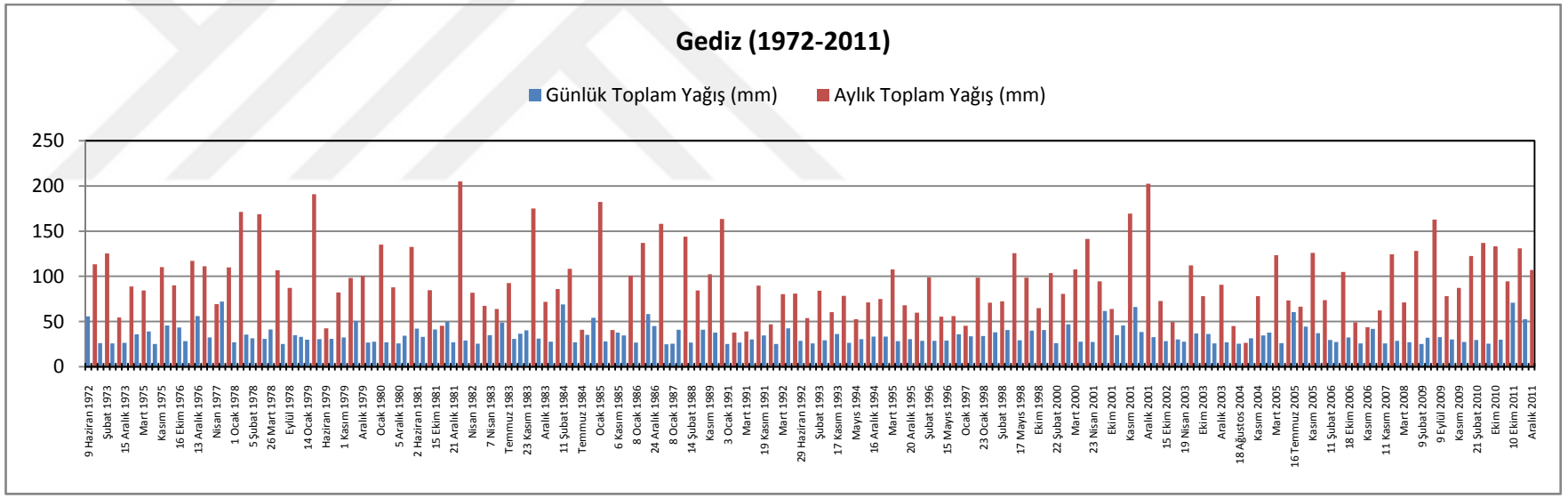
Şekil 21: Simav Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı.



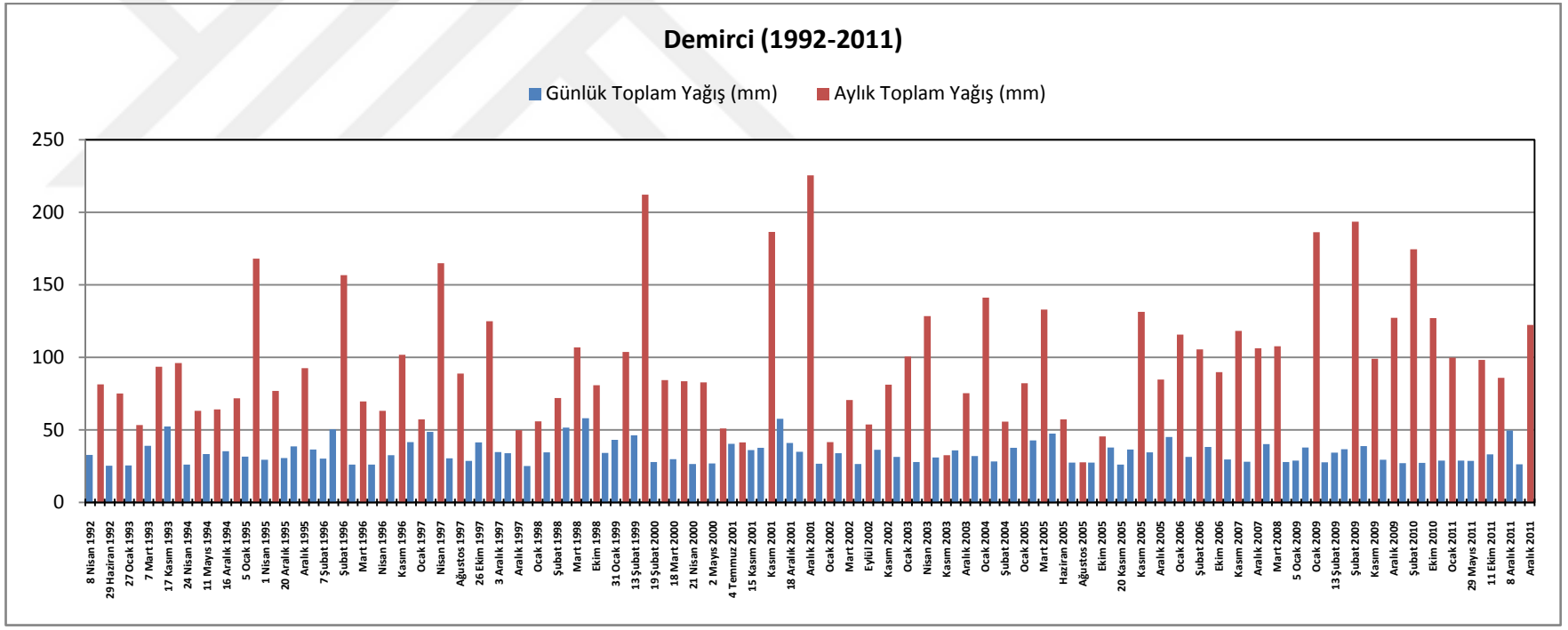
Şekil 22: Uşak Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı.



Şekil 23: Gediz Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı.



Şekil 24: Demirci Meteoroloji İstasyonu sağanak yağış diyagramı.



1.3.3. Yağış Etkinliği ve İklim Tipi

İklim elemanlarından yağış ve sıcaklık buraya kadar tek tek ele alınmıştır. Bunların birbiriyle ilişkisi ise yağış etkinliği ile açıklanmaya çalışılacaktır. Yağışların sıcaklık ile olan ilişkilerini, yani yağış etkinliğini ve bunların aylık değişimini daha iyi değerlendirmek amacıyla De Martonne formülüne (1923) göre aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne göre (1942) yıllık indis değerleri, UNEP Kuraklık İndeksi (1992), Erinç (1965)'in yağış etkinliği indis formülü ve Thornthwaite (1948) kullanılmış, sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

De Martonne'nun kurak ve yağışlı iklimleri ayırmak için belirlediği formül (1923), yıllık yağış miktarı (mm) ile sıcaklığa (^{o}C) dayanmaktadır. De Martonne 1942 yılında Gottman ile beraber bu formülde bazı değişiklikler yapmıştır ve yeni formülde yıllık ortalama sıcaklık ile yıllık yağış miktarı arasındaki ilişki dışında en kurak ayın sıcaklığı da dikkate alınmıştır (Dönmez, 1979). De Martonne ve Gottman (1942) formülüne göre araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarından Uşak, Gediz ve Demirci yarıkurak-nemli sınıfına dahilken; Simav nemli, Eşme ise yarıkurak sınıfına dahildir. De Martonne (1923) aylık kuraklık indis formülüne göre ise Eşme hariç araştırmada kullanılan bütün meteoroloji istasyonlarında Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ayları nemlidir. Eşme'de ise Mart, Nisan ayları yarıkurak-nemlidir. Mayıs ayı Uşak, Simav, Demirci'de yarıkurak-nemliyken, Gediz ve Eşme'de yarıkuraktır. Gediz, Demirci, Eşme'de Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül kuraktır. Uşak'ta Haziran yarıkurak, Simav'da ise Haziran ve Eylül yarıkuraktır. Ekim ayı Uşak, Simav, Gediz, Demirci'de yarıkurak-nemli iken, Eşme'de yarıkuraktır (Tablo 24).

Yağış etkinliği konusunda mevcut çalışmaları gözden geçiren Erinç 1965 yılında, gelir kaynağı olarak yağış ve buharlaşma yoluyla kaybı belirleyen, esas neden olarak da sıcaklığa dayanmak suretiyle yıllık toplam yağış miktarının (mm) yıllık maksimum sıcaklığa oranlanması ile Erinç (1965) formülünü teklif etmiştir. Yıllık ortalama maksimum sıcaklık hesabında, evapotranspirasyon yoluyla kayıp çok az olduğu için aylık ortalama maksimumun 0 ^{o}C'den düşük olduğu aylar dikkate

alınmaz (Erinç, 1996). Geçiş sahasında yer alan araştırma alanı Erinç (1965)'in yağış etkinliği indis formülüne göre, yağış etkinliği açısından yarı kurak step sahası, yarı nemli kuru orman ve nemli orman sahası olarak belirlenmiştir (Tablo 25). Nitekim Erinç (1977)'nin hazırladığı Türkiye'nin yıllık yağış etkinliği ve Türkiye'nin vejetasyon formasyonlarını gösteren haritalarında araştırma alanı orman, fundalık ve step (Bu sahadaki aslî ormanlar geniş ölçüde tahrip edilmiş ve yerini fundalıklara ve step görünümlü sahalara terketmiştir.) sınırlarında gösterilmiştir.

UNEP kuraklık indeksi (1992) toplam yağışın evapotransprasyona bölünmesiyle elde edilmektedir. Kuraklık indeksi değeri belli bir bölgedeki iklimin kuraklık derecesini gösteren sayısal bir ifadedir. Bu sayısal ifadeler kullanılarak kuraklık dereceleri indis değerleri ve karşılığı olan sınıfa göre kategorilize edilmiştir (Yıldız, vd., 2009). UNEP kuraklık indeksine (1992) göre araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarından Gediz, Simav, Uşak, Demirci nemli kategorisindeyken, Eşme yarınemli kategorisindedir. Aylık kuraklık indisi formülüne göre Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ayları Eşme hariç araştırmada kullanılan bütün istasyonlarda nemlidir. Eşme'de Ekim ayı yarıkuraktır. Mayıs ayı araştırmada kullanılan bütün istasyonlarda yarınemlidir. Haziran ayı Gediz, Simav ve Uşak'ta yarıkurak iken, Demirci ve Eşme'de kuraktır. Temmuz ve Ağustos ayları araştırmada kullanılan bütün istasyonlarda kurak kategorisindedir. Eylül ayı ise Gediz, Simav ve Demirci'de yarıkurak; Uşak ve Eşme'de kuraktır (Tablo 26).

Araştırma alanında yağışların sıcaklık ve buharlaşma ile ilişkisini ortaya koymak amacı ile uygulanan yöntemlerden bir diğeri de Thornthwaite (1948) yöntemidir. Elde edilen sonuca göre araştırmada kullanılan istasyonlardan Selendi Çayı Havzası'nın doğusunda yer alan Gediz ve Uşak; kurak-az nemli, ikinci dereceden mezotermal, kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipindedir (C1 B'2 s2 b3) (Tablo 27-29). Araştırma alanının kuzeyinde diğer istasyonların bulunduğu sahalara nispeten daha nemli şartlara sahip bir alanı temsil eden Simav Meteoroloji İstasyonu, birinci dereceden nemli, birinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer (B1 B'1 s2 b'3) (Tablo 28). Araştırma alanının batısındaki Demirci Meteoroloji İstasyonu, yarı nemli, ikinci dereceden mezotermal,

yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer (C2 B'2 s2 b'3) (Tablo 30). Araştırma alanının güneyindeki Eşme Meteoroloji İstasyonu ise, yarı kurak, ikinci dereceden mezotermal, su fazlası olmayan yahut pek az olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer (D B'2 d b'3) (Tablo 31). Bu sonuçlar araştırma alanında geniş anlamda bir birlik olduğunu ortaya koymaktadır. Simav Meteoroloji İstasyonu hariç araştırmada kullanılan bütün istasyonlarda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ayları su noksanı olan aylardır. Simav'da ise su noksanı olan aylar Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül'dür. Genel itibariyle, Mayıs'tan Ekim'e kadar 6 ay boyunca yağışların potansiyel evapotranspirasyondan (PE) az olmasına karşın, Mayıs'taki yağış yetersizliği kış mevsiminde toprakta birikmiş sudan karşılanır ve sonuçta su noksanı çekilen, kuraklığın şiddetli olduğu aylar 5'e iner. Ekim ayında sıcaklığın azalmış olması ve yağışlarda başlayan artışlar bu ayda PE ile yağış arasındaki açık oldukça azalmıştır. Bu sebeple Ekim ayı toprakta su birikmese de bütün istasyonlarda su noksanının kendini çok az hissettirdiği bir aydır. Kasım'dan Nisan ayının sonuna kadar PE yağış miktarını tüketecek kadar olmadığı için toprakta su bulunur. Bu dönemde toprakta biriken su Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan'ı kapsayan 4-5 aylık bir dönemde su fazlasına yol açar (Şekil 25).

Tablo 24: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının De Martonne formülüne (1923) göre hesaplanmış aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne (1942) göre hesaplanmış yıllık indis değerleri.

Aylar	Uşak (1960-2014)				Simav (1960-2011)				Gediz (1972-2011)				Demirci (1992-2011)				Eşme (1986-1993)			
	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf
O	72	2.5	69.3	Nemli	126	2.4	122.1	Nemli	73	2.4	70.9	Nemli	77	3.7	67.7	Nemli	35	2.4	33.8	Nemli
Ş	65	3.1	59.7	Nemli	108	3.2	98.4	Nemli	64	3.3	58.5	Nemli	82	3.9	70.7	Nemli	39	4.9	31.3	Nemli
M	56	6.3	41.3	Nemli	87	6.2	64.9	Nemli	56	6.5	41.2	Nemli	70	6.7	50.9	Nemli	46	8.6	29.8	Yarıkurak-Nemli
N	56	10.8	32.4	Nemli	72	10.6	42.0	Nemli	57	11.2	32.6	Nemli	65	11.2	36.9	Nemli	38	12.6	20.5	Yarıkurak-Nemli
M	46	15.8	21.7	Yarıkurak - Nemli	49	15.4	23.2	Yarıkurak - Nemli	40	16.2	18.4	Yarıkurak	46	16.8	20.6	Yarıkurak-Nemli	35	15.8	16.6	Yarıkurak
H	26	20.3	10.5	Yarıkurak	27	19.4	11.3	Yarıkurak	20	20.7	9.4	Kurak	15	21.1	6.1	Kurak	16	21.4	6.1	Kurak
T	16	23.6	5.8	Kurak	12	21.9	4.5	Kurak	14	24.1	5.0	Kurak	8	24.1	3.0	Kurak	11	24.6	3.8	Kurak
A	9	23.5	3.5	Kurak	9	21.5	3.4	Kurak	11	23.8	4.1	Kurak	11	24.3	3.9	Kurak	16	25.4	5.6	Kurak
E	17	18.9	7.1	Kurak	24	17.2	10.7	Yarıkurak	19	19.0	8.1	Kurak	21	19.8	8.8	Kurak	6	21.1	2.3	Kurak
Ek	42	13.3	21.4	Yarıkurak - Nemli	49	12.3	26.5	Yarıkurak - Nemli	48	13.2	25.1	Yarıkurak-Nemli	50	14.9	24.0	Yarıkurak-Nemli	27	16.4	12.3	Yarıkurak
K	58	7.9	39.0	Nemli	94	7.8	63.8	Nemli	67	7.3	16.6	Nemli	74	9.3	45.9	Nemli	60	10.7	35.4	Nemli
A	83	4.1	70.9	Nemli	158	4.3	132.6	Nemli	85	3.9	73.3	Nemli	93	5.5	72.0	Nemli	62	4.8	50.6	Nemli
Yıllık	551	12.5	13.9	Yarıkurak - Nemli	819	11.8	20.5	Nemli	563	12.6	14.	Yarıkurak-Nemli	616	13.4	14.6	Yarıkurak-Nemli	394	14.1	9.4	Yarıkurak

İndis değerleri ve karşılığı	
Kurak (I<10)	Yarıkurak-Nemli (20<I<30)
Yarıkurak (10<I<20)	Nemli (I>30)

Tablo 25: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının Erinç'in yağış etkinlik indisine göre (kurak-nemli aylar) sınıflandırılması.

Aylar	Uşak (1960-2014)				Simav (1960-2011)				Gediz (1972-2011)				Demirci (1992-2011)				Eşme (1986-1993)			
	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf
O	72	7.0	122.1	Çok nemli	126	7.0	214.4	Çok nemli	73	8.1	108.7	Çok nemli	77	7.3	127.3	Çok nemli	35	7.9	52.7	Nemli
Ş	65	8.0	97.0	Çok nemli	108	8.1	159.7	Çok nemli	64	9.4	82.9	Çok nemli	82	7.9	125.1	Çok nemli	39	8.7	53.8	Nemli
M	56	11.9	56.4	Çok nemli	87	11.8	88.7	Çok nemli	56	13.6	50.1	Nemli	70	11.4	74.6	Çok nemli	46	12.6	43.8	Nemli
N	56	16.5	40.9	Nemli	72	16.6	52.2	Nemli	57	18.2	38.0	Yarı nemli	65	16.0	48.8	Nemli	38	19.1	24.3	Yarı nemli
M	46	21.8	25.7	Yarı nemli	49	21.9	26.8	Yarı nemli	40	23.8	20.2	Yarı Kurak	46	22.2	24.9	Yarı nemli	35	22.6	19.0	Yarı Kurak
H	26	26.5	12.0	Kurak	27	26.2	12.7	Kurak	20	28.4	10.2	Kurak	15	26.7	7.1	Tam Kurak	16	28.6	6.7	Tam Kurak
T	16	30.3	6.4	Tam Kurak	12	29.3	4.9	Tam Kurak	14	32.2	5.4	Tam Kurak	8	30.1	3.4	Tam Kurak	11	32.3	4.1	Tam Kurak
A	9	30.5	3.8	Tam Kurak	9	29.5	3.6	Tam Kurak	11	32.4	4.3	Tam Kurak	11	29.8	4.4	Tam Kurak	16	33.1	6.0	Tam Kurak
E	17	26.2	7.9	Tam Kurak	24	25.7	11.3	Kurak	19	27.9	8.4	Kurak	21	24.7	10.6	Kurak	6	28.8	2.5	Tam Kurak
Ek	41	20.2	24.7	Yarı nemli	49	20.1	29.3	Yarı nemli	48	21.5	27.0	Yarı nemli	50	19.6	30.7	Yarı nemli	27	22.4	14.5	Kurak
K	58	14.0	49.7	Nemli	94	14.2	80.0	Çok nemli	67	14.8	54.7	Nemli	74	13.4	66.3	Çok nemli	60	14.3	51.2	Nemli
A	83	8.9	111.7	Çok nemli	158	8.8	215.6	Çok nemli	85	9.5	107.2	Çok nemli	93	9.2	122.1	Çok nemli	62	9.2	81.4	Çok nemli
Yıllık	550	18.5	29.7	Yarı nemli	819	18.3	44.7	Nemli	563	20.0	28.2	Yarı nemli	616	18.2	33.9	Yarı nemli	394	19.9	19.8	Yarı Kurak

Erinç (1965)'in yağış etkinlik indisi	
İklim İndis Değeri (Im) ve Bitki Örtüsü	
Tam Kurak <8 Çöl	Yarı Nemli 23-40 Park görünümlü kuru orman
Kurak 8-15 Çöl-Step	Nemli 40-55 Nemli orman
Yarı Kurak 15-23 Step	Çok nemli >55 Çok nemli orman

Tablo 26: Araştırma alanı ve yakın çevresinin UNEP Kuraklık İndeksine göre hesaplanmış aylık ve yıllık kuraklık indis değerleri ve kategorileri.

		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Gediz	**Ortalama Yağış (P)**	73	64	56	57	40	24	14	11	19	48	67	85	**563**
	Thornwaite Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	5.0	7.7	19.6	41.1	68.8	95.9	118.8	116.8	85.6	51.5	23.1	9.9	644.4
	UNEP Kuraklık İndisi (P/PET(Thornwaite)	14.5	8.3	2.8	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.9	2.9	8.5	0.8
	Kuraklık Kategorisi	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Yarı kurak	Kurak	Kurak	Yarı kurak	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
Simav	**Ortalama Yağış**	126	108	87	72	49	27	12	9	24	49	94	158	**819**
	Thornwaite Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	6.2	8.9	20.8	41.9	67.2	90.7	106.3	103.5	77.9	50.4	28.1	13.08	615.5
	UNEP Kuraklık İndisi (P/PET(Thornwaite)	20.2	12.0	4.2	1.7	0.7	0.3	0.1	0.1	0.3	0.9	3.3	12.0	1.3
	Kuraklık Kategorisi	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Yarı kurak	Kurak	Kurak	Yarı kurak	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
Uşak	**Ortalama Yağış**	72	65	56	56	46	26	16	9	17	41	58	83	**550**
	Thornwaite Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	5.3	7.4	19.3	39.9	66.9	94.1	115.8	114.7	85.8	53.1	26.3	10.7	640.0
	UNEP Kuraklık İndisi (P/PET(Thornwaite)	13.4	8.7	2.9	1.4	0.7	0.2	0.1	0.1	0.2	0.8	2.2	7.7	0.8
	Kuraklık Kategorisi	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Yarı kurak	Kurak	Kurak	Kurak	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
Demirci	**Ortalama Yağış**	77	82	70	65	46	15	8	10	21	50	73	93	**616**
	Thornwaite Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	8.0	8.7	18.6	39.1	70.2	97.3	117.4	119.0	87.9	59.5	30.1	14.1	670.5
	UNEP Kuraklık İndisi (P/PET(Thornwaite)	9.5	9.3	3.8	1.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.8	2.4	6.5	0.9
	Kuraklık Kategorisi	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Kurak	Kurak	Kurak	Yarı kurak	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
Eşme	**Ortalama Yağış**	35	39	46	38	35	15	10	16	5	27	60	62	**394**
	Thornwaite Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	3.7	10.7	24.8	44.1	62.2	97.7	120.6	126.3	95.4	65.6	34.2	10.4	696.1
	UNEP Kuraklık İndisi (P/PET(Thornwaite)	9.4	3.6	1.8	0.8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	1.7	6.0	0.5
	Kuraklık Kategorisi	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Kurak	Kurak	Kurak	Kurak	Yarı Kurak	Nemli	Nemli	Yarı Nemli

UNEP (1992) İndis Değerleri ve Karşılığı	
Çok Kurak	<0.05
Kurak	0.05-0.20
Yarı Kurak	0.20-0.50
Yarı Nemli	0.50-0.65
Nemli	>0.65

Tablo 27: Thornthwaite formülüne göre Gediz Meteoroloji İstasyonu su bilançosu.

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : C1 B'2 s2 b'3. Gediz, kurak ve az nemli, ikinci dereceden mezotermal , kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.													
	Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Yıllık**
Sıcaklık	2.4	3.3	6.5	11.1	16.2	20.6	24.1	23.8	19.0	13.1	7.3	3.9	12.6
Sıc.İnd.	0.33	0.53	1.49	3.34	5.93	8.53	10.82	10.61	7.55	4.30	1.77	0.69	55.89
Pt.Etp.	5.02	7.77	19.68	40.99	68.82	95.68	118.64	116.62	85.64	51.44	23.07	9.77	643.14
En.D.Kat	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81	
Düz PE	4.24	6.48	20.27	45.49	85.10	119.26	150.26	137.61	89.06	49.38	19.23	7.95	734.33
Yağış	73	64	56	57	40	24	14	11	19	48	67	85	558
Brk. Su D	0	0	0	0	-45.10	-54.90	0	0	0	0	47.77	52.23	
Birik. Su	100	100	100	100	54.90	0	0	0	0	0	47.77	100	
Ger. Etr.	4.24	6.48	20.27	45.49	85.10	78.90	14.00	11.00	19.00	48.00	19.23	7.95	359.66
Eksik Su	0	0	0	0	0	40.36	136.26	126.61	70.06	1.38	0	0	374.68
Fazla Su	68.76	57.52	35.73	11.51	0	0	0	0	0	0	0	24.82	198.34
Akış	46.79	63.14	46.63	23.62	5.75	0	0	0	0	0	0	12.41	198.34
Nemlilik	16.24	8.88	1.76	0.23	-0.53	-0.80	-0.91	-0.92	-0.79	-0.03	2.48	9.70	0

Tablo 28: Thornthwaite formülüne göre Simav Meteoroloji İstasyonu su bilançosu.

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : B1 B'1 s2 b'3. Simav, birinci dereceden nemli, birinci dereceden mezotermal , yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.													
	Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Yıllık**
Sıcaklık	2.4	3.2	6.2	10.6	15.4	19.4	21.9	21.5	17.2	12.3	7.8	4.3	11.8
Sıc.İnd.	0.33	0.51	1.38	3.12	5.49	7.79	9.36	9.10	6.49	3.91	1.96	0.80	50.24
Pt.Etp.	6.20	8.97	20.96	41.72	67.39	90.64	105.90	103.43	77.67	50.50	28.14	13.10	614.63
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	5.26	7.52	21.59	46.31	82.99	112.53	133.60	122.04	80.77	48.48	23.60	10.73	695.42
Yağış	126	108	87	72	49	27	12	9	24	49	94	158	815
Brk. Su D	0	0	0	0	-33.99	-66.01	0	0	0	0.52	70.40	29.08	
Birik. Su	100	100	100	100	66.01	0	0	0	0	0.52	70.92	100	
Ger. Etr.	5.26	7.52	21.59	46.31	82.99	93.01	12.00	9.00	24.00	48.48	23.60	10.73	384.49
Eksik Su	0	0	0	0	0	19.52	121.60	113.04	56.77	0	0	0	310.93
Fazla Su	120.74	100.48	65.41	25.69	0	0	0	0	0	0	0	118.19	430.51
Akış	119.47	110.61	82.95	45.55	12.84	0	0	0	0	0	0	59.10	430.51
Nemlilik	22.96	13.36	3.03	0.55	-0.41	-0.76	-0.91	-0.93	-0.70	0.01	2.98	13.73	

Tablo 29: Thornthwaite formülüne göre Uşak Meteoroloji İstasyonu su bilançosu.

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : C1 B'2 s2 b'3. Uşak, kurak ve az nemli, ikinci dereceden mezotermal , kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.													
	Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Yıllık**
Sıcaklık	2.4	3.1	6.3	10.8	15.8	20.3	23.6	23.5	18.9	13.3	7.9	4.1	12.5
Sıc.İnd.	0.34	0.48	1.42	3.21	5.71	8.34	10.48	10.41	7.49	4.40	2.00	0.74	55.01
Pt.Etp.	5.19	7.35	19.23	39.97	66.99	94.13	115.48	114.82	85.43	53.03	26.15	10.74	638.51
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	4.41	6.16	19.81	44.37	82.48	116.83	145.64	135.49	88.85	50.91	21.93	8.79	725.67
Yağış	72	65	56	56	46	26	16	9	17	41	58	83	545
Brk. Su D	0	0	0	0	-36.48	-63.52	0	0	0	0	36.07	63.93	
Birik. Su	100	100	100	100	63.52	0	0	0	0	0	36.07	100	
Ger. Etr.	4.41	6.16	19.81	44.37	82.48	89.52	16.00	9.00	17.00	41.00	21.93	8.79	360.47
Eksik Su	0	0	0	0	0	27.31	129.64	126.49	71.85	9.91	0	0	365.20
Fazla Su	67.59	58.84	36.19	11.63	0	0	0	0	0	0	0	10.27	184.53
Akış	38.93	63.22	47.51	23.91	5.82	0	0	0	0	0	0	5.14	184.53
Nemlilik	15.34	9.55	1.83	0.26	-0.44	-0.78	-0.89	-0.93	-0.81	-0.19	1.64	8.44	

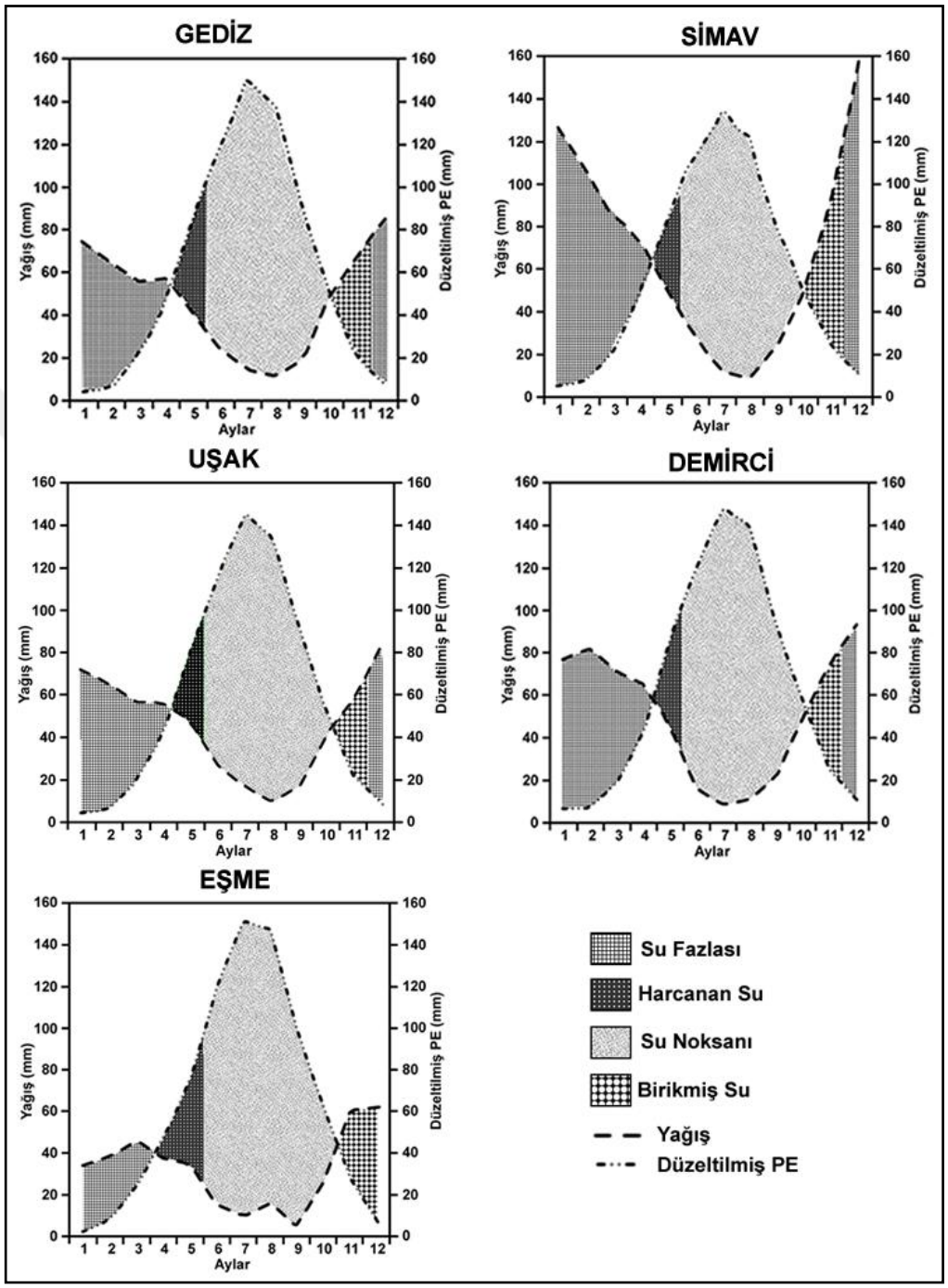
Tablo 30: Thornthwaite formülüne göre Demirci Meteoroloji İstasyonu su bilançosu.

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : C2 B'2 s2 b'3. Demirci, yarı nemli, ikinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.													
	Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Yıllık**
Sıcaklık	3.7	3.9	6.6	11.2	16.8	21.1	24.0	24.2	19.6	14.9	9.3	5.5	13.4
Sıc.İnd.	0.63	0.69	1.52	3.39	6.26	8.85	10.75	10.89	7.91	5.22	2.56	1.16	59.83
Pt.Etp.	8.04	8.67	18.42	39.30	70.26	97.40	117.14	118.54	87.63	59.16	30.11	14.18	668.85
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	6.83	7.27	18.97	43.62	86.46	120.83	147.66	139.88	91.14	56.79	25.28	11.62	756.34
Yağış	77	82	70	65	46	15	8	10	21	50	73	93	610
Brk. Su D	0	0	0	0	-40.46	-59.54	0	0	0	0	47.72	52.28	
Birik. Su	100	100	100	100	59.54	0	0	0	0	0	47.72	100	
Ger. Etr.	6.83	7.27	18.97	43.62	86.46	74.54	8.00	10.00	21.00	50.00	25.28	11.62	363.59
Eksik Su	0	0	0	0	0	46.28	139.66	129.88	70.14	6.79	0	0	390.91
Fazla Su	70.17	74.73	51.03	21.38	0	0	0	0	0	0	0	29.10	246.41
Akış	49.64	72.45	62.88	36.20	10.69	0	0	0	0	0	0	14.55	246.41
Nemlilik	10.28	10.27	2.69	0.49	-0.47	-0.88	-0.95	-0.93	-0.77	-0.12	1.89	7.00	

Tablo 31: Thornthwaite formülüne göre Eşme Meteoroloji İstasyonu su bilançosu.

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : D B'2 d b'3 Eşme, yarı kurak, ikinci dereceden mezotermal , su fazlası olmayan yahut pek az olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.													
	Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Yıllık**
Sıcaklık	2.4	4.9	8.6	12.6	15.8	21.3	24.6	25.3	21.0	16.4	10.6	4.8	14.0
Sıc.İnd.	0.33	0.97	2.27	4.05	5.71	8.97	11.16	11.64	8.78	6.04	3.12	0.94	63.99
Pt.Etp.	3.67	10.72	24.93	44.22	62.09	97.20	120.64	125.83	95.15	65.66	34.12	10.39	694.63
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	3.12	9.01	25.68	48.93	76.37	120.52	151.59	148.04	98.96	63.04	28.66	8.52	782.43
Yağış	35	39	46	38	35	15	10	16	5	27	60	62	388
Brk. Su D	15.18	0	0	10.93	-41.37	-47.70	0	0	0	0	31.34	53.48	
Birik. Su	100	100	100	89.07	47.70	0	0	0	0	0	31.34	84.82	
Ger. Etr.	3.12	9.01	25.68	48.93	76.37	62.70	10.00	16.00	5.00	27.00	28.66	8.52	320.99
Eksik Su	0	0	0	0	0	57.82	141.59	132.04	93.96	36.04	0	0	461.44
Fazla Su	16.70	29.99	20.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.01
Akış	8.35	23.35	25.16	10.16	0	0	0	0	0	0	0	0	67.01
Nemlilik	10.21	3.33	0.79	-0.22	-0.54	-0.88	-0.93	-0.89	-0.95	-0.57	1.09	6.27	

Şekil 25: Thornthwaite formülüne göre araştırmada kullanılan istasyonların su bilançoları.



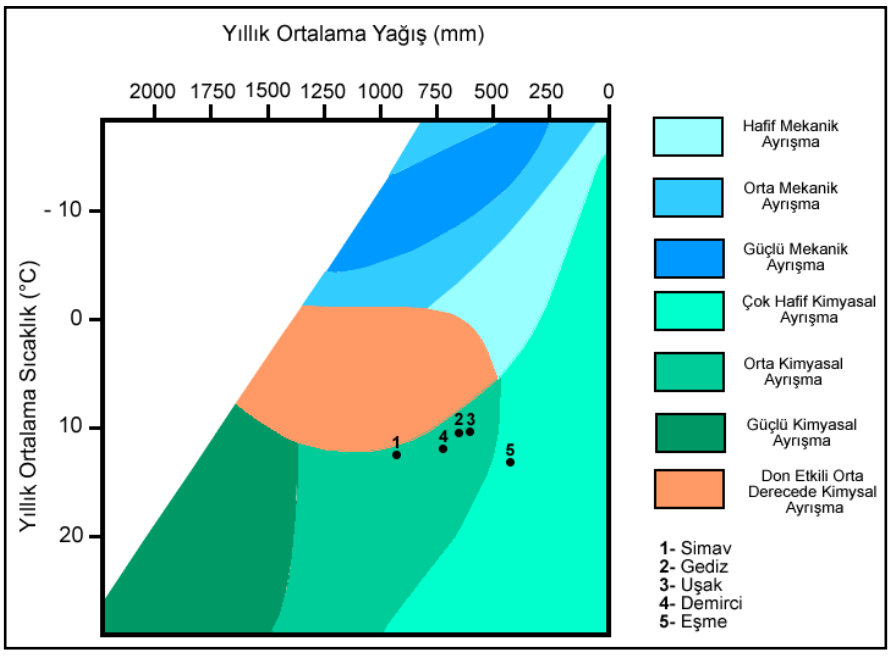
1.3.4. Ayrışma, Erozyon ve İklim İlişkisi

Son olarak ayrışma, erozyon ve iklim ilişkisini kurabilmek için Peltier (1950) diyagramı kullanılmıştır. Louis Peltier 1950 yılında yayınladığı araştırmasında yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verilerini kullanarak, herhangi bir yerdeki

fiziksel ve kimyasal ayrışmanın derecesini, hangi ayrışma türünün egemen olduğunu, yağış erozyonunun, kütle hareketlerinin, donma ve rüzgar olaylarının etki derecesi ile ilgili fikir elde edilebileceğini öne sürmüştür. Peltier (1950)'nin yaklaşımları ve konuyla ilgili diyagramları günümüzde halen ayrışma sürecini açıklamada ve iklimin ayrışmaya etkileriyle ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Olier, 1984; Fowler ve Petersen, 2004; Akgün 2007; Huggett, 2010; Farrahmand vd., 2016). Bu çalışmanın konusu gereği Louis Peltier'in kimyasal ve fiziksel ayrışma hızlarını ve yağış erozyonunun derecesini sıcaklık ve yağış ile ilişkilendirdiği diyagramları kullanılmıştır.

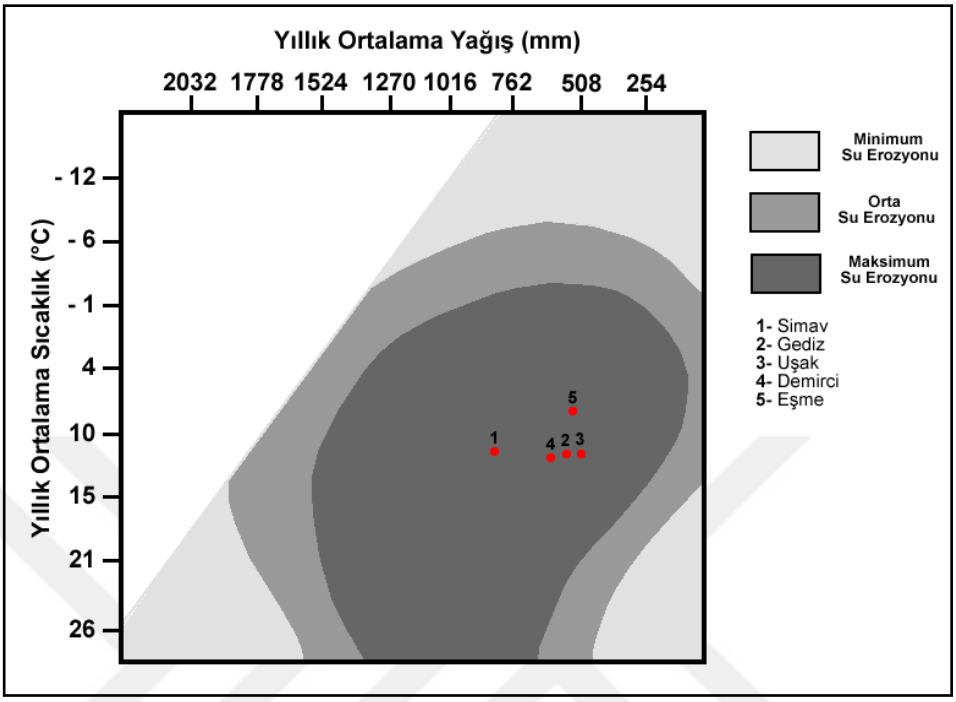
Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yağış ve sıcaklık verileri Peltier (1950) diyagramına yerleştirilmiştir. Buna göre araştırma alanında orta ve çok hafif kimyasal ayrışma süreci etkindir (Şekil 26). Araştırmanın ana temasını ilgilendiren plüvyal erozyon grafiği incelendiğinde araştırma alanında mevcut iklim koşullarında maksimum su erozyonunun etkin olduğu sonucu elde edilmektedir (Şekil 27). Peltier (1950) grafikleri araştırma alanındaki erozyon duyarlılık durumunun ayrışma ve iklim özelliklerinin ortak bir sonucu olduğunu göstermektedir.

Şekil 26: Araştırma alanındaki hakim ayrışma türü.



Kaynak: Grafik Peltier (1950)'den uyarlanmıştır.

Şekil 27: Araştırma alanında plüvyal erozyon durumu.



Kaynak: Grafik Peltier (1950)'den uyarlanmıştır.

1.4. Toprak Özellikleri

Araştırma alanında 8 büyük toprak gurubu yayılış göstermektedir. Bunlardan kestane rengi topraklar, kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar, kırmızı akdeniz toprakları bölgedeki iklim, anakaya, topografya, vejetasyon özelliklerine göre oluşup gelişmiş zonal topraklar kategorisine; sadece topografya, drenaj koşulları ve anamateryal etkisi altında oluşan rendzina toprakları intrazonal topraklar kategorisine; alüvyal ve kolüvyal topraklar ise Selendi Çayı'nın oluşturduğu taşkın ovasına veya eğimli yamaçlar üzerinde oluşup, horizonlaşma göstermeyen genç azonal topraklar kategorisine girmektedir (Şekil 28).

Zonal Topraklar:

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın 1/25000 ölçekli Ulusal Toprak Veritabanı'ndan temin edilen toprak haritasına göre Selendi Çayı Havzası'nda değişen iklim, anakaya ve bitki örtüsü altında oluşup gelişen başlıca beş zonal toprak çeşidi bulunmaktadır. Bunlar kapladıkları alanların büyüklüğüne göre sırayla;

kahverengi orman toprağı, kireçsiz kahverengi orman toprağı, kireçsiz kahverengi topraklar, kestanerengi topraklar ve kırmızı akdeniz topraklarıdır.

% 29.26'lık oranla araştırma alanında en geniş yayılış alanına kahverengi orman toprakları sahiptir. Genellikle yüksek kesimlerde dağılış gösteren bu toprakların en büyük alan kapladığı yer araştırma alanının kuzeybatısıdır. Hacılar Köyü'nün kuzeyinden başlayan kahverengi orman toprakları Çakırlar ve Sofular Köyleri'nin batısındaki alanın hemen hemen tamamını kaplamaktadır. Araştırma alanının güneyinde küçük bir alan ve güneydoğuda da Karataşılılar ile Sarıimamdamları arasında kalan alanda görülürler. Sınırları çizilen bu alanlar içerisinde kahverengi orman toprakları yer yer alüvyal, kolüvyal topraklar ve çıplak kaya ve molozlar ile kesintiye uğrasalar da geniş bir kuşak halinde devam ederler.

Zonal topraklardan araştırma alanında en geniş ikinci yayılış alanına sahip olan büyük toprak gurubu % 19.01 ile kireçsiz kahverengi orman topraklarıdır. Kireçsiz kahverengi orman toprakları araştırma alanının doğusunda Altınköy ile Sofular arasında kuzeydoğu-güneybatı yönlü bir kuşak halinde uzanırlar. Araştırma alanının güneydoğusunda Telliköy civarında da küçük bir alanda görülmektedir. Araştırma alanında daha çok meşelerin ve karaçam ormanlarının altında bu toprak görülmektedir.

Kireçsiz kahverengi topraklar araştırma alanının %16.20'lik kısmını kaplarlar. Araştırma alanının daha çok batısında Şehirlioğlu ile Yukarıeskin arasında yayılış göstermektedir. Daha dar alanlı olarak Yassı Eynihan ile Karapınar arasında, Karacalar ve Kocaahmetler mevkiilerinde de görülmektedir.

Araştırma alanında % 0.48 gibi küçük bir alan kaplayan kestanerengi topraklar Kabaklar ile Karakuzan arasında kuzeybatı güneydoğu yönlü bir şerit halinde uzanmaktadır.

Araştırma alanında % 0.01'lik oranıyla en az alanı kaplayan toprak gurubu olan kırmızı akdeniz toprakları araştırma alanının güneyinde Çamyayla Köyü civarında sınırlı bir alanda görülmektedir.

İntrazonal Topraklar:

Araştırma alanında oluşumu daha çok anakaya, topografya ve jeomorfolojik şartlara bağlı topraklar olan intrazonal topraklar da bulunmaktadır. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın 1/25000 ölçekli Ulusal Toprak Veritabanı'ndan temin edilen toprak haritasında yaptığımız analizlerin sonucuna göre araştırma alanının % 21.11 gibi büyük bir kısmında dağılış gösteren bu topraklar pek çeşitlilik göstermemekte, sadece rendzinalar ile temsil edilmektedir. Rendzina toprakları, düz ve hafif engebeli yerlerdeki yumuşak killi kalker, marnlardan ibaret araziler üzerinde görülür. Bu araziler ülkemizde Neojen havzalarında çökelmiş olan killi kalker, kumlu kalker ve marn depoları üzerinde yaygındır (Atalay, 2006). Nitekim araştırma alanının özellikle güneyinde oldukça geniş alan kaplayan rendzinalar Neojen'e ait kalkerli, killi, siltli, marnlı ve tüflü havza depoları üzerinde gelişmiştir.

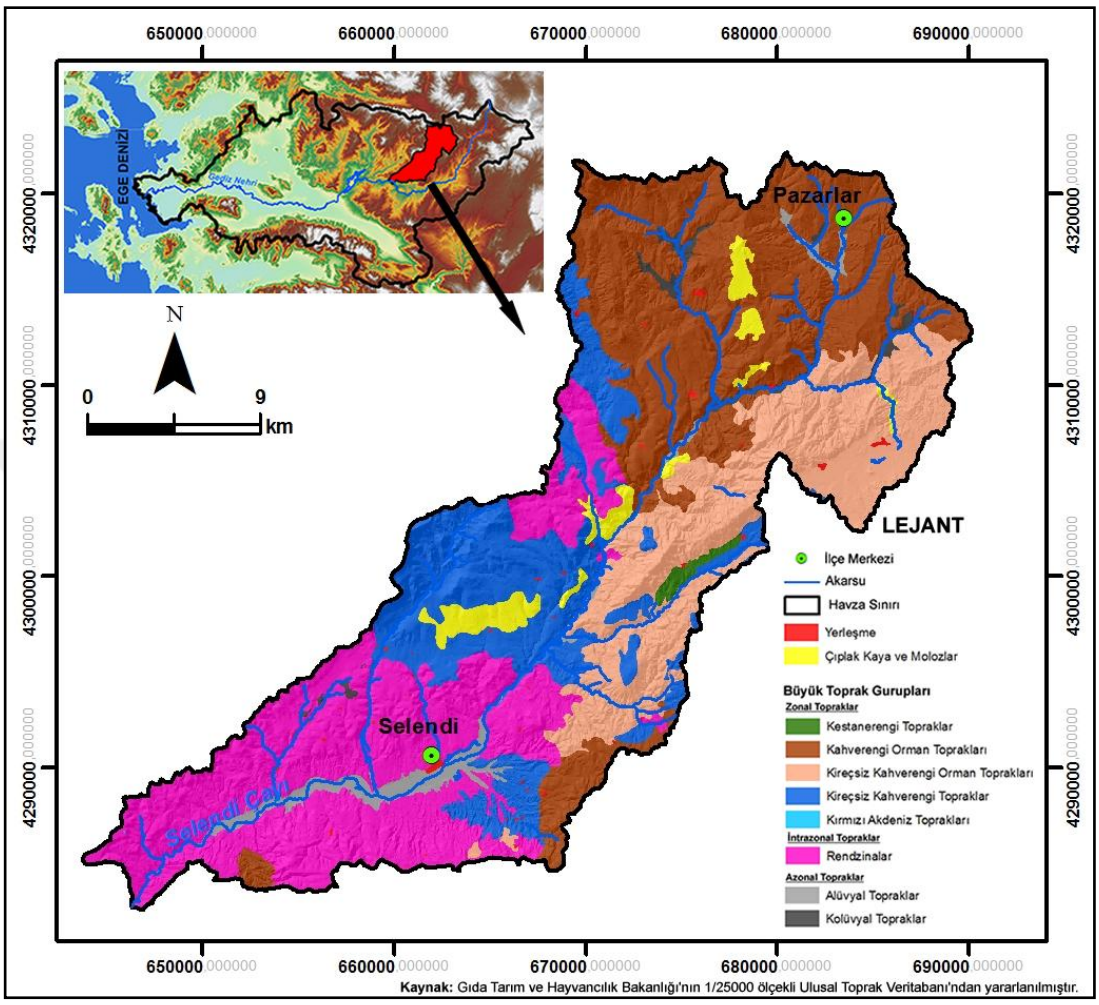
Azonal Topraklar:

Araştırma alanında azonal toprak kategorisinde alüvyal ve kolüvyal topraklar bulunmaktadır. Bu toprakların oluşumunda ayrışma, aşınma, taşınma ve birikme süreçleri etkili olmuştur. Araştırma alanında aktif olarak devam eden bu süreçler pedonejenezin seyrini ve toprak gelişmesini engellemekte ya da kesintiye uğratmaktadır. Bu sebeple araştırma alanında horizonlaşma göstermeyen genç topraklar meydana gelmiştir. Bu toprakların özellikleri şöyledir:

Araştırma alanında % 2.67'lik alan kaplayan alüvyal topraklar özellikle Selendi Çayı'nın anakolunun geçtiği vadi tabanında yer almaktadır.

Araştırma alanında % 1.67'lik alan kaplayan kolüvyal topraklar oldukça parçalı bir dağılıma sahiptir. Araştırma alanının güneyinde Avşala Köyü mevkiinde; araştırma alanının kuzeyinde ise, Kadılar Köyü kuzeydoğusunda, Pazarlar İlçesi batısında, Yakuplar Köyü doğusunda, Yenice ile Yaykın Köyleri arasında Orhanlar Deresi boyunca yayılış göstermektedir. Bunlar alüvyal topraklar kadar çok taşınmadıkları için daha iri tanelerden oluşmaktadır.

Şekil 28: Selendi Çayı Havzası'nın büyük toprak gurupları haritası.



Kaynak: Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı 1/25000 ölçekli Ulusal Veri Tabanından elde edilen sayısal verinin düzenlenmesiyle oluşturulmuştur.

1.5. Bitki Örtüsü Özellikleri

Bitki örtüsü temelde iklim tarafından yönetilen aşındırma etmen ve süreçlerinin etkinlik dereceleri ve hızları üzerinde rol oynar. Zeminin çıplak ya da vejetasyonla kaplı olması da aşındırmanın şiddeti üzerine büyük etkiler yapar. Çıplak arazilerde aşındırma, vejetasyonla kaplı sahalara oranla karşılaştırılamayacak kadar fazladır. Bitki örtüsünün aşındırmaya karşı koruyucu etkisi, bütün vejetasyon formasyonlarında şüphesiz ki aynı değildir. Bir halı gibi yeri kaplayan formasyonlar zemini daha iyi korur. Bitki örtüsünün bu etkileri çok değişik yollardan meydana gelir. Bitkiler damla erozyonuna karşı zemini koruyarak, yağışın bir kısmını alıkoyarak zeminde depo edilen suyu arttırarak, sürtünmeyi kuvvetlendirmek yoluyla

hızı azaltıp sızmayı kolaylaştırarak ve akış düzenini bozmak yoluyla suyun belirli kanallarda toplamasına engel olarak aşınmayı büyük ölçüde azaltır . Örneğin, bitki örtüsü kapalılığı fazla olan alanlarda, eğim, litoloji, toprak gibi diğer şartlar da uygunsa, damla erozyonu, fiziksel parçalanma, kütle hareketleri, sel ve seyelân aşındırması gibi süreçlerin etkisi önemsizdir. Buna karşın az kapalı veya bitki örtüsünden yoksun sahalarda, diğer şartlar da uygunsa, bu süreçlerin etkisi büyük önem kazanır ve sahanın aşındırılması hızlanır (Erinç, 1982; Hoşgören, 1983).

Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu bölümünde yer alan araştırma alanı Akdeniz (Batı Anadolu) flora bölgesi sınırları içerisinde kalmaktadır (Avcı, 1993). Havzanın doğal bitki örtüsünü çesitli coğrafi faktörlere bağlı olarak farklı dağılış özelliklerine sahip orman, çalı ve ot formasyonları oluşturmaktadır. Araştırma alanında bitki örtüsünün dağılış özelliklerini ortaya kayabilmek amacıyla orman amenajman haritası altlık olarak kullanılarak, orman, çalı ve ot formasyonu sınırları çizilmiş ve ilgili formasyonların arazide tespit edilen hakim türleri haritaya işaretlenmiştir (Şekil 30).

1.5.1. Orman Formasyonu

Araştırma alanında geniş yer kaplamayan orman alanları kuru ormanlardan oluşmaktadır. Kuru ormanları meydana getiren başlıca bitki türleri kızılçam (*Pinus brutia*), karaçam (*Pinus nigra*), saçlı meşe (*Quercus cerris*), mazı meşesi (*Quercus infectoria*) ve palamut meşesi (*Quercus ithaburensis sp. macrolepis*) dir (Şekil 30).

Kuru ormanlar araştırma alanında özellikle yüksek kesimlerde görülmektedir. Araştırma alanının kuzeyindeki dağlık alanlarda hüküm süren iklim koşullarına iyi uyum sağlamış karaçam (*Pinus nigra*) kuru ormanların önemli elemanlarındandır. Yağış haritasından anlaşılacağı üzere araştırma alanının kuzeyindeki dağlık kesimler en fazla yağış alan yerlerdir. Zirvelere doğru yağış değeri 1000 mm'yi bulur. Yağışın bu yüksek değerleri ve 18-20 ^{o}C'yi bulan ortalama yaz sıcaklıkları tahrip edilmedikleri yerlerde gür bir bitki örtüsüne imkan vermiştir. Araştırma alanının kuzeyinde özellikle dağlık sahalarda görülen bu yoğun bitki örtüsü karaçam ve saçlı meşe toplulukları ile kaplıdır. Karaçam ormanlarının en geniş yayılış gösterdiği yerler araştırma alanının kuzeydoğusunda Orhanlar ile Tepeköy arasında kalan

dağlık saha ve Kedikayası dağındadır. Karaçam ormanları Sarayköy, Çavuşoğlu damları ile Kaklıktepe ve Hıdırdivanı kesimlerinde araya meşe türlerinin girmesiyle karışık orman karakteri kazanır.

Kuru ormanlar araştırma alanının güneyinde de yer yer devam eder. Ancak araştırma alanının yükseltisi nispeten daha alçak olan bu kesiminde hakim ağaçlar kızılçam (*Pinus brutia*) ve yer yer meşedir. İklim bölümünde açıklandığı gibi havzanın güney kesiminde kuzeyine oranla yağış miktarı daha düşük (300-800 mm) ve sıcaklıklar daha yüksektir. Araştırma alanında iklim şartlarının ve diğer ekolojik koşulların kuzeye göre farklılaştığı güney kesimlerde kızılçamlar kuru ormanların en yaygın türüdür.

Kuru ormanlar alanında sınırlı sahalarda görülen ardıç türlerinden boylu ardıç (*Juniperus excelsa*) sıcaklık isteği fazla, nem isteği az, kuraklığa ve donlara dayanıklı bir türdür. Akdeniz ve İç Anadolu iklimi arasındaki geçiş alanları ile karasal iklimin görüldüğü sahalara bağlılık gösterir. Ayrıca toprak istekleri açısından diğer ardıç tüleri gibi kanaatkâr bir özellik taşıyan *Juniperus excelsa* genellikle kuru, taşlı, sığ topraklı yamaçlarda yarı kristalize kireç taşları üzerinde oluşan, kırmızımsı Akdeniz toprakları üzerinde gelişir (Günal, 1997). Araştırma alanının kuzeybatı ucunda 1400 metrelerde Karakaya tepe civarında görülür (Şekil 30).

1.5.2. Çalı Formasyonu

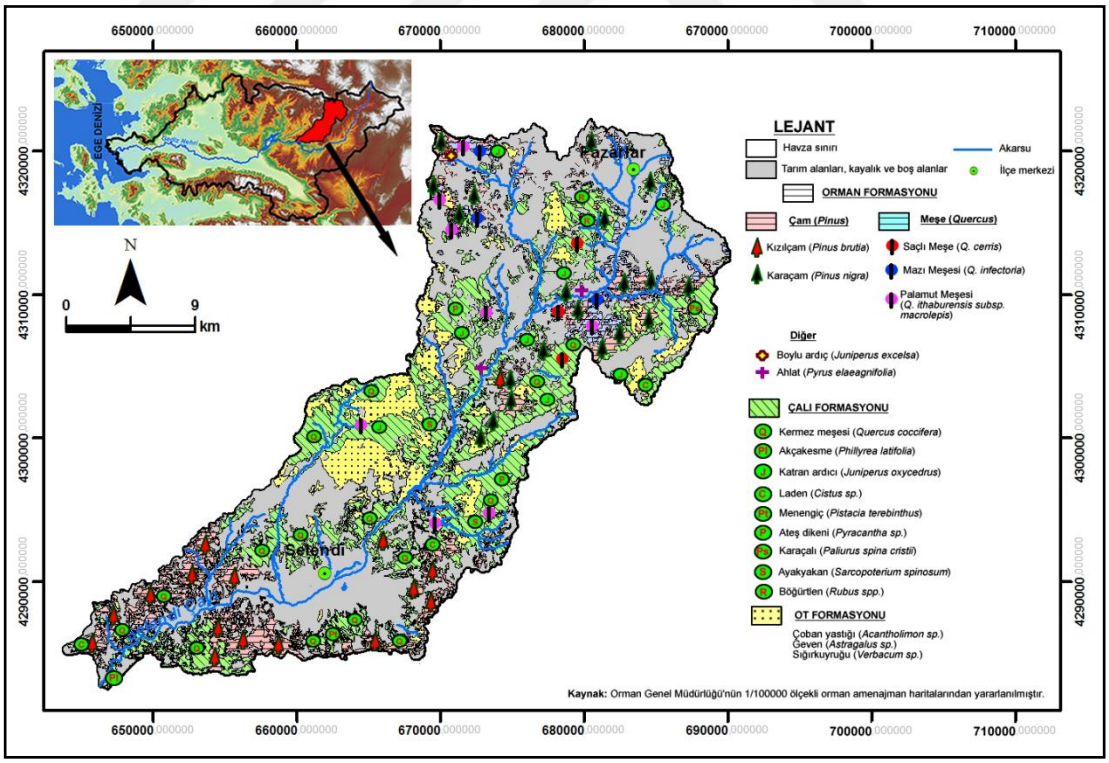
Araştırma alanında taşlık, kayalık alanlarda, volkanik tüflerde ve kumlu, killi, marnlı yamaçlarda yer yer badlands şekilleri görülür. Bu yerlerde, elverişsiz ortam şartları sebebiyle maki elemanlarının son derece kurakçıllaştığı ve garig özelliği kazandıkları dikkat çeker. Özellikle Selendi ilçe merkezinin güney batısı ve güneyindeki yamaçlarda görülen bu formasyonun hakim türlerini akçakesme (*Phillyrea latifolia*), katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), kermez meşesi (*Quercus coccifera*), laden (*Cistus salviifolius, C.creticus*), karaçalı (*Paliurus spina cristii*), ateş dikeni (*Pyracantha sp.*), ayakyakan (*Sarcopoterium spinosum*) oluşturur (Günal, 2003). Dolayısıyla araştırma alanının bitki örtüsü açısından gösterdiği çeşitlilikte, birinci derecede iklimin etkisi olmakla beraber araştırma alanındaki edafik

faktörlerin de yer yer etkisi olmaktadır. Badlands alanlarındaki olumsuz edafik şartların maki elemanları üzerindeki etkisi bunu göstermektedir.

1.5.3. Ot Formasyonu

Türkiye'de ot formasyonu step veya bozkır ismiyle de bilinmekte olup, büyük bir kısmı doğal step alanları değildir. Türkiye'de doğal ot formasyonu veya step (bozkır) alanları İç Anadolu'da Tuz Gölü çevresinde, Konya-Ereğli arasında, Güneydoğu Anadolu'da Akçakale-Ceylanpınar ve Iğdır Ovası'nda yer alır (Avcı, 2013). Bu sınırlar dışında kalan araştırma alanındaki ot formasyonu sahada orman veya çalı türlerinin tahribi vb. sebeplerle oluşmuş ikincil step (antropojen step) bitkileridir. Araştırma alanındaki antropojen step sahasında ilk etapta göze çarpan türler, geven (*Astragalus sp.*), çoban yastığı (*Acantholiman sp.*), sığır kuyruğudur (*Verbacum sp.*).

Şekil 29: Selendi Çayı Havzası'nın bitki örtüsü haritası.

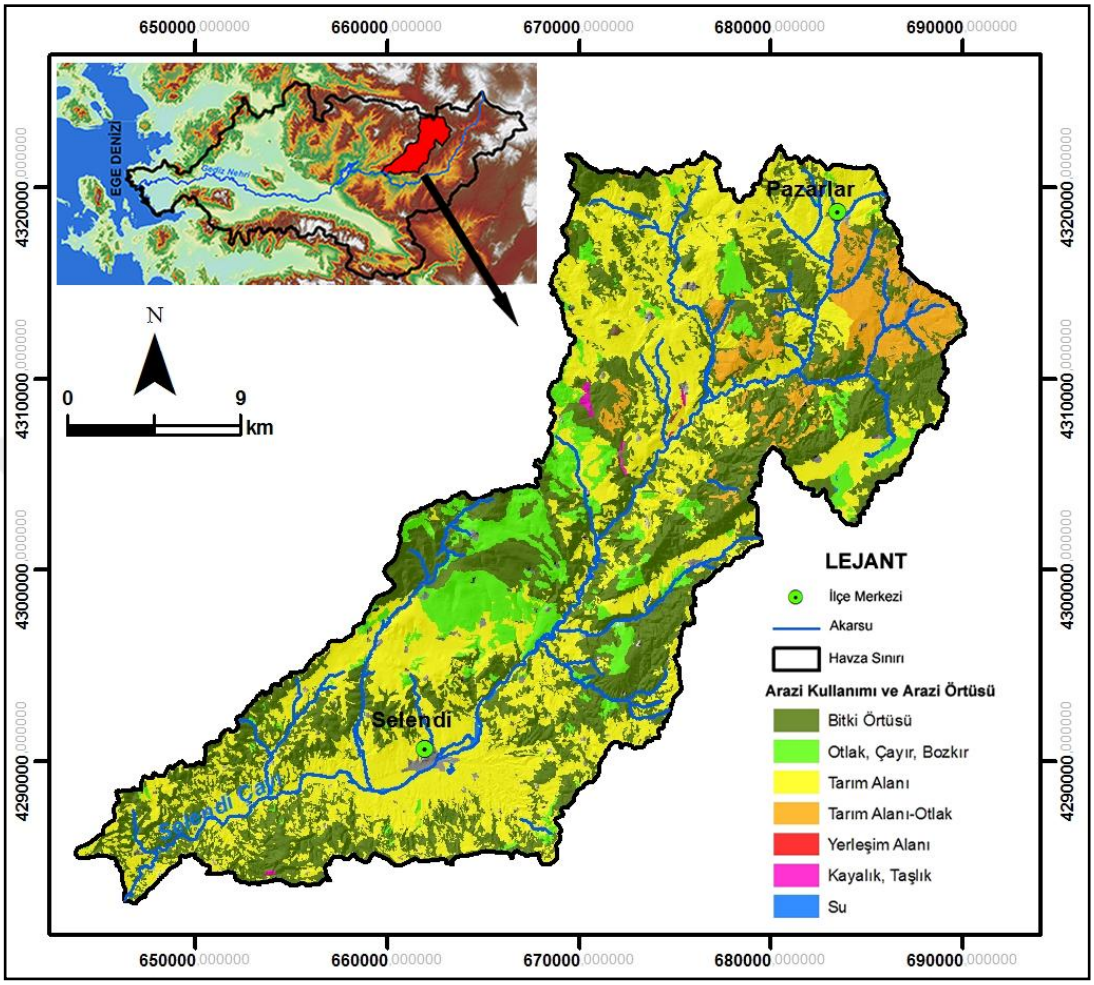


1.6. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü

Arazi örtüsü ve arazi kullanım şekli yamaçlardaki jeomorfolojik süreçler üzerinde önemli etkiye sahiptir. Genel olarak, bitki örtüsünün çıplak ya da seyrek olduğu alanlar erozyondan ve kütle hareketlerinden orman alanlarına göre daha çok etkilenirler. Bitki örtüsünün varlığı yüzeysel akışın aşındırıcı etkisini azaltması sebebiyle erozyon duyarlılığını azaltıcı etkiye sahiptir. Ayrıca tarım yapılan alanlarla yapılmayan alanlar arasında erozyon açısından farklılılar olması kaçınılmazdır. Özellikle eğim değerleri yüksek yamaçlarda yapılan tarımsal faaliyetler erozyon duyarlılığını arttırıcı niteliktedir (Anabalagan, 1992; Dai vd., 2001; Çevik ve Topal, 2003; Conforti vd., 2011). Bu sebeple havzanın arazi kullanımı ve arazi örtüsünün de erozyon duyarlılığına etki eden coğrafi faktörlerden birisi olarak üzerinde durulmuştur.

Araştırma alanında bitki örtüsü, otlak-çayır-bozkır, tarım alanı, tarım alanı-otlak, yerleşim alanı, kayalık-taşlık, su olmak üzere 7 sınıflı bir arazi kullanımı-arazi örtüsü haritası hazırlanmıştır. Havzada en geniş alan kaplayan sınıf sahanın % 43.1'ini kaplayan bitki örtüsü sınıfıdır. Havza geneline parçalı olarak dağılmış halde bulunan bitki örtüsü özellikle havzanın nispeten yüksek kesimlerinde korunma imkanı bulmuştur. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu araştırma alanında tarım alanları bitki örtüsünden sonra en geniş alan kaplayan ikinci arazi kullanımı-arazi örtüsü sınıfıdır. % 40.2 ile oldukça geniş alan kaplayan tarım alanları özellikle havzanın güneyinde ovalık alanda toplanmıştır. Otlak-çayır ve bozkırlar havzanın batısında ve kuzeyinde dağınık halde bulunup, araştırma alanının % 9.3'ünü kaplamaktadır. Sahanın % 5.4'ünü kaplayan hem tarım alanı hem de otlak olarak kullanılan sahalar havzanın kuzeydoğusundadır. Yerleşim alanı araştırma alanının % 1.4'ünü kaplamakta olup Selendi (Manisa) ve Pazarlar (Kütahya) İlçe Merkezi araştırma alanındaki en büyük yerleşimlerdir (Şekil 30).

Şekil 30: Selendi Çayı Havzası'nın arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası.



İKİNCİ BÖLÜM
EROZYON DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde öncelikle, araştırma alanının erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin elde edilme yöntemleri ele alınmıştır. Araştırmada kullanılan parametreler ve bunların üretilme süreçleri analiz sonuçlarını direkt etkilediği için kullanılan yöntem ve yaklaşımlar ayrıntılı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır. Daha sonra bu parametreler kullanılarak frekans oranı ve çok ölçütlü karar analizi yöntemleri ile erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesinden bahsedilip, doğruluk analizi sonucunda araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık analizinin hangisi olduğuna karar verilmiştir.

2.1. Erozyon Duyarlılığı Analizinde Kullanılan Verilerin Üretimi

2.1.1. Jeolojik Parametreler

2.1.1.1. Litoloji

Jeolojik parametreler içerisinde yer alan litoloji, erozyon duyarlılığı çalışmalarında duyarlılığı etkileyen önemli bir parametre olarak bir çok çalışmada kullanılmıştır (Moayeri vd., 2013; Raissouni vd., 2012; Ogbonna vd., 2011; Conforti vd., 2011; Agnesi vd., 2011; Akgün ve Türk, 2011; Conoscenti, 2008; Kheir vd., 2007).

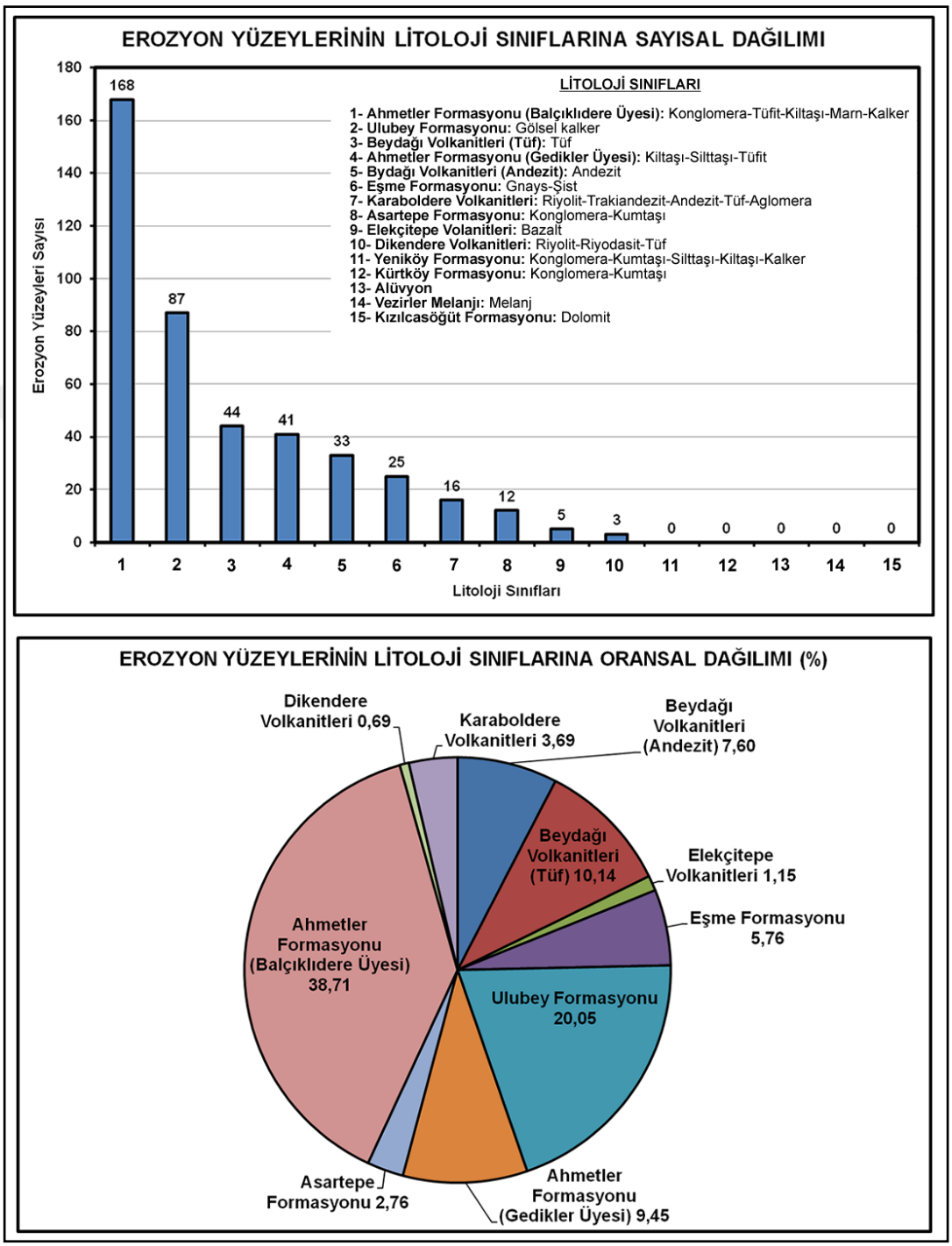
Araştırma alanının litoloji parametresi için sahada önceden yapılmış çalışmalardan yararlanılmış olup, farklı amaçlarla hazırlanmış raporlar ve bunların eklerindeki haritalar incelenmiştir (Ercan vd., 1980; Baş, 1983; Crawford, 1985; Ozaner, 1984; Ozaner, 1988). 1/25000 ölçeğinde haritalanan litolojik birimler ArcGIS 10.2 yazılımı ile sayısallaştırılmış ve 15 birim ayırt edilerek stratigrafik istifi takip edecek şekilde düzenlenmiştir (Şekil 4).

Sayısallaştırılmış litoloji haritası üzerindeki birimler, önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adları kullanılarak isimlendirilmiş ve sayısal formatta litoloji haritasına ait bir veritabanı elde edilmiştir. Kuaterner bazaltları, Elekçitepe volkanitleri; Pliokuaterner tarihli konglomera, kumtaşı ardalanması Asartepe

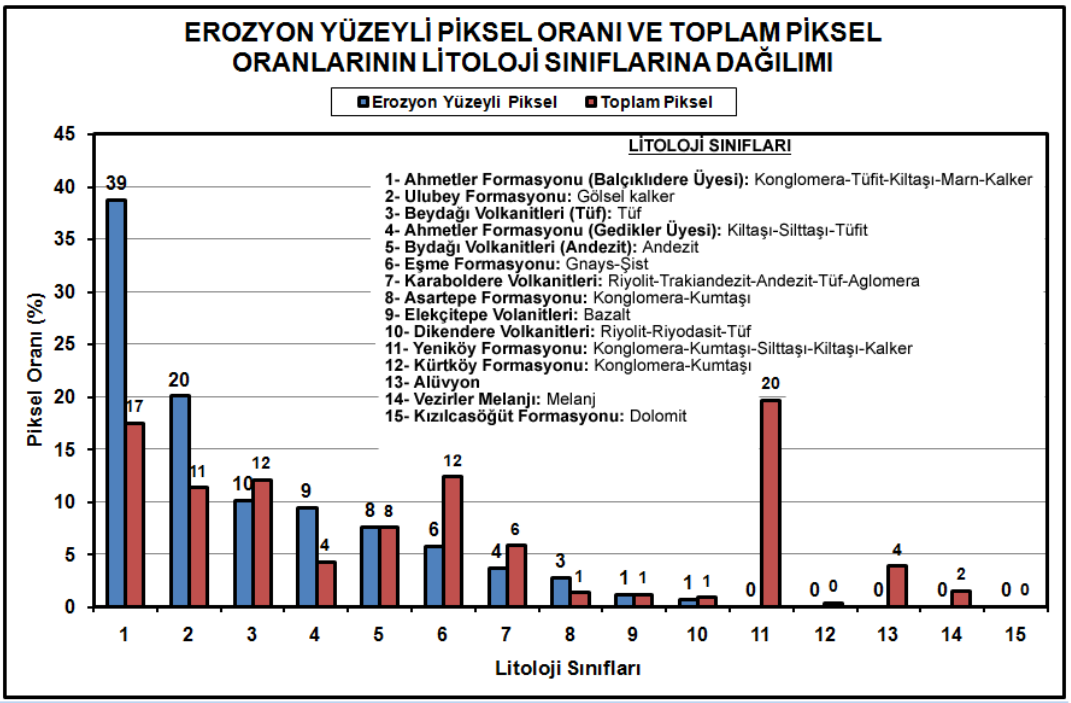
formasyonu; Üst Miosen konglomera, tüfit, kiltaşı, marn, kalker ardalanması Ahmetler formasyonu (Balçıklıdere üyesi); Üst Miosen kiltaşı, silttaşı, tüfit ardalanması Ahmetler formasyonu (Gedikler üyesi); Üst Miosen andezitik lavları ve tüfleri Beydağı volkanitleri; Üst Miosen riyolit, trakiandezit, andezit, tüf, aglomera Karaboldere volkanitleri; Üst Miosen gölsel kalkerleri Ulubey formasyonu; Orta Miosen riyolit, riyodasit, tüf Dikendere volkanitleri; Orta Miosen konglomera, kumtaşı, kiltaşı, silttaşı, kalker ardalanması Yeniköy formasyonu; Alt Miosen tarihli konglomera, kumtaşı Kürtköy formasyonu; Kretase melanjı Vezirler melanjı; Jura tarihli dolomitler Kızılcasöğüt formasyonu; Paleozoik gnays ve şistleri ise Eşme formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4).

Araştırma alanının % 20'sini kaplayan konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker ardalanmasından oluşan Yeniköy formasyonu havzada en geniş yayılış alanına sahip birimdir. Ahmetler formasyonu (Balçıklıdere üyesi) % 17, Eşme formasyonu % 12, Beydağı volkanitleri (tüf) % 12, Ulubey formasyonu % 11, Beydağı volkanitleri (andezit) % 8, Karaboldere volkanitleri % 6, Ahmetler formasyonu (Gedikler üyesi) % 4, alüvyon % 4, Vezirler melanjı % 2, Elekçitepe volkanitleri % 1, Dikendere volkanitleri % 1, Kürtköy ve Kızılcasöğüt formasyonları ise % 1'in altında alan kaplamaktadır. Erozyon yüzeylerinin litolojik birimlere dağılışında ise birimler arasında büyük dengesizlik söz konsudur. Araştırma alanında erozyonal süreçlerin yoğun yaşandığı alanlar özellikle sedimanter birimlerin bulunduğu alanlardır (Şekil 31). Ahmetler formasyonu araştırma alanının % 21'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin yaklaşık yarısı (% 48'i) bu birime özellikle de Balçıklıdere üyesine tekabül etmektedir. Ahmetler formasyonunun araştırma alanındaki badlands oluşumları, heyelanlar ve yamaç süreçleri konusundaki duyarlılığı Ozaner (1988) tarafından da vurgulanmıştır. Ozaner (1988)'in arazi gözlemlerine dayandırdığı bu değerlendirme bu çalışma ile istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Yeniköy formasyonu araştırma alanında en geniş alanı kaplayan birim olmasına rağmen hiç erozyon yüzeyi tekabül etmemiştir (Şekil 32). Bunun sebebi olarak bu birimin daha çok havzanın bitki örtüsünün yoğun olduğu, kuzeydeki ormanlık kesimlerinde yayılış göstermesi olduğu düşünülmektedir.

Şekil 31: Erozyon yüzeyleri ile litoloji arasındaki ilişkiler.



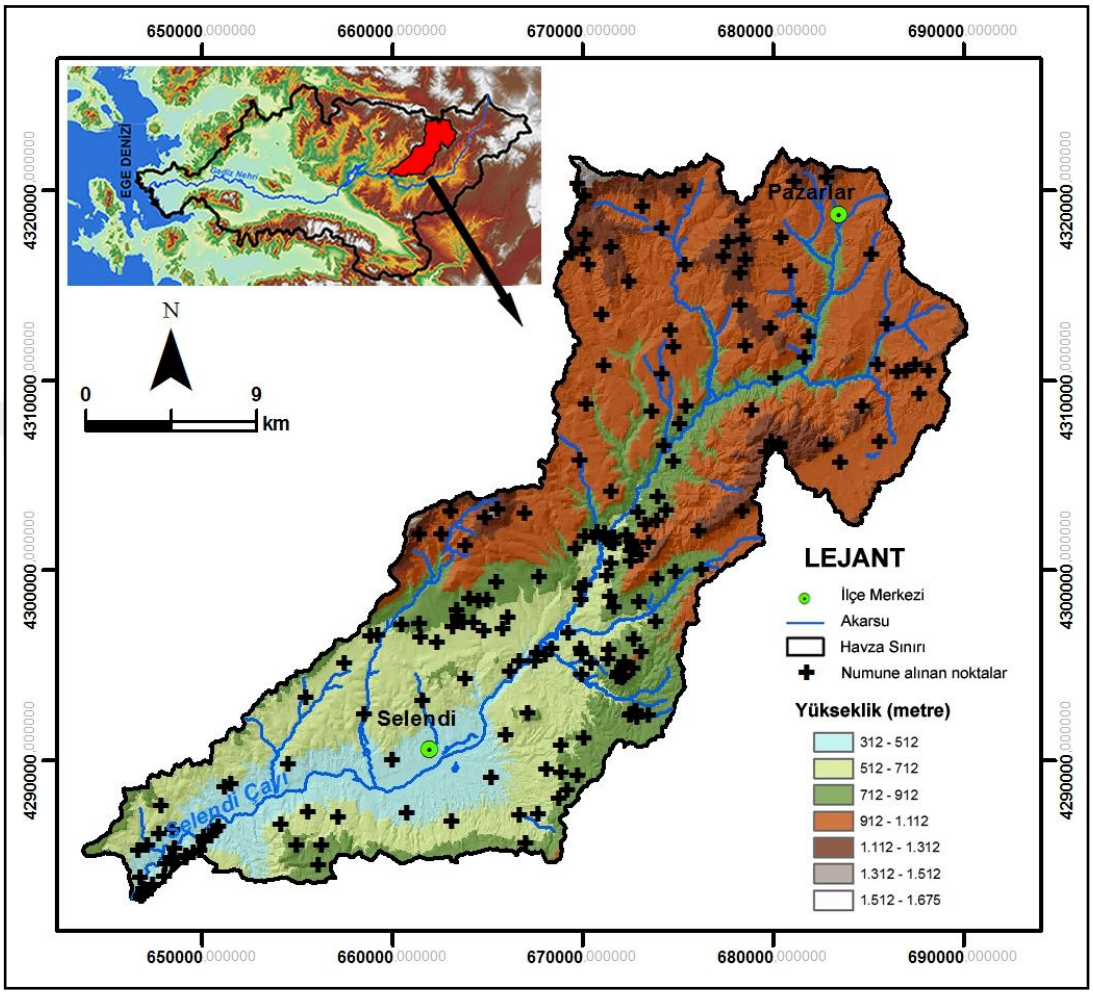
Şekil 32: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının litoloji sınıflarına dağılımı.



2.1.1.2. Laboratuvar Analizi Sonuçlarının ve Arazi Ölçüm Verilerinin Girdi Veri Olarak Hazırlanması

Kayaçların erozyon duyarlılık analizi için araştırma alanı içerisinde 200 m aralıklarla 6 yükselti basamağından 4 ana yönden 14 litolojik birimden numune alınmış ve aynı lokasyonlardan Schmidt çekici ile ölçüm yapılmıştır. Çalışmada yükselti basamakları 312-512, 512-712, 712-912, 912-1112, 1112-1312, 1312-1675 metre olarak 200 metre aralıklı 6 gurup şeklinde belirlenmiştir. Bakının sınıflandırılmasında kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere 4 ana yön esas alınmıştır. Araştırma alanındaki 14 litolojik birimden belirtilen yükselti aralıklarından 4 ana yönde örnek alanlar belirlenerek Schmidt çekici ile ölçüm yapılmış ve kayaçların erozyon duyarlılığını ilgilendiren fiziksel özelliklerinin analizi için kayaç numunesi alınmıştır (Şekil 33). Araştırma alanında yüzeylenen kayaçlardan alınan numuneler kullanılarak Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarları'nda nokta yük direnci ve suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi testleri yapılmıştır.

Şekil 33: Araştırma alanından kayaç numunesi alınan ve Schmidt çekici ile ölçüm yapılan noktaların lokasyonları.



Suda dağılmaya karşı hassasiyet deneyi kayaç numunelerinin suyla parçalanmaya ve dağılmaya karşı gösterdiği mukavemet derecesini ölçer (Emir, 2014). Bu araştırma kapsamında suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi deneyi, araştırma alanında yüzeylenen kayaç örneklerinden alınan numunelerin Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda ISRM (1979)'un önerdiği standartlar doğrultusunda 2 çevrim olarak yapılmıştır. Böylece araştırma alanındaki bazalt, andezit gibi yüksek dayanımlı kayaçlarında ayrışabilirlikleri değerlendirilmiştir.

Nokta yük dayanım deneyinden kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesinde faydalanılmaktadır. Laboratuvarda pratik bir şekilde uygulanabilmesi sebebiyle oldukça sık tercih edilen bir deneydir (Demir, 2011).

Çalışmada araştırma alanındaki kayaçların fiziksel özellikleri açısından dış etkilere karşı dayanıklılıklarının test edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

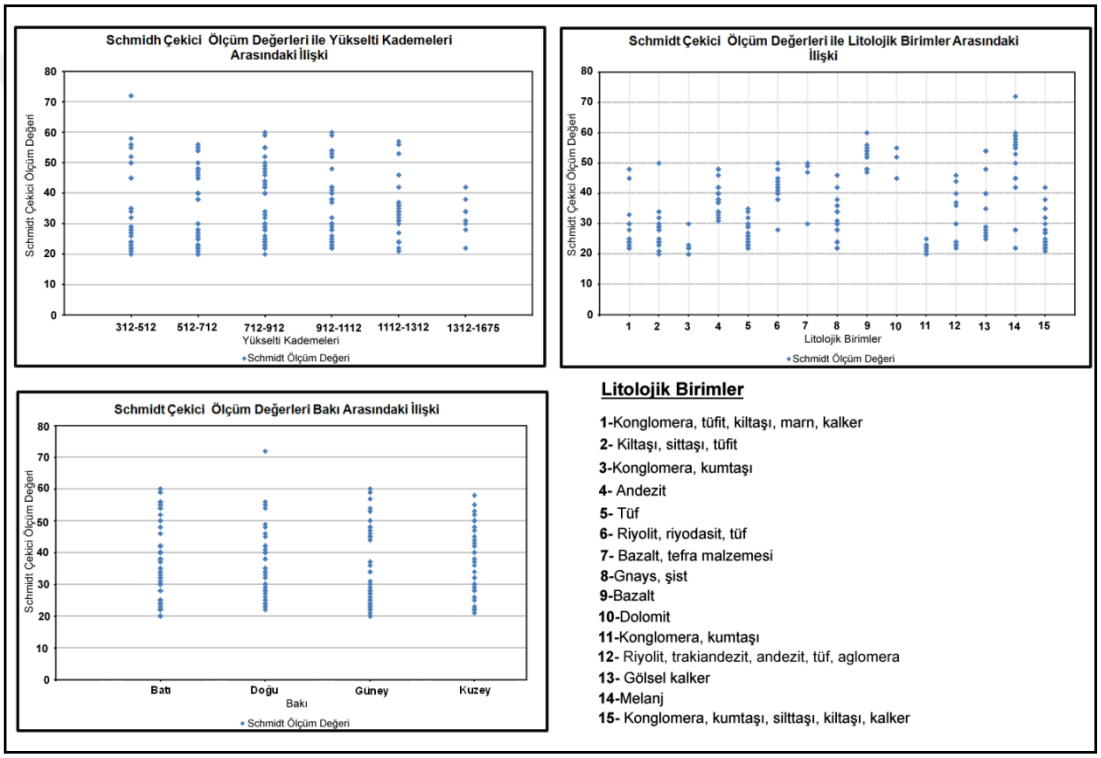
E. Schmidt tarafından 1948'de beton sertliğinin testi için tasarlanan Schmidt çekici ilk defa 1960'larda jeomorfoloji çalışmalarında kullanılmıştır. O günden bugüne Schmidt çekici, kayaçların ayrışma olayları, yerşekilleri ve kayaç sertliği arasındaki ilişkiler ve Holosen yüzeylerinin göreceli tarihlendirilmesi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (Goudie, 2006). Çalışmada Schmidt çekici araştırma alanındaki farklı kayaçların sertliğini ve dolayısıyla erozyona direncini yerinde ölçme amacıyla kullanılmıştır (Foto 2). Schmidt çekici ile ölçüm yapılırken kayacın temiz, likensiz, düz yüzeyleri tercih edilmiştir. Kayaç yüzeyinde 50x50 cm'lik bir alanda 12 noktada Schmidt çekici ile ölçüm yapılıp ortalaması alınarak birimlerin sertliği belirlenmiştir. Böylece araştırma alanındaki kayaçların erozyona karşı göreceli direnç durumları tespit edilmiştir. Araştırma alanındaki Schmidt çekici ölçümü sonuçlarına göre en düşük değerler 20 ile konglomera ve kumtaşlarında elde edilirken, en yüksek değerler 72 ile mermerlerde ve 60 ile bazaltlarda ölçülmüştür.

Foto 2: Araştırma alanında Schmidt çekici ile ölçüm yapılması.

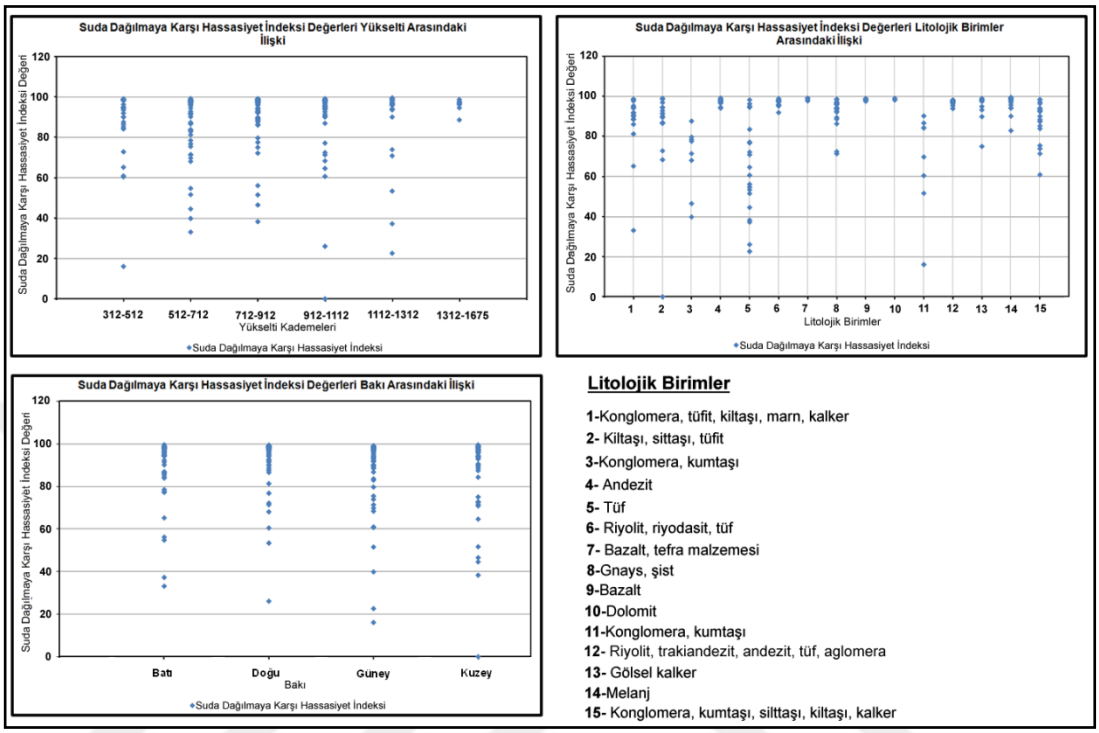


Araziden alınan numunelerin analiz sonuçları ile bu örneklerin alındığı lokasyonların bakı, yükselti ve litolojik özellikleri scatter diyagramı (dağılım grafiği) yardımıyla çakıştırılmış, her bir analiz sonucu ile coğrafi özellikler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Buna göre gerek Schmidt çekici ölçümleri gerekse laboratuvar analiz sonuçları öncelikli olarak litolojik özelliklerle önemli derecede ilişkilidir (Şekil 34-35-36).

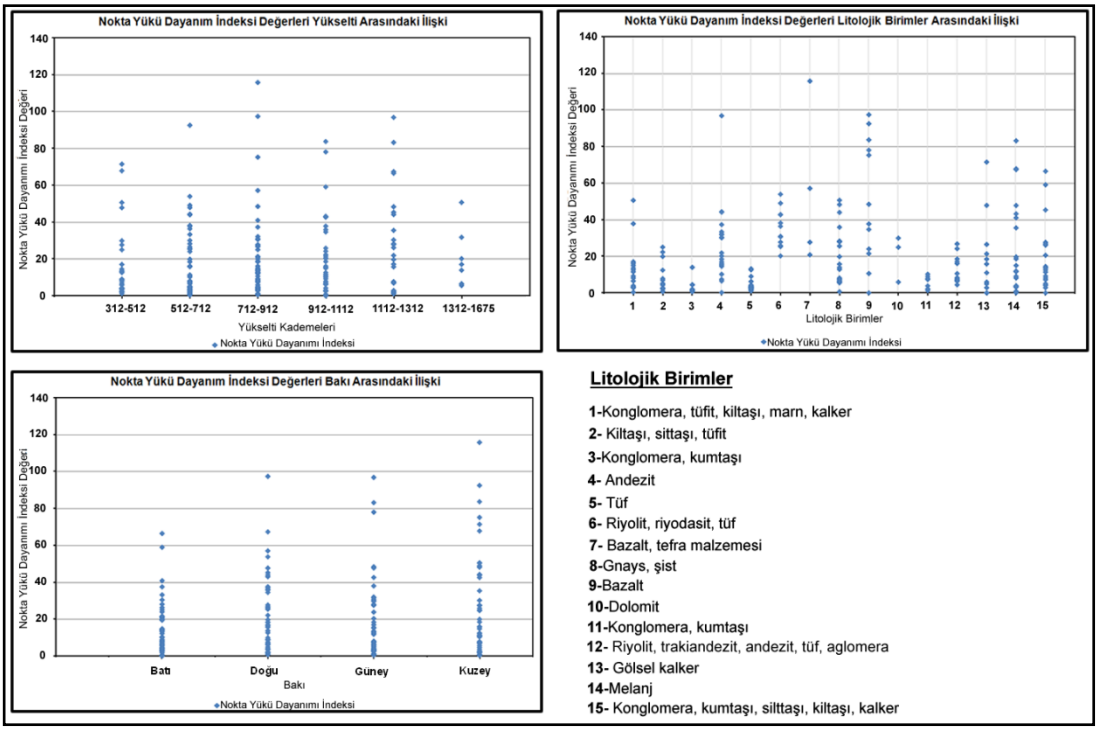
Şekil 34: Schmidt çekici ölçümleri ile bakı, litoloji ve yükselti arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri.



Şekil 35: Suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi değerleri ile bakı, litoloji ve yükselti arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri.

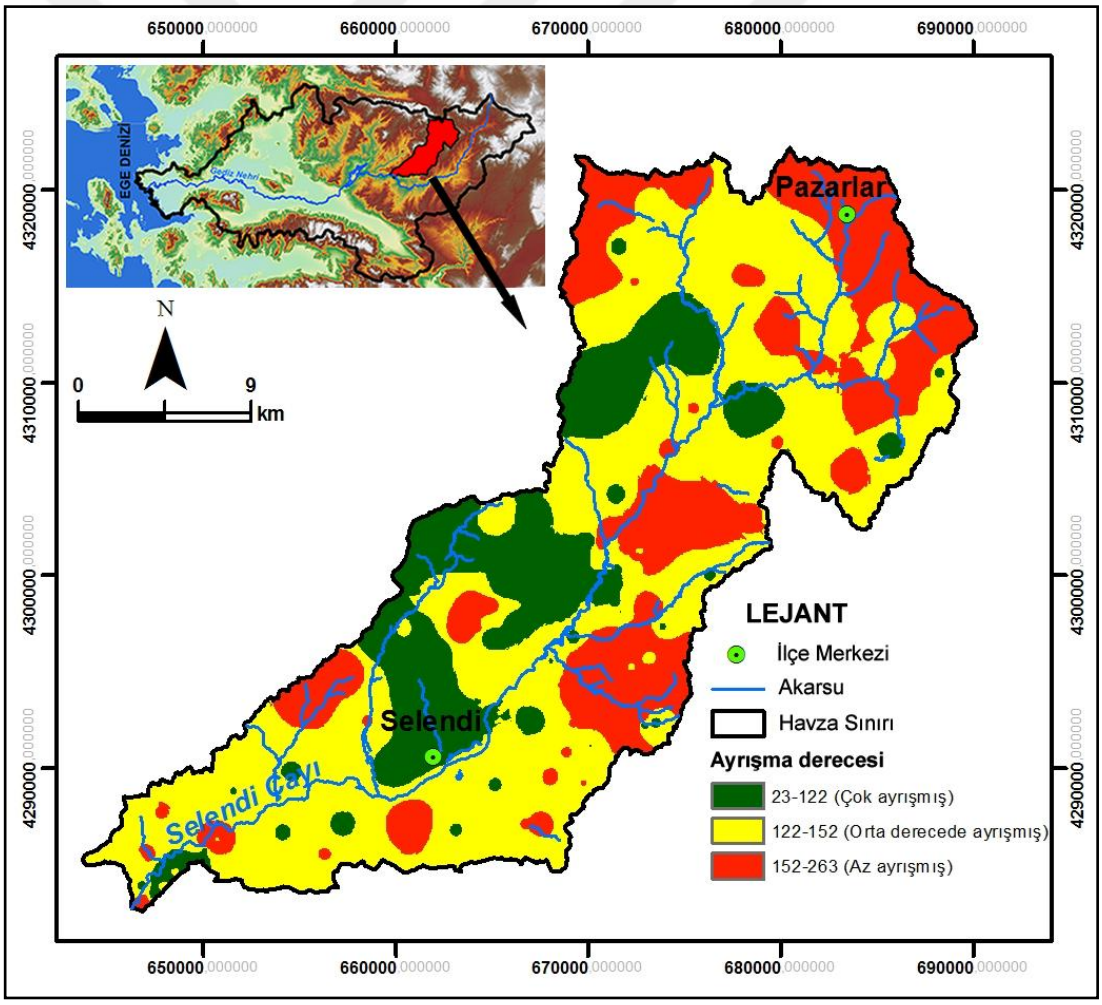


Şekil 36: Nokta yükü dayanım indeksi değerleri ile bakı, litoloji ve yükselti arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri.



Araştırma alanında litoloji parametresinin yanısıra, kayaçların ayrışma derecesi de ikinci jeolojik parametre olarak kullanılmıştır. Araştırma alanında erozyon duyarlılığının yüksek olduğunu gösteren erozyon yüzeylerinin ayrışma ile ilişkili olması bu parametrenin de duyarlılık değerlendirmesine katılması gerektiğini göstermektedir. Araştırma alanının farklı noktalarından yapılan Schmidt çekici ölçümleri ve alınan numunelerin laboratuvar analizi sonuçları toplanmış ve IDW enterpolasyon ile haritalanmıştır. Daha sonra bu harita Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile yeniden sınıflandırılarak, az, orta ve çok ayrışmış olmak üzere üç ayrışma sınıfına ayrılmıştır (Şekil 37).

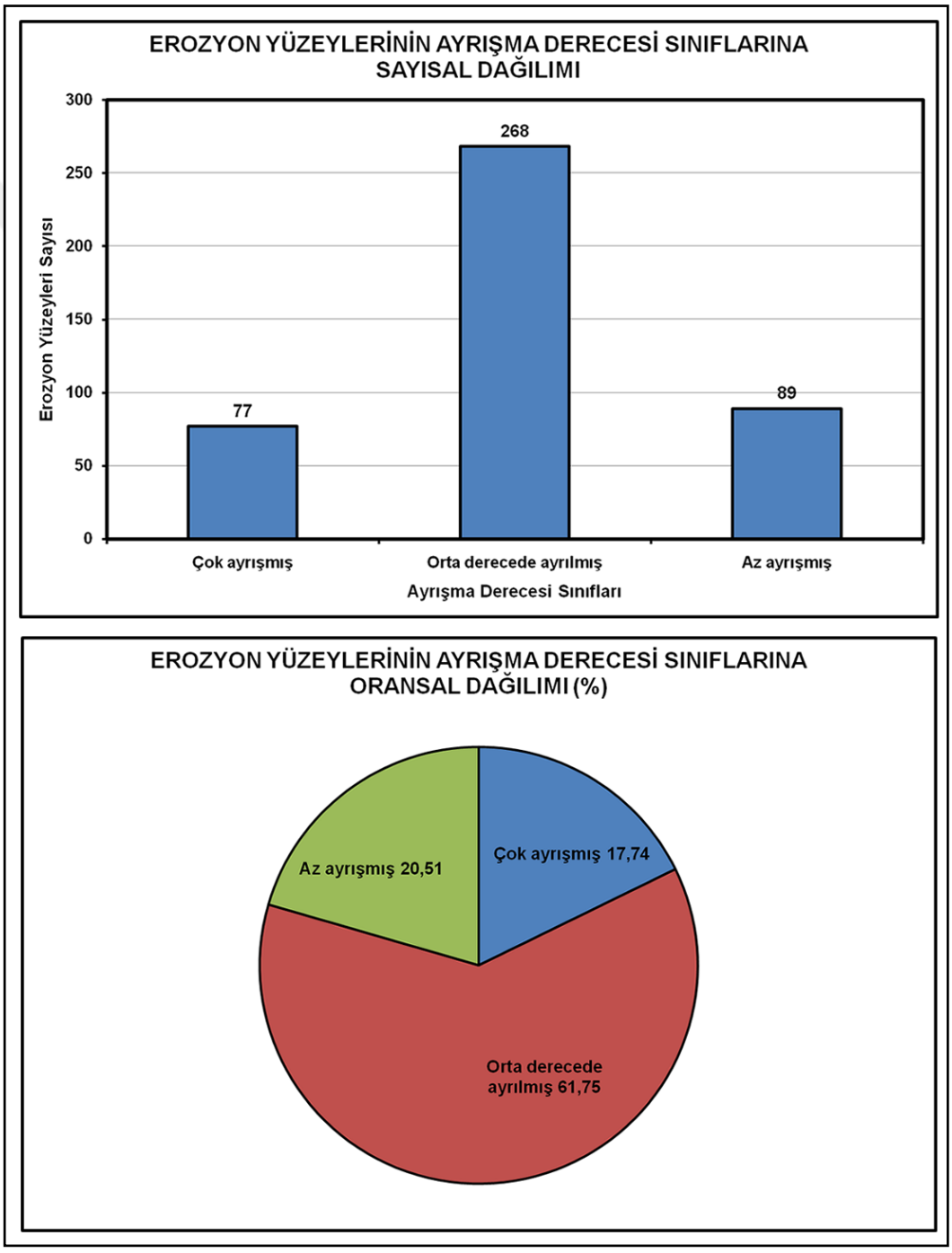
Şekil 37: Selendi Çayı Havzası'nın ayrışma derecesi haritası.



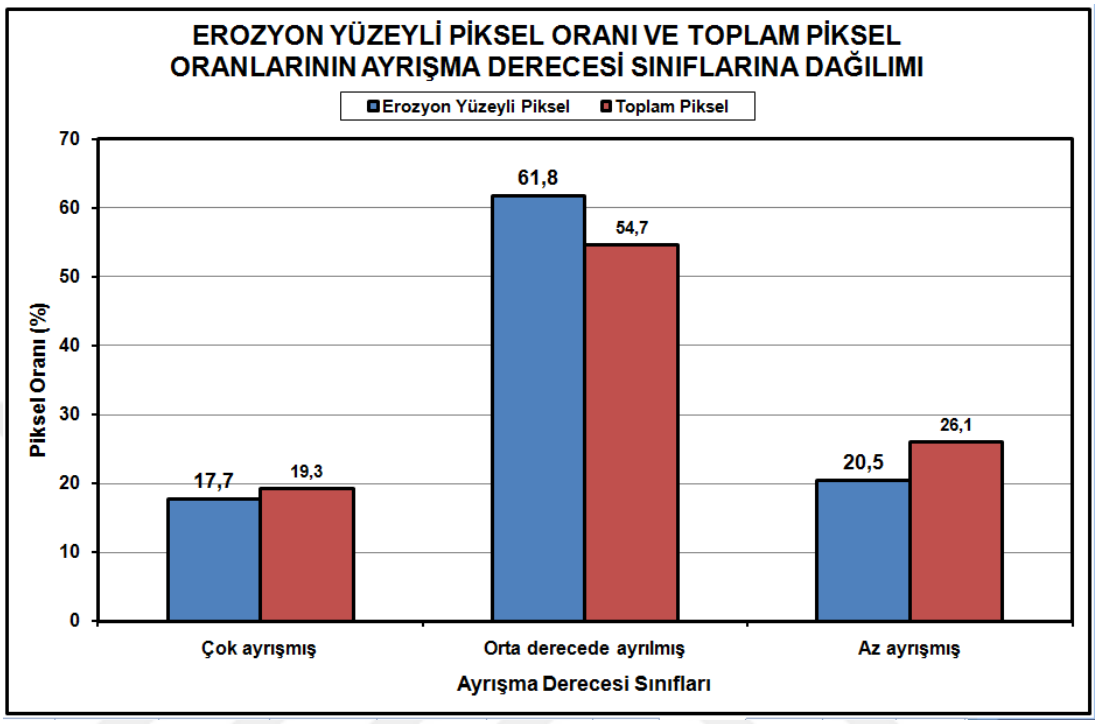
Erozyon yüzeylerinin en çok tekabül ettiği sınıf % 61.8 ile orta derecede ayrışmış sınıfıdır (Şekil 38). Bu sınıfın araştırma alanının % 54.7'sini kapladığı da göz önünde bulundurulursa erozyon yüzeylerinin daha çok bu sınıfa tekabül etmesi

normal olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte erozyon yüzeylerinin % 20.5'i araştırma alanının % 26.1'ini kaplayan az ayrışmış sınıfına tekabül etmiştir. Son olarak araştırma alanının % 19.3'ünü kaplayan çok ayrışmış sınıfına ise erozyon yüzeylerinin sadece % 17.7'si tekabül etmiştir (Şekil 39).

Şekil 38: Erozyon yüzeyleri ile ayrışma derecesi arasındaki ilişkiler.



Şekil 39: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının ayrışma derecesi sınıflarına dağılımı.



2.1.2. Topografik Parametreler

2.1.2.1. Eğim

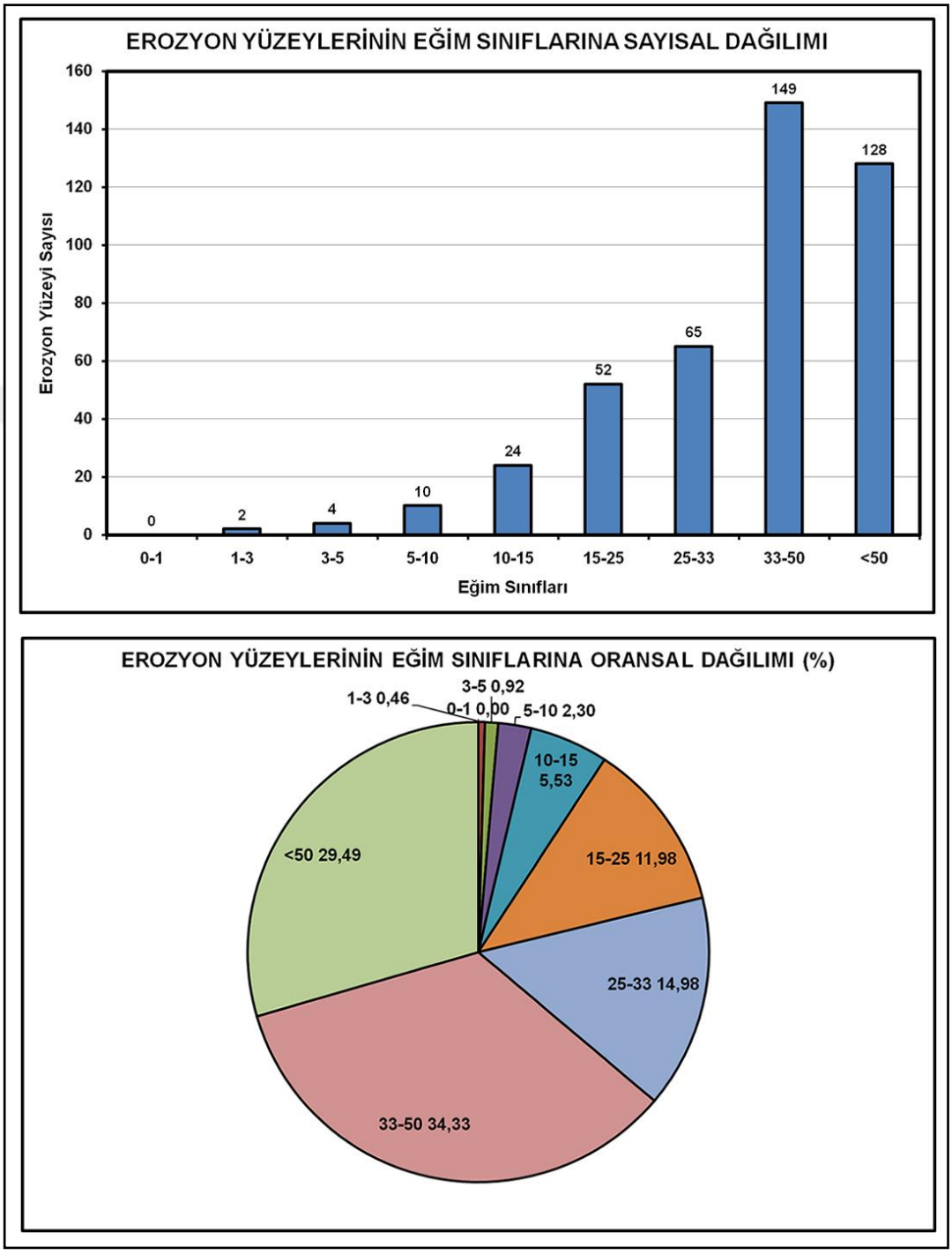
Eğim miktarı, yüzeysel akışı, drenaj yoğunluğunu, erozyonu vs. etkilediği için arazi evrimini yöneten süreçlerin dinamiğinde en önemli faktördür (Dramis ve Gentili, 1977). Bu nedenle eğimin fazla olması yüksek yüzeysel akış hızını destekler ve bunun sonucunda rill ve gully oluşumunun başlamasına sebep olur. Dolayısıyla erozyonal süreçlerin duyarlılık haritalamasında eğim değeri çok önemli bir yere sahiptir (Valentin vd., 2005).

Bu çalışmada eğim haritası 10 metre çözünürlüklü SYM'den (Sayısal Yükseklik Modeli) 9 sınıfa ayrılarak elde edilmiştir. Eğim değerleri yüzde cinsinden olup, eğim sınıflaması USDA'nın (United States Department of Agriculture) Toprak Etüt Kitapçığındaki eğim sınıflaması ve tanımları göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Tablo 4). Bu şekilde eğim verisinin sınıf sayısı ve aralıkları çalışmanın amacına uygun düzenlendikten sonra, bu sınıfların toplam çalışma alanı içerisinde yüzde kaçlık alan kapladıkları ve sınıflara tekabül eden erozyon yüzeyi sayıları ile

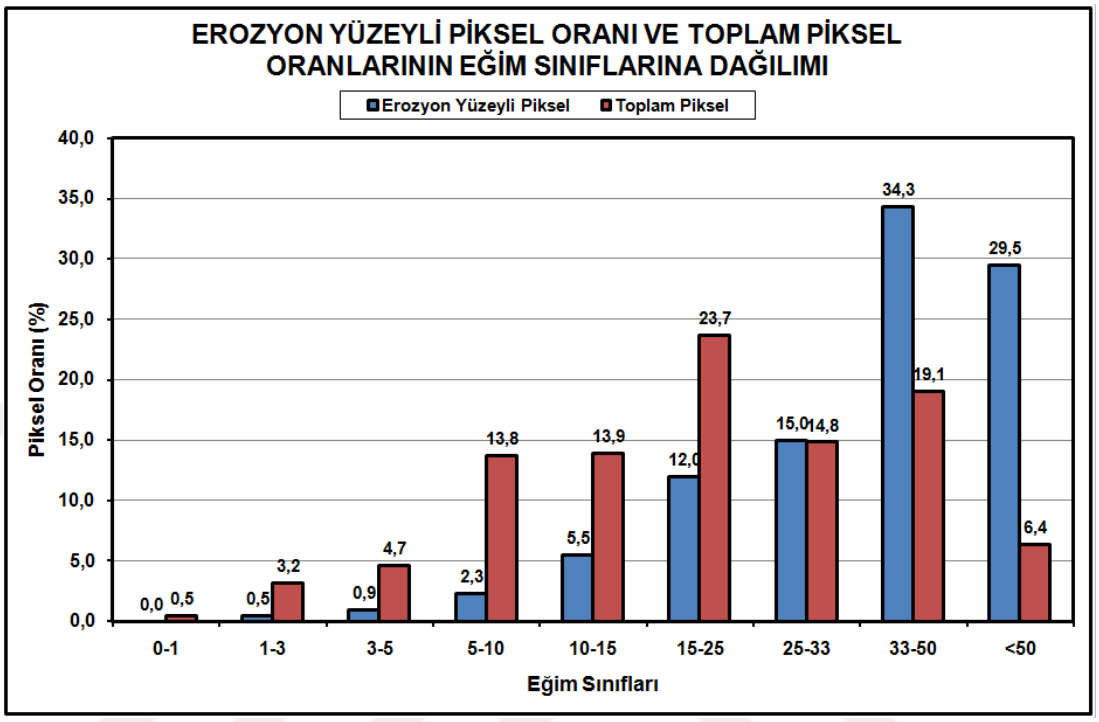
oranları grafik olarak sunulmuştur. Buna göre Selendi Çayı Havzası'nda erozyon yüzeylerinin yarısından fazlası eğimin % 33'ten fazla olduğu çok sarp yamaçlar ile aşırı derecede dik yamaçlara tekabül etmektedir. En düşük eğim sınıfını temsil eden % 0-1 eğim değerine sahip düze yakın yamaçlara hiç erozyon yüzeyi tekabül etmezken eğim değeri arttıkça erozyon yüzeylerinin sayısı artmaktadır. Literatürde pek çok araştırmada eğim ve erozyon duyarlılığı arasında kurulan doğru orantı göz önünde bulundurulduğunda araştırma alanı için çıkan bu tablo şaşırtıcı değildir (Şekil 40).

Erozyon yüzeyli piksel oranı ile toplam piksel oranlarına bakıldığında eğim değeri % 33'ten fazla olan çok sarp yamaçlar ile aşırı derecede dik yamaçlar araştırma alanının % 25.5'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin % 63.8'i bu eğim sınıflarına tekabül etmektedir. Özellikle eğimin % 50'den fazla olduğu aşırı derecede dik yamaçlar araştırma alanının sadece % 6.4'ünü kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin % 29.5'inin bu sınıfta toplanması araştırma alanında bu nitelikteki yamaçların yoğun bir aşınıma maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 41).

Şekil 40: Erozyon yüzeyleri ile eğim parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 41: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının eğim sınıflarına dağılımı.

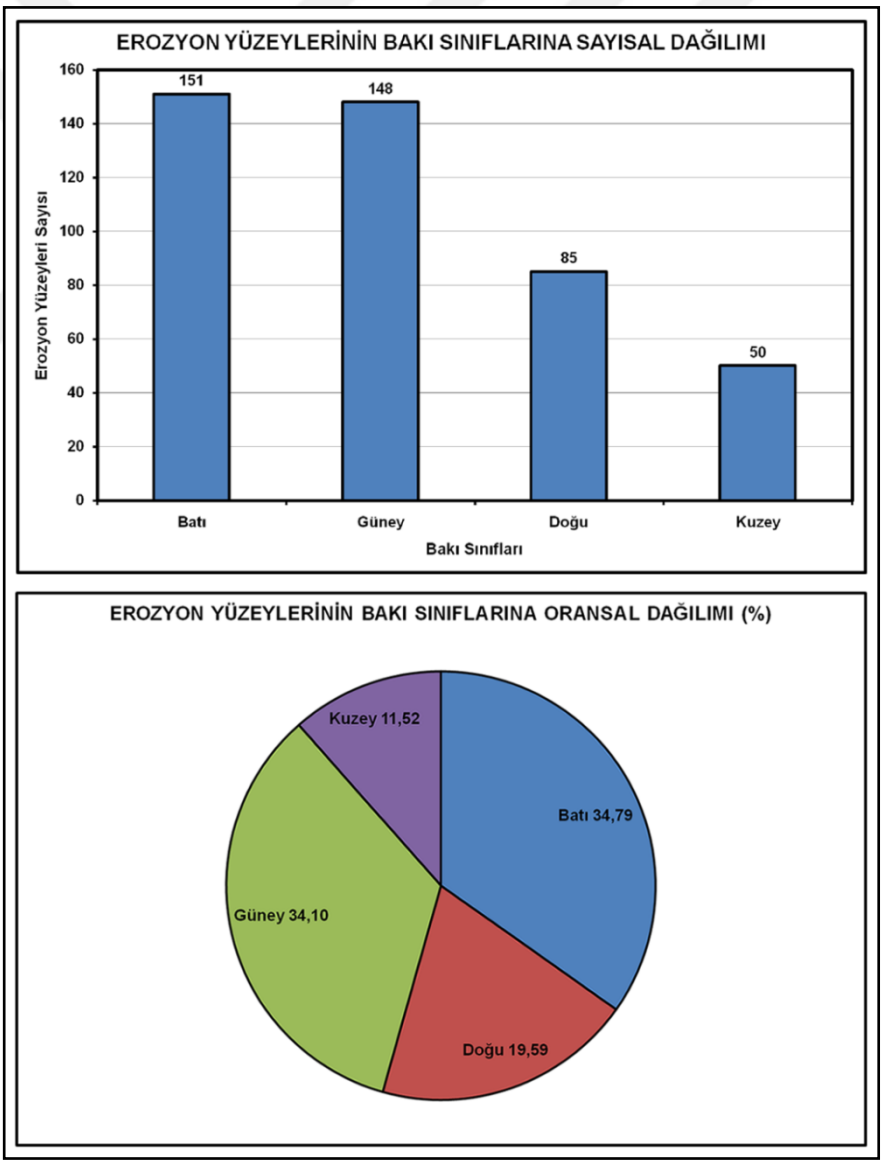


2.1.2.2. Bakı

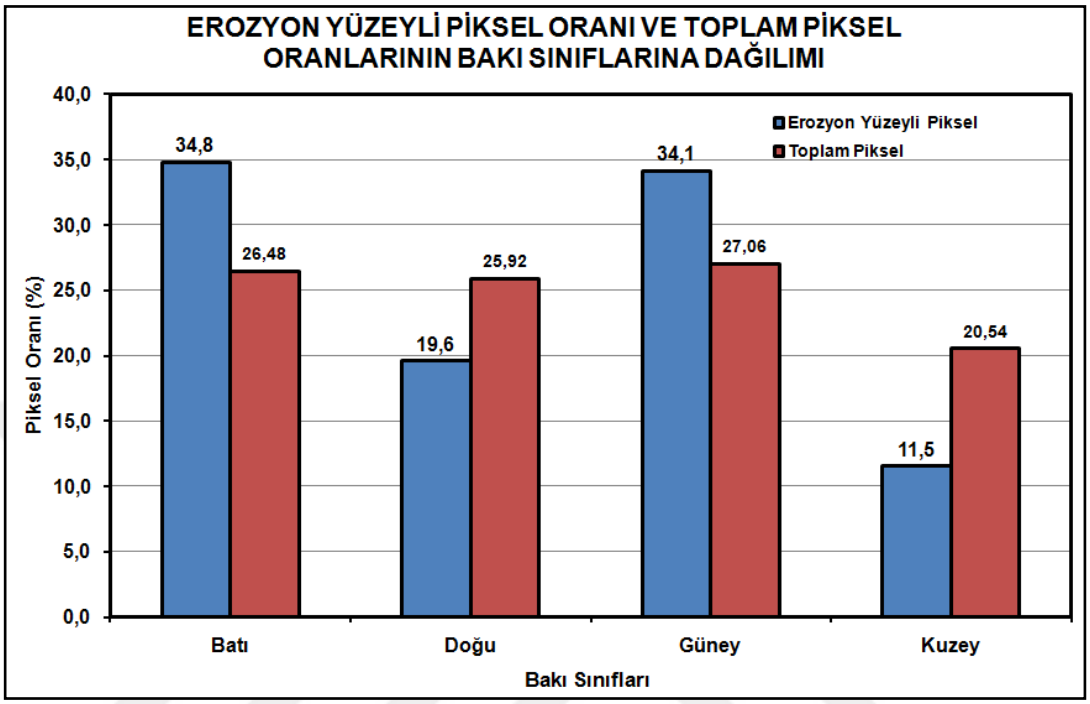
Bakı da erozyonal süreçlerin duyarlılık çalışmalarında önemli bir faktör olarak değerlendirilir (Carrara vd., 1991; Maharaj, 1993; Guzzetti vd., 1999; Nagarajan vd., 2000). Bakı kuzeyden saat yönünde 0'dan 360 dereceye kadar değişen değerlerle ifade edilir. -1 değeri taşkın ovaları, alüvyal teraslar gibi düz yüzeyleri tanımlamak için kullanılır. Bir yamacın bakısı bir çok klimatik koşulu (Güneş ışığını alma süresi, yağış yoğunluğu, nem tutma vs.) ve bitki örtüsünü kontrol ettiği için erozyonal süreçleri dolaylı olarak etkilemektedir (Dai vd. 2001; Çevik ve Topal, 2003; Pulice vd., 2009). Araştırma alanının bakı haritası batı, doğu, kuzey ve güney olmak üzere 4 sınıflı olarak hazırlanmıştır. Selendi Çayı Havzası'nda bu bakı sınıflarının kapladıkları alanların oranı arasında çok büyük fark yoktur. Araştırma alanının % 27'sini kaplayan güney yamaçlar biraz hakimken, araştırma alanının % 20'sini kaplayan kuzey yamaçlar ise göreceli olarak daha az alan kaplamaktadır (Şekil 43). Araştırma alanında tespit edilen erozyon yüzeylerinin %34.79'u batı sektörlü yamaçlara rastlarken onu %34.10 ile güney sektörlü yamaçlar takip etmektedir (Şekil 42). Kuzey Yarımkürede bulunan araştırma alanında güney ve batı

yamaçlarının ayrışma süreçleri ve erozyonal süreçler açısından daha uygun koşullarda olduğu düşünülürse erozyon yüzeylerinin daha çok güney ve batı yamaçlara rastlaması normaldir. Çünkü Kuzey Yarımkürede bulunan araştırma alanının güney yamaçları gerek güneşlenme süresi, gerek zeminin nem tutma kapasitesi gerekse vejetasyon örtüsü açısından ayrışma ve erozyona daha elverişli koşullardadır. Ayrıca araştırma alanının Batı Anadolu'da bulunması ve bu alana yağış getiren hava kütlelerinin batıdan gelmesi sebebiyle batı sektörlü yamaçlar yine erozyonal süreçler açısından daha elverişli şartlara sahiptir.

Şekil 42: Erozyon yüzeyleri ile bakı parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 43: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının bakı sınıflarına dağılımı.

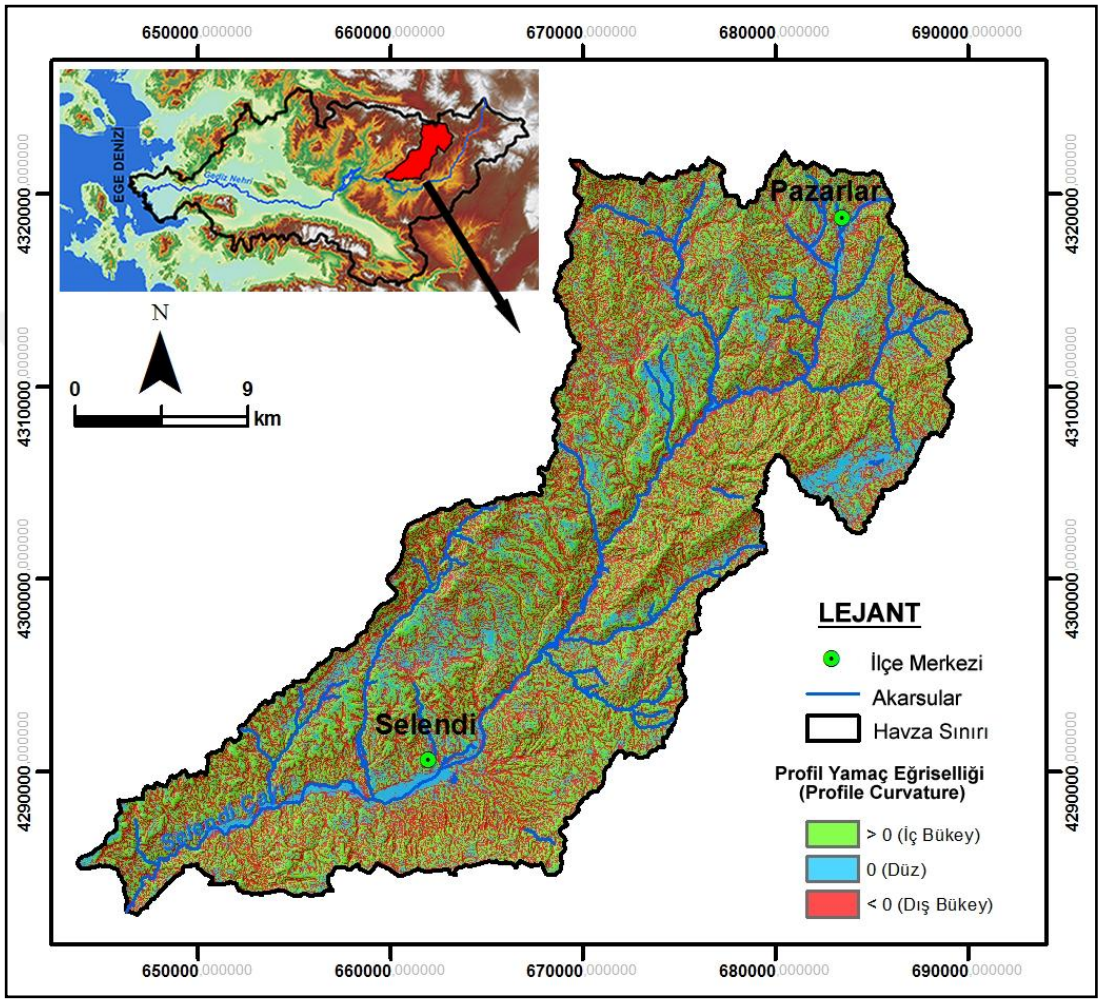


2.1.2.3. Yamaç Şekli (Yamaç Eğriselliği)

Yamaç eğriselliği, genel olarak belli bir doğrultuda eğim derecesinin değişim oranı olarak tanımlanır ve plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriseliği, diferansiyel yamaç eğriselliği gibi türleri vardır (Huggett ve Cheesman, 2002). Yamaç eğriselliği türlerinden yamaç boyunca gelişen erozyonu en iyi ifade eden ve dolayısıyla çalışmanın amacına en uygun olan, profil yamaç eğriselliği erozyon duyarlılık değerlendirmesinde parametre olarak kullanılmıştır. Profil yamaç eğriselliği, dikey düzlemde eğim yönüne paralel yamaç boyunca olan eğim değişimini yansıtır ve bu durum suyun yüzeydeki akış hızını kontrol etmek yoluyla yamaç boyunca sediment taşınımını ve erozyonu etkiler. Dışbükey yamaç profillerinde akış hızının arttığı, içbükey profillerde ise akış hızının azaldığı ortaya konulmuştur (Wilson ve Gallant, 2000; Jordan, 2007). Profil yamaç eğriselliği suyun yüzeyde akışının hızlanmasını ve yavaşlamasını etkilediği için erozyon ve sedimantasyonda önemlidir (Web 2). Su akışının daha hızlı olduğu dış bükey yamaçlar iç bükey yamaçlara oranla erozyona daha duyarlıdır. Yamaç aşağı içbükey şekle sahip alanlar ise yüzeysel akışın daha yavaş olduğu ve dolayısıyla erozyon duyarlılığının daha düşük olduğu alanlar olarak

değerlendirilebilinir. Nitekim arazi gözlemlerimiz ve erozyon yüzeylerinin yamaç eğriselliği sınıflarına dağılımı da bunu doğrular niteliktedir (Şekil 45).

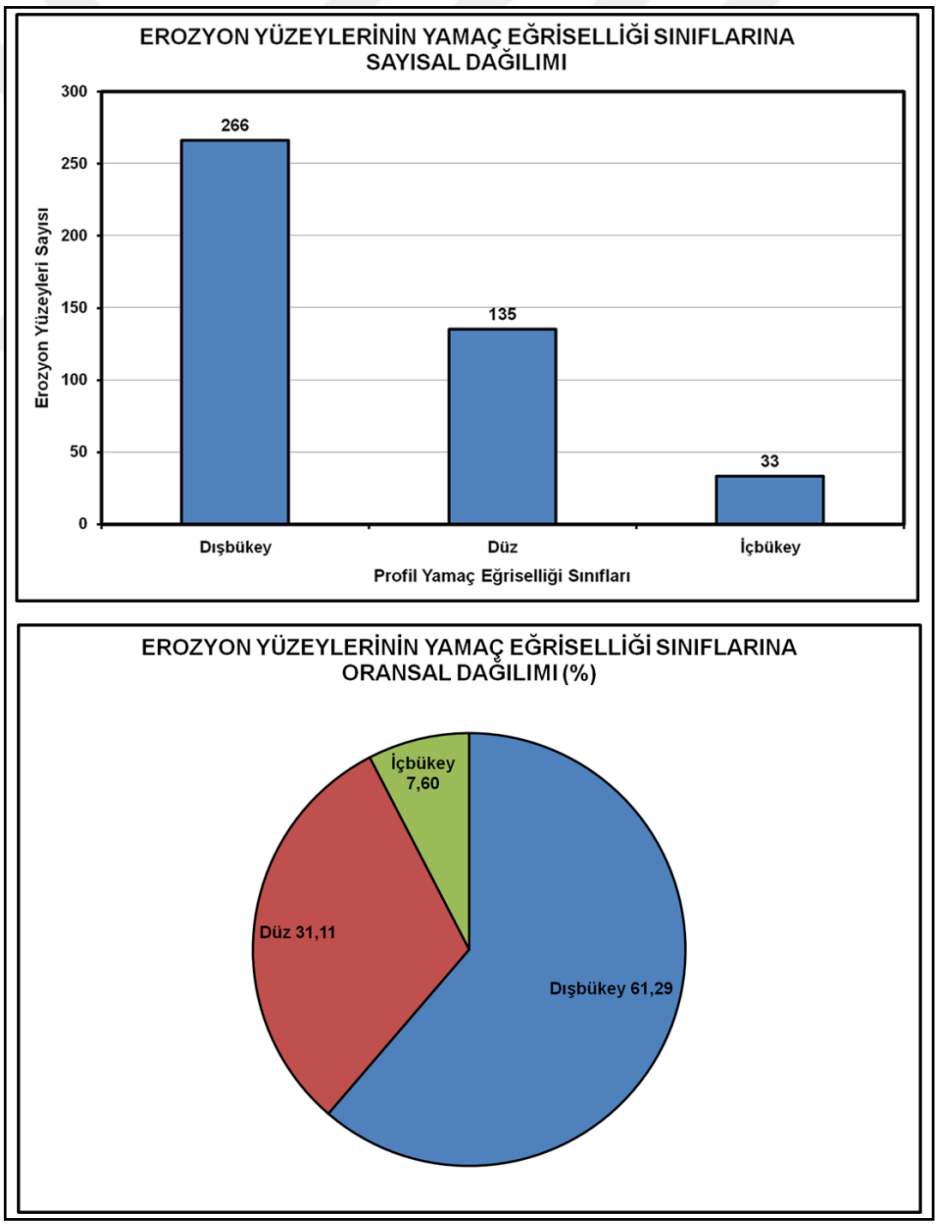
Şekil 44: Selendi Çayı Havzası'nın profil yamaç eğriselliği.



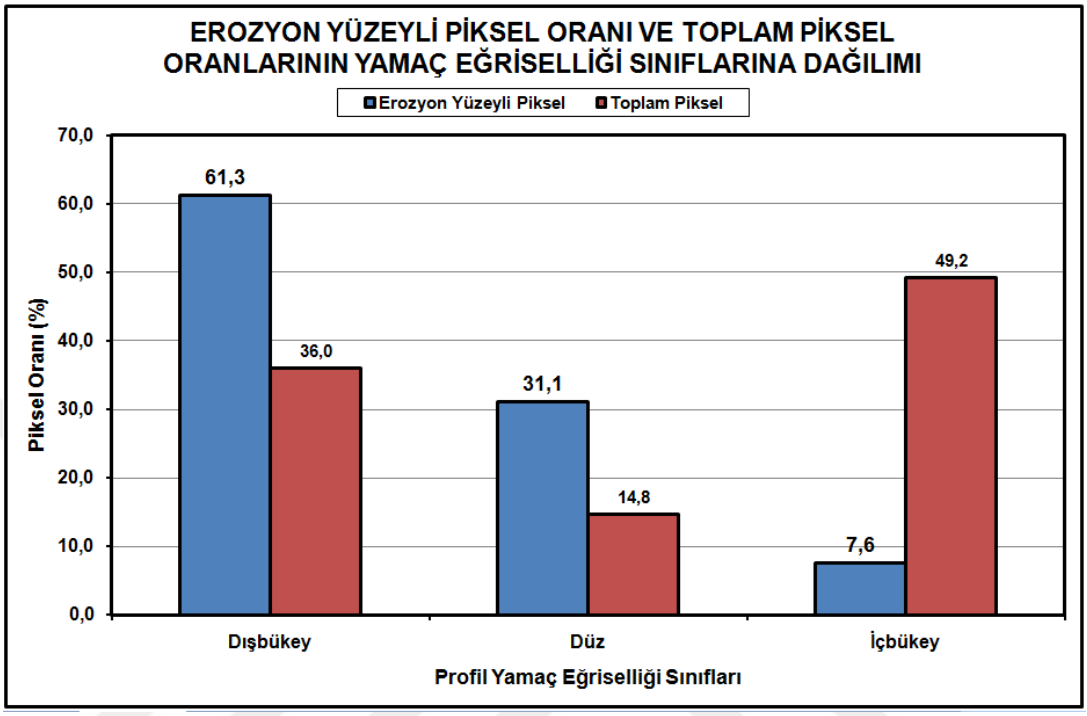
10 m çözünürlüklü SYM'den üretilen profil yamaç eğriselliği haritasında 0'dan büyük değerler dışbükey, 0 düz, 0'dan küçük değerler ise içbükey olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 44). Erozyon yüzeylerine ait frekans Şekil 45'te verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere yamaç şekli sınıflarına göre erozyon yüzeylerinin dağılımı konusunda dışbükey yamaçlar dikkati çekmektedir. Yamaç şekli parametresinin erozyon yüzeyleri açısından anlamlılığı yamaç şekli sınıflarının kapladıkları alanlar ile bu sınıflara tekabül eden erozyon yüzeylerini ilişkilendirince daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Dışbükey yamaçlar araştırma alanında içbükey yamaçlara oranla az alan kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin yarısından fazlası (% 61.3) dışbükey yamaçlara tekabül etmiştir. İçbükey yamaçlar ise araştırma

alanının hemen hemen yarısını kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin sadece % 7.6'sı gibi az bir kısmı içbükey yamaçlara tekabül etmiştir (Şekil 46). Sonuç olarak Selendi Çayı Havzası'nda erozyon yüzeyleri ile profil yamaç eğriselliği arasındaki ilişki erozyon yüzeylerinin dışbükey yamaçlarda daha sık görüldüğünü, dolayısıyla da dışbükey yamaçların erozyon duyarlılığının daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca erozyon yüzeylerinin özellikle dışbükey yamaçlarda toplanması yamaç eğriselliği parametresinin erozyon duyarlılık değerlendirmesindeki önemini de ortaya koymaktadır.

Şekil 45: Erozyon yüzeyleri ile yamaç eğriselliği parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 46: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının yamaç eğriselliği sınıflarına dağılımı.



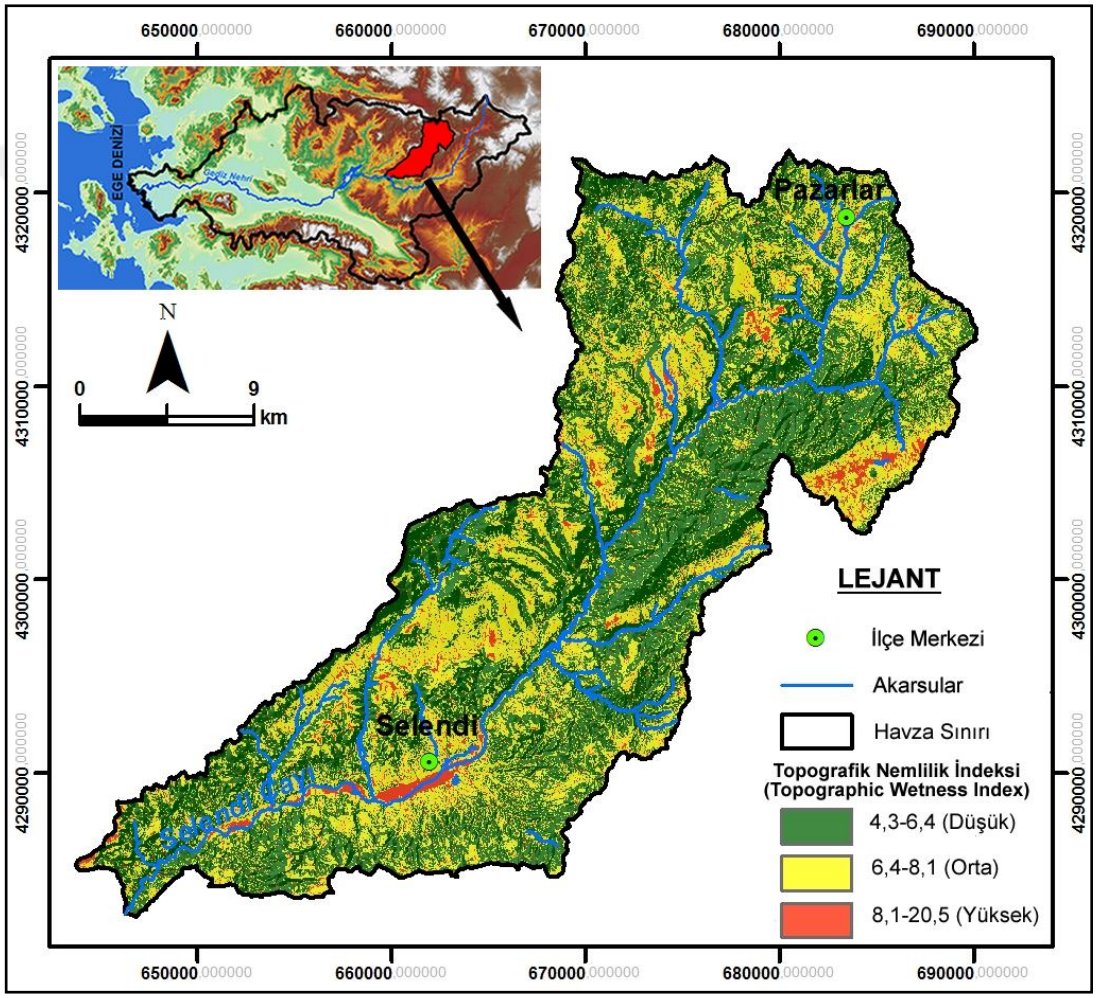
2.1.2.4. Topografik Nemlilik İndeksi

Topografik nemlilik indeksi (Topographic Wetness Index), genel olarak topografyanın suyun yüzeysel akışa geçeceği alanların konumu ve büyüklüğü üzerindeki etkisi olarak tanımlanır. Topografyaya bağlı olarak zeminin suya doygunluk derecesiyle ilgili veya suyun zemindeki hareketiyle ilgili ipucu verir. Topografik nemlilik indeksinin erozyon süreçleriyle ilişkisi kanıtlandığı için bu indeks çalışmada bir parametre olarak kullanılmıştır. Zeminin nemliliği, suyun yüzeydeki akış hızını, sızmasını, göllenmesini etkileyeceğinden erozyon duyarlılığında kullanılmak üzere bir parametre olarak üretilmiştir (Conforti vd., 2011).

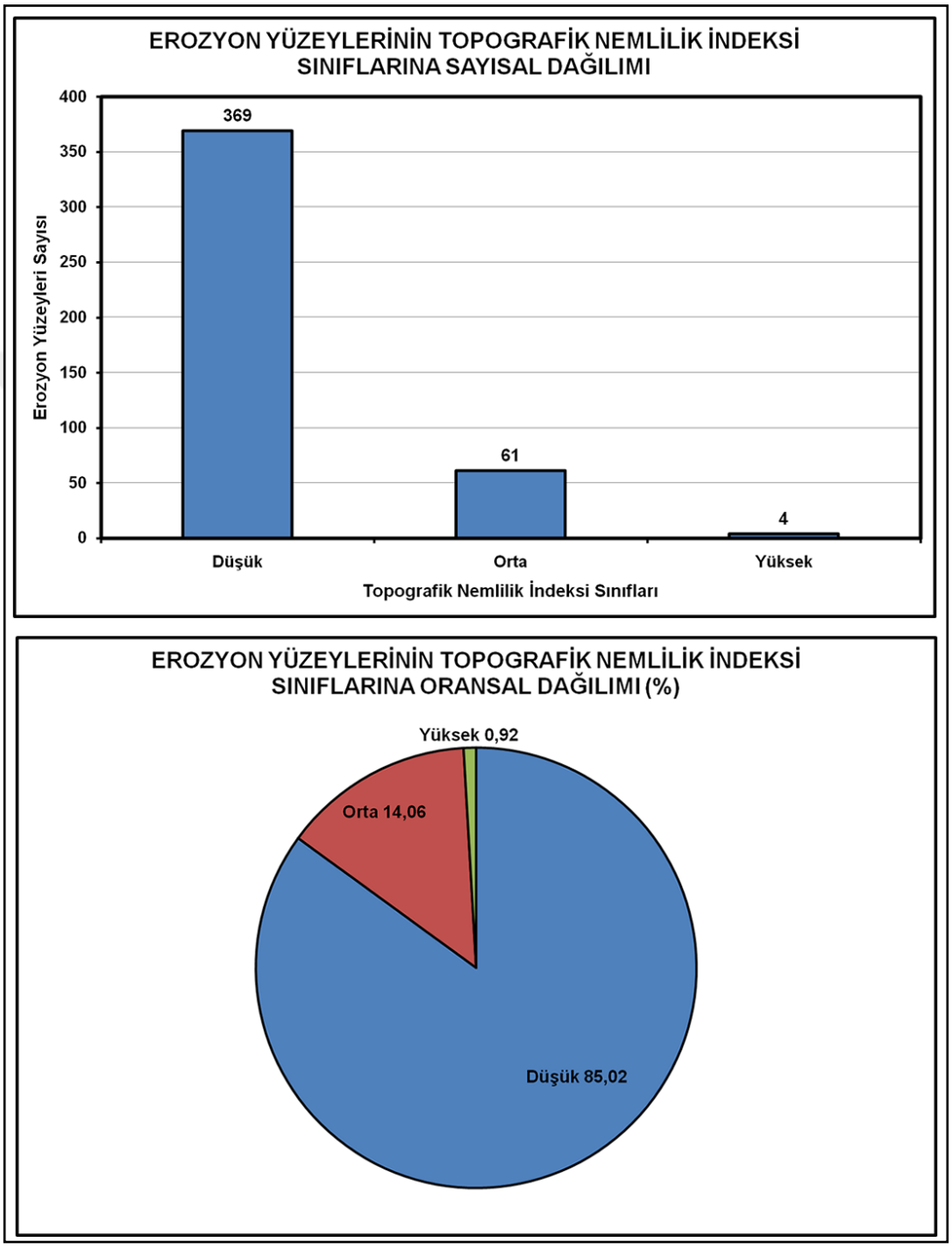
Araştırmada kullanılan topografik nemlilik indeksi 10 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden oluşturulup Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Araştırma alanında topografik nemlilik indeksi değerlerinin 4.2 ile 20.5 arasında değiştiği görülmektedir. Topografik nemlilik indeksi değerlerinin araştırma alanında en düşük olduğu yerler sırt, dış bükey eğimler ve dik yamaçlar gibi suyun yüzeyde oyalanmasının az olduğu

yerlerdir. Değerlerin yüksek olduğu yerler ise daha çok vadi tabaları, düzlük ve az eğimli yerlerdir (Şekil 47). Dolayısıyla erozyon yüzeylerinin % 85 gibi büyük bir bölümü topografik nemlilik indeksinin düşük olduğu alanlarda toplanmıştır. Onu % 14.1 ile orta ve % 0.9 gibi önemsiz bir değerle topografik nemlilik indeksinin yüksek olduğu yerler izlemektedir (Şekil 48-49).

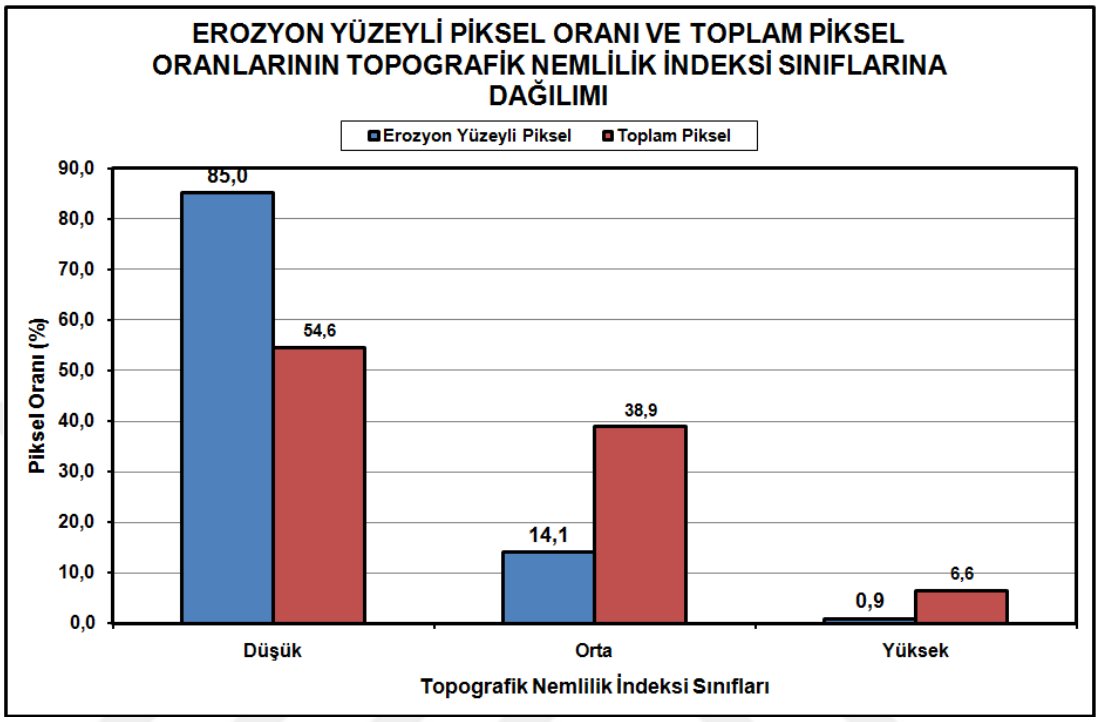
Şekil 47: Selendi Çayı Havzası topografik nemlilik indeksi.



Şekil 48: Erozyon yüzeyleri ile topografik nemlilik indeksi parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 49: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının topografik nemlilik indeksi sınıflarına dağılımı.

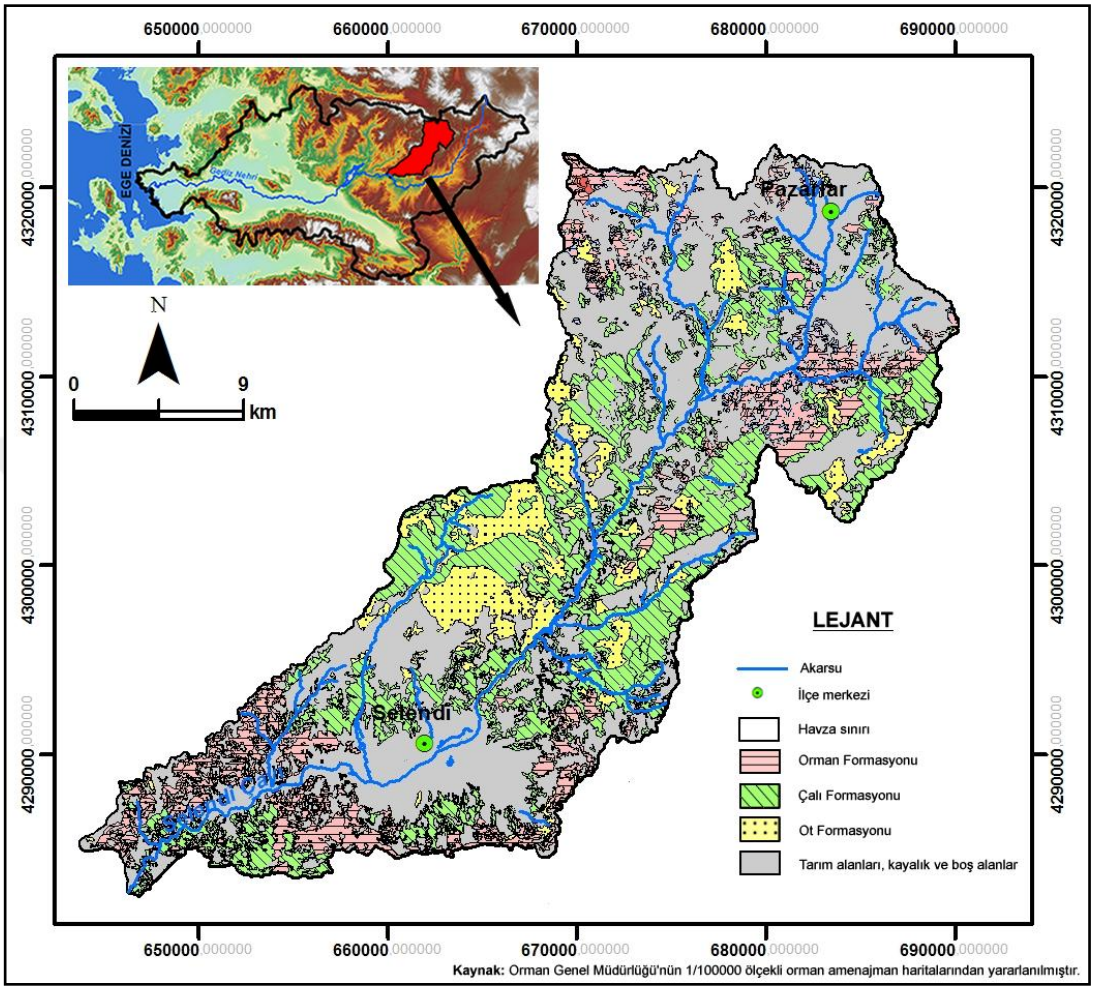


2.1.3. Çevresel Parametreler

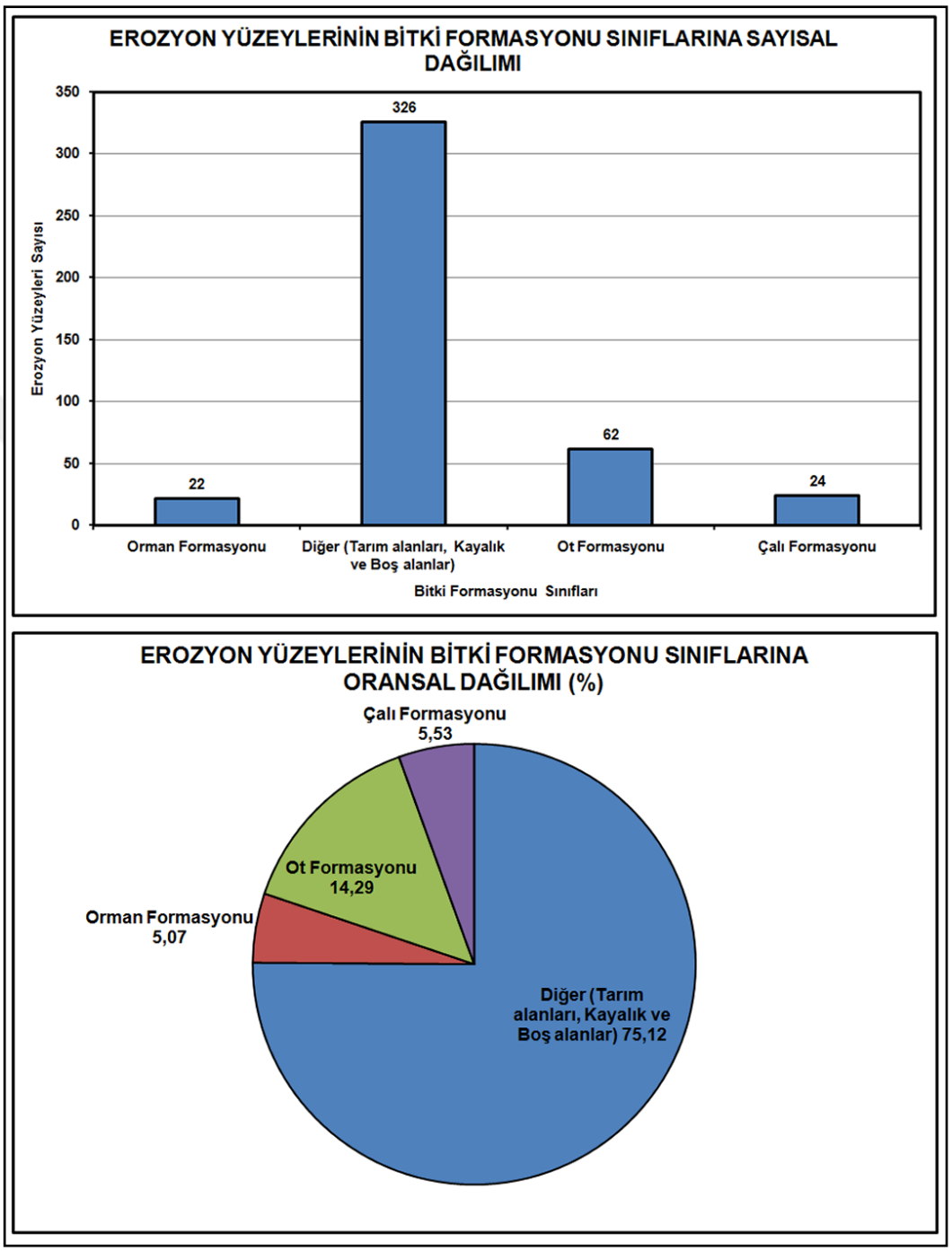
2.1.3.1. Bitki Örtüsü

Araştırma alanının bitki örtüsü haritası için 1/100000 ölçekli orman amenajman haritası kullanılarak formasyon sınırları çıkarılmıştır. Araştırma alanının orman amenajman haritasından ve arazi gözlemlerinden yararlanarak orman formasyonu, ot formasyonu, çalı formasyonu ve diğer (tarım alanları, kayalık ve boş alanlar) olmak üzere dört sınıftan oluşan bir bitki örtüsü parametresi oluşturulmuştur (Şekil 50). Araştırma alanında erozyon yüzeylerinin en çok tekabül ettiği sınıf % 75.1 ile diğer kategorisinde toplanan tarım alanları, kayalık ve boş alanlardır. Onu % 14.3 ile ot formasyonu, % 5.5 ile çalı formasyonu ve % 5.1 ile orman formasyonu sınıfı takip etmektedir (Şekil 51). Bitki formasyonu sınıflarından araştırma alanı içerinde en az alanı ot formasyonu kaplamasına rağmen en fazla erozyon yüzeyi ot formasyonuna tekabül etmiştir (Şekil 52).

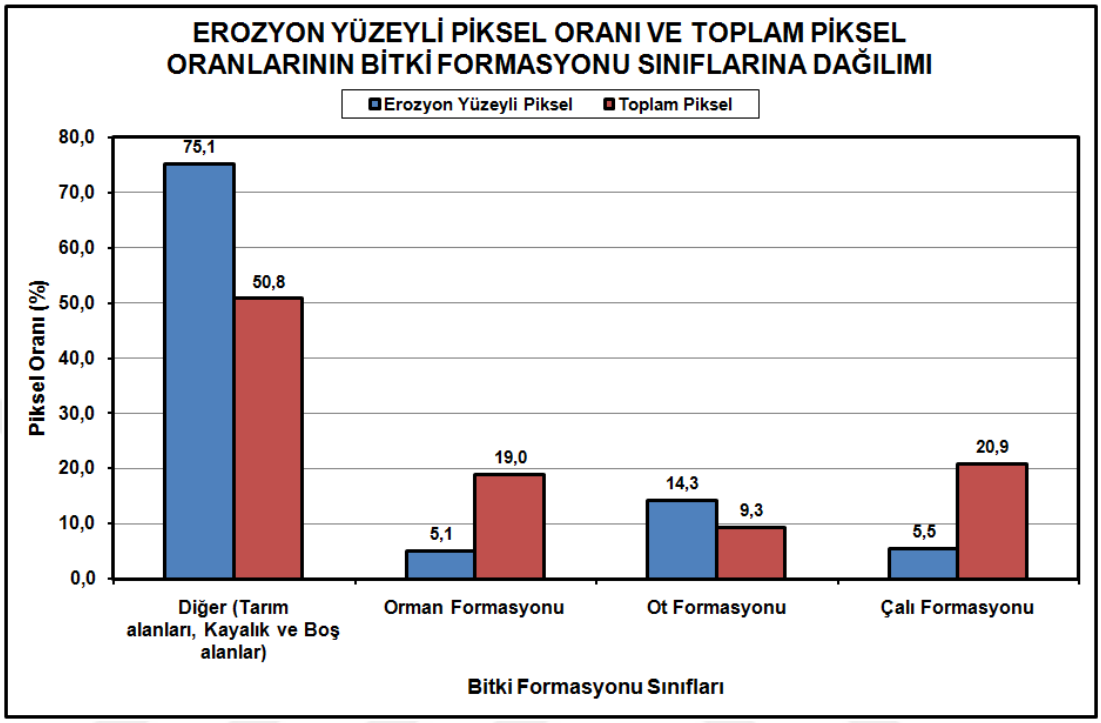
Şekil 50: Formasyon sınırlarını gösteren bitki örtüsü haritası.



Şekil 51: Erozyon yüzeyleri ile bitki formasyonu parametresi arasındaki ilişkiler.



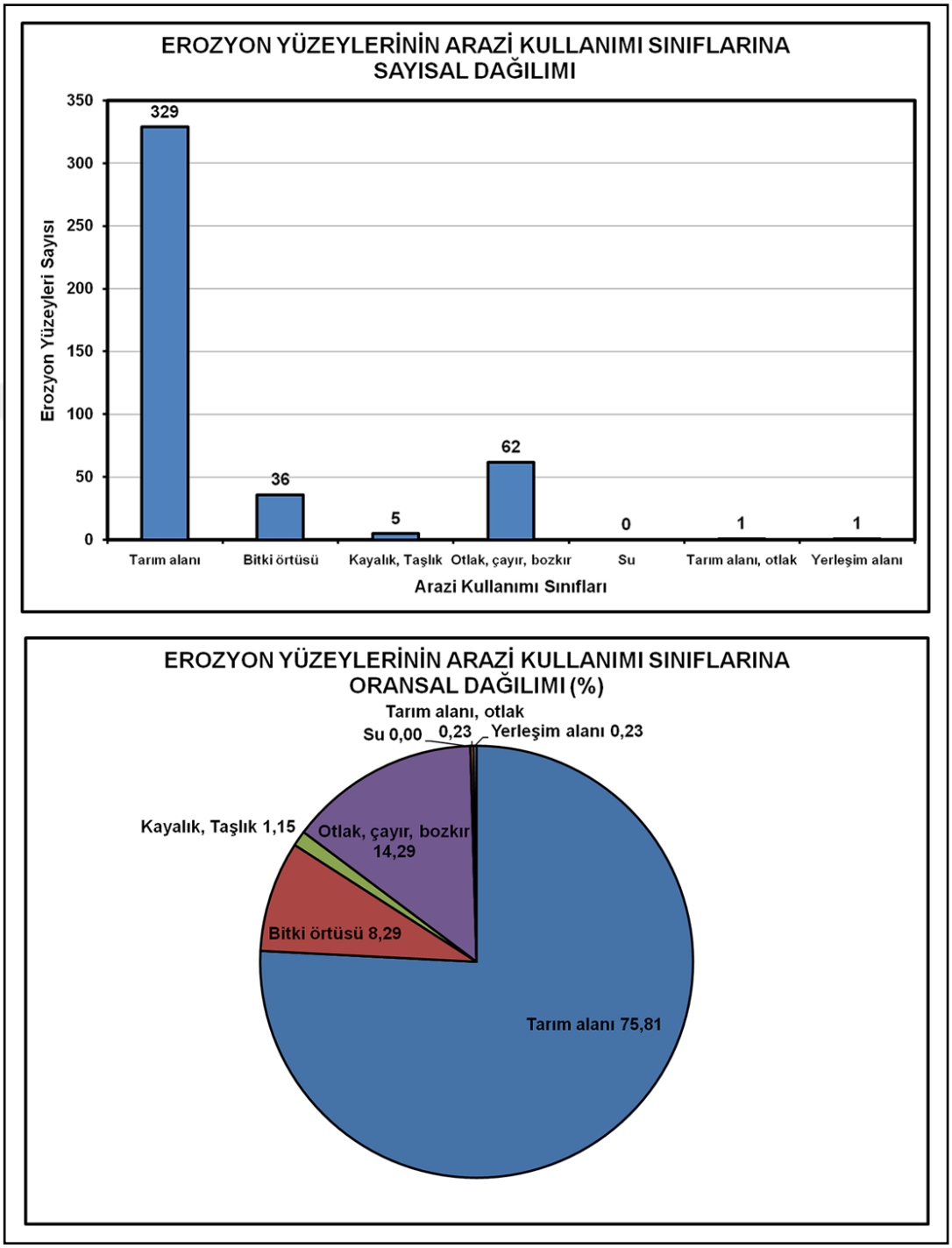
Şekil 52: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının bitki formasyonu sınıflarına dağılımı.



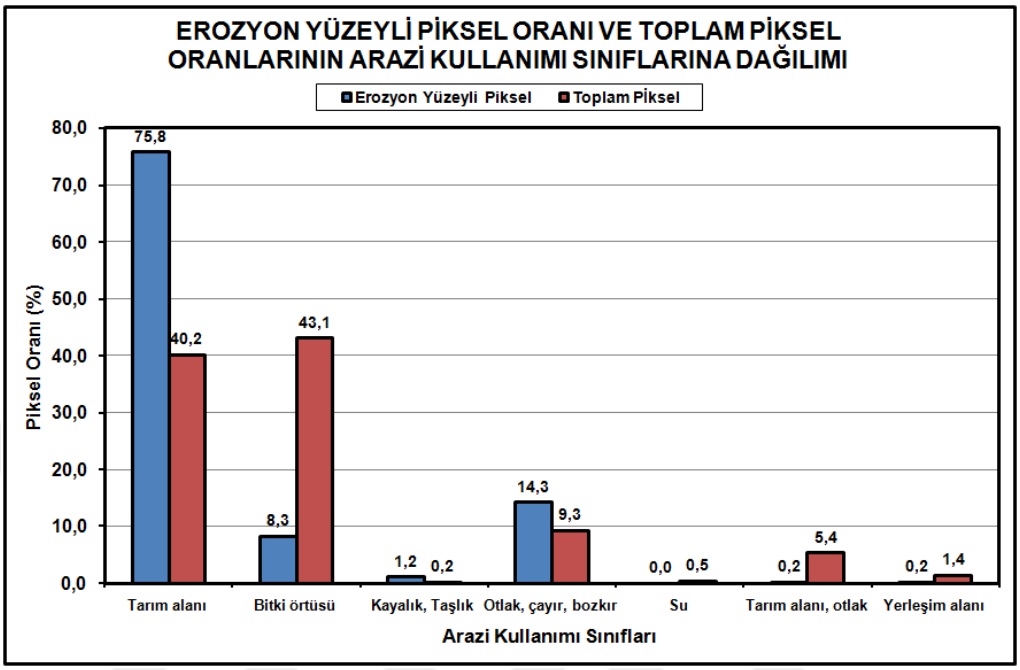
2.1.3.2. Arazi Kullanımı/Örtüsü

Araştırma alanının arazi kullanımı/örtüsü haritası için 2014 yılına ait Landsat 8 uydu görüntüsü, Google Earth Pro yazılımı, 1/100000 ölçekli orman amenajman verisi ve arazi gözlemlerinden faydalanılmıştır. Arazi kullanımı/örtüsü sınıfları 7 gurupta toplanmıştır. Bu arazi kullanımı/örtüsü sınıflarından havzadaki göl ve göletleri temsil eden su sınıfı hariç diğer 6 sınıf erozyon sürecine direkt katkıda bulunabilecek arazi kullanım sınıflarıdır (Şekil 30). Tarımsal faaliyetlerin oldukça geniş alan kapladığı sahada erozyon yüzeylerinin de % 75.81 gibi büyük bir oranı tarım alanlarına tekabül etmektedir. Erozyon yüzeylerinin % 14.3'ü otlak-çayır-bozkır alanlarına, % 8.3'ü bitki örtüsü alanlarına, % 1.2'si kayalık ve taşlık alanlara, % 0.2'si yerleşim alanlarına tekabül etmiştir (Şekil 53-54).

Şekil 53: Erozyon yüzeyleri ile arazi kullanımı parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 54: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının arazi kullanımı sınıflarına dağılımı.



2.1.4. Hidrografik Parametreler

Hidrografik parametreler olarak erozyonun gelişmesinde etkin rol oynadığı düşünülen drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık ve akarsu güç indeksi verileri üretilmiştir.

2.1.4.1. Drenaj Yoğunluğu

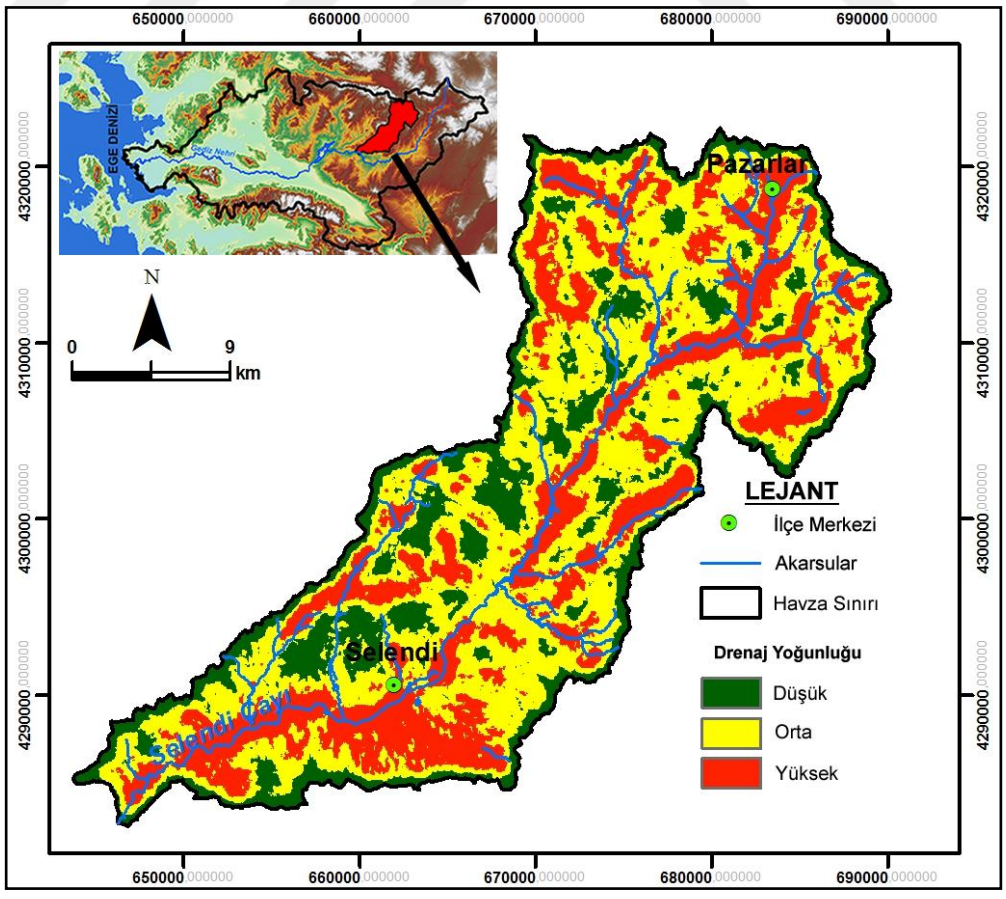
Jeomorfolojik ve hidrolojik bir unsur olarak drenaj yoğunluğunun önemi daha önceki yıllarda Horton (1945) tarafından da ifade edilmiştir. Drenaj yoğunluğu, yüzeysel akışı kontrol eden faktörlerin ortak bir sonucudur ve aynı zamanda infiltrasyon, toprağın suya doyması, yüzey erozyonu, yüzeysel akış ve bunların bir sonucu olan sediment üretimi ile de yakından ilişkilidir (Macka, 2001; Gleen vd., 1998). Ayrıca Clubb vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada drenaj yoğunluğu ve erozyon oranları arasında yakın ilişki ortaya konulmuştur. Bu yakın ilişkiden yola çıkarak araştırma alanının drenaj yoğunluğu verisi üretilmiştir.

10 metre çözünürlüklü SYM verisinden üretilen drenaj hatları, araştırma alanında km^2'ye düşen drenaj hattı yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Vektör formatındaki drenaj hatları verisi ArcGIS yazılımında Spatial Analyst modülü

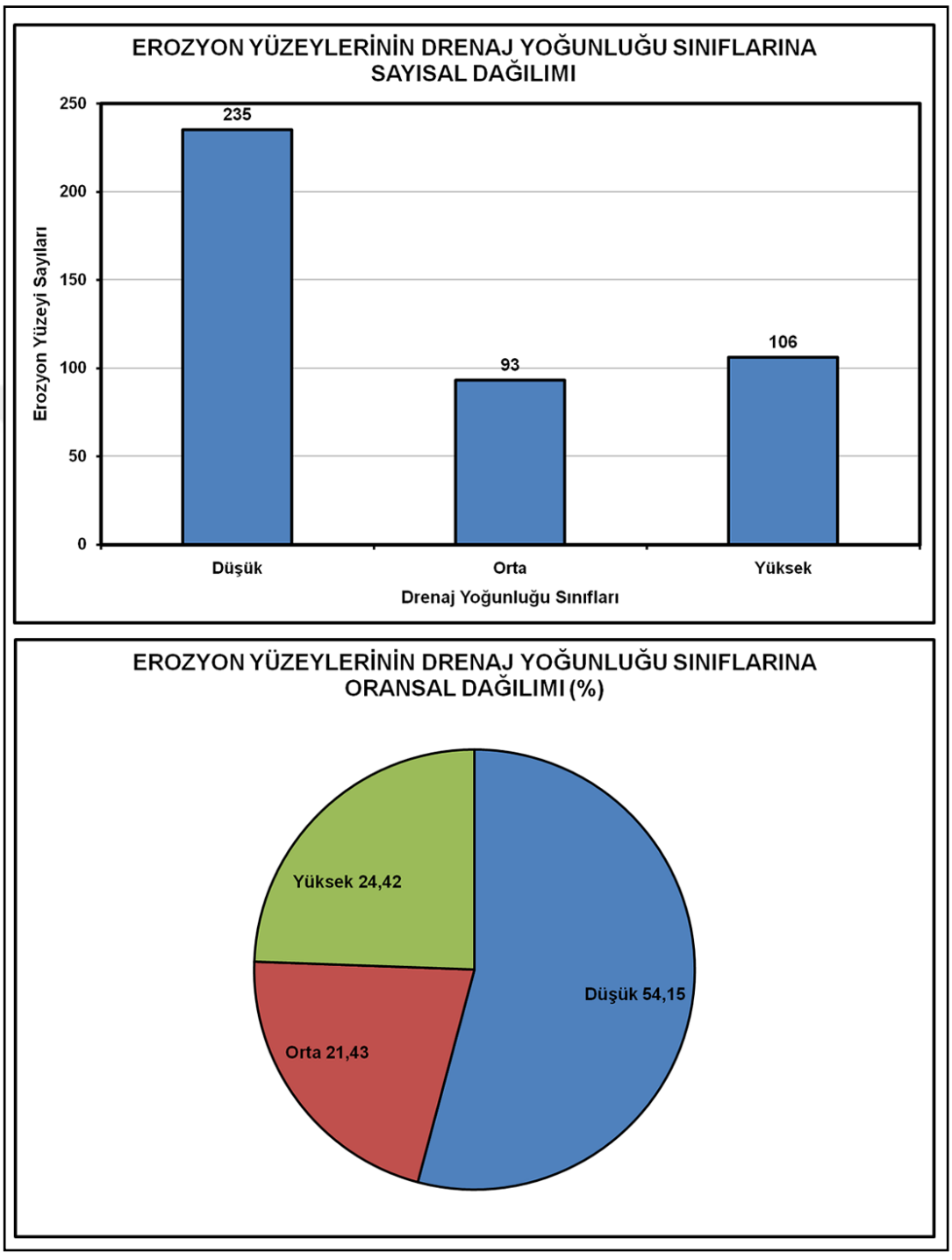
altındaki araçlardan biri olan Line Density aracı ile analiz edilerek drenaj yoğunluk haritası elde edilmiştir. Daha sonra raster formatındaki bu harita düşük, orta ve yüksek olmak üzere yeniden sınıflandırılarak üç sınıflı bir drenaj yoğunluğu parametresi oluşturulmuştur (Şekil 56).

Araştırma alanında drenaj yoğunluğunun düşük olduğu kesimler eğim değerlerinin fazla olduğu dik yamaçlara tekabül etmektedir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu sahalara ise akarsu şebekesinin daha iyi geliştiği Selendi Çayı anakolu boyunca ve havzanın güneyinde alçak düzlüklerde rastlanır (Şekil 55). Araştırma alanındaki erozyon yüzeylerinin drenaj yoğunluğu sınıflarına göre dağılımına bakıldığında ise erozyon yüzeylerinin yarısından fazlasının drenaj yoğunluğunun düşük olduğu alanlara tekabül ettiği görülmektedir (Şekil 56). Havzanın sadece % 21.5'ini kaplayan düşük drenaj yoğunluğuna sahip sahaların erozyon yüzeylerinin yarısından fazlasına sahip olması bu sahaların erozyon duyarlılığı konusundaki önemini ortaya koymaktadır (Şekil 57).

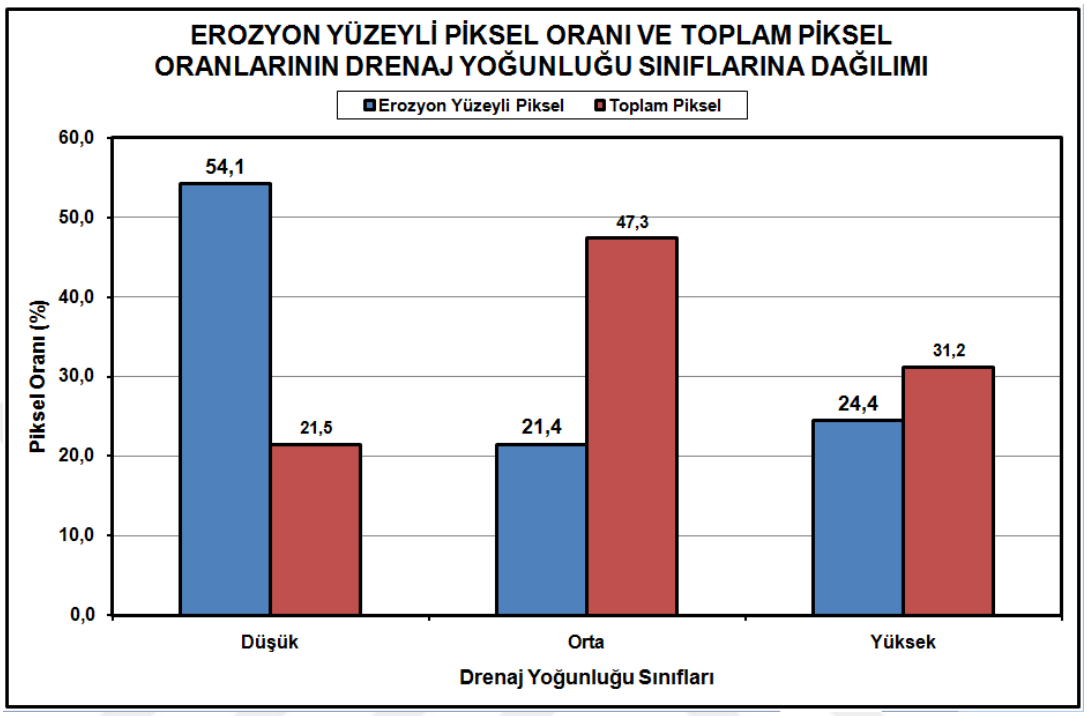
Şekil 55: Araştırma alanının drenaj yoğunluğu haritası.



Şekil 56: Erozyon yüzeyleri ile drenaj yoğunluğu parametresi arasındaki ilişkiler.



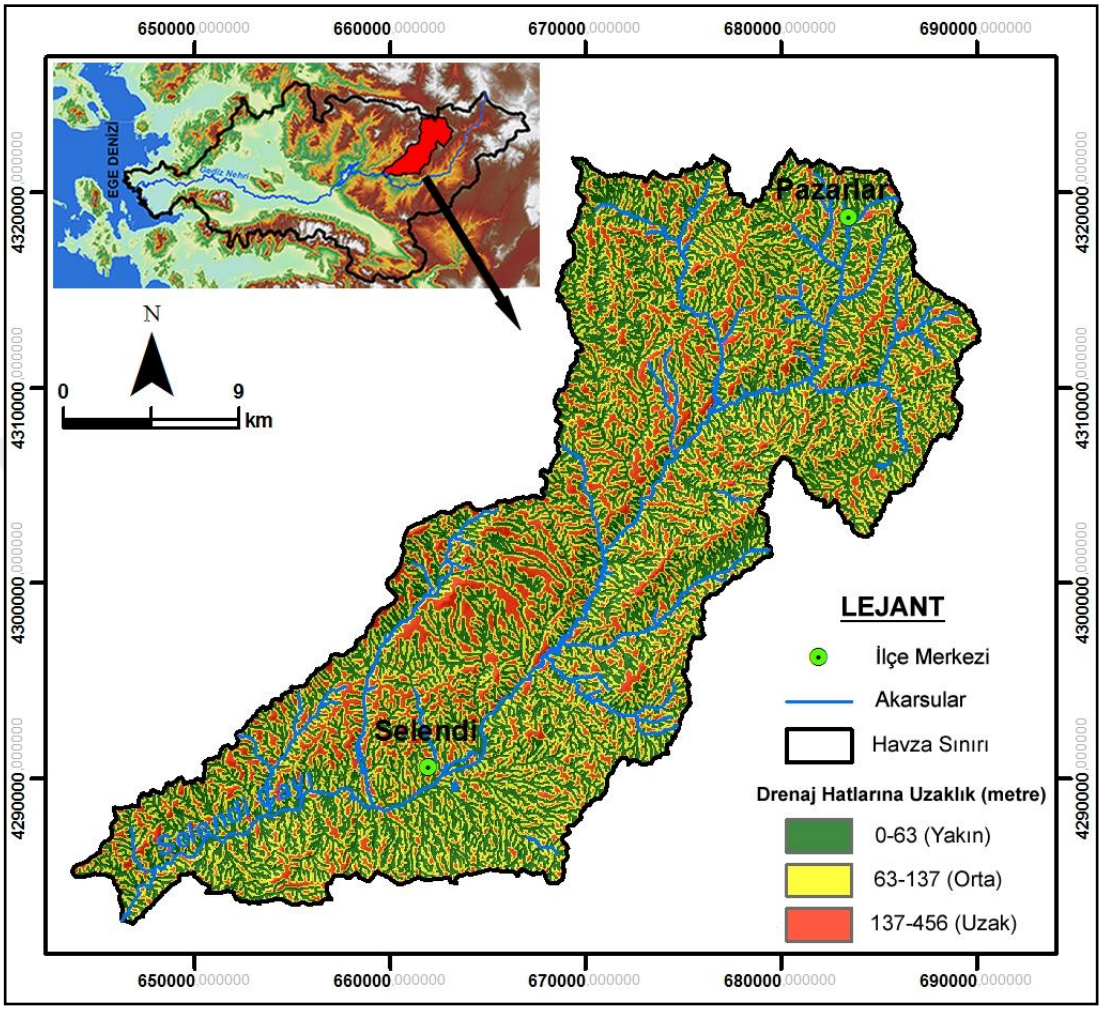
Şekil 57: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının drenaj yoğunluğu sınıflarına dağılımı.



2.1.4.2. Drenaj Hatlarına Uzaklık

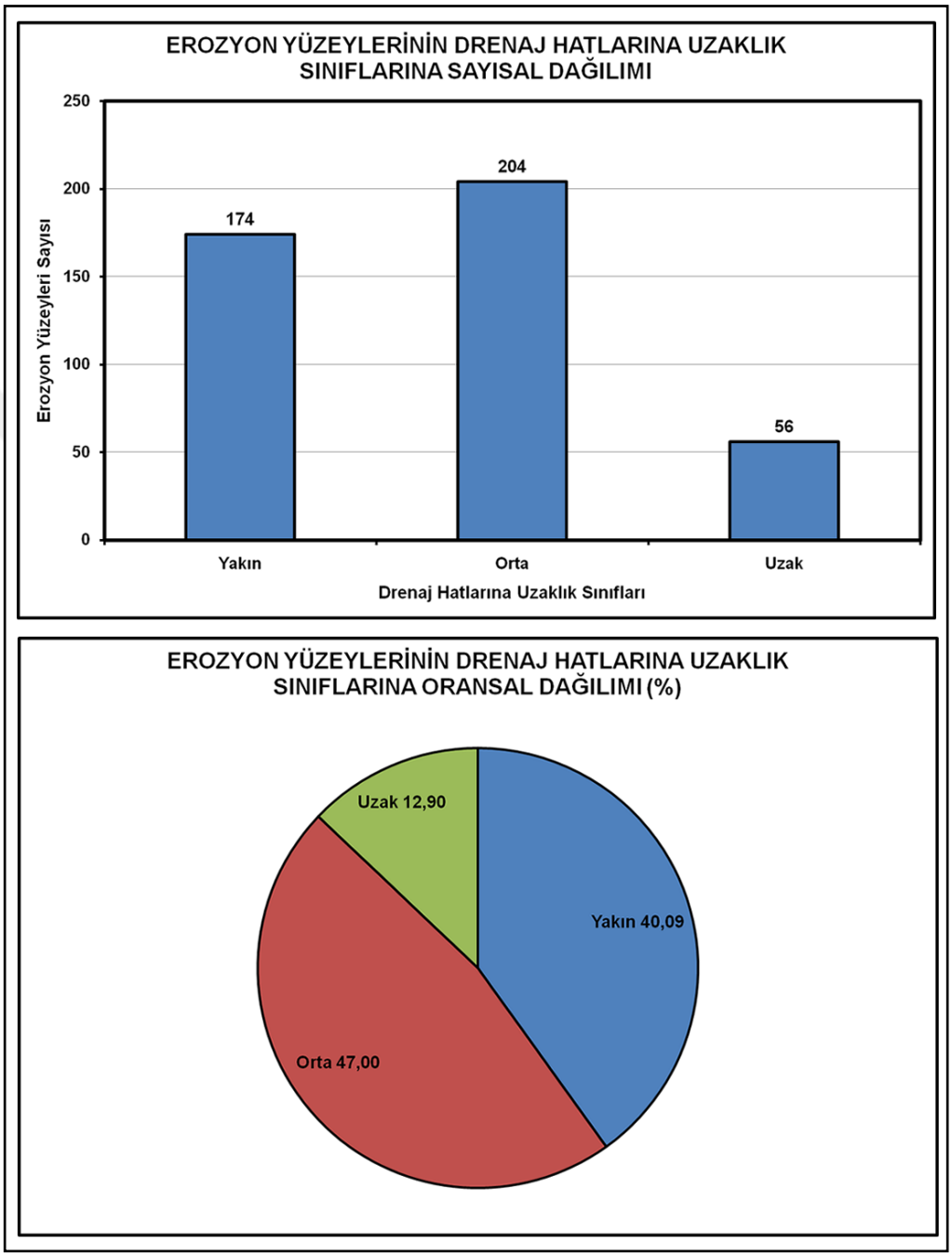
Drenaj hatlarına uzaklık verisi, yamaç-drenaj hattı ve erozyon arasındaki ilişkiyi ortaya koyabileceği düşünüldüğü için üretilmiştir. SYM'den üretilen akarsu ağı kullanılarak ArcGIS yazılımındaki Spatial Analyst araçlarından "Euclidien Distance" komutuyla yapılmıştır. Bu uygulama, SYM'den üretilen drenaj hatlarına, ilgili her bir pikselin sahip olduğu mesafenin miktarını ifade eder (Akgün, 2007). Piksellerin drenaj hatlarına uzaklığı 0 m ile 457 m arasında değişmekle birlikte elde edilen raster harita Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile yakın, orta ve uzak olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 58).

Şekil 58: Araştırma alanının drenaja uzaklık haritası.

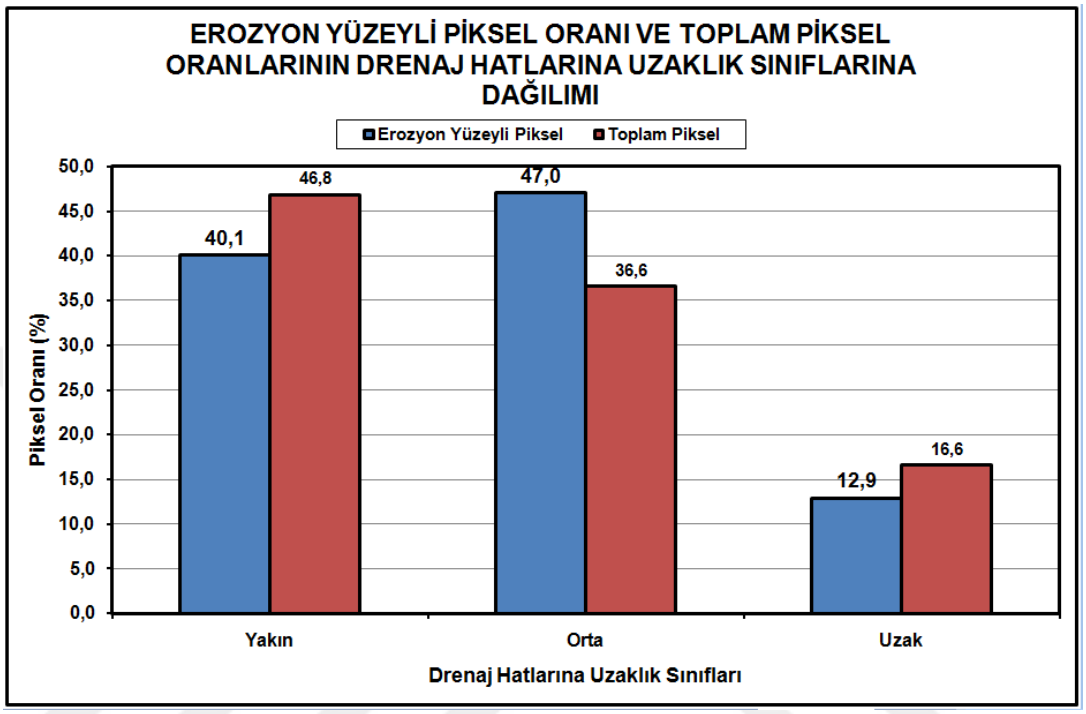


Erozyon yüzeylerinin % 47'lik bir kısmı drenaj hatlarına uzaklık parametresinin orta sınıfında toplanmıştır. Onu % 40.09 ile yakın ve % 12.90 ile uzak sınıfı izlemektedir (Şekil 59). Bu da araştırma alanında drenaj hatlarına orta derecede uzak alanların erozyon duyarlılığı açısından daha önemli olduğunu göstermektedir.

Şekil 59: Erozyon yüzeyleri ile drenaj hatlarına uzaklık parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 60: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının drenaj hatlarına uzaklık sınıflarına dağılımı.



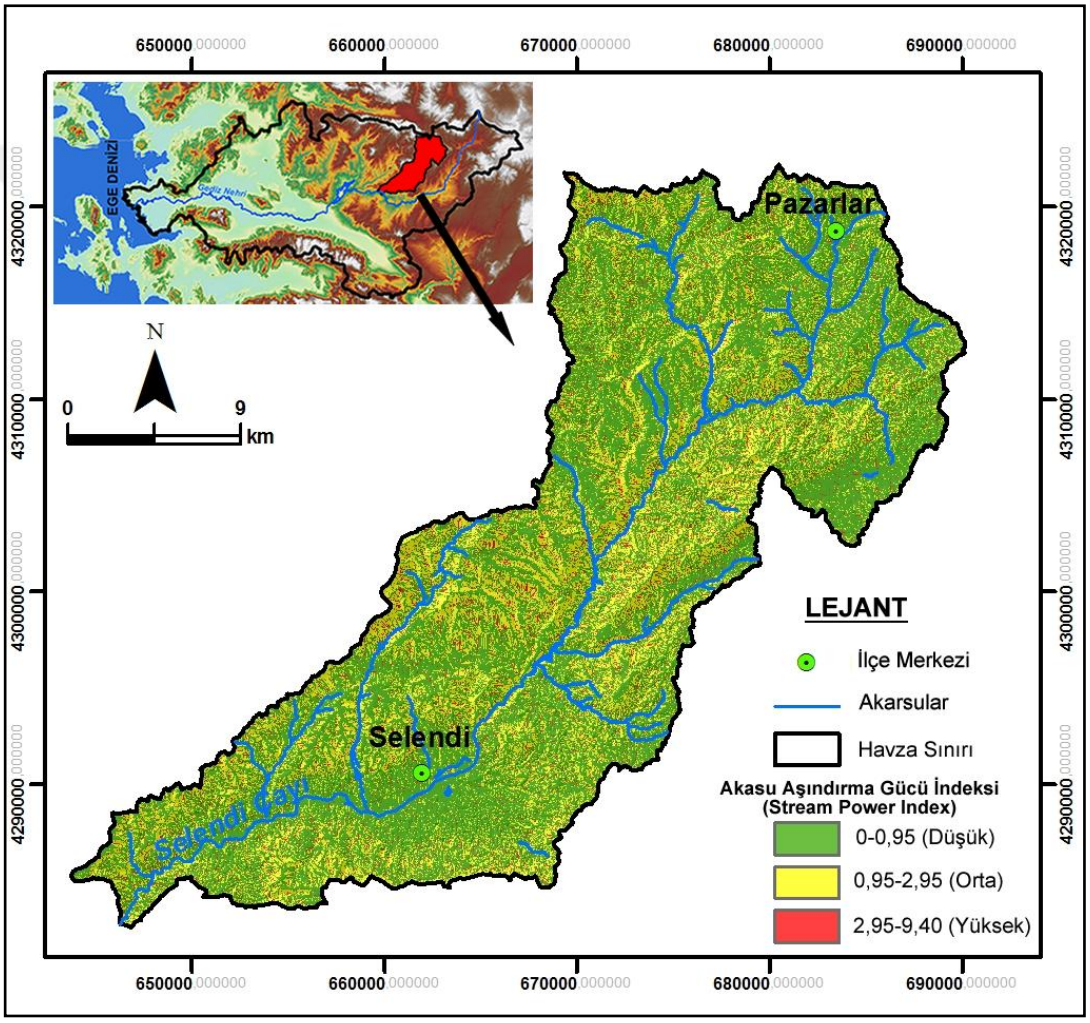
2.1.4.3. Akarsu Aşındırma Güç İndeksi

Akarsu aşındırma gücü indeksi (Stream Power Index), su deşarjının spesifik akaçlama alanı (As) ile orantılı olduğu varsayımına dayanarak akış halindeksi suyun erozif etkisinin bir ölçüsüdür. SPI=(AS*tanβ) eşitliği ile hesaplanır. "AS" değeri spesifik havza alanını (m^2/m), "β" derece olarak eğim değerini temsil etmektedir (Moore vd., 1991). Bu indis araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü SYM verisinin SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) GIS yazılımında analizi sonucu elde edilmiştir.

Yamaçtan akan suyun gücü erozyonu doğrudan etkilediği için akarsu güç indeksi yamaçlardaki erozyonal süreçleri kontrol eden temel faktörlerden biridir (Nefeslioğlu vd., 2008). Ayrıca yüksek akarsu güç indeksi değerlerinin görüldüğü alanlar büyük bir erozyon potansiyeline sahip olduğu için sedimentleri alıp götürecek potansiyel enerjiyi diğer bir deyişle sediment kaynağı olabilecek yerleri de göstermektedir (Kakembo vd., 2009). Bu sebeple erozyon duyarlılığında bir parametre olarak kullanılmak üzere Selendi Çayı Havzası'nın akarsu güç indeksi

haritası oluşturulmuş ve Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile düşük, orta, yüksek olmak üzere üç sınıflı olarak sınıflandırılmıştır. Araştırma alanında yüksek akarsu aşındırma gücü indeks değerleri genel itibariyle eğimin fazla yerlerde dikkat çekmektedir (Şekil 61). Eğim değerleri arttıkça akarsu aşındırma gücü indeksi değerleri yükselmektedir.

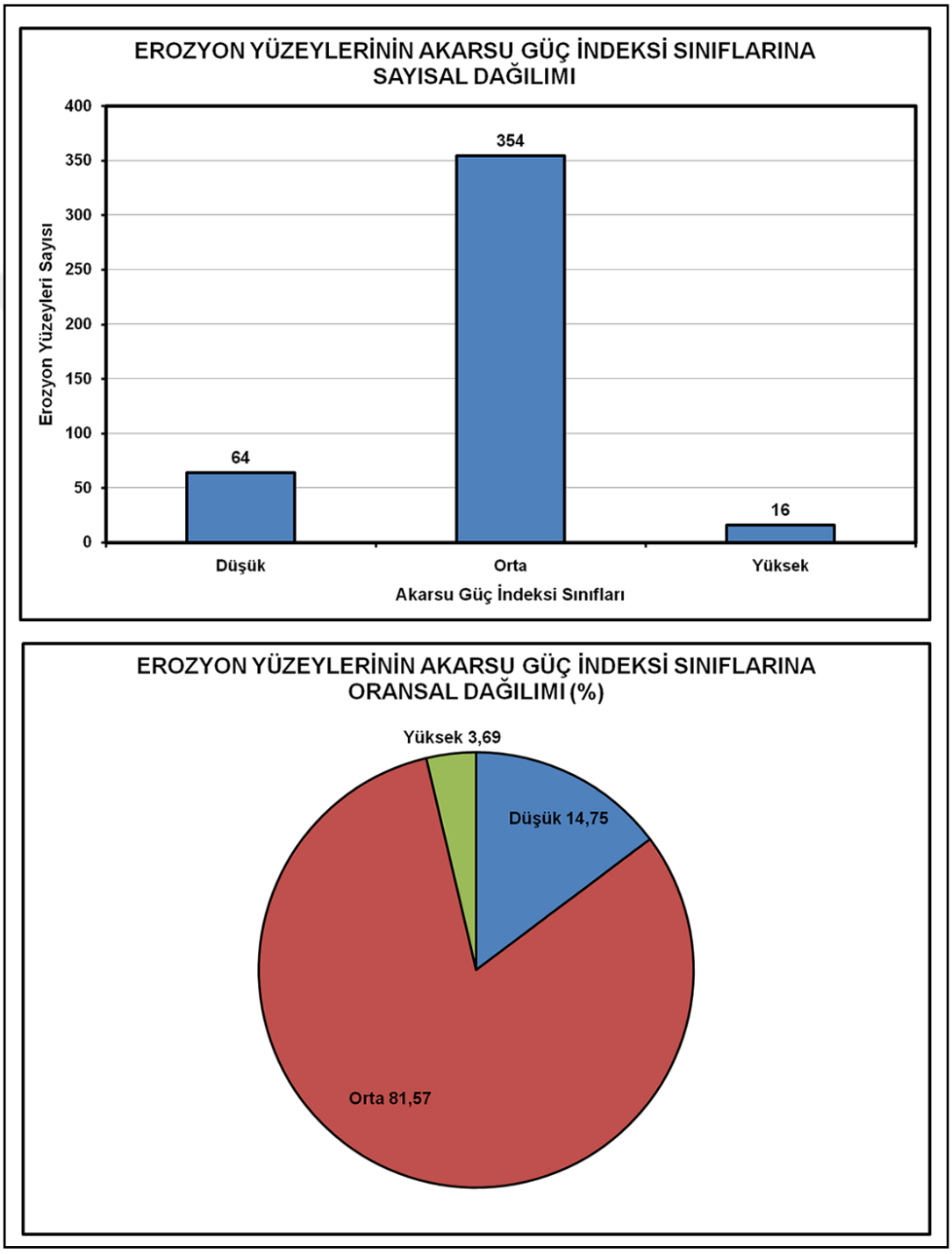
Şekil 61: Selendi Çayı Havzası akarsu güç indeksi haritası.



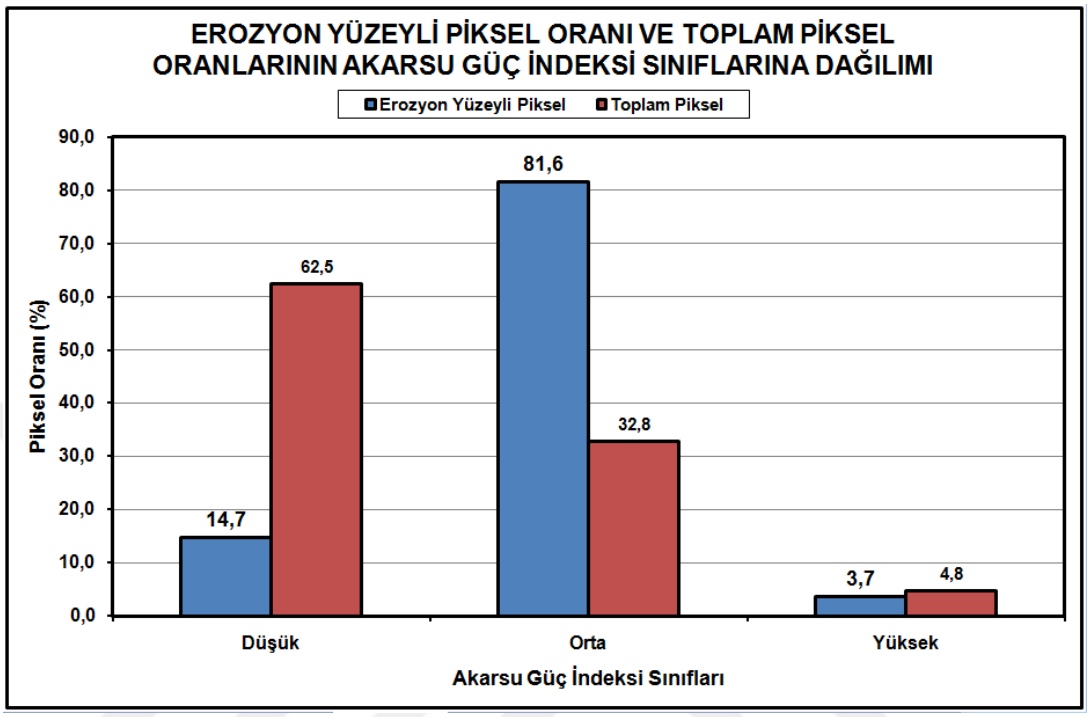
Araştırma alanında akarsu aşındırma gücü indeksi sınıflarının kapladığı alanlara ve bu sınıflara düşen erozyon yüzeylerine bakıldığında düşük akarsu güç indeksi sınıfını sahanın % 62.5'i gibi bir alan kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin sadece % 14.7'i bu sınıfa tekabül etmiştir. Bu da düşük akarsu aşındırma güç indeksi sınıfının erozyon duyarlılığı açısından diğer sınıflara göre önemsiz olduğunu göstermektedir. Akarsu aşındırma gücünün orta olduğu alanlar toplam

araştırma alanın % 32.8'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin % 81.6'ı gibi oldukça önemli bir kısmı bu sınıfta toplanmıştır (Şekil 62-64).

Şekil 62: Erozyon yüzeyleri ile akarsu güç indeksi parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 63: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının akarsu güç indeksi sınıflarına dağılımı.



2.1.5. Klimatik Parametreler

2.1.5.1. Modified Fournier Yağış İndeksi Analizleri

Erozyon olayının iklim, litoloji, jeomorfoloji ve bitki örtüsü ile karşılıklı etkileşimleri göz önünde bulundurulduğunda, pekçok neden sonuç ilişkisi erozyonun mekansal dağılışındaki farklılaşmanın nedeni olarak karşımıza çıkabilir. Fakat, Türkiye için su erozyonunun önemi düşünülürse, iklim değişikliğinin su erozyonu üzerindeki en önemli etkisi yağışların erozyon oluşturma gücünün diğer bir deyişle yağışın erozivitesinin değişime maruz kalmasıdır (Karaca vd., 2008; Kaya, 2008; Erpul vd., 2009). Dolayısıyla araştırma alanında ağırlıklı olarak su erozyonunun görülmesi ve su erozyonunun görüldüğü yerlerde yağışların erozyonun ana nedeni olması sebebiyle bu tez çalışmasında da temel iklim parametresi olarak "yağışın erozyon oluşturma gücü (yağışın erozivitesi)" erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere üretilmiştir.

İklimin erozyona etkisini sayısal olarak değerlendirmede kullanılan pekçok yağış indeksi bulunmakla birlikte bu araştırmada yağışın yıllık ve aylık

ortalamalarının hesaba katıldığı Modified Fournier Index (MFI) kullanılmıştır (Arnoldus, 1977; Apaydın vd., 2006; Bayramin vd., 2006). Araştırma alanında yağışın erozivitesinin mekansal dağılışı, Modified Fournier Index formülünün Coğrafi Bilgi Sistemleri imkanlarıyla uygulanması sonucunda elde edilmiştir.

$MFI= \Sigma p_i^2 / P_j$ şeklinde olan bu eşitliğe göre;

pi: aylık toplam yağış (mm),

P_j: ise yıllık toplam yağış (mm) ifade eder (Arnoldus, 1977).

Yağış indisinin sınıflandırılmasında ise Tablo 32'deki sınıflandırma kullanılmıştır.

Tablo 32: Modified Fournier yağış indisi sınıflaması.

MFI	Sınıf	Tanım
<60	1	Çok az
60-90	2	Az
91-120	3	Orta
121-160	4	Yüksek
>160	5	Çok yüksek

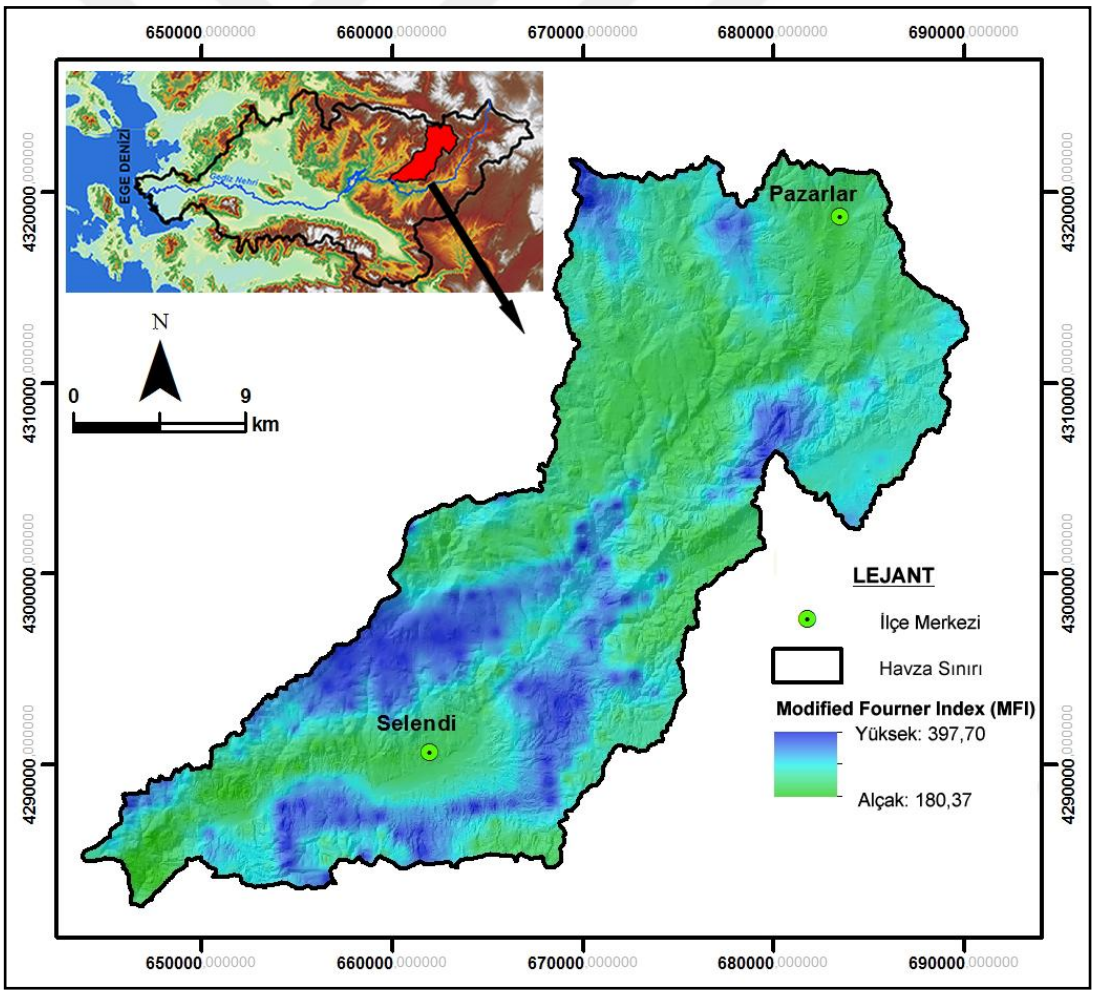
Kaynak: Cebeci vd., 2013

Araştırma alanında yağışın erozyon oluşturma gücünün güncel durumu için Gediz, Uşak, Eşme ve Demirci Meteoroloji İstasyonları'nın aylık ve yıllık yağış miktarı verilerinden yararlanılmıştır. Araştırmada kullanılan istasyonlar için her ayın aylık ve yıllık yağış miktarı istasyonların thiessen poligonlarıyla belirlenen etki alanları dahilinde 1x1 km çözünürlüklü grid noktaların bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak Schreiber tarafından önerilen formül vasıtası ile çekilmiştir.

Araştırma alanında yükselti farkının yağış miktarına etkisini göstermek amacıyla daha önce Klimatik Özellikler başlığı altında açıklanan ve 100 metrelik yükselti artışına paralel olarak yağışın 54 mm artacağını varsayan Schreiber formülü kullanılmıştır. Aynı formül, aylık yağış dağılışı haritalarını üretmek için de kullanılmıştır. Fakat aylık yağış dağılışları için yağışın yükselti ile gösterdiği değişikliklerin hesaplanmasında 54 katsayısı yerine, bu sayının 12'ye bölünmesinden elde edilen 4.5 katsayısını kullanmak gerekmektedir. Bununla birlikte, bu araştırmaya konu olan Selendi Çayı Havzası gibi aylar arasında yağış miktarı bakımından büyük farkların olduğu sahalarda yaz ve kış ayları için ayrı ayrı

katsayılar kullanmak gerekmektedir. Bu sebeple Erinç (1996) tarafından önerilen 1.6 katsayısı yaz ayları için, 7 katsayısı da kış ayları için kullanılmıştır (Erinç, 1996). İlkbahar ve sonbahar aylarında ise 4.5 katsayısının kullanılması uygun görülmüştür. Daha sonra Field Calculator'a yazılan bir formülle her bir grid noktasının aylık yağış miktarının karesi alınmıştır. Karesi alınan aylık yağış miktarları toplanmış ve yıllık toplam yağışa bölünmüştür. Böylece grid noktalarının Modified Fournier Index değerleri belirlenmiştir. Son olarak yapılan IDW enterpolasyon ile Modified Fournier Indeks değerleri alana yayılarak, araştırma alanı için yağışın erozivitesinin güncel durumunu gösteren harita elde edilmiştir (Şekil 64).

Şekil 64: Araştırma alanının Modified Fourner Index'e göre hazırlanmış yağışın erozivitesi dağılımı.



Araştırma alanının IDW enterpolasyonla üretilen yağış erozivitesi dağılışı incelendiğinde, yağışın erozivitesinin 180 ile 397 arasında değiştiği görülür. Sahada

yağışın erozivitesinin en yüksek olduğu yerler, havzanın güneyinde Selendi Çayı'nın anakolunun doğu ve batısındaki nispeten yüksek dağlık sahalardır. Bu kesimde yükseltiyle birlikte yağışın erozivitesinin tedrici olarak arttığı anlaşılmaktadır (Şekil 64).

2.1.5.2. Bagnouls-Gaussen Kuraklık İndeksi Analizleri

Akdeniz biyoikliminin ölçümü ve bunun bitki fizyolojisi ve tarım potansiyelleriyle ilişkileri eski dünyanın Akdeniz bölgesinin bilim adamları tarafından özel ilgi gören klasik bir araştırma konusudur. Bu konudaki araştırmalara katkı sağlayanlardan biri de Bagnouls ve Gaussen'dir (Di Castri, 2012). Sıcaklık, gerek ayrışma süreçlerini yönlendirdiği için gerekse toprak nemliliğini etkilediği için erozyon duyarlılığını doğrudan etkileyen bir iklim elemanıdır. Yukarıda açıklanan Modified Fournier Index (MFI) yağışların erozivitesinin belirlenmesinde yeterli olmasına rağmen, sıcaklık faktörünün erozyona etkisini belirleyebilmek için Bagnouls Gaussen kuraklık indisi (BGI) kullanılmıştır. Böylece kuraklığa bağlı olarak erozyonun artması, bitki örtüsünün değişimi, toprak nemliliği gibi etkiler de değerlendirilebilinir. Bunun için iklimin erozyona etkisinin belirlenmesinde bir diğer indis olan Bagnouls-Gaussen Aridity Index (BGI) hesaplanmıştır (Aslan, 2009). Sıcaklık ve yağış verilerinin birlikte değerlendirildiği, $BGI= \Sigma (2t_i-p_i)\ k_i$ şeklinde olan eşitliğe göre; "t_i" i ayındaki aylık ortalama sıcaklık, "p_i" i ayındaki aylık toplam yağış miktarı, "k_i" ise $2t_i-p_i>0$ olduğu gün sayısının değerlendirilmesini ifade eder. Kuraklık indisi hesaplanırken aylık ortalama sıcaklığın iki katının aynı aydaki yağış miktarından fazla olduğu aylar dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda hesaplanan kuraklık indisi değerleri Tablo 33'e göre değerlendirilip sınıflandırılmaktadır (Cebeci vd., 2013)

Tablo 33: Bagnouls Gaussen kuraklık indisi sınıflaması.

BGI Değeri	Sınıf	Tanım
0	1	Nemli
1-50	2	Yarı Nemli
51-130	3	Kurak
>130	4	Çok Kurak

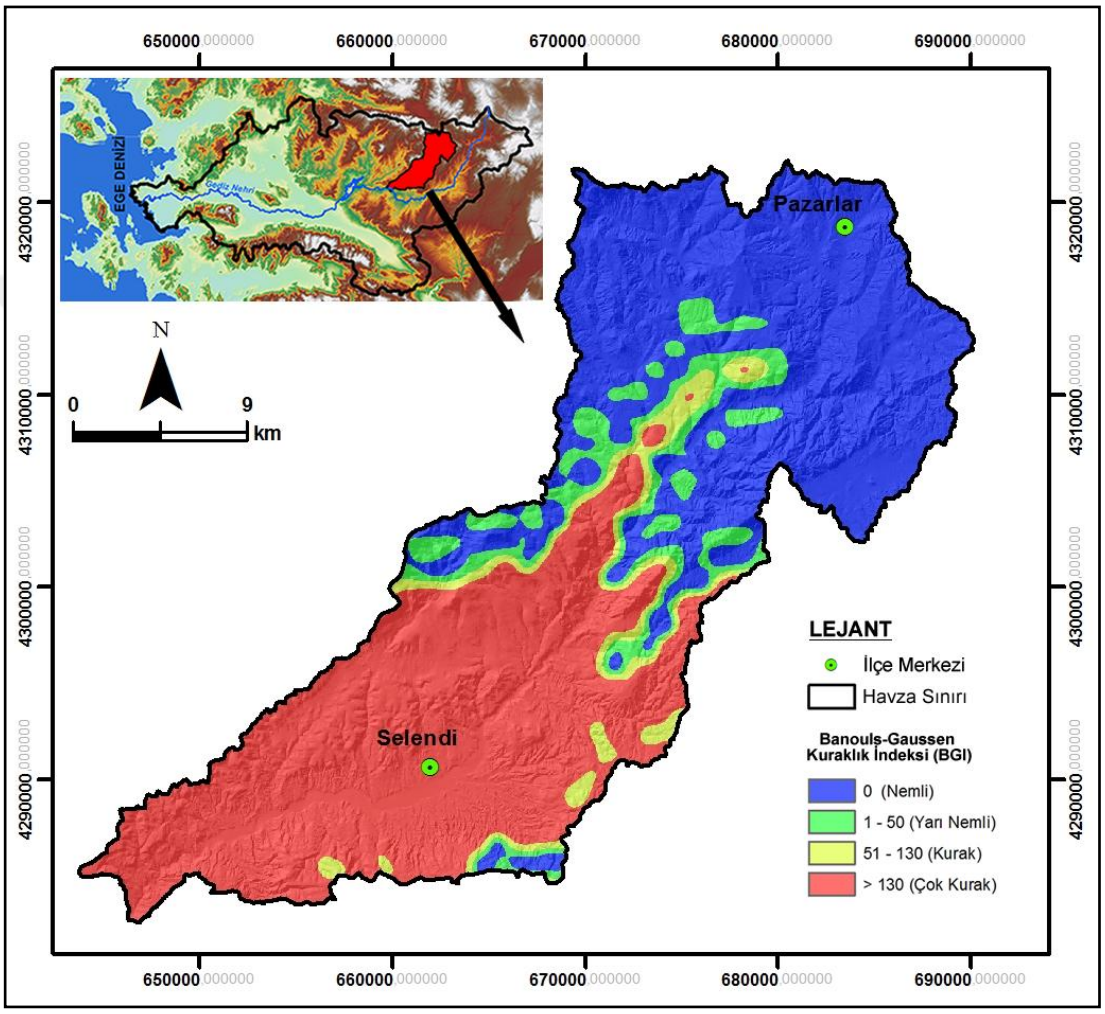
Kaynak: Cebeci vd., 2013

Araştırma alanında kuraklığın güncel durumu için Gediz, Uşak, Eşme ve Demirci Meteoroloji İstasyonları'nın aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış verilerinden yararlanılmıştır. Aylık ortalama sıcaklık haritaları için lapse-rate oranı araştırmada kullanılan istasyonların aylık sıcaklık ortalamasının yükseklik ile değişim ilişkisi ve iklim tipi analizleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Lapse-rate oranının belirlenmesi için yapılan bu ön çalışmalar sonucunda Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan gibi nemli kategorisinde yer alan ayların lapse-rate oranı 100 metre için 0.50; yarıkurak, yarıkurak-nemli gibi geçiş tipi olan Mayıs ve Ekim ayları 0.65; Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül gibi kurak olan aylar ise 1 ^{o}C alınmıştır. Araştırmada kullanılan istasyonlar için her ayın aylık ortalama sıcaklıkları, istasyonların thiessen poligonlarıyla belirlenen etki alanları dahilinde 1x1 km çözünürlüklü grid noktaların bulunduğu yüksekliğe lapse-rate formülü vasıtası ile çekilmiştir. Bagnouls-Gaussen kuraklık indeksinin formülüne göre her ayın ortalama sıcaklığının 2 katı alınmıştır. 2 katı alınan aylık ortalama sıcaklık değeri aynı ayın toplam yağış miktarından büyükse değerlendirmeye alınmıştır. Bunun için bu koşulu sağlayan aylar veritabanından seçilerek toplanmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen değerler Bagnouls-Gaussen kuraklık indeks değerini vermektedir. Elde edilen değerler spline enterpolasyonla haritalanıp, değerler Tablo 33'e göre sınıflandırılarak araştırma alanının güncel kuraklık durumunu gösteren harita elde edilmiştir (Şekil 65).

Araştırma alanında BGI'nın mekansal dağılışının temel alarak yükseltiye bağlı olduğu dikkat çekmektedir. Bunun sebebi araştırma alanında yağış ve sıcaklık koşullarının temelde yükseklikle birlikte değişmesinden kaynaklanmaktadır. Araştırma alanının kuzeyine doğru yükseltiye bağlı olarak sıcaklığın azalması ve buna karşılık yağış miktarının nisbî olarak artış göstermesi kuraklığın havzanın güneyine göre kuzeydeki yüksek sahalarda daha azalacağını tahmin etmek mümkündür. Yükselti ile birlikte değişen yağış ve sıcaklık şartları elbette sahada kuraklığın mekansal dağılışını da etkileyecektir. Nitekim Bagnouls-Gaussen kuraklık indeksinin araştırma alanındaki dağışına baktığımzda havzada çok kurak şartlar güneyde yükseltisi nispeten az, sıcaklıkların daha fazla ve yağış miktarının ise daha az olduğu sahalarda görülmektedir. Araştırma alanının kuzeyine doğru gidildikçe

tedrici olarak sırasıyla kurak, yarınemli ve nihayet nemli şartlara geçilmektedir (Şekil 65).

Şekil 65: Araştırma alanının Bagnouls-Gaussen Index'e göre hazırlanmış kuraklık dağılımı.



2.1.5.3. Aşındırıcı Güç (Erozivite İndeksi) Değerlerinin Analizi

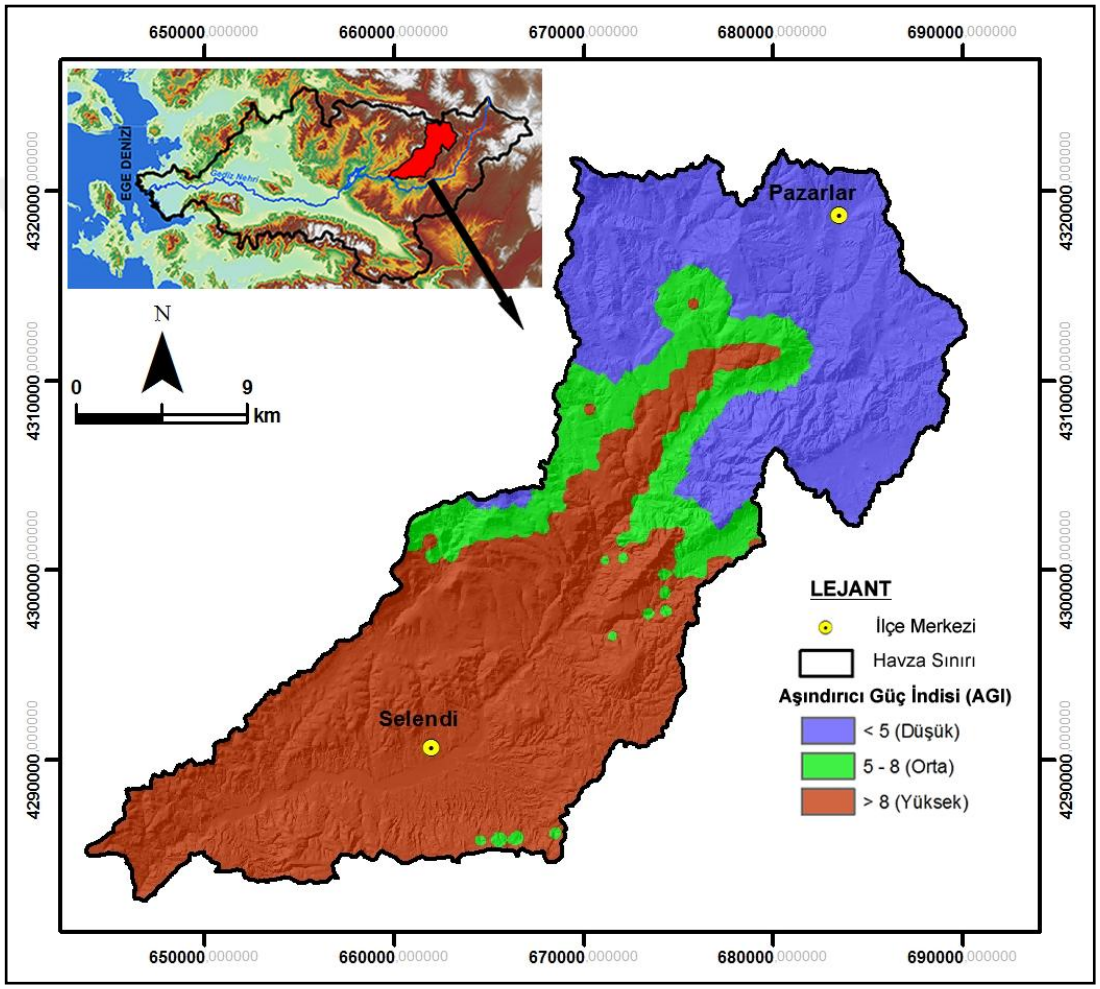
MFI ve BGI klimatik göstergeleri CORINE metodolojisinde kullanıldığı gibi sınıflandırılıp birleştirilerek düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 sınıflı bir erozivite indeksi oluşturulmuştur (Tablo 34, Şekil 66).

Tablo 34: Aşındırıcı Güç İndisi sınıflaması.

Aşındırıcı Güç İndisi değeri	Sınıf	Tanım
<4	1	Düşük
4-8	2	Orta
>8	3	Yüksek

Kaynak: Cebeci vd., 2013

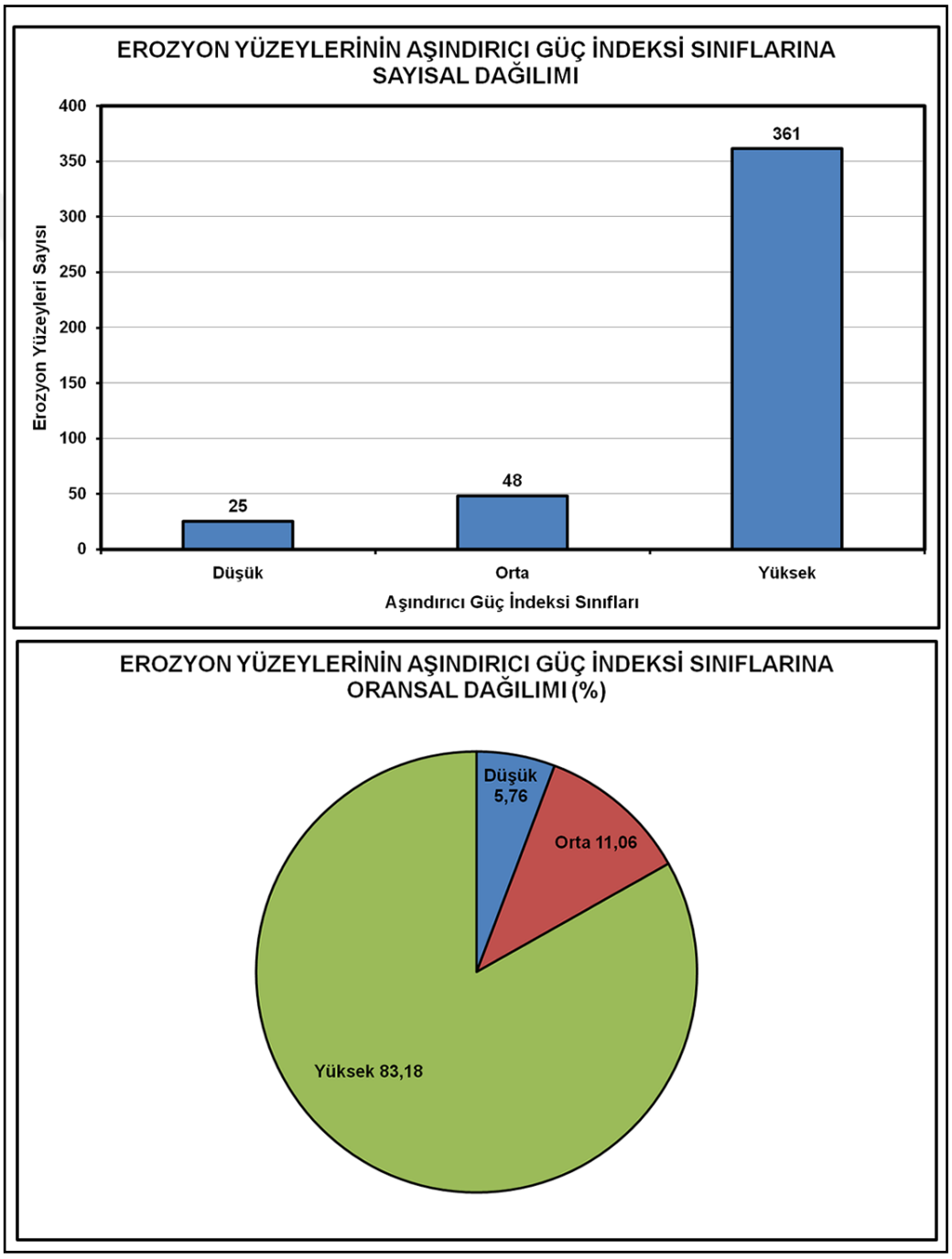
Şekil 66: Araştırma alanında iklimin aşındırabilirliği (erozivitesi) dağılımı.



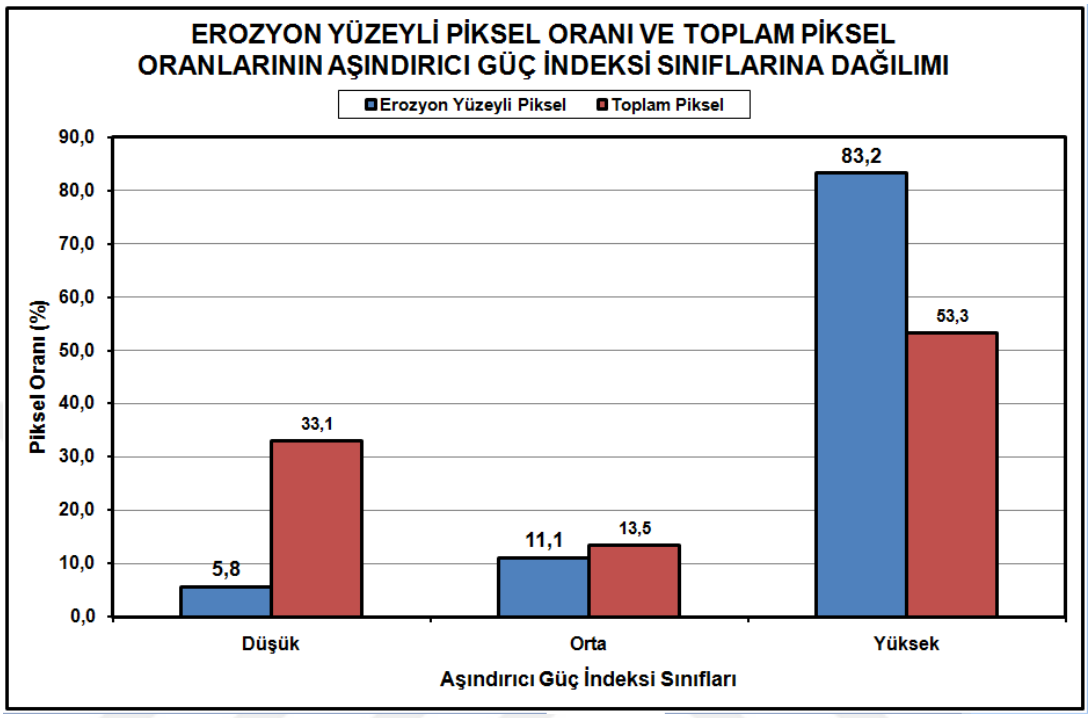
Sonuç olarak, elde edilen aşındırıcı güç haritası arazide kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri ile çakıştırılmış ve erozyon yüzeylerinin % 83.2'si gibi çok büyük bir kısmının aşındırıcı güç indisinin yüksek olduğu yerlere tekabül ettiği tespit edilmiştir. Onu % 11.1 ile aşındırıcı güç indisinin orta olduğu sınıf takip etmektedir. Aşıdırıcı güç indisinin düşük olduğu sınıf ise araştırma alanını toplamının % 33.1'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin sadece % 5.8 gibi diğerlerine göre önemsiz bir kısmı bu sınıfa tekabül etmiştir (Şekil 67-68). Buna göre araştırma alanında erozyonun daha çok aşındırıcı güç indisinin yüksek olduğu yerlerde

görüldüğü sonucuna varılmıştır. Ayrıca sınıflar arasındaki bu dengesiz dağılım, diğer bir deyişle erozyon yüzeylerinin çok büyük bir kısmının aşındırıcı güç indisinin yüksek olduğu yerlerde toplanması iklimin aşındırıcı gücü ile erozyon duyarlılığı arasındaki kuvvetli ilişkiyi de ortaya koymaktadır.

Şekil 67: Erozyon yüzeyleri ile aşındırıcı güç indeksi parametresi arasındaki ilişkiler.



Şekil 68: Erozyon yüzeyli piksel sayısı ile toplam piksel oranlarının aşındırıcı güç indeksi sınıflarına dağılımı.



2.1.6. Erozyon Yüzeyleri Envanteri Hazırlama

Literatürde erozyonun şiddetli olduğunu gösteren erozyon yüzeylerini kullanarak arazi tabanlı erozyon değerlendirmesi yapan pek çok araştırma bulunmaktadır (De Bie, 2005; Vigiak vd., 2005; Herweg, 1996; Hudson, 1995; Nasri vd., 2008; Clark, 1980; Stocking ve Murnaghan, 2001). Araştırma alanında gelişen erozyon yüzeylerinin erozyon duyarlılık analizinde envanter verisi olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla araştırma alanındaki erozyon yüzeyleri ayrıntılı arazi gözlemleri ve uydu görüntüsü yardımıyla haritalanmıştır. Envanter haritalaması yapılırken Clark (1980) tarafından önerilen erozyon yüzeyleri sınıflaması kullanılmıştır. Clark (1980), arazide erozyonu değerlendirmek için farklı erozyon yüzeyleri tanımlamıştır. Buna göre arazide erozyonun kanıtı olarak gösterilen özellikler şunlardır: toprak hareketi, yüzey döküntüsünün yer değiştirmesi, köklerin açığa çıkmasının ölçüsü, anakayanın açığa çıkmasının ölçüsü, yüzeysel akış şekillerinin oluşumu, rill erozyonu oluşumu, gully erozyonu oluşumu, heyelanlar ya da kütle hareketleri oluşumudur. Bu doğrultuda araştırma alanında 434 tane lokasyonda erozyon yüzeyleri tespit edilmiştir (Foto 3-4-5-6, Şekil 69). Daha sonra

bu erozyon yüzeylerinin koordinat bilgileri ile erozyon duyarlılık analizinde kullanılacak olan parametrelerin hangi sınıflarına tekabül ettikleri belirlenerek kaydedilmiştir. Araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin erozyon duyarlılık analizinde kullanılacak parametre sınıflarına sayısal ve oransal dağılımı Tablo 35'de verilmiştir.

Şekil 69: Araştırma alanınnda tespit edilen erozyon yüzeylerinin sayısal dağılımı.

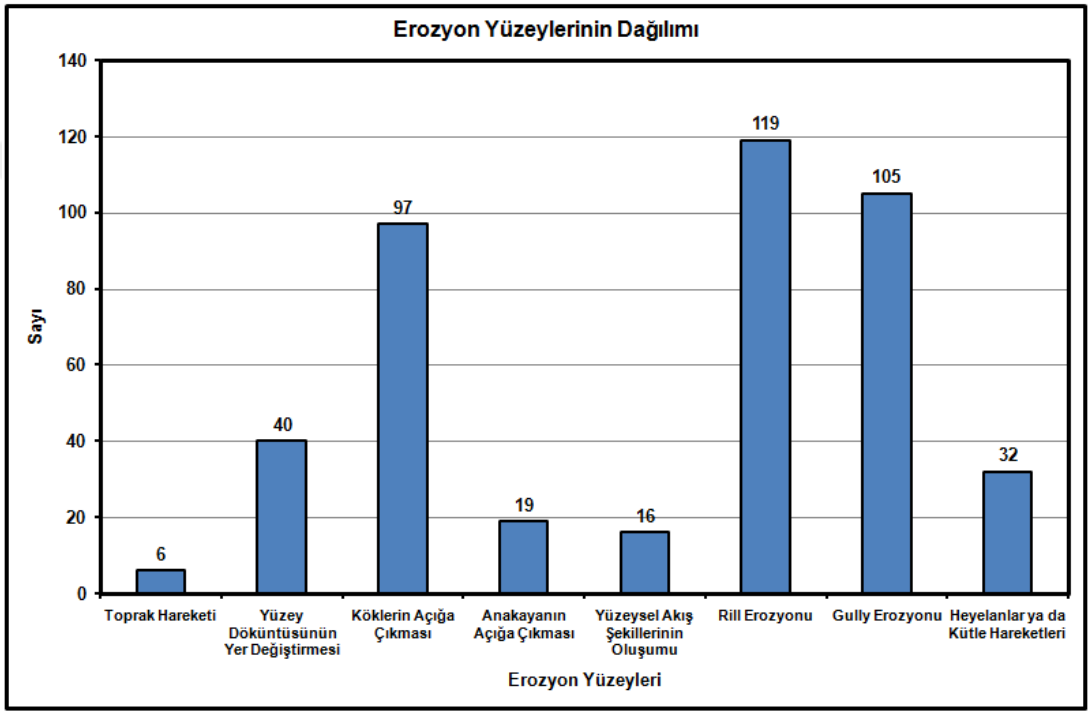


Foto 3: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış erozyonla açığa çıkmış ağaç köklerine örnekler.

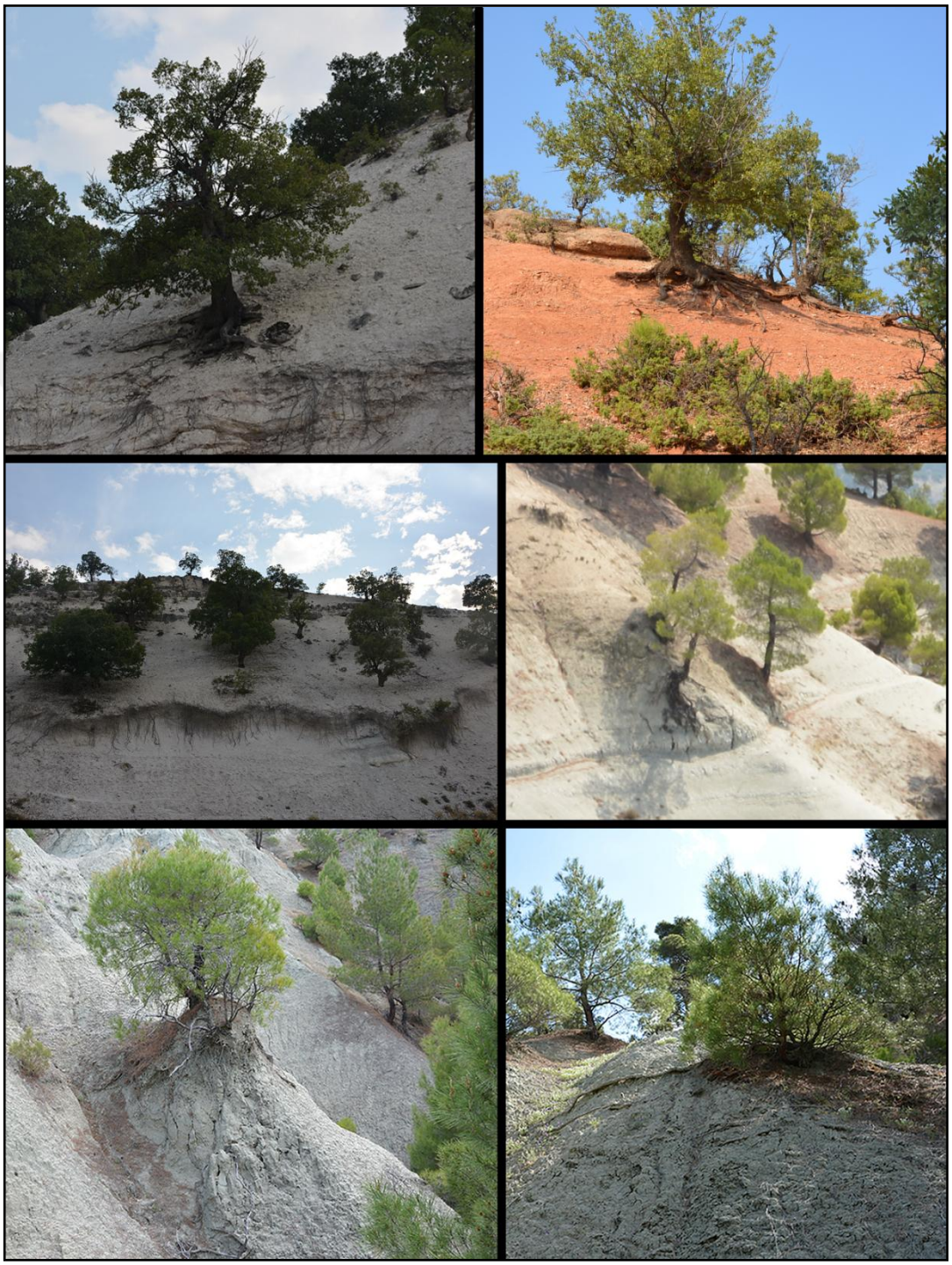


Foto 4: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış rill ve yüzeysel akış şekillerine örnekler.



Foto 5: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış kütle hareketlerine örnekler.



Foto 6: Araştırma alanında "erozyon yüzeyi" olarak kayıt altına alınmış gullylere örnekler.



Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin her biri ile arazide kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri çakıştırılmış, her bir parametrenin alt sınıfları ile erozyon yüzeyleri arasındaki mekansal ve istatistiksel ilişkiler ortaya konulmuştur. Bu ilişkiler aynı zamanda parametrelerin açıklandığı bölümde grafik olarak da sunulmuştur.

Tablo 35: Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin bu parametre sınıflarına dağılımı.

Parametreler	Alt Parametreler	Erozyon Yüzeyi Sayısı	Oranı (%)
Litoloji	Eşme Formasyonu: Gnays, şist	25	5.8
	Kızılcasöğüt Formasyonu: Dolomit	0	0.0
	Vezirler Melanjı: Melanj	0	0.0
	Kürtköy Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	0	0.0
	Yeniköy For.: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker	0	0.0
	Dikendere Volkanitleri: Riyolit, riyodasit, tüf	3	0.7
	Ulubey Formasyonu: Gölsel kalker	87	20.1
	Karaboldere Volkanitleri: Riyolit, trakiandezit, andezit, tüf, aglomera	16	3.7
	Beydağı Volkanitleri: Andezitik Tüf	44	10.1
	Beydağı Volkanitleri: Andezit	33	7.6
	Ahmetler For. (Gedikler Üyesi): Kiltaşı, silttaşı, tüfit	41	9.5
	Ahmetler For. (Balçıklıdere Üy.): Konglomera, tüfit, kiltaşı, marn, kalker	168	38.7
	Asartepe Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	12	2.8
	Elekçitepe Volkanitleri: Bazalt	5	1.2
	Alüvyon	0	0.0
Ayrışma Derecesi	Çok ayrışmış	77	17.7
	Orta derecede ayrışmış	268	61.8
	Az ayrışmış	89	20.5
Eğim (%)	0-1	0	0.0
	1-3	2	0.5
	3-5	4	0.9
	5-10	10	2.3
	10-15	24	5.5
	15-25	52	12.0
	25-33	65	15.0
	33-50	149	34.3
	<50	128	29.5
Bakı	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı	50	11.5
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	148	34.1
	Doğu	85	19.6
	Batı	151	34.8
Yamaç Şekli	İçbükey	33	7.6
	Dışbükey	266	61.3
	Düz	135	31.1
Topografik Nemlilik İndeksi	Düşük	369	85.0
	Orta	61	14.1
	Yüksek	4	0.9
Bitki Örtüsü	Diğer (Tarım alanı, kayalık, boş)	326	75.1
	Çalı Formasyonu	24	5.5
	Ot Formasyonu	62	14.3
	Orman Formasyonu	22	5.1
Arazi Örtüsü	Tarım alanı	329	75.8
	Otlak, çayır, bozkır	62	14.3
	Bitki örtüsü	36	8.3
	Tarım alanı-Otlak	1	0.2
	Yerleşim alanı	1	0.2
	Kayalık, taşlık	5	1.2
	Su	0	0.0
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	235	54.1
	Orta	93	21.4
	Yüksek	106	24.4
Akarsu Güç İndeksi	Düşük	64	14
	Orta	354	81.6
	Yüksek	16	3.7
Aşındırıcı Güç (Erozivite) İndeksi	Düşük	25	5.8
	Orta	48	11.1
	Yüksek	361	83.2
Drenaj Hatlarına Uzaklık	Yakın	174	40.1
	Orta	204	47.0
	Uzak	56	12.9

Araştırma alanında tespit edilen 434 tane erozyon yüzeyinin erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılan parametrelerin sınıflarına dağılımı ile ilgili standart sapma ve varyansları hesaplanarak Tablo 36'da sunulmuştur. Standart sapmanın düşük olması erozyon yüzeylerinin ilgili parametrenin sınıflarına nispeten daha homojen dağıldığı, dolayısıyla o parametrenin erozyon duyarlılığı konusunda diğerlerine göre öneminin düşük olduğunu gösterir. Standart sapmanın yüksek olması ise tam tersine erozyon yüzeylerinin söz konusu parametrenin sınıflarına homojen dağılmadığını, özellikle belli sınıflarda toplandıklarını, dolayısıyla o parametrenin erozyon duyarlılığı konusunda diğerlerine göre daha önemli olduğuna işaret eder. Örneğin standart sapma değeri en yüksek çıkan parametre Topografik Nemlilik İndeksidir (TNI) (Tablo 36). Tablo 35'ten anlaşılacağı üzere erozyon yüzeylerinin 369 tanesi yani % 85 gibi büyük bir kısmı TNI'nın düşük sınıfına tekabül etmiştir. %14.1'i orta sınıfına tekabül ederken, yüksek sınıfına tekabül eden erozyon yüzeyi oranı % 1'i bile bulamamıştır. Erozyon yüzeylerinin TNI'nın düşük sınıfında bu derece yoğun olması bu parametrenin araştırma alanının erozyon duyarlılığında diğer parametrelere nispeten daha önemli olduğuna işaret etmektedir. Eğer TNI'nın üç sınıfında da hemen hemen benzer miktarlarda erozyon yüzeyleri olsaydı, bu araştırma alanında erozyon yüzeylerinin TNI'nın bütün sınıflarında görülebileceği dolayısıyla erozyon duyarlılığı konusunda çok da önemli bir parametre olmadığı şeklinde yorumlanabilirdi.

Tablo 36: Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin standart sapma ve varyans değerleri.

		Sayı		%	
Parametre	**Sınıf Sayısı**	**Standart Sapma**	**Varyans**	**Standart Sapma**	**Varyans**
Bakı	4	49.47	2447.00	11.40	130.09
Litoloji	15	44.56	1985.72	10.27	105.44
Ayrışma Derecesi	3	106.98	11444.33	24.69	609.72
Drenaj Hatlarına Uzaklık	3	78.24	6121.33	18.03	325.04
Aşındırıcı Güç İndeksi	3	187.70	35232.33	43.24	1869.54
Akarsu Güç İndeksi	3	182.87	33441.33	42.16	1777.50
Drenaj Yoğunluğu	3	78.50	6162.33	18.08	326.73
Arazi Kulanımı	7	120.07	14416.67	27.66	765.33
Bitki Formasyonu	4	147.26	21685.67	33.92	1150.90
Topografik Nemlilik İndeksi	3	196.36	38556.33	45.23	2045.64
Profil Yamaç Eğriselliği	3	116.80	13642.33	26.92	724.66
Eğim	9	56.22	3160.19	12.95	167.65

2.2. Frekans Oranı Yöntemi İle Erozyon Duyarlılık Analizi

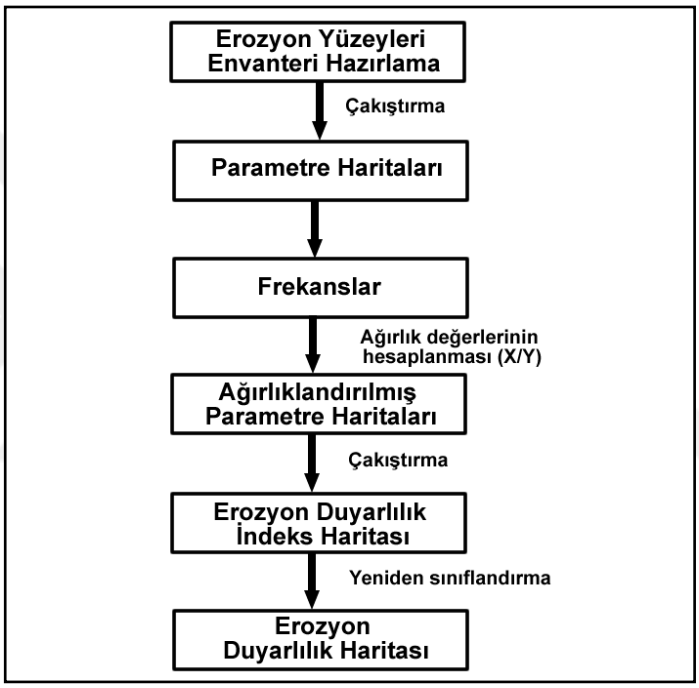
Doğal olaylarla ile ilgili duyarlılık çalışmalarında, doğal olayları tahmin etmek için çoğunlukla kabul edilen varsayım şudur; "Güncel veya gelecekteki doğal olaylar, geçmişte meydana gelen doğal olaylarla ilişkili aynı faktörler nedeniyle oluşacaktır." (Chung ve Fabbri, 1996; Lee vd., 2004; Akgün, 2007; Akgün ve Türk, 2010; Yılmaz, 2009; Jadda vd., 2009). Bu varsayımdan yola çıkarak, geçmiş doğal olay konumları ile doğal olayı etkileyen her bir etken arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koymak için frekans oranı yöntemi kullanılmaktadır (Lee ve Min, 2001). Tamamen istatistiksel bir yöntem olan frekans oranı parametrelerin ağırlıklandırılması sırasında kullanıcıların tercihlerinden kaynaklanabilecek subjektifliği engellmektedir (Avcı, 2016). Erozyon olayı ile erozyonu etkileyen coğrafi parametreler arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koyup, objektif bir değerlendirme yapabilmek için bu tez kapsamında frekans oranı yöntemi kullanılmıştır.

Literatürde doğal afetlerle ilgili duyarlılık değerlendirmesinde oldukça sık tercih edilen bir yöntem olan frekans oranı, geçmişte meydana gelmiş bir doğal olaya etki eden faktörlerden yola çıkarak bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanır (Bonham Carter, 1994; Dai ve Lee, 2002). Bu araştırma kapsamında ele alınan doğal olay erozyon olduğu için arazide şiddetli erozyonun kanıtı olarak kabul edilen, Bölüm 2.1'de ayrıntılı olarak anlatılan erozyon yüzeyleri ile erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ilişkilendirilmiştir. Frekans oranı sayesinde arştırma alanında hem erozyonun şiddetli olduğu alanlar hem de kullanılan parametrelerin araştırma alanında kapladığı alanların büyüklüğü hesaba katılmıştır.

Frekans oranı yönteminde izlenen işlem adımlarına ilişkin bir iş akış şeması Şekil 70'de verilmiştir. Frekans oranı hesabı için "FO=X/Y" formülü uygulanmıştır. Burada X, erozyonu etkileyen bir parametrenin her bir alt sınıfı içindeki erozyon yüzeyi varlığının yüzdesi, Y ise erozyonu etkileyen bir parametrenin her bir alt sınıfının o parametre içerisindeki yüzdesidir. Frekans oranı hesap tablosunda X, (A/B)*100 ve Y ise (C/D)*100 olarak hesaplanmıştır (Tablo 37). Bu bağıntıdaki B, araştırma alanındaki envanter verisi olarak kayıt altına alınan toplam erozyon yüzeyli

piksel sayısını, D ise araştırma alanındaki toplam piksel sayısını ifade etmektedir (Erener ve Lacasse, 2007). Hesaplanan frekans oranı değeri 1'den büyük olursa, erozyon ve erozyona neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek; tersine 1'den ne kadar düşük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır. Diğer bir deyişle frekans oranı değeri 1'den büyük olanlar yüksek korelasyonu, 1'den düşük olanlar düşük korelasyonu ifade etmektedir (Akgün, 2007).

Şekil 70: Frekans oranı yönteminde izlenen iş akış şeması.



Frekans oranı yöntemi ile erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesinde, erozyonu etkileyen her bir faktörün alt kategorileri için hesaplanan frekans oranları dikkate alınmaktadır (Erener ve Düzgün, 2007; Erener ve Lacasse, 2007; Reis, vd., 2009). Bu sebeple her bir parametre için hesaplanan frekans oranı ArcGIS 10.2'de reclass işlemi ile ilgili katmana atanarak puanlandırılmış parametre haritaları elde edilmiştir. Daha sonra Raster Calculator ile puanlandırılmış parametre haritaları toplanarak bir frekans oranı indeks (erozyon duyarlılık indeksi) haritası elde edilmiştir. Araştırma alanında bu indeks değeri 14-52 arasında değişmektedir. Toplam frekans oranı değerini gösteren bu harita, erozyon duyarlılık durumunun yorumlanabilmesi için eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılmış ve sonuçta

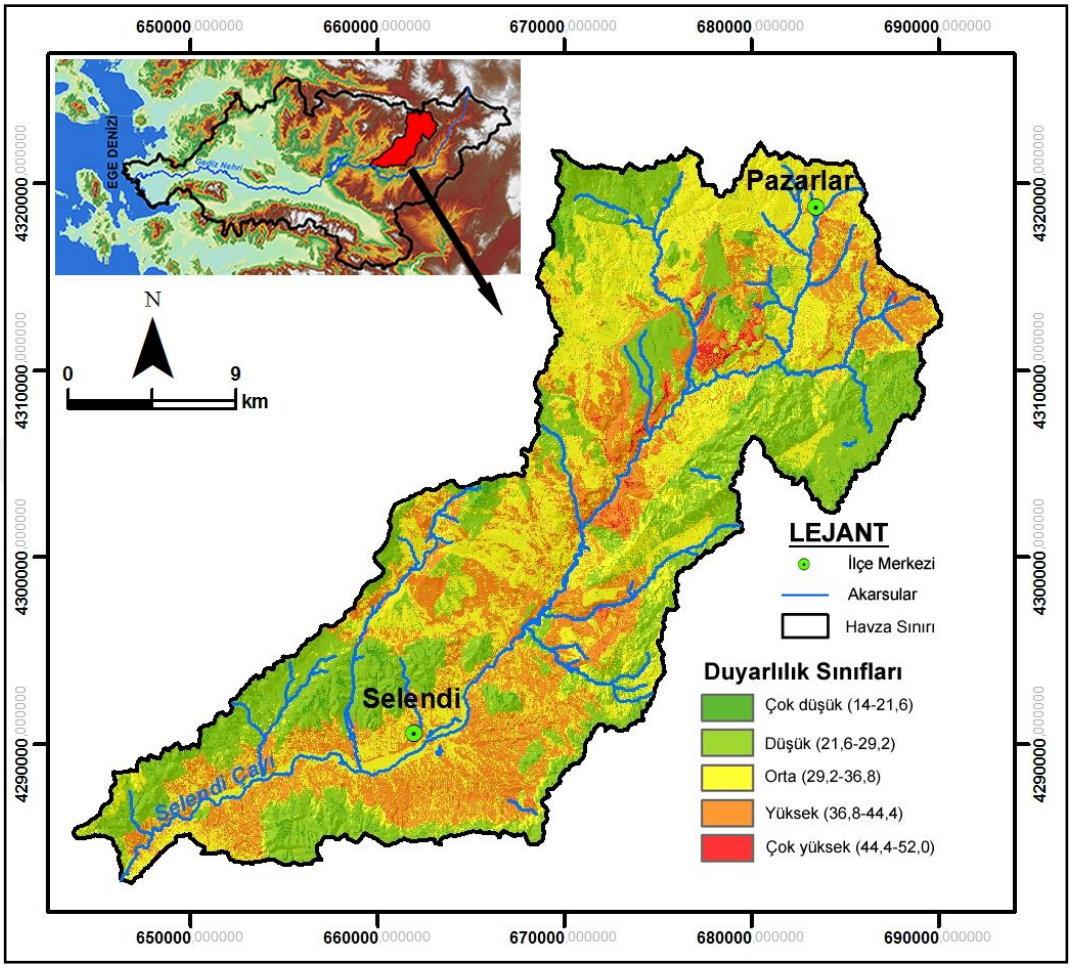
"çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek" olmak üzere 5 erozyon duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 71).

LEAM, ICONA, RUSLE, PESERA, CORINE gibi hazır erozyon modellerinde uygulayıcıların analizde kullanacakları parametremetreler önceden belirlenmiştir. Bunları kullanarak yapılan farklı çalışmalarda yöntem aynı standartlarda uygulanır. Hazır erozyon modellerinde parametrelerin analizi sonucunda elde edilen sonuç değerleri sınıflandırmada kullanılan standart skalalar da vardır (Çilek ve Berberoğlu, 2013; Çilek vd., 2014; Pektezel, 2015; Erdem, 2017; Tağıl, 2007; Başayiğit vd., 2016; Bayramin, 2003; Bayramin vd., 2003; Bayramin vd., 2006; Özden ve Özden, 1997; Dindaroğlu ve Canpolat, 2013; Kanar ve Dengiz, 2015, Cürebal ve Ekinci, 2006). Fakat frekans oranı ve çok ölçütlü karar analizi gibi parametre sayılarının, parametrelerin alt sınıflarının, parametrelerin ağırlıklarının kullanıcılar tarafından özgürce belirlendiği bağımsız erozyon modellerinde ise analiz sonucunda elde edilen değerleri sınıflandırmada kullanılan hazır bir skala yoktur. Nitekim bağımsız erozyon modelleriyle yapılan analizler sonucunda çıkan sayısal değerler kullanılan parametre sayısına, parametrelere atanan ağırlık değerlerine göre de doğal olarak farklılıklar arz etmektedir. Analiz sonucunda elde edilen sayısal değerler sınıflandırılarak genellikle 5 sınıflı (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) niteliksel erozyon duyarlılık analizi haritaları elde edilmektedir. Dolayısıyla aslında sonuç haritadaki sayısal değerler sayısal ifade olarak kullanılmayıp, sınıflandırılarak çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde niteliksel ifadeler şeklinde kullanılmaktadır (Avcı, 2016; Akgün ve Türk, 2010; Akgün, 2007; Yüksel ve Avcı, 2015; Sunkar ve Avcı, 2015; Zhang vd., 2012; De Lollo ve Sena, 2013). Bu çalışmada da farklı parametre sayısı ve farklı parametre ağırlık değerlerinin analiziyle elde edilen sonuç haritalar sınıflandırılırken eşit aralık yöntemiyle sonuç değerler beş sınıflı olarak sınıflandırılmış ve çok, düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere niteliksel olarak ifade edilmiştir.

Tablo 37: Erozyon duyarlılık analizinde kulanılacak parametrelerin frekans oranı değerleri.

B=434	D=7161305	Erozyon Yüzeyli Piksel Sayısı		Alandaki Piksel Sayısı		Frekans Oranı (X/Y)
Parametreler	**Parametrelerin Alt Sınıfları**	**A**	**X (%)**	**C**	**Y (%)**	
Litoloji	Eşme Formasyonu: Gnays, şist	25	5.76	880981	12.41	0.47
	Kızılcasöğüt Formasyonu: Dolomit	0	0.00	1805	0.03	0.00
	Vezirler Melanjı: Melanj	0	0.00	109880	1.55	0.00
	Kürtköy Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	0	0.00	27603	0.39	0.00
	Yeniköy For.: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker	0	0.00	1395733	19.66	0.00
	Dikendere Volkanitleri: Riyolit, riyodasit, tüf	3	0.69	65958	0.93	0.75
	Ulubey Formasyonu: Gölsel kalker	87	20.00	803930	11.33	1.77
	Karaboldere V.:Riyolit, trakiandezit, andezit, tüf, aglomera	16	3.69	414815	5.84	0.63
	Beydağı Volkanitleri: Andezitik Tüf	44	10.14	857851	12.09	0.84
	Beydağı Volkanitleri: Andezit	33	7.60	536772	7.56	1.00
	Ahmetler F. (Gedikler Üyesi): Kiltaşı, silttaşı, tüfit	41	9.45	304971	4.30	2.21
	Ahmetler F.(Balçıklıdere Ü.):Konglomera, tüfit, kiltaşı, marn, kalker	168	38.71	1240592	17.48	2.21
	Asartepe Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	12	2.76	96922	1.37	2.05
	Elekçitepe Volkanitleri: Bazalt	5	1.15	84514	1.19	1.00
	Alüvyon	0	0.00	275309	3.88	0.00
Ayrışma Derecesi	Çok ayrışmış	77	17.74	1379872	19.27	0.92
	Orta derecede ayrışmış	268	61.75	3913819	54.65	1.13
	Az ayrışmış	89	20.51	1867611	26.08	0.79
Eğim (%)	0-1	0	0.00	34372	0.48	0.00
	1-3	2	0.46	226998	3.17	0.16
	3-5	4	0.92	334553	4.67	0.19
	5-10	10	2.30	984424	13.75	0.17
	10-15	24	5.53	997960	13.94	0.39
	15-25	52	11.98	1695456	23.68	0.51
	25-33	65	14.98	1063003	14.84	1.01
	33-50	149	34.33	1365182	19.06	1.80
	<50	128	29.49	459357	6.41	4.60
Bakı	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı	50	11.52	1470923	20.54	0.56
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	148	34.10	1938184	27.06	1.26
	Doğu	85	19.59	1855978	25.92	0.76
	Batı	151	34.79	1896220	26.48	1.31
Yamaç Şekli	İçbükey	33	7.60	3525924	49.24	0.15
	Dışbükey	266	61.29	2578843	36.01	1.70
	Düz	135	31.10	1056536	14.75	2.11
Topografik Nemlilik İndeksi	Düşük	4	85.02	3906599	54.55	1.56
	Orta	61	14.06	2784207	38.88	0.36
	Yüksek	369	0.92	470498	6.57	0.14
Bitki Örtüsü	Diğer (Tarım alanı, kayalık, boş)	326	75.12	2768837	50.8	1.48
	Çalı Formasyonu	24	5.53	1908480	20.2	0.27
	Ot Formasyonu	62	14.29	664143	9.3	1.54
	Orman Formasyonu	22	5.07	1818835	19.7	0.26
Arazi Örtüsü	Tarım alanı	329	75.81	2875903	40.16	1.89
	Otlak, çayır, bozkır	62	14.29	664143	9.28	1.54
	Bitki örtüsü	36	8.29	3085518	43.09	0.19
	Tarım alanı-Otlak	1	0.23	386573	5.40	0.04
	Yerleşim alanı	1	0.23	101150	1.41	0.14
	Kayalık, taşlık	5	1.15	14164	0.20	6.07
	Su	0	0.00	32844	0.46	0.00
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	235	54.15	1540604	21.51	2.51
	Orta	93	21.43	3389804	47.34	0.45
	Yüksek	106	24.42	2230896	31.15	0.78
Akarsu Güç İndeksi	Düşük	64	14.75	4474588	62.48	0.22
	Orta	354	81.57	2346426	32.77	2.49
	Yüksek	16	3.69	340291	4.75	0.78
Aşındırıcı Güç (Erozivite) İndeksi	Düşük	25	5.76	2373074	33.14	0.18
	Orta	48	11.06	968922	13.53	0.82
	Yüksek	361	83.18	3819309	53.33	1.56
Drenaj Hatlarına Uzaklık	Yakın	174	40.09	3352867	46.82	0.86
	Orta	204	47.00	2621337	36.60	1.28
	Uzak	56	12.90	1187101	16.58	0.78

Şekil 71: Frekans oranı yöntemi ile üretilen erozyon duyarlılık analizi.



2.3. Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi İle Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi

Doğal olaylarla ilgili duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan yaklaşımlardan biri de çok ölçütlü karar analizidir. Çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA), çevreyle ilgili karmaşık problemlerin analizi için başarıyla uygulanan sistematik bir metodoloji sunar. Bu metodoloji, yapısı gereği karmaşık olan ve çok disiplinli veritabanları üzerine kurulan çevresel sorunları daha anlaşılabilir daha küçük parçalara bölmeyi, her bir parçayı kendi içinde analiz etmeyi ve bu parçaları anlamlı bir çözüm üretebilmek için mantıksal bir çerçevede bir araya getirmeyi kapsamaktadır (Malczewski, 1999; Huang vd., 2011).

Çok ölçütlü karar analizi yönteminin en önemli aşaması kriter ağırlıklarını belirlemektir. Çünkü analiz sonucunda elde edilecek sonuç harita bu ağırlıklara göre

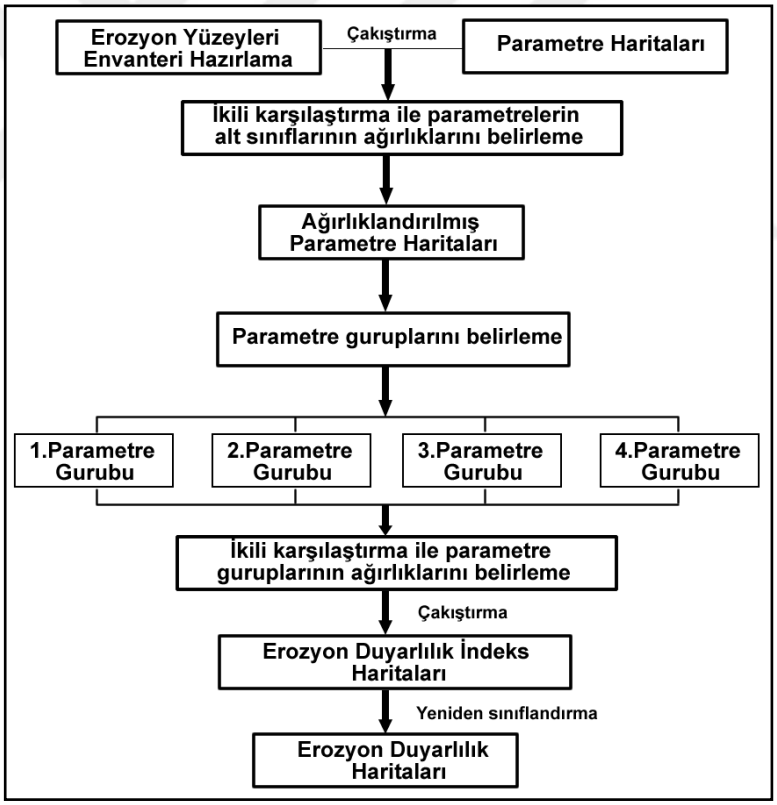
oluşturulmaktadır. Parametre ağırlıklarında yapılan ufak değişiklikler bile sonucun farklılaşmasına yol açmaktadır. Ağırlık değeri, analize girecek bir parametreye atanan ve diğer parametrelere göre göreceli önemi ifade eden bir değerdir (Malczewski, 1999). Derecelendirme (ranking), puanlama (rating), ikili karşılaştırma (pair-wise comparison) ve ödün verme analizi (trade of analysis) olmak üzere dört farklı ağırlık belirleme yöntemi bulunmaktadır (Akgün, 2007). Bu çalışma kapsamında parametrelerin ağırlıklarını belirlemek için ikili karşılaştırma yöntemi (analitik hiyerarşi yöntemi) kullanılmıştır. Bu yöntemi tercih sebebi literatürdeki eğilimlerin yanı sıra parametreleri ağırlıklandırma işleminde erozyon yüzeyleri ile bu yöntemin entegrasyonun daha rahat sağlanabilmesidir.

Literatürde erozyon duyarlılık analizi çalışmalarında özellikle son yıllarda en çok başvurulan yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi süreci (AHS) parametreleri ağırlıklandırmada kullanılmıştır. Fakat literatürdeki çalışmalardan farklı olarak parametrelerin ve parametrelerin ağırlıklandırılması işlemi detaylı arazi çalışmalarına dayandırılmıştır. Bunun için sahada erozyonun kanıtı olarak sunulan mevcut erozyon yüzeylerinden yararlanılmıştır. Erozyon duyarlılık analizlerinde parametrelerin ağırlıklandırılmasını daha objektif bir şekilde yapabilmek için erozyon yüzeyleri detaylı arazi çalışmaları ve uydu görüntüleri yardımıyla tespit edilerek, bu erozyon yüzeylerinin araştırma alanında parametrelerin hangi sınıflarına rastladığı ile ilgili istatistiki sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Araştırma alanında erozyonun kanıtı olarak kabul edilen ve daha çok havzanın güneyin yoğunlaşan erozyon yüzeyleri göz önünde bulundurularak, bunların erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin hangi sınıflarında toplandığı istatistiksel olarak ortaya konulmuş ve parametrelerin ağırlıklandırılması buna dayandırılmıştır.

Çok ölçütlü karar analizinin uygulanması ile ilgili bir akış şeması Şekil 72'de verilmiştir. Yöntemin ilk aşaması, erozyon duyarlılık değerlendirmesinde kullanılacak parametre haritalarını hazırlamaktır. Yöntemin ikinci aşaması olan her bir parametreye ve parametrelerin alt sınıflarına ait ağırlık değerlerinin bulunmasında analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Araştırmada parametre ağırlıklarının ve tutarlılık oranlarının hesaplanması sürecindeki yoğun hesaplamaları kolaylaştırmak için internetten ücretsiz olarak temin edilebilen Analytic Hierarchy Template

uygulaması kullanılmıştır. 1'den 9'a kadar değişen değerlere sahip bir önem ölçeği vasıtasıyla ikili karşılaştırmalar yapılmıştır (Tablo 38). Bu yöntem ile elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri ve bu matrislerden elde edilen ağırlık değerleri Tablo 39'da sunulmuştur. Yöntemin en önemli aşaması olan ikili karşılaştırmalar yapılırken, Tablo 35'de verilen erozyon yüzeylerinin oluşum sıklığı değerleri, Tablo 36'daki standart sapma ve varyans değerleri ve ayrıntılı arazi gözlemleri göz önünde bulundurulmuştur. Parametrelerin göreceli önem derecelerinin referans kaynaklardan ve uzman görüşlerinden faydalanarak belirlenmesine dayanan analitik hiyerarşi süreci ile bu şekilde 4 farklı parametre gurubu kullanılarak 4 tane erozyon duyarlılık analizi yapılmıştır.

Şekil 72: Çok ölçütlü karar analizi yönteminde izlenen iş akış şeması.



Analitik hiyerarşi süreci ile bir problemin çözümlenmesi, ikili karsılaştırmaları yapılan parametrelerin ağırlıkları ya da öncelikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ağırlık veya önceliklerin belirlenmesi için karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Bunun için matrisin her bir sütun elemanı ait olduğu sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Elde edilen matristeki

satır elemanları toplanır ve toplam değer satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylelikle öncelik veya ağırlık vektörü elde edilmiş olur (Tombuş, 2005).

Tablo 38: İkili karşılaştırmada kullanılan önem ölçeği.

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit derece önemli
2	Eşit-orta derece önemli
3	Orta derece önemli
4	Orta-yüksek derece önemli
5	Yüksek derece önemli
6	Yüksek-çok yüksek derece önemli
7	Çok yüksek derecede önemli
8	Çok yüksek-aşırı yüksek derecede önemli
9	Aşırı yüksek derecede önemli

Kaynak: Saaty, 1980

Tablo 35'de verilen herbir parametredeki erozyon yüzeylerinin oluşum sıklığı, bunlarla ilgili istatistiksel analizler ve arazi gözlemleri dikkate alınarak analitik hiyerarşi süreci uygulanmıştır. Diğer bir deyişle sadece uzman görüşüne dayalı bir önem derecelendirmesi yapılmamış parametrelerin alt sınıflarının ve kendi aralarındaki ağırlıklandırma araziden toplanan veriler ile bunların istatistiksel analizlerinin sonuçları doğrultusunda yapılmıştır.

Her bir parametreye ait ağırlıklar (öncelikler), ikili karşılaştırma matrisine bağlı olarak hesaplanır. Bu hesaplamalar için kullanılan matris oluşturulurken yapılan karşılaştırmalar, objektif olsa bile kullanıcının kararları doğrultusunda belirlendiği için tutarsızlıklar ortaya çıkabilmektedir. Bunun ölçütü olarak, Saaty (1980) tarafından asağıdaki formülle hesaplanan bir Tutarsızlık Oranı (T.O.) kullanılır ve 0.1'den (% 10'dan) büyük olmamasına dikkat edilir. Büyük çıkması durumunda ise yeniden ağırlıklandırma yapılması gerekmektedir (Tombuş, 2005).

T.O.=T.İ/R.İ

T.İ.= (λmax-n)/n-1

Burada:

T.O.: Tutarlılık oranı T.İ.: Tutarlılık indeksi

R.İ.: Rastgele indeksi göstermektedir.

λmax: ikili karar matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektördür.

Tablo 39: Çok ölçütlü karar analizinde kullanılan parametrelerin altsınıflarının yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları.

PARAMETRELER	ALT PARAMETRELER	AĞIRLIK (%)
Litoloji	Gnays, şist (Paleozoik)	2.5
	Dolomit (Jura)	1.9
	Melanj (Kretase)	1.9
	Konglomera, kumtaşı (Alt Miosen)	1.9
	Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, kalker (Orta Miosen)	1.9
	Riyolit, riyodasit, tüf (Orta Miosen)	2.9
	Gölsel kalker (Üst Miosen)	9.2
	Riyolit, trakiandezit, andezit, tüf, aglomera (Üst Miosen)	3.7
	Andezitik Tüf (Üst Miosen)	6.5
	Andezit (Üst Miosen)	4.9
	Kiltaşı, silttaşı, tüfit (Üst Miosen)	22.6
	Konglomera, tüfit, kiltaşı, marn, kalker (Üst Miosen)	22.6
	Konglomera, kumtaşı (Pliokuaterner)	13.7
	Bazalt (Kuaterner)	2.0
	Alüvyon (Kuaterner)	1.9
	Tutarlılık Oranı	**6**
Ayrışma Derecesi	Çok ayrışmış	23.2
	Orta derecede ayrışmış	66.6
	Az ayrışmış	10.2
	Tutarlılık Oranı	**2**
Eğim	0-1	2.6
	1-3	3.1
	3-5	3.8
	5-10	4.9
	10-15	6.5
	15-25	9.1
	25-33	13.4
	33-50	21.2
	<50	35.4
	Tutarlılık Oranı	5
Bakı	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı	5.4
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	30.1
	Doğu	8.3
	Batı	56.2
	Tutarlılık Oranı	**3**
Yamaç Şekli	İç Bükey	6.7
	Dış Bükey	62.1
	Düz	31.3
	Tutarlılık Oranı	**0**
Topografik Nemlilik İndeksi	Yüksek	80.9
	Orta	10.0
	Düşük	9.1
	Tutarlılık Oranı	**0**
Bitki Örtüsü	Diğer (Tarım alanı, kayalık, boş)	54.0
	Çalı Formasyonu	11.4
	Ot Formasyonu	28.4
	Orman Formasyonu	6.1
	Tutarlılık Oranı	8
Arazi Örtüsü	Tarım alanı	20.6
	Otlak, çayır, bozkır	12.4
	Bitki örtüsü	8.8
	Tarım alanı-Otlak	5.2
	Yerleşim alanı	3.8
	Kayalık, taşlık	45.8
	Su	3.5
	Tutarlılık Oranı	**8**
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	50.0
	Orta	20.8
	Yüksek	29.2
	Tutarlılık Oranı	**5**
Akarsu Güç İndeksi	Az	18.8
	Orta	73.4
	Çok	7.8
	Tutarlılık Oranı	**1**
Aşındırıcı Güç (Erozivite) İndeksi	Düşük	8.2
	Orta	12.4
	Yüksek	79.4
	Tutarlılık Oranı	**8**
Drenaj Hatlarına Uzaklık	Yakın	24.3
	Orta	69.0
	Uzak	6.7
	Tutarlılık Oranı	**7**

2.3.1. Farklı Parametre Guruplarının Oluşturulması

Analitik hiyerarşi yöntemi ile erozyon duyarlılık haritalaması için litoloji, ayrışma derecesi, eğim, bakı, yamaç şekli, topografik nemlilik indeksi, bitki örtüsü, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, akarsu güç indeksi, aşındırıcı güç indeksi ve drenaj hatlarına uzaklık olmak üzere on iki adet jeolojik, topografik, çevresel ve klimatik parametre kullanılmıştır. Bu parametreler arasında dört farklı kombinasyon oluşturulmuş ve bu kombinasyonlara göre ayrı ayrı analitik hiyerarşi yöntemi uygulanmıştır. Farklı parametre gurupları literatürdeki eğilimler, arazi gözlemleri ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin standart sapma değerleri göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Buradaki amaç, kullanılan parametrelerin birbirlerine göre oluşturulan modele katkılarının ortaya konulmasıdır. Çünkü kullanılan parametrelerin yapılan erozyon duyarlılık analizi içindeki ağırlıkları farklıdır ve gerek kullanılan parametre sayıları gerekse parametre ağırlıkları tartışılabilinir. Doğruluk değerlendirmesi ile araştırma alanı için en uygun parametre gurubu sonraki aşamada belirlenecektir.

1. parametre gurubuna Bölüm 2.1'de açıklanan bütün parametreler katılmıştır. 2. parametre gurubunda, literatürde en çok kullanılan ve araştırma alanında erozyonu en çok etkilediği düşünülen jeolojik ve topografik parametreler kullanılmıştır. 3. parametre gurubunda ise 2. guruptan farklı olarak aşındırıcı güç indeksi analize eklenmiştir. Aşındırıcı güç indeksinin bu gurup içerisinde seçilmesinin sebebi, iklimin erozif etkisinin diğer yan faktörlerle birlikte erozyon duyarlılık analizini ne derece etkilediğini irdelemektir. 4. gurupta ise araştırma alanında erozyonun temel sebebi olarak değerlendirilen litoloji, eğim, bakı ve aşındırıcı güç indeksi parametreleri kullanılarak analiz yapılmıştır (Tablo 40).

Tablo 40: Çok ölçütlü karar analizi uygulaması için guruplarda kullanılan parametreler.

	PARAMETRELER											
GURUP	**Litoloji**	**Ayrışma derecesi**	**Eğim**	**Bakı**	**Yamaç şekli**	**TNI**	**Bitki Örtüsü**	**Arazi Örtüsü**	**Drenaj Yoğunluğu**	**AGI**	**Aşındırıcı Güç İn.**	**DHU**
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X						
3	X	X	X	X	X	X					X	
4	X		X	X							X	
TNI: Topografik nemlilik indeksi, **AGI:** Akarsu güç indeksi, **DHU:** Drenaj hatlarına uzaklık												

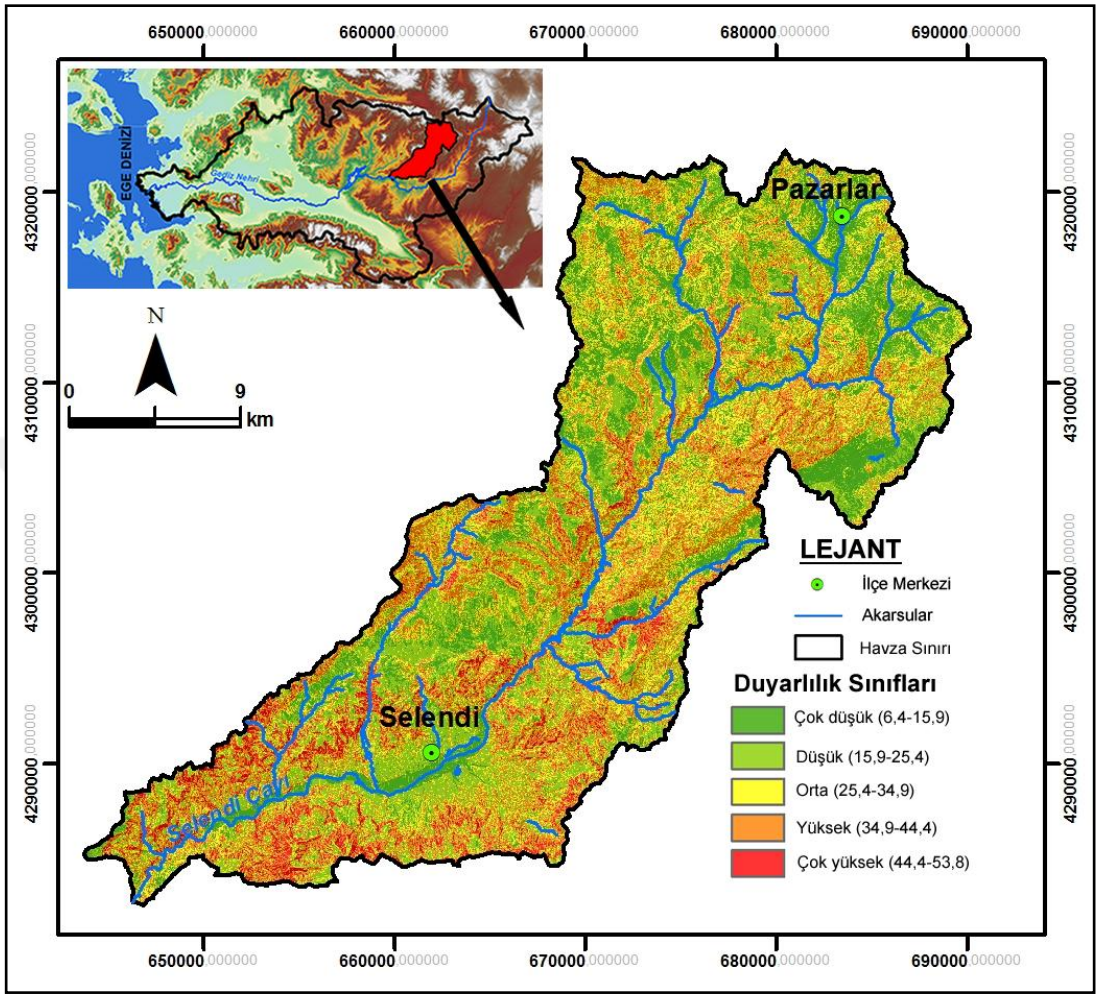
2.3.1.1. Gurup 1 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması

1.parametre gurubunda topografik nemlilik indeksi, aşındırıcı güç indeksi, akarsu güç indeksi, bitki örtüsü, arazi kullanımı, yamaç şekli, ayrışma derecesi, drenaj hatlarına uzaklık, drenaj yoğunluğu, eğim, bakı, litoloji parametreleri dikkate alınarak analitik hiyerarşi yöntemi uygulanmıştır. Yöntem kapsamında uygulanan ikili karşılaştırmalar yoluyla parametreler birbirleriyle karşılaştırılarak ağırlık değerleri (katsayılar) atanmıştır. Bunun sonucunda her bir parametre için elde edilen ağırlıklar ve tutarlılık oranı Tablo 41'de, bu değerlere bağlı olarak elde edilen harita ise Şekil 73'de verilmiştir.

Tablo 41: Erozyon duyarlılık analizinde 1. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.

	Topografik Nemlilik İ.	Aşındırıcı Güç İn.	Akarsu Güç İn.	Bitki örtüsü	Arazi kullanımı	Yamaç şekli	Ayrışma derecesi	Drenaj hat Uzaklık	Drenaj yoğunluğu	Eğim	Bakı	Litoloji	Ağırlık değeri (%)
Topografik Nemlilik İ.	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	**18.7**
Aşındırıcı Güç İn.	1	1	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	**21.0**
Akarsu Güç İn.	1	1/2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	**15.3**
Bitki örtüsü	1/2	1/2	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	**11.1**
Arazi kullanımı	1/2	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	**9.5**
Yamaç şekli	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	1	2	3	4	5	6	**6.6**
Ayrışma derecesi	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	5	**5.0**
Drenaj hat Uzaklık	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1	1	1	2	3	4	**3.7**
Drenaj yoğunluğu	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	2	3	**2.9**
Eğim	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	2	**2.4**
Bakı	1/8	1/8	1/8	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	2	**2.0**
Litoloji	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	**1.7**
Tutarlılık Oranı	% 2												

Şekil 73: Birinci parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi.



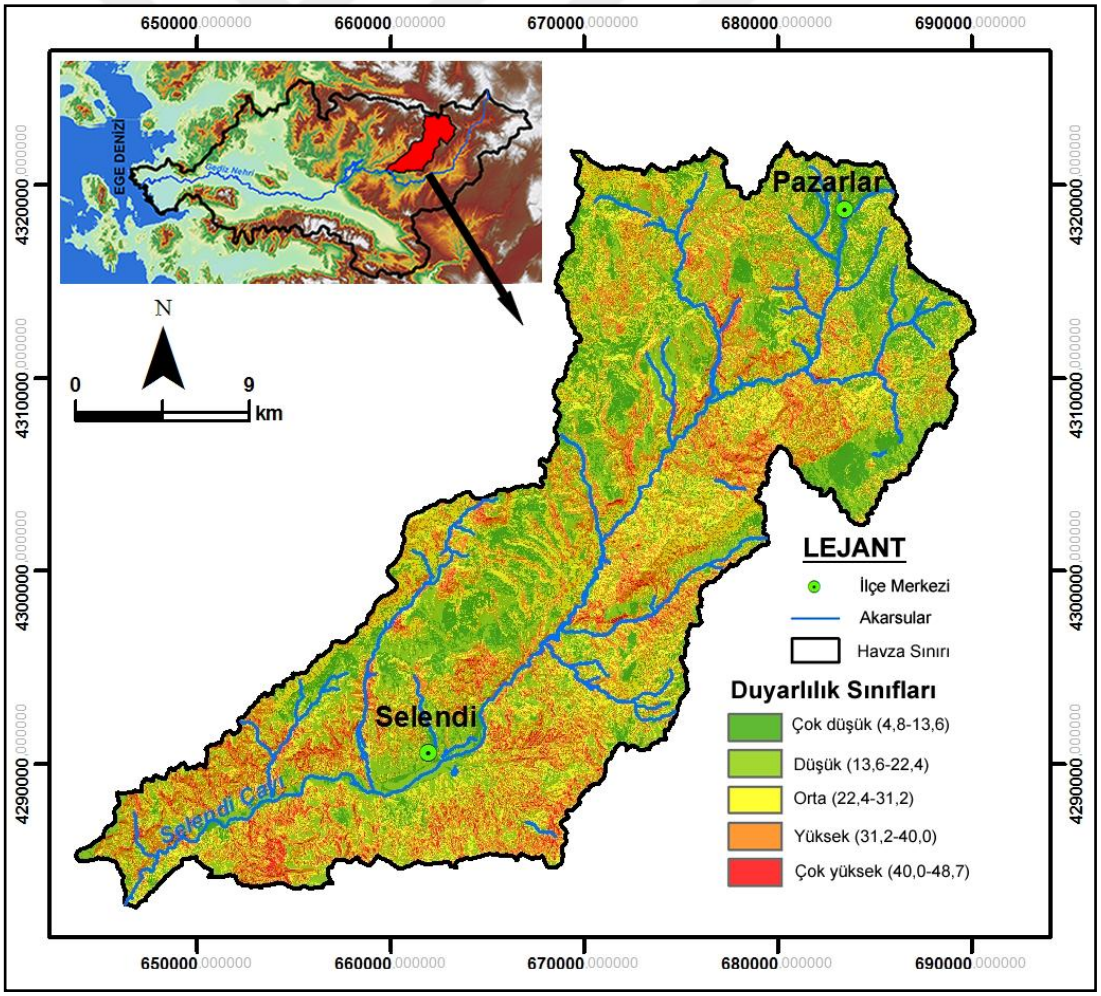
2.3.1.2. Gurup 2 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması

Çok ölçütlü karar analizi ile erozyon duyarlılık analizi için oluşturulan ikinci gurupta, literatürde en çok kullanılan ve araştırma alanında erozyonu en çok etkilediği düşünülen parametreler kullanılmıştır. Bunlar litoloji, eğim, topografik nemlilik indeksi, bakı, yamaç şekli ve ayrışma derecesi parametreleridir. Analizi katılan parametrelerin ikili karşılaştırmaları sonucu elde edilen ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı Tablo 42'de, bu ağırlıklara bağlı olarak üretilen erozyon duyarlılık analizi haritası ise Şekil 74'de verilmiştir.

Tablo 42: Erozyon duyarlılık analizinde 2. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.

	Litoloji	Eğim	Topografik Nemlilik İ.	Bakı	Yamaç şekli	Ayrışma derecesi	Ağırlık değeri (%)
Litoloji	1	1	1	2	3	2	**23.3**
Eğim	1	1	2	2	2	2	**25.2**
Topografik Nemlilik İ.	1	1/2	1	1	2	2	**17.3**
Bakı	1/2	1/2	1	1	1	2	**13.6**
Yamaç şekli	1/3	1/2	1/2	1	1	1	**10.3**
Ayrışma derecesi	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	**10.2**
Tutarlılık oranı	**% 2**						

Şekil 74: İkinci parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi.



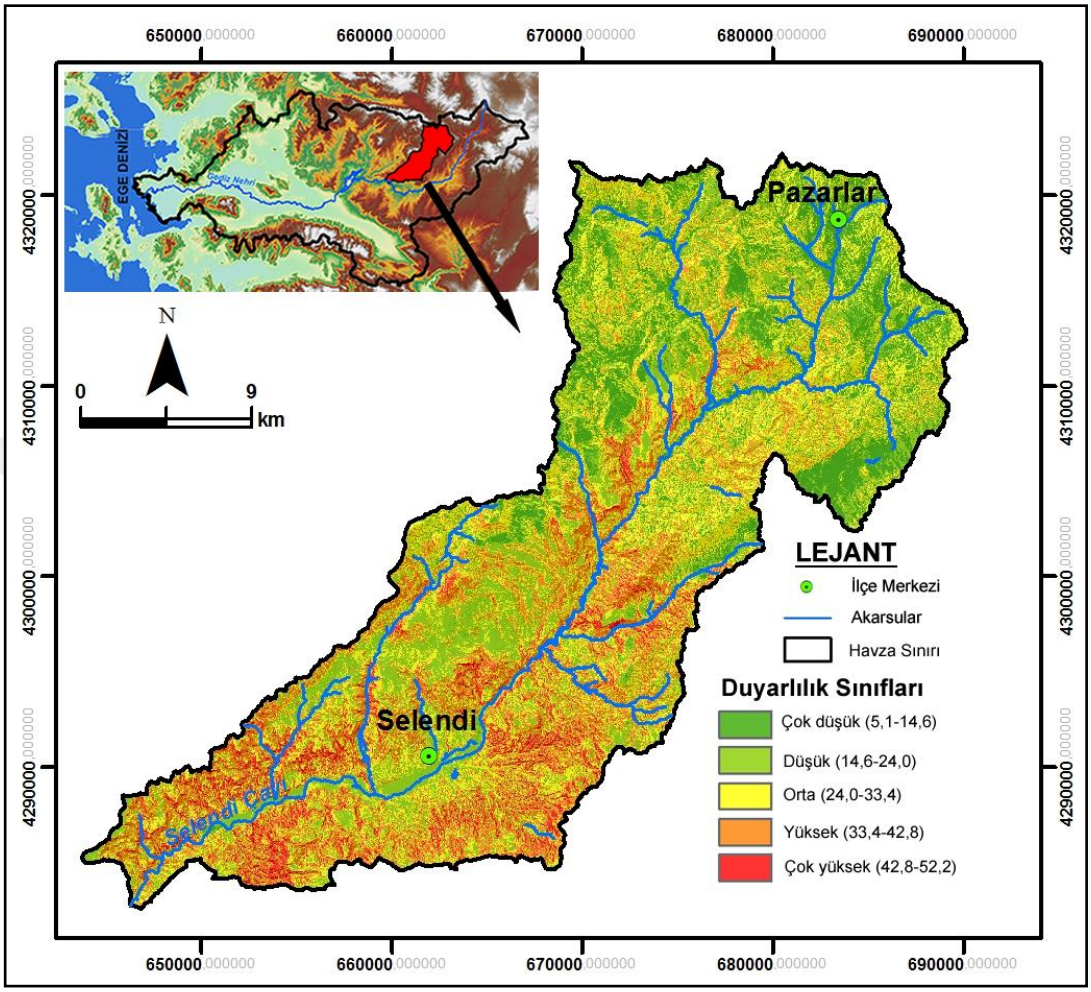
2.3.1.3. Gurup 3 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması

3. parametre gurubunda ise 2. guruptan farklı olarak, araştırma alanında erozyon duyarlılığını en çok etkilediği düşünülen parametrelere aşındırıcı güç indeksi eklenmiştir. Aşındırıcı güç indeksinin bu gurup içerisinde seçilmesinin sebebi, iklimin erozif etkisinin diğer yan faktörlerle birlikte erozyon duyarlılık analizini ne derece etkilediğini irdelemektir. Dolayısıyla litoloji, eğim, topografik nemlilik indeksi, bakı, yamaç şekli, ayrışma derecesi ve aşındırıcı güç indeksi ikili karşılaştırmalar sonucunda ağırlıklandırılmış ve elde edilen ağırlık değerleri ile erozyon duyarlılık analizi yapılmıştır (Tablo 43, Şekil 75).

Tablo 43: Erozyon duyarlılık analizinde 3. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.

	Litoloji	**Eğim**	**Topografik Nemlilik İ.**	**Bakı**	**Yamaç şekli**	**Ayrışma derecesi**	**Aşındırıcı Güç İndeksi**	**Ağırlık değeri (%)**
Litoloji	1	1	1	2	2	3	**2**	**20.4**
Eğim	1	1	2	2	2	2	**2**	**22.3**
Topografik Nemlilik İ.	1	1/2	1	1	2	2	**2**	**15.8**
Bakı	1/2	1/2	1	1	1	2	**2**	**12.6**
Yamaç şekli	1/2	1/2	1/2	1	1	1	**2**	**10.9**
Ayrışma derecesi	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1	**1/4**	**7.8**
Aşındırıcı Güç İndeksi	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	4	**1**	**10.2**
Tutarlılık oranı	**% 5**							

Şekil 75: Üçüncü parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi.



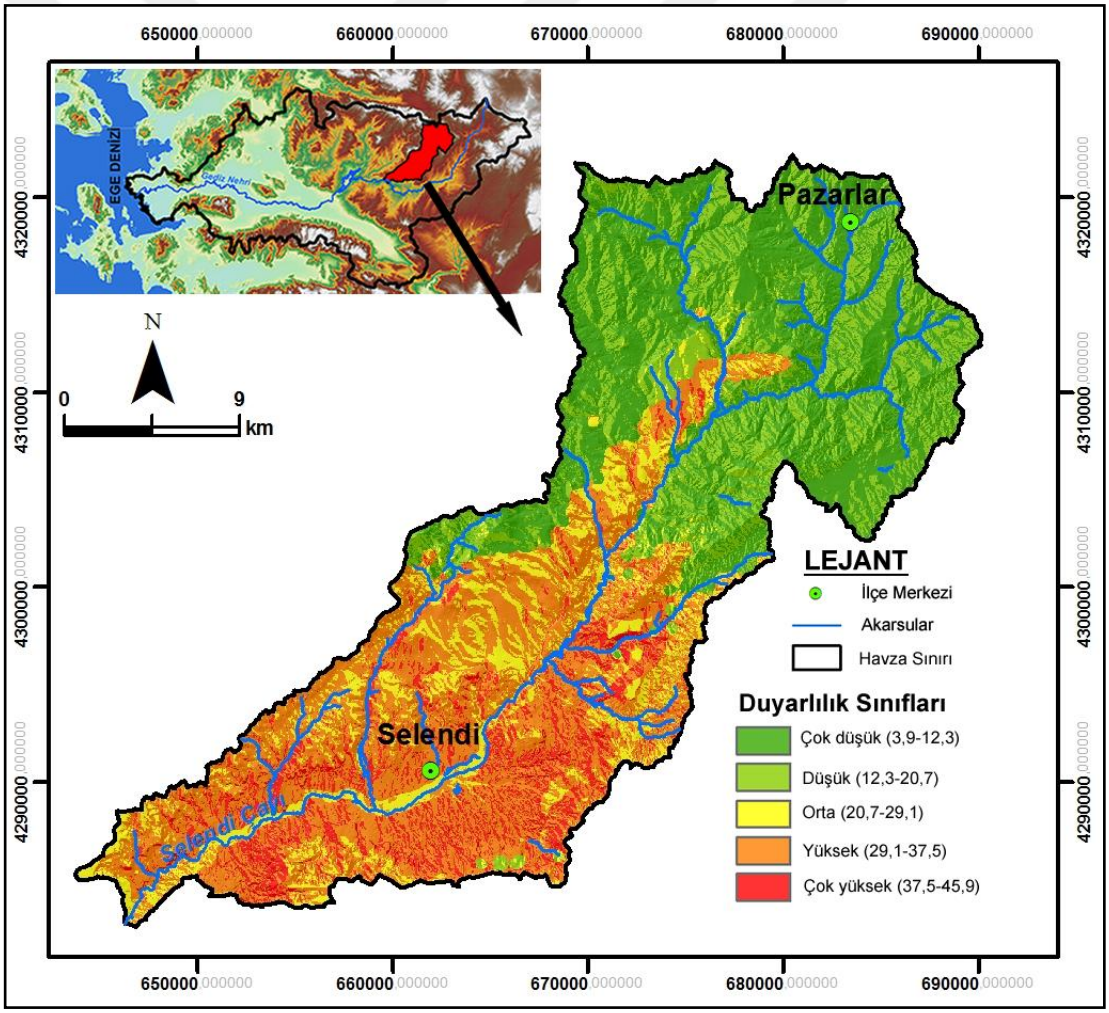
2.3.1.4. Gurup 4 İçin Çok Ölçütlü Karar Analizi Uygulaması

Son olarak 4. gurupta ise araştırma alanında erozyonun temel sebebi olarak değerlendirilen litoloji, eğim, bakı ve aşındırıcı güç indeksi parametreleri kullanılarak ikili karşılaştırmalar yapılmış ve parametrelerin ağırlık değerleri belirlenmiştir (Tablo 44). Bu parametre ağırlıklarıyla analiz yapılmış ve Şekil 76'daki erozyon duyarlılık analizi elde edilmiştir.

Tablo 44: Erozyon duyarlılık analizinde 4. gurup için dikkate alınan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.

	Litoloji	Aşındırıcı Güç İndeksi	Eğim	Bakı	Ağırlık değeri (%)
Litoloji	1	2	1	2	**34.8**
Aşındırıcı Güç İndeksi	1/2	1	2	2	**26.8**
Eğim	1	1/2	1	1	**22.1**
Bakı	1/2	1/2	1	1	**16.3**
Tutarlılık Oranı	**% 7**				

Şekil 76: Dördüncü parametre gurubu ile üretilen erozyon duyarlılık analizi.



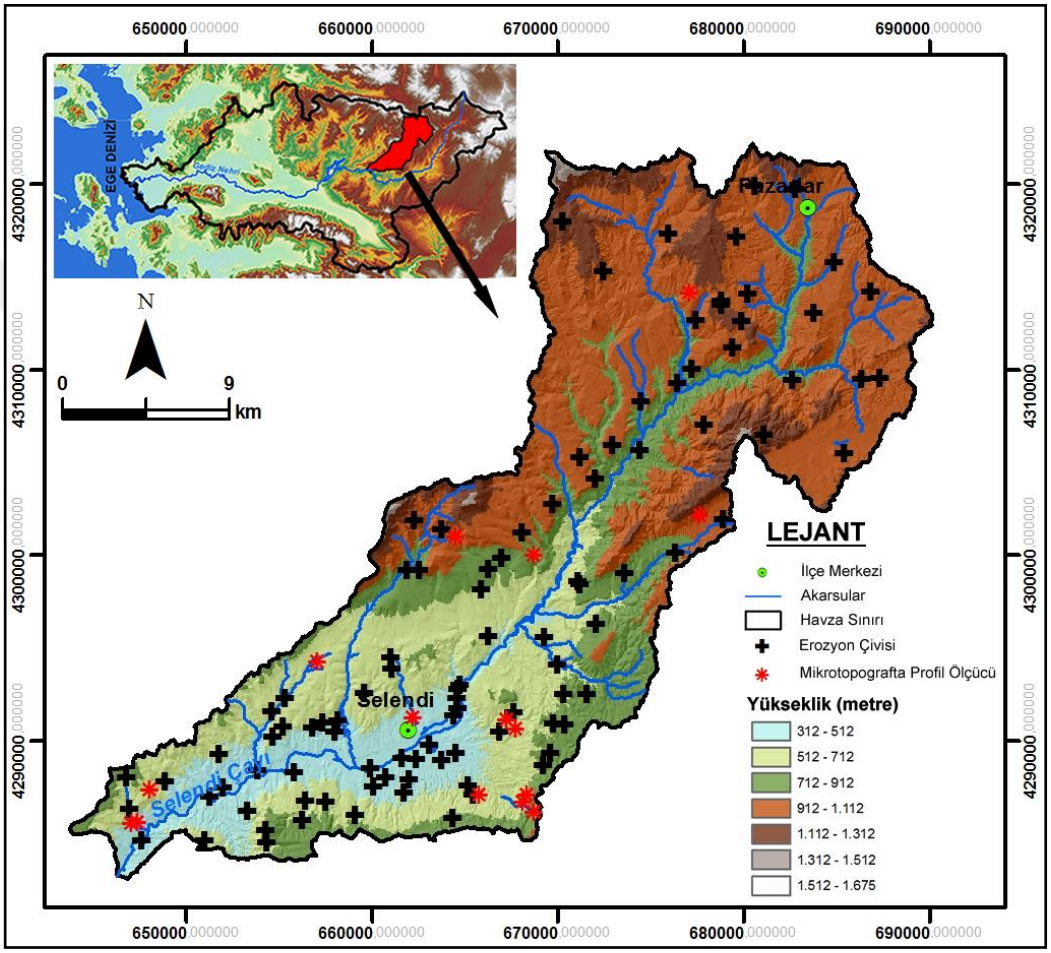
2.4. Erozyon Duyarlılık Analizlerinin Doğruluk Değerlendirmesi

Model doğrulama, doğal afet çalışmalarının temel adımlarından biridir. Doğrulama, modelin doğruluk ya da tahmin gücünün değerlendirilmesi için gerçek bir arazi veri seti ile model tahminlerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Doğruluk değerlendirmesi, model sonuçlarının hangi nihai kullanıcılara ulaşabileceğini bilmede ve modelin güvenilirlik derecesini ortaya koymada çok önemlidir. Uygun bir doğruluk değerlendirmesi olmadan modeli alternatif veri setleri ve yöntemlerle oluşturulmuş diğer modellerle karşılaştırılabilmesi mümkün değildir. Ayrıca modelin değerlendirilmesi onun son kullanıcılarının ihtiyaçlarına yönelik yeterliliğinin değerlendirilmesi anlamına gelir. Afet analizlerinde farklı tehlike bölgelerinin sınırlarının tespit edilmesi onların farklı yönetim ve planlama uygulamalarına yol açacaktır. Bunlara ek olarak, iyi bir doğrulama ve değerlendirme şeması modelin geliştirilebilmesi için de geribildirim sağlayabilir (Begueria, 2006). Bu sebeple farklı parametre guruplarıyla oluşturulan erozyon duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi için ayrıntılı arazi ölçmeleri yapılmış, üretilen haritalarla arazi ölçüm verileri karşılaştırılarak araştırma alanı için en uygun yöntem ve parametre gurubu belirlenmiştir.

Erozyon duyarlılık analizlerinin doğruluk değerlendirmesini yapabilmek için araziye 115 adet ölçüm istasyonu kurulmuştur (Şekil 78). Bunların 100 tanesi erozyon çivisi 15 tanesi ise mikrotopografya profil ölçücü istasyonudur. Farklı yöntem ve parametre guruplarıyla üretilmiş 5 sınıflı (Çok düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok yüksek) niteliksel erozyon duyarlılık analizlerinin her bir sınıfı için araziye benzer koşullarda 4 adet erozyon çivisi çakılmıştır. Aynı duyarlılık sınıfına çakılan erozyon çivilerinin benzer koşullarda ve beşeri faktörlerden uzakta olmasına dikkat edilmiştir. Böylece 5 sınıflı bir erozyon duyarlılık analizi için 20 adet (5x4) ölçüm istasyonu kurulmuştur. Farklı yöntem ve parametre guruplarıyla üretilmiş 5 ayrı erozyon duyarlılık analizi için benzer işlemi yapmamız sonucunda toplamda 100 adet (5x20) erozyon çivisi ölçüm istasyonu kurulmuştur. Erozyon çivisi için 8 mm çapında yaklaşık 45 cm uzunluğunda nervürlü inşaat demirleri kullanılmıştır. Nervürlü inşaat demirlerinin tercih edilmesinin sebebi çakıldığı zemine daha iyi

tutunabilmesidir. Erozyon çivilerinin 20 cm'si zeminin üstünde kalacak şekilde çakılarak fosforlu sprey boya ile boyanmış ve GPS yardımıyla koordinatları kaydedilmiştir.

Şekil 77: Arazi doğrulama istasyonlarının lokasyonları.



Mikrotopografya profil ölçücü erozyonla ilgili bir çok uluslararası çalışmada kullanılmış bir alettir (Sancho vd., 1991, Benito vd., 1992, Sirvent vd., 1997, Curtis ve Cole, 1972, Mosley, 1975, Joshi, 2014, Leatherman, 1987, Desir ve Marín, 2007, Desir vd., 2005). Bu aletin kullanıldığı çalışmalardan yararlanılarak benzer özelliklerde bir mikrotopografya profil ölçücü yaptırılmıştır. Mikrotopografya profil ölçücü, 110 cm genişliğinde, 90 cm yüksekliğinde alüminyum panelden ve hareketli çubuklardan oluşan bir alettir. Bu panelin önünde 2 cm aralıklı olarak boyanmış yatay çizgiler vardır. Panelin alt yatay kenarı boyunca 114 cm uzunluğunda oluklu bir alüminyum profil yerleştirilmiş, bu profilde her 2 cm'de bir delikler açılmıştır. Bu delikler boyunca aşağı yukarı serbest hareket edebilen 51 adet 4 mm çaplı

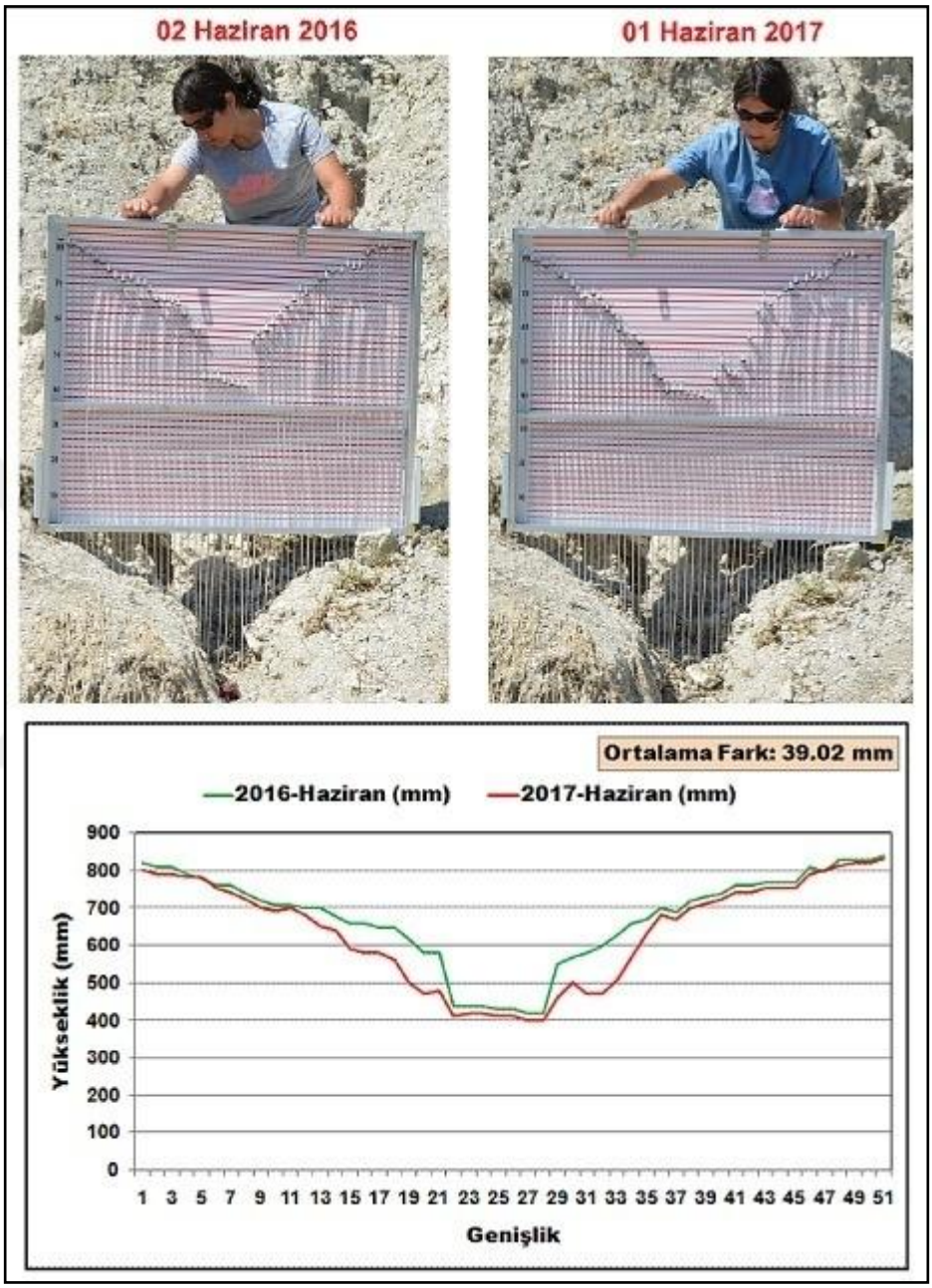
alüminyum çubuk topografyadaki değişimleri göstermektedir. Bu çubukların hareketi çerçeveye yerleştirilmiş başka bir delikli, yatay profil yardımıyla sağlanmaktadır. Profilmetrenin yere indirildiği zeminin kesin değerlerini elde etmek için profilmetre üzerine monte edilen iki adet ayak zemine çakılan erozyon çivilerinin üzerine oturtulmuş ve profilmetre yatay bir şekilde tutulmuştur. Profilmetrenin üzerine oturtulduğu erozyon çivileri diğer ölçümler için arazide bırakılmıştır. Sonuçlar fotoğraf yardımıyla kaydedilmiştir (Foto 8). Veri analizi, her bir alüminyum çubuğun gösterdiği değerlere (x, y) göre Microsoft Excel tarafından yapılmıştır (Sancho, vd., 1991; Benito, vd., 1992; Desir, vd., 2005).

2016 yılı Haziran ayında alınan ölçümler aynı prosedürle 2017 Haziran ayında da tekrar edilmiştir. 2017 Haziran ayındaki ikinci ölçüm için araziye gidildiğinde 88 adet erozyon çivisine ulaşılabilmiştir. 15 adet olan Mikrotopografya profil ölçücü istasyonlarının ise tamamına sorunsuz ulaşılabilmiştir. Erozyon çivilerinin çakıldığı yerlerdeki 1 yıllık aşınma miktarını hassas olarak ölçebilmek için dijital kumpas kullanılmıştır (Foto 7). Ölçüm noktaları ile ilgili tek bir sayısal değere ihtiyaç olduğu için Mikrotopografya profil ölçücü ile gerçekleştirilen ikinci ölçüm sonucunda çıkan aşınma değerinin birinci ölçüm sonucundan farkının ortalaması alınmış ve bu değer doğruluk analizinde kullanılmıştır (Foto 8, Şekil 78).

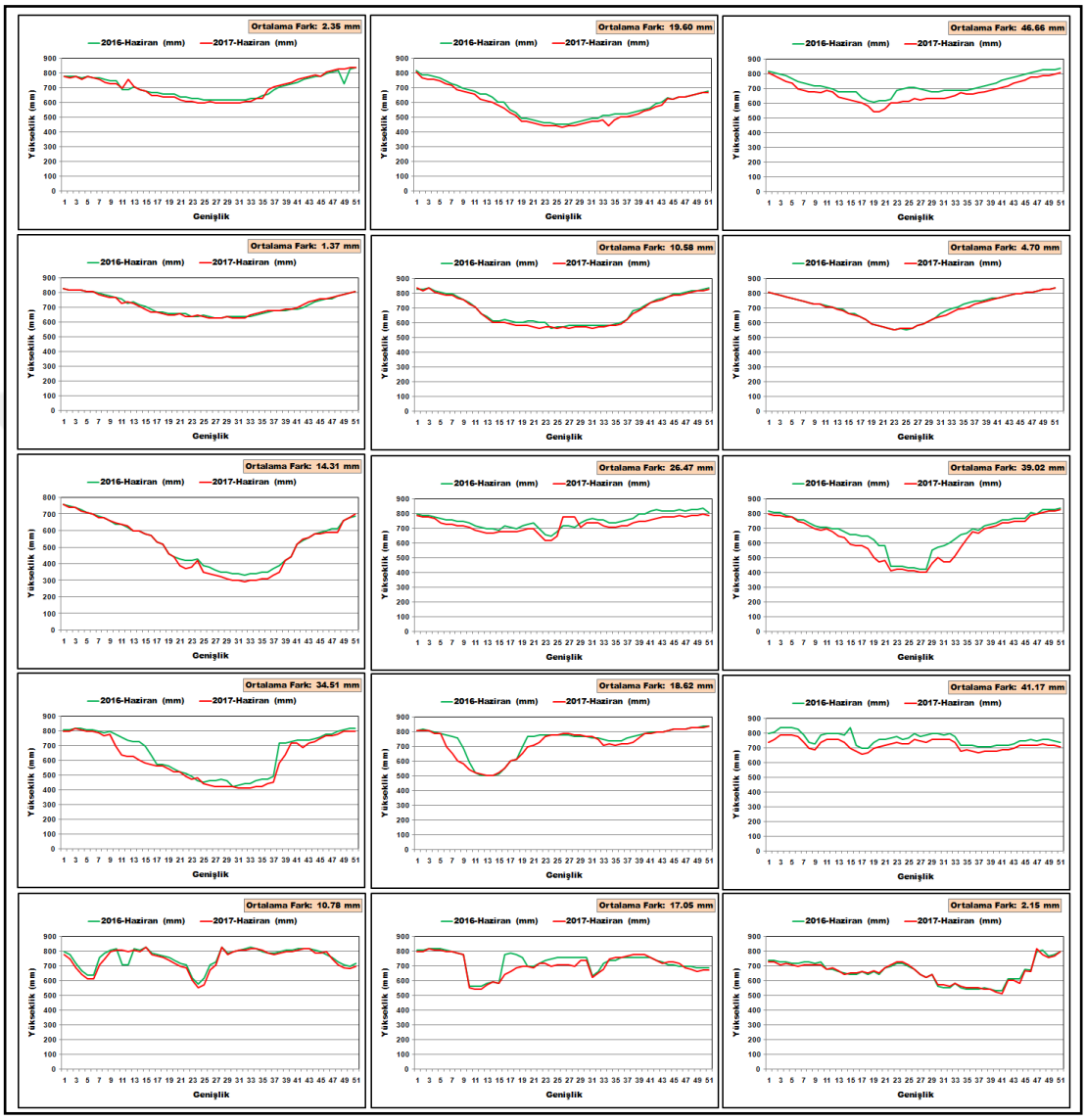
Foto 7: Erozyon çivilerindeki aşınma miktarlarının arazide dijital kumpas ile ölçülmesi.



Foto 8: Ahmetler formasyonunda gelişmiş bir gullyde Mikrotopografya profil ölçücü ile farklı tarihlerde yapılan ölçümler ve sonuçların grafik hale getirilmesi.

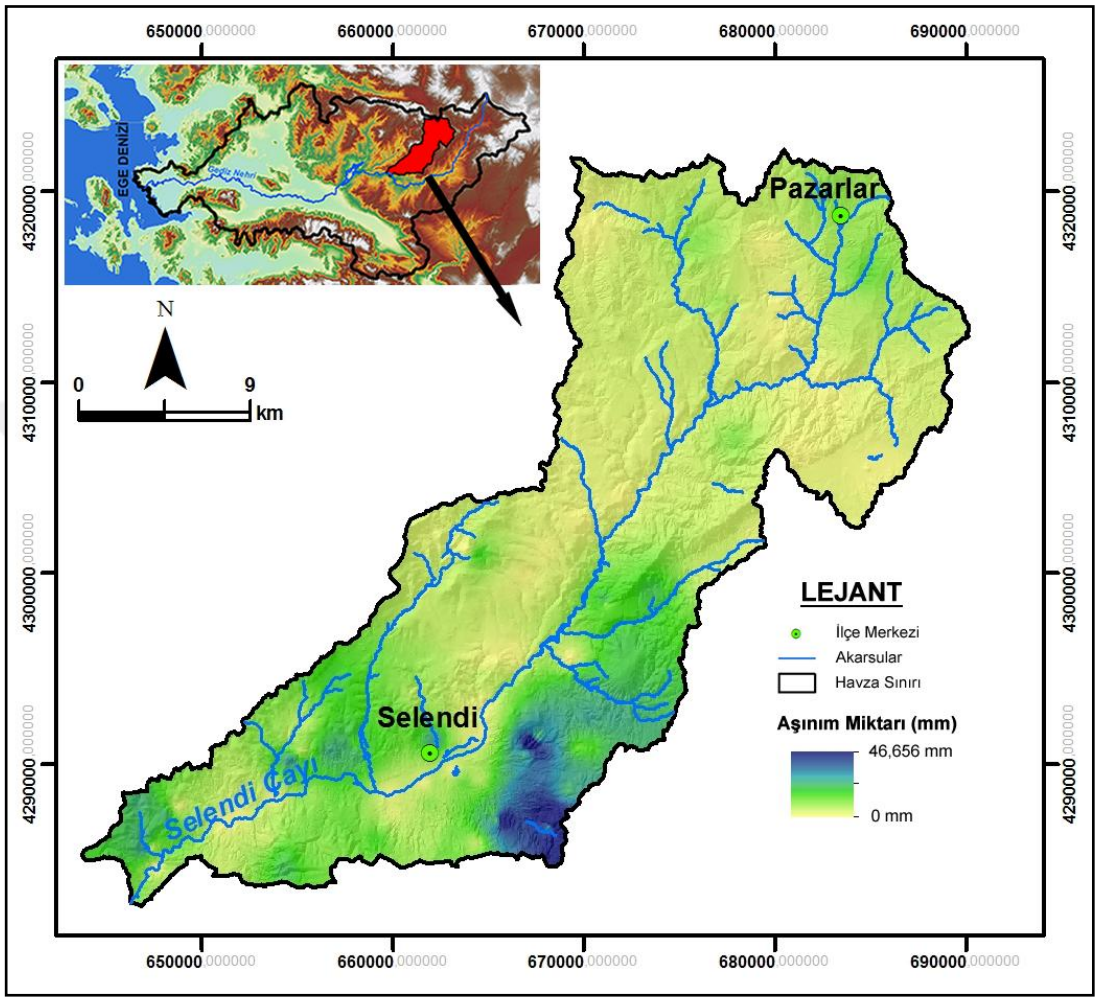


Şekil 78: Araştırma alanına kurulan Mikrotopografya profil ölçücü istasyonlarının 1 yıllık ölçüm sonuçlarına ait grafikler.



Doğruluk değerlendirmesi 1 yıl sonra tekrar yerinde bulunabilen 103 istasyonun ölçüm sonuçları kullanılarak yapılmıştır. Bunun için öncelikle 103 istasyonun 1 yıllık aşınıma miktarları mm olarak ölçüm noktalarının ArcGIS'teki öznitelik tablosuna girilmiştir. Daha sonra Natural Neighbor enterpolasyon ile noktasal ölçüm değerleri haritalanmıştır (Şekil 79). İki farklı yöntem ve beş parametre gurubuyla elde edilen erozyon duyarlılık haritaları, bir yıllık arazi arazi ölçüm sonuçlarının enterpole edildiği Şekil 79'daki harita ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 79: Araştırma alanına kurulan istasyonlarda yapılan 1 yıllık ölçüm sonuçlarının enterpolasyonu.



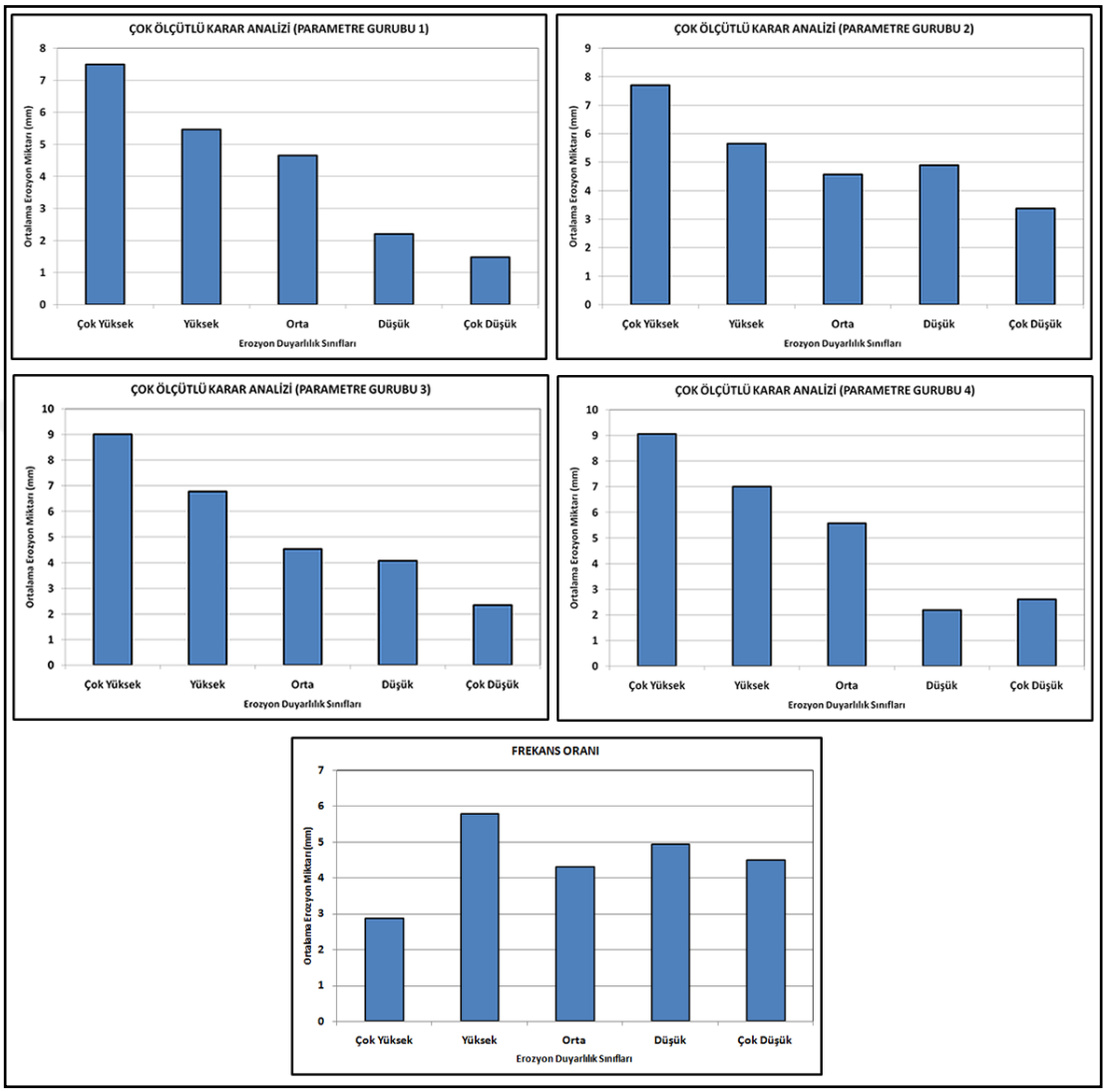
Natural Neighbor enterpolasyon ile haritalanan 1 yıllık arazi ölçüm sonucunu iki farklı yöntem ve beş parametre gurubu ile oluşturulmuş güncel erozyon duyarlılık analizleri ile karşılaştırabilmek için ArcGIS 10.2 yazılımının "Spatial Analyst Tools" modülündeki analiz araçlarından biri olan "Zonal Statistics As Table" kullanılmıştır. Zonal Statistics As Table aracı kullanılarak güncel erozyon duyarlılık analizi sınıflarına tekabül eden ortalama aşınıma miktarı hesaplanmıştır. Bu prosedürle hesaplanan güncel erozyon duyarlılık sınıflarına düşen aşınıma miktarının dağılımı Şekil 80'de grafik olarak verilmiştir.

Şekil 80'deki grafikte 5 farklı EDA haritasının duyarlılık sınıfları ve bu duyarlılık sınıflarına tekabül eden 1 yıllık ortalama aşınma miktarı görülmektedir. Erozyon duyarlılık haritalarıyla araziye kurulan istasyonların 1 yıllık aşınma

miktarları bu grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bu grafiklere bakıldığında Frekans oranı yöntemi ve ÇÖKA (Parametre Gurubu 2) ile ÇÖKA (Parametre Gurubu 4) yöntemleri ile üretilen erozyon duyarlılık analizlerinin arazi ölçümleriyle karşılaştırıldığında bazı sınıfların birbirine karıştığı görülmektedir. Frekans oranı yöntemiyle üretilen EDA'da çok yüksek sınıfına tekabül eden ortalama aşınma miktarının en düşük olması frekans oranı yönteminin Selendi Çayı Havzası erozyon duyarlılık analizinde başarısız olduğu izlenimi vermektedir. ÇÖKA (Parametre Gurubu 2) düşük sınıfının orta sınıfıyla karıştığı, ÇÖKA (Parametre gurubu 4)'de ise düşük sınıfının çok düşük sınıfıyla karıştığı görülmektedir. ÇÖKA (Parametre gurubu 1) ve ÇÖKA (Parametre gurubu 3)'ün ise erozyon duyarlılık sınıflarına düşen ortalama aşınma miktarlarıyla uyumlu oldukları görülmektedir. ÇÖKA (Parametre Gurubu 1)'in EDA sınıflarıyla arazi ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında araştırma alanı için en uygun erozyon duyarlılık analizinin ÇÖKA (Parametre gurubu 1) olduğu kanaatine varılmıştır. ÇÖKA (Gurup 1)'nın erozyon duyarlılık sınıflarına düşen 1 yıllık arazi ölçümü sonuçları incelendiğinde aşınım değerinin düşük olduğu ve çok düşük olduğu alanların, düşük ve çok düşük EDA sınıfları ile ifade edilen alanlarla paralel oldukları; ayrıca aşınma miktarının yüksek olduğu alanların yüksek EDA sınıflarına tekabül ettikleri tespit edilmiştir.

Sonuç itibariyle araştırma alanı için en uygun güncel erozyon duyarlılık analizi olduğuna karar verilen çok ölçütlü karar analizi (Parametre Gurubu 1)'i elde etmede kullanılan veriseti ve yöntem gelecek dönem modellemelerinde kullanılmıştır. Dolayısıyla iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkileri bu parametre gurubu ve yöntemle üretilen haritada araştırma alanının gelecek iklim koşullarını sağlayan değişiklikler yapılarak verilmiştir.

Şekil 80: Güncel erozyon duyarlılık analizi sınıflarına düşen 1 yıllık ortalama aşınma miktarı (mm).



1 Haziran 2016-31 Mayıs 2017 dönemini kapsayan 1 yıllık arazi ölçümü süresince araştırma alanında gözlemlenen yağış ve sıcaklık koşullarının araştırma alanının genel iklim teamülünü ne kadar yansıttığını ortaya koyabilmek için araştırmada kullanılan istasyonlardan Uşak, Gediz, Simav ve Demirci Meteoroloji İstasyonları'nın 1 Haziran 2016-31 Mayıs 2017 tarihleri arasındaki dönemi kapsayan günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Arazi ölçümü süresince kaydedilen 1 yıllık aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklıkların araştırmada kullanılan istasyonların ortalama gözlem değerlerinden farkı standart sapma ve varyans hesaplamalarıyla ortaya konulmuştur (Tablo 45). Buna göre istasyonların aylık ve yıllık ortalama

sıcaklık değerlerinde arazi ölçümü dönemini kapsayan değerlerle ortalama değerler arasında çok fazla farklılık yoktur. Ancak yağışta 55'leri bulan standart sapma değerleri söz konusudur.

Araştırmada kullanılan istasyonlarda arazi ölçümünün yapıldığı 1 Haziran 2016-31 Mayıs 2017 tarihleri arasındaki 1 yıllık süreçte ortalama sıcaklık değeri istasyonların uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklığından fazladır. Arazi ölçümü süresince Aralık, Ocak ve Mayıs ayının ortalama sıcaklığı uzun yıllar ortalamalarından düşük çıkmıştır. Fakat Şubat, Mart, Nisan, Haziran, Temmuz, Ağustos ayında bütün istasyonlarda uzun yıllar ortalamasının üzerinde ortalama sıcaklıklar kaydedilmiştir. Eylül, Ekim ve Kasım aylarında da 1 Haziran 2016-31 Mayıs 2017 periyodunda uzun yıllar ortalamasına göre az bir fark ile daha yüksek ortalama sıcaklıklar görülmüştür (Tablo 45).

Demirci istasyonu dışında araştırmada kullanılan bütün istasyonlarda arazi ölçümünün yapıldığı 1 yıllık dönemde istasyonların uzun yıllar ortalama yıllık toplam yağışından daha az yağışlar kaydedilmiştir. Kış yağışlarında özellikle Aralık ayında arazi ölçümünün yapıldığı periyotta uzun dönem ortalamalarından daha düşük yağışlar kaydedilmiştir. Nitekim yağışlardaki en yüksek standart sapmalar genellikle Aralık ayındadır. Uşak ve Simav istasyonlarının ilkbahar yağışları arazi ölçümünün yapıldığı süreçte uzun yıllar ortalamasının altındadır. Simav ve Gediz istasyonlarının ilkbahar yağışları ise arazi ölçümünün yapıldığı süreçte uzun yıllar ortalamasının üstündedir. Yaz mevsiminde Gediz ve Uşak istasyonlarında arazi ölçümünün yapıldığı periyotta uzun dönem ortalamalarından daha düşük yağışlar kaydedilirken, Demirci ve Simav istasyonlarında uzun yıllar ortalamasına göre daha yüksek değerler görülmüştür. Yaz mevsiminde özellikle Ağustos ayının arazi ölçümü yapıldığı periyottaki yağış değerleri dikkat çekicidir. Sonbahar mevsiminde Demirci istasyonu hariç diğer istasyonlarda arazi ölçümünün yapıldığı periyotta uzun dönem ortalamalarından daha düşük yağışlar kaydedilmiştir (Tablo 45).

Tablo 45: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleriyle arazi ölçümü yapılan süreçteki (1 Haziran 2016-31Mayıs 2017) aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerlerinin standart sapma ve varyansı

UŞAK METEOROLOJİ İSTASYONU								
	Sıcaklık				Yağış			
Aylar	Ortalama Sıcaklık	Haziran 2016-Mayıs 2017 Ort.Sıc.	Standart Sapma	Varyans	Toplam Yağış	Haziran 2016-Mayıs 2017 Top.Yağ.	Standart Sapma	Varyans
Ocak	2.5	0.0	1.77	3.13	72	70	1.41	2.00
Şubat	3.1	4.2	0.78	0.61	65	8	40.30	1624.5
Mart	6.3	7.9	1.13	1.28	56	55	0.70	0.50
Nisan	10.8	14.6	2.69	7.22	56	30	18.38	338
Mayıs	15.8	14.8	0.71	0.50	46	68	15.56	242
Haziran	20.3	22.1	1.27	1.67	26	15	7.78	60.5
Temmuz	23.6	25.2	1.13	1.28	16	6	7.07	50
Ağustos	23.5	25.4	1.34	1.81	9	28	13.44	180.5
Eylül	18.9	19.5	0.42	0.18	17	36	13.44	180.5
Ekim	13.3	14.5	0.85	0.72	42	7	24.75	612.5
Kasım	7.9	8.3	0.28	0.08	58	57	0.71	0.5
Aralık	4.1	0.9	2,26	5.12	83	23	42.43	1800
YILLIK	12.5	13.1	0.42	0.18	551	402	105.36	11100.5
DEMİRCİ METEOROLOJİ İSTASYONU								
	Sıcaklık				Yağış			
Aylar	Ortalama Sıcaklık	Haziran 2016-Mayıs 2017 Ort.Sıc.	Standart Sapma	Varyans	Toplam Yağış	Haziran 2016-Mayıs 2017 Top.Yağ.	Standart Sapma	Varyans
Ocak	3.7	1.0	1.91	3.65	77	165	62.23	3872
Şubat	3.9	5.3	0.99	0.98	82	41	28.99	840.5
Mart	6.7	8.8	1.48	2.21	70	141	50.20	2520.5
Nisan	11.2	15.9	3.32	11.05	65	13	36.77	1352
Mayıs	16.8	15.5	0.92	0.85	46	51	3.54	12.5
Haziran	21.1	23.2	1.48	2.21	15	23	5.66	32
Temmuz	24.1	25.4	0.92	0.85	8	0	5.66	32
Ağustos	24.3	25.1	0.57	0.32	11	13	1.41	2
Eylül	19.8	20.0	0.14	0.02	21	44	16.26	264.5
Ekim	14.9	15.3	0.28	0.08	50	7	30.41	924.5
Kasım	9.3	9.8	0.35	0.13	74	142	48.08	2312
Aralık	5.5	1.8	2.62	6.85	93	17	53.74	2888
YILLIK	13.4	13.9	0.35	0.13	616	658	29.70	882
SİMAV METEOROLOJİ İSTASYONU								
	Sıcaklık				Yağış			
Aylar	Ortalama Sıcaklık	Haziran 2016-Mayıs 2017 Ort.Sıc.	Standart Sapma	Varyans	Toplam Yağış	Haziran 2016-Mayıs 2017 Top.Yağ.	Standart Sapma	Varyans
Ocak	2.4	0.1	1.63	2.65	126	108	12.73	162
Şubat	3.2	4.8	1.13	1.28	108	30	55.15	3042
Mart	6.2	8.5	1.63	2.65	87	75	8.49	72
Nisan	10.6	14.4	2.69	7.22	72	13	41.72	1740.5
Mayıs	15.4	14.7	0.49	0.25	49	42	4.95	24.5
Haziran	19.4	21.1	1.20	1.44	27	16	7.78	60.5
Temmuz	21.9	23.4	1.06	1.13	12	0	8.49	72
Ağustos	21.5	23.0	1.06	1.13	9	52	30.41	924.5
Eylül	17.2	18.2	0.71	0.50	24	27	2.12	4.5
Ekim	12.3	13.2	0.64	0.41	49	5	31.11	968
Kasım	7.8	7.8	0.00	0.00	94	75	13.44	180.5
Aralık	4.3	1.1	2.26	5.12	158	5	108.19	11704.5
YILLIK	11.8	12.5	0.49	0.25	819	449	261.63	68450
GEDİZ METEOROLOJİ İSTASYONU								
	Sıcaklık				Yağış			
Aylar	Ortalama Sıcaklık	Haziran 2016-Mayıs 2017 Ort.Sıc.	Standart Sapma	Varyans	Toplam Yağış	Haziran 2016-Mayıs 2017 Top.Yağ.	Standart Sapma	Varyans
Ocak	2.4	0.0	1.70	2.88	73	97	16.97	288
Şubat	3.3	4.0	0.49	0.25	64	26	26.87	722
Mart	6.5	8.1	1.13	1.28	56	85	20.51	420.5
Nisan	11.2	14.3	2.19	4.81	57	23	24.04	578
Mayıs	16.2	15.2	0.71	0.50	40	81	28.99	840.5
Haziran	20.7	22.5	1.27	1.62	20	9	7.78	60.5
Temmuz	24.1	25.9	1.27	1.62	14	3	7.78	60.5
Ağustos	23.8	25.7	1.34	1.81	11	22	7.78	60.5
Eylül	19.0	19.8	0.57	0.32	19	15	2.83	8
Ekim	13.2	14.2	0.71	0.50	48	8	28.28	800
Kasım	7.3	7.2	0.07	0.01	67	52	10.61	112.5
Aralık	3.9	1.4	1.77	3.13	85	20	45.96	2112.5
YILLIK	12.6	13.2	0.42	0.18	563	442	85.56	7320.5

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN EROZYON DUYARLILIĞINA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

Bu bölümde öncelikle iklim tipindeki farklılaşmayı ortaya koyabilmek amacıyla yapılan analizler ele alınmıştır. Daha sonra Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün araştırma alanını içine alan bölge ile ilgili iklim projeksiyonlarından yararlanılarak yağışın erozivitesi, kuraklık ve buna bağlı olarak aşındırıcı güç indisinin gelecek dönemdeki durumu ortaya konulmuştur. Son olarak araştırma alanı için güncel durumu en iyi yansıtan erozyon duyarlılık analizine gelecek dönem aşındıcı güç indisi parametresi güncel aşındırıcı güç indisi parametresinin yerine konularak erozyon duyarlılığının gelecekteki durumu modellenmiştir.

3.1. İklim Özelliklerindeki Farklılaşma

İklim tipindeki farklılaşmayı ortaya koymak amacıyla Simav ve Uşak Meteoroloji İstasyonları'nın verileri 51 yıllık gözlem süresi içinde 1960-1974 ve 1997-2011 yıllarını kapsayan 15 yıllık periyotlar halinde analizler yapılmıştır. 15 yıllık periyotların kullanılmasının sebebi Turoğlu (2014)'ün de işaret ettiği gibi 1940'dan itibaren yükselmeye başlayan küresel ortalama sıcaklıklardaki artış 1880-1970 yılları arasında 0.4 ^{o}C'ye ulaşmıştır (Hansen vd., 1981; Ruedy vd., 2014). 1998 yılı 1880 ve 1999 yılları arasında en yüksek sıcaklıkların kaydedildiği yıldır (Hansen vd., 1999; Hansen vd., 2001). Bütün bunlarla beraber 1880'den bu yana en yüksek sıcaklığa sahip 10 yılın 9'unun 2000 yılı sonrasında gerçekleşmesi (Ruedy vd., 2014; Cole ve McCarthy, 2012), son 15 yılın iklim değişiklikleri açısından önemini açıkça ortaya koymuştur (Turoğlu, 2014). Bu sebeple Turoğlu 2014'ün de çalışmasında uyguladığı bu sistem iklim elemanlarının yağış ve sıcaklığın özelliklerinde kısa zamanda gözlenen farklılaşmayı ortaya koymada kullanılmıştır

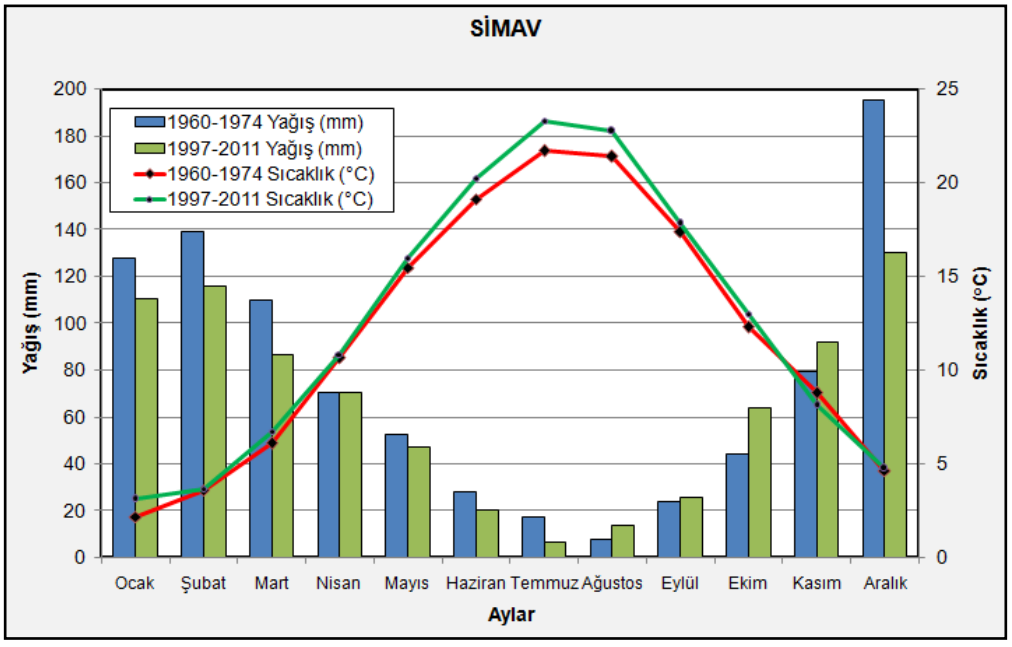
Araştırmada kullanılan istasyonların uzun yılların aynı aylarında yağış ve sıcaklık ortalamaları arasında farklar bulunmaktadır. 1960-1974 ve 1997-2011 dönemleri arasında yağış ve sıcaklık ortalamaları kısa süre içerisinde önemli değişiklikler göstermiştir. Ortalama sıcaklıklardaki bu değişiklik Kasım ve Aralık ayları hariç artış yönündedir. Özellikle yaz sıcaklıklarındaki belirgin artış grafiklerde

dikkati çekmektedir. Yağış konusunda ise bazı mevsimlerde artış bazı mevsimlerde azalış yönünde bir eğilim söz konusudur. İlkbahar, yaz sonu ve sonbahar yağışlarında artış sözkonusuyken, kış yağışlarında ise belirgin bir düşüş vardır. Yıllık ortalama sıcaklıklarda artış eğilimi her iki istasyonda da belirgindir. Yıllık toplam yağış miktarlarında ise Uşak Meteoroloji İstasyonu'nda 1997-2011 periyodunda 1960-1974 periyoduna göre 4 mm'lik ufak bir artış olmuştur. Simav istasyonunda ise yıllık toplam yağışlarda 113 mm'lik önemli bir miktar azalış söz konusudur (Tablo 46, Şekil 81-82).

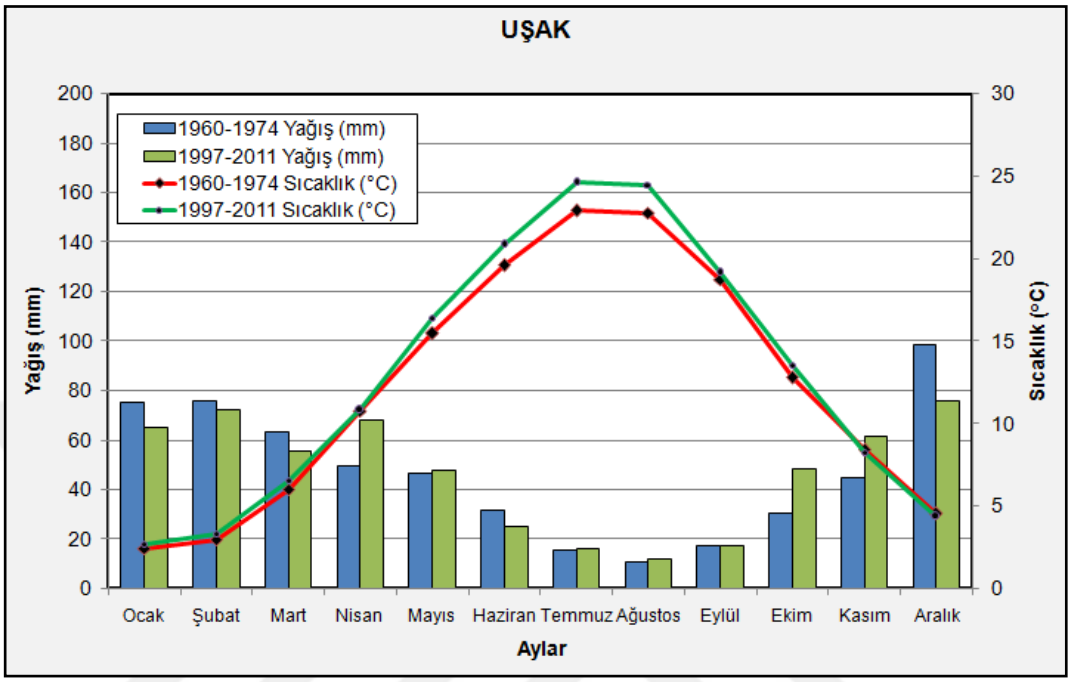
Tablo 46: Uşak ve Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotları ile 1960-2011 yıllarına ait sıcaklık (^{o}C) ve yağış (mm) ortalamaları.

			O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
UŞAK	Sıcaklık	1960-1974	2.4	2.9	6.0	10.7	15.4	19.6	22.9	22.8	18.7	12.8	8.4	4.5	12.2
		1997-2011	2.7	3.3	6.5	10.8	16.4	20.8	24.6	24.4	19.1	13.5	8.2	4.3	12.9
		1960-2011	2.4	3.1	6.3	10.8	15.8	20.3	23.6	23.5	18.9	13.3	7.9	4.1	12.5
	Yağış	1960-1974	75	75	63	49	46	31	15	10	17	30	44	98	559
		1997-2011	64	72	55	68	47	24	15	12	17	48	61	75	563
		1960-2011	72	65	56	56	46	26	16	9	17	41	58	83	550
SİMAV	Sıcaklık	1960-1974	2.2	3.6	6.1	10.7	15.4	19.1	21.7	21.4	17.3	12.3	8.8	4.6	11.9
		1997-2011	3.1	3.6	6.7	10.8	15.9	20.2	23.3	22.7	17.8	12.9	8.1	4.7	12.5
		1960-2011	2.4	3.2	6.2	10.6	15.4	19.4	21.9	21.5	17.2	12.3	7.8	4.3	11.8
	Yağış	1960-1974	128	139	110	70	5	28	17	7	23	43	79	195	896
		1997-2011	110	115	86	70	47	20	6	13	25	63	92	130	783
		1960-2011	126	108	87	72	49	27	12	9	24	49	94	158	819

Şekil 81: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 yılları için aylık yağış miktarı ve sıcaklık ortalamaları.



Şekil 82: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 yılları için aylık yağış miktarı ve sıcaklık ortalamaları.



Uşak ve Simav Meteoroloji İstasyonları'nın yağışlı gün sayılarını değerlendirecek olursak her iki istasyonun da toplam yağışlı gün sayısında önemli düşüş dikkat çekmektedir. Simav'da 1960-1974 periyodunda 1672 olan yağışlı gün sayısı, 1997-2011 periyodunda 1526'ya gerilemiştir. Uşak'ta ise 1960-1974 periyodunda 1538 olan yağışlı gün sayısı, 1997-2011 periyodunda 1472'ye gerilemiştir. Yağışlı gün sayılarındaki dikkat çeken diğer bir konu ise her iki istasyonda da Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında yağışlı gün sayılarında artış görülmesidir. Diğer bir deyişle yağışlı günlerin sayıları sonbahara doğru artmaktadır. Simav'da Ağustos, Eylül ve Ekim ayları dışında bütün aylarda yağışlı gün sayılarında düşüş olmuştur. Uşak'ta ise Ağustos, Eylül, Ekim ve Nisan ayları dışındaki bütün ayların yağışlı gün sayılarında düşüş söz konusudur. Her iki istasyonda da özellikle kış aylarında yağışlı gün sayılarındaki düşüş çok belirgindir (Tablo 47).

Tablo 47: Uşak ve Simav Meteoroloji İstasyonları'nın 1960-1974 ve 1997-2011 yılları için yağışlı gün sayıları

İstasyon	Yılları	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Toplam
Simav	1960-1974	206	205	207	188	150	93	44	26	55	111	146	241	1672
	1997-2011	173	184	162	177	143	79	36	44	77	118	131	202	1526
Uşak	1960-1974	184	190	181	174	143	88	40	30	54	106	125	223	1538
	1997-2011	167	187	165	184	136	70	32	42	72	108	120	189	1472

24 saatte düşen yağış miktarı incelenirse gerek 1960-1974 periyodunda gerekse 1997-2011 periyodunda her iki istasyonda da sağanak yağışların normal yağışlara göre oranı düşüktür. Geçmişten günümüze araştırma alanında hakim olan yağış türü 25 mm'nin altındaki normal yağışlardır. Yağış şiddeti sınıflandırmasına göre yıl içerisinde 0.1-10 mm arasındaki yağışlar (normal yağışlar) her iki dönemde de en yüksek frekansa sahiptir. Bununla birlikte yıllık toplamdaki payları gerilemiştir. 1960-1974'de Uşak'ta yıllık frekansı 1255 olan 10 mm'nin altındaki normal yağışlar, 1997-2000 periyodunda 1204'e gerilemiştir. Aynı şekilde Simav'da 1960-1974 döneminde yıllık frekansı 1247 olan normal yağışlar, 1997-2011 döneminde 1149'a gerilemiştir. Normal yağışların aylık frekansları ise Ağustos ve Eylül ayları hariç bütün aylarda düşmüştür. Ağustos ve Eylül ayında ayrıca Uşak için Şubat ayında normal yağışların frekansında artış vardır.

10.1-25 mm arasındaki orta şiddetteki yağışların da yıllık toplam frekansında düşüş vardır. 1960-1974'de Uşak'ta yıllık frekansı 253 olan orta şiddetteki yağışlar, 1997-2011 periyodunda 229'a gerilemiştir. Simav'da da 1960-1974'de yıllık frekansı 299 olan 10.1-25 mm arasındaki orta şiddetteki yağışlar 1997-2011 periyodunda 268'e gerilemiştir. Orta şiddetteki yağışların aylık frekansları ise Uşak'ta Nisan, Ekim ve Kasım ayları dışında düşüş göstermiştir. Simav'da ise Mayıs, Haziran, Ağustos, Ekim, Kasım ayları dışında orta şiddetdeki yağışların frekansı düşmüştür. Her iki istasyonda da özellikle sonbaharda orta şiddetteki yağışların frekansındaki artış belirgindir.

25.1-50 mm arasındaki hafif sağanak yağışların yıllık toplam frekansı Uşak'da az da olsa artmıştır. Simav'da ise hafif sağanakların yıllık frekansında düşüş söz konusudur. Hafif sağanakların aylık durumunu değerlendirecek olursak Simav'da Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim ve Kasım aylarında artış varken; Uşak'ta Ocak, Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos, Ekim, Kasım aylarında artış vardır.

Erozyon için de önemli olan şiddetli sağanakların (50.1-100 mm) yıllık frekansı her iki istasyonda da artmıştır. Uşak'ta 1960-1974 periyodunda yıllık frekansı 1 olan şiddetli sağanaklar 1997-2011 döneminde 4 defa yaşanmıştır. Uşak'ta 1960-1974 döneminde hiç şiddetli sağanak görülmeyen Ekim ayında 1997-2011 döneminde 2 defa şiddetli sağanak görülmesi erozyon açısından önemlidir.

Simav'da 1960-1974 döneminde yıllık 10 olan şiddetli sağanak (50.1-100 mm) frekansı 1997-2011 periyodunda 18 olmuştur. Simav'da Ocak, Şubat, Mart, Ağustos ve Ekim aylarında şiddetli sağanakların frekansı artmıştır. Simav'da Aralık ayında ise şiddetli sağanakların frekansında düşüş olmuştur. Sonuç olarak 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarını kıyasladığımızda geçmişten günümüze normal ve orta şiddetteki günlük yağışların yıllık toplam frekansları düşmüştür. Hafif sağanak yağışlarda çok fazla değişiklik olmazken, şiddetli sağanak yağışlardaki artış belirgindir (Tablo 48-49).

Tablo 48: Uşak Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-1974, 1997-2000 ve 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve aylık dağılışları.

1960-1974													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	144	147	152	153	122	73	30	26	44	88	104	172	1255
10.1-25.0	33	39	26	20	20	13	9	8	9	16	17	43	253
25.1-50.0	7	5	3	1	1	2	1	0	1	2	4	7	34
50.1-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	184	191	181	174	143	88	40	34	54	106	125	223	1543
P<25mm	177	186	178	173	142	86	39	34	53	104	121	215	1508
25mm<P	7	5	3	1	1	2	1	0	1	2	4	8	35
1997-2011													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	136	150	146	151	116	59	24	35	66	84	86	151	1204
10.1-25.0	25	34	14	30	17	9	7	6	6	19	28	34	229
25.1-50.0	6	3	4	3	3	2	1	1	0	3	6	3	35
50.1-100	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	4
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	167	187	165	184	136	70	32	42	72	108	120	189	1472
P<25mm	161	184	160	181	133	68	31	41	72	103	114	185	1433
25mm<P	6	3	5	3	3	2	1	1	0	5	6	4	39
1960-2011													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	476	474	477	509	439	239	119	96	152	286	314	517	4098
10.1-25.0	111	109	72	76	64	31	27	14	27	65	96	132	824
25.1-50.0	19	10	10	9	6	5	5	2	2	7	19	15	109
50.1-100	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	6
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	606	594	560	594	509	275	151	112	181	360	429	666	5037
P<25mm	587	583	549	585	503	270	146	110	179	351	410	649	4922
25mm<P	19	11	11	9	6	5	5	2	2	9	19	17	115

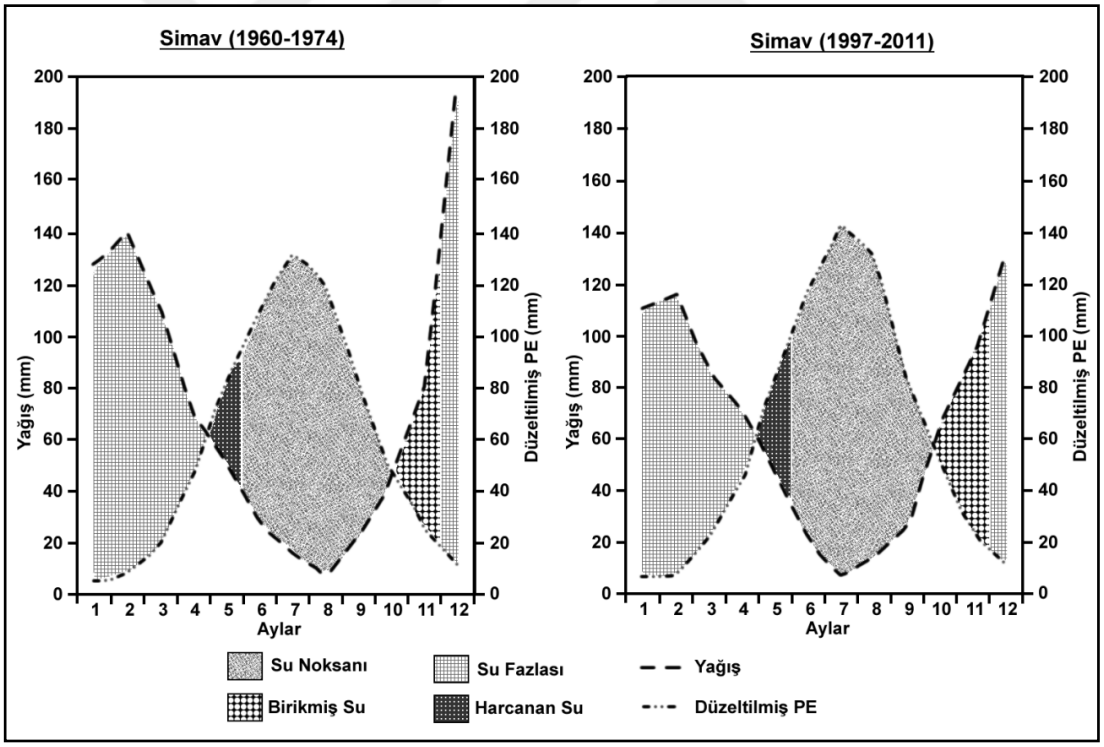
Tablo 49: Simav Meteoroloji İstasyonu rasatları, yağış sınıflarının 1960-1974, 1997-2000 ve 1960-2011 yıllarına ait frekansları ve aylık dağılışları

1960-1974													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	142	137	158	155	129	83	37	22	43	85	112	144	1247
10.1-25.0	43	45	38	28	17	7	4	4	11	22	21	59	299
25.1-50.0	17	18	6	5	4	3	3	0	1	4	11	30	102
50.1-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	10
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	202	200	202	188	150	93	44	26	55	111	146	241	1658
P<25mm	185	182	196	183	146	90	41	26	54	107	133	203	1546
25mm<P	17	18	6	5	4	3	3	0	1	4	13	38	112
1997-2011													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	124	129	117	143	118	70	34	38	65	82	86	143	1149
10.1-25.0	27	34	35	28	25	9	1	5	11	28	27	38	268
25.1-50.0	19	19	8	6	0	0	1	0	1	6	16	15	91
50.1-100	3	2	2	0	0	0	0	1	0	2	2	6	18
100.1<P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	173	184	162	177	143	79	36	44	77	118	131	202	1526
P<25mm	151	163	152	171	143	79	35	43	76	110	113	181	1417
25mm<P	22	21	10	6	0	0	1	1	1	8	18	21	109
1960-2011													
Yağış miktarı (mm/gün)	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**Ek**	**K**	**A**	**Yıllık**
0.1-10	491	475	469	499	446	272	132	103	168	295	365	504	4219
10.1-25.0	119	121	106	92	73	33	13	15	34	75	86	156	923
25.1-50.0	61	50	30	23	7	5	4	0	8	14	53	65	320
50.1-100	17	9	6	2	0	2	0	1	0	3	11	27	78
100.1<P	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
TOPLAM	688	655	612	616	526	312	149	119	210	387	515	753	5542
P<25mm	610	596	575	591	519	305	145	118	202	370	451	660	5142
25mm<P	78	59	37	25	7	7	4	1	8	17	64	93	400

Thornthwaite (1948) yöntemine göre Simav Meteoroloji İstasyonu'nda 1960-1974 periyodunda iklim tipi ikinci dereceden nemli, birinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine (B2 B'1 s2 b'3) dahilken, 1997-2011 periyodunda birinci dereceden nemli, ikinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine (B1 B'2 s2 b'3) dahil olduğu tespit edilmiştir (Tablo 50). Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun ise 1960-1974 periyodunda ve 1997-2011 periyodunda iklim tipi, kurak ve az nemli, ikinci dereceden mezotermal, kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine (C1 B'2 s2 b3) girer. Dolayısıyla Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun iklim elemanlarında kısa süre içerinde önemli değişikliklikler olmasına rağmen Thornthwaite (1948)'e göre iklim tipinde bir değişiklik olmamıştır (Tablo 51). İstasyonların her iki

periyodunda da Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve kısmen Ekim ayları su noksanı olan aylardır. Simav'da 1960-1974 periyodunda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarında su noksanı söz konusuyken 1997-2011 periyodunda Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında su eksikliği gerçekleşmiştir. Her iki periyot da da Mayıs'tan Ekim'e kadar 6 ay boyunca yağışların potansiyel evapotranspirasyondan (PE) az olmasına karşın, 1997-2011 periyodunda PE değerlerinin 1960-1974 periyoduna göre daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Mayıs ayındaki yağış yetersizliği kış mevsiminde toprakta birikmiş sudan karşılanmakla birlikte, 1997-2011 periyodunda toprakta birikmiş suyun harcanma süresi kısalmıştır (Şekil 83-84, Tablo 50-51).

Şekil 83: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait Thornthwaite fomülüne göre su bilançoları.



Tablo 50: Thornthwaite formülüne göre Simav Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait su bilançosu.

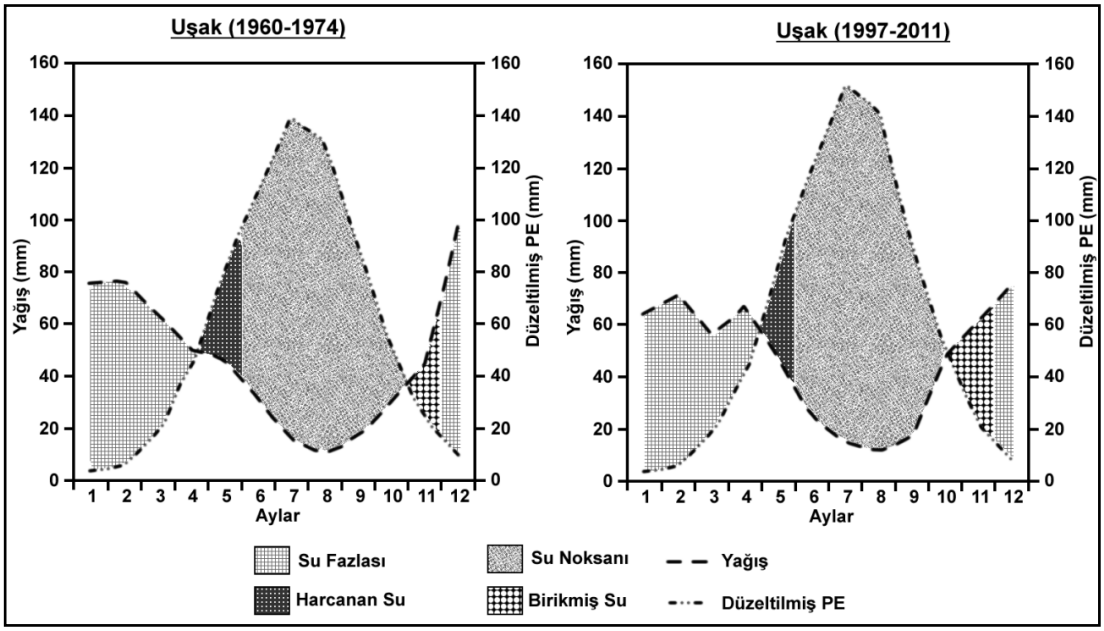
Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : B2 B'1 s2 b'3.
Simav (1960-1974), ikinci dereceden nemli, birinci dereceden mezotermal , yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
Sıcaklık	2.9	4	6.1	10.7	15.5	19.1	21.7	21.4	17.4	12.3	8.8	4.7	12.0
Sıc.İnd.	0.44	0.71	1.35	3.16	5.55	7.61	9.23	9.04	6.61	3.91	2.35	0.91	50.86
Pt.Etp.	7.74	11.73	20.24	41.86	67.60	88.56	104.45	102.59	78.50	50.13	32.51	14.45	620.35
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	6.56	9.83	20.85	46.47	83.25	109.95	131.77	121.05	81.64	48.12	27.26	11.82	698.58
Yağış	128	139	110	70	52	28	17	7	23	44	79	195	892
Brk. Su D	0	0	0	0	-31.25	-68.75	0	0	0	0	51.74	48.26	
Birik. Su	100	100	100	100	68.75	0	0	0	0	0	51.74	100	
Ger. Etr.	6.56	9.83	20.85	46.47	83.25	96.75	17.00	7.00	23.00	44.00	27.26	11.82	393.79
Eksik Su	0	0	0	0	0	13.20	114.77	114.05	58.64	4.12	0	0	304.78
Fazla Su	121.52	129.35	89.15	23.53	0	0	0	0	0	0	0	134.92	498.21
Akış	128.18	125.30	109.16	56.34	11.77	0	0	0	0	0	0	67.46	498.21
Nemlilik	18.50	13.14	4.28	0.51	-0.38	-0.75	-0.87	-0.94	-0.72	0.09	1.90	15.49	

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : B1 B'2 s2 b'3.
Simav (1997-2011), birinci dereceden nemli, ikinci dereceden mezotermal , yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
Sıcaklık	3.1	3.6	6.7	10.8	16	20.3	23.3	22.8	17.8	13	8.1	4.7	12.5
Sıc.İnd.	0.48	0.61	1.56	3.21	5.82	8.34	10.28	9.95	6.84	4.25	2.08	0.91	54.32
Pt.Etp.	7.52	9.20	21.22	40.37	68.52	94.42	113.67	110.40	79.10	51.81	27.40	13.17	636.79
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	6.38	7.71	21.86	44.81	84.39	117.22	143.39	130.27	82.27	49.74	22.98	10.78	721.78
Yağış	110	115	86	70	47	20	6	14	25	63	92	130	778
Brk. Su D	0	0	0	0	-37.39	-62.61	0	0	0	13.26	69.02	17.72	
Birik. Su	100	100	100	100	62.61	0	0	0	0	13.26	82.28	100	
Ger. Etr.	6.38	7.71	21.86	44.81	84.39	82.61	6.00	14.00	25.00	49.74	22.98	10.78	376.25
Eksik Su	0	0	0	0	0	34.60	137.39	116.27	57.27	0	0	0	345.53
Fazla Su	103.62	107.29	64.14	25.19	0	0	0	0	0	0	0	101.51	401.75
Akış	102.56	105.46	85.71	44.67	12.60	0	0	0	0	0	0	50.75	401.75
Nemlilik	16.24	13.91	2.93	0.56	-0.44	-0.83	-0.96	-0.89	-0.70	0.27	3.00	11.06	

Şekil 84: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait Thornthwaite fomülüne göre su bilançoları.



Tablo 51: Thornthwaite formülüne göre Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun 1960-1974 ve 1997-2011 periyotlarına ait su bilançosu.

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : C1 B'2 s2 b3.
Uşak (1960-1974), kurak ve az nemli, ikinci dereceden mezotermal , kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
Sıcaklık	2.4	3	6	10.8	15.5	19.6	22.9	22.8	18.7	12.8	8.4	4.5	12.3
Sıc.İnd.	0.33	0.46	1.32	3.21	5.55	7.91	10.01	9.95	7.37	4.15	2.19	0.85	53.30
Pt.Etp.	5.53	7.45	18.73	40.95	66.23	90.51	111.33	110.68	85.02	51.34	29.31	12.77	629.85
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düz PE	4.70	6.25	19.29	45.46	81.54	112.33	140.40	130.60	88.42	49.29	24.59	10.46	713.32
Yağış	75	75	63	49	46	31	15	10	17	30	44	98	553
Brk. Su D	0	0	0	0	-35.54	-64.46	0	0	0	0	19.41	80.59	
Birik. Su	100	100	100	100	64.46	0	0	0	0	0	19.41	100	
Ger. Etr.	4.70	6.25	19.29	45.46	81.54	95.46	15.00	10.00	17.00	30.00	24.59	10.46	359.74
Eksik Su	0	0	0	0	0	16.87	125.40	120.60	71.42	19.29	0	0	353.58
Fazla Su	70.30	68.75	43.71	3.54	0	0	0	0	0	0	0	6.95	193.26
Akış	38.63	69.53	56.23	23.63	1.77	0	0	0	0	0	0	3.48	193.26
Nemlilik	14.97	11.01	2.27	0.08	-0.44	-0.72	-0.89	-0.92	-0.81	-0.39	0.79	8.37	

Thornthwaite'a (1948) göre iklim tipi : C1 B'2 s2 b3.
Uşak (1997-2011), kurak ve az nemli, ikinci dereceden mezotermal , kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girer.

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	A	Yıllık
Sıcaklık	2.7	3.3	6.6	10.8	16.4	20.9	24.6	24.5	19.1	13.6	8.3	4.4	12.9
Sıc.İnd.	0.39	0.53	1.52	3.21	6.04	8.72	11.16	11.09	7.61	4.55	2.15	0.82	57.80
Pt.Etp.	5.51	7.30	19.27	38.41	68.96	96.86	121.71	121.01	85.38	53.05	26.56	10.92	654.94
En.D.Kat	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83	
Düz PE	4.68	6.12	19.85	42.64	84.91	120.22	153.49	142.80	88.79	50.93	22.28	8.94	745.64
Yağış	64	72	55	68	47	25	16	12	17	48	61	75	560
Brk. Su D	0	0	0	0	-37.91	-62.09	0	0	0	0	38.72	61.28	
Birik. Su	100	100	100	100	62.09	0	0	0	0	0	38.72	100	
Ger. Etr.	4.68	6.12	19.85	42.64	84.91	87.09	16.00	12.00	17.00	48.00	22.28	8.94	369.50
Eksik Su	0	0	0	0	0	33.12	137.49	130.80	71.79	2.93	0	0	376.14
Fazla Su	59.32	65.88	35.15	25.36	0	0	0	0	0	0	0	4.78	190.50
Akış	32.05	62.60	50.52	30.26	12.68	0	0	0	0	0	0	2.39	190.50
Nemlilik	12.69	10.76	1.77	0.59	-0.45	-0.79	-0.90	-0.92	-0.81	-0.06	1.74	7.39	

De Martonne ve Gottman (1942) formülüne göre Simav Meteoroloji İstasyonu 1960-1974 periyodunda nemli sınıfına dahilken, 1997-2011 periyodunda yarıkurak-nemli sınıfına dahil olmuştur. Geçmişten günümüze yağış değerlerindeki azalışa karşın ortalama sıcaklıklardaki artış Simav'ın son 15 yıllık değerlerinin yarıkurak-nemli sınıfına girmesine sebep olmuştur. Benzer dönüşüm aylık indis değerlerinde de olmuştur. De Martonne (1923) aylık kuraklık indisine göre Simav'da 1960-1974 periyodunda Haziran ayı yarıkurakken, 1997-2011 periyodunda kurak sınıfına dahil olmuştur. Böylece kurak ay süresi son 15 yıllık periyotta 3'e çıkmıştır. Ayrıca 1960-1974 periyodunda yarıkurak-nemli olan Ekim ayı 1997-2011 periyodunda nemli sınıfına dahil olarak, nemli ay sayısı son 15 yıllık periyotta 7'ye çıkmıştır (Tablo 52).

Tablo 52: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun De Martonne formülüne (1923) göre hesaplanmış aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne (1942) göre hesaplanmış yıllık indis değerleri.

Aylar	1960-1974				1997-2011				1960-2011			
	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf
O	128	2.2	126.2	Nemli	110	3.1	101.2	Nemli	126	2.42	122.1	Nemli
Ş	139	3.6	122.8	Nemli	115	3.6	101.7	Nemli	108	3.2	98.40	Nemli
M	110	6.1	82.1	Nemli	86	6.7	62.2	Nemli	87	6.2	64.9	Nemli
N	70	10.7	40.8	Nemli	70	10.8	40.7	Nemli	72	10.7	42.0	Nemli
M	52	15.5	24.7	Yarıkurak-Nemli	47	16.0	21.7	Yarıkurak-Nemli	49	15.4	23.2	Yarıkurak- Nemli
H	28	19.1	11.6	Yarıkurak	20	20.3	7.9	Kurak	27	19.4	11.3	Yarıkurak
T	17	21.7	6.6	Kurak	6	23.3	2.4	Kurak	12	21.9	4.5	Kurak
A	7	21.4	3.0	Kurak	14	22.8	5.1	Kurak	9	21.3	3.5	Kurak
E	23	17.4	10.4	Yarıkurak	25	17.8	11.1	Yarıkurak	24	17.3	10.8	Yarıkurak
Ek	43	12.3	23.6	Yarıkurak-Nemli	63	13.0	33.3	Nemli	49	12.3	26.5	Yarıkurak-Nemli
K	79	8.8	50.8	Nemli	92	8.1	61.1	Nemli	94	7.8	63.8	Nemli
A	195	4.7	160.1	Nemli	130	4.7	106.1	Nemli	158	4.3	132.6	Nemli
Yıllık	896	12.0	21.9	Nemli	783	12.5	18.6	Yarıkurak-Nemli	819	11.9	20.5	Nemli

De Martonne ve Gottman (1942) formülüne göre Uşak Meteoroloji İstasyonu 1960-1974 ve 1997-2011 periyodunda yarıkurak-nemli sınıfına dahildir. Uşak'ın yıllık indis sınıfında bir değişiklik olmamasına karşın aylık indis değerlerinde geçmişten günümüze oldukça farklılaşma söz konusudur. De Martonne (1923) aylık kuraklık indisine göre Uşak'da 1960-1974 periyodunda Nisan ve Ekim ayı yarıkurak-nemliyken, 1997-2011 periyodunda nemli sınıfına dahil olmuştur. Böylece nemli ay sayısı 4'ten 6'ya çıkmıştır. Ayrıca 1960-1974 periyodunda yarıkurak olan Haziran ayı 1997-2011 periyodunda kurak sınıfına dahil olarak, kurak ay sayısı son 15 yıllık periyotta 4'e çıkmıştır. 1960-1974 periyodunda yarıkurak olan Ekim ayı 1997-2011 periyodunda yarıkurak-nemli sınıfına dahil olmuştur (Tablo 53). Her iki istasyonda da yılın sıcak dönemine rastlayan kurak ay sayısının artması yaz kuraklığının araştırma alanında daha etkili yaşanmasına sebep olmuştur. Kurak mevsimi izleyen dönemin daha nemli şartlara dönüşmesi erozyon duyarlılığını arttırıcı yöndedir.

Tablo 53: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun De Martonne formülüne (1923) göre hesaplanmış aylık indis değerleri ile De Martonne ve Gottman formülüne (1942) göre hesaplanmış yıllık indis değerleri.

Aylar	1960-1974				1997-2011				1960-2011			
	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Sıc.	İndis	Sınıf
O	75	2.4	72.9	Nemli	64	2.7	61.2	Nemli	72	2.5	69.4	Nemli
Ş	75	3.0	70.0	Nemli	72	3.3	64.9	Nemli	65	3.6	59.7	Nemli
M	63	6.0	47.3	Nemli	55	6.6	40.2	Nemli	56	6.4	41.3	Nemli
N	49	10.8	28.8	Yarıkurak-Nemli	68	10.8	39.2	Nemli	56	10.8	32.5	Nemli
M	46	15.5	21.9	Yarıkurak-Nemli	47	16.4	21.6	Yarıkurak-Nemli	46	15.8	21.8	Yarıkurak-Nemli
H	31	19.6	12.8	Yarıkurak	24	20.9	9.7	Kurak	26	20.3	10.6	Yarıkurak
T	15	22.9	5.6	Kurak	15	24.6	5.5	Kurak	16	23.7	5.8	Kurak
A	10	22.8	3.9	Kurak	12	24.5	4.2	Kurak	9	23.5	3.5	Kurak
E	17	18.7	7.3	Kurak	17	19.1	7.0	Kurak	17	18.9	7.2	Kurak
Ek	30	12.8	16.0	Yarıkurak	48	13.6	24.8	Yarıkurak-Nemli	41	13.4	21.5	Yarıkurak-Nemli
K	45	8.4	29.3	Yarıkurak-Nemli	61	8.3	40.3	Nemli	58	7.9	39.0	Nemli
A	98	4.5	81.4	Nemli	75	4.4	63.4	Nemli	83	4.1	70.9	Nemli
Yıllık	559	12.3	14.5	Yarıkurak-Nemli	563	12.9	14.4	Yarıkurak-Nemli	550	12.5	13.9	Yarıkurak-Nemli

Yağışların sıcaklık ile olan ilişkisinin yıllar arasındaki değişimini daha iyi yansıtmak için Erinç (1965)'in yağış etkinliği indisi Simav ve Uşak Meteoroloji İstasyonlarına 1960-1974 ve 1997-2011 periyotları için uygulanmıştır. Bu formüle göre hazırlanan Tablo 54-55'de görülen en belirgin özellik her iki istasyonun yıllık durumları tutarlı olsa da Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun aylık ve mevsimlik durumlarında 15 yıllık kısa dönemde bile önemli değişimler olduğudur. Simav istasyonunda indis değerinin sınıf aralığını değiştirecek kadar bir değişim olmamakla birlikte indis değerlerindeki farklılaşma dikkat çekicidir. Uşak Meteoroloji İstasyonu'nda yağış etkinliği konusunda en tutarlı mevsimler kış ve yaz mevsimleri olmakla birlikte ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde 15 yıllık kısa periyotta bile önemli değişimler olmuştur. Uşak istasyonunda 1960-1974 döneminde Mart ayı çok nemli, Nisan ayı yarı nemliyken, 1997-2011 döneminde nemli aylar olarak görülmektedir. Diğer bir geçiş mevsimi olan sonbaharda ise 1960-1974 döneminde Eylül ayı kurak, Ekim ayı yarı kurak, Kasım ayı yarı nemliyken; 1997-2011 döneminde Eylül ayı tam kurak, Ekim ayı yarı nemli, Kasım ayı nemli aylar olarak görülmektedir. Bu da araştırma alanının güneyinde kuraklığın yaz aylarında çok daha etkili bir şekilde meydana geldiğini göstermektedir. Haziran'da başlayan kurak dönem onu izleyen 3 ay boyunca tam kurak şeklinde sürmüştür (Tablo 54-55).

Tablo 54: Simav Meteoroloji İstasyonu'nun Erinç'in yağış etkinlik indisine göre (kurak-nemli aylar) sınıflandırılması

Aylar	1960-1974				1997-2011				1960-2011			
	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf
O	128	6.6	231.5	Çok nemli	110	7.8	170.7	Çok nemli	126	7.1	214.4	Çok nemli
Ş	139	8.1	206.6	Çok nemli	115	8.7	159.7	Çok nemli	108	8.1	159.8	Çok nemli
M	110	11.2	118.2	Çok nemli	86	12.7	82.0	Çok nemli	87	11.8	88.8	Çok nemli
N	70	16.3	51.9	Nemli	70	17.0	50.0	Nemli	72	16.6	52.3	Nemli
M	52	21.5	29.4	Yarı nemli	47	23.1	24.4	Yarı nemli	49	21.9	26.8	Yarı nemli
H	28	25.6	13.3	Kurak	20	27.4	8.8	Kurak	27	26.2	12.7	Kurak
T	17	28.8	7.3	Tam Kurak	6	31.2	2.6	Tam Kurak	12	29.4	4.9	Tam Kurak
A	7	29.2	3.2	Tam Kurak	14	31.0	5.4	Tam Kurak	9	29.6	3.7	Tam Kurak
E	23	25.5	11.2	Kurak	25	26.2	11.8	Kurak	24	25.8	11.4	Kurak
Ek	43	19.9	26.5	Yarı nemli	63	20.5	37.4	Yarı nemli	49	20.2	29.3	Yarı nemli
K	79	14.7	65.0	Çok nemli	92	14.9	74.1	Çok nemli	94	14.2	80.0	Çok nemli
A	195	8.7	270.8	Çok nemli	130	9.4	166.9	Çok nemli	158	8.8	215.6	Çok nemli
Yıllık	896	17.9	50.0	Nemli	783	19.146	40.9	Nemli	819	18.3	44.7	Nemli

Tablo 55: Uşak Meteoroloji İstasyonu'nun Erinç'in yağış etkinlik indisine göre (kurak-nemli aylar) sınıflandırılması

Aylar	1960-1974				1997-2011				1960-2011			
	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf	Yağış	Ort.Max. Sıc.	İndis	Sınıf
O	75	6.8	133.1	Çok nemli	64	7.6	102.8	Çok nemli	72	7.01	122.1	Çok nemli
Ş	75	8.0	114.2	Çok nemli	72	8.2	105.5	Çok nemli	65	8.1	97.0	Çok nemli
M	63	11.5	65.7	Çok nemli	55	12.3	54.1	Nemli	56	11.9	56.5	Çok nemli
N	49	16.3	36.7	Yarı nemli	68	16.4	49.8	Nemli	56	16.5	40.9	Nemli
M	46	21.6	25.9	Yarı nemli	47	22.6	25.3	Yarı nemli	46	21.8	25.7	Yarı nemli
H	31	25.8	14.7	Kurak	24	27.2	11.0	Kurak	26	26.6	12.1	Kurak
T	15	29.6	6.3	Tam Kurak	15	31.5	6.1	Tam Kurak	16	30.4	6.5	Tam Kurak
A	10	29.9	4.2	Tam Kurak	12	31.5	4.6	Tam Kurak	9	30.5	3.9	Tam Kurak
E	17	25.9	8.1	Kurak	17	26.2	7.8	Tam Kurak	17	26.2	7.9	Tam Kurak
Ek	30	20.1	18.2	Yarı Kurak	48	20.3	28.7	Yarı nemli	41	20.3	24.7	Yarı nemli
K	45	14.5	37.1	Yarı nemli	61	14.6	50.2	Nemli	58	14.1	49.7	Nemli
A	98	9.3	127.0	Çok nemli	75	9.2	99.4	Çok nemli	83	8.9	111.8	Çok nemli
Yıllık	559	18.3	30.6	Yarı nemli	563	18.9	29.7	Yarı nemli	550	18.5	29.7	Yarı nemli

3.2. Trend Analizleri

Araştırmada kullanılan Simav (1960-2011), Uşak (1960-2011), Gediz (1972-2011) ve Demirci (1992-2011) Meteoroloji İstasyonları'na doğrusal trend ve Mann-Kendall analizi uygulanmıştır. Buradaki amaç aşındırıcı güç indisi üretilirken kullanılan temel iklim parametreleri olan sıcaklık ve yağış verilerinin yıllar arasında ne şekilde eğilim gösterdiğini tespit etmektedir. Her ne kadar gelecek yıllarla ilgili modelleme çalışmalarında senaryo verileri kullanılsa da araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının rasatlarının gösterdiği eğilim de geçmişten günümüze kadar ölçülen verilerden elde edildiği için önemlidir.

Trend, bir seride mevcut olan değerlerin, uzun bir zaman devresi içerisinde gösterdikleri artış veya azalışın istikametini belirtir (Türkbal, 1981). Regresyon analizlerinin esası, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkilerin şeklinin ve yönünün ölçülmesine dayanır. Değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal olabileceği gibi doğrusal olmayan şekillerde de kendini gösterebilir (Çakıcı, 1991). Verilerin normal dağıldığını varsayan doğrusal veya lineer regresyon analizi de X eksenindeki bağımlı değişken ile Y eksenindeki bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ve doğrusal bir eğilimin olup olmadığını analiz eden parametrik bir testir (Karabulut ve Cosun, 2009). Simav, Uşak, Gediz ve Demirci Meteoroloji İstasyonlarına uygulanan doğrusal trend analizine göre yıllık ortalama sıcaklıklarda uzun dönemde dikkate değer bir artış eğilimi vardır. İstasyonların rasat süresi aynı olmamakla birlikte doğrusal trend analizine göre Simav istasyonunda yıllık ortalama sıcaklıklarda 0.007

^{o}C/yıl, Uşak'ta 0.014 ^{o}C/yıl, Gediz'de 0.035 ^{o}C/yıl, Demirci'de 0.069 ^{o}C/yıl sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Buna göre yıllık ortalama sıcaklıklarda Simav'da 51 yılda 0.36 ^{o}C, Uşak'ta 51 yılda 0.71 ^{o}C, Gediz'de 39 yılda 1.37 ^{o}C, Demirci'de 19 yılda 1.31 ^{o}C bir artış gerçekleşmiştir (Şekil 85).

Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık toplam yağış miktarına uygulanan doğrusal trend analizleri, Gediz ve Demirci'nin yıllık toplam yağış miktarlarında uzun dönemler boyunca çok dikkat çekici değişimler olmadığını işaret etmektedir. Simav ve Uşak'ta ise yıllık toplam yağışlardaki azalış trendi oldukça belirgindir. Nitekim Simav'da yıllık toplam yağışların -6 mm/yıl, Uşak'ta ise -1.1 mm/yıl ile azalış eğilimde olduğu dikkat çekmektedir. Bu da 51 yıllık sürede yıllık toplam yağışların Uşak 58 mm azalması anlamına gelmektedir. Ayrıca Gediz'de 39 yıllık sürede 4 mm'lik yağış artışı, Demirci'de19 yıllık sürede 23 mm'lik yağış artışı olmuştur (Şekil 86).

Mann-Kendall trend testi (Mann, 1945; Kendall, 1975), bir zaman serisinin sıralamaları ve zaman sıraları arasındaki korelasyona dayanmaktadır. Bu trend testi zaman serilerindeki önemli eğilimleri tespit etmek için yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan (non-parametrik) testlerden biridir. Gerçek değerlerinden ziyade gözlemlerin sıralamasının bir fonksiyonu olan Mann-Kendall trend testi, verilerin gerçek dağılımından etkilenmez ve aykırı değerlere karşı daha az duyarlıdır. Diğer taraftan, parametrik trend testleri, daha güçlü olmasına rağmen, verilerin normal olarak dağılmasını gerektirir ve aykırı değerlere karşı daha duyarlıdır. Bu sebeple, Mann-Kendall testi ve diğer parametrik olmayan eğilim testleri, genellikle eğrili olan ve aykırı değerler içeren hidrolojik ve klimatik zaman serilerindeki eğilimleri tespit etmek için daha uygundur (Hamed, 2008).

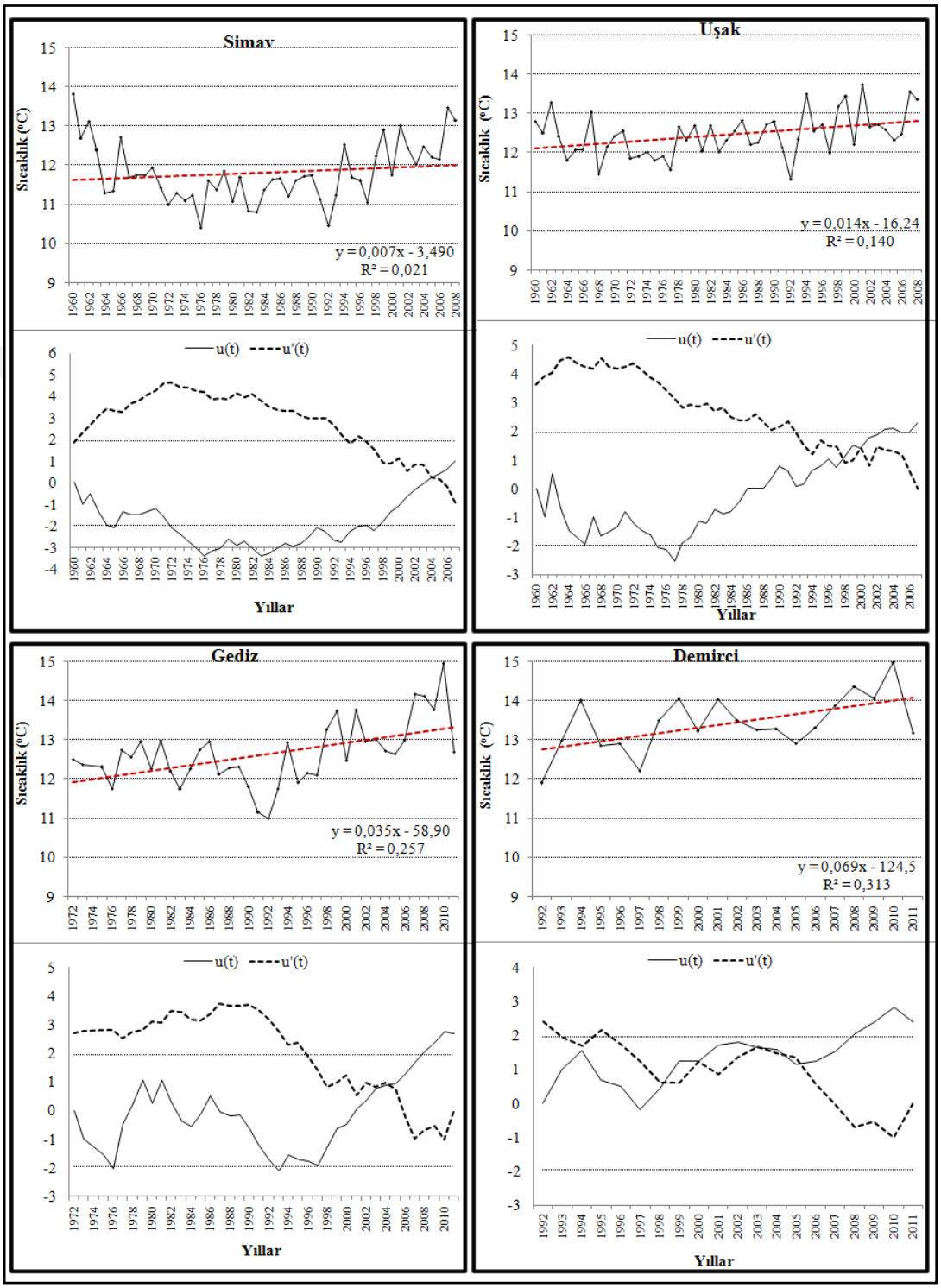
Hesaplanan u(t) değeri ±1.96 kritik değerini aşıyorsa % 95, ±2.58 değerini aşıyorsa % 99 güven aralığında anlamlı sonuçlara ulaşıldığını işaret etmektedir (Kum, 2011). Yıllık ortalama sıcaklıklarda Mann-Kendall trend analizine göre Uşak, Gediz ve Demirci istasyonlarında % 95 güven aralığında artış eğilimi tespit edilmiştir. Simav istasyounda ise % 95 güven aralığında artış veya azalış eğilimi olmadığı sonucu elde edilmiştir. Dolayısıyla yıllık ortalama sıcaklıkların Mann-Kendall analizi sonucunda Simav istasyonu hariç diğer istasyonlarda kuvvetli artış

eğilimleri görülmektedir. Simav'da ise yıllık ortalama sıcaklılardaki artış trendi pozitif olmakla birlikte anlamlı değerler göstermemektedir (Şekil 85).

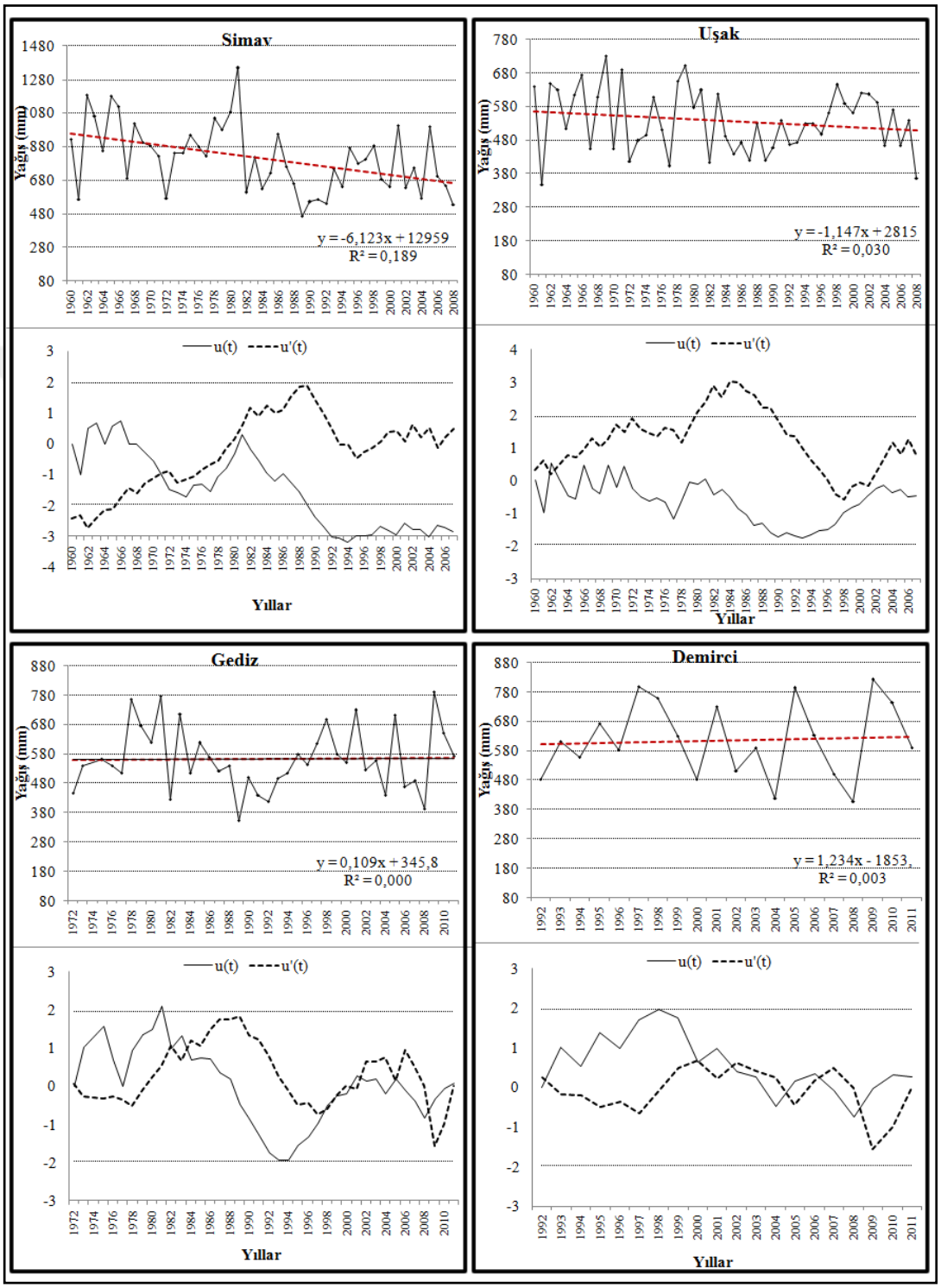
İstasyonların yıllık toplam yağışlarının Mann-Kendall trend analizinde ise istatistiksel olarak anlamlı artış veya azalış trendine rastlanmamıştır. Simav ve Uşak istasyonlarında yıllık toplam yağışlar negatif yönlü eğilim göstermektedir. Fakat bu değerler Mann-Kendall analizine göre istatistiksel olarak anlamlı değildir. Gediz istasyonunda çok önemli bir değişim söz konusu değilken, Demirci istasyonunda az da olsa bir artış trendi vardır (Şekil 86).

Araştırma alanının içinde bulunduğu Ege Bölgesi'nin yağış miktarlarıyla ilgili yapılan trend analizlerinde de istasyonlar arasında farklılıklar olmakla birlikte bu bölgede yağışlarda genel anlamda bir azalma eğilimi ortaya çıkmıştır (Bahadır, 2011). Demir vd., (2008) de yaptıkları çalışmada araştırma alanının da dahil edilebileceği Akdeniz geçiş alanındaki sahalarda yağışların azalma eğiliminde olduğunu vurgulamışlardır. Özgürel ve Koçman (1994) Ege Bölgesi'ndeki uzun yıllar kayıt altına alınan yağış verilerini analiz etmiş, bu bölgedeki yıllık ve aylık yağışların 1989 ve sonraki yıllarda normalin çok altında olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca 1970'li yıllarla birlikte Subtropikal kuşak yağışlarındaki ani azalmaların Doğu Akdeniz Havzası'nda ve Türkiye'de etkili olmaya başladığı belirtilmiş, 1970'lerin başı 1990'ların ortasındaki 20-25 yıldaki yağışlardaki azalma eğilimlerinin ve kuraklık olaylarının en fazla Ege, Akdeniz, Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri etkilediği ortaya konulmuştur (Türkeş, 1996; 1998; 2002).

Şekil 85: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama sıcaklıklarının doğrusal trend ve Mann-Kendall grafikleri.

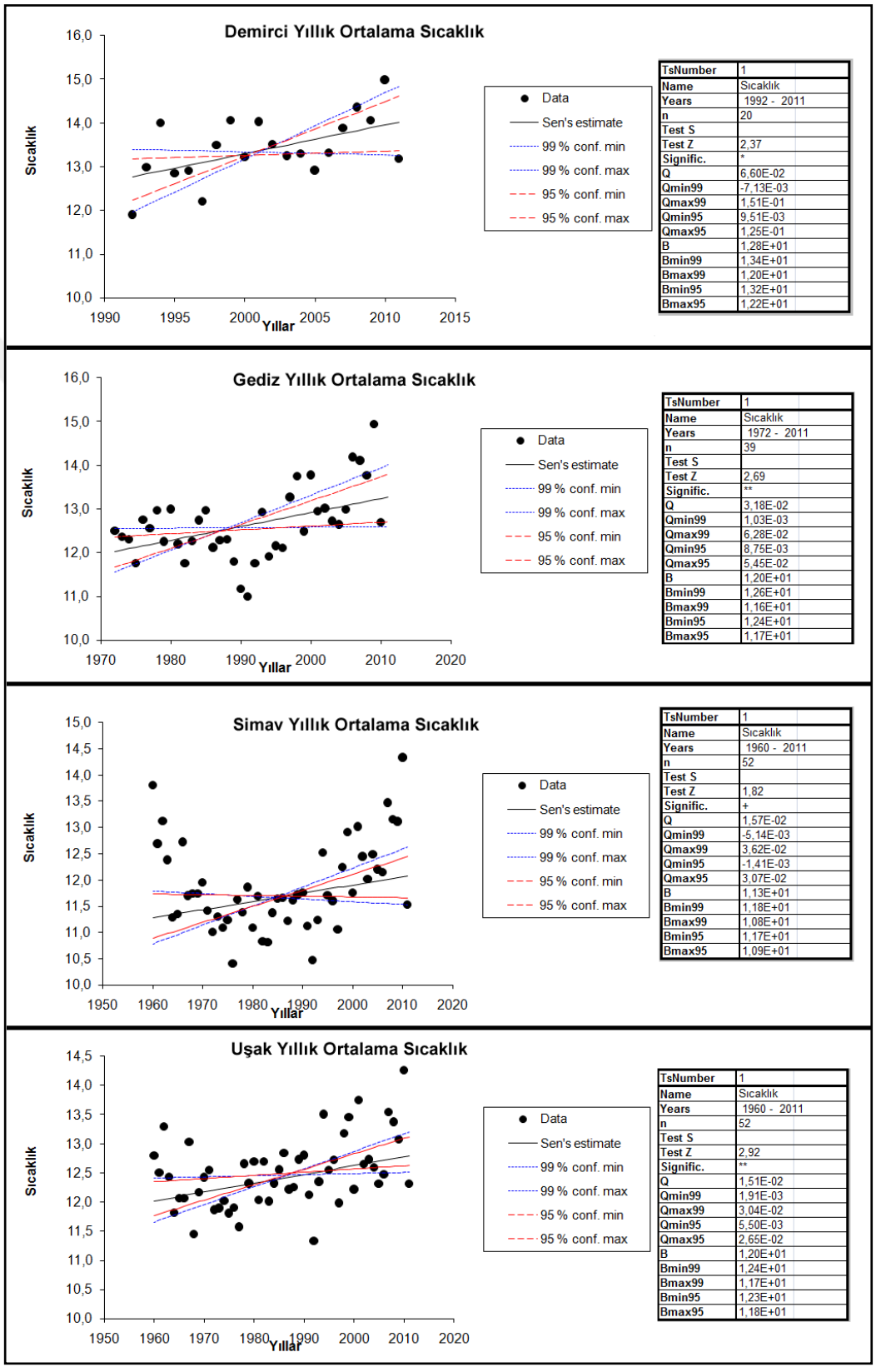


Şekil 86: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yıllık toplam yağışların doğrusal trend ve Mann-Kendall grafikleri.

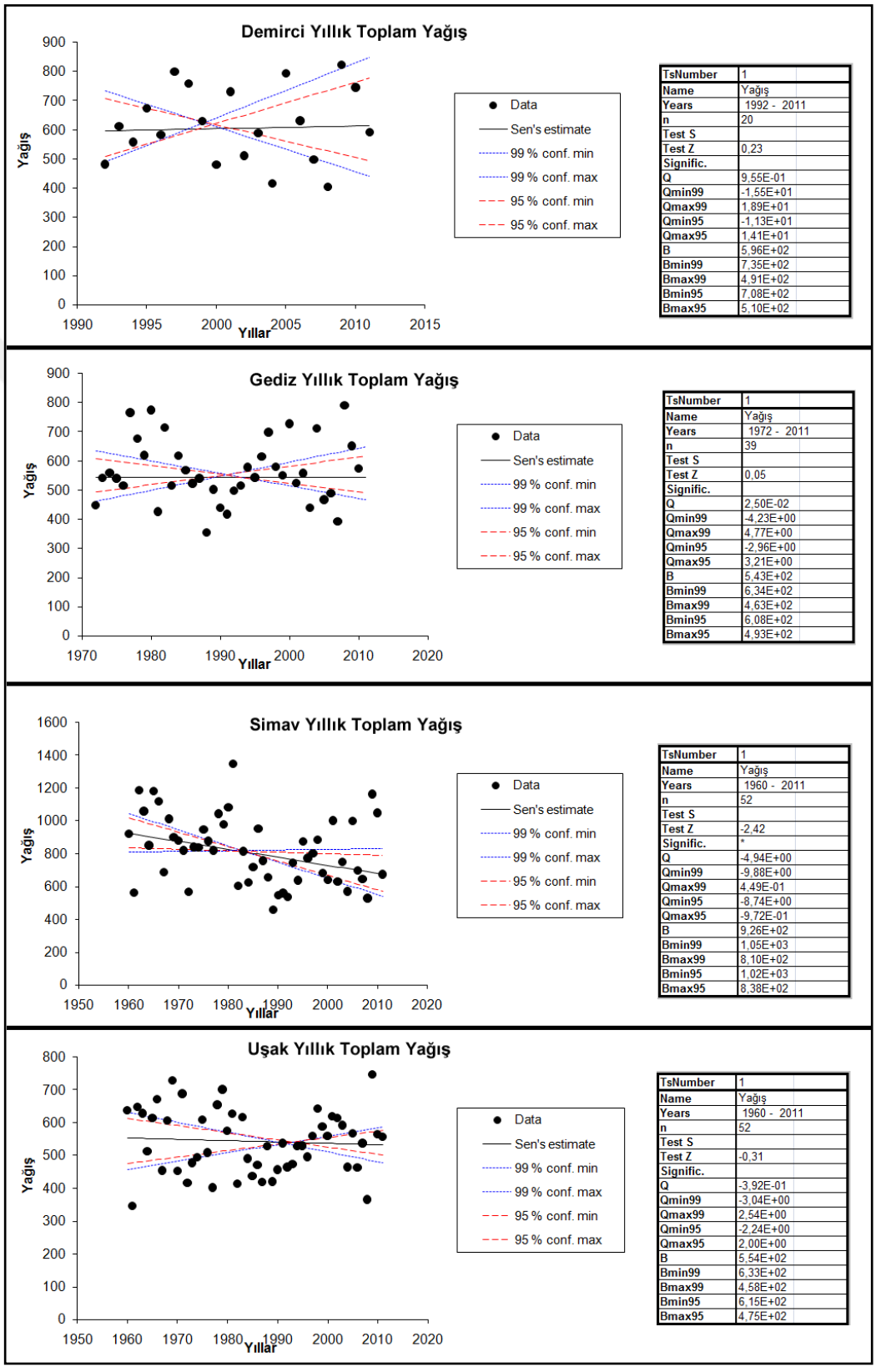


Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü tarafından ücretsiz olarak sunulan MAKESENS (Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates) excel uygulaması meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin zaman içinde gösterdikleri eğilimlerin tespit edilmesinde araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Sarkar ve Ali, 2009; Ali, vd., 2012; Rahman, vd., 2016; Turoğlu, 2016). MAKESENS iki tür istatistiksel analiz yapmaktadır. İlk olarak parametrik olmayan Mann-Kendall trend testi ile serideki azalış ya da artış trendinin varlığı, ikinci olarak parametrik olmayan Sen's metodu ile doğrusal trendin ölçüsü tahmin edilir (Gilbert, 1987). Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının rasat süreleri farklı olmakla birlikte MAKESENS trend analizine göre bütün istasyonların yıllık ortalama sıcaklıklarında artış trendi vardır. Uşak (Test Z: 2.92) ve Gediz (Test Z: 2.69) istasyonlarındaki yıllık ortalama sıcaklıkların artış trendi daha fazla iken, Demirci (Test Z: 2.37) ve Simav (Test: 1.82) istasyonlarındaki artış trendi nispeten daha azdır (Şekil 87). Yıllık toplam yağışların MAKESENS analizine göre ise Simav istasyonunda yıllık toplam yağışlarda önemli bir azalış trendi vardır (Test Z: -2.42). Uşak istasyonunda da az da olsa bir azalış trendi vardır (Test Z: -0.31). Demirci (Test Z: 0.23) ve Gediz (Test Z: 0.05) istasyonlarında ise yıllık toplam yağışlarda önemli bir değişiklik olmamıştır (Şekil 88).

Şekil 87: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarında yıllık ortalama sıcaklığın MAKESENS trend analizi.



Şekil 88: Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarında yıllık toplam yağışın MAKESENS trend analizi.



3.3. Küresel İklim Modeli Seçimi ve İklim Modelinin Doğruluk Analizi

Bu tez çalışmasında IPCC'nin (Intergovernmental Panel on Climate Change) 5.Değerlendirme Raporu'nda (AR5) iklim senaryolarından RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile üretilen HadGEM2-ES küresel iklim modeli çıktıları kullanılmıştır. HadGEM2-ES modelinin tercih edilmesinin sebebi bu modelin Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sunulan 3 küresel iklim modelinin içerisinde çözünürlüğü en yüksek olan model olmasıdır (Tablo 56). Ayrıca MGM'nin 2013 ve 2015 raporunda da vurgulandığı üzere yapılan araştırmalar ve karşılaştırmalar HadGEM2-ES'in ülkemiz ve bölgesi için en uygun sonuçları üreten küresel iklim modellerinden birisi olduğunu ortaya koymaktadır. MGM, 2013 raporunda belirtildiği üzere Türkiye için, HadGEM2-ES küresel modelinin verileri ile üretilen, 1971-2000 bölgesel iklim projeksiyonu sonuçları dünyaca kabul gören bazı küresel gözlem veri setleri ile sınanmıştır. Buna göre, sıcaklıklarda özellikle yaz ve kış sıcaklıklarında ciddi bir uygunluk göze çarpmaktadır. Sonuçta 1971-2000 referans dönemi için 3 küresel iklim modelinin ürettiği verilerle gözlem verileri kıyaslandığında, ortalama sıcaklık gözlem değerleri ile en yüksek korelasyonu gösteren model HadGEM2-ES'dir (MGM, 2013-2015; Şekil 89). Bütün bu sebeplerle bu tez çalışmasında uluslararası çalışmalarda da en çok tercih edilen modellerden birisi olan HadGEM2-ES küresel iklim modelinin kullanılması tercih edilmiştir.

Şekil 89: 1971-2000 referans periyodu mevsimlik ortalama sıcaklıklarının gözlem verileri ile karşılaştırılması.

	Sıcaklık (°C)				Yağış (mm/gün)				
	RCM	CRU	UDEL	RAW	RCM	CRU	UDEL	UDEL-C	RAW
KIŞ	0.436	0.561	0.258	1.762	2.159	2.126	2.064	2.452	2.764
İLKBAHAR	8.294	9.712	9.503	9.867	2.622	1.974	1.881	2.101	2.874
YAZ	20.792	20.859	20.834	20.763	0.947	0.686	0.653	0.733	0.952
SONBAHAR	10.412	12.480	12.177	12.349	1.830	1.333	1.347	1.497	1.858
ORTALAMA	9.987	10.906	10.694	11.190	1.886	1.531	1.487	1.697	2.107

Kaynak: MGM, 2013

Tablo 56: Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kullanılan küresel iklim modellerinin özellikleri.

Seçilen Küresel İklim Modeli	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	GFDL-ESM2M
Küresel İklim Modeli Çözünürlüğü (km)	112.5	210	220
Kaynak Enstitü	Hadley Center/İngiltere	Max Planck/Almanya	Noaa-GFD Laboratuvarı/ Amerika
Seçilen Senaryolar	RCP4.5-RCP8.5	RCP4.5-RCP8.5	RCP4.5-RCP8.5
Referans Periyodu	1971-2000	1971-2000	1971-2000
Projeksiyon Periyodu	2016-2099	2016-2099	2016-2099
Kullanılan Bölgesel İklim Modeli	RegCM4.3.4	RegCM4.3.4	RegCM4.3.4
Üretilen Projeksiyonların Çözünürlüğü (km)	20	20	20
Çalışmanın Son Durumu	Tamamlandı	Tamamlandı	Tamamlandı

Kaynak: MGM, 2015

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2013), yayınladığı raporda HadGEM2-ES küresel iklim modeliyle ilgili şu teknik detayları vermiştir; "HadGEM2; İngiltere Meteoroloji Servisi'ne bağlı bir araştırma kuruluşu olan Hadley Centre tarafından geliştirilen 2. nesil küresel bir modeldir ve Global Environment Model 2 anlamına gelmektedir. Bu modelin benzer fiziksel özelliklere sahip fakat farklı konfigürasyonda birçok sürümü bulunmaktadır. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus konfigürasyonu ve içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının bulunduğu bir yer-sistem konfigürasyonunu içermektedir. HadGEM2 serisi IPCC 5. Raporu (AR5) hazırlıklarında kullanılan modellerden biridir. Standart atmosfer birleşimi, 40 km'ye kadar yükselen 38 seviyeden oluşmaktadır. Bu katman yatay çözünürlüğü, enlemi 1,25 derece ve boylamı 1,875 derece olan, 192x145 grid hücresi ile küresel olarak temsil edilmektedir. Bu çözünürlük değerleri yaklaşık olarak Ekvator'da 208x139km, 55. enlemlerde 120x139km'dir. Genişletilmiş dikey yükseklik, stratosferin özelliklerini ve küresel iklime etkisinin incelenmesi amacı ile 60 seviye ile dikeyde 85.km'ye kadar çıkabilmektedir. Okyanus bileşeni ise, kutuplar ile 30. enlemler arasında, boylamsal çözünürlüğü 1 derece ve enlemsel çözünürlüğü 1 derece olan, toplamda 360x216 grid hücresinden oluşmaktadır. Dikeyde ise eşit olmayan 40 seviyeden (yüzeyde çözünürlüğü 10 metreye kadar ulaşabilen) oluşmaktadır. HadGEM2 serisinde HadGEM2-A, HadGEM2-O, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-

CCS, HadGEM2-ES versiyonları bulunmaktadır." (MGM, 2013, 21-22). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün çalışmasında ve dolayısıyla bu tez çalışmasında HadGEM2 serisinin en kapsamlı sürümü olan HadGEM2-ES'in verileri kullanılmıştır (MGM, 2013).

2007 yılında IPCC tarafından tertiplenen toplantıda, IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu'nda (AR5) iklim değişikliği senaryolarında kullanılmak için yeni emisyon/konsantrasyon senaryo seti hazırlanması konusunda karar alınmıştır. Bu karar doğrultusunda, özellikleri Tablo 57'de sunulan dört adet Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP: Representative Concentration Pathways) belirlenmiştir (Demir vd., 2013). Meteoroloji Genel Müdürlüğü bu Temsili Konsantrasyon Rotaları'ndan (RCP), Türkiye ve çevresi için geleceğe yönelik iklim projeksiyonu çalışmalarında kullanılmak üzere diğer ülkeler tarafından da sıklıkla seçilen RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarını tercih etmiştir (Gürkan, 2015). Bu tez çalışmasında MGM'den temin edilen her iki senaryoya göre araştırma alanı için projeksiyonlar üretilerek hem mutedil hem de kötümser senaryolara göre gelecekteki durum ortaya konulmaya çalışılmıştır.

MGM, 2013 tarafından "kötümser" olarak nitelendirilen RCP8.5 diğer senaryolara göre en yüksek radyatif zorlama ve konsantrasyon öngörüsü olan senaryodur. Diğer bir deyişle şu anki şartlara göre gelecek dönemde küresel anlamda ön görülen en kötümser senaryodur. RCP8.5 senaryosuna göre radyatif zorlamanın 2100 yılında 8.5 w/m^2'ye ulaşması ve 2100 sonrası da artmaya devam etmesi öngörülmektedir. MGM, 2013 tarafından "mutedil" olarak nitelendirilen RCP4.5 senaryosu ise nispeten daha iyimser, ılımlı bir senaryo olarak ön plana çıkmıştır. Bu senaryoya göre radyatif zorlamanın yüzyılın son çeyreğinde 4.5 w/m^2'ye ulaşması ve bu seviyede sabit kalması tahmin edilmektedir (Tablo 57; Gürkan, 2015; MGM, 2013).

Tablo 57: Temsili Konsatrasyon Rotaları.

RCPs	Radyatif Zorlama	Zaman	Radyatif Zorlama Değişimi	Karbondioksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm)	Emisyonlar (KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m2	2100'de	Yükselme	~1370 ppm 2100'de	2100 e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	~6.0 W/m2	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 850 ppm 2100'de	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m2	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 650 ppm 2100'de	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD*	~3.0 W/m2	2100 öncesi	3.0 W/m2'de zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş 2100'de	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

Kaynak: Demir vd., 2013

İklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkilerinin modellenmesi için HadGEM2-ES küresel iklim modeli RCP8.5 ve RCP4.5 senaryolarının 1971-2000 referans dönemi ve 2016-2099 yıllarını kapsayan aylık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve ortalama yıllık toplam yağışları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. RCP8.5 ve RCP4.5 senaryoları için HadGEM2-ES küresel iklim modeli çıktıları kullanılarak Selendi Çayı Havzasını da kapsayan bir alanda (37°- 40° kuzey enlemleri, 26° - 30° doğu boylamları) 2016-2099 yıllarının yağış ve sıcaklık projeksiyonları üretilmiştir. İklim değişikliğinin araştırma alanını kapsayan bölgedeki sonuçlarını ortaya koyabilmek için 1971-2000 referans dönemi, 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotları ve 2016-2099 genel periyodu kullanılmıştır. Dolayısıyla dört dönemin 2 ayrı senaryoya (RCP8.5 ve RCP4.5) göre analizleri yapılmıştır.

Gelecek dönem model verisinden 1971-2000 referans dönemi, 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 gelecek dönem periyotları ve 2016-2099 genel periyodu için aylık ve yıllık ortalama sıcaklık ve yağışlar hesaplanarak çalışma alanını kapsayan (37°-40° Kuzey enlemleri, 26°-30° Doğu boylamları) bölge için, 20 km'lik gridler kullanılarak haritalanmıştır. Yağış haritaları için güncel yağış haritalarını oluşturmada da kullanılan IDW enterpolasyon, sıcaklık haritaları için ise spline enterpolasyon kullanılmıştır. Öncelikle 1971-2000 dönemini kapsayan referans verisiyle gözlem istasyonlarının verisi doğrulama amacıyla analiz edilmiştir. Sonra 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 ve 2016-2099 periyodu ile referans dönemleri

karşılaştırılmıştır. Gelecek dönem periyotları ile referans dönem arasındaki farklar alınarak gelecek dönemde gerçekleşmesi öngörülen değişimler ortaya konulmuştur.

İklim modelleri atmosfer, okyanuslar, yeryüzeyi, buzullar ve Güneş arasındaki etkileşimlerin matematiksel gösterimleridir. Oldukça karmaşık olan bu işin belli hata payları içermesi kaçınılmazdır (Web 3). Bu hata paylarını ortaya koyabilmek için konuyla ilgili literatürde yaygın olarak kullanılan ortalama hata (mean error, ME) ve kök hata kareler ortalaması (root mean square error, RMSE) değerleri hesaplanmıştır (Sonuç vd., 2012; Şen, 2007). İklim modelinin doğruluk analizi amacıyla 1971-2000 dönemine ait HadGEM2-ES model referans verisi ve Simav, Uşak, Gediz Meteoroloji İstasyonları'nın ortalama yağış ve sıcaklık verilerinden yararlanılmıştır. Sonuçlar ortalama hata değeri (ME), en küçük hata değeri (RMSE) olarak hesaplanmış ve grafik olarak da sunulmuştur. Böylece modelin hata payı sayısal olarak ortaya konulmuştur.

Ortalama hata (ME), tahminler ve doğrulama değerleri arasındaki sapmaların ortalama değerini ifade eder ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır. Formüldeki ***n:*** Gözlem sayısı, $\boldsymbol{X_{model}}$ **:** Model tahmin değeri, $\boldsymbol{X_{gözlem}}$**:** Meteoroloji istasyonu gözlem değeri temsil eder. Ortalama hata değerinin 0 olması model tahmininin yüzde yüz doğru olduğunu, meteoroloji istasyonu gözlem değerleriyle iklim modeli tahmin değerlerinin arasında mükemmel bir uyum olduğu anlamına gelir (ECMWF, 2005; JMA, 2013)

$$ME = (1/n)\Sigma(X_{model}-X_{gözlem})$$

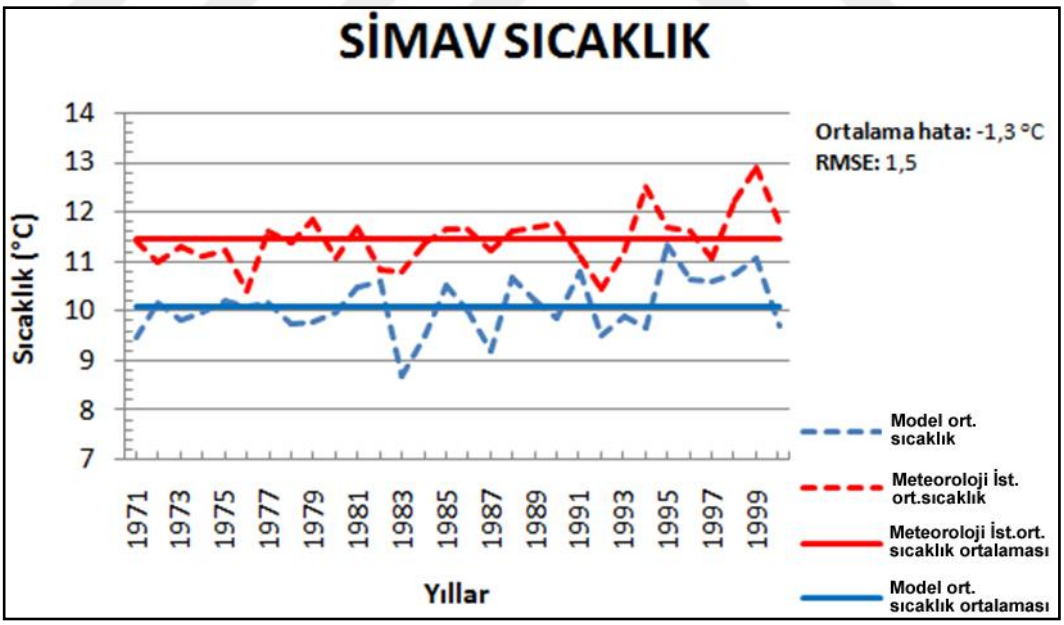
Kök hata kareler ortalaması (RMSE), iklim modeli tahminlerinin doğruluğunu göstermek için sıklıkla kullanılan bir diğer yöntemdir ve aşağıda verilen formül ile hesaplanır. RMSE hata karelerini dikkate alması nedeniyle büyük tahmin hatalarına karşı ortalama hataya göre daha duyarlıdır. RMSE sıfıra yaklaşırsa, iklim modeli tahminleri meteoroloji istasyonu gözlem değerlerine daha yakın demektir. Mükemmel tahmin için RMSE değeri sıfıra eşit olmalıdır (ECMWF, 2005; JMA, 2013).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(X_{model}-X_{gözlem})^2}$$

3.3.1. Sıcaklık Doğruluk Analizi

Simav Meteoroloji İstasyonu sıcaklık gözlem verilerinin HadGEM2-ES modelinin referans dönem çalıştırılmasından elde edilen sıcaklık değerleriyle kıyaslanmasında ortalama hata değeri (ME) -1.3, en küçük kareler hata değeri (RMSE) 1.5 hesaplanmıştır. Şekil 90'da gösterildiği gibi model gözlem değerlerinden ortalama olarak 1.3 ^{o}C daha düşük sıcaklık kestiriminde (soğuk bias) bulunmaktadır. Yıllık sıcaklık değerlerinin sıcaklık eğrilerinde görüldüğü gibi genel olarak model gözlem verileriyle aynı desene sahip olduğu (gözlem verisinin artarken model verisinin artıp, gözlem verisinin düşerken model verisinin de düşmesi) görülmektedir. Yıllık bazda modelle gözlem değerleri arasında en büyük fark 2.8 (-) ^{o}C ile 1994 yılında, en düşük fark ise 0.2 (-) ^{o}C ile 1982 yılında olduğu belirlenmiştir.

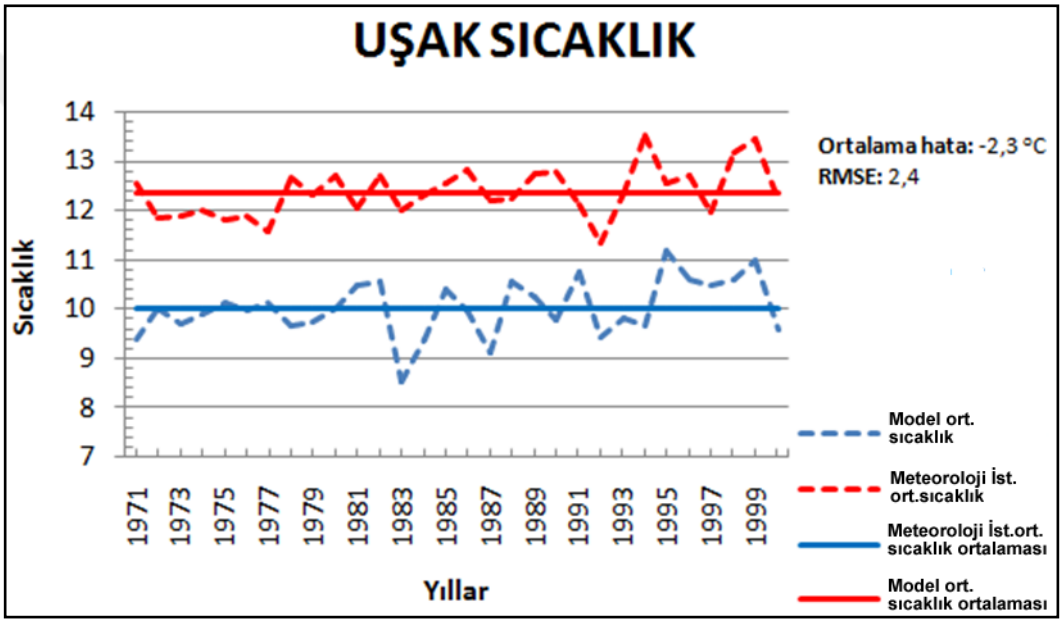
Şekil 90: Simav Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin ortalama sıcaklık parametresinin karşılaştırması.



Uşak Meteoroloji İstasyonu sıcaklık gözlem verilerinin HadGEM2-ES modelinin referans dönem koşturulmasından elde edilen sıcaklık değerleriyle kıyaslanmasında ortalama hata değeri (ME) -2.3, en küçük kareler hata değeri (RMSE) 2.4 hesaplanmıştır. Şekil 91'de gösterildiği gibi model gözlem değerlerinden ortalama olarak 2.4 ^{o}C daha düşük sıcaklık kestiriminde (soğuk bias)

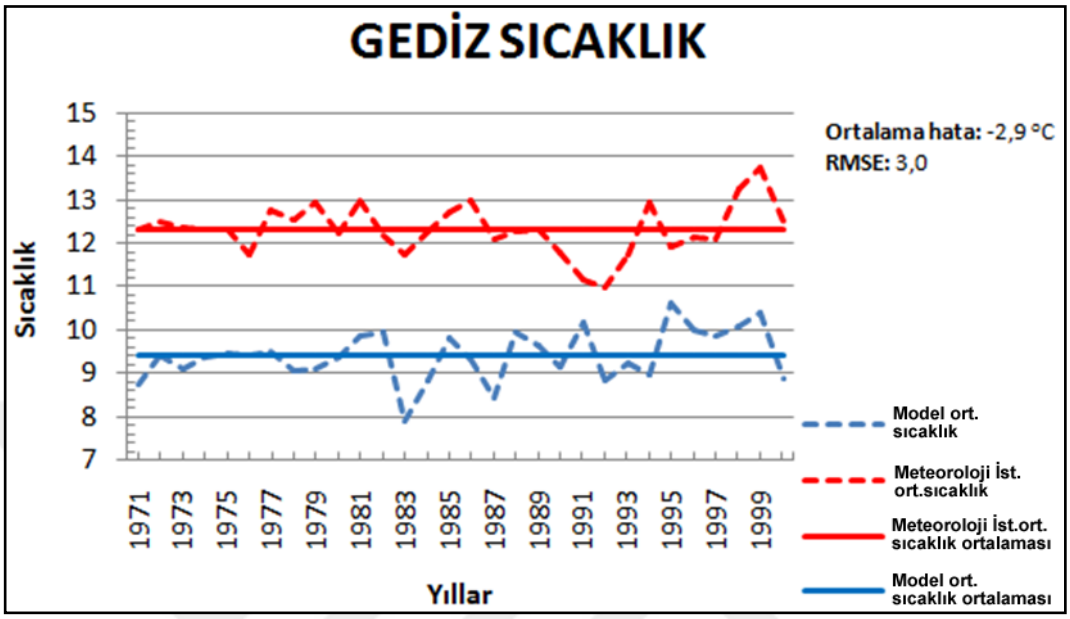
bulunmaktadır. Yıllık sıcaklık değerlerinin sıcaklık eğrilerinde görüldüğü gibi genel olarak model gözlem verileriyle aynı desene sahip olduğu (gözlem verisinin artarken model verisinin artıp, gözlem verisinin düşerken model verisinin de düşmesi) görülmektedir. Yıllık bazda modelle gözlem değerleri arasında en büyük fark 3.8 (-) ^{o}C ile 1994 yılında, en düşük fark ise 1.4 (-) ^{o}C ile 1977, 1991 ve 1995 yıllarında olduğu belirlenmiştir.

Şekil 91: Uşak Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin ortalama sıcaklık parametresinin karşılaştırması.



Gediz Meteoroloji İstasyonu sıcaklık gözlem verilerinin HadGEM2-ES modelinin referans dönem koşturulmasından elde edilen sıcaklık değerleriyle kıyaslanmasında ortalama hata değeri (ME) -2.9, en küçük kareler hata değeri (RMSE) 3.0 hesaplanmıştır. Şekil 92'de gösterildiği gibi model gözlem değerlerinden ortalama olarak 2.9 ^{o}C daha düşük sıcaklık kestiriminde (soğuk bias) bulunmaktadır. Yıllık sıcaklık değerlerinin sıcaklık eğrilerinde görüldüğü gibi genel olarak model gözlem verileriyle aynı desene sahip olduğu (gözlem verisinin artarken model verisinin artıp, gözlem verisinin düşerken model verisinin de düşmesi) görülmektedir. Yıllık bazda modelle gözlem değerleri arasında en büyük fark 3.9 (-) ^{o}C ile 1994 yılında, en düşük fark ise 1.0 (-) ^{o}C ile 1991 yılında olduğu belirlenmiştir.

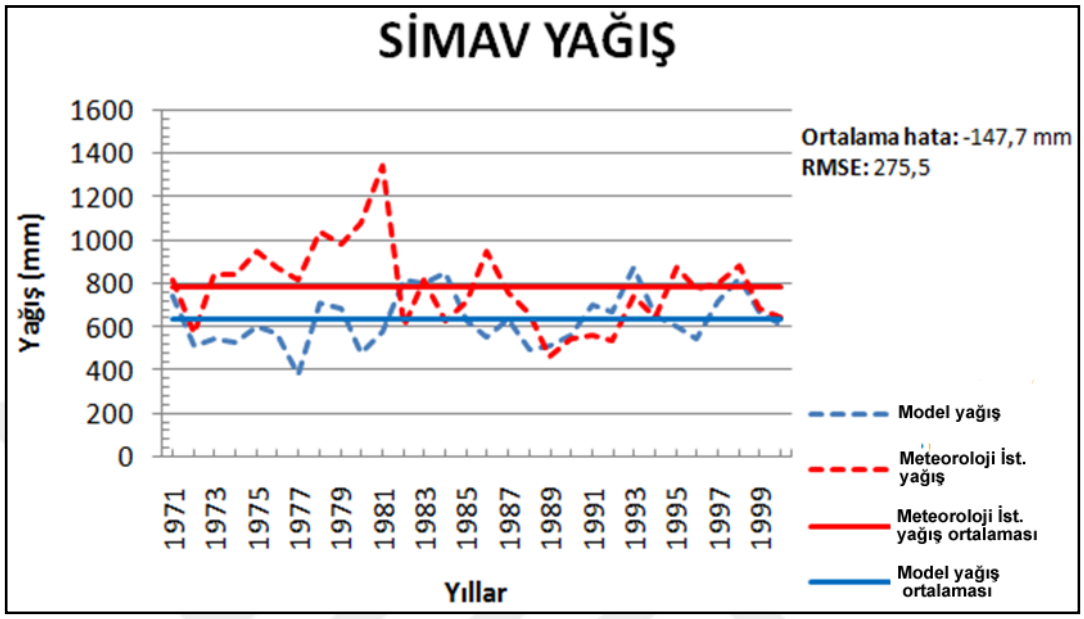
Şekil 92: Gediz Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin ortalama sıcaklık parametresinin karşılaştırması.



3.3.2. Yağış Doğruluk Analizi

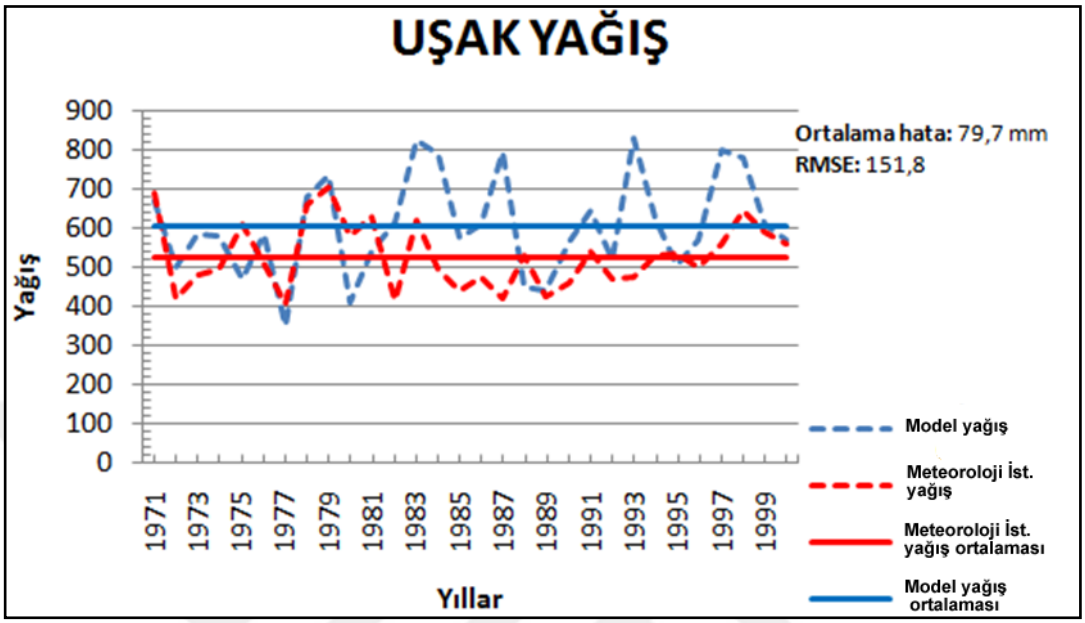
Simav Meteoroloji İstasyonu yağış gözlem verilerinin HadGEM2-ES modelinin referans dönem koşturulmasından elde edilen yağış değerleriyle kıyaslanmasında ortalama hata değeri (ME) -147.7, en küçük kareler hata değeri (RMSE) 275.5 hesaplanmıştır. Şekil 93'de gösterildiği gibi model gözlem değerlerinden ortalama olarak 147.7 mm daha düşük yağış kestiriminde (düşük bias) bulunmaktadır. Yıllık yağış değerlerinin yağış eğrilerinde görüldüğü gibi genel olarak model gözlem verileriyle aynı desene sahip olduğu (gözlem verisinin artarken model verisinin artıp, gözlem verisinin düşerken model verisinin de düşmesi) görülmektedir. Bazı yıllarda ise tam tersi gözlem düşme eğilimi gösterirken model artma eğilimi göstermiştir (1982, 1983, 1984, 1985, 1994 ve 1995 yıllarında olduğu gibi). Yıllık bazda modelle gözlem değerleri arasında en büyük fark 768.3 (-) mm ile 1981 yılında, en düşük fark ise 10.1 (-) mm ile 1983 yılında olduğu belirlenmiştir.

Şekil 93: Simav Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin yağış parametresinin karşılaştırması.



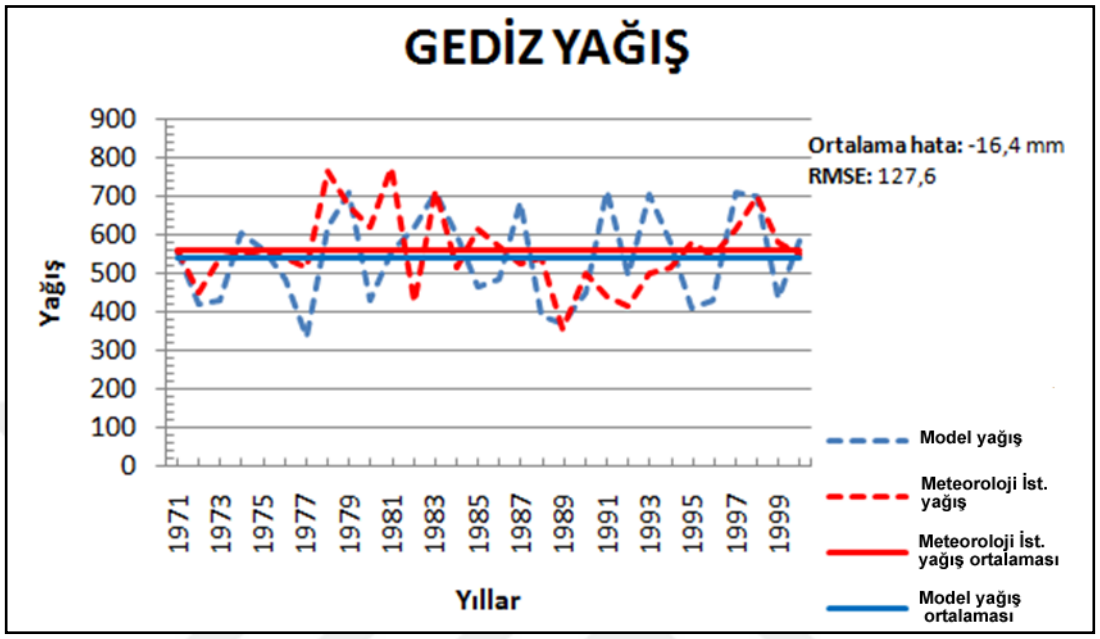
Uşak Meteoroloji İstasyonu yağış gözlem verilerinin HadGEM2-ES modelinin referans dönem koşturulmasından elde edilen yağış değerleriyle kıyaslanmasında ortalama hata değeri (ME) 79.7, en küçük kareler hata değeri (RMSE) 151.8 hesaplanmıştır. Şekil 94'de gösterildiği gibi model gözlem değerlerinden ortalama olarak 79.7 mm daha yüksek yağış kestiriminde (yüksek bias) bulunmaktadır. Yıllık yağış değerlerinin yağış eğrilerinde görüldüğü gibi genel olarak model gözlem verileriyle aynı desene sahip olduğu (gözlem verisinin artarken model verisinin artıp, gözlem verisinin düşerken model verisinin de düşmesi) görülmektedir. Bazı yıllarda ise tam tersi gözlem düşme eğilimi gösterirken model artma eğilimi göstermiştir (1982, 1986, 1993 ve 1996 yıllarında olduğu gibi). Yıllık bazda modelle gözlem değerleri arasında en büyük fark 373.3 (+) mm ile 1987 yılında, en düşük fark ise 7.1 (+) mm ile 2000 yılında olduğu belirlenmiştir.

Şekil 94: Uşak Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin yağış parametresinin karşılaştırması.



Gediz Meteoroloji İstasyonu yağış gözlem verilerinin HadGEM2-ES modelinin referans dönem koşturulmasından elde edilen yağış değerleriyle kıyaslanmasında ortalama hata değeri (ME) -16.4, en küçük kareler hata değeri (RMSE) 127.6 hesaplanmıştır. Şekil 95'de gösterildiği gibi model gözlem değerlerinden ortalama olarak 16.4 mm daha düşük yağış kestiriminde (düşük bias) bulunmaktadır. Yıllık yağış değerlerinin yağış eğrilerinde görüldüğü gibi genel olarak model gözlem verileriyle aynı desene sahip olduğu (gözlem verisinin artarken model verisinin artıp, gözlem verisinin düşerken model verisinin de düşmesi) görülmektedir. Bazı yıllarda ise tam tersi gözlem düşme eğilimi gösterirken model artma eğilimi göstermiştir (1987 ve 1995 yıllarında olduğu gibi). Yıllık bazda modelle gözlem değerleri arasında en büyük fark 277.8 (+) mm ile 1991 yılında, en düşük fark ise 0.4 (+) mm ile 1998 yılında olduğu belirlenmiştir.

Şekil 95: Gediz Meteoroloji İstasyonu gözlem verileriyle HadGEM2-ES modelinin referans döneminin yağış parametresinin karşılaştırması.

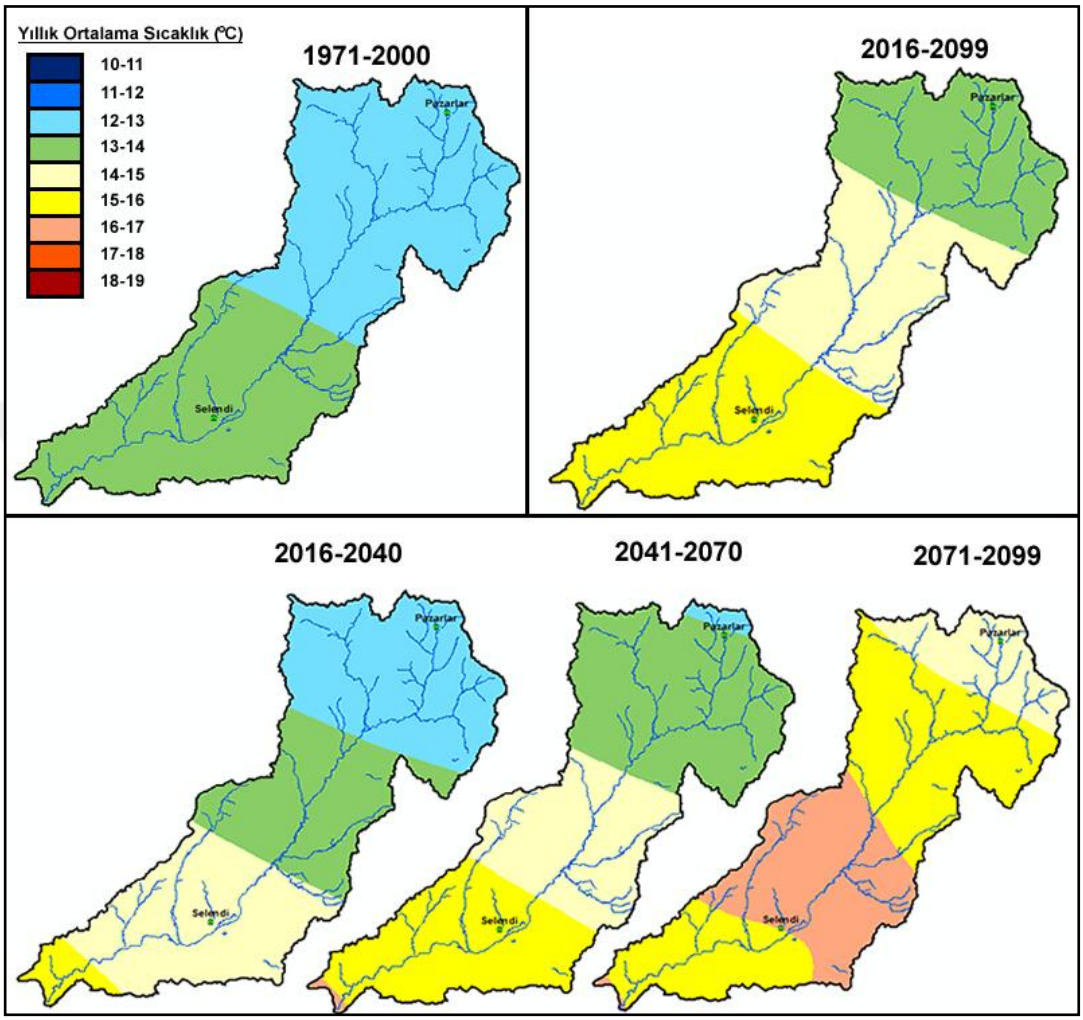


3.4. HadGEM2-ES Küresel İklim Modeline Göre Yağış ve Sıcaklık Projeksiyonları

3.4.1. Yıllık Ortalama Sıcaklık

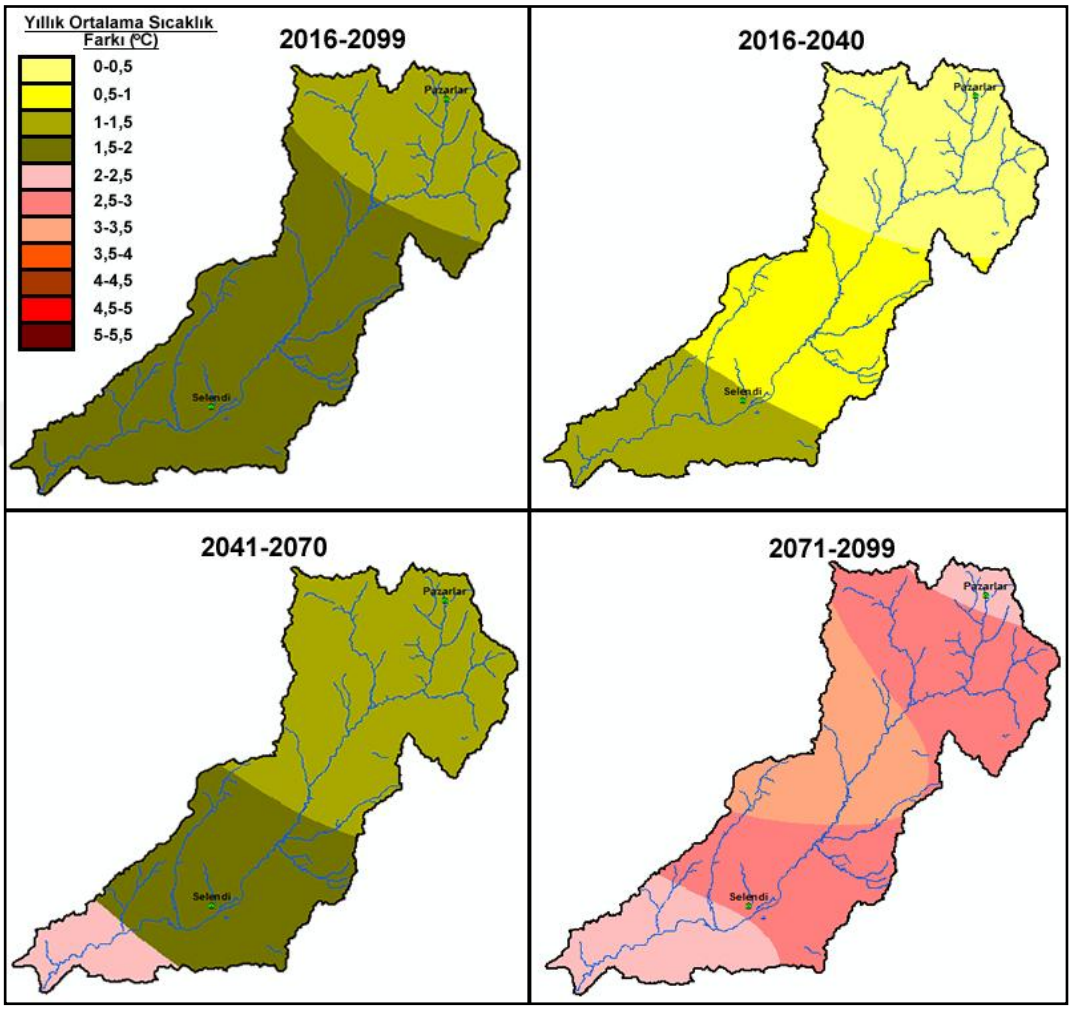
Şekil 96'da modelin RCP 4.5 senaryosuna göre referans ve senaryo dönemleri için yıllık ortalama sıcaklık dağılış haritaları verilmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre havzadaki sıcaklık değişimi Şekil 97'de gelecek dönemden referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Buna göre referans döneminde model verisine göre havzada ortalama sıcaklıklarda minimum değer 11.9 ^{o}C, maksimum değer 13.8 ^{o}C, havza ortalaması ise 12.9 ^{o}C'dir. HadGEM2-ES Modeli RCP4.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 13.0 ^{o}C, maksimum değer 15.7 ^{o}C, havza ortalaması ise 14.5 ^{o}C olması öngörülmektedir. Havzada yıllık ortalama sıcaklıkları dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 12.0 ^{o}C, maksimum değer 15.3 ^{o}C, havza ortalaması ise 13.5 ^{o}C; 2041-2070 döneminde minimum değer 12.8 ^{o}C, maksimum değer 16.0 ^{o}C, havza ortalaması 14.3 ^{o}C iken 2071-2099 dönemde minimum değer 14.2 ^{o}C, maksimum değer 16.2 ^{o}C, havza ortalaması ise 14.2 ^{o}C'dir.

Şekil 96: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık projeksiyonları.



Araştırma alanında iklim değişikliğini yansıtan sıcaklık fark haritası (Şekil 97) incelendiğinde modelin RCP4.5 senaryosunun 2016-2099 dönemi için havzanın güney ve orta kesiminde yaklaşık 1.5-2 ^{o}C, havzanın kuzey kesimlerinde ise 1-1.5 derece arasında sıcaklık artışı öngördüğü görülmüştür.

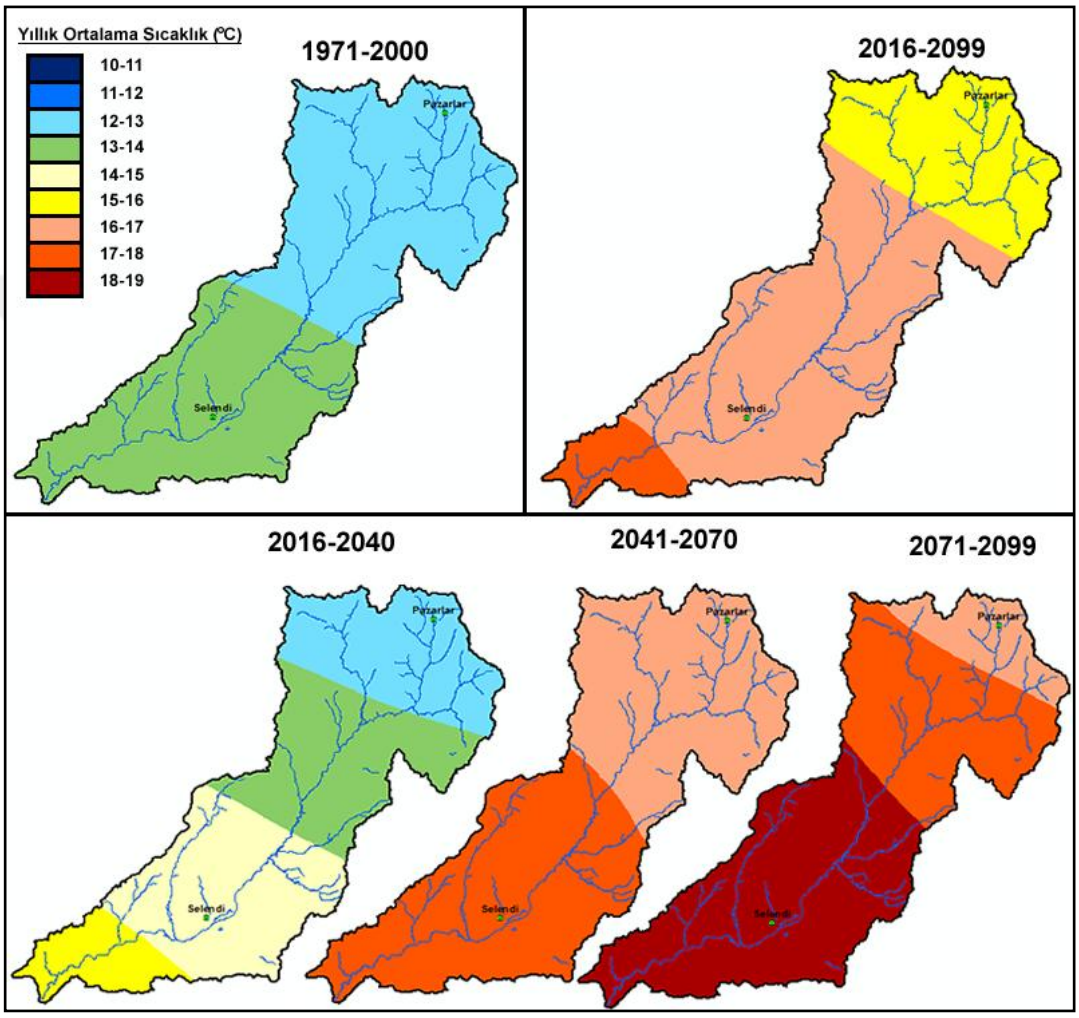
Şekil 97: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık ortalama sıcaklık karşılaştırmaları.



Şekil 98'de modelin RCP 8.5 senaryosuna göre referans ve senaryo dönemleri için yıllık ortalama sıcaklık dağılış haritaları verilmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre havzadaki sıcaklık değişimi Şekil 99'da gelecek dönemden referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Buna göre referans döneminde model verisine göre havzada ortalama sıcaklıklarda minimum değer 11.9 ^{o}C, maksimum değer 13.8 ^{o}C, havza ortalaması ise 12.9 ^{o}C'dir. HadGEM2-ES Modeli RCP8.5 senaryosuna göre ise 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 15.3 ^{o}C, maksimum değer 17.2 ^{o}C, havza ortalaması ise 16.3 ^{o}C olması öngörülmektedir. Havzada yıllık ortalama sıcaklıkları dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 12.3 ^{o}C, maksimum değer 15.5 ^{o}C, havza ortalaması ise 13.8 ^{o}C; 2041-2070 döneminde minimum değer 17.1 ^{o}C, maksimum

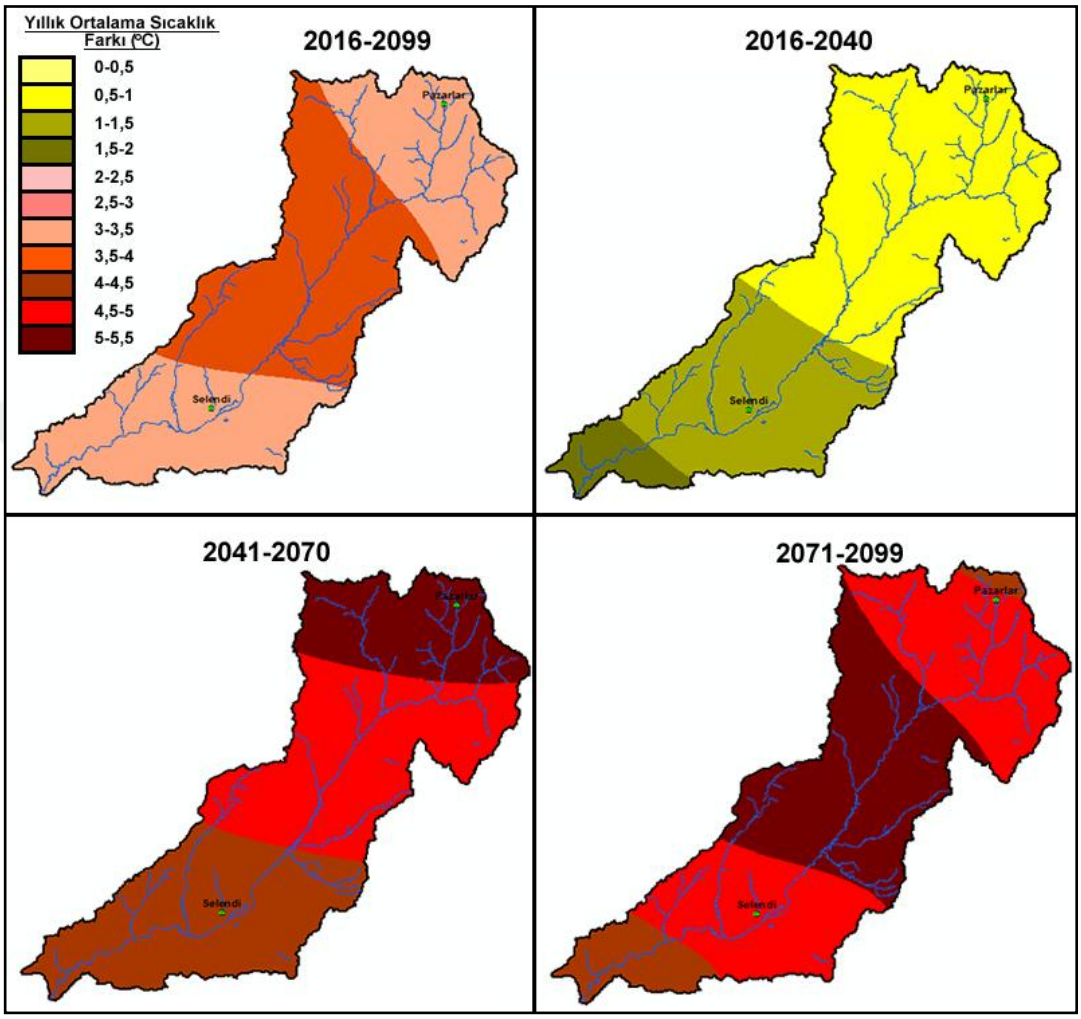
değer 17.8 ^{o}C, havza ortalaması 17.5 ^{o}C iken 2071-2099 dönemde minimum değer 16.4 ^{o}C, maksimum değer 18.3 ^{o}C, havza ortalaması ise 17.7 ^{o}C'dir.

Şekil 98: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık projeksiyonları.



Araştırma alanında iklim değişikliğini yansıtan sıcaklık fark haritası (Şekil 99) incelendiğinde modelin RCP8.5 senaryosunun 2016-2099 dönemi için havzanın güney ve kuzeydoğu kesiminde yaklaşık 3-3.5 ^{o}C, havzanın orta kesimlerinde ise 3.5-4 derece arasında sıcaklık artışı öngördüğü görülmüştür.

Şekil 99: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık ortalama sıcaklık karşılaştırmaları.

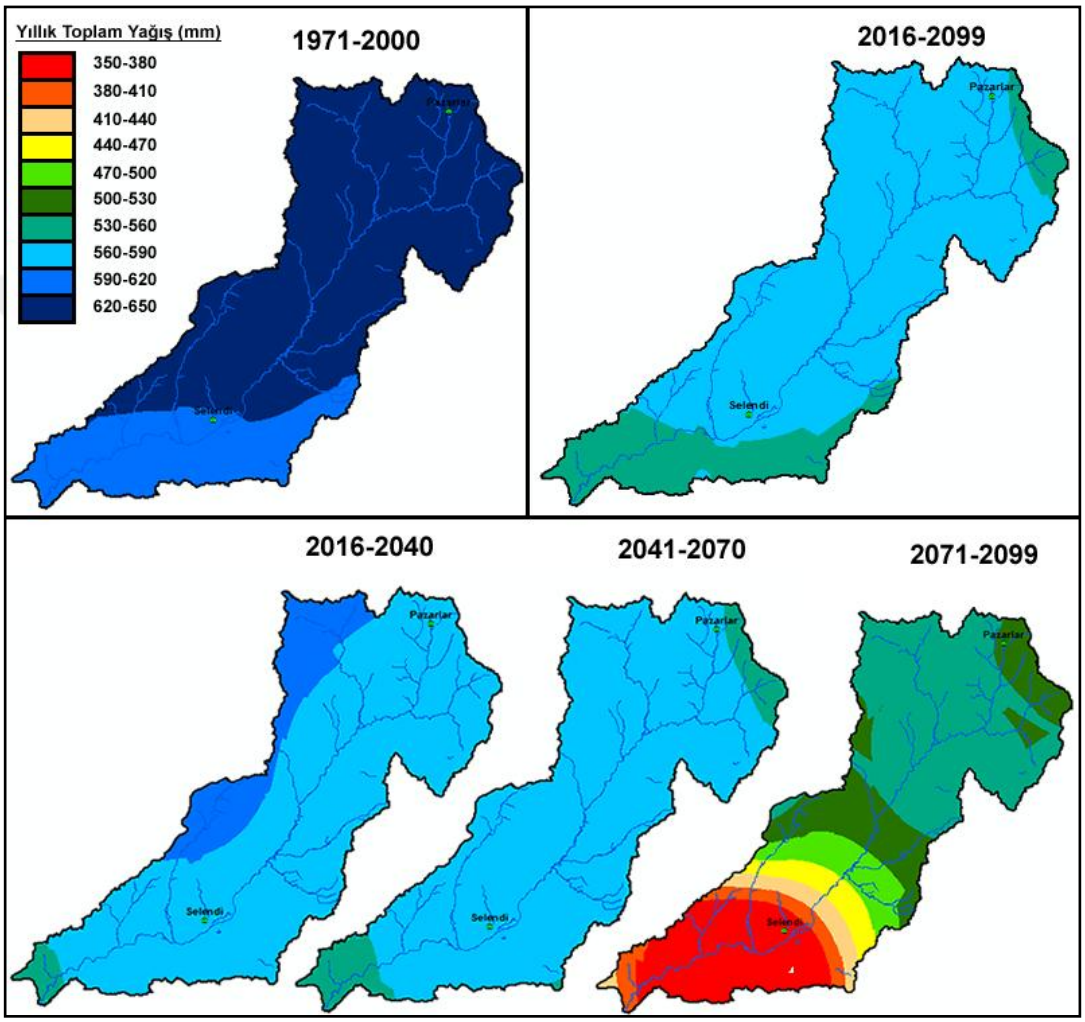


3.4.2. Yıllık Toplam Yağış

Şekil 100'de modelin referans ve senaryo dönemleri için yıllık toplam yağış dağılış haritaları verilmiştir. Buna göre referans döneminde model verisine göre havzada yıllık toplam yağışlarda minimum değer 603 mm, maksimum değer 649 mm, havza ortalaması ise 628 mm'dir. HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre ise 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 528 mm, maksimum değer 588 mm, havza ortalaması ise 506 mm olması öngörülmektedir. Havzada yıllık toplam yağışları dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 540 mm, maksimum değer 606 mm, havza ortalaması ise 580 mm; 2041-2070 döneminde minimum değer 533 mm, maksimum değer 588

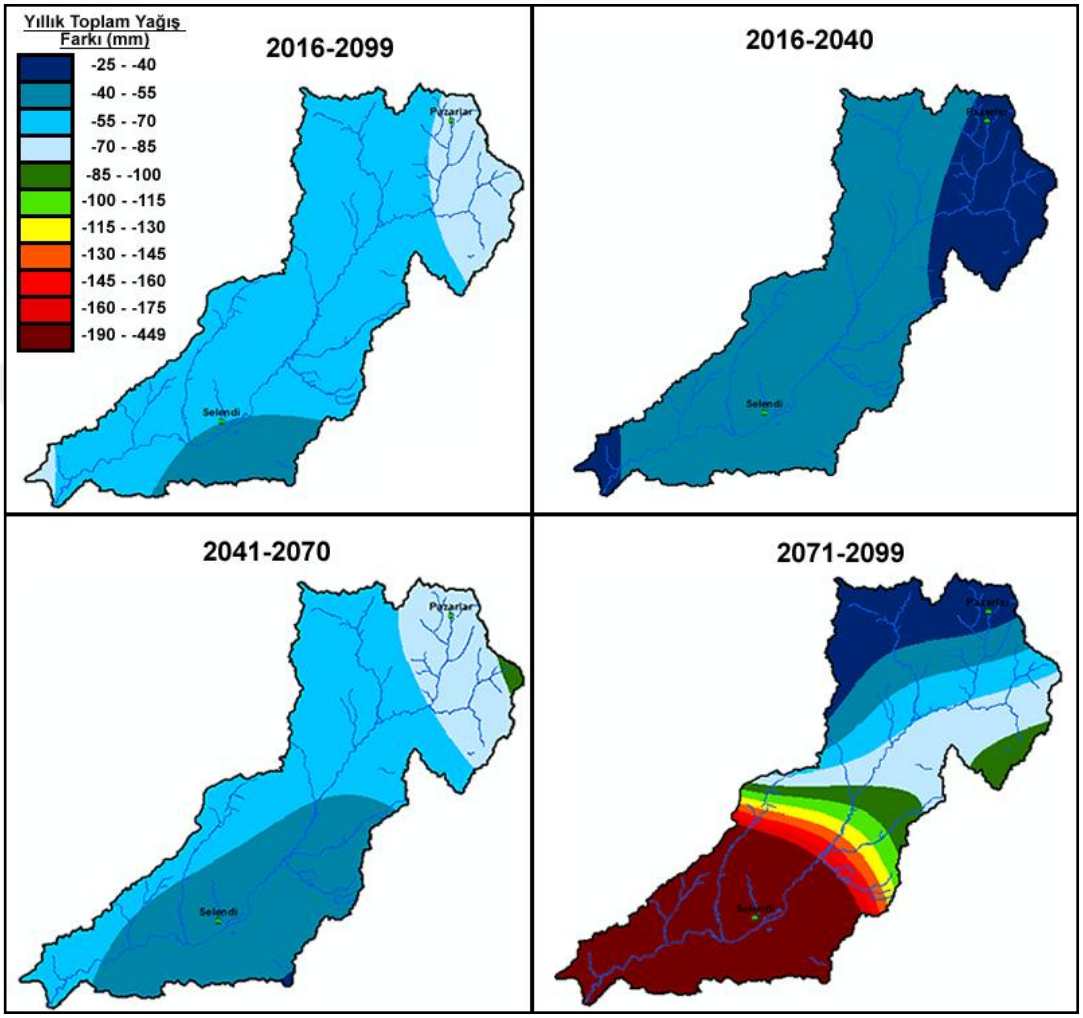
mm, havza ortalaması 569 mm iken 2071-2099 dönemde minimum değer 167 mm, maksimum değer 554 mm, havza ortalaması ise 466 mm'dir.

Şekil 100: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış projeksiyonları.



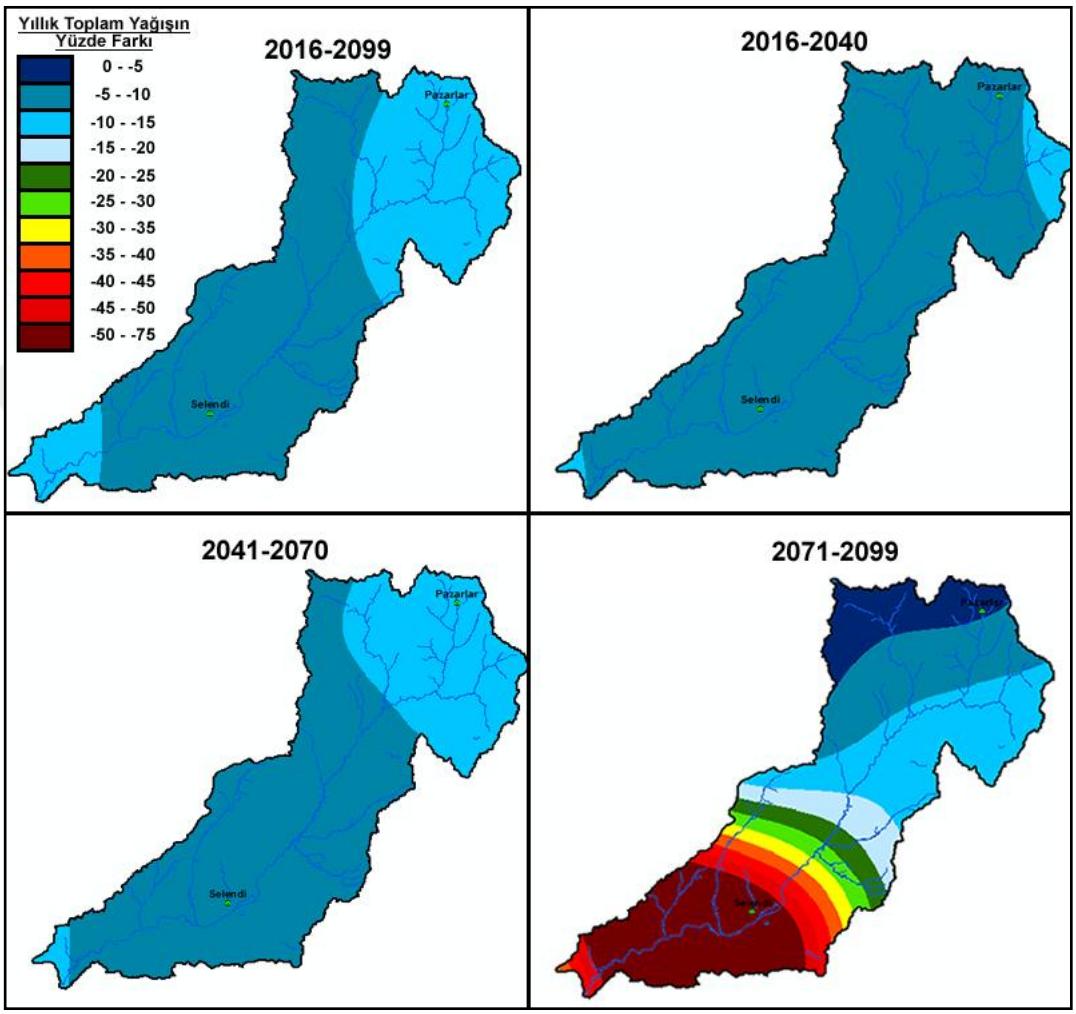
Araştırma alanında iklim değişikliğini yansıtan ortalama yıllık toplam yağış fark haritası (Şekil 101) incelendiğinde modelin 4.5 senaryosu 2016-2099 dönemi için havzanın güneydoğusunda 40-55 mm'lik yağış azalması, kuzeydoğuda 70-85 mm arasında bir yağış azalması beklenirken, havzanın batısını ve kuzeyini kaplayan çok büyük bir alanda ise yağışlarda 55-70 mm'lik azalma öngörülmüştür.

Şekil 101: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış miktarı karşılaştırmaları.



Araştırma alanında iklim değişikliğini yansıtan diğer bir hesaplama olan ortalama yıllık toplam yağışın yüzde fark haritası (Şekil 102) incelendiğinde modelin 4.5 senaryosu 2016-2099 dönemi için havzanın kuzeydoğusunda ve güneybatısında sınırlı bir alanda % 10-15 kadar yağış azalması, bunun dışında havzanın geriye kalan çok büyük yarısında ise % 5-10 aralığında bir azalma öngörülmüştür. Bütün dönemlerde ve havzanın farklı alanlarında değişik oranlarda yağış azalması söz konusundur. Yağış azalması konusunda en çarpıcı sonuçlar %50-75 ile 2071-2099 periyodunda özellikle havzanın güneyinde öngörülmüştür.

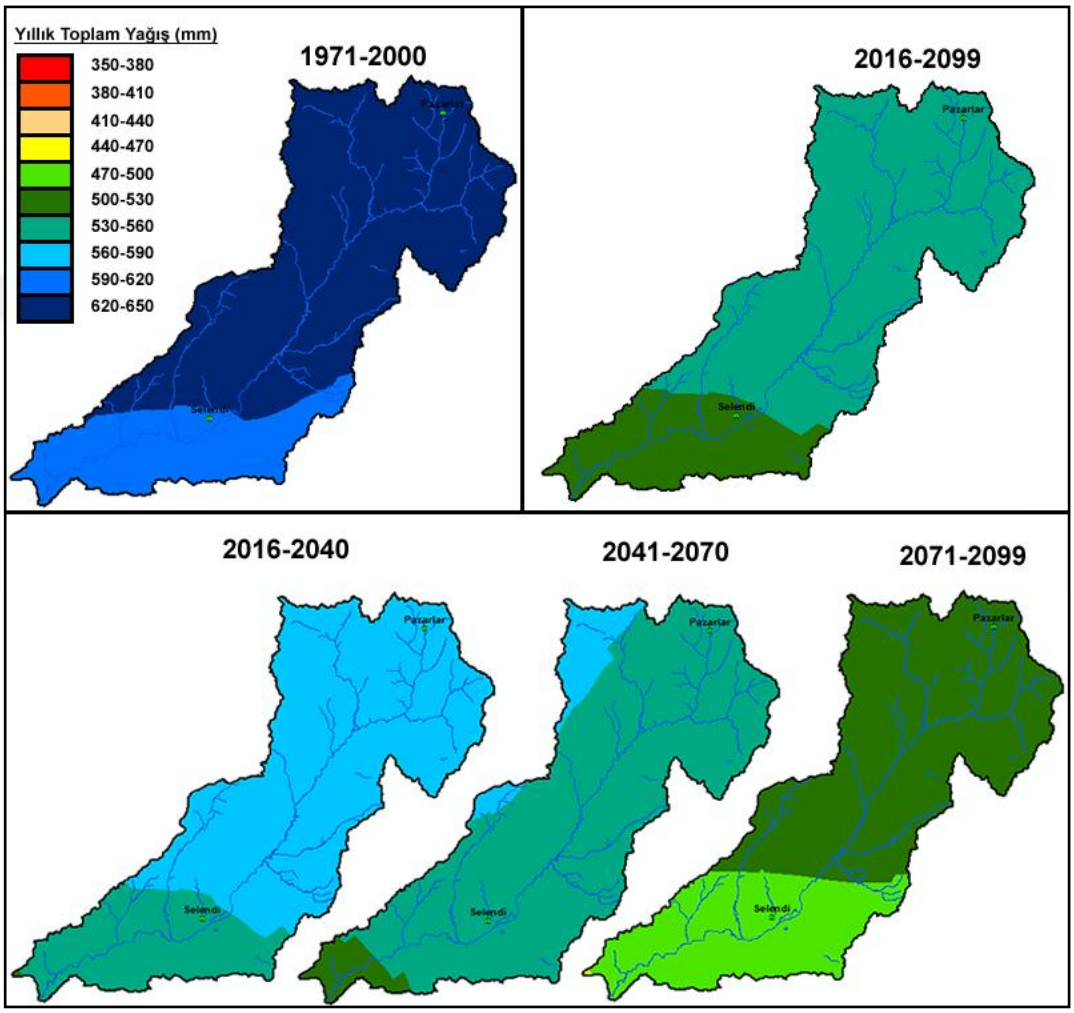
Şekil 102: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış değişikliği yüzde karşılaştırmaları.



Şekil 103'de modelin referans ve senaryo dönemleri için yıllık toplam yağış dağılış haritaları verilmiştir. Buna göre referans döneminde model verisine göre havzada yıllık toplam yağışlarda minimum değer 603 mm, maksimum değer 649 mm, havza ortalaması ise 628 mm'dir. HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre ise 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 502 mm, maksimum değer 559 mm, havza ortalaması ise 539 mm olması öngörülmektedir. Havzada yıllık toplam yağışları dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 527 mm, maksimum değer 587 mm, havza ortalaması ise 566 mm; 2041-2070 döneminde minimum değer 510 mm, maksimum değer 569

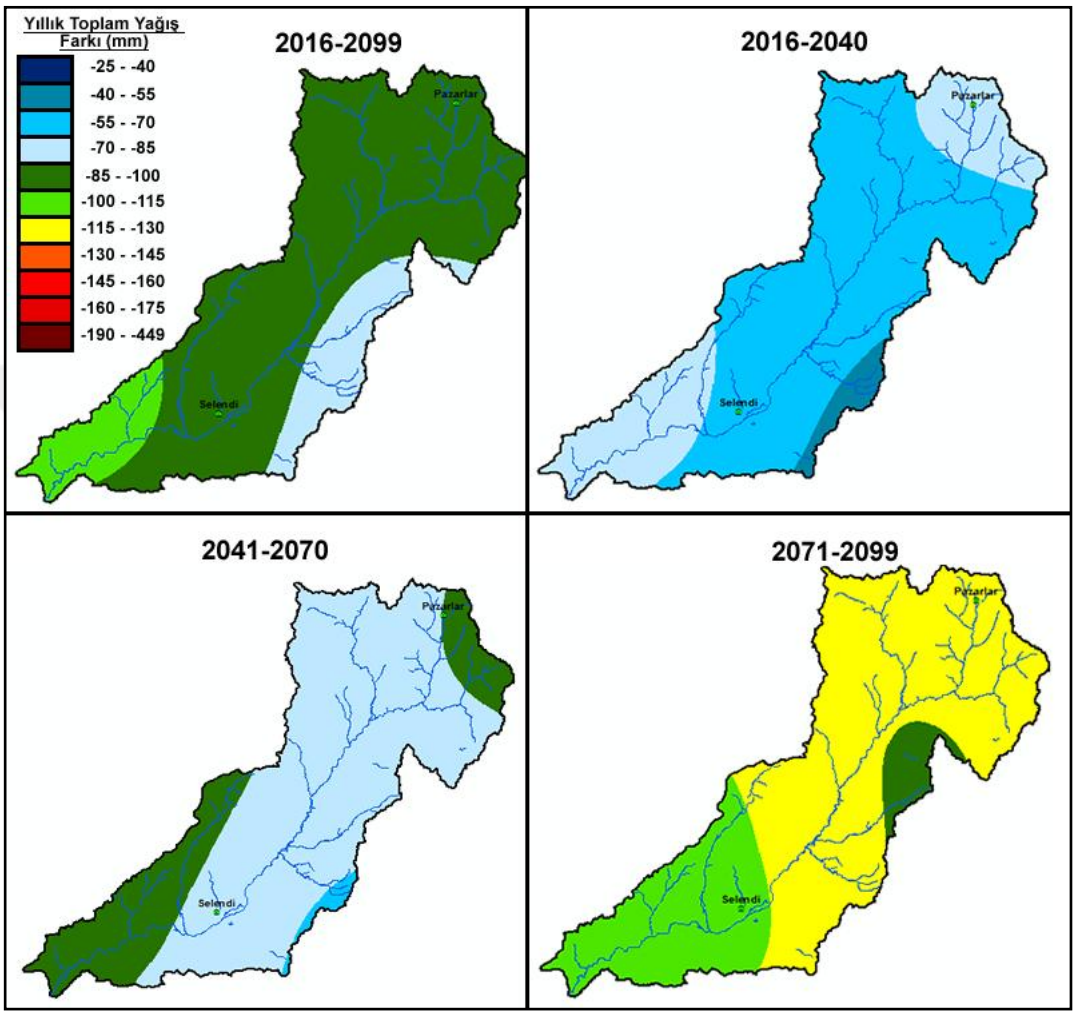
mm, havza ortalaması 547 mm iken 2071-2099 dönemde minimum değer 647 mm, maksimum değer 522 mm, havza ortalaması ise 504 mm'dir.

Şekil 103: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış projeksiyonları.



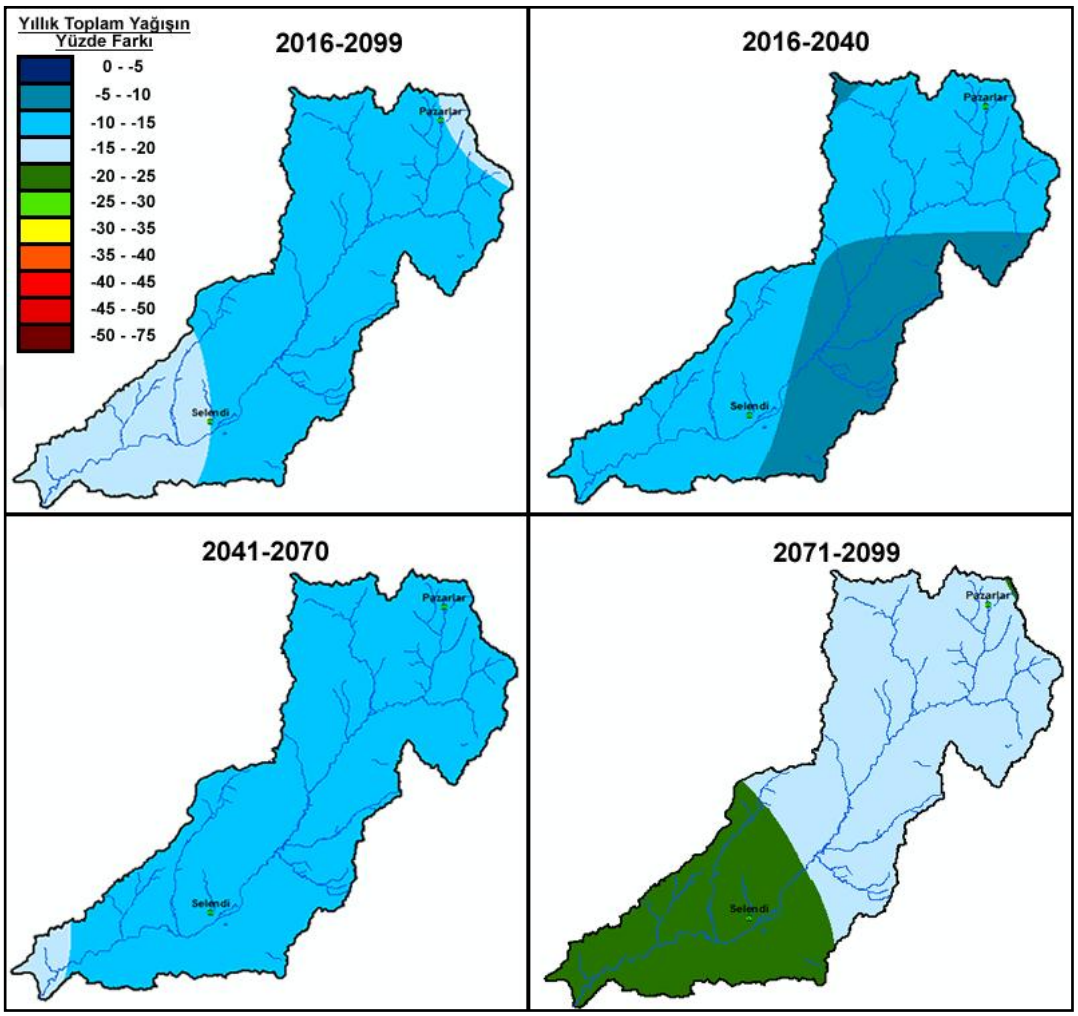
Araştırma alanında iklim değişikliğini yansıtan ortalama yıllık toplam yağış fark haritası (Şekil 104) incelendiğinde modelin 8.5 senaryosu 2016-2099 dönemi için havzanın güneybatısında 115 mm'ye varan yağış azalması, doğuda 70-85 mm arasında bir yağış azalması beklenirken, güney, orta ve kuzey kesiminde çok büyük bir alanda ise yağışlarda 85-100 mm'lik azalma öngörülmüştür.

Şekil 104: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış miktarı karşılaştırmaları.



Araştırma alanında iklim değişikliğini yansıtan diğer bir hesaplama olan ortalama yıllık toplam yağışın yüzde fark haritası (Şekil 103) incelendiğinde modelin 8.5 senaryosu 2016-2099 dönemi için havzanın kuzeydoğusunda sınırlı bir alanda ve güneybatısında % 15-20 kadar yağış azalması, bunun dışında havzanın geriye kalan çok büyük yarısında ise % 10-15 aralığında bir azalma öngörülmüştür. Bütün dönemlerde ve havzanın farklı alanlarında değişik oranlarda yağış azalması söz konusundur. Yağış azalması konusunda en çarpıcı sonuçlar %20-25 ile 2071-2099 periyodunda özellikle havzanın güneyinde öngörülmüştür.

Şekil 105: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yıllık toplam yağış değişikliği yüzde karşılaştırmaları.



Klimatolojik özellikler bölümünde araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yağış değerleriyle hesaplanan yağış konsatrasyon indeksi (Precipitation Concentration Index-PCI) bu bölümde HadGEM2-ES küresel iklim modelinin araştırma alanında hesaplanan ortalama değerleriyle uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 58'de verilmiştir. Buna göre araştırma alanında gerek RCP 4.5 gerekse RCP 8.5 senaryosuna göre yağışların yıl içerindeki dağılımının referans dönemde ve bütün gelecek dönem periyotlarında orta derecede mevsimsel olması öngörülmektedir (Tablo 58).

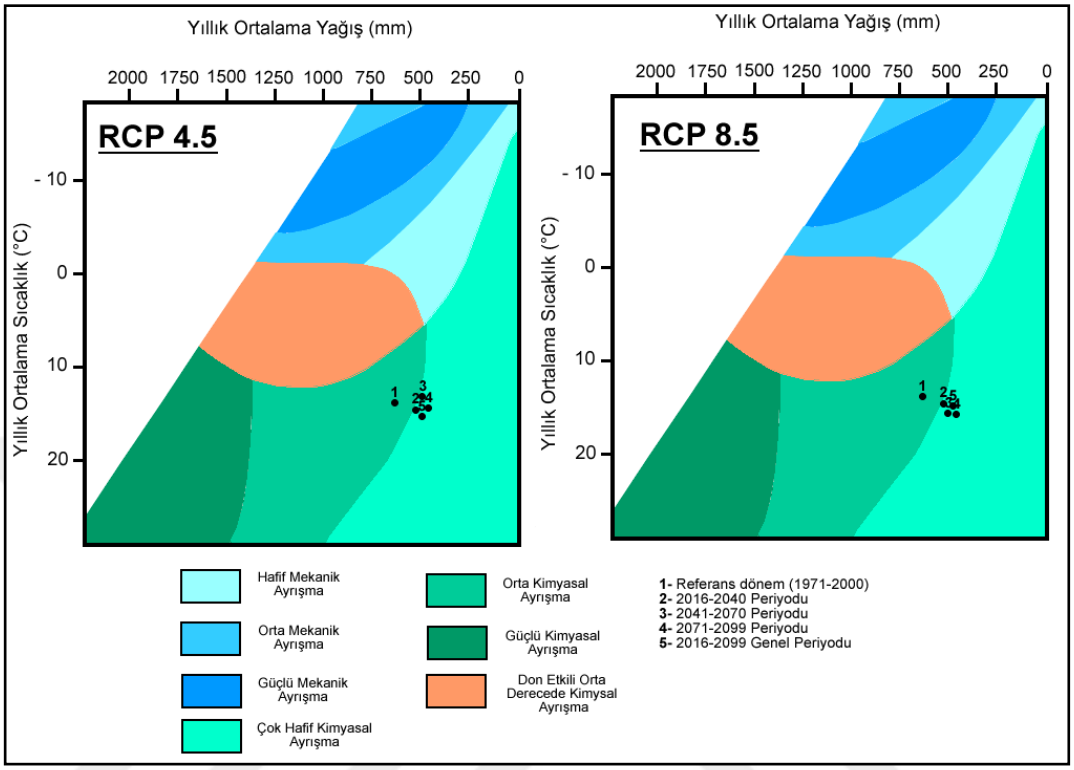
Tablo 58: Araştırma alanın HadGEM2-ES küresel iklim modeline göre öngörülen yıllık ve mevsimlik Yağış Konsantrasyon İndeksi değerleri

RCP 4.5	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yıllık
1971-2000 Referans Dönemi	15.4	9.6	8.8	8.9	10.2
2016-2040 Periyodu	17.7	9.8	8.6	9.1	10.4
2040-2070 Periyodu	18.6	9.4	8.5	8.7	10.2
2071-2099 Periyodu	20.3	9.6	8.4	8.5	10.3
2016-2099 Genel Periyodu	18.9	9.5	8.5	8.7	10.2
RCP 8.5	**Yaz**	**Sonbahar**	**Kış**	**İlkbahar**	**Yıllık**
1971-2000 Referans Dönemi	15.4	9.6	8.8	8.9	10.2
2016-2040 Periyodu	19.8	9.4	8.7	8.6	10.4
2040-2070 Periyodu	19.7	9.3	8.4	9.0	10.3
2071-2099 Periyodu	20.4	10.0	8.4	8.9	10.6
2016-2099 Genel Periyodu	19.9	9.5	9.5	8.8	10.4

İndeks değerleri ve karşılığı (UNESCO, 2006)	
0.8-10	Benzer
10-15	Orta Derecede Mevsimsel
15-20	Mevsimsel
20-50	Çok Mevsimsel
50-100	Düzensiz

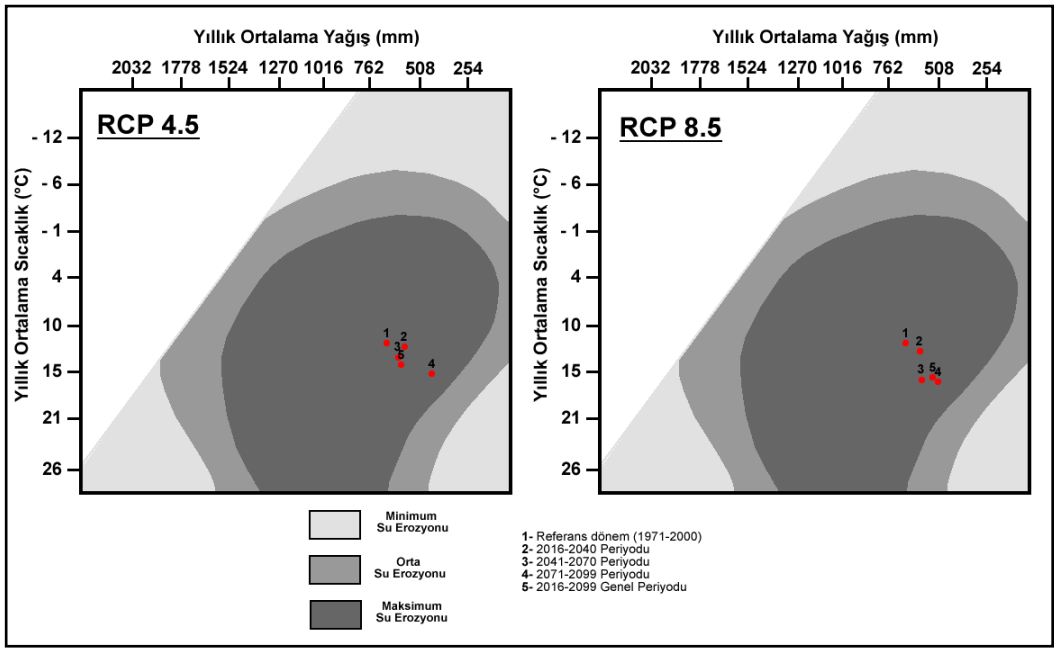
Klimatolojik özellikler bölümünde araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yağış ve sıcaklık değerleri Peltier (1950) diyagramına yerleştirilerek ilgili bölümde açıklama ve yorumlar yapılmıştı. Bu bölümde HadGEM2-ES küresel iklim modelinin araştırma alanında hesaplanan ortalama değerleriyle uygulanmıştır. HadGEM2-ES küresel iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre araştırma alanında gelecek dönem periyotlarında öngörülen ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerleri Peltier (1950) diyagramına yerleştirilmiştir. Buna göre araştırma alanında referans dönemde (1971-2000) orta kimyasal ayrışma süreci etkiliyken gelecek dönem periyotlarının hepsinde gerek iyimser gerekse kötümser senaryoda çok hafif kimyasal ayrışma sürecinin etkin olması öngörülmektedir (Şekil 106). Plüvyal erozyon grafiği incelendiğinde ise araştırma alanında referans dönemde etkili olan maksimum su erozyonun gelecek dönemlerde de benzer etkinliğini koruyacağı öngörülmektedir (Şekil 107).

Şekil 106: Araştırma alanında gelecekte öngörülen hakim ayrışma türü.



Kaynak: Grafik Peltier (1950)'den uyarlanmıştır.

Şekil 107: Araştırma alanında öngörülen plüvyal erozyon.



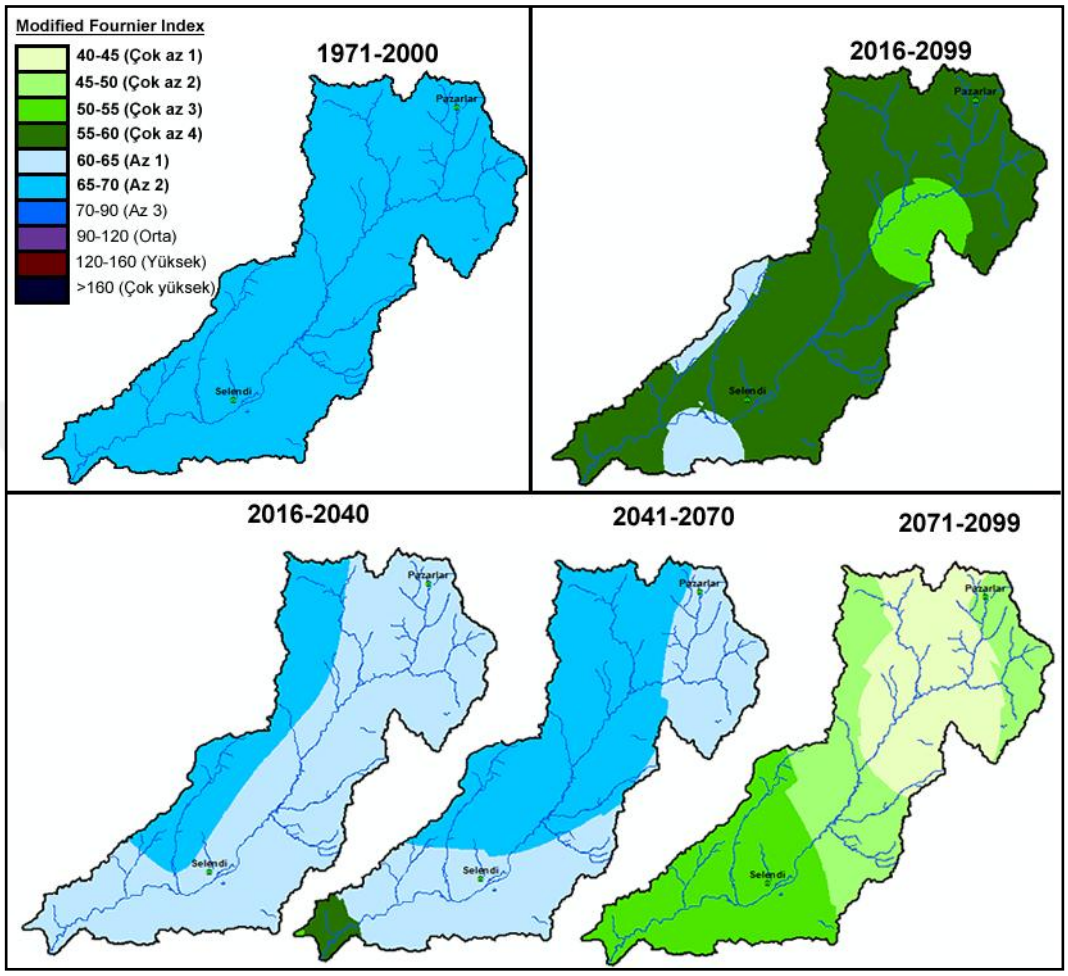
Kaynak: Grafik Peltier (1950)'den uyarlanmıştır.

3.5. HadGEM2-ES Küresel İklim Modeline Göre Aşındırıcı Güç İndisi Projeksiyonları

3.5.1. Modified Fournier Yağış Erozivitesi İndeksi

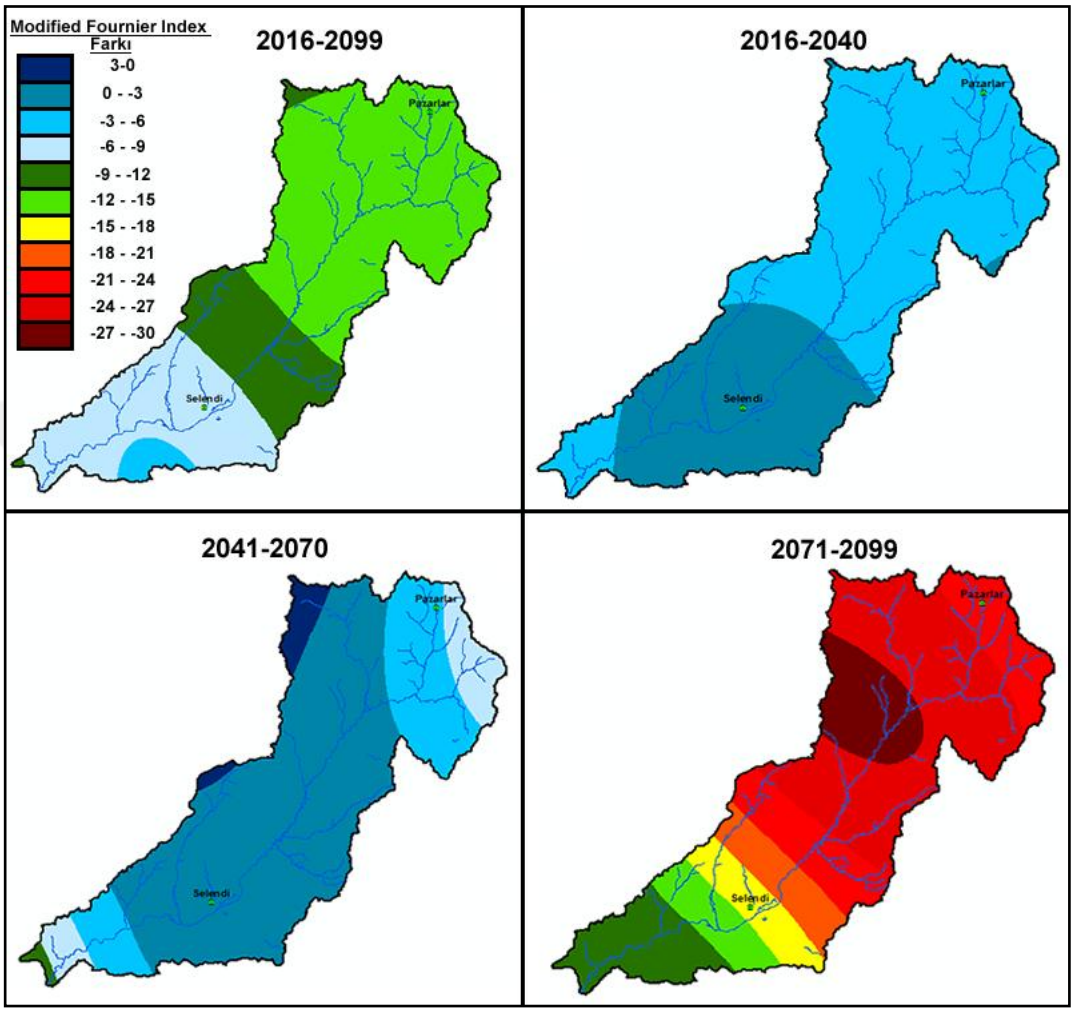
Şekil 108'de modelin referans ve senaryo dönemleri için Modified Fournier Indeks dağılış haritaları verilmiştir. Araştırma alanında bütün dönemlerde MFI sınıflarından çok az ve az sınıfına ait değerler bulunmaktadır. Referans döneminde model verisine göre havzada MFI minimum değer 65.8, maksimum değer 70.1 havza ortalaması ise 67.6'dır. HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 53.7, maksimum değer 60.6, havza ortalaması ise 57.3 olması öngörülmektedir. Havzada yağışın erozivitesini dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 60.4, maksimum değer 67.7, havza ortalaması ise 64.3; 2041-2070 döneminde minimum değer 54.0, maksimum değer 70.2, havza ortalaması 64.8 iken 2071-2099 dönemde minimum değer 40.2, maksimum değer 57.4, havza ortalaması ise 48.0'dır.

Şekil 108: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre yağış erozivitesi projeksiyonları.



RCP4.5 senaryosuna göre havzadaki MFI değerlerinin değişimi (Şekil 109) Şekil 108'de belirtilen gelecek dönem ve referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Araştırma alanında yağışın erozivitesiyle ilgili iklim değişikliğini yansıtan Modified Fourner Indeks fark haritası (Şekil 109) incelendiğinde model değerleri havzanın tümünde azalma göstermiştir. Bu düşüş 2016-2099 periyodunda havzanın güneyinden kuzeyine doğru belirginleşmektedir. Nitekim bu periyotta en büyük fark havzanın kuzey bölümündedir.

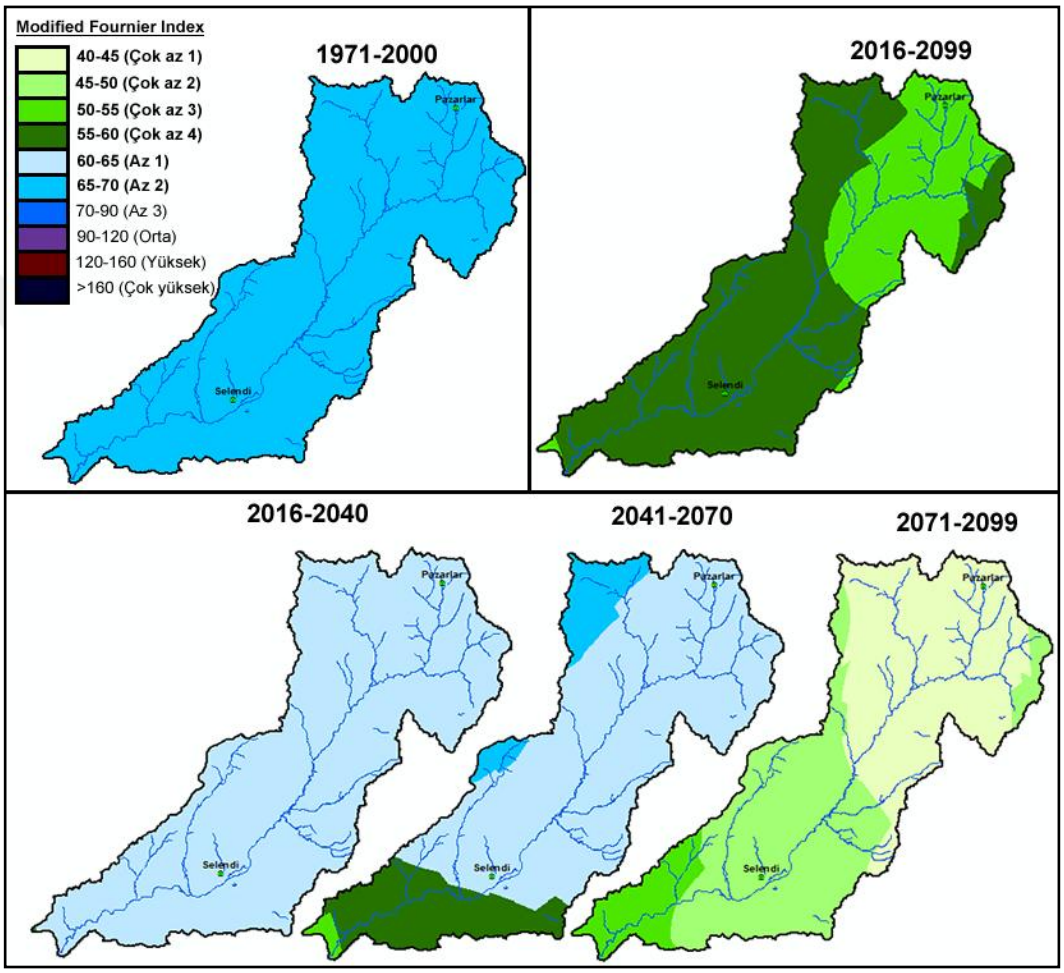
Şekil 109: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yağış erozivitesi karşılaştırmaları.



Şekil 110'da modelin referans ve senaryo dönemleri için Modified Fournier Indeks dağılış haritaları verilmiştir. Araştırma alanında bütün dönemlerde MFI sınıflarından çok az ve az sınıfına ait değerler bulunmaktadır. Referans döneminde model verisine göre havzada MFI minimum değer 65.8, maksimum değer 70.1 havza ortalaması ise 67.6'dır. HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 53.4, maksimum değer 58.6, havza ortalaması ise 55.5 olması öngörülmektedir. Havzada yağışın erozivitesini dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 59.8, maksimum değer 64.7, havza ortalaması ise 62.5; 2041-2070 döneminde minimum değer 52.6, maksimum değer 67.2, havza ortalaması 62.0 iken

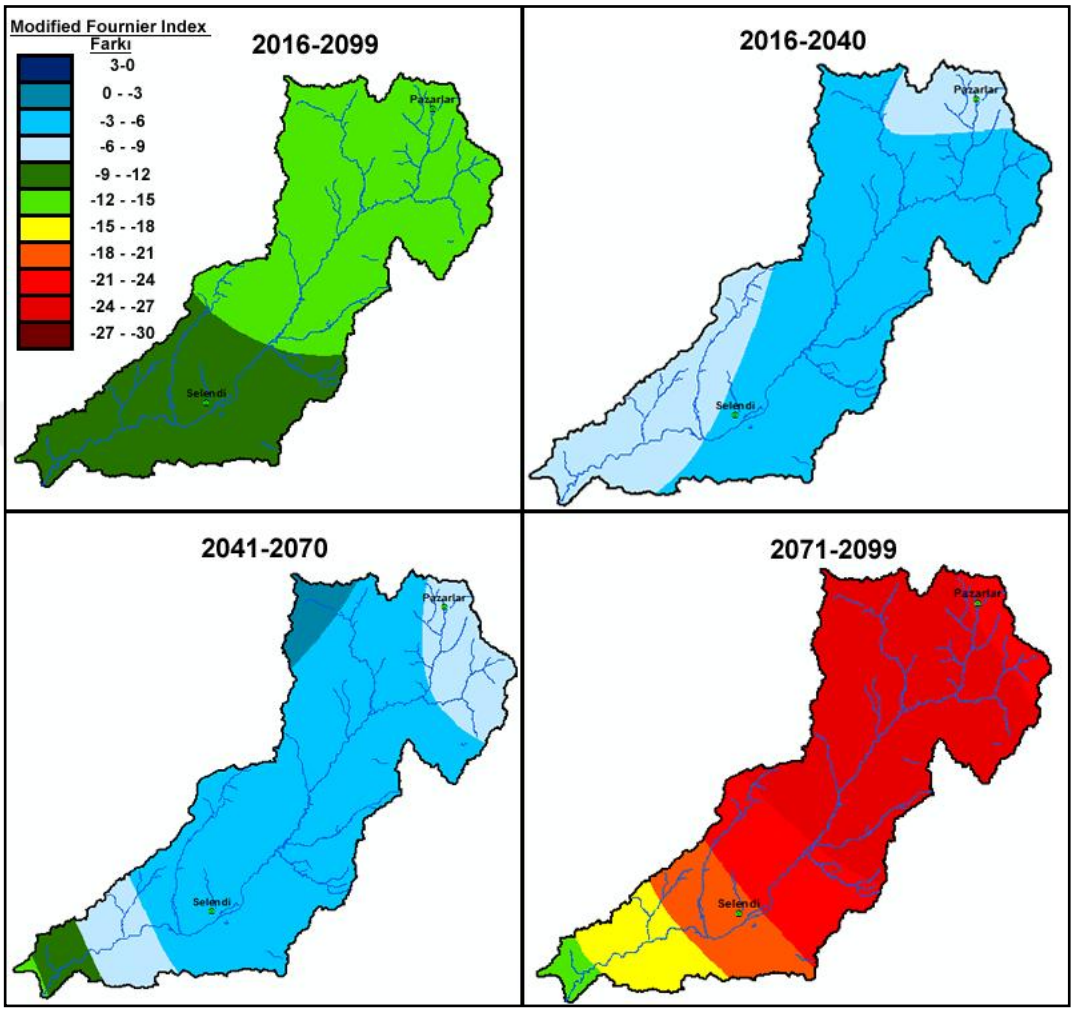
2071-2099 dönemde minimum değer 41.1, maksimum değer 53.3, havza ortalaması ise 45.9'dur.

Şekil 110: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre yağış erozivitesi projeksiyonları.



RCP8.5 senaryosuna göre havzadaki MFI değerlerinin değişimi (Şekil 111) Şekil 110'da belirtilen gelecek dönem ve referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Araştırma alanında yağışın erozivitesiyle ilgili iklim değişikliğini yansıtan Modified Fourner Indeks fark haritası (Şekil 111) incelendiğinde model değerleri havzanın tümünde azalma göstermiştir. Bu düşüş 2016-2040 periyodunda havzanın güneyinde kuzeyine oranla daha belirgindir.

Şekil 111: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem yağış erozivitesi karşılaştırmaları.

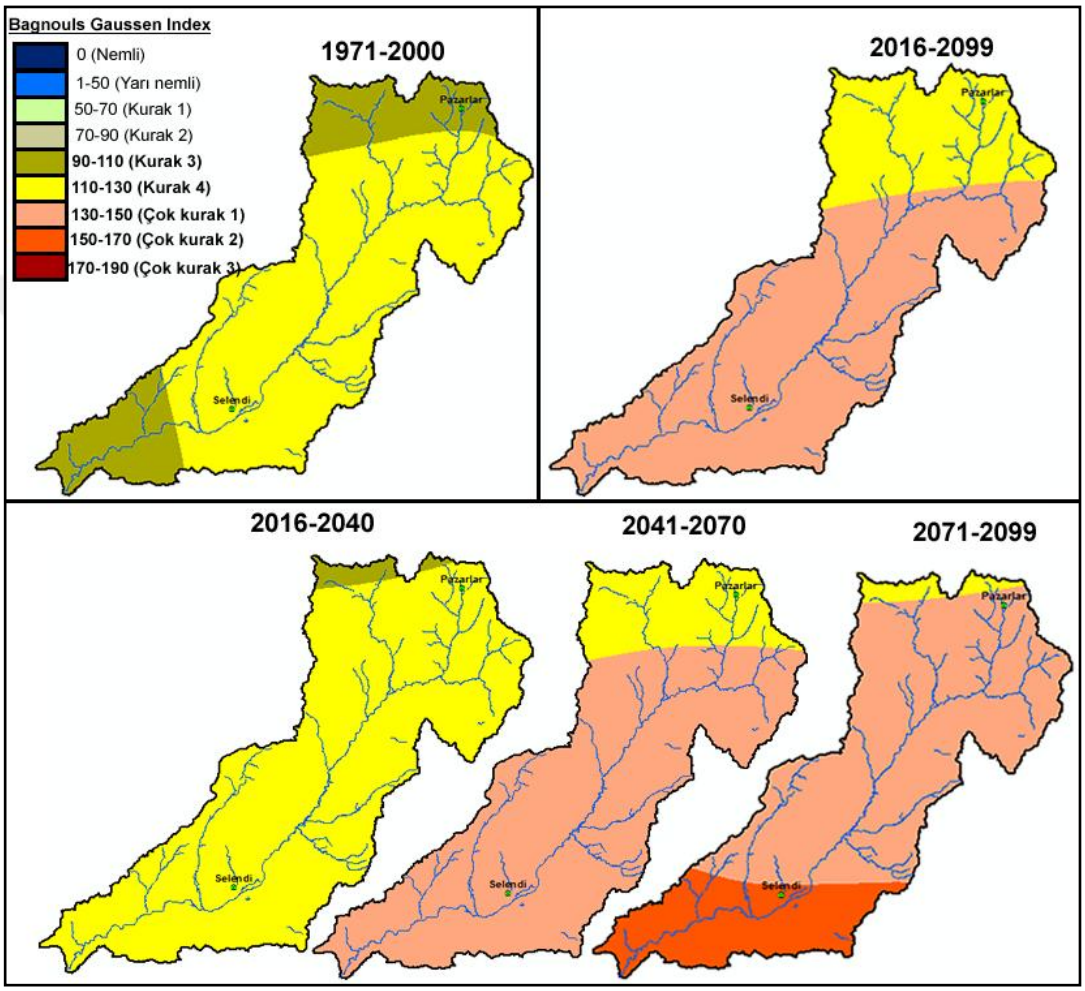


3.5.2. Bagnouls-Gaussen Kuraklık İndeksi

Şekil 112'de modelin referans ve senaryo dönemleri için Bagnouls-Gaussenkuraklık indeksi dağılış haritaları verilmiştir. Araştırma alanında BGI sınıflarından kurak ve çok kurak sınıflarına ait değerler bulunmaktadır. Referans döneminde model verisine göre havzada BGI minimum değer 102.3, maksimum değer 116.9 havza ortalaması ise 111.9'dur. HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 119.9, maksimum değer 142.6, havza ortalaması ise 133.4 olması öngörülmektedir. Havzada kuraklığı dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 106.9, maksimum değer 128.6, havza ortalaması ise 121.1; 2041-2070 döneminde minimum değer 122.5, maksimum değer 144.0, havza ortalaması

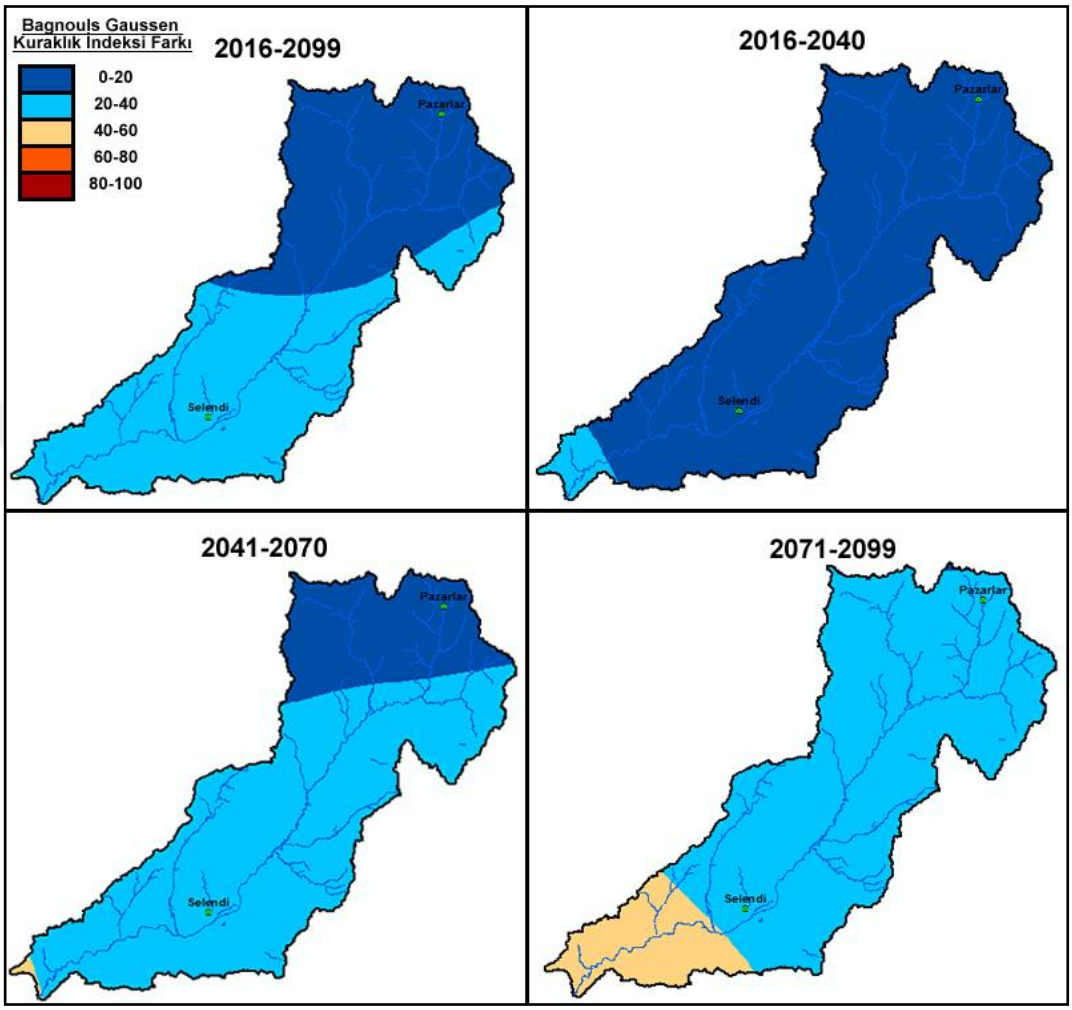
135.8 iken 2071-2099 dönemde minimum değer 127.6, maksimum değer 155.4, havza ortalaması ise 143.2'dir.

Şekil 112: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre kuraklık projeksiyonları.



RCP4.5 senaryosuna göre havzadaki BGI değerlerinin değişimi (Şekil 113) Şekil 112'de belirtilen gelecek dönem ve referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Araştırma alanında kuraklıkla ilgili iklim değişikliğini yansıtan Bagnouls-Gaussen Indeksi fark haritası (Şekil 112) incelendiğinde model değerleri havzanın tümünde artma göstermiştir. Bu artış 2016-2040 periyodunda havzanın güneyinde kuzeyine oranla daha belirgindir.

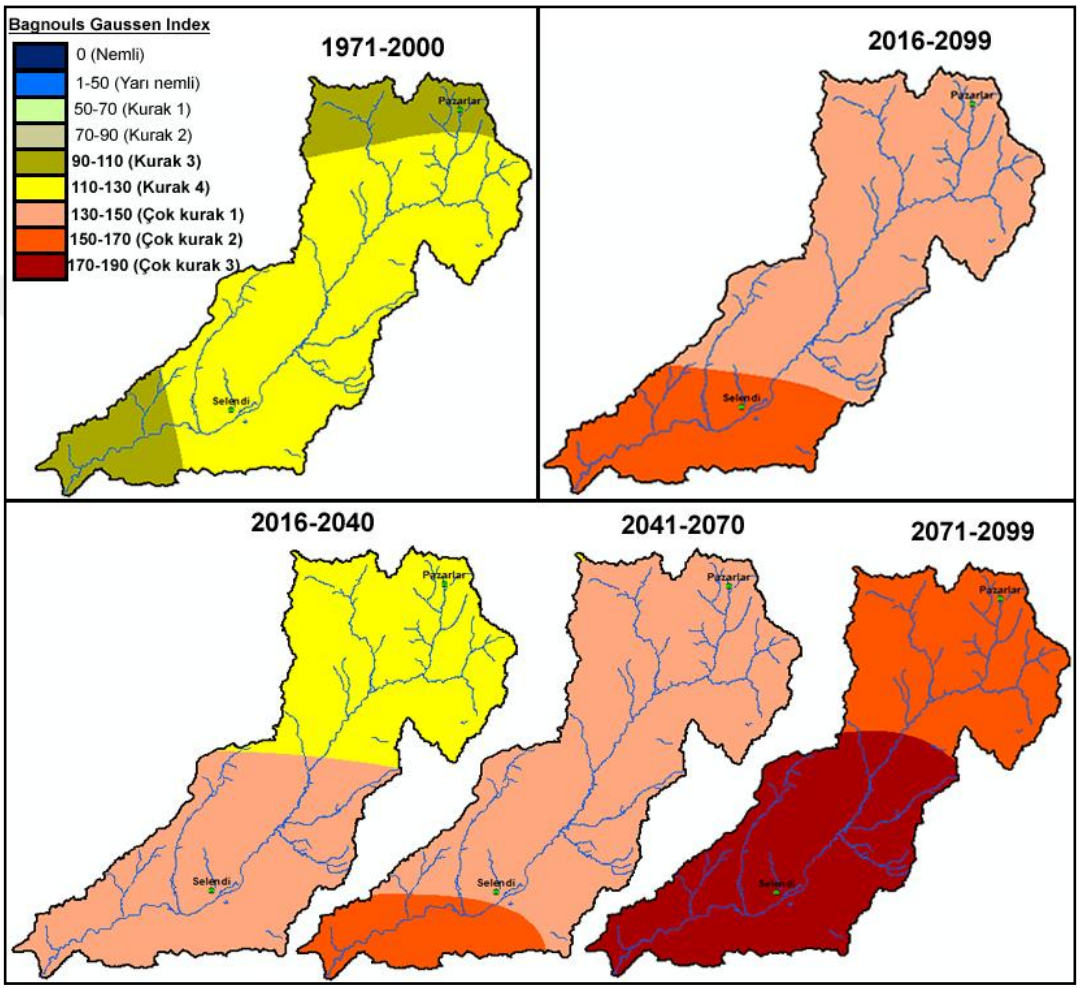
Şekil 113: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem kuraklık karşılaştırmaları.



Şekil 114'de modelin referans ve senaryo dönemleri için Bagnouls-Gaussenkuraklık indeksi dağılış haritaları verilmiştir. Araştırma alanında BGI sınıflarından kurak ve çok kurak sınıflarına ait değerler bulunmaktadır. Referans döneminde model verisine göre havzada BGI minimum değer 102.3, maksimum değer 116.9 havza ortalaması ise 111.9'dur. HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 131.7, maksimum değer 155.5, havza ortalaması ise 144.8 olması öngörülmektedir. Havzada kuraklığı dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 116.8, maksimum değer 141.0, havza ortalaması ise 130.3; 2041-2070 döneminde minimum değer 129.2, maksimum değer 152.4, havza ortalaması

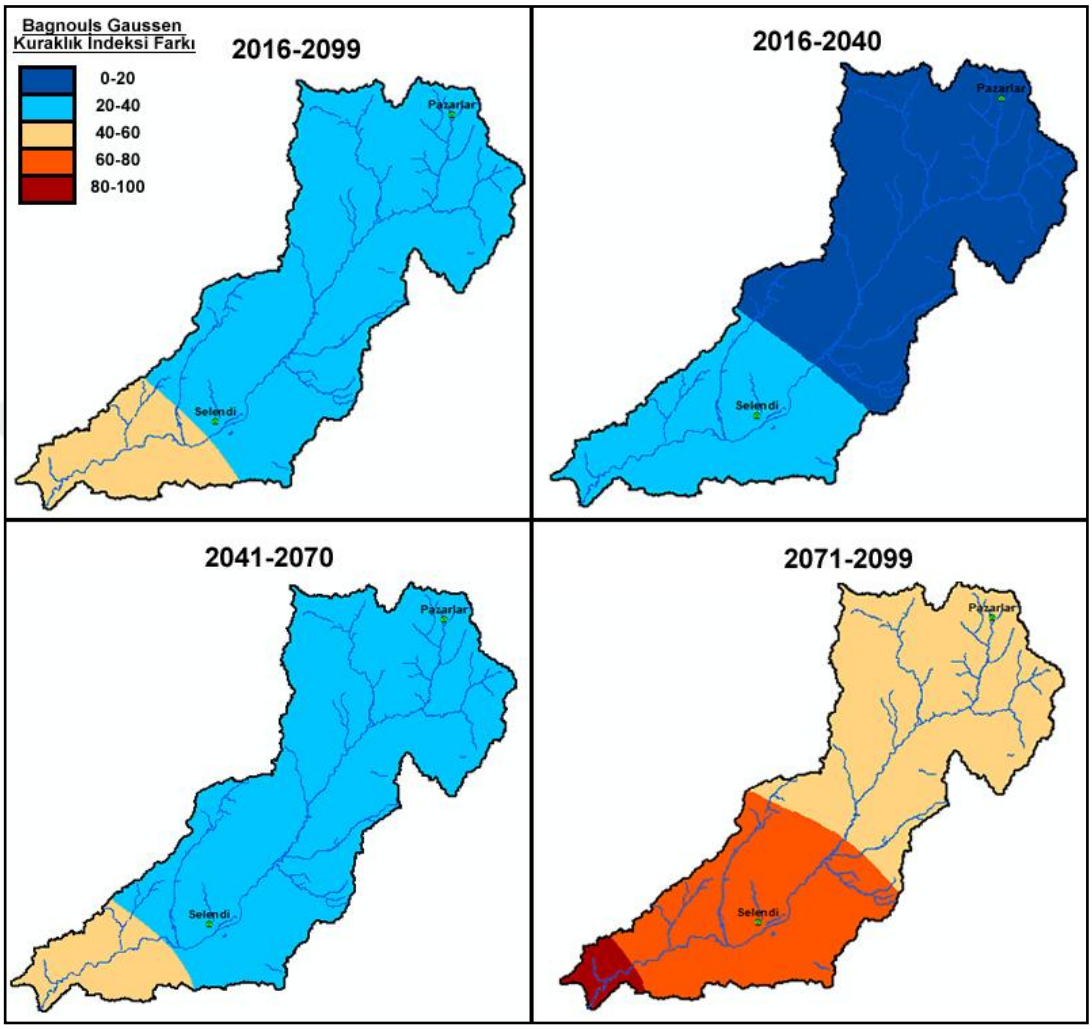
143.7 iken 2071-2099 dönemde minimum değer 158.7, maksimum değer 187.8, havza ortalaması ise 172.7'dir.

Şekil 114: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre kuraklık projeksiyonları.



RCP8.5 senaryosuna göre havzadaki BGI değerlerinin değişimi (Şekil 115) Şekil 114'de belirtilen gelecek dönem ve referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Araştırma alanında kuraklıkla ilgili iklim değişikliğini yansıtan Bagnouls-Gaussen Indeksi fark haritası (Şekil 115) incelendiğinde model değerleri havzanın tümünde artma göstermiştir. Bu artış 2016-2040 periyodunda havzanın güneyinde kuzeyine oranla daha belirgindir.

Şekil 115: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem kuraklık karşılaştırmaları.

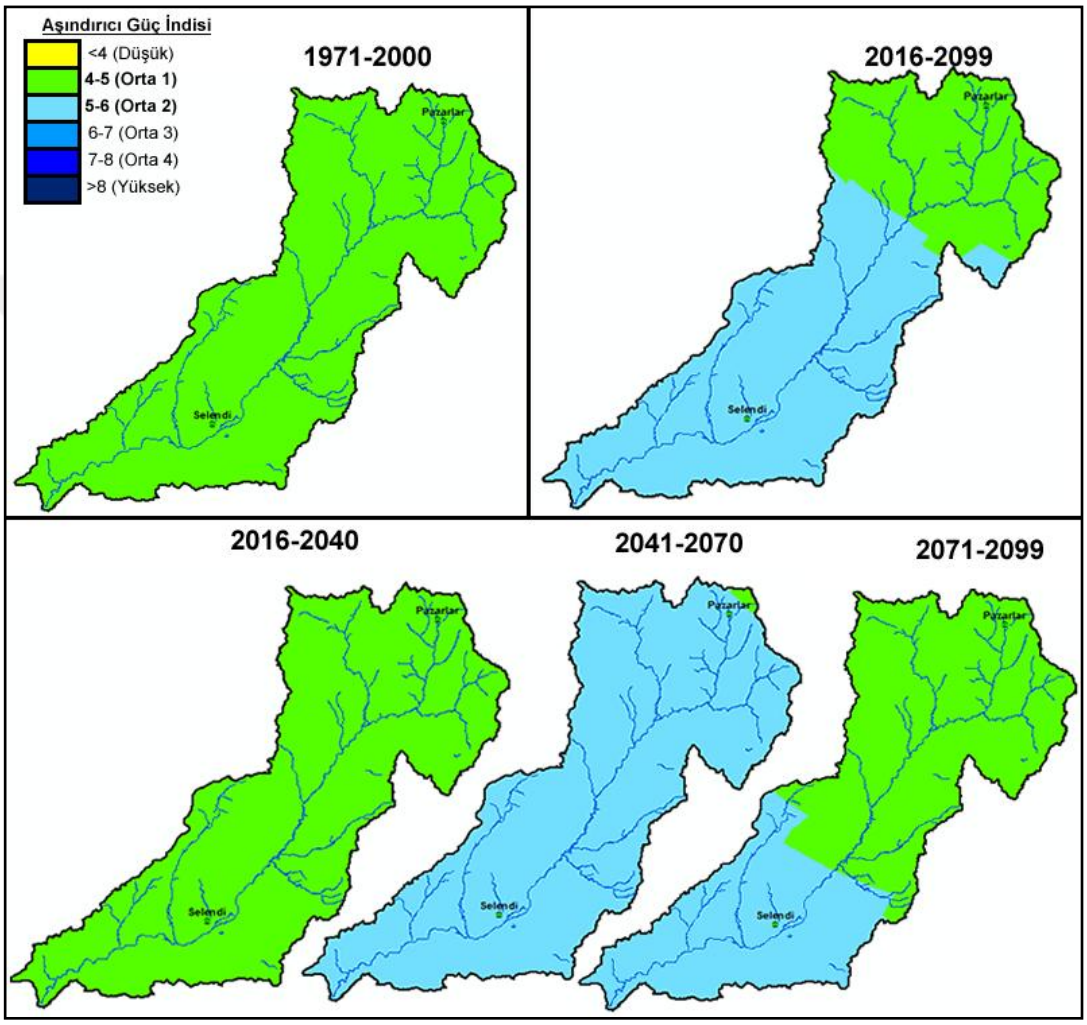


3.5.3. Aşındırıcı Güç İndeksi

Şekil 116'da modelin referans ve senaryo dönemleri için Aşındırıcı Güç İndeksi dağılış haritaları verilmiştir. Araştırma alanında AGI sınıflarından sadece orta sınıfına ait değerler bulunmaktadır. Referans döneminde model verisine göre havzada AGI minimum değer 4.9, maksimum değer 5.0 havza ortalaması ise 4.9'dur. HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 4.2, maksimum değer 5.9, havza ortalaması ise 5.2 olması öngörülmektedir. Havzada kuraklığı dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 4.7, maksimum değer 5.0, havza ortalaması ise 4.9; 2041-2070 döneminde minimum değer 4.9, maksimum değer 5.9, havza

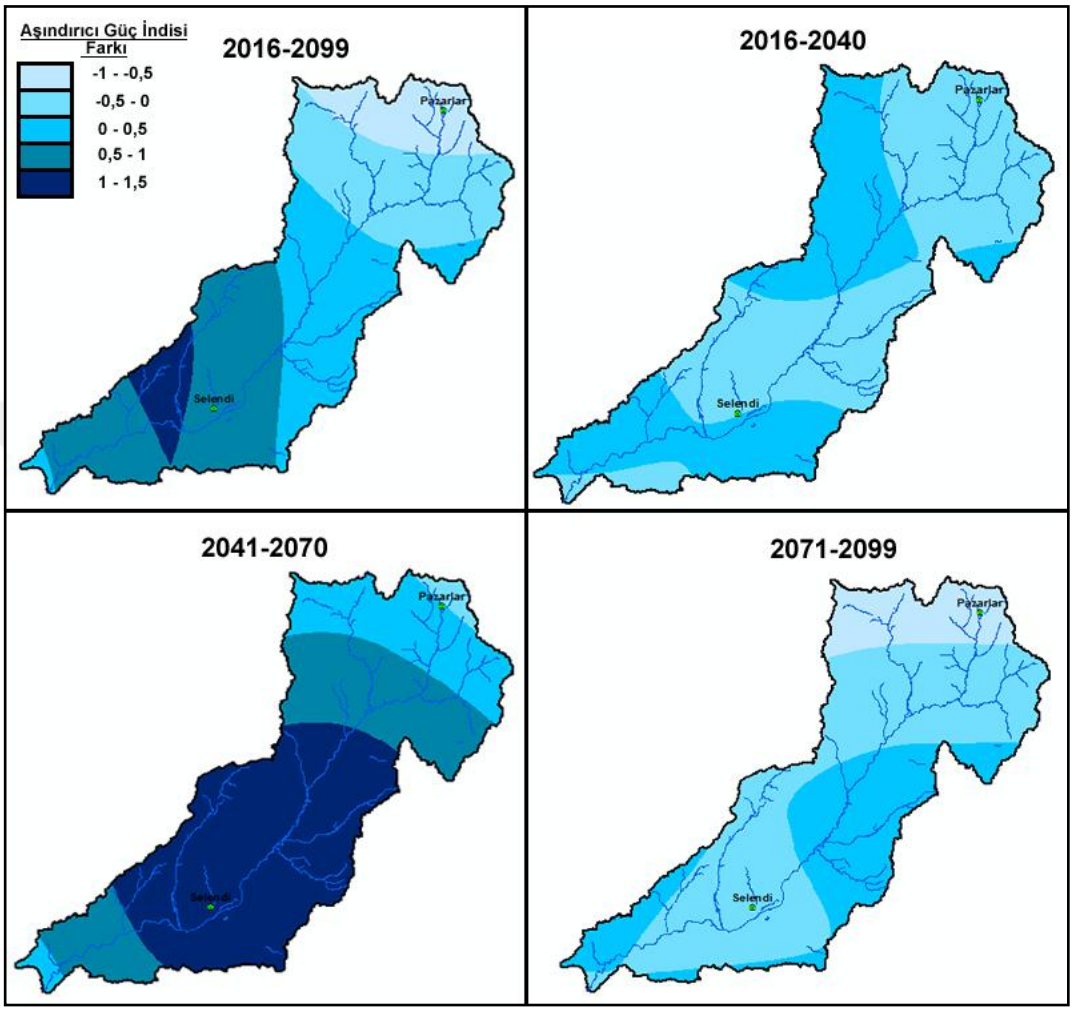
ortalaması 5.6 iken 2071-2099 dönemde minimum değer 4.1, maksimum değer 5.2, havza ortalaması ise 4.8'dir.

Şekil 116: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre aşındırıcı güç indisi projeksiyonları.



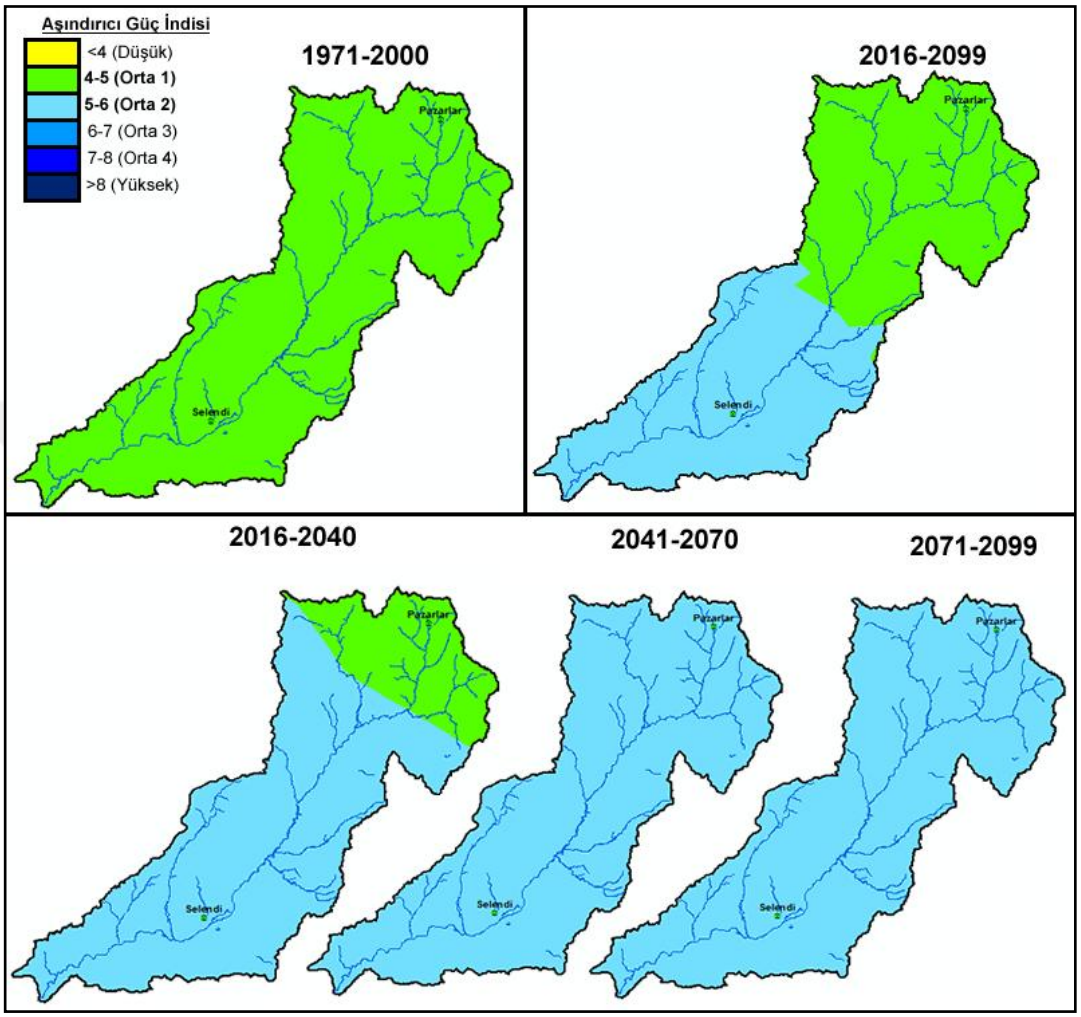
RCP4.5 senaryosuna göre havzadaki AGI değerlerinin değişimi (Şekil 117) Şekil 116'da belirtilen gelecek dönem ve referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Araştırma alanında iklimin erozyon gücü ilgili iklim değişikliğini yansıtan Aşındırıcı Güç İndeksi fark haritası (Şekil 117) incelendiğinde model değerleri havzanın güneyinde artış gösterirken, kuzeyine doğru azalan değerler görülmektedir. Havzanın güneyindeki bu artış özellikle 2041-2070 periyodunda belirgindir.

Şekil 117: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem aşındırıcı güç indisi karşılaştırmaları.



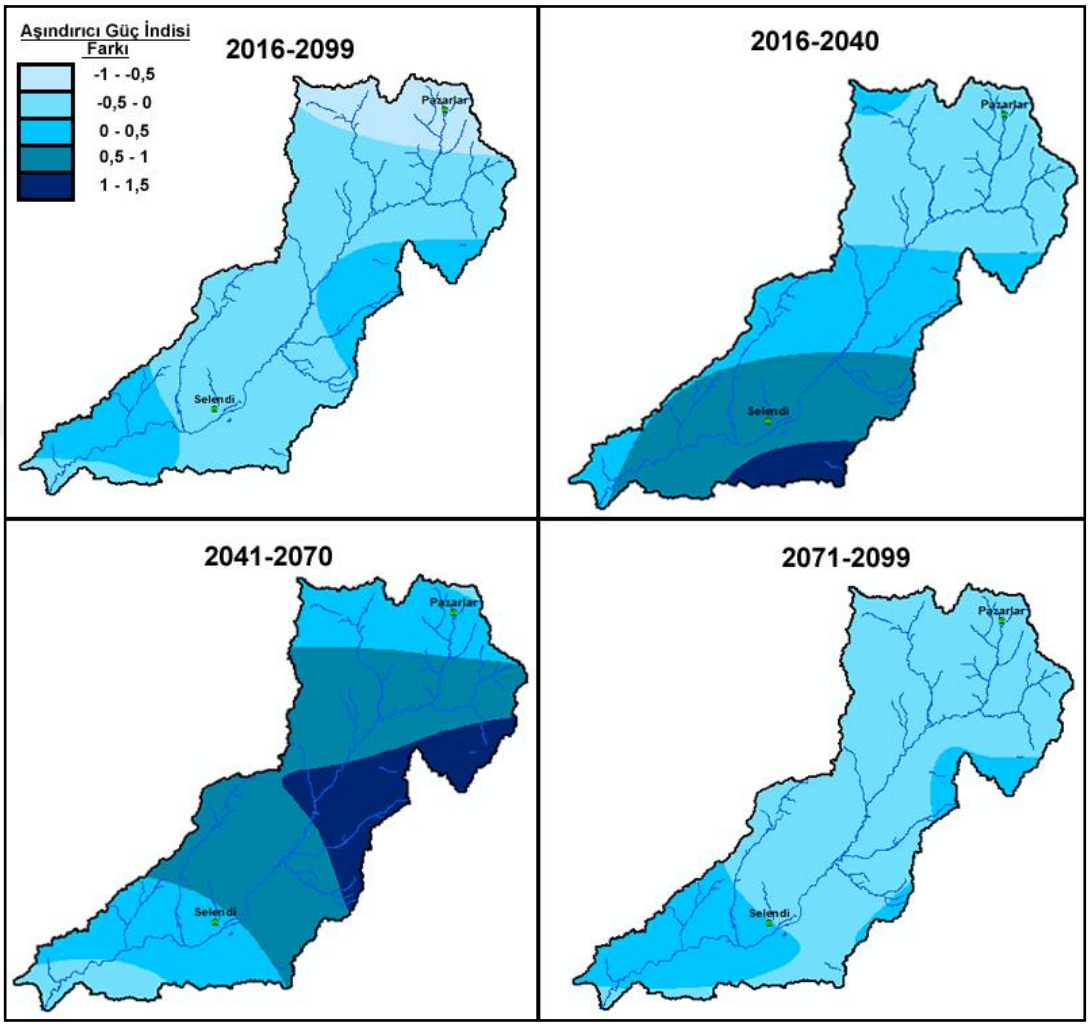
Şekil 118'de modelin referans ve senaryo dönemleri için Aşındırıcı Güç İndeksi dağılış haritaları verilmiştir. Araştırma alanında AGI sınıflarından sadece orta sınıfına ait değerler bulunmaktadır. Referans döneminde model verisine göre havzada AGI minimum değer 4.9, maksimum değer 5.0 havza ortalaması ise 4.9'dur. HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda araştırma alanında minimum değer 4.2, maksimum değer 5.1, havza ortalaması ise 4.9 olması öngörülmektedir. Havzada kuraklığı dönemlik olarak değerlendirdiğimizde ise 2016-2040 döneminde minimum değer 4.7, maksimum değer 5.9, havza ortalaması ise 5.2; 2041-2070 döneminde minimum değer 5.0, maksimum değer 5.9, havza ortalaması 5.5 iken 2071-2099 dönemde minimum değer 5.0, maksimum değer 5.1, havza ortalaması ise 5.0'dır.

Şekil 118: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre aşındırıcı güç indisi projeksiyonları.



RCP8.5 senaryosuna göre havzadaki AGI değerlerinin değişimi (Şekil 119) Şekil 118'de belirtilen gelecek dönem ve referans dönemin farkı alınarak gösterilmiştir. Araştırma alanında iklimin erozyon gücü ilgili iklim değişikliğini yansıtan Aşındırıcı Güç İndeksi fark haritası (Şekil 119) incelendiğinde model değerleri havzanın güneyinde ve doğusunda artış gösterirken, havzanın orta kesiminde ve özellikle kuzeyinde azalan değerler görülmektedir.

Şekil 119: Araştırma alanında HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre 1971-2000 referans dönemi ile gelecek dönem aşındırıcı güç indisi karşılaştırmaları.



3.6. İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Olası Etkilerinin Modellenmesi

Araştırma alanı için en uygun olan güncel erozyon duyarlılık analizine topografik nemlilik indeksi, aşındırıcı güç indeksi, akarsu güç indeksi, bitki örtüsü, arazi kullanımı, yamaç şekli, ayrışma derecesi, drenaj hatlarına uzaklık, drenaj yoğunluğu, eğim, bakı, litoloji parametrelerinin çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) yöntemi ile analizi sonucunda üretilen harita olduğuna karar verilmiştir. Buna göre araştırma alanı için en uygun olan bu erozyon duyarlılık veri setine güncel aşındırıcı güç indeksi yerine 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 ve 2016-2099 dönemleri için üretilen aşındırıcı güç indeksi parametresi dahil edilerek gelecek dönemler için

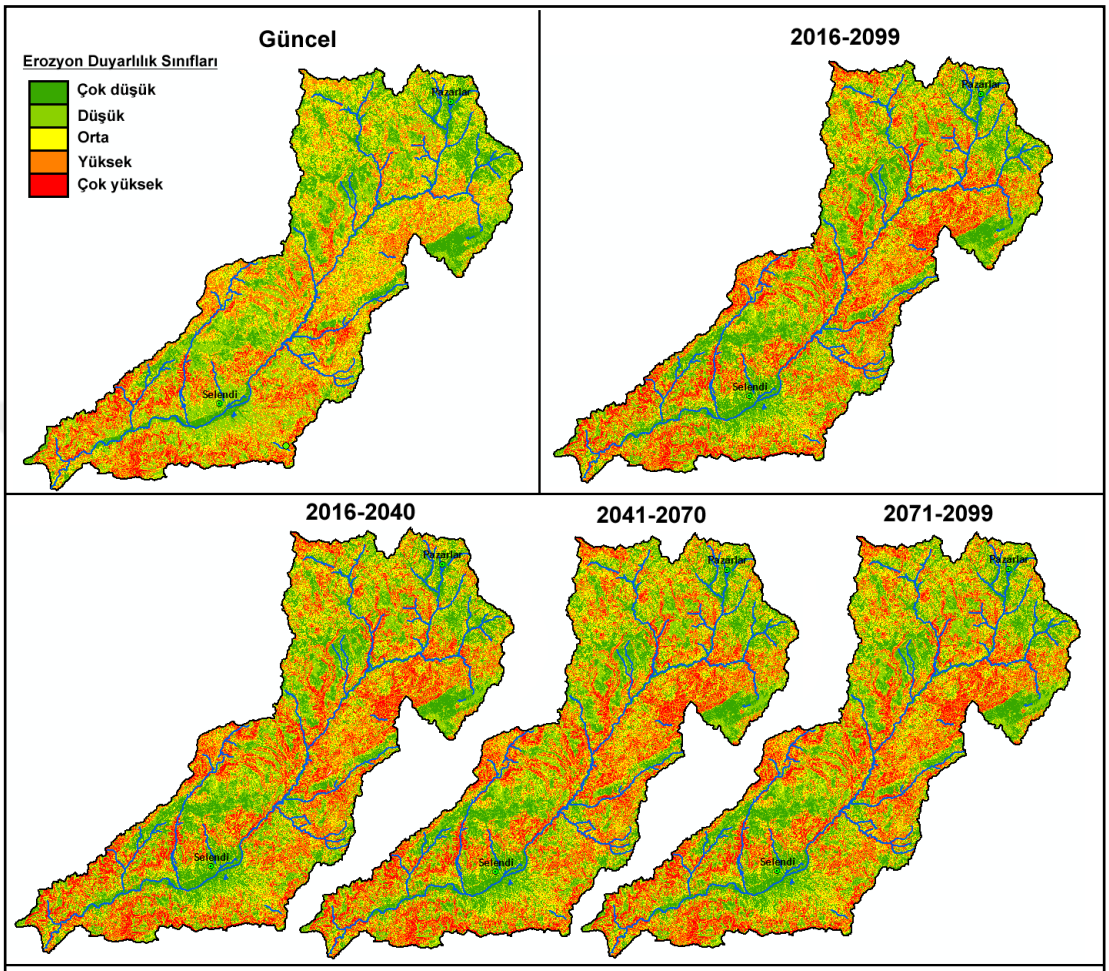
öngörülen erozyon duyarlılık modellemeleri yapılmıştır. Gelecek dönemler için araştırma alanının erozyon duyarlılığında öngörülen değişimler Şekil 120 ve 121'de gerek tablo gerekse harita ile sunulmuştur.

Araştırma alanında iklim değişikliği ile ilgili projeksiyonlar, bunun yağışın erozivitesine, kuraklığa ve nihayetinde aşındırıcı güç indeksine etkileri konusunda analiz ve yorumlar önceki bölümlerde verilmiştir. Erozyon duyarlılık analizlerinde iklimin erozyona etkisiyle ilgili parametre olarak kullanılan aşındırıcı güç indisinin gelecek dönemlerde araştırma alanında sadece orta sınıfına ait değerler bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, gerek RCP 4.5 ve RCP8.5 senaryoları arasında gerekse gelecek dönemle ilgili ayrılan üç periyot arasında (2016-2040, 2041-2070, 2071-2099) aşındırıcı güç indisi araştırma alanı içerisinde farklı değerler göstermekle birlikte bu değerler AGI'nın orta sınıfı dahilindedir (Şekil 116-118). Halbuki güncel erozyon duyarlılık analizlerini yaparken kullanılan aşındırıcı güç indisi parametresinde araştırma alanı içerinde farklı oranda alanlar kaplamakla birlikte aşındırıcı güç indisinin bütün sınıfları (düşük, orta, yüksek) vardı (Şekil 66). Gelecek dönem AGI'nın bütün periyotlarda araştırma alanında sadece orta sınıfına ait değerler olduğu için AGI'nın parametre ağırlıklandırmasında orta sınıfına ait değer atanarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Dolayısıyla bu şartlar altında yapılan gelecek dönem erozyon duyarlılık analizlerinde gerek senaryolar gerekse periyotlar arasında bir değişiklik çıkmamıştır (Şekil 119-120).

RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için 2016-2099 genel periyodunda araştırma alanında erozyon duyarlılığı konusunda öngörülen değişimler şunlardır. Araştırma alanında çok düşük ve çok yüksek erozyon duyarlılık sınıflarının kaplayacağı alanlarda artış, düşük ve orta erozyon duyarlılık sınıflarında azalış, yüksek erozyon duyarlılık sınıfında ise kayda değer bir değişim olmayacağı öngörülmektedir. Çok yüksek erozyon duyarlılık sınıfının güncel erozyon duyarlılık haritasında kapladığı alan 44.3 km^2 iken gelecekte 88.3 km^2'lik bir alan kaplaması öngörülmektedir.Diğer bir deyişle çok yüksek erozyon duyarlılık sınıfının kaplayacağı alanlar hemen hemen iki katına çıkacaktır. Dolayısıyla iklim değişikliğine bağlı olarak en fazla değişikliğin öngörüldüğü sınıf çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip olan alanlardır. Özellikle havzanın kuzeyinde erozyon duyarlılığının çok yüksek olduğu alanların genişlemesi

öngörülmektedir. Genişlemesi öngörülen diğer bir erozyon duyarlılık sınıfı ise çok düşük sınıfıdır. Çok düşük erozyon duyarlılık sınıfının güncel erozyon duyarlılık haritasında kapladığı alan 120.3 km^2 iken, gelecekte 141.1 km^2'lik bir alan kaplaması öngörülmektedir. Dolayısıyla çok yüksek erozyon duyarlılık sınıfında olduğu kadar büyük bir değişim olmasa da çok düşük erozyon duyarlılık sınıfının kapladığı alanlarda da özellikle havzanın güneyinde Selendi Çayı ana kolu boyunca bir genişleme öngörülmektedir. Bu iki erozyon duyarlılık sınıfındaki alansal genişmeye karşılık düşük ve orta erozyon duyarlılık sınıflarınının alanlarında bir azalma olacaktır. En fazla azalmanın olacağı sınıfı orta erozyon duyarlığına sahip alanlardır. Orta erozyon duyarlılık sınıfının güncel erozyon duyarlılık haritasında kapladığı alan 182.7 km^2 iken gelecekte 147.3 km^2'ye gerilemesi öngörülmektedir. Güncel erozyon duyarlılık haritasında 181.9 km^2'lik alan kaplayan düşük erozyon duyarlılık sınıfının ise gelecek dönem projeksiyonlarında 151.6 km^2'ye gerileyecektir (Şekil 120-121).

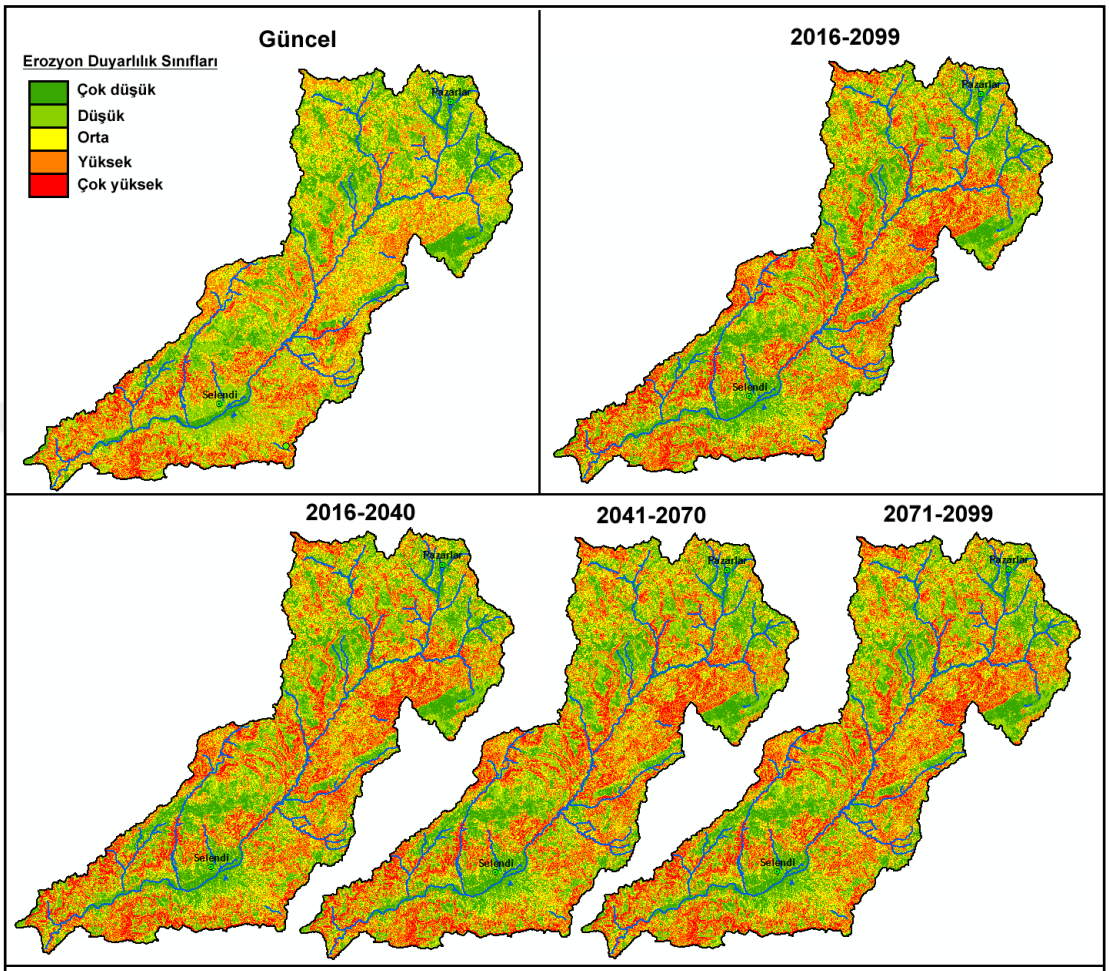
Şekil 120: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 senaryosuna göre erozyon duyarlılık projeksiyonları.



Güncel ve HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 senaryosuna göre gelecek dönemde öngörülen erozyon duyarlılık analizleri sınıflarının kapladıkları alanlar (km2).

Erozyon Duyarlılık Analizi Sınıfı	Güncel	2016-2040	2041-2070	2071-2099	2016-2099
Çok Düşük	120.3	141.1	141.1	141.1	141.1
Düşük	181.9	151.6	151.6	151.6	151.6
Orta	182.7	147.3	147.3	147.3	147.3
Yüksek	183.9	183.3	183.3	183.3	183.3
Çok Yüksek	44.3	88.3	88.3	88.3	88.3

Şekil 121: Araştırma alanında HadGEM2-ES Modeli RCP 8.5 senaryosuna göre erozyon duyarlılık projeksiyonları.



Güncel ve HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 senaryosuna göre gelecek dönemde öngörülen erozyon duyarlılık analizleri sınıflarının kapladıkları alanlar (km2).

Erozyon Duyarlılık Analizi Sınıfı	Güncel	2016-2040	2041-2070	2071-2099	2016-2099
Çok Düşük	120.3	141.1	141.1	141.1	141.1
Düşük	181.9	151.6	151.6	151.6	151.6
Orta	182.7	147.3	147.3	147.3	147.3
Yüksek	183.9	183.3	183.3	183.3	183.3
Çok Yüksek	44.3	88.3	88.3	88.3	88.3

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, Selendi Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık analizi ve iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkilerini değerlendirmede kullanılan yöntem, yaklaşım ve parametrelerin kullanılabilirliğine, farklı yöntem ve parametre guruplarıyla elde edilen erozyon duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesiyle ilgili elde edilen sonuçlara ve değerlendirmelere yer verilmiştir. Ayrıca tez çalışması süresince elde edilen sonuçlara ve tecrübelere dayanılarak gelecek dönemlerde benzer konularda yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Bu kapsamda araştırma süresince yapılan çalışmalarla ilgili sonuçlar, değerlendirmeler ve öneriler özetlenmiştir.

Erozyon duyarlılık analizlerinde parametrelerin ağırlıklandırılması konusunda araziye dayalı bir değerlendirme yapılmak isteniyorsa arazide erozyonun problem olduğu sahaların bir şekilde tespit edilerek envanter oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada bir yerde erozyonun şiddetli olduğunun işaretleri olarak kabul edilen erozyon yüzeyleri referans alınarak, araziden toplanan verilerle envanter oluşturulmuştur. Erozyon yüzeyleri yaklaşımı sahada erozyonun şiddetli olduğu alanlarla ilgili envanter oluşturma konusunda kullanılabilecek uygulanması kolay ve pratik bir yöntemdir. Erozyon duyarlılık analizi için kullanılan parametrelerin konuyla ilgili literatürde sıkça rastlandığı üzere önceki çalışmalara atıf yaparak veya sadece uzman görüşüne dayalı olarak masabaşında ağırlıklandırılması yerine, parametrelerin ağırlıklandırılmasının arazi çalışmaları ile toplanan verilere ve bunların istatistiksel analizine dayandırılması açısından tez çalışmasında uygulanan bu metodoloji önemlidir. Erozyon duyarlılık analizlerinde objektif kriterler doğrultusunda parametre ağırlıklandırması yapılmak isteniyorsa bu yöntem kullanılabilir.

Literatürde erozyon duyarlılık analizlerinde değişik parametrelerin kullanıldığı pek çok yöntemin olması, bu yöntem ve parametrelerin etkinliğinin tartışılabilir olması ve her coğrafi ünitede benzer sonuçlar vermemesi sebebiyle bu çalışmada istatistiksel yöntemlerden frekans oranı ve uzman görüşüne dayalı olan çok ölçütlü karar analizi kullanılmıştır.

Erozyon yüzeyleri envanteri sayesinde literatürde daha çok heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan ve tamamen istatistiksel tabanlı bir yöntem olan frekans oranı yöntemi erozyon duyarlılık analizlerinde uygulanabilmiştir.

Birçok girdi parametre kullanılarak yapılan analizlerde kullanılan parametreler ve bunların elde edilmesinde yararlanılan veriler analiz sonuçlarının doğruluğu üzerinde oldukça önemlidir. Özellikle alansal olarak geniş, analize girecek bu kadar çok ve çeşitli veriyi istenilen doğrulukta elde etmek zordur. Bu sebeple analiz sonucunda elde edilen erozyon duyarlılıklarının belli bir hata payının olması kaçınılmazdır. Önemli olan ise bu hata payını kantitatif olarak ortaya koymak ve analiz sonuçlarını bu doğrultuda değerlendirmektir. Literatürde bulunan pek çok erozyon duyarlılık analizinden farklı olarak bu çalışmada ayrıntılı prosedürü Bölüm 2'de açıklandığı üzere arazi ölçüm verileri ile doğruluk analizi yapılmıştır.

Üretilen erozyon duyarlılık analizi haritalarının doğruluk değerlendirmesi için araziye 115 adet doğrulama istasyonu kurulmuş ve 1 yıllık gözlem yapılmıştır. Kuşkusuz daha fazla doğrulama istasyonu ve uzun gözlem süresi ile doğrulama işlemleri daha ideal şekilde yapılabilirdi. Fakat çalışma alanının boyutları, tez projesinin süresi ve bütçesi göz önünde bulundurulduğunda bu işlemleri gerçekleştirmek her zaman araştırmacıların istediği şekilde olamıyor. Fakat bu handikaplar doğrulama istasyonu kurma yeri seçerken ve sonuçlar değerlendirilirken izlenen prosedürlerle aşılmaya çalışılmıştır. Doğrulama istasyonu kuruluş yeri seçerken erozyon duyarlılık haritalarındaki bütün duyarlılık sınıflarına tekabül edecek şekilde yer seçimi yapılmıştır. 1 yıllık gözlem sonuçları, gözlem sonuçlarının ait olduğu süreçteki iklim parametrelerinin araştırma alanının uzun yıllar ortalama iklim şartları ile karşılaştırması yapılarak, standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Böylece arazi doğrulaması için ölçüm yapılan yıla ait değerlendirmelerin araştırma alanının ortalama durumunu ne kadar yansıttığı ortaya konulmuştur.

İki farklı yöntem ve beş parametre gurubuyla elde edilen erozyon duyarlılık haritalarının arazi ölçümleriyle karşılaştırmaları sonucunda araştırma alanı için en uygun güncel erozyon duyarlılık analizinin topografik nemlilik indeksi, aşındırıcı güç indeksi, akarsu güç indeksi, bitki örtüsü, arazi kullanımı, yamaç şekli, ayrışma derecesi, drenaj hatlarına uzaklık, drenaj yoğunluğu, eğim, bakı, litoloji

parametrelerinin çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile analizi sonucunda üretilen harita olduğuna karar verilmiştir. Dolayısıyla iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkileri bu parametre gurubu ve yöntemle üretilen haritada araştırma alanının gelecek iklim koşullarını sağlayan değişiklikler yapılarak verilmiştir.

Çok ölçütlü karar analizinin bu çalışmada frekans oranına göre daha başarılı sonuçlar vermesinin sebebi parametreleri ağırlıklandırma işleminin ayrıntılı arazi çalışmalarına ve bunların istatistiksel analiz sonuçlarının uzman görüş ve deneyimleriyle birleştirilmesine dayandırılması olduğu düşünülmektedir. Fakat bu değerlendirmeden frekans oranı yönteminin erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılamayacak bir yöntem olduğu anlamı kesinlikle çıkarılmamalıdır. Çünkü parametre sayıları ve niteliği araştırma alanını temsil edebilecek seviyede olduğunda şüphesiz ki, frekans oranı yöntemiyle elde edilen erozyon duyarlılık haritaları da pratik anlamda havza yönetimi çalışmalarında faydalanılabilecek seviyede sonuçlar verebilecek etkin bir istatistiksel analiz yöntemidir.

Erozyon duyarlılığının mekânsal değişimi pek çok araştırmaya konu olmuşsa da zamansal değişimi konusunda özellikle ulusal literatürde uygulamalı araştırmalara pek rastlanmamaktadır. Bu çalışma sonucunda ortaya konulan model ile erozyon duyarlılığının havza ölçeğinde hem mekansal hem de zamansal değişimi sunulmuştur. Böylece literatürde özellikle konunun zamansal boyutuyla ilgili araştırma eksikliği gidermeye yönelik bir adım atılarak katkı sağlanmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün küresel iklim modeli verilerini bilimsel çalışmalar için ücretsiz olarak sunması iklim değişikliği etkileri ile ilgili çalışmalardaki veri temini açısından çok olumlu bir gelişmedir. Fakat modellerinin çözünürlüklerinin düşük olması ve gelecek dönem senaryolarıyla ilgili Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden günlük verilerin temin edilememesi erozyon duyarlılığında özellikle yağışla ilgili daha detaylı öngörüler ortaya koymamızı engellemektedir. İklim projeksiyon verileriyle ilgili bu sınırlılıklar araştırmada erozyon duyarlılığında iklimin erozyona etkisini ortaya koyarken Modified Fournier Indeks ve Bagnouls Gaussen Indeks gibi aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağışların kullanıldığı indeksleri kullanmayı zorunlu kılmıştır. Gelecek yıllarda iklim değişikliği

projeksiyonlarıyla ilgili günlük verilerin paylaşılması konuyla ilgili daha detaylı araştırma yapma ve daha farklı indeksler kullanma yolunu açabilir.

HadGEM2-ES küresel iklim modelinin doğruluk analizi amacıyla modelin 1971-2000 dönemine ait referans verisi ile Simav, Uşak ve Gediz Meteoroloji İstasyonu rasat verileri karşılaştırılmış, ortalama hata ve en küçük hata değerleri hesaplanmıştır. Belli bir hata payının kaçınılmaz olarak bulunacağı model verilerinin hata miktarları araştırma alanı için hesaplanarak gerek sayısal gerekse grafik olarak sunulmuştur. Hata paylarının kabul edilebilir değerlerde olması ve genel olarak model verilerinin meteoroloji istasyonu rasat verileriyle aynı desene sahip olması (gözlem verisi ile model verisi değerlerindeki artış ve azalışların paralel olması) model verilerinin araştırmada kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının ortalama sıcaklık ve toplam yağışlarıyla ilgili trend analizleri de yapılmıştır. Gerek meteoroloji istasyonlarının rasat verilerini kullanarak yapılan trend analizleri gerekse iklim değişikliği ile ilgili araştırma alanını da kapsayan mevcut literatür model verilerinin öngördüğü toplam yağış ve ortalama sıcaklık değişimlerini destekler niteliktedir. Nitekim model verilerinin araştırma alanı için öngördüğü ortalama sıcaklıklardaki artış, yağış miktarlarındaki azalış araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının rasat verilerine uygulanılan trend analizleriyle benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu alanı kapsayan konuyla ilgili mevcut literatür de yağış ve sıcaklıklarda model verilerinin öngördüğü değişimleri desteklemektedir. Dolayısıyla gerek araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının rasat verilerinin trend analizleri gerekse araştırma alanınını içine alan konuyla ilgili mevcut literatürdeki sonuçların küresel iklim modelinin öngörüleri ile uyumlu olması küresel iklim modeli verilerinin araştırma alanı için gelecek dönem öngörülerinde kullanılabilir olduğunu kanıtlar niteliktedir.

HadGEM2-ES küresel iklim modeli ve RCP 4.5 ile RCP 8.5 temelli elde edilen yağış ve sıcaklık projeksiyonları kullanılarak yapılan yağışın erozivitesi ve kuraklık öngörülerine göre; araştırma alanında erozyon duyarlılık sınıflarının kapladığı alanların miktarı ve mekansal dağılışı gelecekte yaşanması muhtemel iklim değişikliklerinden etkileneceklerdir. Fakat bu etkinin miktarı konusunda gelecek dönem erozyon duyarlılık analizlerinde gerek senaryolar gerekse periyotlar arasında

bir değişiklik çıkmamıştır. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için 2016-2099 periyodunda araştırma alanında erozyon duyarlılığı konusunda öngörülen değişimler şunlardır. Araştırma alanında çok düşük ve çok yüksek erozyon duyarlılık sınıflarının kaplayacağı alanlarda artış, düşük ve orta erozyon duyarlılık sınıflarında azalış, yüksek erozyon duyarlılık sınıfında ise kayda değer bir değişim olmayacağı öngörülmektedir. Çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip sınıfın gelecekte şuankinin yaklaşık iki katı kadar büyük bir alan kaplayacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla en fazla değişiklik çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip olan sınıfta beklenmektedir.

Araştırmada gelecek dönem erozyon duyarlılık modellemelerinde parametre olarak kullanılan arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametrelerinin gelecek dönemde de güncel durumunun aynısı kalacağı varsayılmıştır. Hâlbuki bu parametrelerdeki değişimlerin de gelecek dönem modellemelerine katılması durumunda sonuçların daha farklı çıkması kaçınılmazdır. Bunlar gelecek dönem modellemelerini yaparken karşılaşılması muhtemel bir takım handikaplar, sınırlılıklardır.

Sonuç itibariyle erozyon duyarlılığı üzerinde iklim değişikliği tek belirleyici unsur olmamakla birlikte yağışın erozivitesinde ve kuraklıkta meydana gelmesi öngörülen değişikliklerin erozyon duyarlılığı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

İklim erozyon duyarlılığını etkileyen önemli faktörlerden biridir ve iklim değişikliği sürecinde değişen koşulların erozyon duyarlılığını nasıl etkileyeceği mutlaka araştırılmalıdır. Bu konuda iklimin erozyona dolaylı etkilerini de ortaya koyabilecek daha ayrıntılı parametrelerin analize katılmasıyla, zamana bağlı değişimleri daha iyi bir şekilde ortaya koyan ayrıntılı erozyon duyarlılık modellemesi yapılması daha ayrıntılı ve büyük projelerle mümkündür.

Araştırmada kullanılan yöntem ve yaklaşımlar ülkemizde özellikle tarımsal açıdan önemli ve baraj bulunan havzalara uygulanabilir. Fakat bu araştırma ile sunulan koşul ve sonuçların diğer alanlardan bağımsız olduğu unutulmamalıdır. Oluşturulan model başka bir bölgeye uygulanacağı zaman parametrelerin ve parametrelerin alt sınıflarının ilgili bölgenin durumuna göre mutlaka yeniden düzenlenmesi, ağırlıklandırılması ve elde edilen sonuçların da doğruluk analizinin yapılması gerekmektedir.

Havzada erozyon duyarlılığının güncel durumuyla birlikte iklim değişikliği sürecinde meydana gelebilecek değişikliklerin de ele alınması havza yönetimi ve planlaması çalışmalarında önemlidir. Bu tip planlama çalışmalarında iklim senaryolarını kullanırken en olumsuz senaryonun tercih edilmeli ve planlama çalışmaları en kötüsü düşünülerek yapılmalıdır.

Yapılan bu çalışmanın sonuçları havza planlamalarında kullanılabilir. Şöyle ki; düşük ve çok düşük erozyon duyarlılık sınıfındaki alanlar erozyon açısından problem olması beklenmeyen alanlardır. Araştırma alanının sosyo-ekonomik ihtiyaçları doğrultusunda arazi kullanımı veya havza yönetimi planlarında ziraat alanları olarak değerlendirilebilirler. Orta derecede erozyon duyarlılığına sahip alanlar zaman içerisinde erozyonun problem olarak görülebileceği alanlardır. Bu tip sahalar özellikle ziraat amaçlı kullanılırken bu durum göz önünde bulundurularak gerekli etüt ve planlamalar yapılmalıdır. Yüksek ve çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip ziraat sahası olarak kullanılmaması gereken alanlardır. Bu sebeple buralarda başka tip kullanım faaliyetleri planlanmalıdır. Ayrıca tarım ve hayvancılığın temel geçim kaynağı olduğu havzada yüksek ve çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip alanlar için daha özel, spesifik erozyon ölçümleri yapılıp, bu alanlardaki erozyon hızları nicel olarak değerlendirilebilinir. Sorunlu alanlarda yapılacak arazi etütlerinde Ormancılarla istişare halinde işbirliği yapılarak erozyon koruma çalışmaları planlanabilir veya mevcut erozyon koruma çalışmalarına yön verilebilinir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri erozyon duyarlılık analizlerini yapmada ve gelecek dönem modellemelerinde kullanılabilen çok iyi bir araçtır. Fakat bu araçtan iyi bir şekilde yararlanabilmek için kantitatif veri üretmek, yapılan analiz ve değerlendirmelerin arazi çalışmalarına ve bunların istatistiksel yorumlamasına dayandırılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

ABD ELBASIT, M.A.M, HUANG, J., OJHA, C., YASUDA, H., ADAM, E.O.: 2013 — "Spatiotemporal Changes of Rainfall Erosivity in Loess Plateau, China", **ISRN Soil Science**, 2013, 1-8.

AGNESI, V., ANGILERI, S., CAPPADONIA, C., CONOSCENTI, C., ROTIGLIANO, E.: 2011 — "Multi-parametric GIS Analysis to Assess Gully Erosion Susceptibility: A Test in Southern Sicily, Italy", **Landform Analysis**, 17, 15-20.

AKGÜN, A.: 2007 — **Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi**, Dokuz Eylül Üni. Fen Bilimleri E.., Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir.

AKGÜN, A., TÜRK, N.: 2010 — "Mapping Erosion Susceptibility by a Multivariate Statistical Method: A Case Study from the Ayvalık Region", NW Turkey, **Computers&Geosciences**, 37 (9), 1515-1524.

ALI, M.H., ABUSTAN, I., RAHMAN, M.A., HAQUE, A.A.M.: 2012 — "Sustainability of Graundwater Resources in the North-Eastern Region of Bangladesh", **Water Resources Management**, 26, 623-641.

ALTINBAŞ, Ü., ÇENGEL, M., UYSAL, H., OKUR, B., OKUR, N., KURUCU, Y., DELIBACAK, S.: 2008 — **Toprak Bilimi**, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.

ANABALAGAN, R.: 1992 — "Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain", **Engineering Geology**, 32 (4), 269-277.

ANGILERI, S.E.: 2012 — **Water Erosion Prediction by Stochastic and Empirical Models in the Mediterranean: A Case Study in Northern Sicily (Italy)**, der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät Tübingen zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften, Unpublised PhD Thesis, Tübingen.

APAYDIN, H., ERPUL, G., BAYRAMIN, I., GABRIELS, D.: 2006 — "Evaluation of Indices for Characterizing the Distribution and Concentration of Precipitation: A Case for the Region of Southestern Anatolia Project", **Journal of Hydrology**, 328, 726-732.

ARDEL, A., KURTER, A., DÖNMEZ, Y.: 1969 **Klimatoloji Tatbikatı**, Taş Matbaası, İstanbul.

ARDEL, A.: 1973 **Klimatoloji**, İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 146, Edebiyat Fakültesi Basımevi, İstanbul.

ARNOLDUS, H.M.J.: 1977 "Methodology Used to Determine the Maximum Potential Average Anuual Soil Loss Due to Sheet and Rill Erosion in Morocco", **FAO Soils Bulletin**, 34, 39-51.

ASLAN, Z.: 2009 **Yüzey Gözlemlerine ve Uzaktan Algılama Tekniklerine Dayalı Aktüel Erozyon Riski Analizi**, TUJIB-TUMEHAP-01-06, Ankara.

ATALAY, İ.: 2006 **Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası**, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.

AVAID, Y., KUTIEL, H., LAVEE, H.: 2013 "Empirical Models of Rain-spells Characteristics-A Case Study of a Mediterranean-Arid Climatic Transect", **Journal of Arid Environments**, 97, 84-91.

AVCI, M.: 1993 "Türkiye'nin Flora Bölgeleri ve Anadolu Diagonali'ne Coğrafi Bir Yaklaşım", **Türk Coğrafya Dergisi**, 28, 225-248.

AVCI, M.: 2013 "Dünya'da ve Türkiye'de Step Formasyonu", Ed.:Ertuğ Öner, **Prof.Dr.Asaf Koçman'a Armağan**, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 111-131.

AVCI, V.: 2016 "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl) Erozyon Duyarlılık Analizi", **Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi**, 26, 170-193.

AVCI, V.: 2016 "Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl Güneybatısı) Frekans Oranı Metoduna Göre Heyelan Duyarlılık Analizi", **Marmara Coğrafya Dergisi**, 34, 160-177.

AYSAL, N.: 2001 "Uşak'ın Türkiye Jeolojisindeki Yeri", **21. Yüzyılın Eşiğinde Uşak Sempozyumu**, Cilt 2, Uşaklılar Eğitim ve Kültür Vakfı Yayınları, Uşak.

BAHADIR, M.: 2011	"Ege Bölgesi'nde Yağışın Yüzeysel Dağılım Modellemesi", **Turkish Studies**, 6 (2), 211-226.
BAHADUR, K.C.K.: 2009	"Mapping Soil Erosion Susceptibility Using Remote Sensing and GIS: A Case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand", **Environment Geology**, 57, 695-705.
BAKER, V.R., KOCHEL, R.C., PATON, P.C.: 1988	**Flood Geomorphology**, John Wiley & Sons, USA.
BAŞAYIĞIT, L., UÇAR, G., DEDEOĞLU, M.: 2016	"CBS ve LANDSAT Uydu Görüntüsü ile Beyşehir Gölü Havzası Toprak Kayıplarının RUSLE Metoduna Göre Tahmini", **Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fak. Dergisi**, 11(2), 1-10.
BATHRELLOS, G., SKILODIMOU, H.: 2007	"Using the Analytic Hierarchy Process to Create an Erosion Risk Map, A Case Study in Malakasiotiko Stream, Trikala Perfecture", **Bulletin of the Geological Society of Greece**, XXXX, 1904-1915.
BAYRAMIN, İ.: 2003	"Soil Erosion Risk Assessment With LEAM Model; Case Study: Beypazarı Area", **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 23, 105-116.
BAYRAMIN, I., DENGIZ, O., BAŞKAN, O., PARLAK, M.: 2003	"Soil Erosion Risk Assessment With ICONA Model; Case Study: Beypazari Area", **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 27 (2), 105-116
BAYRAMIN, İ., ERPUL, G., ERDOĞAN, E.H.: 2006	"Use of CORINE Methodology to Assess Soil Erosion Risk in the Semi-Arid Area of Beypazari-Ankara, Turkey", **Turkish Journal of Agricultural and Foresty**, 30, 81-100.
BEGUERIA, S.: 2006	"Validation and Evaluation of Predictive Models in Hazard Assessment nad Risk Management", **Natural Hazards**, 37, 315-329.
BENITO, G., GUTIERREZ, M., SANCHO, C.: 1992	"Erosion Rates in Badlands Areas of the Central Ebro Basin (NE Spain)", **Catena**, 19, 269-286.
BHAWARE, K.O.: 2006	**Soil Erosion Risk Modeling and Current Erosion Damage Assessment Using Remote Sensing and GIS Techniques**, Andhra University, Unpublished M.S. Thesis, Dehradun.

BHUNIA, G.S., SAMANTA, S., PAL, B.: 2012 "Quantitative Analysis of Relief Characteristics Using Space Technology", **International Journal of Physical and Social Sciences**, 2 (8), 350-365.

BISHOP, M.P., SHRODER, J.F., BONK, R., OLSENHOLLER, J.: 2002 "Geomorphic Change in High Mountains: A Western Himalayan Perspective", **Global and Planetary Change**, 32 (4), 311-329.

BONHAM CARTER, G.F.: 1994 **Geographic Information Systems for Geoscientists, Modeling with GIS**. Pergamon Press, Oxford.

CAMPLING, P., GOBIN, A., FEYEN, J.: 2002 "Logistic Modelling to Spatially Predict the Probability of Soil Drainage Class", **Soil Science Society of America Journal**, 66, 1390-1401.

CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V., REICHENBACH, P.: 1991 "GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard", **Earth Surf Processes and Landforms**, 16 (5), 427-445.

CEBECI, İ., ÖZTÜRK, F., SARISAMUR, F., CEBEL, H.: 2013 "Güvenç Havzası Aşındırıcı Güç İndisleri ve Kurak Dönemlerin Belirlenmesi", **Toprak Su Dergisi**, 2 (1), 15-22.

CHITRA, C., ALAGURAJA, P., GANESHKUMARI, K., YUVARAJ, D., MANIVEL, M.: 2011 "Watershed Characteristics of Kundah Subbasin Using Remote Sensing and GIS Techniques", **Int. J. Geomatics Geosci**, 2 (1), 311-335.

CHORLEY, R.J.: 1969 **Introduction to Physical Hydrology**, Methuen and Co Ltd, Suffolk.

CHUNG, C.F., FABBRI, A.G.: 1999 "Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping", **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 65 (12), 1388-1399.

CLARK, R.: 1980 "Erosion Condition Classification System", **U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management**, Technical Note No: 346, Denver Service Center, Colarado.

COLE, S. VE MCCARTHY, L.: 2012 **NASA Finds 2011 Ninth-Warmest Year on Record**, NASA Earth Observatory, Goddard Space Flight Center, Sciences and Exploration Directorate Earth Sciences Division, News.

CONFORTI, M., PIETRO, P., AUCELLI,P.P.C., ROBUSTELLI, G., SCARCIGLIA, F.: 2011	"Geomorphology and GIS Analysis for Mapping Gully Erosion Susceptibility in the Turbolo Stream Catchment (Norhern Calabria, Italy)", **Natural Hazards**, 56, 881-898.
CONOSCENTI, C., DI MAGGIO, C., ROTIGLIANO, E.: 2008	"Soil Erosion Susceptibility Assessment and Validation Using a Geostatistical Multivariate Approach: A Test in Southern Sicily", **Natural Hazards**, 46, 287-305.
CRAWFORD, A.R: 1975	**1/25000'lik J21-c1, c3- c4; K21-b1, b2, b3, b4 Paftaları Kapsamına Giren Demirci, Simav, Selendi Arasında Kalan Sahanın Jeolojisi Hakkında Rapor**, MTA Raporu, No: 6892, Ankara.
CURTIS, W.R. VE COLE, W.D., 1972	"Microtopographic Profile Gauge", **Agricultural Engineering**, 53 (1), 17.
CÜREBAL, İ., EKINCI, D.: 2006	"Kızılkeçili Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE Yöntemiyle Erozyon Analizi", **Türk Coğrafya Dergisi**, 47, 115-30.
ÇAKICI, M.: 1991	**Temel İstatistik**, Emek Matbaacılık, Manisa.
ÇELIK, V.: 2011	**Değirmen Deresi Havzası'nda (Bolvadin-Afyonkarahisar) Toprak Erozyonu Risk Analizi**, AKÜ Sosyal Bilimler Ens., Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
ÇEVIK, E., TOPAL, T.: 2003	"GIS-based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey)", **Environmental Geology**, 44 (8), 949-962.
ÇILEK, A., BERBEROĞLU, S.: 2013	"Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Seyhan Havzasında PESERA ve RUSLE Erozyon Modellerinin Kıyaslanması", **TMMOB 2013 Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi**, Ankara.
ÇILEK, A., BERBEROĞLU, S., ERDOĞAN, M.A., DÖNMEZ, C.: 2014	"PESERA ve RUSLE Erozyon Modellerinin Akdeniz ve Ege Havzalarındaki Sonuçlarının Karşılaştırılması", **UZAL-CBS 2014**, İstanbul.
DAI, F.C, LEE, C.F., LI, J., XU, Z.W.: 2001	"Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong", **Environmetal Geology**, 40 (3), 381-391.

DAI, F.C., VE LEE, C.F.: 2002 "Landslide Characteristics and Slope Instablity Modelling Using GIS, Lantau, Island, Hong Kong", **Geomorphology**, 42, 213-228.

DE BIE, C.A.J.M.: 2005 "Assessment of Soil Erosion Indicators for Maize-based Agro-ecosystems in Kenya", **Catena**, 59, 231–251.

DE LUIS, M., GARCIA CANO, M.F., CORTINA, J., RAVENTOS, J., GONZALEZ-HIDALGO, J.C., SANCHEZ, J.R.: 2001 "Climatic Trends, Disturbances and Short-term Vegetation Dynamics in a Mediterranean Shrubland", **Forest Ecology and Management**, 147, 25-37.

DE LOLLO, J.A., SENA, J.N.: 2013 "Establishing Erosion Susceptibility: Analytical Hierarchical Process and Traditional Approaches", **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 72, 589-600.

DEĞERLIYURT, M.: 2014 "Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Orman Yangınlarının Erozyona Etkisinin Belirlenmesi, Amanos Dağları Örneği", **Marmara Coğrafya Dergisi**, 29, 195-219.

DESMET, P.J.J., G. GOVERS: 1996 "A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units, **Journal of Soil and Water Conservation**, 51(5), 427-435.

DEMIR, İ., KILIÇ, G.C., SÜMER, M.U.: 2008 "Türkiye'de Maksimum Minimum ve Ortalama Hava Sıcaklıkları ile Yağış Dizilerinde Gözlenen Değişiklikler ve Eğilimler", **TMMOB İklim Değişikliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, s. 69-84.

DEMIR, M.: 2011 **Nokta Yükü Dayanımı Deneyine Etki Eden Faktörlerin Yapay Örnekler Kullanılarak Araştırılması**, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

DEMIR, Ö., ATAY, H., ESKIOĞLU, O., TUVAN, A., DEMIRCAN, M., AKÇAKAYA, A.: 2013 "RCP4.5 Senaryosuna Göre Türkiye'de Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları", **III.Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013**, 3-5Haziran 2013, İstanbul.

DESIR, G., MARÍN, C.: 2007 "Factors Controlling the Erosion Rates in a Semi-arid Zone (Bardenas Reales, NE Spain)", **Catena**, 71, 31-40.

DESIR, G., MARÍN, C., GUERRERO, J.: 2005 "Badlands and Talus Flatirons in the Bardenas Reales Region", **Sixth International Conference on Geomorphology, Field Trip Guide**, Zaragoza.

DI CASTRI, F.: 2012 "Climatographical Comparisons Between Chile and the Western Coast of North America, Mediterranean Type Ecosystems: Origin and Structure", **Ecological Studies 7**, Ed: Francesco di Castri, Harold A. Mooney, Springer Science & Business Media, New York, 20-35.

DINDAROĞLU, T., CANPOLAT, M.Y.: 2013 "Erzurum İli Kuzgun Baraj Gölü Havzasında Gerçek ve Potansiyel Erozyon Risk Alanlarının CORINE Yöntemiyle Belirlenmesi", **KSÜ Doğa Bil.Dergisi**, 16 (3), 1-8.

DÖNMEZ, Y.: 1972 **Kütahya Ovası ve Çevresinin Fiziki Coğrafyası**, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Ens. Yayınları, No:70, İstanbul.

DÖNMEZ, Y.: 1979 **Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları**, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No: 2506, İstanbul.

DRAMIS, F., GENTILI, B.: 1977 "Contributo Allo Studio Delle Acclività Dei Versanti Nell'Appennino Umbro-Marchigiano", **Studi Geologici Camerti**, 3, 153-164.

EASTMAN, J.R.: 2004 **IDRISI Klimanjaro: Guide to GIS and Image Processing**, Worcester, USA.

ECMWF: 2006 **Verification of ECMWF Products in Member States and Co-Operating States Report 2006,** The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, UK.

ELIREHEMA, Y.S.: 2001 **Soil Water Erosion Modelling in Selected Watersheds in Southern Spain**, IFA, ITC, Enshede.

EMIR, E.: 2014 **Kaya Mekaniği Ders Notları**, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

ERCAN, T., GÜNAY, E., DINÇEL, A., TÜRKECAN, A., KÜÇÜKAYMAN, A.: 1980 **Kula-Selendi Yörelerinin Jeolojisi ve Volkanitlerin Jeolojisi**, MTA Raporu, No: 6801, Ankara.

ERCAN, E., TÜRKECAN, A., DINÇEL, A., GÜNAY, E.: 1983 "Kula-Selendi (Manisa) Dolaylarının Jeolojisi", **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, 17, 3–28.

ERDEM, M.: 2017 **Erozyon Tahmin Modelleri İle Toprak Kaybının Hesaplanması**, Ordu Üni. Fen Bilimleri Ens.,Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ordu.

ERENER, A., DÜZGÜN, H.S.B.: 2007 "Heyelan Analizlerinde Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon (CAR) Metodu", **11. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı**, 02-06Nisan, Ankara.

ERENER, A., LACASSE, S.: 2007 Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı, **TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi**, 30 Ekim–02 Kasım, KTÜ, Trabzon.

ERINÇ, S.: 1977 **Vejetasyon Coğrafyası**, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayını, No: 92, İstanbul.

ERINÇ, S.: 1982 **Jeomorfoloji I.**, Genişletilmiş 3.Baskı. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No: 2931, İstanbul.

ERINÇ, S.: 1996 **Kilimatoloji ve Metodları**, Genişletilmiş 4.Baskı, ALFA Basım Yayım, Dağıtım, İstanbul.

ERKAL, T.: 2012 "Çobanlar Havzası'nda (Afyonkarahisar) Toprak Erozyonunun Değerlendirilmesi", **The Journal of Academic Social Science Studies (JASSS)**, 5 (8), 543-562.

ERPUL, G., BAYRAMIN, T., KAYA, P., DEVIREN, S.: 2009 **Türkiye'de Su Erozyonu Çalışmaları İçin Uzun Dönem Meteoroloji Verileri Kullanarak Ulusal Ölçekte Yağış Enerji ve Şiddetlerinin Belirlenmesi**, TÜBİTAK Proje No: ÇAYDAĞ 107Y155, Ankara.

ERLAT, E.: 1996 "Türkiye'de Günlük Yağışların Şiddeti Üzerine Bir İnceleme", **Ege Coğrafya Dergisi**, 9, 159-184.

FAIRBRIDGE, R.W., OLIVER, J.E.: 2005 "Lapse-Rate" Ed: J.E. Oliver, **Encyclopedia of World Climate**, Springer, 448-450.

FARAHMAND, H., ARIAN, M.A., KHAKZAD, A., AFSHAR, M.: 2016 "Evaluating the Effects of Climate on Weathering Processes of Rocks Based on Peltier Models in Kermanshah Province**", Journal of Fundamental and Applied Sciences**, 8 (2), 784-797.

FOWLER, R., PETERSEN, J.: 2004 "A Spatial Representation of Louis Peltier's Weathering, Erosion and Climatic Graphs Using Geographical Information Systems (GIS)", **ESRI User's Conference**, 9-13 August 2004, 1-32.

MICHIELS, P., GABRIELS, D.: 1996 "Rain Variability Indices for the Assessment of Rainfall Erosivity in the Mediterranean Region", Ed: Rubio, J.L., Calva, A., **Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Environments**, Geoforma Ediciones, Logrono, Spain, 49-60.

GAJBHIYE, S., MISHRA, S.K., PANDEY, A.: 2014 "Prioritizing Erosion-Prone Area Through Morphometric Analysis: An RS and GIS Perspective", **Appl Water Sci**, 4, 51-61.

GILBERT, R.O.: 1987 **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring**, Van Nostrand Reinhold , New York.

GLEEN, E.M.,ELFATIH, A.B, ELTAHIR, RAFAEL, L.B.: 1998 "On the Sensitivity of Drainage Densityto Climate Change", **Water Resources Research**, 34 (4), 855-862.

GOUDIE, A.S.: 2007 "The Schmidt Hammer in Geomorphological Research", **Progress in Physical Geography**, 30 (6), 703-718.

GÖRCELIOĞLU, E.: 2003 **Sel ve Çığ Kontrolü**, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No: 473, İstanbul.

GUZZETTI, F., CARRARA, A., CARDINALI, M., REICHENBACH, P.: 1999 "Landslide Hazard Evaluation: A Review of Current Techniques and Their Application in a Multi-scale Study, Central Italy", **Geomorphology**, 31 (1-4), 181-216.

GÜNAL, N.: 1997 **Türkiye'de Başlıca Ağaç Türlerinin Coğrafi Yayılışları, Ekolojik ve Floristik Özellikleri**, Çantay Kitapevi, İstanbul.

GÜNAL, N.: 2003 **Yukarı Gediz Havzası'nın Bitki Coğrafyası**, Çantay Kitabevi, İstanbul.

GÜRKAN, H.: 2015 **Türkiye'de İklim Faktörlerinin ve İklim Değişikliğinin Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) Bitkisinin Verimi Üzerine Etkisi**, Ankara Üni.Fen Bilimleri Ens., Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

HABOUDANE, D., BONN, F., ROYER, A.: 2007	"Evaluation and Predictability of Terrain Susceptibility to Hillslope Erosion at the Regional Scale Using DEM-Derived Indices and Remotely Sensed Information", **Télédétection**, 7, 373-391.
HACK, J.T.: 1973	"Stream-Profile Analysis and Stream-Gradient Index", **U.S. Geological Survey Journal of Research**, 1, 421-429.
HADLEY, R.F., SCHUMM, S.A.: 1961	**Sediment Sources and Drainage Basin Characteristics in Upper Cheyenne River Basin**, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1531-B, U.S. Government Printing Office, Washington.
HAMED, K.H.: 2008	Trend Detection in Hydrologic Data: The Mann-Kendall Trend Test Under the Scaling Hypothesis, **Journal of Hydrology**, 349, 350-363.
HANSEN, J., JOHNSON, D., LACIS, A., LEBEDEFF, S., LEE, P., RIND, D., RUSSELL, G.: 1981	"Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide", **Science**, 213, 957-966.
HANSEN, J., RUEDY, R., GLASCOE, J., SATO, M.: 1999	"GISS Analysis of Surface Temperature Change", **Journal of Geophysical Research**, 104, 30997-31022.
HANSEN, J.E., RUEDY, R., SATO, M., IMHOFF, M., LAWRENCE, W., EASTERLING, D., PETERSON, T., KARL, T.: 2001	"A Closer Look at United States and Global Surface Temperature Change", **Journal of Geophysical Research**, 106, 23947-23963.
HARMSEN, K.: 1996	**Assessment of Current Erosion Damage**, Land Druck, Liebefeld.
HERWEG, K.: 1996	**Assessment of Current Erosion Damage**, Lang Druck AG, Liebefeld, Switzerland.
HESSEL, R., DAROUSSIN, J., VERZANDRVOORT, S., WALVOORT, D.: 2014	"Evaluation of Two Different Soil Database to Assess Soil Erosion Sensitivity with MESALES for Tree Areas in Europe and Morocco", **Catena**, 118, 234-247.

HORTON, R.E.: 1945 "Erosional Development of Streamsand Their Drainage Basins: Hydrophysical Approachto Quantitative Geomorphology", **Bulletin of the Geological Society of America**, 56, 275-370.

HOŞGÖREN, Y.: 1983 **Akhisar Havzası**, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No: 3088, İstanbul.

HUANG, I.B., KEISLER, J., LINKOV, I.: 2011 "Multi-criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Ten Years of Applications and Trens", **Science of the Total Environment**, 409 (2011), 3578-3594.

HUDSON N.: 1995 "Runoff, Erosion and Sedimentation: Prediction and Measurement", FAO (Ed.), **Land and Water Integration and River Basin Management**, FAO Land and Water Bulletin, 1, 85.

HUGGETT, R.J.: 2010 **Fundamentals of Geomorphology**, Routledge, New York.

HUGGETT, R.J., CHEESMAN, J.: 2002 **Topography and the Environment**, Prentice Hall Press, New Jersey.

HURTREZ, J.E., SOL, C., AND LUCAZEAU, F.: 1999 "Effect of Drainage Area on Hypsometry From an Analysis of Small-Scale Drainage Basins in the Siwalik Hills (Central Nepal)", **Earth SurfaceProcesses and Landforms**, 24, 799–808.

ISRM: 1979 "Suggested Methods for Determinig Water Content, Porosity, Density, Absorption, and Related Properties and Swelling and Slake Durability Index Properties", **International Journal of Rock Mechanics and Mining Science**, 16 (2), 141-156.

JADDA, M., SHAFRI, H.Z.M., MANSOR, S.B., SHARIFIKIA, M., PIR ASTEH, S.: 2009 "Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic Frequency Ratio Model", **European Journal of Scientific Research**, 33 (4), 654-668.

JMA: 2013 **Outline of The Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency**, Japan Meteorological Agency, Japan.

JORDAN, G.: 2007 — Digital Terrain Analysis in a GIS Environment, **Concepts and Development, Digital Terrain Modelling**, Ed: Peckham, R.J., Jordan, G., Springer, New York, 1-39.

JOSHI, V.U.: 2014 — "Soil Loss Estimation by Field Measurements in the Badlands a Long Pravara River (Western India)", **Journal Geological Society of India**, 83, 613-624.

KADIOĞLU, M.: 2009 — "Küresel İklim Değişimi ve Türkiye", **Mühendis ve Makine**, 50, 593, 15-25.

KADIOĞLU, M.: 2012 — **Türkiye'de İklim Değişikliği Risk Yönetimi,** Türkiye'nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayını, Ankara.

KADUPITIYA, H.K.: 2002 — **Empirical Evaluation and Comparative Study of Use of Erosion Modelling in Small Catchments in Naivasha, Kenya**, International Institute For Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, Unpublished Msc Thesis, The Netherlands.

KAKEMBO, V., XANGA, W.W., ROWNTREE, K.: 2009 — "Topographic Thresholds in Gully Development on the Hillslopes of Communal Areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa", **Geomorphology**, 110, 188–195.

KANAR, E., DENGIZ, O.: 2015 — "Madendere Havzasında Potansiyel Erozyon Risk Durumunun İki Farklı Parametrik Model Kullanarak Belirlenmesi ve Risk Haritalarının Oluşturulması", **Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi**, 2, 123-134.

KARABULUT, M., COSUN, F.: 2009 — "Kahramanmaraş İlinde Yağışların Trend Analizi", **Coğrafi Bilimler Dergisi**, 7 (1), 65-83.

KARACA, M., ÖZTÜRK, H.S., BAYRAMIN, İ., ERPUL, G., SUIÇMEZ, B.K.: 2008 — "Küresel Isınma ve Ülkemiz Tarımına Etkileri", **Türktarım Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Dergisi**, 179, 24-29.

KARAOĞLU, M.: 2012 — Iğdır Yöresi Topraklarının Erozyon Açısından Değerlendirilmesi", **Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Dergisi**, 2(1), 23-30.

KAYA, P.: 2008 **Türkiye'de Uzun Dönem Yağış Verileri Kullanılarak Ulusal Ölçekte RUSLE-R Faktörünün Belirlenmesi**, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

KELLER, E.,A., PINTER, N.: 2002 **Active Tectonics Earthquakes, Uplift and Landscape**, Second Edition, Prentice Hail, New Jersey.

KET-ORD R., TANGTHAM, N., UDOMCHOKE, V.: 2013 "Synthesizing Drainage Morphology of Tectonic Watershed in Upper ing Watershed (Kwan Phayao Wetland Watershed)", **Modern Applied Science**, 7 (1), 13-37.

KHEIR, R.B., WILSON, J., DENG, J.: 2007 "Use of Terrain Variablesfor Mapping Gully Erosion Susceptibility in Lebanon", **Earth Surface Processes and Landforms**, 32, 1770-1782.

KIZILELMA, Y.: 2013 **Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mut Havzasında (Pirinçsuyu ve Kurtsuyu Dereleri) Erozyon Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi**, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni. Sosyal Bilimler Ens., Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

KOÇMAN, A.: 1989 **Uygulamalı Fiziki Coğrafya Çalışmaları ve İzmir-Bozdağlar Yöresi Üzerine Araştırmalar**, Ege Üniversitesi Edebiyat Fak. Yayınları, No:49, İzmir.

KOÇMAN, A.: 1993a **Ege Ovalarının İklimi**, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No: 73, İzmir.

KOÇMAN, A.: 1993b **Türkiye İklimi**, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No:72, İzmir.

KOSMAS C., MOUSTAKAS N., DANALATOS N.G., YASSOGLOU N.: 1995 "The Effect of Land Use Change on Soil Properties and Erosion Along a Catena", Ed: J. Brandt and J. Thornes, **Mediterranean Desertification and Land Use**, Wiley, 271–299.

KRAVCHENHO, A.N., BOLLERO, G.A., OMONODE, R.A., BULLOCK, D.G.: 2002 "Quantitative Mapping of Soil Drainage Classes Using Topographical Data and Soil Electrical Conductivity", **Soil Science Society of America Journal**, 66, 235-243.

KUM, G.: 2011 — **İklim Değişikliğinin Türkiye'nin Güneybatı Kıyılarında Turizm Konfor Şartlarına Etkileri**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.

KUNDZEWICZ, Z.W., MATA, L.J., ARNELL, N.W., DOLL, P., KABAT, P., JIMÈNEZ , B., MILLER, K.A., OKI, T., SEN, Z. & SHIKLOMANOV, I.A.: 2007 — "Freshwater Resources and Their Management", Ed: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**,. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, 173–210.

LAL, R.: 1994 — **Soil Erosion Research Methods**, St. Lucie Press, Soil and Water Conservation Society, Delray Beach, Ankeny.

LANGBEIN, W.B., SCHUMM, S.A., 1958 — "Yield of Sediment in Relation to Mean Annual Precipitation, Transactions", **American Geophysical Union**, 39 (6), 1076-1084.

LAVEE, H., IMERSON, A.C., SARAH, P.: 1998 — "The Impact of Climate Change on Geomorphology Land Desertification Along a Mediterranean-Arid Transect", **Land Degradation and Development**, 9, 404-422.

LEATHERMAN, S.P.: 1987 — "Field Measurement of Microtopography", **Journal of Coastal Research**, 3 (2), 233-235.

LEE, S., MIN, K.: 2001 — "Statistical Analyses of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea", **Environmental Geology**, 40 (9), 1095–1113.

LEE, S., CHOI, J., MIN, K.: 2004 — "Probabilistic Landslide Hazard Mapping Using GIS and Remote Sensing Data at Boun, Korea", **International Journal of Remote Sensing**, 25 (11), 2037-2052.

LESSCHEN, J.P., CAMMERAAT, L.H., NIEMAN, T.: 2008 — "Erosion and Terrace Failure Due to Agricultural Land Abondonment in a Semi-arid Environment", **Earth Surface Processes and Landforms**, 33 (10), 1574-1584.

LIU, L. AND LIU, X.H.: 2010 — "Sensitivity Analysis of Soil Erosion in the Northern Loess Plateau", **International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS)**, Procedia Environmetal Sciences, 2, 134-148.

LU, D. LI, G., VALLADARES, G.S., BATISTELLA, M.: 2004 "Mapping Soil Erosion Risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: Using Rusle, Remote Sensing and GIS", **Land Degradation&Development**, 15, 499-512.

MACKA, Z.: 2001 "Determination of Texture of Topography from Large Scalecon Tour Maps", **Geografskivestnik**, 73 (2), 53-62.

MAGESH, N.S., JITHESHLAL, K.V., CHANDRASEKAR, N., JINI, K.V.: 2013 "Geographical Information System-based Morphometric Analysis of Bharathapuzha River Basin, Kerela, India", **Appl Water Sci**, 3, 467-477.

MAHARAJ, R.J.: 1993 "Landslide Processes and Landslide Susceptibility Analysis from an Upland Watershed: A Case Study from St Andrew, Jamaica, West Indies". **Engineening Geology**, 34 (1-2), 53-79.

MALCZEWSKI, J.: 1999 **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, John Wiley & Sons, USA.

MARK, D.M.: 1975 "Geomorphometric Parameters: A Review and Evaluation", **Geografiska Annaler**, 57A, 165-177.

MGM: 2013 **Yeni Senaryolarla Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları**, TR2013-CC, MGM Matbaası, Ankara.

MGM: 2015 **Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği**, TR2015-CC, MGM Matbaası, Ankara.

MILEVSKI, I.: 2008 "Estimation of Soil Erosion Risk in the Upper Part of Bregalnica Watershed-Republic of Macedonia, Based on Digital Elevation Model and Satellite Imagery", **5.International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-2008)**, 2-5 Jully 2008, 351-358.

MOAYERI, M., MALEKI, A., ENTEZARI, M., MORADI, K., OLFATI, S.: 2013 Simulation of Possibility of Gully Erosion in Catchment of Dyreh by Analytical Hierarchy Process (AHP)", **Journal of Basic and Applied Scientific Research**, 3 (7), 1-9.

MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R.: 1991 "Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications, **Hydrological Processes**, 5, 3-30.

MOSLEY, M.: 1975 "A Device for the Accurate Survey of Small Scale Slopes, British Geomorphological Research Group", **Technical Bulletin**, 17, 3-6.

MOTRONI, A., CANU, S., BIANCO, G., LOJ, G.: 2006 "Monitoring Sensitive Areas to Desertification in Sardinia: The Contribute of the Regional Agrometeorological Service", Ed: A. Marini and M. Talbi, **Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data**, Springer, 117-129.

MUELLER, T.G., CETIN, H., FLEMING, R.A., DILLON, C.R., KATATHANASIS, A.D., SHEARER, S.A.: 2005 "Erosion Probability Maps: Calibrating Precision Agriculture Data With Soil Surveys Using Logistic Regression", **Journal of Soil and Water Conservation**, 60(6), 462-468.

MULLAN, D., FAVIS-MORTLOCK, D., FEALY, R., 2012 "Addressing Key Limitations Associated With Modelling Soil Erosion Under the Impacts of Future Climate Change", **Agricultural and Forest Meteorology**, 156, 18-30.

MULLAN, D.: 2013 "Soil Erosion Under the Impacts of Future Climate Change: Assessing the Statistical Significance of Future Changes and the Potential On-site and Off-site Problems", **Catena**, 109, 234-246.

NAGARAJAN, R., ROY, A., VINOD KUMAR, R., MUKHERJEE, A., KHIRE, M.V.: 2000 "Landslide Hazard Suspectibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions", **Bulletin Engineering Geology and the Environment**, 58 (4), 275-287.

NASRI, M., FEIZNIA, S., JAFARI, M., AHMADI, H.: 2008 "Using Field Indices of Rill and Gully in order to Erosion Estimating and Sediment Analysis (Case Study: Menderjan Watershed in Isfahan Province, Iran)",**International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering**, 2 (7), 69-75.

NEARING, M.A.: 2001 "Potential Changes in Rainfall Erosivity in the U.S. with Climate Change During the 21st Century", **Journal of Soil and Water Conservation**, 56 (3), 229-332.

NEARING, M.A., PRUSK, F.F., O'NEAL, M.R.: 2004 "Expected Climate Change Impacts on Soil Erosion Rates: A Review", **Journal of Soil and Water Conservation**, 59 (1), 43-50.

NEFESLIOĞLU, H.A., DUMAN, T.Y., DURMAZ, S.: 2008 "Landslide Susceptibility Mappingfor a Part of Tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Searegion of Turkey)", **Geomorphology**, 94, 401-408.

NUDES, J.P., NEARING, M.A.: 2011 "Modelling Impacts of Climatic Change: Case Studies Using the New Generation of Erosion Models", Ed: Morgan, R.P. ve Nearing, M.A., **Handbook of Erosion Modelling**, Wiley-Blackwell Publishers, Chichester, UK, 289-312.

OGBONNA, J.U., ALOZIE, M., NKEMDIRIM V., EZE, M.U.: 2011 "GIS Analysis for Mapping Gully Erosion Impacts on the Geo-formation of the Old Imo State, Nigeria", **ABSU Journal of Environment Science and Technology**, 1, 48-61.

OKOTH, P.F.: 2003 **A Hierarchical Method for Soil Erosion Assessment and Spatial Risk Modelling (A Case Study of Kiambu District in Kenya)**, Wageningen University, Unpublished PhD dissertation, Wageningen.

OLIER, C.: 1984 "Weathering", Ed: K.M. Clayton, **Geomorphology Text**, 2nd ed., Longman, London.

O'NEAL, M.R., NEARING, M.A., VINING, R.C., SOUTHWORTH, J., PFEIFER, R.A.: 2005 "Climate Change Impacts on Soil Erosion in Midwest United States with Changes in Crop Management", **Catena**, 61, 165-184.

OZANER, S.: 1984 **Kula-Selendi Yörelerinin Jeomorfolojisi ve Morfo-tektoniği**, MTA Raporu, No: 7599, Ankara.

OZANER, S.: 1988 **Kula ve Selendi Yörelerinin Jeomorfolojisi**, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Jeomorfoloji Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.

ÖZDEMIR, H.: 2011 "Havza Morfometrisi ve Taşkınlar", Ed: D.Ekinci, **Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel**, Babil, İstanbul, 507-526.

ÖZDEN, Ş., ÖZDEN, M.: 1997 **Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli TURTEM**, Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

ÖZGÜREL, M., KOÇMAN, A.: 1994 — Ege Bölgesi Kuraklığı ve Önlenmesi İçin Bulut Tohumlaması, **I. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu**, 20-31.

ÖZSOY, G.: 2007 — **Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi**, Uludağ Üni. Fen Bilimleri Ens., Yayınlanmamış Doktora Tezi, Bursa.

PATTON, P.C.: 1988 — "Drainage Basin Morphometry and Floods", Ed: Patton, P.C., **Flood Geomorphology**, Wiley, USA, 51-65.

PEKTEZEL, H.: 2015 — "Gelibolu Yarımadası'nda CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Duyarlılık Analizi", **Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi**, 17, 131-151.

PELTIER, L.C.: 1950 — "The Geographic Cycle in Periglacial Regions as it is Related to Climatic Geomorphology", **Annals of the Association of American Geographers**, 40, 214-236.

PULICE, I., SCARCIGLIA, F., LEONARDI, L., ROBUSTELLI, G., CONFORTI, M., CUSCINO, M., LUPIANO, V., CRITELLI, S.: 2009 — "Studio Multidisciplinare di Forme e Processi Denudazionali Nell'area di Vrica (Calabria Orientale)", **Bollettino della Società Geografica Italiana**, 87 (I–II), 399-414.

RAHMAN, A.S., KAMRUZZAMAN, M.D., JAHAN, C.S., MAZUMDER, Q.H.: 2016 — "Long-Term Trend Analysis of Water Table Using "MAKESENS" Model and Sustainability of Graundwater Resources in Drought Prone Barind Area", **NW Bangladesh, Journal Geological Society of India**, 87, 179-193.

RAISSOUNI, A., ISSA, L.K., EL ARRIM, A., MAÂTOUK, M., PASSALACQUA, R.: 2012 — "GIS-Based Model to Assess Erosion Sensitivity in NorthernMorocco, Laou Watershed Case Study", **International Journal of Geosciences**, 3, 610-626.

REDDY, G.P.O., MAJI, A.K., GAJBHIYE, K.S.: 2004 — "Drainage Morphometry and its Influence on Landform Characteristics in Terrain, Central India", **Int. J. Appl. Observ. Geoinf.**, 6, 1-16.

REIS, S., YALÇIN, A., ATASOY, M., NIŞANCI, R., BAYR AK, T., SANCAR, C., EKERCIN, S.: 2009 "CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri İle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği", **Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu**, 4-6 Şubat, Ankara.

RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOLL, D.K., YODER, D.C.: 1997 **Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**, U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 703, Washington DC.

RITTER, D.F., KOCHEL, R.C., MILLER, J.R.: 2002 **Process Geomorphology**, McGraw Hill, Boston.

RONGHUA, Z., LIU, X., HEATHMAN, G.C., YAO, X., HU, X., ZHANG, G.: 2013 "Assessment of Soil Erosion Sensitivity and Analysis of Sensitivity Factors in the Tongbai-Dabie Mountainous Area of China", **Catena**, 101, 92-98.

RUEDY, R., SATO, M. AND LO, K.: 2014 **GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)**, NASA Earth Observatory, Goddard Space Flight Center, Sciences and Exploration Directorate Earth Sciences Division, News

SAATY, T.L.: 1980 **The Analytical Hierarchy Process**, McGraw Hill, New York.

SANCHO, C., BENITO, G., GUTIÉRREZ, M.: 1991 **Agujas de Erosión y Perfiladores Microtopográficos. Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología**, no 2. Geoforma Ediciones, Logroño.

SARKAR, A.A., ALI, M.H.: 2009 Water-table Dynamics of Dhaka City and its Long-term Trend Analysis Using the "MAKESENS" Model, **Water International**, 34 (3), 373-382.

SCHUMM, S.A.: 1956 "Evalution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey", **Geol. Soc. Am. Bul.**, 67, 597-646.

SHERIDAN, G.J., ROSEWELL, C.J.: 2003 "An Improved Victorian Erosivity Map", **Australian Journal of Soil Research**, 41, 141-149.

SINGH, T., SARANGI, A., SHARMA, M.C.: 2008 "Hypsometric Integral Estimation Methods and Its Relevance on Erosion Status of North-Western Lesser Himalayan Weatersheds", **Water Resource Management**, 22, 1545-1560.

SIRVENT, J., DESIR, G., GUTIÉRREZ, M., SANCHO, C., BENITO, G.: 1997 "Erosion Rates in Badland Areas Recorded by Collectors, Erosion Pins and Profilometer Techniques (Ebro Basin, NE-Spain)", **Geomorphology**, 18, 61-75.

SONUÇ, E., ŞEN, B., ŞEN, B.: 2011 Verifying Regional Climate Model Results With Web Based Expert System, **INSODE 2011**, 24-30.

SREEDEVI, P.D., SUBRAHMANYAM, K, AHMED, S.: 2004 "The Significance of Morphometric Analysis for Obtaining Groundwater Potential Zones in a Structurally Controlled Terrain", **Environmental Geology**, 47, 412–420.

STOCKING, M.A. VE MURNAGHAN, N.: 2001 **Handbook for the Field Assessment of Land Degradation**, Arthscan Publications Ltd, London.

STRAHLER, A.N.: 1952 "Hypsometric (Area-Altitude Curve) Analysis of Erosional Topography", **Geological Society of America Bulletin**, 63, 1117-1141.

STRAHLER, A.N.: 1964 "Quantitative Geomorphology of Drainage Basin and Channel Network", Ed: V.T. Chow., **Handbook of Applied Hydrology**, McGraw Hill Book Company, Newyork, 439-476.

SUNKAR, M., AVCI, V.: 2015 "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) ile Hasret Dağı ve Çevresinin (Elazığ) Erozyon Duyarlılık Analizi", **Coğrafi Bilimler Dergisi**, 13 (1), 17-40.

ŞEN, B.: 2007 **Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi**, Çukurova Üni. Fen Bilimleri Ens., Yayınlanmamış Doktora Tezi, Adana.

ŞEN, Z.: 2002 **İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji)**, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

ŞEN, Z.: 2003 **Su Bilimi ve Yöntemleri**, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

TAĞIL, Ş.: 2007 "Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degredasyonu Risk Değerlendirmesi", **Ekoloji**, 17 (65), 11-20.

TOMBUŞ, F.E.: 2005 **Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklasım, Çorum İli Örneği**, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Yayınlanmamış YL Tezi, Eskişehir.

TROIANI, F., GALVE, J.P., PIACENTINI, D., DELLA SETA, M.: 2014 "Spatial Analysis of Stream Length-Gradient (SL) Index for Detecting Hillslope Processes: A Case of the Gállego River Headwaters (Central Pyrenees, Spain)", **Geomorphology**, 214, 183-197.

TUROĞLU, H.: 1997 "İyidere Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım", **Türk Coğrafya Dergisi**, 32, 355-365.

TUROĞLU, H.: 2008 **Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları**, Çantay Kitapevi, İstanbul.

TUROĞLU, H.: 2014 "Detection of Changes on Temperature and Precipitation Features in Istanbul (Turkey)", **Atmospheric and Climate Sciences**, 4, 549-562.

TUROĞLU, H.: 2016 "Climatic Assessment of Sustainable Water Management in the Melen River Basin (NW Turkey)", **GEOMED 2016-The 4th International Geography Symposium**, 22 Mayıs - 26 Eylül 2016, vol.1, no.1, 164-173.

TÜRKBAL, A.: 1981 **Bilimsel Araştırma Metodları ve Uygulamalı İstatistik**, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No: 561, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum.

TÜRKEŞ, M.: 1996 "Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey", **International Journal of Climatology**, 16, 1057-1076.

TÜRKEŞ, M.: 1998 "Influence of Geopotential Heights Cyclone Frequency and Southern Oscillation on Rainfall Variations in Turkey", **International Journal of Climatology**, 18, 649-680.

TÜRKEŞ, M.: 2010	**Klimatoloji ve Meteoroloji**, Kriter Yayınevi, İstanbul.
TÜRKEŞ, M.: 2002	"Spatial and Temporal Variations in Precipitation and Aridity Index Series of Turkey", Ed: Hans Jürgen Bolle, **Regional Climate Studies**, 181-213, Springer, Heidelberg.
USDA: 1993	**Soil Survey Manual**, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture Handbook 18, USA.
VALENTIN, C., POESEN, J., LI, Y.: 2005	"Gully Erosion: Impacts, Factors and Control", **Catena**, 63, 132-153.
VERSTAPPEN, H.T.H.: 1983	**The Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development**, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
VIGIAK, O., OKOBA BARRACK, O., STERK,G., STROOSNIJDER, L.: 2005	"Water Erosion Assessment Using Farmers' Indicators in the West Usambara Mountains, Tanzania", **Catena**, 64 ,307–320.
WEISSEL, J.K., PRATSON, L.F., MALINVERNO, A.: 1994	"The Length-Scalling Properties of Topography", **Journal of Geophysical Research**, 99, 13997-14012.
WILLGOOSE, G.R., HANCOCK, G.: 1998	"Revisiting the Hypsometric Curve as an Indicator of Form and Process in Transport-Limited Catchment", **Earth Surface Processes and Landforms**, 23, 611–623.
WILSON, J.P., GALLANT, J.C.: 2000	**Terrain Analysis Principles and Applications**, John Wiley and Sons, Canada.
WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D.: 1978	**Predicting Rainfall Erosion Losses- A Guide to Conservation**, Agricultural Handbook 537. Planning, Science and Education Administration. US Dep. of Agriculture, Washington, DC,USA.
YAZIDHI, B.: 2003	**A Comparative Study of Soil Erosion Modelling in Lom Kao-Phetchabun, Thailand**, Geo-information Science and Earth Observation. Int. Inst. For Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Unpublished Msc Thesis, Enschede, The Netherlands.

YILDIZ, H., AVAĞ, A., MERMER, A., ÜNAL, E., URLA, Ö., AYDOĞDU, M., DEDEOĞLU, F., ÖZAYDIN, K.A., AYDOĞMUŞ, O.: 2009	"Rakım ve Kuraklık İndisi Değerlerine Göre Türkiye'nin Homojen Alanlarının Belirlenmesi", **Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi**, 18 (1-2), 17-21.
YILMAN, F.E.: 2009	**Eldivan Sarayköy II Göleti (Çankırı) Su Toplama Havzasında RUSLE Yöntemi İle Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi**, Ankara Ü. Fen Bil. Ens., Yayınlanmamış YL Tezi, Ankara.
YILMAZ, E.: 2006	**Çamlıdere Barajı ve Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi**, Ankara Üni. Sosyal Bilimler Ens., Yayınlanmamış YL Tezi Ankara.
YILMAZ, I.: 2009	"Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio, Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study from Kat Landslides (Tokat-Turkey)", **Computers & Geosciences**, 35 (6), 1125-1138.
YÜKSEL, A., GÜNDOĞAN, R., AKAY, A.E.: 2008	"Using the Remote Sensing and GIS Technology for Erosion Risk Mapping of Kartalkaya Watershed in Kahramanmaraş, Turkey", **Sensors**, 8, 4851-4865.
YÜKSEL, A., AVCI, V.: 2015	"Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ile Yamaç Havzası'nın (Bingöl) Erozyon Duyarlılık Analizi", **Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 32 (2), 116-128.
ZHANG, X.C., NEARING, M.A.: 2005	"Impact of Climate Change on Soil Erosion, Runoff and Wheat Productivity in Central Oklahoma", **Catena**, 61, 185-195.
ZHANG, R., LIU, X., HEATHMAN, G.C., YAO, X., HU, X., ZHANG, G.: 2012	"Assessment of Soil Erosion Sensitivity and Analysis of Sensitivity Factors in the Tongbai-Dabie Mountainous Area of China", **Catena**, 101, 92-98.

İnternet Kaynakları

Web1, ESRI, http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf (Son erişim: 06.05.2016).

Web2, https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/ (Son erişim: 02.05.2015)

Web 3, https://www.skepticalscience.com/climate-models.htm (Son erişim: 01.08.2017)

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Şarkışla'da (Sivas) doğdum. İlk ve ortaöğrenimimi İzmir'de tamamladım. 2004 yılında kazandığım Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldum. 2010 yılında Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans eğitimime başladım. "Çandarlı-Aliağa Arasındaki Kıyı Bölgesinin Jeomorfolojisi ve Kıyı Çizgisindeki Değişimler" isimli tezimi 2012 yılında savunarak yüksek lisans eğitimimi tamamladım. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda doktora eğitimime başladım. 2010 yılı Şubat ayında Uşak Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım ve halen görevime devam etmekteyim. Çalışmalarıma yamaç süreçleri, jeomorfolojik süreçlerin modellenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulamaları, jeomorfolojik süreçlere iklim değişikliğinin etkileri, Uzaktan Algılama yöntemleri ile çevresel değişimlerin izlenmesi konularıyla devam etmekteyim.