ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ÇİLEK

KONUMSAL BİLGİ SİSTEMLERİ YARDIMIYLA TÜRKİYE'NİN EROZYON MODELLEMESİ

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

ADANA, 2013

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONUMSAL BİLGİ SİSTEMLERİ YARDIMIYLA TÜRKİYE'NİN EROZYON MODELLEMESİ

Ahmet ÇİLEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

Bu Tez 03/01/2013 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……...	…….....
Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU	Prof. Dr. Selim KAPUR	Doç. Dr. Hakan ALPHAN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Selahattin SERİN
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2012Y1

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONUMSAL BİLGİ SİSTEMLERİ YARDIMIYLA TÜRKİYE'NİN EROZYON MODELLEMESİ

Ahmet ÇİLEK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
Yıl: 2013, Sayfa: 145
Jüri : Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
: Prof. Dr. Selim KAPUR
: Doç. Dr. Hakan ALPHAN

Son yıllarda birçok ülke erozyona duyarlı alanlarda; erozyon tahminleri, modellemeleri, izlenmesi ve haritalanmasında kullanışlı bir araç olan Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) yönetim planlamalarında kullanmaktadır. Erozyon koşullarının değerlendirilmesi ve potansiyel etkilerinin tahmin edilmesinde kapsamlı teknik ve modellerin oluşturulmasına çalışılmaktadır.

Bu çalışmada fiziksel tabanlı bölgesel ölçekli toprak erozyon modeli olan PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) modeli Türkiye'deki farklı arazi kullanım türleri için aylık ve yıllık toprak kaybını değerlendirmek için kullanılmıştır. Geniş alanlar veya ülkesel ölçekte geliştirilmiş olan modeller toprak ve doğal kaynak yönetimi gibi ulusal ve bölgesel planlar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ülke yüzeyinde bir yılda kaybedilen toprak miktarı yaklaşık 46 milyon ton olduğu hesaplanmıştır. Sadece tarım alanlarından kaybedilen verimli toprak miktarı ise yaklaşık 13.500 milyon ton/yıl'dır. Toplam erozyonun yaklaşık %30'unun tarım alanlarında olduğu tahmin edilmiştir. Bu miktarın geriye kalan % 68'lik kısmı çalılık ve bozulmuş orman alanlarında, %2'lik kısmı ise ormanlar ve yerleşim alanlarında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Erozyon, Erozyon Modelleme, Türkiye'de erozyon, PESERA erozyon modeli

ABSTRACT

MSc THESIS

EROSION MODELLING IN TURKEY USING LOCATIONAL INFORMATION SYSTEM

Ahmet ÇİLEK

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PLANT PROTECTION

Supervisor : Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
Year: 2013, Pages: 145
Jury : Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
: Prof. Dr. Selim KAPUR
: Assoc. Prof. Dr. Hakan ALPHAN

In recent years, many countries have included Geographic Information Systems (GIS) in their management systems because GIS can be used as an effective tool for assessing erosion, modeling, monitoring, and mapping the extent of erosion prone areas. In order to assess erosion conditions and predict potential impacts of erosion, comprehensive techniques and models need to be created.

In this study, PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) as a physically-based regional-scale soil erosion model was applied to estimate the monthly and annual soil loss for different land use/cover types in Turkey. Models that have been developed for large areas or national scale have been more widely used approach for national and regional resource management.

In this study, the amount of soil loss from the surface of the country in a year is estimated as 46 million tons. The amount of fertile soil loss in agricultural lands is approximately 13.500 million tons/year. This clearly shows that 30% of total erosion results from the agricultural areas. It was estimated that 68% of the erosion is in the scrub and degraded forest areas, 2% of the remaining part is also in forests and urban areas.

Keywords: Erosion, erosion modeling, erosion in Turkey, PESERA erosion modeling

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, bana "Konumsal bilgi sistemleri yardımıyla Türkiye'nin erozyon modellemesi" konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince bana her türlü desteği esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nden Sayın Prof. Dr. Selim KAPUR'a, çalışmada kullanılan erozyon modelleme yaklaşımını geliştiren ve her türlü yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Leeds Üniversitesi Coğrafya Bölümünden Sayın Prof. Dr. Mike KIRKBY ve Dr. Brian IRVINE'ne çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim en değerli varlığım olan annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı hazırlamamda bilgi birikimi ve deneyimleri ile her zaman yanımda olan yüksek lisans öğrencisi Müge ÜNAL'a, ÇÜ Peyzaj Mimarlığı Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri laboratuvarı ekiplerinden Yar. Doç. Dr. Anıl AKIN TANRIÖVER, Dr. Mehmet Akif ERDOĞAN, Dr. Cenk DÖNMEZ, Arş. Gör. Onur ŞATIR, Merve ŞAHİNGÖZ ve Duygu ALADAĞ'a içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VII
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
SİMGELER VE KISALTMALAR X
1. GİRİŞ 1
1.1. Toprak Erozyonu 3
1.2. Erozyon Faktörleri 5
1.2.1. İklim 5
1.2.2. Toprak 6
1.2.3. Topografya 8
1.2.4.Bitki örtüsü 8
1.2.5. İnsanlar 9
1.3. Erozyon Modelleri 10
1.3.1. Deneysel modeller 11
1.3.2. Kavramsal modeller 11
1.3.3. Fiziksel temelli modeller 12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 15
2.1. Dünya'da Toprak Erozyonu ve Yürütülen Çalışmalar 15
2.2. Türkiye'de Toprak Erozyonu ve Yürütülen Çalışmalar 17
3. MATERYAL VE METOD 25
3.1. Materyal 25
3.1.1. Çalışma Alanının Genel Konumu 25
3.1.1.1. İklim 27
3.1.1.2. Toprak 31
3.1.1.3. Bitki Örtüsü 34
3.1.1.4. Jeoloji ve Jeomorfoloji 37

3.1.2. Veri Setleri 41
3.2. Metod 43
3.2.1. PESERA (Pan–European Soil Erosion Risk Assessment) Modeli 45
3.2.1.1. PESERA Faktörleri 48
3.2.1.1.(1). İklim 49
3.2.1.1.(2). Bitki Örtüsü 52
3.2.1.1.(3). Toprak Özellikleri 55
3.2.1.1.(4). Topografya 56
3.2.1.2. Modelin Doğrulanması 56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 59
4.1. Veri Ön İşleme 59
4.2. CORINE Arazi Örtüsü 60
4.3. PESERA Değişkenleri 63
4.3.1. İklim Değişkenleri 64
4.3.2. Bitki Örtüsü Değişkenleri 83
4.3.3. Toprak Değişkenleri 92
4.3.4. Topografya Değişkeni 109
4.4. PESERA Modelinin Uygulaması 112
4.5. PESERA Modelinin Sonuçları 114
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 125
KAYNAKLAR 131
ÖZGEÇMİŞ 145

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Türkiye'nin yıllık toplam yağış verileri 31
Çizelge 3.2. Türkiye'de toprak sınıflarının dağılımı ve % oranları 33
Çizelge 3.3. Türkiye topraklarının % saturasyona göre toprak bünyesinin (tekstür) bölgesel dağılımı 33
Çizelge 3.4. Türkiye topraklarında organik madde miktarının % bölgesel dağılımı 34
Çizelge 3.5. Türkiye'deki tarla arazisi, çayır-mera arazisi ve Orman arazilerinin durumu 36
Çizelge 3.6. MODIS Uydusu teknik özellikleri 42
Çizelge 4.1. Türkiye arazi örtüsü sınıfları 61
Çizelge 4.2. Pesera erozyon modeli değişkenleri 63
Çizelge 4.3. Aylık iklim değişkenleri 64
Çizelge 4.4. Aylık ortalama yağış haritaları yüzey istatistikleri. 66
Çizelge 4.5. Model doğrulama istatistikleri 68
Çizelge 4.6. Gün başına düşen aylık ortalama yağış haritaları yüzey istatistikleri. 70
Çizelge 4.7. Model doğrulama istatistikleri 70
Çizelge 4.8. Yağmurlu gün başına düşen aylık yağış varyasyon haritaları yüzey istatistikleri. 72
Çizelge 4.9. Model doğrulama istatistikleri 73
Çizelge 4.10. Aylık ortalama sıcaklık haritaları yüzey istatistikleri. 75
Çizelge 4.11. Model doğrulama istatistikleri 75
Çizelge 4.12. Aylık maksimum sıcaklık haritaları yüzey istatistikleri 77
Çizelge 4.13. Model doğrulama istatistikleri 78
Çizelge 4.14. Aylık minimum sıcaklık haritaları yüzey istatistikleri 78
Çizelge 4.15. Model Doğrulama İstatistikleri 78
Çizelge 4.16. Aylık potansiyel evapotranspirasyon haritaları yüzey istatistikleri 81
Çizelge 4.17. Model doğrulama istatistikleri 81
Çizelge 4.18. Bitki örtüsü değişkenlerinin özellikleri 83

Çizelge 4.19. PESERA Arazi Örtüsü sınıfları 84
Çizelge 4.20. Tarımsal arazi örtüsü grupları 86
Çizelge 4.21. Farklı arazi örtüleri için aylık kanopi değerleri 90
Çizelge 4.22. Tarımsal arazi örtüleri için aylık kanopi değerleri 91
Çizelge 4.23. Yüzey kapasitesi, aylık yüzey pürüzlülüğü ve bitki kök derinlikleri değerleri 91
Çizelge 4.24. Toprak değişkenleri ve özellikleri 92
Çizelge 4.25. Kil ve kum değerlerine göre toprak tekstür grupları 92
Çizelge 4.26. Toprak tekstüründen üretilmiş kabuk derinliği 109
Çizelge 4.27. PESERA Modeli sonuç verileri. 113
Çizelge 4.28. Model sonucu Türkiye Havzalarındaki erozyon miktarları 115
Çizelge 4.29. PESERA Arazi Örtüsüne göre erozyon sonuçları 118
Çizelge 4.30. Çeşitli erozyon gruplarına göre model sonuçları 119
Çizelge 4.31. Aylık erozyon istatistikleri 121

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. Çalışma alanın genel konumu 26
Şekil 3.2. Türkiye ortalama sıcaklık trendi 30
Şekil 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam yağış dağılımı grafiği 31
Şekil 3.4. Türkiye'nin denizden yükseklik haritası 38
Şekil 3.5. Türkiye Jeoloji Haritası 40
Şekil 3.6. Çalışma yönteminin genel akış şeması 44
Şekil 3.7. PESERA Modeli konsepti 46
Şekil 3.8. Erozyonu kontrol eden temel faktörlerin akış diyagramı 49
Şekil 3.9. Doğal bitki büyüme modeli akış şeması 53
Şekil 4.1. Çalışma Alanının MODIS uydusundaki yeri 59
Şekil 4.2. Türkiye CORINE Arazi Örtüsü Haritası 62
Şekil 4.3. Türkiye'deki iklim istasyonları 65
Şekil 4.4. Uzun yıllar aylık ortalama yağış haritaları 67
Şekil 4.5. Uzun yıllar toplam aylık ortalama yağış haritası 69
Şekil 4.6. Gün başına düşen aylık ortalama yağış haritaları 71
Şekil 4.7. Yağmurlu gün başına aylık yağış varyasyon haritaları 74
Şekil 4.8. Uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık haritaları 76
Şekil 4.9. Uzun yıllar aylık sıcaklık farkı haritası 79
Şekil 4.10. Uzun yıllar potansiyel evapotranspirasyon haritası 82
Şekil 4.11. PESERA arazi örtüsü haritası 85
Şekil 4.12. Baskın ürün deseni haritası 87
Şekil 4.13. İkinci baskın ürün deseni haritası 88
Şekil 4.14. Mısır ürün deseni haritası 89
Şekil 4.15. Türkiye Büyük Toprak Grupları Haritası 93
Şekil 4.16. Türkiye 1:1M Ölçekli Toprak Birlik Adı Haritası 94
Şekil 4.17. Türkiye toprak tekstür haritası 95
Şekil 4.18. Toprak ana materyal haritası 97
Şekil 4.19. PESERA Erozyon Modelindeki aşınabilirlik ve kabuklanma değerlerinin akış şeması 98

Şekil 4.20. Kabuklanma Haritası 100
Şekil 4.21. Aşınabilirlik Haritası 101
Şekil 4.22. Toprak bitki sisteminde su tutma 102
Şekil 4.23. 0-30 cm derinlikteki bitkiler için alınabilir su miktarı akış şeması. 103
Şekil 4.24. 0-30 cm toprak derinliğindeki bitkiler için alınabilir su miktarı 104
Şekil 4.25. 30-100 cm derinlikteki bitkiler için alınabilir su miktarı akış şeması . 105
Şekil 4.26. 30-100 cm toprak derinliğindeki bitkiler için alınabilir su miktarı 106
Şekil 4.27. Toprağın etkili su tutma kapasitesi akış şeması. 107
Şekil 4.28. Toprağın etkili su tutma kapasitesi 108
Şekil 4.29. Sayısal Yükselti Modeli 110
Şekil 4.30. Yüksekliğin standart sapma haritası. 111
Şekil 4.31. PESERA Modeli akış diyagramı 113
Şekil 4.32. Havzalarda ortalama erozyon ile toplam erozyon ilişkisi 116
Şekil 4.33. Yıllık toprak erozyon miktarı 117
Şekil 4.34. Arazi örtülerine göre erozyon miktarı istatistikleri 118
Şekil 4.35. Erozyon gruplarına göre ortalama ve toplam erozyon istatistikleri 119
Şekil 4.36. Gruplandırılmış yıllık toprak erozyon miktarı 120
Şekil 4.37. Aylık toplam ve ortalama erozyon ilişkisi 121
Şekil 4.38. Aylık toplam erozyon miktarı 123
Şekil 5.1. Arazi örtüsüne göre ortalama erozyon dağılımı 128
Şekil 5.2. Aylık toplam erozyonun döngüsü 128

SİMGELER VE KISALTMALAR

AGNPS	: Agricultural Non-Point Source Pollution Model
AHP	: Analytic Hierarchy Process
ANSWERS	: Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BBÜ	: Brüt Birincil Üretim
BMH	: Büyük Menderes Havzası
CAESAR	: Cellular Automaton Evolutionary Slope and River model
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CLC	: Corine Land Cover
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
CREAMS	: Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)
DEM	: Digital elevation model
DUSLE	: Differentiated Universal Soil Loss Equation
ESA	: European Space Agency
ETKE	: Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği
EUROSEM	: European Soil Erosion Model
FAO	: Food and Agriculture Organization
FORTRAN90	: Kod Yazılım Programı
GPS	: Global Positioning System
ICONA	: İspanya Çevre Araştırmaları Genel Müdürlüğü
LANDSAT ETM+	: Landsat Enhanced Thematic Mapper
LANDSAT TM	: Landsat Thematic Mapper
MAT1	: Dominant Parent Material
MERIS	: Medium Resolution Imaging Spectrometer
MFI	: Modifiye Fournier İndisi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MI	: Mevsimsellik İndis
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSS	: Multispectral Scaner
MUSLE	: Modified Universal Soil Loss Equation
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NBÜ	: Net Birincil Üretim
NDVI	: Normalised Difference Vegetation Index
nm	: Nanometre
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
PAP/RAC/UNEP	: Çok Katılımlı Erozyon Haritalama ve Ölçme Programı
PESERA	: Pan-European Soil Erosion Risk Assessment
PTR	: Pedotransfer Rules
RMMF	: Revised Morgan-Morgan-Finney Model
RTGCV	: Square Root Of The Generalised Cross-Validation
RTMSE	: Root Mean Square Error Amplitude Of The Seasonal Cycle
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation
SLEMSA	: The Soil Loss Estimation Model for Southern Africa
SPOT	: Système Pour l'Observation de la Terre
SVO	: Sediment Verim Oranı
TOM	: Toprak Organik Maddesi
TOPRAKSU	: Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma İstasyonu
TVI	: Transform Vegetation Index
UA	: Uzaktan Algılama
UNEP	: United Nations Environment Programme
USLE	: Universal Soil Loss Equation
WATEM/SEDEM	: Water and Tillage Erosion Model
WEPP	: Water Erosion Prediction Project)
WEPP	: Water Erosion Prediction Project
YDK	: Yağış Değişebilirlik Katsayısı
YETKE	: Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği
YYI	: Yağış Yoğunluk İndeksi

1. GİRİŞ

Yer kabuğunu oluşturan kayaların, minerallerin ve organik maddelerin karışımı olan toprak, yaşam için gerekli olan dört unsurdan biridir. Güneş ışığı, hava ve su ile birlikte toprak bütün canlıları besler (Akalan, 1983). Bir toplumun bugün ve gelecekteki refahı geniş ölçüde toprakların doğal verim gücüne ve bu gücün sürdürülebilir kullanılmasına bağlıdır. Toprak, insanlar, bitkiler ve hayvanlar alemi için vazgeçilmez bir hayat kaynağıdır. Bu kaynağı korumak yalnız onunla uğraşanların değil üzerinde yaşayan her ferdin görevidir. Toprak oluşumunu hızlandırmak mümkün olmadığı gibi, toprak varlığını suni olarak da arttırmak mümkün değildir. Bu nedenle toprak konusunda diğer doğal kaynaklara oranla daha hassas olmak gerekir (Özsoy, 2007).

Yerkabuğunun ayrışmasıyla oluşan materyal, özellikle de bu materyalin üst kısmında yer alan topraklar, dış etkenlerin tahrip edici faaliyetleri sonucunda yerlerinden koparılarak taşınmaktadır. Ana kayanın akarsular, rüzgârlar, dalgalar, buzullar vb. dış kuvvetler tarafından aşındırılması, normal olarak işleyen jeomorfolojik süreçlerdendir. Bu normal süreçte aşınarak taşınan toprak telafi edilebilmektedir. Ancak aşınarak taşınan toprak miktarı çok fazla ise ve yerine yenisi konulamıyorsa, toprak erozyonu problemi başlamış olur (Ekinci, 2005).

Dünya nüfusunun 1950'lerden günümüze iki kat arttığı 21. yüzyıl ortalarında ise iki kat daha artabileceği beklenmektedir (Corwin ve Wagenet, 1996). Son yıllarda Dünya nüfusunun hızlı ve sürekli bir artış göstermesi, gıda ve diğer tarımsal maddelere olan ihtiyacın artmasına yol açmaktadır. Tarım topraklarında yapılan üretimi arttırma olanağı bir noktadan sonra bulunamadığından, birim alandan alınan verimin arttırılması, verimliliğin devam ettirilmesi ve tarım topraklarının korunması zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Bunun sağlanabilmesi için mevcut doğal kaynakları muhafaza edecek gerekli önlemlerin alınması, sorunları giderecek ıslah çalışmalarının yapılması ve bu kaynakların ekonomik bir biçimde kullanılması gerekmektedir.

Toprak ve su kaynaklarımızı tehdit eden problemlerden biri erozyondur. Erozyon yalnız toprak kayıplarına neden olmamakta, aynı zamanda baraj ve göletlerin ekonomik ömründen daha önce dolmalarına, tarımsal üretim, altyapı ve su kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Çevresel bozulmanın temel kaynağı olan toprak erozyonu büyük arazi bozulmalarına yol açmaktadır (Vrieling, 2006). Doğal güçlerin neden olduğu toprak erozyonu jeolojik bir süreçtir. Bu süreç insan aktivitelerinden dolayı daha da hızlanabilir. Bu hızlandırılmış toprak erozyonunun ciddi küresel problem olduğu kabul edilmektedir (de Graaf, 1996). Toprak erozyonu hızlandırılmış erozyon ile tarımsal/biyokütle verimliliği ile sel, rezervuarların sedimantasyonu, tarım alanındaki siltlenme ve akış yönündeki su kalitesinin azalmasını etkileyebilir (Hudson, 1986).

Su tarafından oluşan erozyon toprağın korunmasını tehdit eden en ciddi problem olarak tanımlanmıştır (Victor Jetten, 2003). Erozyon süreci yüzeysel aşınma ile başlayıp çizgi erozyonu ile karadan küçük derelere karışır ve sonunda vadi erozyonuna ulaşır. Aşınmış kanallar 30 cm' den daha derin olduğunda erozyon bitkisel toprağın verimlilik durumunu, toprak üretkenliğini ve toprak organik içeriğini azaltır (Souksakoun, 2008).

Türkiye'nin iklimi ve topografik yapısı erozyon olayının gerçekleşmesine zemin hazırlamaktadır. Özellikle tarımsal değeri yüksek I. ve II. Sınıf tarım arazileri üzerinde sanayi ve yerleşim merkezlerinin çoğalmasıyla, tarım alanları eğimli alanlara doğru kaymaktadır. Bunun sonucunda yanlış arazi kullanımı oluşmakta ve erozyon riski artmaktadır. Erozyon kontrol önlemlerinin alınabilmesi için çok hızlı bir şekilde erozyonun etkili olduğu alanların belirlenmesi gerekmektedir. Klasik etütlere dayalı yöntemlerle yapılan erozyon çalışmaları uzun zaman almakta ve maliyet açısından fazla yükler getirmektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde, uzaktan algılama biliminde ve küresel konum bulma sistemlerinde (GPS) yaşanan gelişmelerle Coğrafi Bilgi Sistemi hayatın bir parçası haline dönüşmektedir. CBS teknolojisinin yaygınlaşmasının önemli bir diğer nedeni de farklı kaynaklardan elde edilmiş verileri bütünleştirebilme özelliğidir. Bu amaca yönelik Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla geniş

alanlara yönelik erozyona sebep olan faktörlerin şiddet ve derecesi çok hızlı bir şekilde ve düşük girdiyle belirlenebilmektedir (Özsoy, 2007).

1.1. Toprak Erozyonu

Erozyon terimi peyzaj bozulmasını tanımlamak için kullanılmaktadır. Fakat insanlar tarafından sedimantasyon ve tortulaşmadan ayırt edilebilen toprak parçacıklarının sürüklenmesi veya ayrılmasını ifade etmek için kullanmaktadırlar. Toprak erozyonu, toprağın yok olması ve toprak dejenerasyonunun birbirleriyle ilişkili iki farklı olgu olarak ayırt edilmektedir (Lal, 1990). Toprak erozyonu üst toprağın verimliliğini fiziksel kayıp, bitki beslenmesi ve su kaybı ile azaltır. Toprağın yok olması yükseklik ile besin maddesinin çıkarılması ve ürün sökülmesi yüzünden toprak verimliliğinin kaybolması anlamına gelmektedir. Toprak dejenerasyonu toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulması ile toprak kalitesinde düşme anlamına gelmektedir. (Souksakoun, 2008).

Erozyona neden olan faktörler iklim, topografya, toprak, bitki örtüsü ve yönetim gibi sorunların büyüklüğünü tanımlayan yapay parametreler veya doğal parametrelerdir. Erozyonun nedeni öncelikle ormansızlaşma, uygunsuz tarım uygulamaları ve hasat sistemleri gibi insan aktivitelerini içerir. Hızlandırılmış erozyon genellikle yanlış toprak yönetiminden kaynaklanmaktadır. Genel olarak erozyon toprağın besin durumunu azaltarak ürün verimliliğini düşürmektedir. (Souksakoun, 2008).

Suyla meydana gelen toprak erozyonu, suyun toprak parçacıklarını sökmesi ve daha sonra taşıması biçiminde meydana gelmektedir. Yerlerinden sökülen parçacıklar, arazinin eğimi yeterli ise, suyun etkisiyle askıda sediment biçiminde taşınmaktadır. Genellikle uygulanan su miktarı ve yağış şiddetinin toprağın süzülme hızından fazla olduğu alanlarda erozyon meydana gelmektedir (Petermann, 1993).

Su ile gerçekleşen toprak erozyonu Dünya'nın birçok bölgesinde ciddi bir problem oluşturmaktadır. Erozyon tarım ve doğal çevreyi tehdit ettiğinden en ciddi çevresel problem olarak tanımlanmıştır (Hagos, 1998). Erozyon üst toprağın uzaklaşmasını sağlayarak toprağı yok eder, bitki besin maddelerini, kök gelişim

derinliğini ve toprakta su depolanmasını azaltır. Nüfusun çoğalması, fazla otlatma, dik eğimlerde yürütülen tarımsal aktiviteler ile birlikte ağır ve düzensiz yağışlar büyük alanların erozyona hassas duruma gelmesine yol açmıştır (Petter, 1992). Toprak erozyonunun sonucunda erozyona uğramış yamaçlarda toprak işleme zorlaşır, su rezervlerine sedimantasyon depolanması sonucunda tarla içi sulama kısıtlanır ve tarımsal üretim düşer. Erozyona uğrama riski orman ve meralarda, tarımsal alanlara oranla daha azdır.

Erozyon meydana gelişinde etkili faktörler dikkate alındığında, iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar; Doğal (Jeolojik) ve Hızlandırılmış (Anormal) Erozyon'dur. Jeolojik erozyon veya doğal erozyon adını da alan erozyon türü, arzu edilen bir erozyon türüdür ve doğanın kendi dengesi içerisinde meydana gelmektedir. Bu erozyon sayesinde taşınma alanlarında topraklar ve araziler kendi kendilerini yenilerler ve gençleşirler, doğal erozyonla taşınan materyallerin depolanma bölgelerinde de alüvyal araziler başta olmak üzere oldukça verimli tarım arazilerinin oluşmasına neden olurlar. Son derece yavaş oluşan doğal erozyonla yok olan topraklardan daha fazlası, toprak oluşum süreçlerinin etkisi ile bu alanlarda yeniden oluşabilmektedir (Sarı, 1997).

Hızlandırılmış erozyon, doğanın kendi dengesi içerisinde kendince sürdürdüğü erozyon bölgelerine insan elinin değmesi ile başlayan ve giderek tamiri mümkün olmayan doğa tahribatlarına yol açan, zaman zaman da önemli miktarlarda can ve mal kayıplarına yol açan erozyon türüdür. Tarım yapmak için orman ve meraların tahrip edilmesiyle bitki örtünün ortadan kaldırılması, eğimli tarım arazilerinde uzmanların önerdiği yöntemlerin dışında tarım yapılması, dik ve çok dik arazilerin tarım arazisi olarak kullanılması hızlandırılmış erozyonun ortaya çıkmasında etkili olan en önemli olaylardır ve tehlikeli olan erozyon şekli budur. Toprağın belli bir oluşum süresi vardır 1cm toprak yaklaşık 500 yılda oluşur. Hızlandırılmış erozyonla kaybedilen toprak miktarı, toprak oluşum süreçlerince oluşturulan toprak miktarından her zaman daha fazladır. Bu nedenle bu erozyon şeklinin yoğun olarak yaşandığı bölgelerde toprak derinliği zaman içerisinde azalmakta ve giderek bu alandaki topraklar yok olmaktadır. Topraksız bir ortamda da

doğal olarak bitki yetiştirmesi mümkün değildir ve hatta doğal olarak gelişen otsu bitkiler dahi böylesi alanlarda gelişme gösteremez (Sarı, 1997).

1.2. Erozyon Faktörleri

Toprak erozyonuna birçok faktör neden olur ve bu faktörlerin toprak erozyon sürecine etkileri farklıdır. Erozyon modellemede birçok değişken kullanılır. Her bir model kendi veri setine gereksinim duymaktadır çünkü modellerde en yaygın kullanılan değişkenler benzer olarak kullanılsa da belirli amaçlar için tasarlanmıştır. Toprak erozyonunun temel faktörleri iklim (yağış, sıcaklık), bitki örtüsü, topografya ve topraktır. Bununla birlikte insan aktivitesi de aktif bir faktör olarak kabul edilir (Souksakoun, 2008).

1.2.1. İklim

Erozyon üzerinde doğrudan etkisi olan iklim faktörleri yağış ve rüzgar hızıdır (Dekui ve ark., 2003). Su dengesi için evapotranspirasyon, sıcaklık ve nem dolaylı yönden faktör olarak nitelendirilir. Yağış, sis dolu, kar ve yağmurdan oluşan her şeyi kapsayan bir terim olarak kabul edilir. Yağmur ve kar toprak erozyonunda temel rol oynamaktadır (Souksakoun, 2008).

Erozyonu etkileyen iklimsel faktörler çoğunlukla yağışın türü, miktarı, şiddeti, süresi ve mevsimlere göre dağılışı bakımından önemlidir. Yağış şiddetinin ve süresinin artması toprak aşınımının artmasına neden olurken, yılın bütün aylarına dağılmış yağışlar, bir mevsimde toplanan yağışlardan daha az etkilidir. Toprak kaybı, toprak yüzeyine çarpan yağmur damlalarının ve yüzey akışının etkileri nedeniyle yağışla yakından ilgilidir (Mkhonta, 2000). Erozyona sebep olan yağış, özellikle yarım saatte düşen yağışın enerjisi ve yağış yoğunluğu gibi özelliklere bağlıdır. Bu özellikler yağmur damlalarının toprak parçacıklarını sökme yeteneğini ve olası yüzey akışını belirler. Bu durum yerinden sökülen toprak parçacıklarının taşınması ve depolanmasıyla sonuçlanır (Nanna, 1996). Yağış miktarı yüzey akışına yol açan genel su dengesini ve nispi oranı etkiler (Hagos, 1998). Erozyon üzerindeki yağış

özelliklerinin etkisi sabit değildir ama toprak tipi, rölyef ve baskın bitki örtüsü türleri ile değiştirilebilmektedir.

Toprak erozyonu üzerinde etkisi olan bir diğer iklim faktörü de sıcaklıktır. Bir çok araştırmanın sonucuna göre hava sıcaklığı toprak erozyonu üzerine dolaylı olarak bir çok yoldan etkilemektedir (Monte R.Oneal ve ark., 2005). Donmuş toprak erozyona karşı dayanıklı olsa da, sıcak yağmurlar tarafından toprak yüzeyindeki hızlı çözünme ciddi erozyona yol açabilir. Sıcaklık ayrıca yağışın türünü de etkilemektedir (County, 2002). Yağan kar aşındırmaz fakat ilkbaharda eriyen şiddetli kar yüksek yüzey akışı tarafından önemli derecede hasara neden olabilir. Toprakta kimyasal olayların hızlanmasında ve ana kayanın mekanik olarak parçalanmasında önemli bir rol oynayan sıcaklık aynı zamanda kültür tiplerinin seçimini ve bitki yoğunluğunu doğrudan etkiler. Sıcaklığın fazla olduğu bölgelerde daha seyrek bir bitki örtüsü oluşur. Öte yandan aynı bölgenin güney yamaçları diğer yamaç topraklarından daha fazla erozyona maruz kalır. Çünkü güney yamaçlar, güneş ışınlarını daha dik alırlar ve bitki örtüsü sıklığı daha azdır (Özsoy, 2007).

Erozyon yönünden önemli bir diğer nokta, sıcaklık değişimlerinin süzülme ve sızılma üzerine olan etkisidir. Zira sıcaklık arttıkça suyun direnci azalır, dolayısıyla suyun derine sızma yüzdelerinde bir artış görülür (Doğan ve Güçer, 1976). Yüzey akış miktarı azalır ve buna bağlı olarak toprak taşınımı ve erozyon azalır (Çanga ve Erpul, 1994).

1.2.2. Toprak

Toprak yüzeyine ulaşan suların bir kısmı toprak tarafından emilir, bir kısmı buharlaşır veya bitkiler tarafından emilir, bir başka kısmı da eğimin etkisiyle yüzey akışına geçer. Toprağın yüzey sularını absorbe etmesi ve profil içinden alt katmanlara doğru iletmesi yüzeysel akış miktarını belirleyen en önemli etmenlerden biridir.

Erozyonun ana bileşenleri olarak nitelendirilen toprak özellikleri;

a. Toprak tekstürü
b. Organik madde içeriği
c. Agregat stabilitesi
d. Toprak yapısı
e. Birim hacim ağırlığı
f. Üst toprak çatlama dayanıklılığı
g. Kabuk kalınlığı ve su geçirgenliği direncidir (Model, 2005).

Silt miktarı çok yüksek olan topraklar hem rüzgar erozyonuna hem de su erozyonuna karşı çok hassas topraklardır. Kil veya kum miktarı fazla olan topraklar ise toprak erozyonuna daha az eğilimlidir. Toprağın yapısı, gözenek hacmi ve büyük boşluklar oluşturarak birbirleri ile kümelenmiş parçacıkların derecesini ifade eder. Toprak yapısı su emme kapasitesini ve erozyona karşı fiziksel direncini etkiler. Kohezyon toprak parçacıkları arasındaki bağlanma kuvveti anlamına gelir ve toprak yapısını etkiler. Kohezyonlu toprak nemlendiği zaman içerisindeki toprak parçacıkları hamur kıvamında bir form oluşturarak birleşirler ve erozyona karşı dirençli hale gelirler. Kumlu toprakların bağlanma kuvveti zayıf iken killi toprakların bağlanma kuvveti çok kuvvetlidir (Souksakoun, 2008).

Normal olarak iri zerreler içeren kaba bünyeli toprakların geçirgenlikleri yüksektir. Bu nedenle kumlu topraklar, killi topraklardan daha geçirgendir. Topraktaki boşlukların miktarı ve büyüklüğü geçirgenliği etkileyen önemli bir faktördür. Farklı tekstüre sahip topraklar, materyallerin taşınması, sızılma ve süzülme farklılıkları nedeniyle aynı derecede erozyona maruz kalmazlar. Toprakların farklı tekstüre sahip olması, erozyon olayında yağış yoğunluğuna göre farklı reaksiyonlar göstermelerine sebep olur. Orta derecede kuvvetli yağışlarda kalker ve humus noksanlığı nedeniyle killerin ve ince siltlerin süspansiyon halde taşınmalarına karşılık, kumlar ağırlıkları fazla olduğu için yerlerinde kalırlar. Oysa kuvvetli yağışlar kohezyondan mahrum kumları kolayca taşırlar (Doğan ve Güçer, 1976).

Toprağın bir diğer önemli özelliği ise toprak organik maddesidir. Bu özellik aşınabilirliği azaltabilir çünkü organik madde toprağın ayrılmasının duyarlılığını azaltır. Aşınabilirliği etkileyen toprak özellikleri tane büyüklüğünün dağılımı, organik madde içeriği, toprak yapısı, kohezyon ve süzülmedir.

Toprak erozyonu ve yüzey akışını azaltan süzülmeyi artırır. Topraktaki düşük organik madde içeriği su tutma kapasitesini büyük ölçüde etkiler (Souksakoun, 2008).

1.2.3. Topografya

Eğim dikliği ve eğim uzunluğu erozyona etki eden topografyanın özelliklerindendir. Yüksek miktardaki fazla yüzey akışı dik eğimlerin artmasıyla meydana gelmektedir. Dik bir alanın eğimi su erozyonu ile toprak kaybı miktarını artırır (Wall, 2003). Yüzey akışı eğimli alanların yanı sıra eğimin uzunluğu da artırmaktadır. Büyük alanlar içerisindeki küçük alanların birleşmesiyle eğim uzunlukları artmaktadır. Artan eğim uzunluğu sonucu büyüyen yüzey akışı erozyon potansiyelini artırmaktadır. Böylece eğimin değişimi ve uzunluğu erozyon modellerinde kullanılan önemli değişkenlerdendir (Souksakoun, 2008).

1.2.4.Bitki örtüsü

Bitki örtüsü toprak kaybının azaltılmasında çok önemli bir faktördür (Petter, 1992). Genel olarak, koruyucu arazi örtüsü arttığında erozyon tehlikesi azalır (Mkhonta, 2000). Toprağı düşen yağmur damlalarının etkisinden korur, infiltrasyon derecesini arttırır, toprak yüzeyinin engebeliliğini korur, yüzey akışın hızını düşürür, toprağı bir arada tutar, üst toprak tabakalarında mikro-iklim iniş çıkışlarını azaltır ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirir (Petter, 1992).

Bitki örtüsü, yağmur damlalarının etkisini önler ve yüzey akışını yavaşlatır (Dekui Niu, 2003). Bitki örtüsü, toprağın önemli koruyucu örtüsüdür. Böylece yüzey kapağının artışı erozyonun tehlikesini azaltmaktadır. Erozyon üzerindeki bitki

örtüsünün etkisi bitki örtüsünün çeşidine, yoğunluğuna ve yüzey örtülülüğüne de bağlıdır.

Bitki örtüsü, yağmur damlalarının direk olarak toprağa düşmesinden önce etkisini kırarak toprağın aşınma yeteneğini azaltır. Toprak erozyon potansiyeli, toprakta bitki örtüsüne, bitki döküntüsünün olmadığı ya da çok az olduğu alanlarda artmaktadır (Wall, 2003). Bitki örtüsü ve döküntü örtüsü, yağmur damlasından ve sıçramadan gelen etkileri korur, yüzey akış hareketlerini yavaşlatmaya eğilimlidir ve fazla yüzey suyunun süzülmesine izin verir. Avustralya Queensland'daki çalışmaların sonucunda toprak erozyon miktarı bitki örtüsü olmayan alanlarda 30-35 ton/ha iken %47 bitki örtüsü alanlarda 0,5 ton/ha'a kadar azaldığını göstermektedir. Böylece bitki örtüsünün erozyonu fazlasıyla azalttığını göstermiştir.

Ormansızlaşma, aşırı otlatma, toprak işleme ve yanlış tarım uygulamaları ile kaybolan koruyucu bitki örtüsü, toprağın rüzgar ve su tarafından kolaylıkla taşınmasına yol açmaktadır. Ayrıca aşırı ekim ve sıkıştırma toprağın yapısının ve yapışkanlığının kaybedilerek daha da kolay aşınabilir olmasına neden olmaktadır. Erozyon ilk başta yüzey toprağını aşındırır. Aşınan bu besin bakımından zengin tabaka kaybolduğunda bitkilerin büyümesini olumsuz bir şekilde etkileyecektir (Souksakoun, 2008).

Doğal yağış altında gerçekleştirilen bir denemede bitki örtüsü ile korunmuş yüzeyde 10 yılda toplam olarak 9,4 ton/ha toprak kaybı meydana gelirken, yağmur damlalarının serbest düşmesine açık bir yüzeyde 10 yılda toplam olarak 1265,7 ton/ha toprak kaybı meydana gelmiştir. Bu iki durum karşılaştırıldığında, bitki örtüsünden yoksun arazide kaydedilen toprak kaybı, bitki örtüsüyle kaplı arazideki toprak kaybının 135 katıdır (Taysun, 1989). Bu durum toprağı kaplayan bitki örtüsünün önemini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

1.2.5. İnsanlar

Yeryüzünde görüldükleri andan itibaren canlılar, özellikle insanlar bilerek ve/veya bilmeyerek üzerinde yaşadıkları arazilerin bitki örtüsünü sürekli olarak tahrip etmektedirler. Çağımızda da insanlar yaşamlarını sürdürebilmek için tarım ve

hayvancılık yapmak zorundadırlar. Bu husus ise sürekli olarak yeryüzündeki bitki ve toprak varlıklarının tahrip edilmesine yol açmaktadır. Doğal denge koşulları içerisinde, en azından doğal güçlerin erozyonla taşıdığı toprak miktarı kadar yeniden toprak oluşumu esastır. Söz konusu bu denge, insanların doğayı kullanmaya başladıkları döneme kadar devam etmiş ve insanların doğaya ve araziye müdahaleleri ile birlikte bu denge toprakların aleyhine dönmüştür. İnsanların sürekli olarak bitki örtüsünü tahrip etmesi ve uygun özelliklere sahip olmayan toprakları tarıma açması, erozyona ortam hazırlamaktadır. Bunların yanı sıra arazi ve toprakların oluşurken kazandıkları yeteneklerine uygun olmayan kullanım biçimleri altında işletilmeleri ve hatalı ve yanlış tarım yöntemleri uygulanarak kullanılmaları da erozyon zararının beklenilenden fazla olmasına neden olmaktadır (Anonim, 2003).

1.3. Erozyon Modelleri

Toprak erozyon modelleri toprak kayıp süreci için tahminlerin ve simülasyonların geliştirilmesi için bir araç olarak kullanılmaktadır. Toprağın ayrılması, taşınması ve birikmesi, erozyon modellemede dikkate alınan temel süreçlerdir (Lal, 1994). Birçok erozyon modeli birikim meydana gelmeden taşıyabileceği maksimum sediment miktarı olarak tanımlanan taşıma kapasitesine dayanmaktadır. Erozyon modelleri yaygın olarak tarım arazilerinin korunması için, toprak koruma ve arazi koruma planlamasında kullanılmak üzere erozyon tehlikesi üzerine veri üretmek için en uygun yaklaşımlar olarak kullanılmıştır. (Souksakoun, 2008).

Genellikle üç tip erozyon modeli toprak kaybını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bunlar;

a) Deneysel
b) Kavramsal
c) Fiziksel temelli modellerdir (Lal, 1994).

Erozyon modelleri genellikle mekânsal değişimi tanımlayarak basit diferansiyel denklem kullanırlar. Bu modeller iklim, topografya, bitki örtüsü ve toprak olmak üzere dört temel faktöre dayanmaktadır. Bu modeller arasındaki fark erozyon olayı sırasında erozyonun yüzeyi nasıl değiştirdiğidir. Bir başka fark ise bu modellerin işlemin sürekli simülasyonunu tanımlayıp tanımlamadığı veya basit erozyon olayı için tahmin edip etmediğidir. Fakat toprak erozyonunun doğru tahmininde iki kısıtlayıcı neden vardır. Birinci nedeni modelin yüksek belirsizliği ikinci nedeni ise mekânsal ve zamansal değişkenlikle ilişkilidir. Model kalitesinin sonucu havza modelinin kalibresiz kullanımı tavsiye edilmemektedir. (Souksakoun, 2008).

1.3.1. Deneysel modeller

Deneysel modeller erozyonu, uygun veri setinin bulunduğu durumlarda, varsayılan önemli değişkenler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı ilişkileri kullanarak tanımlarlar (Kadupitiya, 2002). Deneysel modeller arazi gözlemleri, ölçümler, deneyler ve istatistik teknikleri yoluyla toprak kaybına yol açan önemli faktörlerin tanımlanmasına dayanır (Petter, 1992). Deneysel modellerde, karmaşık doğal süreçler kullanılmaz ve model sadece tasarlandığı yönde çalıştırılabilir. Deneysel modeller erozyon tahmininde hızlıdır fakat belirli bir alan içindir ve uzun dönem veri toplanması gerekir (Elirehema, 2001). Toprak erozyonu çalışmalarında kullanılan birçok model deneyseldir. En geniş kullanıma sahip deneysel model USLE (ETKE)'dir. SLEMSA, DUSLE, RUSLE (YETKE), MUSLE, vb. gibi kullanılan diğer modeller temelde USLE'ye dayanarak modifiye edilmiş modellerdir.

1.3.2. Kavramsal modeller

Bu modeller fiziksel temelli modeller ile deneysel modeller arasında bulunmaktadır. Bu model sediment süreklilik denklemine ve suyun mekânsal terkedilmiş formlarına dayanmaktadır (Lal, 1994). Bu modellerin odak noktası

temelde hidrograf kavramını kullanarak sediment miktarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. (Souksakoun, 2008).

Bu sistemler mantıksal düşünme ve eğer-sonra şeklinde ifade edilen bilgiler kullanılarak inşa edilen kararlı kurallara dayanmaktadır (Kadupitiya, 2002). Bu modellerde temel faktörler nehir yataklarındaki oluşumlar hakkında uzman bilgiye ve topografya, toprak, su ve bitki örtüsü hakkında harita bilgilerine sahip olunmasıdır. Kavramsal modeller, klasik modellerin özünü içinde barındırmaktadır. Bu modeller iç ortamı tanımlayan bilgiyi alır, bu bilgiyi bir takım kurallar kullanarak işler ve bunun bir çıktısı olarak özel bir yanıt üretir. Bu modellerin birçoğunda iç çalışmalar karmaşıktır ve birçok aracıyı veya alt modelleri gerektirebilir (Yazidhi, 2003).

1.3.3. Fiziksel temelli modeller

Bilim adamları noktasal olmayan kirliliğin tanımlaması ve erozyonun alan dışı etkileri ile ilgili olarak toprak yüzeyi üzerindeki sediment ve yüzey akışının yersel dağılımını tahmin etmek için fiziksel temelli modelleri geliştirmişlerdir. Bu hedeflere ulaşmak için deneysel modellerin önemli sınırlayıcıları bulunmaktadır (Kadupitiya, 2002). Diğer taraftan deneysel modeller evrensel olarak uygulanamamaktadır. Bireysel alanlardan büyük havzalara kadar değişen ölçeklerde kullanılamamaktadır. Böylece fiziksel temelli modeller önemli hale gelmiştir. (Souksakoun, 2008).

Fiziksel temelli veya süreç tabanlı modeller erozyon sürecini tanımlayan matematiksel denklemlere dayanmaktadır. Bu modeller erozyonu kontrol eden gerekli mekanizmaları temsil etmek için tasarlanmıştır. Fiziksel temelli modellerin avantajı, çeşitli faktörlere ve onların mekânsal ve zamansal değişimleri arasındaki karmaşık etkileşimleri içeren erozyon ile ilişkili tek bir bileşenin sentezini temsil etmesidir (Lal, 1994). Bugüne kadar toprak erozyonu tahmini için geliştirilen çeşitli fiziksel temelli modeller oluşturulmuştur ve bunlarda çoğu küçük bir alanda veya parsel ölçeğindeki erozyonu temsil etmektedir. Ancak toprak kaybının değerlendirilmesi için ANSWER, CREAM, WEPP, PESERA gibi bölgesel veya büyük ölçekli geliştirilen modeller de bulunmaktadır (Amore ve ark., 2004).

Bu modeller amaçlanan hedeflere bağlı olan çeşitli uygulamalara sahiptir. RUSLE (YETKE) gibi bazı modeller büyük alanların toprak kaybını değerlendirmede kullanılamayacağından dolayı parsel boyutundaki alanlar veya küçük ölçekli alanlar için belirlenmiştir. Böylece geniş alanlar veya ülkesel ölçekli alanlar için geliştirilmiş olan modeller toprak ve doğal kaynak yönetimi gibi ulusal ve bölgesel alan gelişimi planları için daha yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım olmuştur.

PESERA modeli Avrupa ülkelerinde uygulanan ve geliştirilen bölgesel ölçekli bir model olduğundan dolayı karasal bir ortam olan çalışma alanında kullanılmak üzere önerilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Dünya'da Toprak Erozyonu ve Yürütülen Çalışmalar

Dudal'a (1981) göre Dünya genelinde toprak erozyonu ve diğer faktörlerle oluşan tarımsal toprakların bozulması ile yılda 6 milyon hektar verimli alanın üretkenliği geri dönülmeyecek biçimde kaybedilmektedir. Buring (1981), Dünya'da sadece toprak erozyonu ile bir yılda 3 milyon hektar ve çölleşme ile 2 milyon hektar tarım toprağı kaybedildiğini bildirmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri gibi tarım alanında çok gelişmiş bir ülkede tarım alanlarının %44'ünde erozyon nedeniyle kaybedilen toprak miktarı kabul edilebilir sınırların üzerinde yer almaktadır. Akarsuların okyanuslara sediment taşıması nedeniyle dünyanın kaybettiği toprak miktarının, tarım otlatma ve diğer etkinliklerin uygulanmadığı çağlarda yılda 9 milyar ton iken, bu uygulamaların devreye girmesi ile yılda 25.4 milyar tona ulaştığı tahmin edilmektedir (Brown ve Wolf, 1984). Hidrologlar, akarsuların taşıdığı toprakların dörtte birinin denizlere boşaldığını hesaplamaktadırlar. Geriye kalan dörtte üçü ise vadi tabanlarında, barajlarda, akarsu deltalarında ya da diğer çukur alanlarda birikmektedir (El-Swaify ve Dangler, 1982). Yapılan araştırmalar, son yıllarda büyük boyutlarda toprağın rüzgar yoluyla da okyanuslara taşındığını belirlenmiştir.

Fabri (1991), ETKE ve bir seri basit arazi testleri kullanarak yaptığı bir çalışmada erozyondan kaynaklanan toprak kaybının değerlendirilmesinde UA ve CBS kullanılabilirliğini test etmiştir. Toprak erozyonu ile ilgili parametrelerin bulunmasında yardımcı olarak uzaktan algılanmış veriler kullanılmıştır. Üretilen sonuçlar ile birçok tema CBS ortamında modellenmiştir.

Bir çok araştırmacı sediment kaybı ve toprak kaymasının sıklığını ve yoğunluğunu kontrol eden önemli faktörlerin arazi kullanımı ve bitki örtüsü olduğunu göstermişlerdir (Bryan ve Campbell, 1986; Mitchell, 1990; Bohm ve Gerold, 1995; Woo ve ark., 1997). Bitki örtüsü arttıkça akış ve toprak kaybı önemli ölçüde azalır (Elwell ve Stocking, 1976; Lee ve Skogerboe, 1985; Francis ve Thornes, 1990). Snelder ve Bryan (1995), çok hızlı artış gösteren erozyon üzerindeki

bitki örtüsünün kritik eşik değerinin % 55 olduğunu belirlemiştir. Doğu İspanya'da yapılan bir çalışmada Cerda, (1999), yoğun bitki örtüsü toprağında 0-3720 $gm^{-2}h^{-1}$ aralığında erozyona müsait açık toprak aralığı bulmuştur. Lasanta ve ark. (2000) terk edilmiş arazilerdeki zayıf bitki örtüsünün etkisini tespit edebilmek için akış katsayılarını ve yüksek akışları belirlemiştir. Kosmas ve ark. (1997), Akdeniz arazi kullanım tipine göre sırasıyla yıllık toprak kaybı oranı en yüksekten en düşüğe göre üzüm, okaliptüs, kışlık buğday, fundalık ve çalılık ve zeytin olarak belirlemiştir. Descroix ve ark. (2001), parsel ölçeğinde mera alanlarının erozyonu ve akışı azalttığını ve bitki örtüsündeki bu oranın toprak kaybı ve akışı ile ters bir ilişkide olduğunu göstermiştir. Hicks ve Harmsworth (1989), ormanların kırsal alan kullanımına kıyasla daha az sediment oluşturabileceğini, fakat bu alanlarda riskli dönemlerde yapılan yol çalışmalarındaki sediment kaybının ormanlardakinden çok daha büyük olabileceğini ifade etmiştir.

Tsara ve ark. (2005), Yunanistan'ın Zakynthos bölgesindeki *Caretta caretta* türlerinin için önemi olan 60 hektarlık Sekania havzasında yaptıkları çalışmanın sonuncunda havzanın % 5'ini işgal eden açık alanlarının tahmin edilen toplam sediment miktarının % 69'undan fazlasını oluşturduğunu belirlemişlerdir. PESERA modelinin tepelik arazileri erozyondan korumak için bitki örtüsü ve en iyi alan kullanım tipini belirlemek için toprak, topografya ve iklim şartları altında bölgesel bir tanı aracı olarak kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Souksakoun (2008), fiziksel tabanlı bölgesel ölçekli toprak erozyon modeli olan PESERA modelini Tayland'daki Lomsak bölgesinde farklı arazi kullanım türleri için aylık ve yıllık toprak kaybını değerlendirmek için kullanmıştır. 250 m çözünürlükte çalıştırdığı model sonucunun doğrulaması için 5 akarsu gözlem istasyonunun verilerini kullanmıştır. Model sonuçları yüksek toprak kaybının özellikle mısırda (>2.5 t/ha/yıl) ve ardından karışık ürün (1.5-2 t/ha/yıl) olan tarımsal alanlarda meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Doğal orman örtüsünde ise toprak kaybını düşük oranda (0.2 t/ha/yıl) bulmuştur. Toprak kaybı miktarı artan eğim miktarı ile artmakta ve toprak aşınabilirliği faktörü doğrudan bir giriş parametresi olarak PESERA modelinde çok hassas bir parametre gibi görünmektedir.

Kindlinger (2009), PESERA toprak erozyonu modeli tahmini ve kalibrasyonunu karşılaştırmıştır. En iyi kalibrasyon için PESERA modelindeki aşınabilirlik faktörünü belirlemiştir. PESERA modelinin sonucuna göre R^2=0,91olarak bulunmuştur. Aşınabilirlik faktörü ile yüzey akışı ve erozyon oranları arasında hiçbir bağlantı bulunamamıştır. Sonraki aşamada aşınabilirlik faktörünün deneysel model olan USLE modeli arasında bir ilişki olup olmadığını incelenmiştir. USLE modeline göre çoklu belirlilik katsayısı (R^2) 0,56 olarak belirlenmiştir. Bu düşük ilişkinin muhtemel sonucunun USLE modelinin Amerika'da geliştirilmesinden kaynaklandığını belirtmiştir. Modifiye USLE modelinde ise bu çoklu belirlilik katsayısı (R^2) 0,75 olarak bulunarak daha iyi bir tahmin gösterdiğini belirtmiştir.

Podmanicky ve arkadaşlarına göre (2009) toprağın en önemli ve en kompleks doğal kaynak olduğunu fakat kentleşme, erozyon ve iklim değişikliği gibi güncel gelişmeler ile birlikte Avrupa ve tüm Dünyada artan bir tehdit olarak görmektedirler. Toprak kalitesinin nasıl değiştirileceğini geliştirmek için toprak karbon içeriği ve toprak erozyonunu kullanarak SENSOR projesini modellemişlerdir. Göstergeler politika senaryolarına yanıt vermek için arazi kullanımı değişikliğini öngören CLUE modelinden türetilmiştir. Erozyon olması durumunda hesaplamanın doğruluğunu değerlendirmek için CBS verileri ve PESERA projesinin sonuçları kullanılmıştır. Toprak karbon içeriğinde en büyük artış olan alanlar ve en yüksek azalışın olduğu alanları belirlemişlerdir.

2.2. Türkiye'de Toprak Erozyonu ve Yürütülen Çalışmalar

Türkiye'de ilk erozyon haritası TOPRAKSU tarafından 1966–1971 yılları arasında yapılan arazi etüdleri ve hava fotoğraflarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Pedolojik etüdlerin ürünü olan ve 1981 yılında basılan bu ilk erozyon haritası geçen sürede güncelliğini yitirmiştir. Çünkü 1970'li yıllardan bu yana ülkemizdeki ekonomik büyüme, aşırı nüfus baskısıyla bütünleşerek doğal üretim kaynağı olan topraklarımızın giderek bozulmasına neden olmuştur. Bu nedenle ülke topraklarımızın erozyon durumunu gelişen yöntemlere göre kısa zamanda tekrar haritalamak gerekmektedir. Bu amaçla son dönemlerde gelişen geniş

uygulama alanları bulunan uydularla uzaktan algılama ve geniş kapsamlı bilgi kullanımına olanak veren Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinden yararlanılmaktadır (Anonim, 1996).

Gemalmaz ve ark. (1993), Konya Karapınar bölgesinde CBS ve UA gibi yeni tekniklerin kullanılması sonucu erozyon riski taşıyan alanların belirlenmesinde uygulanabilirliğinin ortaya konulmasını araştırmışlar ve Landsat TM uydu görüntüsü ile erozyon riski taşıyan alanları tespit etmişlerdir.

Çullu (1993), Coğrafi Bilgi Sistemi verilerinin üst üste bindirme özelliğini kullanarak, yağmurun erozyon üzerindeki etkisi, toprağın erozyona uğrayabilirliği ve eğim özelliği gibi faktörleri sınıflandırdığı Landsat TM görüntülerinden elde ettiği arazi örtüsü faktörü ile birleştirmiştir. Böylelikle tarım yapılan ve yapılmayan bölgelerin erozyon riski tayini yapılmıştır.

Çullu ve Dinç (1994), uzaktan algılama verilerinin, özellikle toprak kayıplarını etkileyen arazi kullanımındaki değişikliklerin belirlenmesinde çok kullanışlı bir yol olduğunu belirtmişler. Arazideki farklı erozyon derecelerini, yansıma değerlerine göre yorumlamak, arazi kullanımındaki en son durumu haritalamak, bitki örtüsünün kapladığı alanları ve yoğunluğunu belirlemek amacıyla Landsat TM verilerinden 3., 4. ve 5. bant kombinasyonunu kullanmışlardır.

Doğan ve Küçükçakar (1997), PAP/RAC/UNEP Erozyon Haritalama ve Ölçme Programı, ICONA teknik yardımı ve FAO işbirliği ile Türkiye Güneybatı Akdeniz kıyı bölgesinde yer alan yaklaşık 300km^2 drenaj alanına sahip Eşen Havzası'nda erozyon durumu haritalama çalışması yürütmüşlerdir. PAP/RAC/UNEP erozyon haritalama ve ölçme programına Türkiye'nin yanında Tunus ve İspanya da benzer çalışmalarla katkıda bulunmuştur. Erozyon haritalama çalışmalarında 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ile 1989 yılı hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda Eşen havzası erozyon haritaları 1:25.000, 1:100.000, 1:200.000 ve 1:400.000 ölçekte hazırlanılmış ve sunulmuştur.

Ayday ve ark. (1997), Küçükelmalı – Bilecik Gölet Havzası'nda CORINE yöntemini kullanarak erozyon risk haritası hazırlamışlardır. Elde edilen erozyon risk haritası ve klasik yöntemlerle hazırlanmış haritalar karşılaştırılmıştır. Arazinin toprak yapısını ve jeolojisini belirlemek amacıyla 5 noktada profil, 22 noktada toprak örneği

almışlardır. Bitki örtüsünü belirlemede TVI (Transform Vegetation Index) formülünden yararlanmışlardır. Yaptıkları bu çalışma sonucunda, bir bölgede kullanılan yöntemin verilerinin değerlendirilmesinde, uygulama bölgesinin özelliklerinin önemle dikkate alınması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Doğan ve ark. (2000), ülke genelinde yaptıkları bir çalışmada, büyük toprak gruplarını dikkate alarak aldıkları toprak örnekleri üzerinde yaptıkları analizlerden elde ettikleri bulguları geliştirilerek büyük toprak grupları için K faktörü tespit etmişlerdir. Çalışma sonucuna göre Türkiye toprakları aşınabilirlik yönünden orta ve kuvvetli derecede aşınabilir sınıflara girmektedir. Hesaplanan K değerlerinin daha kullanılabilir olması için coğrafi koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu veriler CBS ortamına aktarılamamaktadır.

Toprağın aşınmaya duyarlılık faktörü olan K faktörü, toprağın bir özelliğidir. Toprağın yapı, doku, organik madde içeriği ve geçirgenlik değerlerine bağlı olarak belirlenen bu parametre için Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tüm Türkiye'de değişik toprak grupları için bu değerleri belirlemeye çalışmıştır. Özden ve Özden (1998), büyük toprak grupları için elde edilen K değerlerini üniform parsellerde belirlemiş ve yayınlamışlardır.

Türkiye geneli için, ETKE–R faktörü Doğan (1987 ve 2002) ve MFİ değerleri Doğan ve Denli (1999) tarafından hesaplanmış ve haritalanmıştır. Doğan ve Denli (1999) çalışmalarında, yağışların uzun yıllar aylık toplam miktarları ile yıllık ortalama miktarlarını kullanarak MFİ (Arnoldus, 1977) değerleri hesaplamışlardır. Doğan (2002), yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum yağış şiddetlerinin (mm saat^{-1} veya cm saat^{-1}) birlikte değerlendirilmesiyle saptanan yağış erozyon indisi (R faktör) değerlerini ülke çapında uzun yıllık (25 yıl) yağış verilerini 96 istasyon için incelemiştir ve Türkiye yağış erozyon indeks değerlerini (ETKE-R) belirlemiştir. Ayrıca 12 ay için yağış erozyon indeks değerleri, yıllık erozyon indeksi ve mevsimsel indeks değerleri haritaları da çizilmiştir.

Öztürk (2002), Bilecik ili Pazaryeri ilçesi Küçükelmalı, Güde ve Bahçesultan köyleri arazileri içerisinde bulunan Kurukavak deresi su toplama havzasında 1994-1996 yılları verileri ile yürüttüğü araştırmada yüzey akış ve sediment miktarı tahmin etmeye çalışmıştır. Bu amaçla havzaya ait; topoğrafya, bitki örtüsü, toprak, arazi

kullanımı ve iklim verilerini toplamış, daha sonra bu verileri CBS ortamına aktararak AGNPS modeli için gerekli analizleri yapmıştır. Elde edilen harita, tablo ve bireysel verilerle AGNPS modeli yardımıyla yaptığı yüzey akış tahminlerini ölçülen değerlerle karşılaştırmıştır. Çalışma alanında 15 farklı yağış olayından seçilen 8 olaya göre; model değerlerinin gözlem değerlerine etkinliği % 25, belirtme katsayısını 0,43 olarak bulmuştur. Kolmogrov-Smirnav testine göre; P=0,98, Khikare testi sonucu x^2_h=0,83 olarak bulunduğundan gözlem ve model değerlerinin homojen olduğu ve model değerlerinin gözlem değerlerini temsil edebileceği kanısına varmıştır.

Bayramin ve ark. (2003), Ankara Beypazarı bölgesinde yaklaşık 170 hektarlık bir alana sahip bir bölgede Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama tekniklerini kullanarak, ICONA yöntemi yardımıyla erozyon risk belirleme çalışması yapmıştır. 7 aşamada tamamladıkları çalışmalarında Landsat TM5 uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. Bitki yapısının belirlenmesinde NDVI formülünü kullanılmış ve çalışma alanının % 45,9' luk bölümde yüksek erozyon riski belirlenmiştir.

Erol ve Çanga (2004), Eskişehir ili Mihalçcık ilçesinde CBS yardımıyla potansiyel ve gerçek erozyon tehlikesi alanlarını CORINE yöntemini kullanarak belirlemiştir. Potansiyel erozyon tehlikesi haritası sonucuna göre çalışma alanının %44' ünün düşük, %52' sinin orta, %4' ünün ise yüksek erozyon tehlikesi gösterdiğini belirlemiştir. Gerçek erozyon tehlikesi haritası sonuçlarına göre ise alanın %31'i düşük, %20'si orta, %49'unun yüksek derecede erozyona maruz kaldığı görülmüştür. Çalışma sonucunda bitki örtüsü ve arazi kullanım durumunun gerçek erozyon tehlikesini büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. CORINE yönteminin Türkiye arazilerinin niteliksel potansiyel gerçek erozyon tehlikesi haritalarının oluşturabilmesi çok ucuz, anlaşılır ve kolay uygulanabilinen bir yöntem olduğunu belirlemişlerdir.

Dengiz ve Akgül (2004), Gölbaşı Özel Çevre Koruma alanı ve yakın çevresinde yayılım gösteren arazilerin CORINE erozyon risk durumlarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Kullanılan modelde toprağın bünyesi, derinliği, taşlılığı, eğimi, arazi kullanımı ve arazi örtüsünün bilgilerini kullanarak altı aşamada oluşturulmuştur. Sonuçlara göre araştırma alanının %72,9'u düşük, %23.8'i orta ve

%1.0'lik gibi çok az bir kısmı ise yüksek erozyon riskine sahiptir. Ayrıca bu çalışma toprak erozyon risk tahminlerinde Coğrafi Bilgi Sistemi tekniği kullanılmasının önemli bir rolü olduğunu da göstermiştir.

Kılıç ve Yönter (2005), belirli koşullar altında, yağışla meydana gelen toprak kaybının, yüzey akış miktarı ve yağış süresine bağlı değişiminin modellenmesini amaçlamışlardır. Laboratuvar ve modelleme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilen çalışmanın laboratuvar kısmında Gediz Havzası'nda büyük ölçüde su erozyonuna maruz kalan Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarından örnekler alınmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre söz konusu parametreler arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden denklemin çoklu belirlilik katsayısını (R^2) 0,99 olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak parametreler arasında önemli düzeyde bir ilişkinin bulunduğu ve toprak kaybı miktarında meydana gelen değişimlerin, yağış süresi ve yüzey akış miktarına bağlı olarak açıklanabildiği tespit edilmiştir.

Tombuş (2005), erozyon risk belirlemede CORINE ve ICONA yöntemlerini incelemiş, çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan analitik hiyerarşik süreç (AHP) ile yeni bir erozyon risk değerlendirme yöntemi ortaya koymaya çalışmıştır. Analitik hiyerarşik süreç ile belirlenen erozyon değişkenlerinin ağırlıkları ve yeni erozyon risk formülü, erozyon risk haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Alt ölçütler kullanılarak elde edilen erozyon risk formülünün Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla Çorum iline uygulanması sonucunda, çalışma alanının %7'sinde çok az düzey, %13'ünde az düzey, %20'sinde orta düzey, %27'sinde yüksek düzey, %33'ünde çok yüksek düzeyde erozyon riski olduğu belirlenmiştir.

Bayramin ve ark. (2006), Türkiye genelinde düzenli veri toplanan 223 meteoroloji istasyonundan 30 yıllık günlük yağış verileri kullanılarak, Modifiye Fournier İndisi (MFİ), Yağış Yoğunluk İndisi (YYİ), Mevsimsellik İndisi (Mİ) ve Yağış Değişebilirlik Katsayısı (YDK) yüzeyleri elde etmişlerdir. MFİ, YYİ ve Mİ yüzeyleri iki farklı yöntem ile hesaplanmış ve farklılıkları YDK ile istatistiksel olarak tartışılmış ve analiz edilmiştir. Sonuç olarak ülke genelinde, istatistiksel olarak geçerli MFİ, YYİ ve Mİ haritaları elde etmişlerdir. Aynı çalışmada, sıradışı yağış tekerrür analizleri yapılarak, 10, 20 ve 30 yılda oluşması muhtemel MFİ değerleri (sırasıyla MFİ10, MFİ20 ve MFİ30) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, MFİj

haritası ile karşılaştırıldığında, erozyon oluşturma gücü açısından MFİ10, MFİ20 ve MFİ30 değerlerinin daha yüksek değerler verdiği saptanmıştır. Araştırmacılar bu sonuçlar ışığında, Türkiye'de sıradışı yağışların erozyon tehlikesini büyük ölçüde etkilemesinden, MFİ10, MFİ20 ve MFİ30'un toprak ve su koruma önlemlerinin alınmasında MFİ ve MFİj 'e nazaran, kullanılması daha korumacı bir yaklaşım olacağını bildirmişlerdir.

İrvem ve ark. (2007), Seyhan nehri havzasında yıllık toprak kaybını CBS teknikleri kullanarak USLE yöntemi ile hesapladıkları bir çalışmada R faktörünü Arnoldus'un (1977) önerdiği MFI eşitliği ile hesapladıkları değerler ile plüviograf kayıtları olan bazı meteoroloji istasyonlarının verileri ile hesapladıkları R faktörleri değerleri ile regresyona (R^2=0,94) tabi tutmuşlardır. Sonuçta aylık yağış miktarı kullanılarak elde edilen MFİ verileri ile hesaplanabilecek bir R faktörü ($R=0,1215xF^{2,2421}$) eşitliği önermişlerdir. Çalışma sonucunda Seyhan havzasının yıllık ortalama toprak kaybını 16,38 ton ha^{-1} y^{-1} olarak hesaplamışlardır.

Özsoy (2007), Mustafakemalpaşa Nehri drenaj havzasında yıllık potansiyel toprak kaybını belirlemiş, toprak erozyon riski tahmininde UA ve CBS tekniklerinin uygulanabilirliğini sınamıştır. RUSLE modeli ile erozyon miktarını ortaya koyup, sediment iletim oranı fonksiyonları kullanılarak tahmin edilen sonuçlar alanda bulunan sediment gözlem istasyonun 41 yıllık sediment taşınım miktarı ölçüm raporlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar CBS ile bütünleştirilmiş RUSLE modeli ile potansiyel erozyon riskinin etkin, doğru ve kolay bir biçimde tahmin edildiğini göstermiştir.

Tağıl (2007), RUSLE modelinde dinamik arazi örtüsü parametresini Landsat TM 1987 ve Landsat ETM+ 2000 çok bantlı sensor sistemlerinden elde edilen uzaktan algılama verilerini kullanmıştır. Erozyon modeli, yüksek toprak erozyon risk gruplarında arazi örtüsündeki değişime bağlı olarak 1987 yılından 2000 yılına kadar artış olduğunu göstermiştir. Bu artışın çok az ve az risk sınıfından normalin üzerindeki sınıflara doğru kayma gösterildiğini bununda aşırı otlatmanın neden olduğu arazi bozulmalarının bir sonucu olduğunu belirtmiştir.

Karabulut ve Küçükönder (2008), USLE yöntemini kullanarak Kahramanmaraş Ovası ve çevresindeki erozyon alanlarını belirlemişlerdir. Sonuç

olarak çalışma alanında 0 ile 21 ton $ha^{-1}yıl^{-1}$ aralığında toprak kaybı hesaplamış ve sonuç oranı aralığının kullanılan faktör değerleri ile doğru orantılı olduğunu saptamışlardır. Ayrıca yüksek erozyon potansiyeli görülen alanların eğim derecesi ve eğim uzunluğu faktör (LS) katmanında yer alan yüksek değerlerle çakıştığı da gözlenmiştir. Sonuç olarak da USLE hesaplamasında eğim ve eğim uzunluğu erozyon oranı üzerinde belirleyici faktörlerden biri olarak görülmüştür. Tek başına kesin bir belirleyiciliği olmasa da topografik faktörün erozyon oranı üzerinde daha fazla etkili olduğu hesaplanmıştır.

Karaburun ve ark. (2009), İstanbul Büyükçekmece havzasında CBS tabanlı RUSLE metodu ile uzun dönemli toprak kaybının hesaplanmış ve potansiyel erozyon riskine sahip alanlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda havzanın erozyon sonucu hektar başına yıllık ortalama 2,4 ton toprak kaybına maruz kaldığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Ekinci ve ark. (2010), Marmara Bölgesinin kuzeyinde bulunan Durusu Havzasında erozyon duyarlılık sahalarının tespit edilmesinde RUSLE 3D modelini kullanmışlardır. Bu metot kapsamında erozyon üzerinde etkili olan faktörler belirlenmiş ve değerleri saptanarak analiz için etkili faktör haritaları üretilmiştir. Bu haritalar sonra 10x10 metre çözünürlüklü olarak raster formata aktarılarak duyarlık sahalarının tespit edilmesi için hesaplama işleminde kullanılmıştır. Ayrıca duyarlılık sınıfları içinde toprak kayıp miktarı hesaplanmış ve haritalanmıştır. Elde edilen sonuçların güvenilir olup olmadığı arazi çalışmaları ile de doğrulanmıştır. Sonuç haritasında yüksek ve çok yüksek oranda toprak kaybının gerçekleştiği lokasyonların, zemin örtüsünün olmadığı açık araziler, vadi yoğunluğu ile eğim değerlerinin fazla olduğu kısımlar, ince taneli kolayca taşınabilen toprakların bulunduğu sahalara karşılık geldiği dolayısıyla da taşınan toprak miktarının da yüksek olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak RUSLE yönteminin doğru sonuçlar verdiği ve bu sahalar için doğru haritalamanın yapılabildiği sonucuna varılmıştır.

Başayiğit ve Dinç (2010), Eğirdir Gölü havzasındaki toprak kayıpları tahmini için Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı yeni bir yaklaşım geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve düzenlenmiş Morgan-Morgan-Finney Modeli (rMMF) ile birlikte toprak kaybı ve sedimantasyon

oranları kıyı kuşağı ve karasal iklim arasındaki bölgede toprak erozyon haritası üretiminde etkili bulunmuştur.

Erdoğan (2012), Büyük Menderes Havzası için risk analizi yöntemi geliştirilmesi çalışmasında erozyon, kuraklık, orman yangınları ve doğal bitki örtüsünde verimlilik, nüfus artışı ve alan kullanımı/arazi örtüsü değişimi verilerini kullanarak ekolojik risk analizini oluşturmuştur. Bu kapsamda oluşturulan RUSLE erozyon yöntemi ile t/ha/yıl (ton/hektar/yıl) birimi cinsinden BMH için erozyon 0 ile 992 ton/ha/yıl arasında bulunmuştur. Bu sonuçlara göre tüm alan için birim alandaki ortalama erozyon 9.87 ton/ha/yıl değerine ulaşırken standart sapma ise 19.03 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir. Özellikle yerleşim ve tarım alanı açmak için tahrip edilen doğal alanların ortadan kaldırılmasıyla oluşan çıplak alanlar erozyona uygun alanlara dönüştüğünü ve bu alanlarda erozyon risk değerlerinin yükseldiğini belirtmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

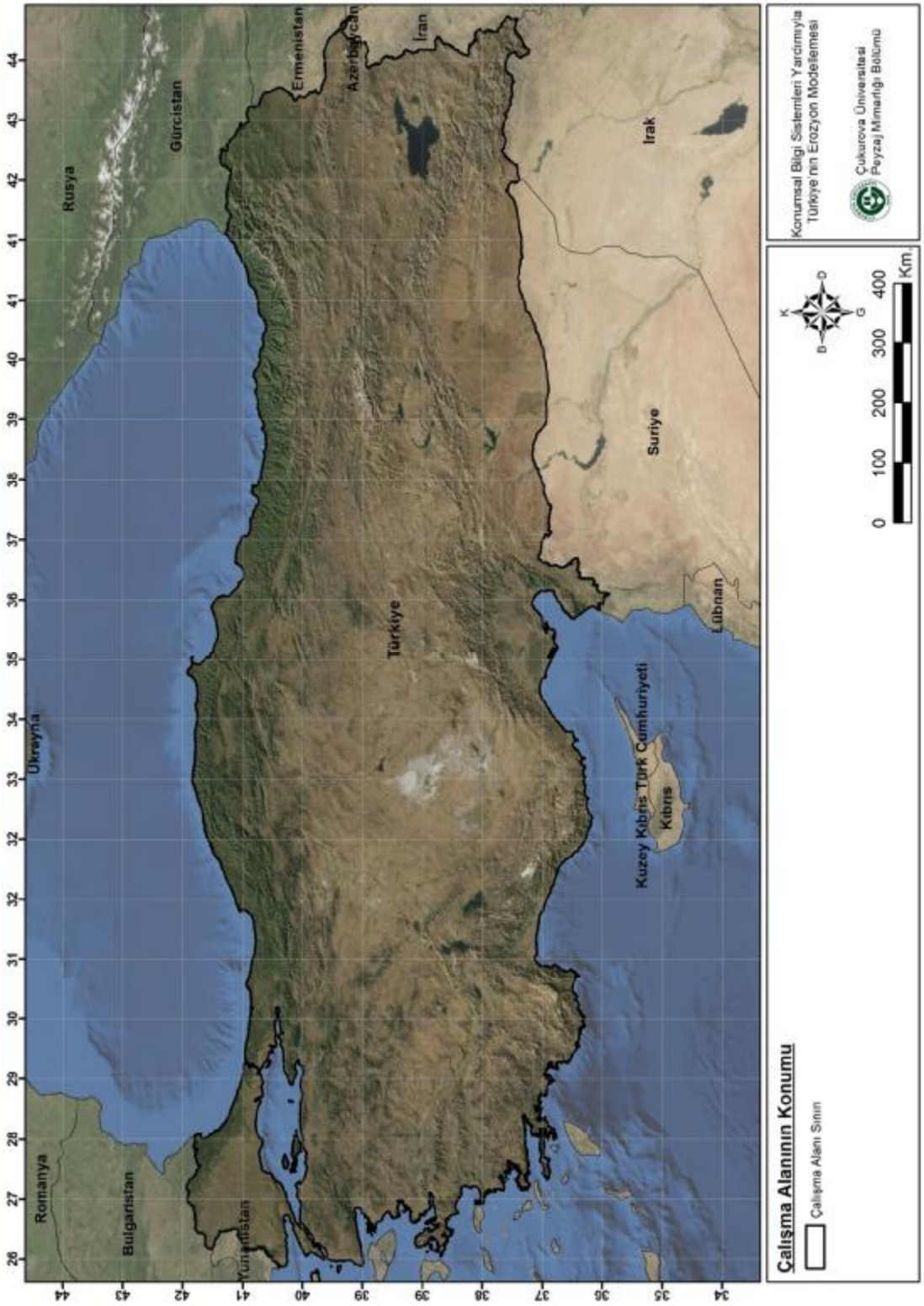
3.1.1. Çalışma Alanının Genel Konumu

Türkiye, Eski Kara Kütleleri adı verilen, Asya-Avrupa ve Afrika kıtalarının birbirlerine iyice yaklaştıkları bölgede yer alır. Topraklarının büyük çoğunluğu Anadolu yarımadası olarak Asya'da, Trakya yarımadası olarak Avrupa'da bulunmaktadır.

Türkiye, baş meridyene (Greenwich) göre 26°-45° doğu meridyenleri, ekvatora göre ise 36°-42° kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Kuş uçuşu kuzey-güney doğrultusunda 6 enlem farkı vardır, bu da yaklaşık 666 km'lik (6x111=666) bir mesafeye karşılık gelir. Doğudan batıya ise, 19 boylam farkı vardır, bu da yaklaşık 76 dakikalık (19x4=76) bir zaman farkına eşittir.

Türkiye'nin izdüşüm alanı (harita üzerinde yapılan hesaplama) 779.452 km², gerçek alanı ise 814.578 km².dir. Harita üzerinde yapılan hesaplama sonucu elde edilen izdüşüm alanı ile gerçek alan arasında 35.126 km²'lik bir fark bulunmaktadır. Türkiye toplam yüzölçümünün (814578 km²), % 97'si (790200 km²) Anadolu yarımadasında ve %3'ü (24378 km²) ise Trakya yarımadasında yer almaktadır.

Türkiye'nin kuzeyinde; Karadeniz, kuzeydoğusunda; Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan-Nahcivan, doğusunda; İran, güneyinde; Irak, Suriye ve Akdeniz, batısında; Ege Denizi, kuzeybatısında ise; Yunanistan ve Bulgaristan bulunmaktadır. Topraklarının kuzeybatı kısmının ortasında Marmara denizi vardır. Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı ile Ege Denizine, İstanbul Boğazı ile de, Karadeniz'e bağlıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanın genel konumu

3.1.1.1. İklim

Türkiye ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin çeşitlilik göstermesi, farklı özellikte iklim tiplerinin doğmasına yol açmıştır. Yurdumuzun kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle daha ılıman iklim özellikleri görülür. Kuzey Anadolu Dağları ve Toros sıradağları deniz etkilerinin iç kesimlere girmesini engeller. Bu yüzden yurdumuzun iç kesimlerinde karasal iklim özellikleri görülür. Dünya ölçüsünde yapılan iklim tasniflerinde kullanılan ölçütler esas alınarak, ülkemizde şu iklim tipleri ayırt edilebilir (Atalay, 1997):

a. Karasal İklim
b. Akdeniz İklimi
c. Marmara (geçiş) İklimi
d. Karadeniz iklimi

a) Karasal İklim: Yaz ile kış arasında sıcaklık farkı fazla, yağışlar genellikle ilkbahar ve kış mevsiminde gerçekleşmekte, yazın kuraklık egemen olmaktadır. Bu iklim; İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile Trakya'nın iç kısmında hüküm sürmektedir. Yağış ve sıcaklık özelliklerine bağlı olarak karasal iklim dört alt tipe ayrılabilir (Sensoy ve ark, 2008).

- Güneydoğu Anadolu Karasal İklimi: Yazları çok sıcak, kışları ise nadiren soğuk geçer. Doğal bitki örtüsü, düşük rakımlı düzlüklerde cılız bozkırlar ve kuraklığa dayanıklı çalılardan oluşur. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 3,7°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 29,8°C, yıllık ortalama sıcaklık 16,4°C'dır. Ortalama yıllık toplam yağış 565,7mm'dir ve yağışların çoğu kış ve ilkbahar mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %2,6'dır. Yıllık ortalama nispi nem %53,6'dır. Bölgede nispi nem oranının düşük olması buharlaşma miktarını artırmakta ve yaz yağışları zaten az olan

bölgede, yaz kuraklığı oldukça yoğun ve uzun sürmektedir (Sensoy ve ark, 2008).

- Doğu Anadolu Karasal İklimi: Kış mevsimi oldukça soğuk ve uzun, yazın serin geçer. Ancak düşük rakımlı sahalarda yazın sıcaklık yüksektir. Soğuk dönem boyunca bu bölge kar altındadır ve don olayı sık görülür. Doğal bitki örtüsü, yüksek rakımlı yerlerde çayırlardan, düşük rakımlı yerlerde ise bozkırlardan ve bunların çevresindeki yüksek kesimlerde kuru ormanlardan oluşur. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı –4,2°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 24,2°C, yıllık ortalama sıcaklık 10,2°C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 579,4mm'dir ve yağışların çoğu kış ve ilkbahar mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %9,5'dir. Yıllık ortalama nispi nem %60,2'dir (Sensoy ve ark, 2008).
- İç Anadolu Karasal İklimi: Yazları biraz sıcak, kışları soğuktur ve soğuğun şiddeti Orta Anadolu'nun doğu kısmına doğru artmaktadır. Doğal bitki örtüsü, yaz kuraklığından dolayı alçak kısımlarda bozkırlardan, yüksek kesimlerde ise kuru ormanlardan oluşur. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı -0,7°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 22°C, yıllık ortalama sıcaklık 10,8°C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 413,8mm'dir ve yağışların çoğu kış ve ilkbahar mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %14,7'dir. Yıllık ortalama nispi nem %63,7'dir (Sensoy ve ark, 2008).
- Trakya Karasal İklimi: Yazı sıcak ve kışı nispeten soğuk geçer. Doğal bitki örtüsü kuru ormanlardan oluşur. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 2,8°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 23,9°C, yıllık ortalama sıcaklık 13,2°C'dır. Ortalama yıllık toplam yağış 559,7mm'dir ve yağışların çoğu kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimindedir. Bölgede az da olsa yazın da yağış olur. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %17,6'dır. Yıllık ortalama nispi nem %69,6'dır (Sensoy ve ark, 2008).

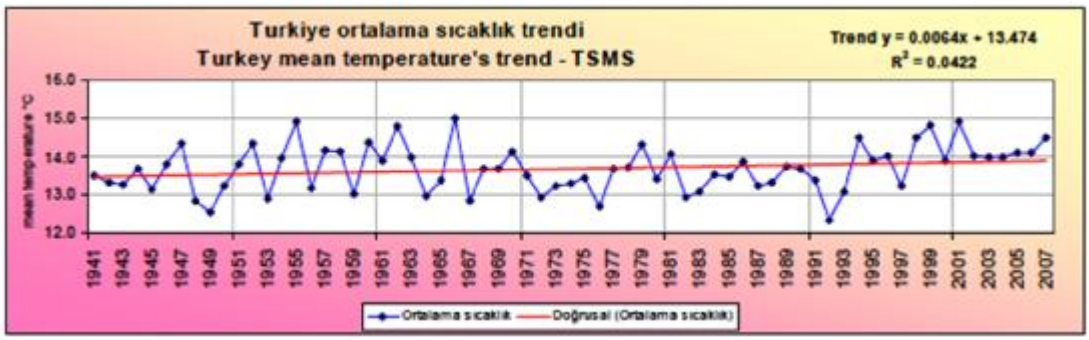
b) Akdeniz İklim: Bu iklim, Ege Bölgesi'nin büyük bir bölümü ile İç Anadolu'nun batı kesiminde ve Akdeniz Bölgesi'nde Torosların güneye bakan kesimlerinde etkilidir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Kıyı kuşağında kar yağışı ve don olayları nadir olarak görülür. Yüksek kesimlerde kışlar karlı ve soğuk geçer. Kıyı kuşağının doğal bitkisini, sıcaklık ve ışık isteği yüksek ve kuraklığa dayanıklı olan kızılçam ve bunların tahrip edildiği yerlerde her zaman yeşil olan makiler oluşturur. Yüksek yerlerde ise iğne yapraklı karaçam, sedir, ve köknar ormanları hakimdir. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 6,4°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 26,8°C, yıllık ortalama sıcaklık 16,3°C civarındadır. Ortalama yıllık toplam yağış 725,9 mm'dir ve yağışların çoğu kış mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %5,7'dir. Bu yüzden bölgede yaz kuraklığı hakimdir. Yıllık ortalama nispi nem %63,2'dir (Sensoy ve ark, 2008).

c) Marmara (Geçiş) İklimi: Marmara Bölgesi'nin kuzey Ege'yi de içine alacak şekilde güney kesiminde görülür. Kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Karasal iklim kadar kışı soğuk, yazı da kurak geçmemektedir. Bu özelliklerden dolayı Marmara iklimi, karasal Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir. Buna bağlı olarak doğal bitki örtüsünü alçak kesimlerde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek kesimlerde kuzeye bakan yamaçlarda Karadeniz bitki topluluğu özelliğindeki nemli ormanlar oluşturmaktadır. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,9°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 23,7°C, yıllık ortalama sıcaklık 14,0°C dir. Ortalama yıllık toplam yağış 595,2mm'dir ve yağışların çoğu kış mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %11,7'dir. Yıllık ortalama nispi nem %73'dür (Sensoy ve ark, 2008).

d) Karadeniz İklimi: Bu iklim tipi Karadeniz Bölgesi'nin kıyı ve dağların kuzeye bakan kesimleri ile Marmara Bölgesi'nin Karadeniz kıyı kuşağında etkilidir. Yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkı fazla değildir. Yazlar nispeten serin, kışlar ise kıyı kesiminde ılık, yüksek kesimlerde karlı ve soğuk geçer. Her mevsimi yağışlı olup su sıkıntısı görülmez. Doğal bitki örtüsünü, kıyı

bölümünde geniş yapraklı nemli ormanlar ve yüksek kesimlerde ise soğuk ve nemli şartlarda yetişen iğne yapraklı ormanlar oluşturur. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,2°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 22,1°C, yıllık ortalama sıcaklık 13,0°C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 842,6mm'dır. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %19,4'dür. Yıllık ortalama nispi nem %71'dir (Sensoy ve ark, 2008).

Aletsel kayıtların başladığı 1861 yılından bu yana 2007 yılı küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 1961-1990 ortalamalarının 0,55ºC (NOAA'a göre) üzerinde gerçekleşerek 2007 yılını dünyanın en sıcak 5. yılı yapmıştır. Türkiye'de ise 1994-2007 yılları arası ortalama sıcaklıklar 1997 yılı hariç 1961-1990 ortalamalarının üzerinde gerçekleşmiştir. Türkiye'de en sıcak yıl 1.2ºC'lik anomali ile 2001 yılı olmuştu. 2007 yılı ortalama sıcaklığı 14,5°C ile 1961-1990 ortalaması olan 13,6°C'nin 0,9°C üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Türkiye ortalama sıcaklık trendi (Sensoy ve ark.,2008)

Türkiye'de yağış dağılışı haritası ile yer şekilleri haritası karşılaştırıldığında, aralarında yakın ilgi bulunduğu tespit edilmektedir. Türkiye'de fazla yağış alan yerler (1000 mm. den fazla), Doğu ve Batı Karadeniz bölümleri ile bazı Batı ve Doğu Anadolu dağlarıdır. En fazla yağış alan yer Rize çevresidir. (2400 mm. den fazla) Türkiye'de orta derecede yağış alan yerler (500 mm - 1000 mm arası), Akdeniz, Ege, Marmara, Orta Karadeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu'nun kuzey kesimleridir. Türkiye'de az yağış alan yerler (500 mm'nin altında), İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve yer yer Doğu Anadolu'nun çukur yerleridir. En az yağış alan

yer, Tuz Gölü çevresi ile Iğdır Ovası civarıdır (250 mm'nin altında) (Çizelge 3.1) (Şekil 3.3.).

Çizelge 3.1. Türkiye'nin yıllık toplam yağış verileri (mm) (MGM, 2012)

Ortalama Yağış Periyodu	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
1970 - 2010	77,6	71,2	64,4	60,0	48,3	32,6	18,9	18,2	27,6	59,7	75,3	88,8	642,8



Şekil 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam yağış dağılımı grafiği (MGM, 2012)

3.1.1.2. Toprak

Türkiye'nin arazi varlığının % 36,1'ini oluşturan 27.699.003 ha.'lık bölümü işlenmekte, % 28,3'ünü oluşturan 21.745.690 ha.'lık bölümü çayır ve mera, % 30,6'sını oluşturan 23.468.463 ha.'lık bölümü orman ve fundalık olmak üzere devamlı bitki örtüsü altında bulunmakta, geriye kalan % 5'i oluşturan 3.781.575 ha'lık bölümü ise diğer arazi grubu içinde yer almaktadır.

Çeşitli arazi türleri, özellikle işlenebilen araziler, sahip oldukları çeşitli toprak özellikleri nedeni ile çeşitli tür ve boyutlardaki sorunlarla karşı karşıya bulunmaktadırlar.

Ülkemiz topraklarının % 14,2'sini oluşturan 11.108.114 ha.'lık bölümü 90 cm'den derindir; geriye kalan % 85,8'in % 11,9'unu oluşturan 9.299.614 ha.'lık bölümü orta derin (50 - 90 cm) % 30,5'ini oluşturan 23.699.973 ha.'lık bölümü sığ

(20 - 50 cm) ve % 37,2'sini oluşturan 28.908.455 ha.'lık bölümü ise çok sığ (<20 cm) toprak sınıfına girmektedir (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Tarımsal üretimin cins ve miktarını büyük ölçüde kısıtlayan sığ toprakların büyük yer tutması ülkemiz tarımı için gerçekten dezavantajdır. Etkili toprak derinliğini arttırmak için kullanılabilecek imkanlar sınırlıdır. Sığ toprak derinliği yüksek taban suyu nedeni ile, drenaj yöntemiyle bu derinlik arttırılıp optimal duruma getirilebilir. Yoğun alt katmanlar bulunuyorsa, bunların dip kazan (çizel) denilen toprağı derinlemesine yırtan aletlerle gevşetilmesi ve kökler için uygun ortam hazırlanması mümkündür (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Türkiye'deki tarım arazisi kullanımı tüm arazi varlığının yalnızca % 24'ünün (19,3 milyon hektar) tarıma uygun olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni kısmen Türkiye'deki toprağın derinliğinin çok fazla olmamasıdır. Toprağın % 64'ü işlenememektedir. Ayrıca işlenebilir arazinin bölgesel dağılımı açısından bir dengesizlik vardır. GAP Bölgesi'nde meydana gelen tarımsal gelişme eğilimlerinden dolayı bu bölgenin çevre açısından özellikle dikkate alınması gerekmektedir (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Türkiye'de topraklar genel olarak zonal, azonal ve intrazonal topraklar olmak üzere üç ana grupta ele alınır. Zonal topraklar iklim ve bitki örtüsüne bağlı olarak zonlaşma gösterecek şekilde yayılırlar. İntrazonal topraklar anakaya yapısına jeomorfolojik şartlara ve drenaja bağlı olarak teşekkül ederler. Azonal topraklar ise horizonlaşma göstermeyen dış etkenler ile taşınmış alüvyon, kil ve moren depoları gibi dolgu maddelerinden meydana gelmiş topraklardır (Gözenç, 1998).

Türkiye genelinde toprağın fiziksel özelliklerine ait istatistikler aşağıda sırasıyla Çizelge 3.2' de Türkiye Toprak Sınıflarının Dağılımı ve Yüzde Oranları, Çizelge 3.3' de Türkiye Topraklarının Yüzde Saturasyona Göre Toprak Bünyesinin (Tekstür) Bölgesel Dağılımı, Çizelge 3.4' de Türkiye Topraklarında Organik Madde Miktarının Yüzde Bölgesel Dağılımı verilmiştir.

Çizelge 3.2. Türkiye'de Toprak Sınıflarının Dağılımı ve % Oranları (TGTAP, 1987)

Kuşak	Büyük Toprak Grubu	Dağılımı (ha)	Türkiye Yüz. Ölç. Oranı (%)
Kurak	Kahverengi	1.528.750	19,7
Ot-Çayır Kuşağı	Kestanerengi	4.485.178	5,8
Geçit Kuşağı	Kireçsiz Kahverengi	6.091.544	7,8
Nemli Orman	Kahverengi Orman	12.287.648	15,8
Kuşağı	Kireçsiz Kahverengi Orman	7.978.960	10,2
	Podzolik	3.211.260	4,1
	Yüksek Dağ Çayır.Toprakları	302.094	0,4
Akdeniz Kuşağı	Kırmızı Akdeniz	2.239.629	2,9
	Rendzina	602.172	0,8
Kuşak Dışı	Vertisoller	589.866	0,8
	Bazaltik Vertisoller	1.061.027	1,4
	Regosoller	669.243	0,9
	Litosoller	9.136.719	11,7
	Alüviyal ve Kollüvyaller	7.776.008	10,0
	Çıplak Kayalıklar	2.930.933	3,8
Toplam		74.661.031	96,1

Çizelge 3.3. Türkiye Topraklarının % Saturasyona Göre Toprak Bünyesinin (Tekstür) Bölgesel Dağılımı (Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi, 1988)

Bölgeler	Toprak Sayısı	< 30 Kumlu	30-50 Tınlı	50-70 Killi-Tınlı	70-110 Killi	>110 Ağır-Killi
Trakya ve Marmara	8577	7,3	38,0	44,1	10,2	0,4
Karadeniz	101137	1,9	25,6	55,9	16,4	0,2
Orta Anadolu	25706	3,6	40,2	48,1	7,5	0,6
Güneydoğu	4061	1,6	33,9	56,1	8,4	-
Doğu Anadolu	1329	0,5	37,8	55,4	6,0	0,3
Ege	7342	1,9	47,1	37,2	13,6	0,3
Göller	3759	6,2	45,8	38,5	8,9	0,6
Akdeniz	3168	0,9	32,1	52,0	14,6	0,4
Türkiye ve Ortalaması	19385	3,4	37,9	47,9	10,4	0,4

Çizelge 3.4. Türkiye Topraklarında Organik Madde Miktarının % (Walkley-Black) Bölgesel Dağılımı (Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi, 1988)

Bölgeler	Toprak Sayısı	<1 Çok Az	1-2 Az	2-3 Orta	3-4 İyi	>4 Yüksek
Trakya ve Marmara	8402	14,9	49,9	27,2	6,2	1,8
Karadeniz	10142	13,6	35,8	29,7	13,9	7,3
Orta Anadolu	25419	21,4	53,9	20,2	2,6	1,9
Güneydoğu	4035	29,2	60,6	6,7	2,4	1,1
Doğu Anadolu	1319	13,2	49,9	25,5	8,5	2,9
Ege	7225	17,5	46,8	25,6	6,2	3,9
Göller	3632	19,0	56,3	17,5	4,5	2,0
Akdeniz	3139	23,9	47,1	20,1	6,3	2,6
Türkiye ve Ortalaması	7914	19,2	49,8	22,4	5,6	3,0

3.1.1.3. Bitki Örtüsü

Türkiye ana çizgileri ile iklim özelliklerine bağlı olmak üzere çevresine nazaran çok değişik bir doğal bitki örtüsüne sahiptir. Toprak ve rölyef şartları yanında insan faktörünün de etkisiyle ülkemizdeki doğal bitki örtüsü farklı coğrafi bölgelerimizde farklı özelliklere sahiptir. Ülkemizdeki doğal bitki örtüsünün bugünkü görünümü alması dördüncü zamanda nemli ve kurak devrelerin birbirini takip ettiği süre içinde olmuştur. Ancak yeryüzünün en eski yerleşim alanlarından biri olan Anadolu yarımadasında doğal bitki örtüsü özellikle ormanlar yakacak, kereste, tarım alanı açma, otlak olarak kullanılma gibi nedenler ile yüzyıllar içinde tahrip edilmiş ve de yer yer ortadan kaldırılmıştır. Buna göre kuzey kıyılarımız boyunca her mevsimi yağışlı Karadeniz ikliminin etkisi altında bulunan yerlerde nemcil, gür bir doğal bitki örtüsüyle karşılaşılmaktadır. Ayrıca İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin alçak alanlarında farklı iklim, toprak ve rölyef koşulları altında genelde step formasyonu dikkati çekerken yüksek kesimlerde orman sınırının üzerinde kalan sahalarda bu defa Alpin çayırları görülmektedir. İşte bütün bunlardan sonra ülkemizdeki doğal bitki örtüsünü orman formasyonu, maki, garik

formasyonu, step formasyonu, Alpin çayırlar, tuzcul kıyı bitkileri olmak üzere beş grupta inceleyebiliriz. Ağaç topluluklarının geniş sahalar halinde yayıldığı alanlar orman formasyonunu meydana getirir. Kuzey Anadolu dağlarının kuzeye bakan yamaçlarında deniz seviyesinden 1200 m'ye kadar olan kesimlerde yapraklı ağaçlardan (kayın, gürgen, ıhlamur, akçaağaç, meşe, kestane, kızılağaç, karaağaç) meydana gelmiş nemli ormanlar, ülkemizin diğer bölgelerinde ise kuru ormanlar görülmektedir (Gözenç, 1998).

Ülkemiz ormanlık alanları 20 milyon hektar kadardır. Bu değer bütün ülke yüzölçümünün %26'sıdır. Orman alanlarımızın %21'i iyi koru ormanı, %27'si bozuk koru, %15'i baltalık, %37'si bozuk baltalık fundalık karışımıdır. Ülkemizdeki ormanlık alanları coğrafi bölgelerimize göre Karadeniz Bölgesi ormanları, Batı Anadolu "Marmara ve Ege Bölgesi" ormanları, Akdeniz Bölgesi ormanları, İç ve Doğu Anadolu ormanları olmak üzere dört grup halinde toplayabiliriz. (Gözenç, 1998).

Çayırlar ve meralar, çok sayıda işlevi olan ekosistemlerdir. Bir yandan hayvanlara besin kaynağı sağlarken, öte yandan da biyolojik çeşitlilik yönünde yaşamsal öneme sahiptir. Ancak, çayırlar ve meralar Türkiye özelinde toprak ve su kaynaklarının korunması yönünden de önemlidir. Bu çok yönlü önemine karşın kamuoyu, çayır ve meraların hayvancılık kesimi yönünden gördüğü işlevi üzerinde durmaktadır. Türkiye hayvancılığında mera hayvancılığının % 70'lik bir ağırlığa sahip olması doğal olarak çayır ve meraların bu işlevini öne çıkartmıştır. Türkiye'de çayırlar ile meraların farklı niteliklere sahip ortamlar olduğu da çoğunlukla bilinmemektedir. İlke olarak taban suyu düzeyi yüksek, düz arazilerde, sık ve yüksek boylu bitkilerin bulunduğu ortamlar olan çayırlar, çayır ve mera toplam alanı içinde % 3-4'lük bir paya sahiptir. Çoğunluğu özel mülkiyet altında bulunan çayırlar, görece olarak bakımlıdır.

Meralar ise, çoğunlukla, yüksek eğimli arazilerde, kısa boylu bitkilerin seyrek olarak bulunduğu ortamlardır ve tümüne yakın bir kısmı hazine arazisidir. Mera üzerinde hayvan otlatma hakkı tesis edilmiş bulunan ve hayvan otlatılmasına uygun bitki örtüsü ile kaplı arazi parçası olarak tanımlanabilir. Mera çoğu zaman otlak ile eşdeğer anlamda kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılara göre otlak daha çok bir bitki

coğrafyası ve bitki sosyolojisi terimi olup, çayır-mera kavramından farklıdır. Meralarımızın yıllar itibarıyla durumu Çizelge 3,5'de gösterilmiştir. (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Çizelge 3.5. Türkiye'deki tarla arazisi, çayır-mera arazisi ve Orman arazilerinin durumu (Türkiye Çevre Atlası, 2004)

Yıllar	Tarla Arazisi (1000 ha)			Çayır-Mera Arazisi (1000 ha)	Çayır-Meranın Türkiye Topraklarına Oranı (%)	Orman Arazisi (1000 ha)	Ormanın Türkiye Topraklarına Oranı (%)
	Ekilen	Nadas	Toplam				
1938	8.463	4.695	13.158	41.068	52,8	10.386	13,4
1950	9.868	4.674	14.542	37.906	48,7	10.402	13,4
1955	14.205	6.793	20.998	31.009	39,8	10.418	13,4
1960	15.305	7.959	23.264	28.658	36,8	10.584	13,6
1965	15.294	8.547	23.841	28.232	36,2	10.584	13,6
1970	15.589	8.705	24.296	26.132	33,5	18.273	23,5
1975	16.241	8.177	24.418	21.745	27,9	20.170	25,9
1980	16.379	8.188	24.567	21.780	27,9	20.199	26,0

Türkiye'deki çayır ve meraların nitelikleri ve verim güçleri de bölgelere göre değişmektedir. Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerindeki çayır ve meralar, Türkiye'de üretilen kuru otun yaklaşık % 69'unu sağlamakta olup, bitki türü yönünden nispeten zengindir ve bitkilerle kaplı alanların genişliği % 50-60 dolayındadır. İç ve Güneydoğu Anadolu'daki çayır ve meralar ülkemizin görece olarak en verimsiz alanlarıdır ve bitkilerle kaplı yerlerin oranı % 10-15 arasındadır. Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgesi'ndeki çayır ve mera alanlarında bitkilerle kaplı alanların payı % 20-30, bu bölgelerdeki çayır ve meralardaki üretimde, kuru otun ülke toplamındaki payı da % 12 dolayındadır. (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Orman Genel Müdürlüğünce 1968 yılında yaptırılan etüt sonuçlarına göre ormanlarla ilgili meraların 279 bin hektarı orman içi, 718 bin hektarı orman üstü ve 557 bin hektarı da orman kenarı olmak üzere 1.544.000 hektar alan kaplamaktadır. Mera ıslahı çalışmaları oldukça eski yıllara kadar uzanmaktadır. Islah çalışmaları 1956 yılında başlamıştır. 1991 yılı sonu itibarıyla Orman Bakanlığı'nca

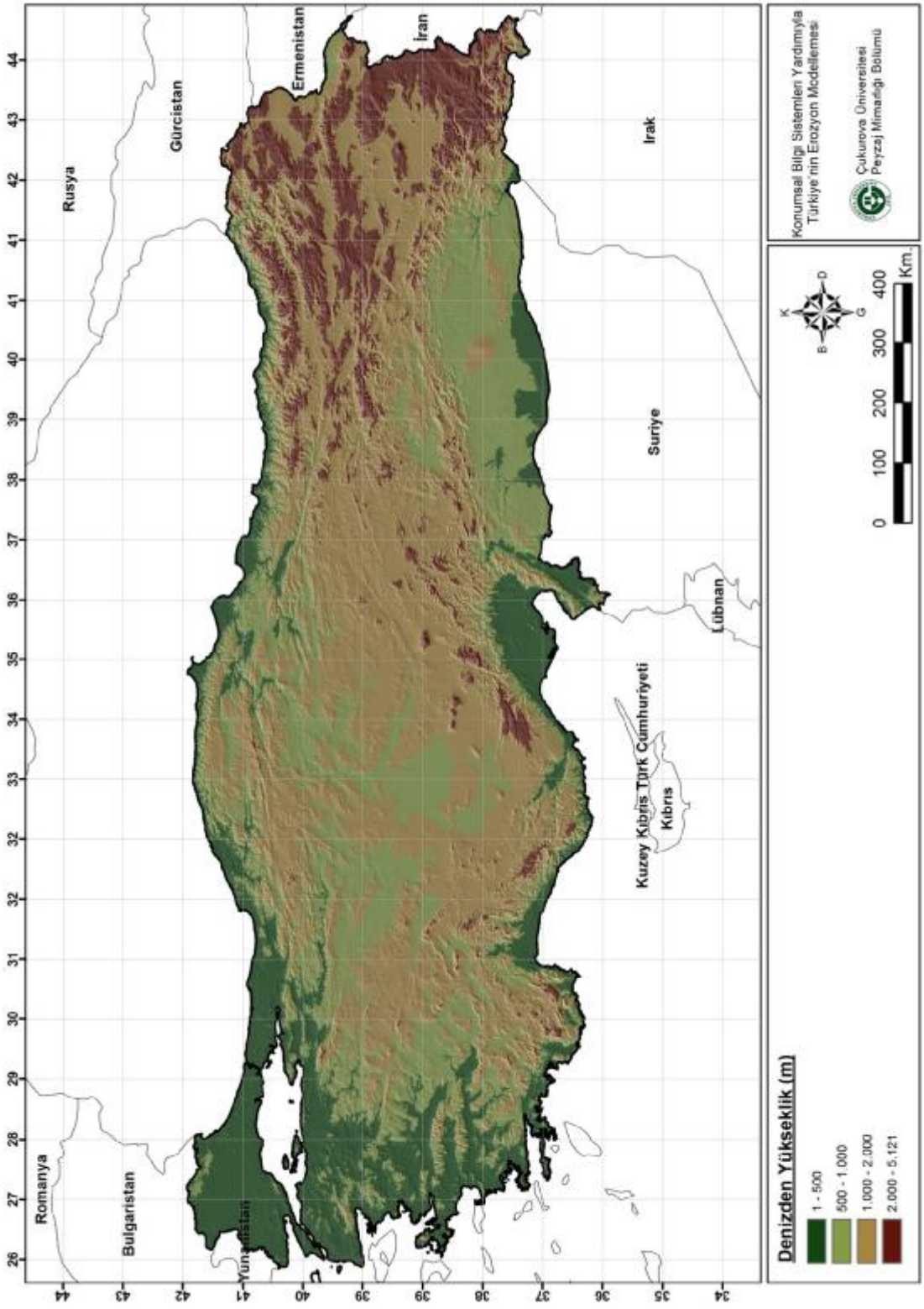
gerçekleştirilen mera ıslahı toplam olarak 64.564 hektardır. (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

3.1.1.4. Jeoloji ve Jeomorfoloji

Türkiye'nin iklimi, bitki örtüsü, nüfusu, ekonomik yaşamı ve özellikle toprakları ülkenin çok çeşitlilik gösteren topoğrafyası tarafından önemli biçimde etkilenmektedir. Topoğrafyadaki bu çeşitliliğin başlıca nedeni yakın geçmişte oluşan tektonik hareketler ile faylardan ortaya çıkan volkanik ürünlerdir. Bu jeolojik olaylar Anadolu'nun ortalama 1132 m yüksekliğe ulaşmasına yol açmıştır (Dinç ve ark. 1997). Bu nedenle büyük bir bölümü 0 ile 250 m arasında yüksekliğe sahip ovalar Türkiye'nin yalnızca %10'luk bölümünü oluştururken, denizden yüksekliği 800 m olan araziler ülkenin 2/3'ünün kaplamakta ve 1000 m'den yüksek alanlar ise ülkenin yarısını oluşturmaktadır (İzbırak, 1975; Dinç ve ark. 1997) (Şekil 3.4).

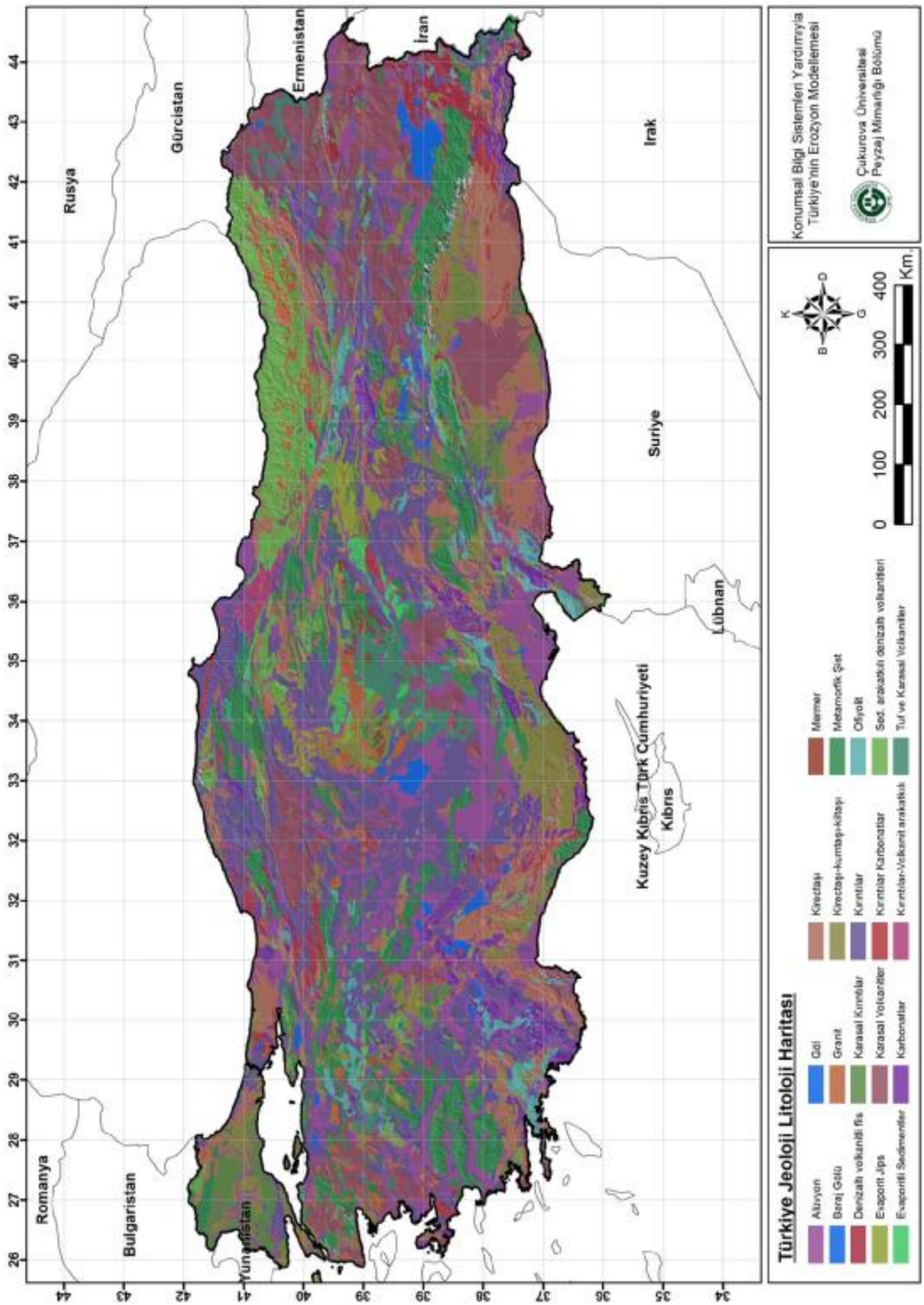
Türkiye'de dağların büyük bir bölümü Alp Orojenizine bağlı olarak batıdan doğuya uzanmaktadır ve büyük kavisli yükseltiler biçimindedirler. Bu yükseltilere ülkenin kuzey, güney, doğu ve batısı olmak üzere her bölgesinde rastlanmaktadır. Bu tip yükseltilere güneydeki Toroslar ile Kuzey Anadolu Dağları örnek verilebilir. Aralarında Ağrı, Nemrut, Karacadağ, Süphan, Erciyes, Uludağ, Hasandağı'nın da bulunduğu birçok dağ orojenik hareketler sonucu değil volkanik aktiviteler sonucu oluşmuştur. Kısaca, çok çeşitli tektonik ve volkanik faaliyetler sonucunda oluşan Türkiye dağları, ülkenin engebeli bir topografyaya sahip olmasının temel nedenidir (Atalay, 2000).

Toprak oluşumunda en önemli etmenlerden biri olan ana materyali oluşturan jeolojik oluşumlar Türkiye'de çok geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Bunun başlıca nedeni Türkiye'nin Alporojenez kuşağı etkisinde olmasıyla birlikte, Tetis denizinin jeotektonik evriminden de etkilenmiştir (TÇMKKU, 2001).Türkiye'yi de içerisine alan Alpin sıradağlar bölgesinde, Kuvaterner (yaklaşık 2 milyon yıl) ile birlikte, Paleozoik, Mesozoik ve Tersiyer yaşlı, birimler orojenik evreler geçirerek ileri derecede bozunuma uğramıştır (Ketin, 1983).



Şekil 3.4. Türkiye'nin denizden yükseklik haritası

Bu süreçler sonrasında oluşan dağ hareketleri sonrasında yükselen araziler akarsular tarafından özellikle Pleyistosen de oluşan iklim salınımları sonrasında (Kapur ve ark. 1998) akarsular tarafından aşındırılmış ve taşınarak göreceli olarak düz eğimli arazilerde, göllerde ve denizlerde birikmiştir. Türkiye'de Birinci Jeolojik Zamanda (Paleozoik) oluşmuş metamorfik ve tortul araziler Trakya'daki Yıldız (Istranca) Dağları'nda, Güneydoğuda Toroslar'da ve Batı Anadolu'daki Menderes masifinde bulunmaktadır. İkinci Jeolojik Zamanda (Mesozoik) Türkiye'nin büyük bir bölümünde, özellikle Anadolu'nun kuzey ve güney kesimlerinde Tetis Denizi yer almaktaydı. Tetis Denizine yüksek bölgelerden gelen materyaller ile birlikte deniz canlılarının çökelmesiyle killi ve kireçli materyaller oluşmuştur. Ayrıca Afrika ve Arap Kalkanının bundan sonra da devam eden etkisi sonucu deniz tabanında lavlar ortaya çıkmıştır. Bu çökelen materyal ile magmatik kayaçlar daha sonraki yer hareketleri ile kıvrılarak Kuzey Anadolu ve Toros dağ kuşaklarını oluşturmuştur. Kuzey Anadolu'daki denizin sığ yerlerinde ise, kumlu ve kireçli malzemelerin birikmesi sonucunda Samsun ile Zonguldak arasında kumlu ve kireçli tabakalar, doğu kesiminde ise tortullarla birlikte, volkanik kökenli oluşumlar yer almıştır. Üçüncü Jeolojik Zamanın (Tersiyer) en önemli özelliği Anadolu'nun kara haline gelmesidir. Bu zamanın başlarında Anadolu'ya sıcak ve kurak bir iklim hakim olmuş ve Ankara-Çankırı-Sivas arası ile Kuzey Anadolu'daki kapalı havzalarda buharlaşma sonucu tuzlu ve jipsli (evaporitler) tortullar meydana gelmiştir. Bu zamanın ortalarına doğru ise, Alp dağ oluşum hareketleri ile Kuzey Anadolu ve Toros dağları belirgin bir duruma geçmiştir. Üçüncü Jeolojik Zamanın sonlarına doğru Anadolu'nun iç kesimlerinde çökme olmuş ve çukur alanlar göllerle kaplanmıştır. Dördüncü Jeolojik Zamanda (Kuvaterner) Türkiye aşağı yukarı bugünkü görünümünü almıştır. Bu zamanın başlarında göllerle kaplı olan Ege Denizi'nin bulunduğu saha tektonizma sonucu çökmüş sonuçta Ege Denizi oluşmuştur. Ayrıca iklim salınımlarının meydana getirdiği yağışlı evrede denizlerde yükselmeler olmuştur (Atalay, 2000). Avrupa'da buzulların oluştuğu Anadolu'da ise kurak iklimin etkin olduğu günümüzden yaklaşık 20.000 yıl önce Anadolu'nun yüksek kesimleri buzlarla kaplanmış ve deniz seviyeleri çok düşmüştür. (TÇMKK, 2001) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Türkiye Jeoloji Haritası

3.1.2. Veri Setleri

Fiziksel temelli model olan PESERA erozyon modeli, erozyonu tahmin etmek için çok sayıda veri setine ihtiyaç duymaktadır. Bu veri setlerini oluşturmak için kullanılan verileri aşağıdaki gibidir.

- 1:25.000 ölçekli Tarımsal Üretimi Geliştirme Genel Müdürlüğünden temin edilen Türkiye toprak haritası temin edilmiştir.
- 1:1.000.000 ölçekli Türkiye Genel Toprak Haritası ve bu haritanın üretilmesinde kullanılan toprak profil örnekleri
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1975-2012 yılları arasındaki büyük klima ve küçük klima istasyonlarına ait aylık maksimum sıcaklık, aylık minimum sıcaklık, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama günlük toplam güneşlenme şiddeti, aylık ortalama günlük toplam güneşlenme süresi, aylık ortalama rüzgar hızı, aylık ortalama nem miktarı, aylık toplam yağış, günlük ortalama sıcaklık, günlük toplam yağış miktarı ve bu verilere ait istasyon koordinatları
- 30 m çözünürlüğünde Türkiye'nin Sayısal Eşyükselti Modeli
- Ürün takvimi ve dikim zamanları veri setleri
- Aylık Kanopi örtüsünü hesaplamak için gerekli 250 m çözünürlüğünde MODIS uydusundan alınan aylık NDVI görüntüleri
- 1:2.000.000 ölçekli Jeoloji haritası
- Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından CORINE sistemine göre temin edilen sayısal arazi örtüsü

Özellikle geniş alanlarda deniz, karasal ve iklimsel çalışmalarda etkin sonuçlar veren MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydusu görüntüleri çalışmada kanopi kapalılığının belirlenmesinde kullanılan NDVI verilerini üretmek için kullanılacaktır. MODIS uydusu, Terra ve Aqua olmak üzere iki platformda hizmet vererek 2.330 km tarama genişliğinde yeryüzünde aynı noktayı her bir-iki gün aralığında tekrar gözlemleyebilmektedir. Sensörleri 36 spektral bantta

ve üç farklı çözünürlükte veri üretebilmektedir. Bu çözünürlükler band1-2 için 250 m; bant 3-7 için 500 m ve bant 8-36 için 1 km'dir (Çizelge 3.6) (MODIS, 2008; Erdoğan, 2012).

Çizelge 3.6. MODIS Uydusu Teknik Özellikleri (MODIS, 2008; Erdoğan, 2012)

MODIS UYDUSU TEKNİK ÖZELLİKLERİ			
Yerden Yükseklik	705km	Tarama alanı genişliği	2330km
Yersel Çözünürlük	250m - 1000m	Tekrarlama Süresi	1-2 gün

Öncelikli Kullanım Alanı	**Bant**	**Bant Genişliği (µm)**	**En Düşük Yersel Çözünürlüğü**
Arazi/Bulut Sınırları	1	0.620 - 0.670	250 m
	2	0.841 - 0.876	
Arazi/Bulut Özellikleri	3	0.459 - 0.479	500 m
	4	0.545 - 0.565	
	5	1.230 - 1.250	
	6	1.628 - 1.652	
	7	2.105 - 2.155	
Okyanus Rengi Fitoplankton Biojeokimya	8	0.405 - 0.420	1000 m
	9	0.438 - 0.448	
	10	0.483 - 0.493	
	11	0.526 - 0.536	
	12	0.546 - 0.556	
	13	0.662 - 0.672	
	14	0.673 - 0.683	
	15	0.743 - 0.753	
	16	0.862 - 0.877	
Atmosferik Su Buharı	17	0.890 - 0.920	
	18	0.931 - 0.941	
	19	0.915 - 0.965	
Yüzey / Bulut Sıcaklığı	20	3.660 - 3.840	
	21	3.929 - 3.989	
	22	3.929 - 3.989	
	23	4.020 - 4.080	
Atmosferik Sıcaklık	24	4.433 - 4.598	
	25	4.482 - 4.549	
Saçak bulutlar	26	1.360 - 1.390	
Su Buharı	27	6.535 - 6.895	
	28	7.175 - 7.475	
	29	8.400 - 8.700	
Ozon	30	9.580- 9.880	
Yüzey / Bulut Sıcaklığı	31	10.780 - 11.280	
	32	11.770 - 12.270	
Bulut yüksekliği	33	13.185 - 13.485	
	34	13.485 - 13.785	
	35	13.785 - 14.085	
	36	14.85 - 14.385	

Ürün takvimi ve dikim zamanları veri seti;

Doğu Anglia Üniversitesi İklim Araştırma Birimindeki iklim bilimcileri tarafından ürün takvimi ve dikim zamanları veri setinin oluşturulmasında 19 temel ürün için ekim ve hasat zamanları küresel ölçekte bir araya getirilmiştir. Dikim zamanları ve iklim arasındaki yersel ilişkiyi keşfederek ve dikim zamanları üzerindeki kararları kullanarak literatür ile uygulanan analizler karşılaştırılmıştır. Farklı altı kaynaktan temin edilen ekim ve hasat zamanları coğrafi olarak yer tanımlaması yapılıp sayısallaştırılmıştır. Üretilen 30 yıllık ortalama potansiyel evapotranspirasyon, yağış, sıcaklık ve ekim zamanları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuç olarak ekim ve hasat zamanlarını gösteren mısır, ekmeklik buğday ve kışlık buğday gibi 19 ürün çeşidinin küresel ekim zamanı verileri oluşturulmuştur (Sacks ve ark, 2010).

PESERA Model Yapısı;

Bu çalışmada Türkiye'deki toprak erozyon miktarını tahmin etmek için grid tabanlı PESERA (Fortran90) kodu kullanılmıştır. Bu kod Fortran90 formatında yazılmıştır.

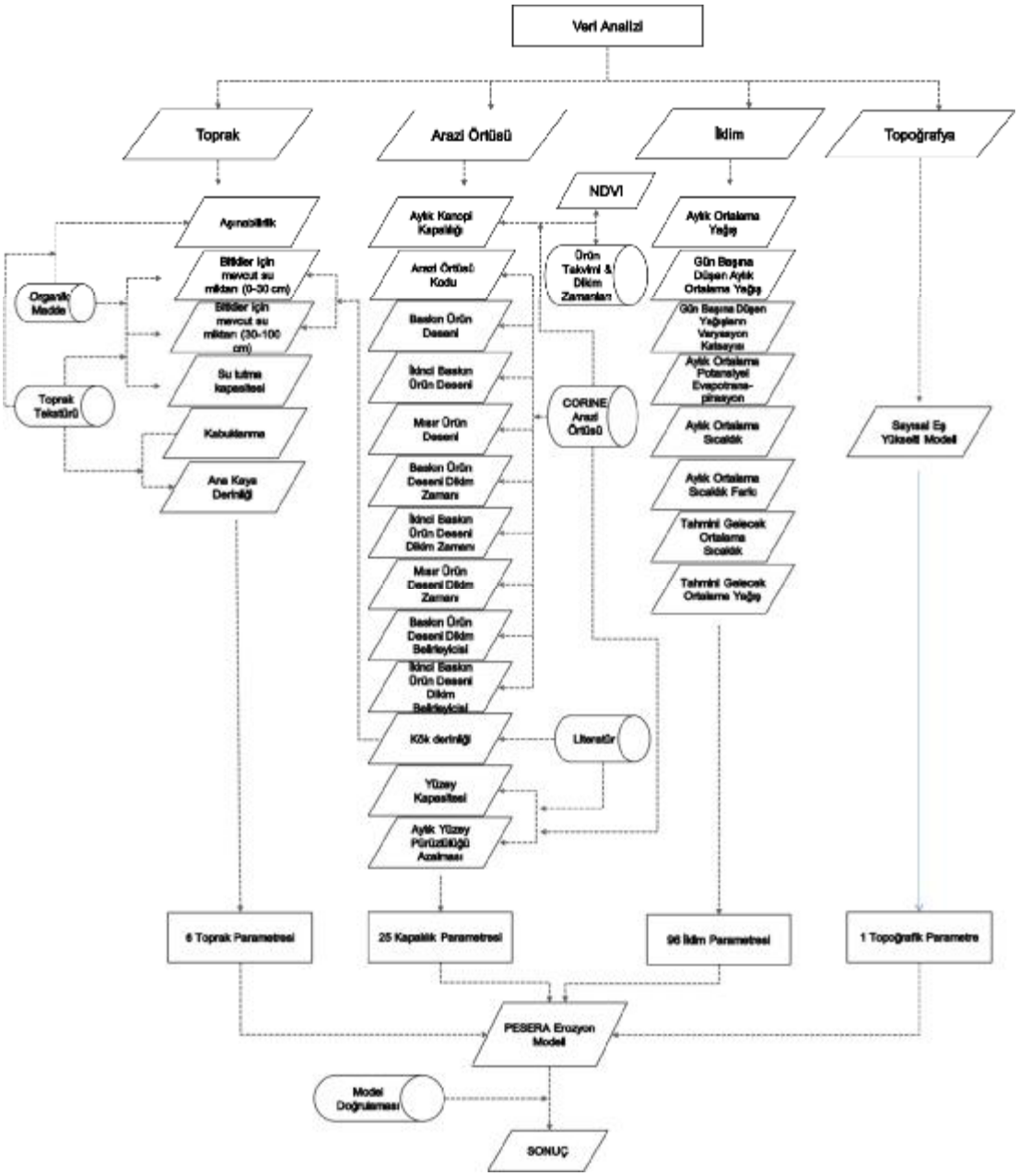
3.2. Metod

Çalışmanın yöntemi, literatür taraması, ön hazırlık işlemleri, veri analizi ve sonuç şeklinde belirlenmiştir (Şekil 3.6).

Bu çalışma için gereken veriler iklim, topografya, toprak, arazi kullanımı ve doğal bitki örtüsüne ait verilerdir. Veri toplama faaliyetleri ön çalışmalar ve ilgili verilerin temini olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Bu aşamada ilk olarak konu ile ilgili temel literatür bilgileri incelenmiş, Türkiye'deki toprak erozyonu problemleri, erozyon modellemesi, toprak erozyonu değerlendirme teknikleri, toprak kaybı değerlendirme modelleri ve erozyon modellemesinde uzaktan algılanmış veriler ile coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı hakkında bilgiler edinilmiştir. Daha sonra seçilen erozyon modeline uygun bir çalışma alanı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılacak haritalar, uydu görüntüleri, iklim

verilerinin çeşidi, niteliği, miktarı ve kullanılacak olan ölçek bilgileri belirlenmiş ve temin edilmiştir.



Şekil 3.6. Çalışma Yönteminin Genel Akış Şeması (Souksakoun, 2008)

3.2.1. PESERA (Pan–European Soil Erosion Risk Assessment) Modeli:

PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assesment) modeli (Kirkby, 1999; Kirkby ve ark., 2000) çeşitli arazi kullanımı, toprak ve peyzaj özellikleri altında toprak erozyonunu tahmin etmek için bölgesel bir araç olarak geliştirilmiştir. Geçmişte bir çok toprak erozyon modeli USLE (Wischmeir ve Smith, 1978), USLE yönteminin geliştirilmesiyle Revised USLE (RUSLE) (Renard ve ark., 1991), WEPP (USDA- Water Erosion Prediction Project) (Nearing ve Nicks, 1998) ve EUROSEM (European Soil Erosion Model) (Quinton ve Morgan, 1998) geliştirilmiştir. USLE ve RUSLE modelleri öncelik olarak ortalama yıllık toprak kaybının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Bu nedenle USLE ve RUSLE modelleri, karmaşık şekilli eğimli yamaç profillerinden birikimi ve sediment miktarını tahmin etmede ya da erozyonun zamansal ve mekânsal dağılımlarını tespit etmede zayıf kalmaktadır. EUROSEM, genellikle küçük alanlarda veri gereksinimlerini talep eden dönemlik periyotlar için kullanılan fiziksel temelli bir modeldir (Kirkby, 1998). WEPP modeli ise simülasyon için yaygın olarak kullanılan fiziksel temelli bir modeldir fakat büyük veri tabanına gereksinim duyar.

PESERA Modeli; iklim, vejetasyon, topografya ve toprak verilerini yüzey akışı ve toprak erozyonu hesaplayabilmek için tek bir yapıda entegre ederek birleştirmektedir. (Şekil 3.7). Model dahilindeki faktörlerin her biri için gerek duyulan veriler ilgili kaynaklardan elde edilerek fiziksel temelli bir modelde birleştirilerek toprak erozyonu için gerçekçi hesaplamalarda bulunulabilmektedir.

PESERA, toprak ve bitki örtüsü özelliklerine bağlı bir akış eşik değeri ile toprak akışı oluşumu ile yağmurun süzülme durumunu dikkate alan fiziksel temelli bir erozyon modelidir. Sediment taşınımı her bir yağış dönemindeki toplam akıştan tahmin edilebilir ve şiddetli toprak erozyon kaybı durumunda katman aşınımı sürecini gösterir. Bu model iklim, bitki örtüsü, topografya ve toprak faktörlerine bağlı olarak elde edilen dört bileşeni dikkate alarak erozyonu tahmin eder. Bu bileşenlerin her biri için mevcut veriler bölgesel tahminleri yapmak için kullanılır. İklim özellikleri ve arazi kullanımı modelde en önemli rolü oynadığı için PESERA değişen koşullara duyarlılığı değerlendirmek için de kullanılabilir.



Şekil 3.7. PESERA Modeli Konsepti (Irvine ve Kosmas, 2007)

Günlük yüzey akışı, toprak ve vejetasyon faktörlerine bağlı olarak belirlenen yüzey akış eşiğini aşan aşırı yağışlar yardımıyla hesaplanır. Çıplak toprak için akış eşiği aşağıdaki durumları göz önüne alır.

1. Toprak işlemesi sonucu bir başlangıç değeri alan ve zamanla hızlanarak sıfıra yaklaşan yüzey pürüzlülüğü,
2. Direk ölçümler ya da toprak tipine bağlı olarak pedo-transfer (Campbell, 1985) kurallar kullanarak belirlenen, arazi kapasitesi ve doygunluk arasında yer alan mevcut nemi veren toprak nem tutma kapasitesi,
3. Yüzey kabuklanması; toprağın işlenmesinden sonra toprak nem tutma kapasitesi ve toprak özellikleri göz önüne alınarak (bir önceki maddedeki gibi) tespit edilir. Takip eden yağışla birlikte bu değer giderek artan bir hızla aşırı düşük değerlere gelerek kabuklanmaya neden olur ve bu yine pedo-transfer kuralları kullanılarak toprak tipinden elde edilebilir (Pieri 1989; Valentin ve Bresson, 1998).

Bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda ise yüzey akış eşiği yüzey pürüzlülüğü ve toprak depolama değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yüzden toprağın işlenmesinden sonra depolama her yerde yüksektir fakat depolama tarımsal ürünlerin bitmesinde önce yağış olursa hızlıca düşmektedir. Çıplak alanlarda ise depolama

aylar boyunca en düşük değerlere ulaşarak bir daha yükselememektedir (Licciardello ve ark., 2009). Yüzey akış eşiği, arazi örtüsünün yüzey akışı ve erozyon üzerine etkilerini tahmin etmede modelde esas olan mekanizmayı sağlamaktadır (Tsara ve ark., 2005).

Her yağış olayından sonra taşınan sediment miktarı, Eşitlik 3.1'de verilen iklim ve bitki örtüsü, topografya ve toprağın bileşiminden elde edilen ortalama toprak kaybı olarak tahmin edilmektedir (Kirkby, 1999).

$$S = kq^2\Lambda \tag{3.1}$$

$$q = jx = px(r - h) \tag{3.2}$$

Burada;

k: toprak aşınabilirlik faktörü

q: birim genişlik başına deşarj olan kara akışı

Λ: eğim

j: yüzey akışı (birim alan başına yağmurun etkisi)

x: eğim uzunluğu (veya birim kontur başına drene edilen yüzey alanı)

r: yağış miktarı

h: akış eşiği

p: akış katsayısı ($0 \leq p \leq 1$)

Yağış boyunca kaybedilen ortalama sediment kaybının eğime dayalı olduğu ($x = L$) tahmin edilmektedir.

Eşitlik 1 ve 2 'nin birleştirilmesi ile Y elde edilmiştir (Eşitlik 3.3).

$$Y = \frac{S}{L} = k[pL(r - h)]^2 \frac{\Lambda}{L} = kp^2(r - h)^2L\Lambda \tag{3.3}$$

Toprak aşınabilirlik faktörü (k) yerine yamaç alanlar için k' faktörü üretilerek ($k' = kL\Lambda/R$) yağış boyunca kaybedilen ortalama sediment kaybı Eşitlik 3.4'te verilmiştir.

$$Y = k'p^2(r-h)^2R \quad (3.4)$$

Burada;

R: eğim uzunluğu

Bu ifade daha sonra, toplam ortalama sediment miktarını veren ve günlük yağış dağılımı olarak tahmin edilen, yağış frekans dağılımı ile toplanır (Eşitlik 3.5).

$$\overline{Y} = k'Rp^2 \sum_r \varphi(r).(r-h)^2 \quad (3.5)$$

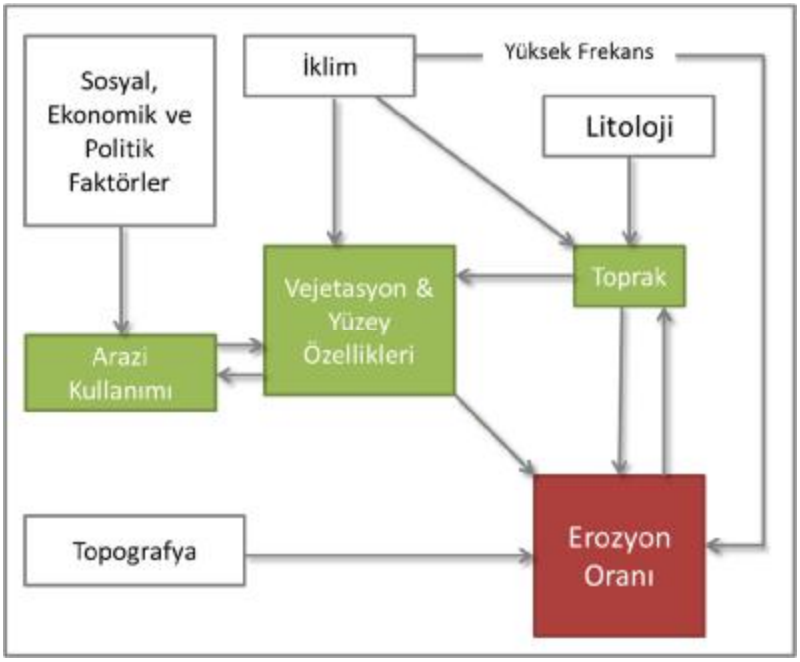
Burada;

$\varphi(r)$: Günlük yağışların frekansı

PESERA modelinde erozyon, iklim, toprak, topografya ve arazi örtüsü verileri kullanılarak Eşitlik 3.4'ten tahmin edilmektedir.

3.2.1.1. PESERA Faktörleri

Erozyon başlıca iklim, vejetasyon, toprak ve topografya gibi faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bunlardan her bir faktör kendi içinde karmaşık bir yapıya sahip olup bu faktörlerde diğer başka faktörler tarafından şekillenmektedirler (Şekil 3.8). Bu faktörleri ifade eden yapay model bileşenleri oluşturulurken bu faktörlere ait ilgili ölçümler bütünleşik göstergeler dahilinde birleştirilirken net bilimsel gerçeklerden yola çıkılmalıdır. Bu sentezden yola çıkılarak hedeflenmiş olan PESERA modeli fiziksel bir temelde çalışacak şekilde bileşenleri belirlenmiştir (Kirkby, 2003).



Şekil 3.8. Erozyonu kontrol eden temel faktörlerin akış diyagramı

3.2.1.1.(1). İklim

İklim terimi eşik değeri üzerindeki yağışların frekans dağılımları olarak özetlenebilir. Bununla birlikte bu yaklaşım topografya, toprak ve iklim faktörlerini birleştirerek tek bir bütünleşmiş erozyon tahmini yapmaktadır.

İklimin düşük ve yüksek frekanslı bileşenlerinden her ikisi de erozyon için önemlidir. Düşük frekanslı olaylar, ekinler ya da doğal vejetasyon için bir çevre sağlayan toprak-su dengesinin mevsimsel döngüsünü belirler. Bu durum, değişen arazi kullanımı veya iklim koşullarına dinamik bir yanıt veren bitki büyüme modeli için uygun olabilir. Uzaktan algılama yardımıyla değişen arazi koşulları tespit edilebilir ya da ileriye yönelik değişim potansiyeli olan alanlar tespit edilebilir. Bu durum modele daha hassas ve doğru veri girişinde yardımcı olur.

Yüksek frekanslı yağışlar yüzey akışını üretmek için önemlidir. Akışı tahmin etmek için basit fakat etkili bir araç, eşik süresinin tespitidir. Eşik altında çok az veya hiç yüzey akışı olmamaktadır. Bu eşiğin üzerindeki yağışın oranı yüzey akışını üretmektedir. Böylece alan başına düşen yıllık ortalama yüzey akışı birimi tahmin edilmektedir. Yüzey akışını tahmin etmenin en etkin ve basit yolu yağış eşik değeri

yaklaşımıdır. Yüzey akış eşiğinin altında akış ya çok az olmakta ya da hiç olmamaktadır. Sürekli bu eşiğin üstünde gerçekleşen ya da büyük oranında bu eşiğin üstünde seyreden yağışlarda yağmur yüzey akışına neden olmaktadır. Buna dayanarak ortalama yüzey akışı (birim alanda) Eşitlik 3.6'daki gibi hesaplanmaktadır (Kirkby, 2003):

$$J = \sum_{r \rangle h} f(r)\, p(r-h) \tag{3.6}$$

Burada;

J; ortalama yıllık yüzey akışı (birim alanda),

r; tüm yağışların sayısı,

h; yüzey akış eşiğini geçen yağış sayısı,

f(r); yağışların frekansı,

p; yüzey akış eşiğini geçen yağışların tüm yağışlara oranı'dır.

Her ay için yağış frekansının olasılık dağılımı gama dağılımı kullanılarak genellenmektedir (Eşitlik 3.7).

$$f(r) = \frac{bN_0}{r_0} \frac{\left(br/r_0\right)^{b-1}}{\Gamma(b)} \exp\left(\frac{b_r}{r_0}\right) \tag{3.7}$$

Burada *r*, yağışı; *n(r)*, yağışın olasılık yoğunluğunun; N_0, yağışlı gün sayısını; r_0, yağışlı gün başına ortalama yağışı; *CV* yağışlı günlerdeki günlük yağışın değişim katsayısını, $\beta = 1/(CV)^2$ ve $\Gamma(b) = \int_0^\infty x^{b-1} \exp(-x) dx$ gama denklemini (burada tamsayı değerler için $\beta \geq i$, $(\beta - 1)!$ Şeklinde hesaplanır). N_0, r_0 ve *CV* için değerler alana ait gözlem istasyonlarına ait günlük veriler aylık olacak şekilde düzenlenerek kullanılmaktadır. Böylelikle yağış yoğunluğu ve sürecindeki sezona bağlı değişmeler tespit edilmektedir (Licciardello ve ark., 2009).

Yüzey akışının oluşturduğu taşınım (q) ise birim alanda oluşan ortalama yıllık yüzey akışı (J) ve eğim uzunluğunun (x) çarpılmasıyla elde edilmektedir ($q = Jx$).

İlk yüzeysel akışın eşik değeri ve sonraki akışın oranı kümülatif süzülme ve akış eğrilerinin sadeleştirilmesi ile hesaplanır. Yüzeysel akışın eşik değeri; yüzey örtüsü, topraktaki organik madde ve toprak tekstürü/yapısı karakteristiklerinden tahmin edilmektedir. Eşik değeri, üst toprak katmanları içindeki yüzey birikintilerinin etkisini temsil etmektedir. Yüzey depolama ekilmiş topraklarda yıl içinde hızla değişmektedir. Donmuş toprak gelişimi, kar erimesi ve kar yağışlarını tahmin etmek için günlük sıcaklık verileri (ortalama, maksimum, minimum) kullanılması önerilmektedir (Tsara ve ark., 2005).

Kar yağışı 0 derece sıcaklığının altındaki günlerde meydana gelen yağışlar olarak tahmin edilmektedir. Sıcaklık olarak donma noktasının üzerindeki günlerde günlük kar erime miktarı derece başına 5-6 mm olarak orantısal tahmin edilmektedir.

Ek kar erimesi, sıfırın üstündeki yağış miktarı ve sıcaklığı ile orantılı bir hızda yağış ile oluşmaktadır. Yağmur ile kümülatif kar erimesi toplam karın erimesiyle etkilenen yüzeysel akışı verir (Tsara ve ark., 2005).

Toprak donması donma noktasının altındaki derecelerde meydana gelir. İletkenlik modeli aşağıdaki ifadede verilen donmuş toprağın derinliği olduğunu göstermektedir (Eşitlik 3.8).

$$Q = K\frac{T}{z} \tag{3.8}$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q}{L\rho\varepsilon} \tag{3.9}$$

Burada;

Q; donma ön ısı akışı

T; donma hava sıcaklığı (T>0)

z; donmuş toprak derinliği

K; termal iletkenlik (1000-3000 J m^{-1} $^0C^{-1}$ /gün)

L; gizli donma

ρ; su yoğunluğu

ε; su dolu gözeneklilik

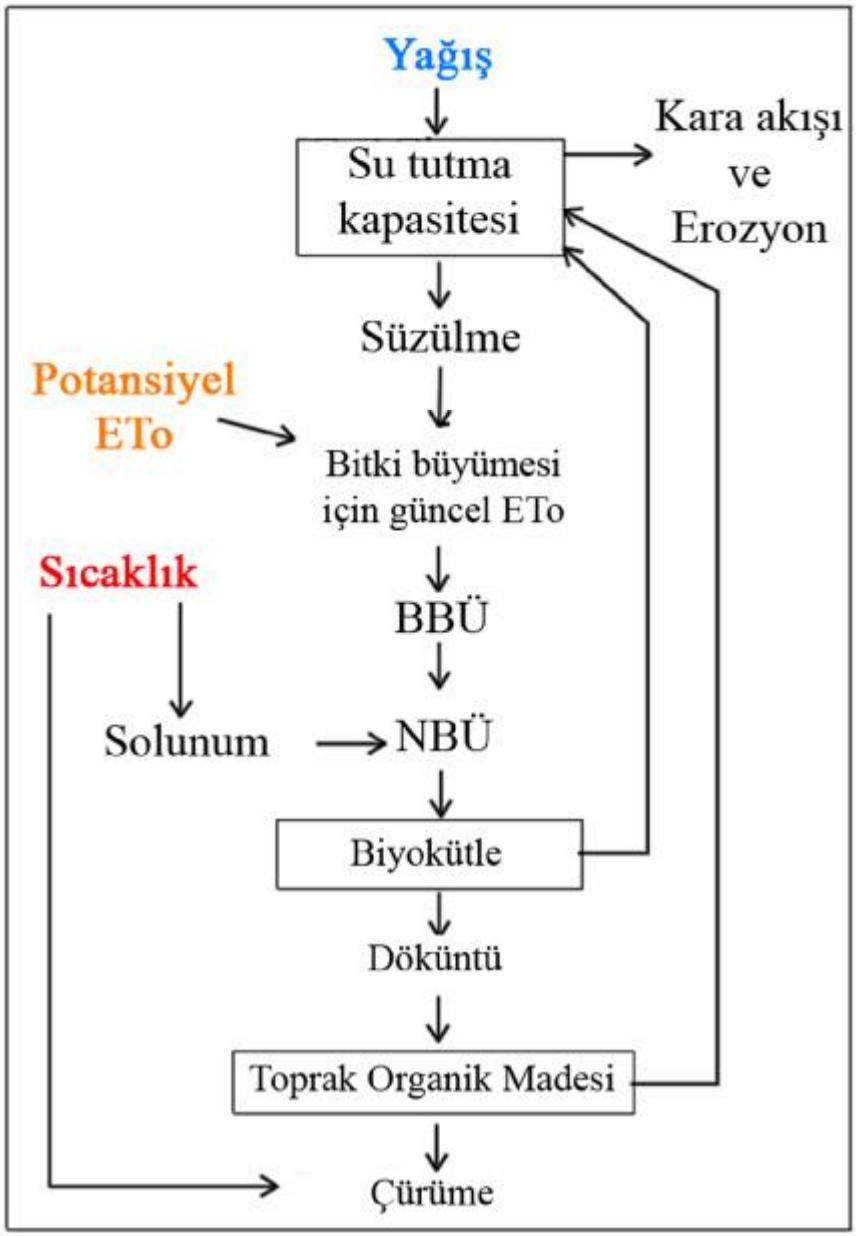
3.2.1.1.(2). Bitki Örtüsü

Bitki örtüsü bakımından benzerlik/değişiklik gösteren alanlar, çıplak alanlarda 10 mm, ormanlık alanlarda 100 mm arasında değişik yüzey akışlarına neden olan toprak organik materyali gibi faktörler yüzey akış eşiğinin (h) hesaplanmasında en büyük etkiye sahiptir. Bitki örtüsü birçok şekilde yüzey akış eşiği üzerinde etkili olmaktadır: (i) toprağı yağmur damlalarıyla saçılmaktan ve toprağı kabuklaşmaktan korumaktadır, (ii) yağışın buharlaşarak kaybolmasını engellemektedir, (iii) toprakta kısa vadeli dinamik depolama yapmakta ve toprak neminin serbest kalmasını sağlayan organik materyal oluşmasını sağlamaktadır. Bu süreçlerin etkilerinin birleşmesiyle yüzey akış eşiği (h) yüksek değerlere tırmanmaktadır. Bununla beraber yüzey akış ivmesini düşüren yüzey engebeliği ve özellikle çimlerde görülen köklerin toprağı bir arada tutma özelliği toprak aşınabilirliğini (k) düşürmektedir (Kirkby, 2003).

Bitki örtüsü buharlaşma ve su kullanım verimliliği veya uzaktan algılanan görüntülere dayalı bir büyüme modeli kullanılarak potansiyel bir örtü olarak elde edilebilir. Önceki yaklaşım bitki örtüsü biokütlesindeki gibi aynı zamanda tahmin edilen toprak organik madde sağlayan ve iklim veya arazi kullanım değişikliklerinin etkilerini tahmin etmek için yol sağlayan avantajları vardır. Ancak bitki örtüsü uzaktan algılanan görüntülerin kullanımı daha geçerli olabileceğinden tarla ve otlak alanlarda yangın yönetimi gibi tarımsal faaliyetlerden kuvvetle etkilenmiştir. Bu iki yöntemin kombinasyonu umulan küresel değişimin etkileri ve duyarlılığı bazı önlemler vermek için kullanılabilir fakat bu strateji daha da geliştirilmiş değildir.

Şekil 3.9'da bitki büyüme modelinin mantığı özetlenmiştir. Brüt birincil üretim (BBÜ) potansiyel buharlaşma ve yağıştan tahmin edilen gerçek buharlaşma tahmin edilmektedir. Küresel su kullanım verimliliği BBÜ'de gerçek buharlaşmayı dönüştürmek için kullanılır. Solunum net birincil üretim (NBÜ) yaprak döken bitkiler gibi yetersiz olduğunda kaybın artan oranı ile Net birinci üretimi veren sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir. Yapraklar (kök vb.)

sonbaharda miktarı azalan biokütlenin parçası olarak tahmin edilmektedir. Yapraklar sonbaharda sıcaklık ile oransal olarak artan hızda parçalanarak toprak organik maddesine (TOM) eklenir. Bu model aylık ortalamalar kullanılarak veya geçmişteki iklim dizisi veya gelecek senaryoları dengede çalıştırabilir (Kirkby ve ark, 2003).



Şekil 3.9. Doğal bitki büyüme modeli akış şeması. (Kirkby ve ark, 2003)

Alternatif olarak bitki örtüsü 1 km çözünürlükteki Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlük radyometreden (AVHRR) veya benzer yöntemlerle elde edilen arazi örtüsü verileri uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilebilir. Atmosferik düzeltme yapılmış mozaikler aylık NDVI değerlerini ve yüzey sıcaklığını vermek için ve bu arazi örtüsü ve biyokütlesini tahmin etmek için yorumlanabilir. Ancak bu yöntem toprak organik maddesini tahmin etmez. Toprak organik maddesi toprak veri tabanlarından veya diğer kaynaklardan elde edilerek tahmin edilmelidir (Kirkby ve ark, 2003).

Bitki örtüsü biyokütlesi ve kapağı etkin depolama kapasitesi veya yüzey akışının eşik değerinden (h) tahmin edilmektedir.

$$h = b.h_m + VI + \lambda O \tag{3.10}$$

Burada;

b; çıplak alan oranı

h_m; kabuklanabilme için gerekli toprak mineral deposu

V; bitki biyokütlesi

I; biyokütle birimi başına durdurma/önleme deposu

λ; organik toprak birimi başına depolama

O; toprak organik madde biyokütlesi

V,b ve O faktörlerindeki bu ilişkinin mevsimsel olarak değişir ve h_m yağış dönemi ve yağış dönemi boyunca olan yağış yoğunluğunun serisi üzerindeki kabuklanmanın yönü ile dinamik olarak değişebilir.

Bitki örtüsü hem ekilen için hem de ekilmeyen alanlar için tüm örtü tipleri için dinamik olarak büyümektedir ancak toprak işleme ve hasat tarihleri tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu aylık depolama değerleri dinamik tahmin sağlar ve önleme oranı olarak tahmin edilmektedir.

$$p_I = 1 - \exp\left(-\frac{V}{5}\right) \tag{3.11}$$

Burada;

V; bitki örtüsü biyokütlesi (kg ha^{-1})

Çalışma alanının ölçeğine uygun çözünürlükte arazi örtüsü haritaları uzaktan algılanmış veri seti sayesinde oluşturulmaktadır (Kirkby ve ark., 2004). Özellikleri bakımından çalışma alanına en uygun veri seti olan MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) görüntüleri Mart 2002'de yörüngeye oturtulan Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın Envisat-1 isimli uydusundan ücretli olarak elde edilebilmektedir. MERIS spektral çözünürlüğü isteğe bağlı olarak ayarlanabilen programlanabilir 15 bana sahiptir. Programlanabilir bant genişliği 1,25–30 nm arasında iken genel spektral algılama aralığı 390–1040 nm arasındadır. Bu özelliklerine ek olarak MERIS, 300-1200 m arasında farklı yersel çözünürlükte veri sağlayabilmesi özelliğiyle (Rast ve Bézy, 1990) bölgesel ve küresel ölçekte bitki örtüsünün tespiti amaçlı yapılan arazi örtüsü sınıflama çalışmaları için ideal yapıdadır (Clevers ve ark., 2004).

PESERA için oluşturulacak arazi örtüsü sınıflaması, erozyonun hesaplanmasında daha uygun bir zemin oluşturması nedeniyle CORINE yaklaşımı temel alınarak yapılabilmektedir (Kirkby ve ark., 2004). Avrupa Birliği ilgili komisyonu tarafından CORINE, 1985 yılında Avrupa Birliği sınırları için çevre ile ilgili verilerin toplanması ve bitki örtüsü tiplerinin geliştirilmesi için sunulmuştur (Heymann ve ark., 1994).

CORINE sınıflandırma yöntemi, uydu görüntülerini temel alarak tüm Avrupa için bitki örtüsü sınıflarını standart şekilde sınıflamayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımda arazi örtüsü sınıflama haritasının ölçeği 1: 100.000'dir ve haritalamanın yersel doğruluğu en az 100 m'dir. CORINE arazi örtüsü haritalarında en küçük haritalama birimi 25 hektar ve en düşük birimin eni ise 100 m'dir. CORINE sınıflamasında sınıfların isimlendirilmesi hiyerarşik olarak ilk seviyede beş ana sınıf olmak üzere, ikinci seviyede 15, üçüncü seviyede ise 44 sınıf olarak yapılmaktadır (Büttner ve ark., 2002).

3.2.1.1.(3). Toprak Özellikleri

PESERA modelinin toprak için dikkate aldığı en önemli özellik olan aşınabilirlik (Eşitlik 3.1'deki *k* parametresi) faktörü, toprağın yüzey akış eşiğinin (*h*) belirlenmesi aşamasında kullanılmaktadır. Aşınabilirlik, daha çok toprak tekstürünün sahip olduğu yapıya göre değişim göstermekte olup en yüksek değere düşük kil içerikli kaba kum ve siltli topraklarda ulaşmaktadır. Aşınabilirlik toprak tekstüründen sonra bitki örtüsü ve toprak organik materyaline de bağlıdır. Bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda bitki gövdeleri engebelik yaratarak yüzey akış hızını böylelikle toprakta oluşacak taşıma kuvvetini düşürmektedir. Topraktaki organik materyal ve kil içeriği toprağın daha stabil kalmasını sağlamaktadır (Kirkby, 2003).

Toprak aşınabilirlik parametreleri, pedo-transfer kuralları uygulanarak toprak sınıfı, toprak baskınlığı, ikincil yüzey tekstür sınıfı ve ana materyal sınıfı (üçüncü seviye) kullanılarak belirlenir (Bouma ve Van Lanen, 1986; Daroussin ve King, 1996). Bazı durumlarda baskın toprak tipi birim alanda %50'den daha az olarak gösterilebilmekte ve toprak oldukça heterojen bir yapıda olabilmektedir. Bu nedenle pedo-transfer kuralları çok karmaşık olmamalı ve parametre sonuçları yaklaşık olarak göz önüne alınmalıdır.

3.2.1.1.(4). Topografya

Güçlü kayalar/topraklar ve yüksek rölyef alanlar arasında güçlü bir korelasyon olduğu için topografik ve toprak sınıflarını ayırmak önemlidir. Zaman zaman dağlık bölgelerde düşük aşınabilirlik olurken düze yakın alanlarda aşınabilir alanlar artmaktadır. Topografik indikatörler, yamaç rölyefine sıkı sıkıya bağlıdır. Topografik veriler DEM görüntüleri yardımıyla elde edilmektedir.

3.2.1.2. Modelin Doğrulanması (Nash- Sutcliffe Katsayısı)

Toprak erozyonu süreçlerin mekansal ve zamansal değişkenlik göz önüne alındığında toprak erozyonu doğrudan alan ölçümü için uygun değildir. Dolaylı doğrulama için iki alternatif yöntem bulunmaktadır.

- Nehirlerdeki sediment birikimini incelemek
- Göller ve barajlardaki sediment birikimi ölçümü ile değerlendirilir.

İkinci seçenekteki sadece rezervuarların bulunduğu alanlar için kullanılabilir olmasına rağmen, genel olarak uzun vadeli toprak kaybı tahminlerin doğrulanması için daha uygundur. Ancak bir drenaj havzasında ortalama net toprak kaybı ile (yani çıkışındaki sediment verimi) ortalama toplam toprak erozyonu (yani drenaj havzasında üretilen toplam sediment) farklı olduğu unutulmamalıdır. Topografya ve arazi kullanımının mekansal yapılandırmasına bağlı olarak, aşınmış toprağın önemli bir bölümü havza içindeki bir nehir kanalında veya çıkışına ulaşmadan önce tekrar birikecektir. Sediment verim oranı (SVO) drenaj havzasında üretilen toplam sediment hacmi üzerinden çıkışındaki sediment verimine oranıdır.

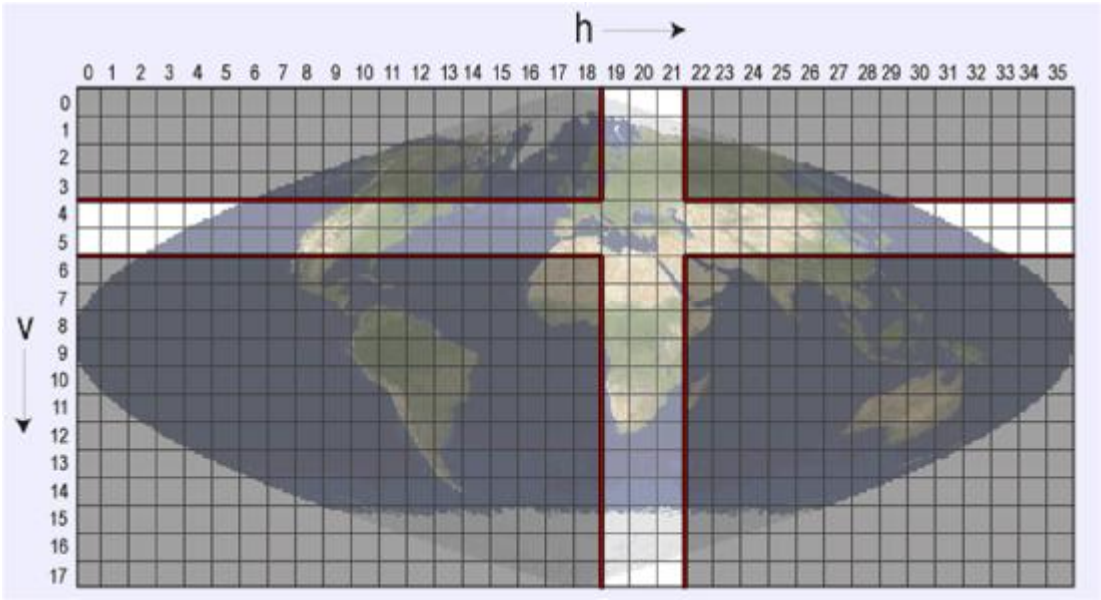
$$SVO = \frac{net\ toprak\ kaybı}{toplam\ toprak\ erozyonu}$$

SVO değerleri deneysel regresyon denklemleri veya nehir kanalları ile bağlı sediment kaynaklarını tespit eden yersel sediment aktarım modelleri ile değerlendirilebilir (Örneğin CAESAR, Couldhard ve ark., 2000; WaTEM/SEDEM, Van Rompaey ve ark., 2001).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Veri Ön İşleme

MODIS uydusundan çalışma alanını kapsayan 2010 yılına ait "h19v04, h20v04, h20v05, h21v04 ve h21v05" çerçevelerine ait NDVI görüntüleri temin edilmiştir (Şekil 4.1). MODIS'in ürün paketlerinden biri olan yüzey yansıma ürünü olarak isimlendirilmiş MOD 09; MODIS'in Level 1B (geometrik düzeltilmiş ve kalibre edilmiş) karasal bandlarından elde edilen görüntüler GEOTIFF formatına dönüştürülmüştür.



Şekil 4. 1. Çalışma Alanının MODIS uydusundaki yeri (MODIS, 2008; Erdoğan, 2012)

Çalışmada kullanılan veriler, Lambert Azimuthal Equal Area projeksiyon sistemine göre kaydedilmiştir. Bu projeksiyon sistemi 1772 yılında Lambert tarafından geliştirildi ve genellikle büyük bölgeleri veya kıtaları haritalamak için kullanılmaktadır. Bozulmalar projeksiyonun merkezinde sıfırdır ve bu noktadan uzaklaştıkça radyal olarak artmaktadır (Wessel ve Smith, 2010). Ön işleme aşamasında 6 adet toprak, 15 adet arazi örtüsü, 96 adet iklim ve 1 adet topografya

verisi olmak üzere 128 adet görüntüye projeksiyon dönüşümü uygulanarak görüntülerin birbirleri ile çakışması sağlanmıştır.

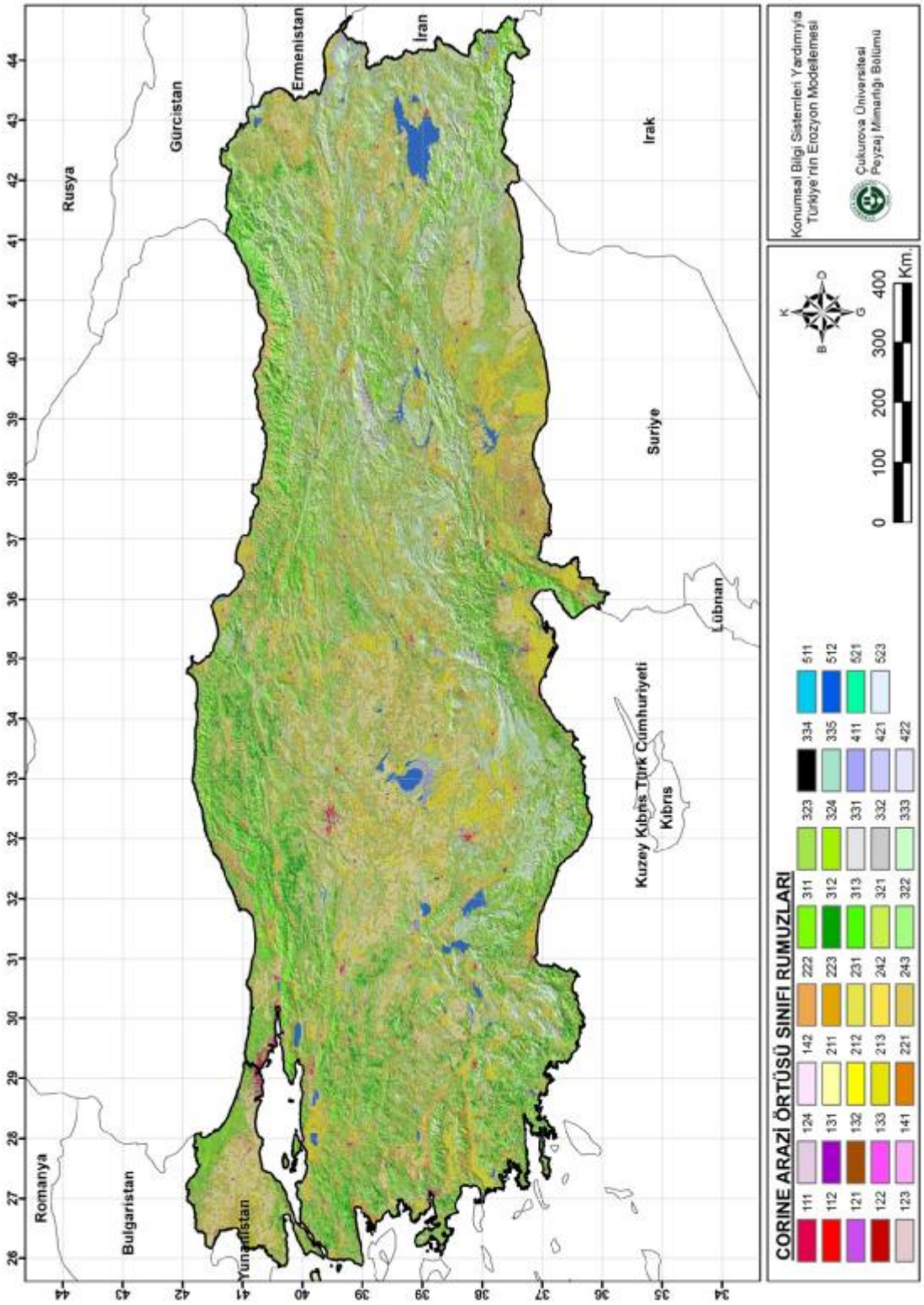
4.2. CORINE Arazi Örtüsü

Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE) Arazi Örtüsü (CLC), Avrupa Birliği üye ülkelerinin arazi örtüsü / alan kullanımlarının izlenmesi için geliştirilmiş coğrafi bilgi veri tabanıdır. CORINE, Avrupa Birliği ülkelerinde çevre ile ilgili belirli öncelik alanlarında bilgi toplanmasını amaçlamaktadır. (ör; hava, kıyı erozyonu, biyotoplar). CLC, üç hiyerarşik düzeyde tanımlanmış 44 sınıf içeren bir sınıflama şemasına sahiptir. Birinci düzeydeki temel sınıflar: (1) yapay alanlar, (2) tarım alanları, (3) ormanlar ve yarı-doğal alanlar, (4) sulak alanlar ve (5) su yüzeyleridir. Bu sınıflama şemasındaki ikinci düzey, çevrenin fiziksel ve fizyonomik unsurlarını (kent alanları, ormanlar, göller, vb.) tanımlayan 15 sınıfı ve üçüncü düzey ise 44 sınıfın tamamını içermektedir. CLC, arazi örtüsünün izlenmesinde SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Tere), Landsat MSS (Multispectral Scanner) ve TM (Tematic Mapper) uydu verilerinin görsel analizinin yanı sıra, hava fotoğrafları, topografik ve bitki örtüsü haritaları, istatistikler ve yerel bilgi gibi yardımcı veri kaynaklarının kullanılmasına dayanmaktadır. Bu sınıflayıcı ile haritalanan en küçük alan 25 hektara karşılık gelmekte, genişliği 100 m'den daha az olan çizgisel unsurlar dikkate alınmamaktadır (CEC,1993).

PESERA Erozyon Modelinde kullanılmak üzere Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından CORINE sistemi çerçevesinde üretilmiş sayısal ayrıntılı arazi örtüsü temin edilmiş ve modellerde kullanılabilecek formata dönüştürülmüştür (Şekil 4.2). Çalışma alanı için CORINE yöntemine göre düzenlenmiş arazi örtüsünün listesi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Türkiye Arazi Örtüsü Sınıfları (CORINE, 2006)

CORINE Kodu	1.Grup	2.Grup	3.Grup	Alan (km^2)	Yüzde (%)
111	Yapay Yüzeyler	Kent Gelişimi	Sürekli Kent Gelişimi	761,73	0,07
112			Sürekli Olmayan Gelişim	9026,35	0,85
121		Endüstri, ticaret ve ulaşım birimleri	Endüstriyel ve ticari üniteler	1411,9	0,13
122			Yol ve demiryolu ağları, toplulaştırılmış alanlar	214,74	0,02
123			Limanlar	43,85	0,00
124			Havaalanları	292,28	0,03
131		Maden ve inşaat alanları	Mineral çıkarma sahaları	910,11	0,09
132			Terkedilmiş alanlar	30,29	0,00
133			İnşaat alanları	355,66	0,03
141		Yapay, tarım olmayan vejetasyon alanları	Yeşil kent alanları	109,09	0,01
142			Spor tesisleri	426,42	0,04
211	Tarım Alanları	Ekilebilir alanlar	Sulanmayan ekilebilen alanlar	130278	12,33
212			Kalıcı sulanan alanlar	56712,8	5,37
213			Pirinç tarlaları	2502,6	0,24
221		Kalıcı ürünler	Bağlar	3151,81	0,30
222			Meyve ağaçları	4197,8	0,40
223			Zeytinlikler	3715,7	0,35
231		Çayırlık	Çayırlık	15718,9	1,49
241		Heterojen tarım alanları	Yıllık ürünler	0	0,00
242			Karmaşık ziraat paterni	48076,7	4,55
243			Tarım alanları ile kaplı doğal vejetasyon bakımından önemli alanlar	77972,9	7,38
244			Tarım-Orman alanları	0	0,00
311	Orman ve Yarı-Doğal Alanlar	Ormanlar	Geniş yapraklı ormanlar	44082,6	4,17
312			İğne yapraklı ormanlar	47099,7	4,46
313			Karışık ormanlar	36546	3,46
321		Bitki Örtüsü	Doğal meralar	90618,6	8,58
322			Kır ve çalılıklar	0,8	0,00
323			Odunsu vejetasyon	9183,49	0,87
324			Geçici orman-çalı	76834,6	7,27
331		Az bitkili açık alanlar	Plaj ve kumullar	1355,33	0,13
332			Kayalıklar	22067,9	2,09
333			Seyrek vejetasyon alanları	102606	9,71
334			Yanmış alanlar	36,98	0,00
335			Buz ve kalıcı kar	5,9	0,00
411	Sulak Alanlar	Tatlı-Sulak Alanlar	Bataklıklar	2500,08	0,24
412			Turba bataklıkları	0	0,00
421		Deniz-Sulak Alanları	Tuzlu bataklıklar	260,79	0,02
422			Tuzlu düzlükler	91,39	0,01
423			Gelgit düzlükleri	0	0,00
511	Su Yüzeyleri	İç sular	Su yolları	1122,45	0,11
512			Su yüzeyleri	11782,4	1,12
521		Denizler	Kıyı lagünleri	180,88	0,02
523			Deniz ve okyanuslar	254273	24,07



Şekil 4.2. Türkiye CORINE Arazi Örtüsü Haritası (CORINE, 2006)

4.3. PESERA Değişkenleri

PESERA modelini uygulamak için; 128 adet grid formatında haritanın tamamlanması gerekmektedir. Bunlardan en önemlileri toprak ve iklim verileridir. Bu haritalardan 96 adet aylık iklim ve 25 adet arazi örtüsü verisi gibi çok sayıda katman gerekmektedir. Diğerleri ise 6 adet toprak özellikleri ve 1 adet topografya ile ilgili katmanlardır. PESERA Modeli için gerekli veriler ve tanımlamaları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. PESERA Erozyon Modeli Değişkenleri (Irvine ve Kosmas, 2003)

Tanımlama	Birim
Yağmurlu gün başına aylık yağış varyasyon katsayısı	-
Aylık potansiyel evapotranspirasyon (pet)	mm
Aylık ortalama yağış	mm
Gün Başına Düşen Aylık ortalama yağış	mm
Aylık ortalama sıcaklık	°C
Aylık ortalama sıcaklık farkı	°C
Tahmini gelecek sıcaklık (Senaryo)	°C
Tahmini gelecek yağış (Senaryo)	mm
Farklı arazi kullanımları için aylık kanopi	%
Baskın ürün deseni	-
İkinci baskın ürün deseni	-
Arazi kullanım tipi	-
Mısır ürün deseni	-
Ekim Ayı ve Ekim belirleyicisi baskın ürün deseni için	-
Ekim Ayı ve Ekim belirleyicisi ikinci baskın ürün deseni için	-
Ekim Ayı ve Ekim belirleyicisi mısır ürün deseni için	-
Yüzey kapasitesi	mm
Aylık yüzey pürüzlülüğü azalması	%
Bitki kök derinliği	mm
Kabuklanma	mm
Aşınabillirlik	mm
Etkili su tutma kapasitesi	mm
Bitkiler için mevcut su miktarı (0-30 cm)	mm
Bitkiler için mevcut su miktarı (30-100 cm)	mm
Kabuk derinliği	mm
Sayısal Yükselti Modeli (DEM)	m

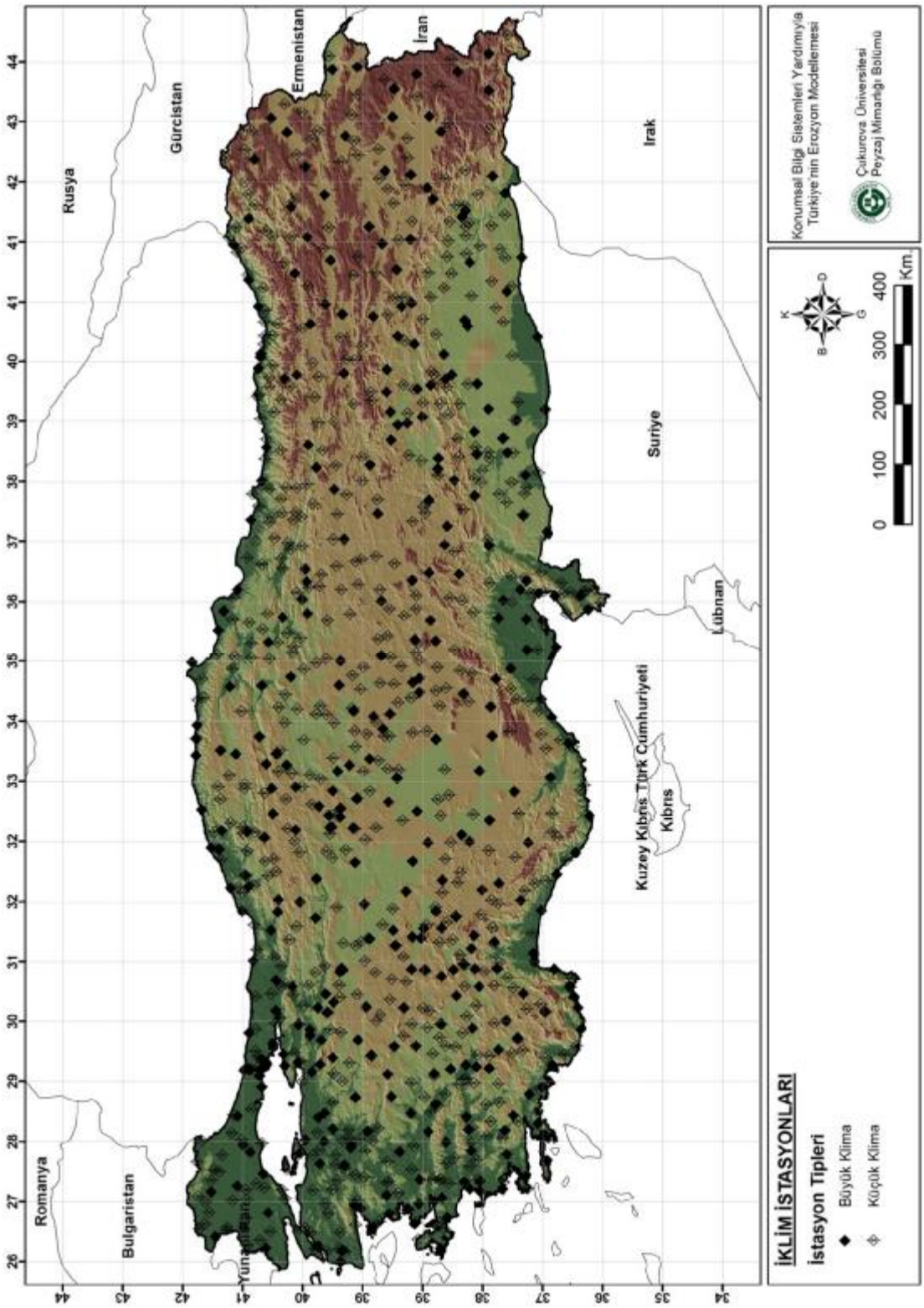
4.3.1. İklim Değişkenleri

İklim değişkenleri PESERA Modeli için önemli bileşenlerden olup aylık olarak oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan verilerin birimi ve değer aralıkları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Aylık iklim değişkenleri (Brian ve Cosmas, 2003)

Tanımlama	Birim
Aylık ortalama yağış	mm
Gün Başına Düşen Aylık ortalama yağış	mm
Yağmurlu gün başına aylık yağış varyasyon katsayısı	-
Aylık ortalama sıcaklık	°C
Aylık ortalama sıcaklık farkı	°C
Aylık potansiyel evapotranspirasyon (pet)	mm
Tahmini gelecek sıcaklık (Senaryo)	°C
Tahmini gelecek yağış (Senaryo)	mm

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen iklim verileri 1975-2012 tarihleri arasında Büyük Klima ve Küçük Klima istasyonlarını kapsamaktadır. Ham halde alınan bu veriler öncelikle MGM tarafından gönderilen istasyon adı, x ve y koordinatı ve yükseklik verisi bulunan tabloya göre istasyonlar eşleştirilmiştir. Bu tabloda yer almayan küçük klima istasyonları verilerine ise Google Earth programı aracılığıyla her biri için koordinat girişi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında kullanılabilecek ortalama istasyon sayısı 940'a ulaşmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Türkiye'deki İklim İstasyonları

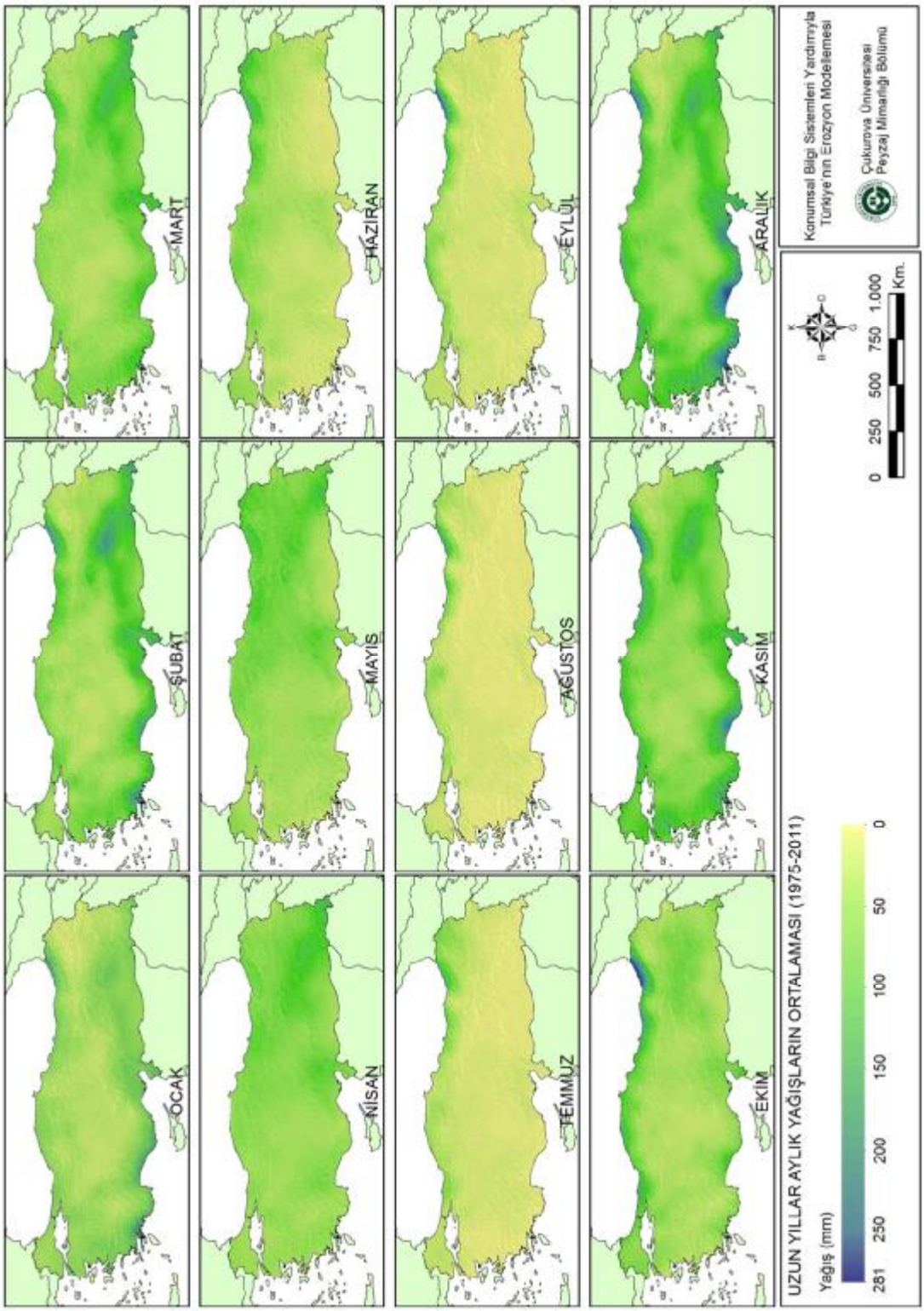
Aylık Ortalama Yağış Haritalarının Oluşturulması;

945 adet iklim istasyonundan alınan aylık ortalama yağış değerleri istasyon no, boylam, enlem, yükseklik ve 12 aylık yağış değeri olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu veri setine interpolasyon teknikleri sonucunda 936 adet istasyon önemli bulunmuş ve yüzey istatistikleri 12 ay olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5). Bu istatistikler sonucu oluşturulan 12 aylık 250 m yersel çözünürlüğe sahip yağış haritaları Şekil 4.4'de verilmiştir.

Genelleştirilmiş çapraz geçerlilik karekökü (RTGCV - Square Root of Generalised Cross Validation) ve Hataların ortalama karekökü (RTMSE - Root Mean Square Error) değerleri her yüzey haritası için hata miktarını göstermektedir. Hataların ortalama karekökü (RTMSE) ölçüm hatalarının etkisinin kaldırılmasından sonra yüzeyin gerçek hatasının tahminidir (Kesteven ve Hutchinson, 1996). RTGCV veri ölçüm hatasını da içeren tahmini hatadır (Kesteven ve Hutchinson,1996; Hutchinson, 2007). Böylelikle RTMSE her zaman RTGCV değerinden küçüktür.

Çizelge 4.4. Aylık Ortalama Yağış Haritaları Yüzey İstatistikleri.

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	65,254	53,16	43,8	15,0	-9,59	6,04
2	59,939	43,24	32,2	12,7	8,52	4,69
3	56,306	34,11	28,2	9,84	7,73	3,86
4	53,198	27,11	23,5	7,12	6,37	3,04
5	47,941	26,83	21,5	6,73	12,9	2,82
6	30,591	26,04	16,4	5,98	6,16	2,28
7	15,758	21,10	12,1	5,02	1,78	1,77
8	13,062	22,89	12,6	5,68	-1,12	1,88
9	19,675	30,40	15,3	6,90	-3,00	2,28
10	51,423	40,84	26,6	10,6	-1,67	3,82
11	72,518	48,32	38,8	13,9	6,28	5,35
12	79,722	55,53	43,9	16,2	6,39	6,24
Ort	47,116	37,61	28,4	10,4		

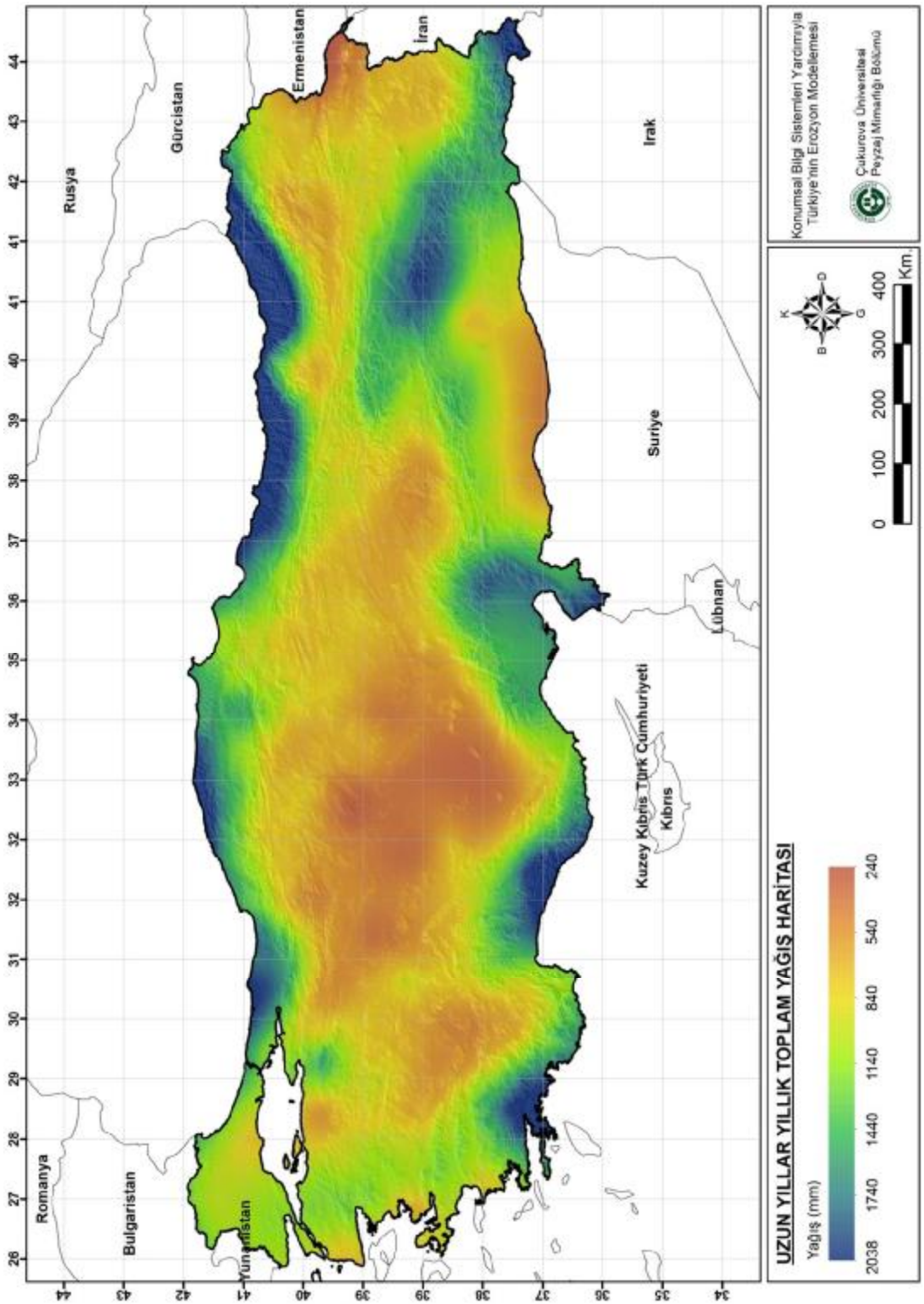


Şekil 4.4. Uzun yıllar aylık ortalama yağış haritaları

Çizelge 4.5. Model Doğrulama İstatistikleri

Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	940	-0,215E-07	24,20	37,80
2	940	-0,394E-08	17,00	26,00
3	943	-0,890E-09	16,10	24,10
4	943	-0,269E-07	13,80	21,10
5	943	-0,108E-07	12,80	19,10
6	940	-0,792E-08	9,13	13,80
7	941	0,217E-07	5,60	9,48
8	943	0,285E-08	4,95	8,96
9	945	0,626E-07	6,55	11,00
10	942	0,826E-08	14,00	21,4
11	942	-0,234E-07	20,80	32,9
12	940	-0,994E-08	23,70	36,7
Ort	941	-0,815E-09	14,10	23,9

Şekil 4.4'deki aylık ortalama yağış haritalarına baktığımızda en düşük yağışın Ocak, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında 0 mm, en yüksek yağışın ise Ekim ayında 281 mm olduğu gözlenmiştir. Toplam yağış haritasına baktığımızda en düşük yağış alan bölgenin özellikle Konya ve çevresi (250 mm) olmak üzere İç Anadolu Bölgesinde (250-350 mm), maksimum yağış alan bölgeler ise Doğu Karadeniz Bölgesi (1500-2050 mm), Batı Karadeniz Kıyıları (750-1000 mm), Batı Akdeniz ve Doğu Akdeniz (Osmaniye - Hatay) Bölgesi (750-1000 mm) olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Uzun yıllar toplam aylık ortalama yağış haritası

Gün Başına Düşen Aylık Ortalama Yağış Haritalarının Oluşturulması;

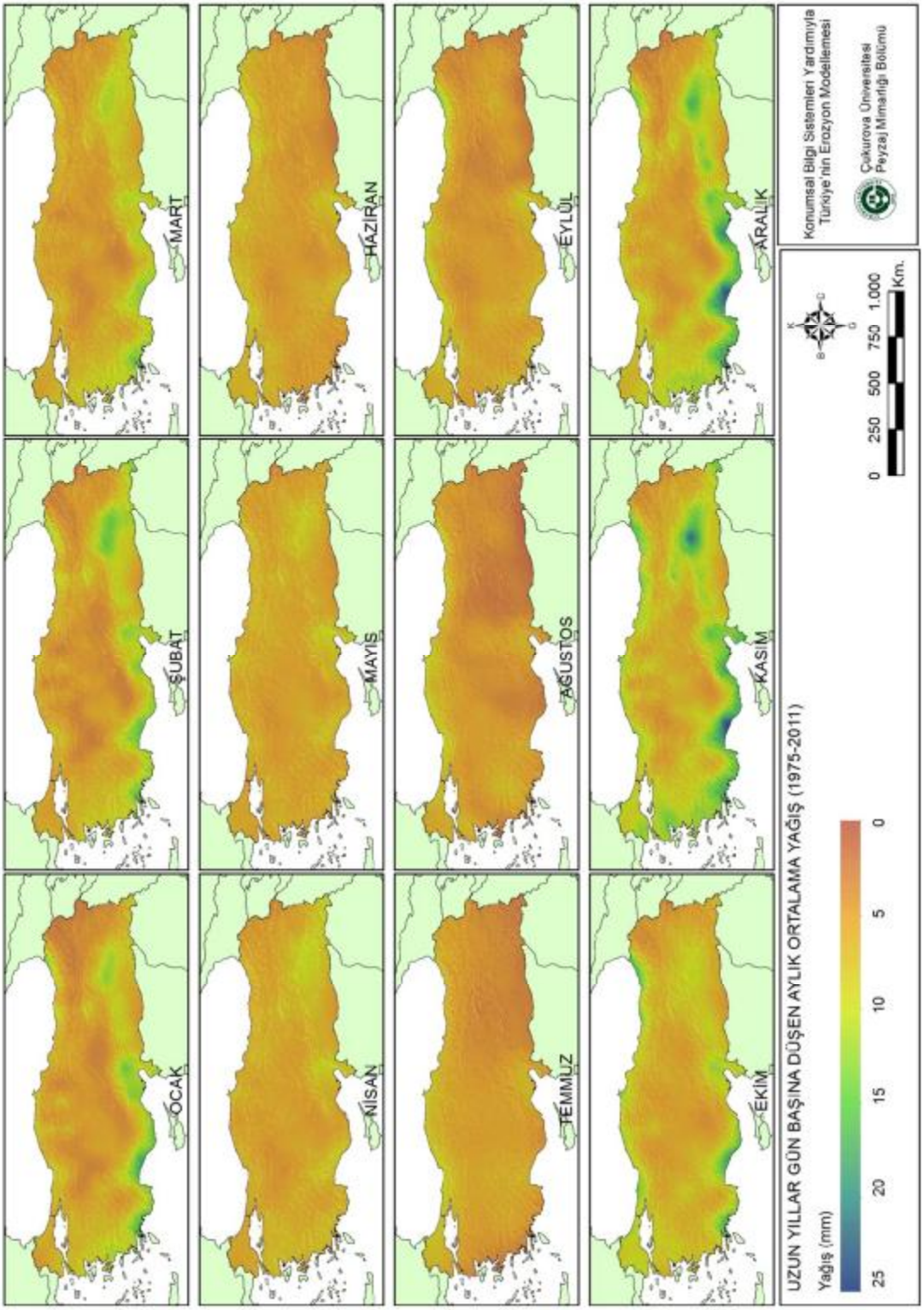
Meteoroloji Genel Müdürlüğünde temin edilen 1975-2011 yıllarındaki günlük yağış miktarları 891 istasyon için aylık ortalamaları alınarak interpolasyon teknikleri uygulanmıştır. İnterpolasyon tekniklerine göre göre 889 adet istasyon önemli bulunmuş ve yüzey istatistikleri 12 ay olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6. Gün Başına Düşen Aylık Ortalama Yağış Haritaları Yüzey İstatistikleri.

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	7,0654	3,757	2,85	1,14	0,139	0,429
2	6,8662	3,557	2,63	1,06	0,899	0,396
3	6,7094	3,075	2,43	0,89	1,170	0,353
4	6,3938	2,071	1,80	0,61	0,899	0,255
5	6,1631	2,049	1,89	0,64	0,841	0,267
6	5,9002	2,377	2,13	0,66	0,555	0,291
7	5,6785	3,466	3,19	0,68	-0,627	0,370
8	5,3138	3,433	3,06	0,88	-0,470	0,403
9	6,0074	3,201	2,79	0,91	-0,528	0,389
10	8,2276	3,760	3,08	1,09	-0,579	0,443
11	9,2373	4,441	3,30	1,35	0,139	0,429
12	8,3541	4,573	3,45	1,38	0,899	0,396
Ort	6,8264	3,406	2,77	0,98	1,170	0,353

Çizelge 4.7. Model Doğrulama İstatistikleri

Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	889	1,15E-09	1,49	2,28
2	891	4,02E-09	1,36	2,09
3	891	4,43E-09	1,36	2,05
4	891	-5,52E-09	1,13	1,56
5	890	-5,53E-09	1,18	1,64
6	889	-3,24E-09	1,32	1,90
7	888	-8,60E-09	2,01	3,03
8	886	-3,25E-09	1,98	2,79
9	888	4,89E-09	1,67	2,46
10	891	-2,48E-09	1,71	2,63
11	889	1,36E-09	1,69	2,59
12	889	-5,90E-10	1,76	2,77
Ort	889	-1,11E-09	1,56	2,36



Şekil 4.6. Gün Başına Düşen Aylık Ortalama Yağış Haritaları

Gün başına düşen ortalama yağış haritalarına baktığımızda en düşük yağışın 0,92 mm yağış ile Ağustos ayında Güneydoğu Anadolu Bölgesinde, en yüksek yağışın ise Kasım ayında 24 mm yağış ile Akdeniz Bölgesi kıyılarında ve Diyarbakır ilinin doğusunda olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.6).

Yağmurlu Gün Başına Aylık Yağış Varyasyon Oluşturulması;

Meteoroloji Genel Müdürlüğünde temin edilen 1975-2011 yıllarındaki günlük yağış miktarları 891 istasyon için aylık olarak standart sapma istatistiği belirlenmiş ve gün başına düşen yağışların aylık ortalamasına bölünerek hesaplanmıştır (Eşitlik 4.1) (Souksakoun, 2008).

$$\text{Varyasyon Katsayısı} = \frac{\text{Verilerin Standart Sapması}}{\text{Verilerin Ortalaması}} \quad (4.1)$$

Bu veri setine interpolasyon teknikleri uygulanmış 875 adet istasyon önemli bulunmuş ve yüzey istatistikleri 12 ay olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9).

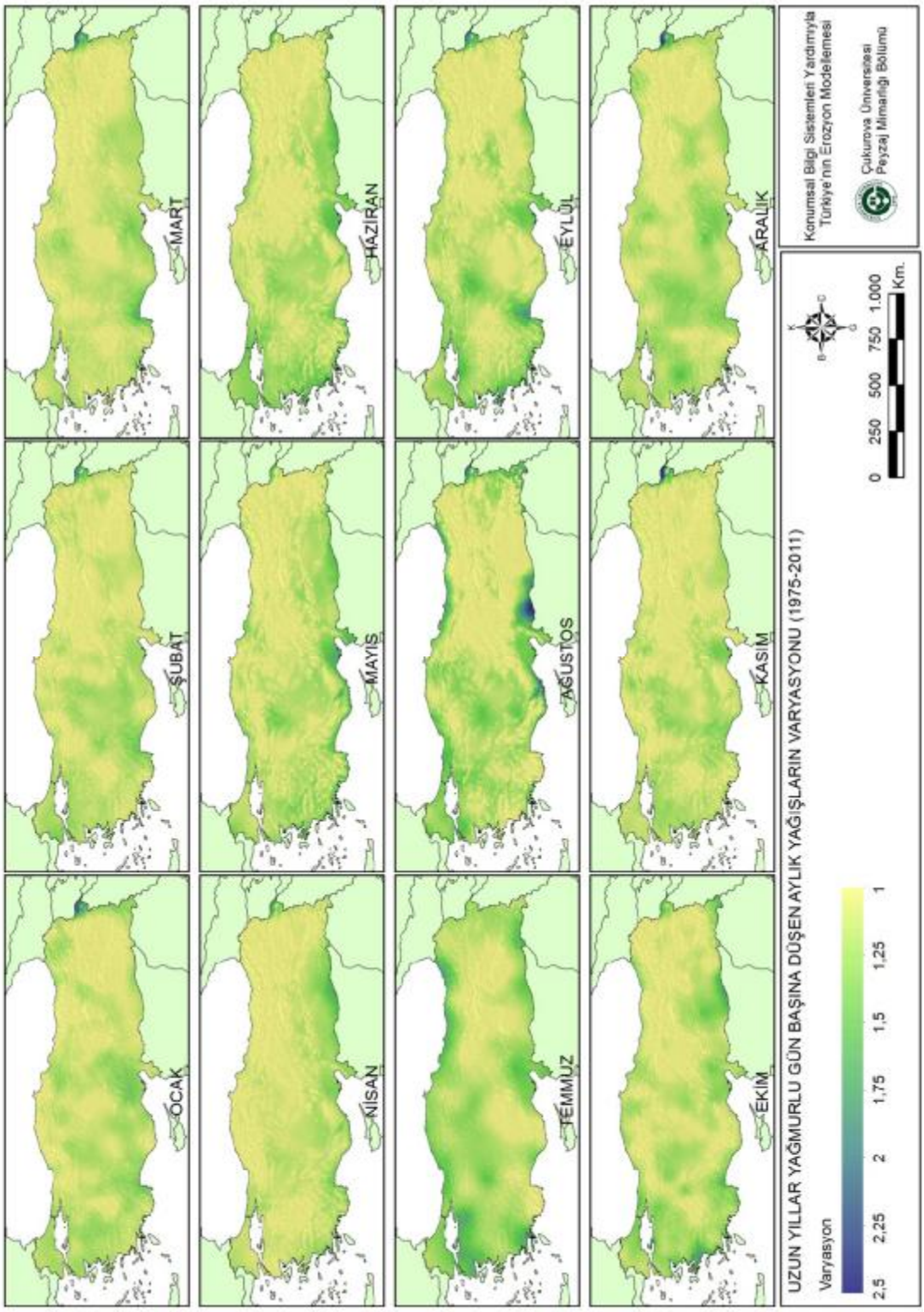
Çizelge 4.8. Yağmurlu Gün Başına Düşen Aylık Yağış Varyasyon Haritaları Yüzey İstatistikleri.

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	8,03	4,50	3,19	1,33	-0,181	0,487
2	7,69	4,01	2,88	1,15	0,344	0,432
3	7,50	3,85	2,93	1,10	0,750	0,431
4	7,15	2,50	2,03	0,66	-0,085	0,282
5	7,37	2,79	2,35	0,78	-0,788	0,330
6	7,16	3,31	2,84	0,81	-0,825	0,375
7	7,29	4,64	4,03	1,23	-0,981	0,552
8	6,75	4,90	4,07	1,41	-2,360	0,595
9	7,24	4,35	3,52	1,17	-1,880	0,498
10	9,72	4,61	3,24	1,37	-1,230	0,498
11	10,37	5,31	3,80	1,47	-0,224	0,566
12	9,59	5,36	3,72	1,51	0,582	0,564
Ort	7,99	4,27	3,27	1,20		

Çizelge 4.9. Model Doğrulama İstatistikleri

Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	889	-3,50E-09	1,57	2,46
2	891	1,84E-08	1,5	2,31
3	891	6,17E-09	1,49	2,43
4	891	-1,61E-09	1,21	1,79
5	890	1,38E-08	1,37	2,05
6	889	4,67E-09	1,76	2,59
7	888	1,35E-08	2,38	3,61
8	886	-1,67E-09	2,42	3,49
9	888	-1,82E-09	2,16	3,08
10	891	3,44E-09	1,67	2,47
11	889	5,36E-10	1,91	3,10
12	889	-1,45E-08	1,84	2,94
Ort	889	3,12E-09	1,77	2,75

Gün başına düşen ortalama yağışın varyasyonuna baktığımızda en düşük değerin 1, en yüksek değerin ise 2,5 olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.7). 12 aylık haritaların ortalamasına baktığımızda en yüksek değerlerin Çukurova Bölgesinde, Harran Bölgesinin güneyinde, Antalya çevresinde ve Rize bölgesinde olduğunu, en düşük değerlerin ise Doğu Anadolu Bölgesinin yüksek kısımlarında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Yağmurlu Gün Başına Aylık Yağış Varyasyon Haritaları

Aylık Ortalama Sıcaklık Haritaların Oluşturulması;

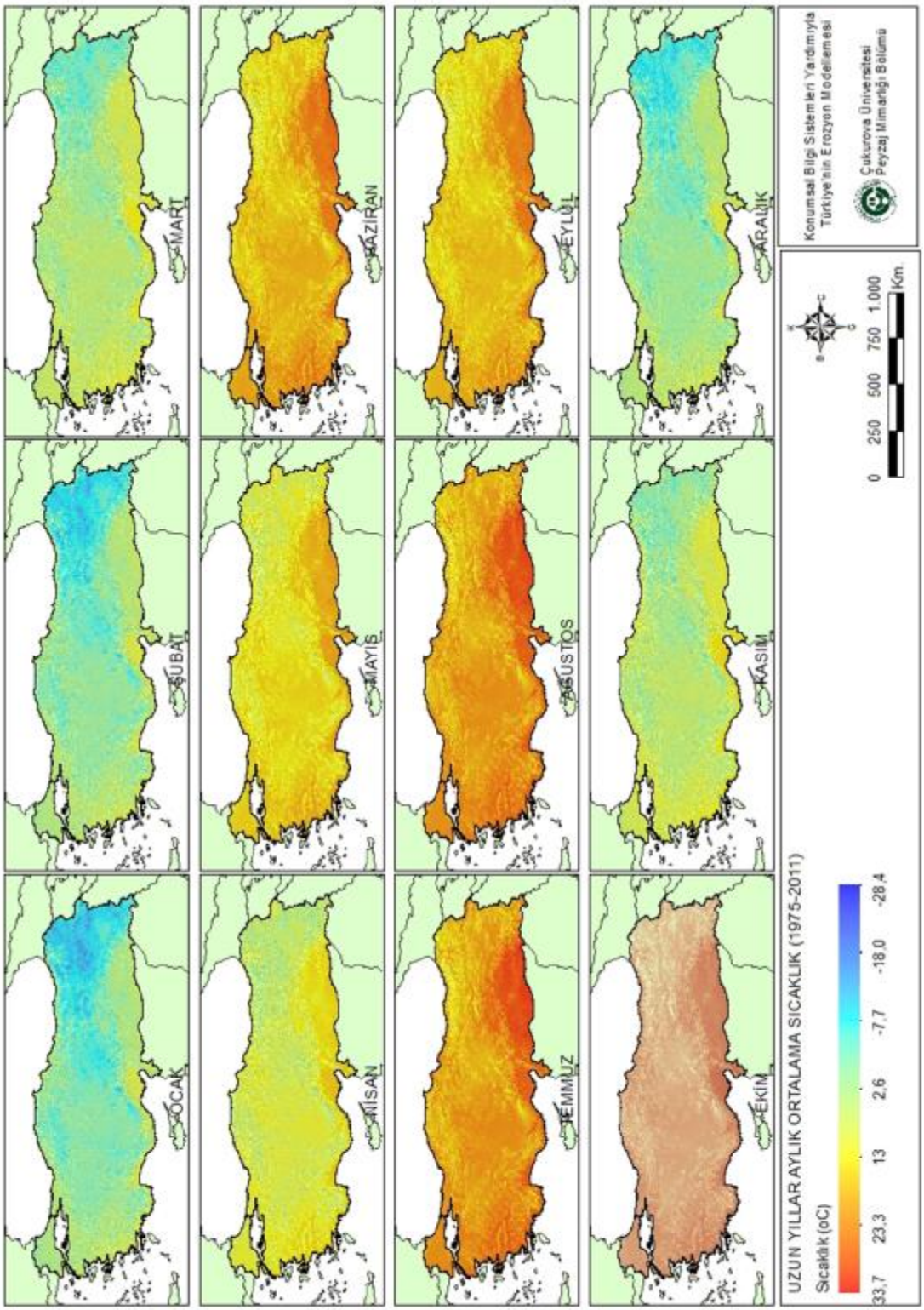
935 adet iklim istasyonundan alınan aylık ortalama sıcaklık değerleri Microsoft Excel formatında İstasyon No, Boylam, Enlem, Yükseklik ve 12 aylık yağış değerleri olacak şekilde düzenlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 935 adet istasyon önemli bulunmuş ve yüzey istatistikleri 12 ay olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. Aylık Ortalama Sıcaklık Haritaları Yüzey İstatistikleri.

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	1,67	4,80	1,97	0,64	-5,99	0,267
2	2,57	4,48	1,82	0,55	-6,29	0,239
3	6,34	3,60	1,52	0,47	-5,71	0,202
4	11,52	2,78	1,22	0,38	-5,07	0,163
5	15,89	2,92	1,32	0,40	-5,18	0,173
6	20,49	3,30	1,44	0,42	-5,57	0,187
7	23,67	3,47	1,66	0,50	-5,52	0,218
8	23,54	3,37	1,67	0,49	-5,39	0,217
9	19,45	3,33	1,60	0,47	-5,19	0,207
10	13,97	3,29	1,46	0,41	-5,22	0,187
11	7,94	3,63	1,53	0,44	-5,53	0,198
12	3,70	4,22	1,63	0,51	-5,80	0,217
Ort	12,56	3,64	1,58	0,48		

Çizelge 4.11. Model Doğrulama İstatistikleri

Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	935	4,31E-07	1,080	1,73
2	935	5,03E-09	1,020	1,64
3	935	-4,64E-10	0,834	1,35
4	935	-6,74E-09	0,686	1,09
5	935	7,18E-09	0,794	1,19
6	935	1,12E-08	0,863	1,31
7	935	-1,26E-09	0,980	1,49
8	935	7,59E-09	1,000	1,51
9	935	6,98E-09	0,920	1,45
10	935	2,21E-08	0,873	1,33
11	935	-6,68E-10	0,913	1,39
12	935	8,58E-09	0,946	1,45
Ort	935	4,99E-09	0,910	1,42



Şekil 4.8. Uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık haritaları

Aylık ortalama sıcaklık haritalarına baktığımızda en düşük sıcaklığın Ocak ayında -28,42^{o}C ile Doğu Anadolu Bölgesinde, en yüksek sıcaklığın ise Temmuz ayında 33,70^{o}C ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde olduğu görülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklık değerlerine baktığımızda en düşük -11,40^{o}C ile Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgesinin yüksek kesimlerinde, en yüksek 19,88^{o}C ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesinin denizden çok fazla yüksek olmayan kesimlerinde görülmüştür.

Aylık Sıcaklık Farkı Haritaların Oluşturulması;

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 1975-2011 yıllarındaki minimum ve maksimum sıcaklık verileri 710 istasyon için interpolasyon teknikleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda minimum ve maksimum sıcaklık haritalarının oluşturulmasındaki yüzey istatistikleri verilmiştir (Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15).

Oluşturulan Maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık haritaları ile sıcaklık farkı aylık olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 4.2) (Şekil 4.9).

$$\text{Sıcaklık farkı} = \text{Maksimum sıcaklık} - \text{Minimum sıcaklık} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.12. Aylık Maksimum Sıcaklık Haritaları Yüzey İstatistikleri

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	12.917	4,857	2,60	0,597	-6,72	0,326
2	14.924	4,415	1,95	0,507	-7,00	0,258
3	20.399	3,681	1,73	0,667	-6,42	0,268
4	25.403	2,935	1,53	0,566	-5,72	0,234
5	29.618	3,100	1,68	0,637	-5,43	0,259
6	33.151	3,192	1,74	0,698	-5,59	0,274
7	35.529	3,314	1,90	0,778	-4,91	0,301
8	35.330	3,134	1,80	0,746	-5,10	0,286
9	32.809	2,898	1,65	0,664	-4,87	0,260
10	27.954	2,954	1,67	0,550	-5,09	0,244
11	20.845	3,307	1,67	0,394	-5,44	0,212
12	15.087	4,110	1,88	0,503	-6,34	0,252
Ort	25.331	3,545	1,84	0,618		

Çizelge 4.13. Model Doğrulama İstatistikleri

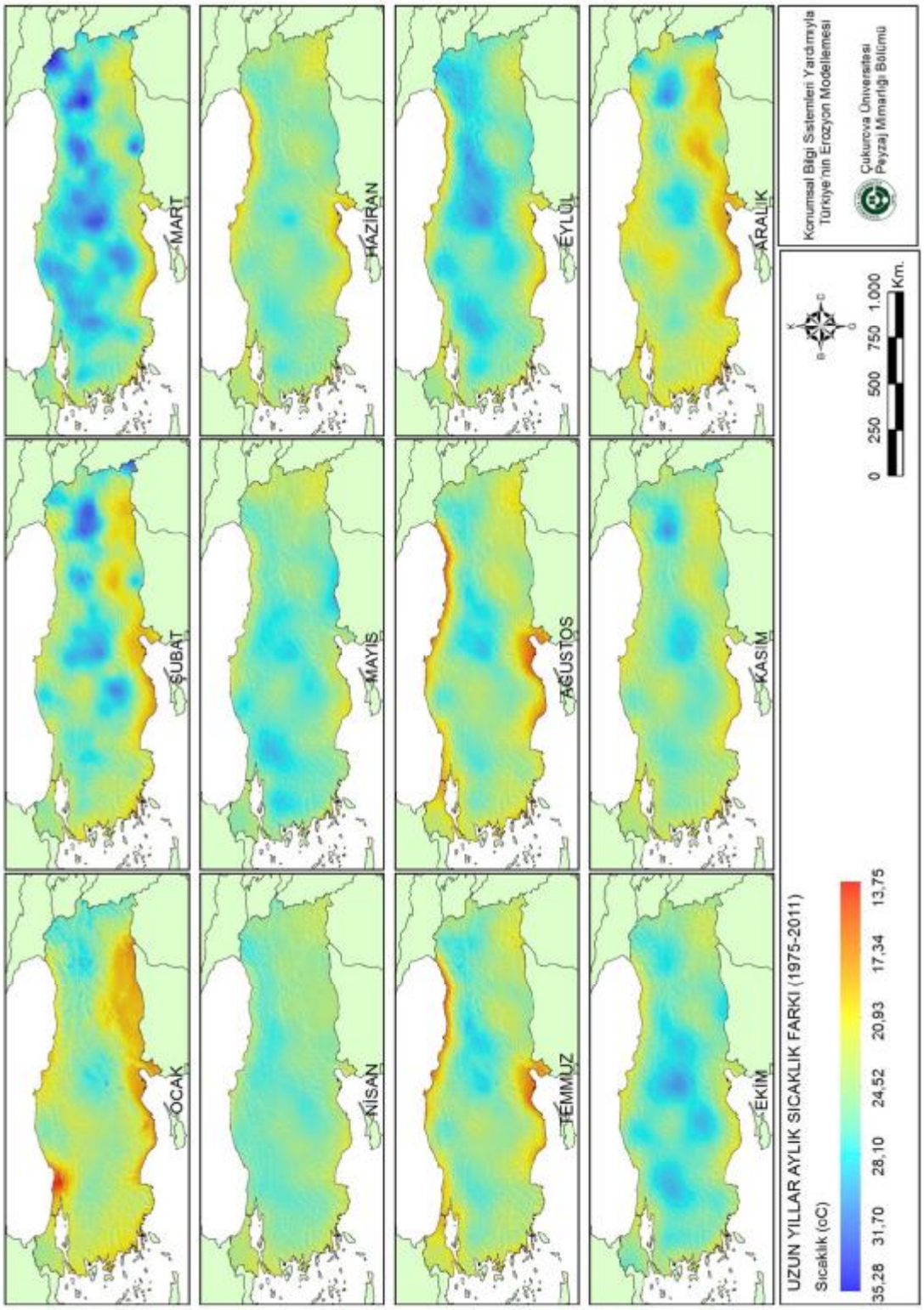
Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	231	-8,93E-02	1,21	1,79
2	231	-0,155	1,07	1,52
3	231	-0,118	1,16	1,59
4	231	-8,32E-02	1,00	1,34
5	231	6,51E-02	1,10	1,48
6	231	-1,77E-02	1,13	1,55
7	231	-3,93E-02	1,24	1,69
8	230	2,46E-02	1,28	1,68
9	231	4,97E-02	1,06	1,42
10	231	-0,148	1,14	1,58
11	231	2,14E-02	1,02	1,38
12	230	-0,16	1,11	1,55
Ort	230	-5,42E-02	1,13	1,55

Çizelge 4.14. Aylık Minimum Sıcaklık Haritaları Yüzey İstatistikleri

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	-9,4641	8,489	5,94	1,540	-8,70	0,862
2	-9,508	6,707	3,38	1,130	-6,73	0,557
3	-5,7945	5,619	2,91	0,991	-6,45	0,490
4	0,35234	5,319	4,35	0,284	-6,03	0,411
5	3,8557	3,490	1,92	0,555	-5,08	0,281
6	8,7261	3,804	2,02	0,581	-5,62	0,298
7	12,155	4,185	2,25	0,653	-5,96	0,335
8	12,149	4,432	2,57	0,788	-5,79	0,382
9	7,5322	4,532	2,55	0,799	-5,67	0,372
10	2,4171	4,260	2,24	0,743	-5,18	0,344
11	-3,2749	5,037	2,66	0,873	-5,97	0,407
12	-7,6574	6,174	3,01	1,060	-6,62	0,493
Ort	0,95744	5,345	3,18	0,890		

Çizelge 4.15. Model Doğrulama İstatistikleri

Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	933	3,87E-10	2,41	5,51
2	932	1,15E-08	2,01	2,95
3	933	6,77E-10	1,71	2,52
4	933	3,16E-10	1,60	4,33
5	933	2,60E-09	1,25	1,74
6	932	4,40E-09	1,34	1,83
7	933	-1,30E-08	1,49	2,04
8	933	-6,38E-09	1,66	2,30
9	933	1,42E-08	1,66	2,27
10	933	6,89E-09	1,45	1,96
11	933	9,32E-09	1,65	2,34
12	931	3,79E-09	1,79	2,57
Ort	932	2,89E-09	1,67	2,90



Şekil 4.9. Uzun yıllar Aylık Sıcaklık Farkı Haritası

Aylık ortalama maksimum sıcaklık haritalarında en yüksek değer 44,2^{o}C ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde, en düşük sıcaklık ise -18,2^{o}C ile Doğu Anadolu Bölgesinde olduğu görülmüştür. Aylık ortalama maksimum sıcaklık haritalarında ise en yüksek değer 23,2^{o}C ile Akdeniz Bölgesi kıyı şeridinde ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde, en düşük sıcaklık -51,6^{o}C ile Doğu Anadolu Bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu iki haritanın farkından oluşan Sıcaklık farkı haritasında en düşük değer Ocak ayında 13,75^{o}C, en yüksek değer Mart ayında 35,28^{o}C olarak hesaplanmıştır.

Aylık Potansiyel Evapotranspirasyon Haritaların Oluşturulması;

Potansiyel evapotranspirasyon, FAO Penman-Monteith Metoduna göre iklim verileri kullanılarak hesaplanabilmektedir (FAO, 1998; Allen, R.G. ve ark., 1998; Woodward ve ark., 2001). Penman-Monteith Metodundaki verilerin ilişkisi Eşitlik 4.3'de verilmiştir.

$$ET_O = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (4.3)$$

Eşitlikte;

ET_O : Potansiyel Evapotranspirasyon (mm/gün)

R_n : Ürün yüzeyindeki net radyasyon (Mj/m^2 gün)

G : Toprak ısı akısı yoğunluğu (MJ/m^2 gün)

T : Ortalama hava sıcaklığı (^{o}C)

U_2 : Rüzgar hızı (m/sn)

E_s : Buhar basıncı (Kpa)

Δ : Buhar basıncı eğrisi (Kpa/ ^{o}C)

γ : Sabit terimdir.

Potansiyel Evapotranspirasyon verisi, 213 istasyona ait "minimum sıcaklık (^{o}C), maksimum sıcaklık (^{o}C), nem (%), rüzgar hızı (km/gün), güneşlenme süresi (Saat) değerleri Penman-Monteith yöntemi ile koordinat ve yükseklik değerleri girilerek istasyon bazında hesaplanmıştır (Şekil 4.10).

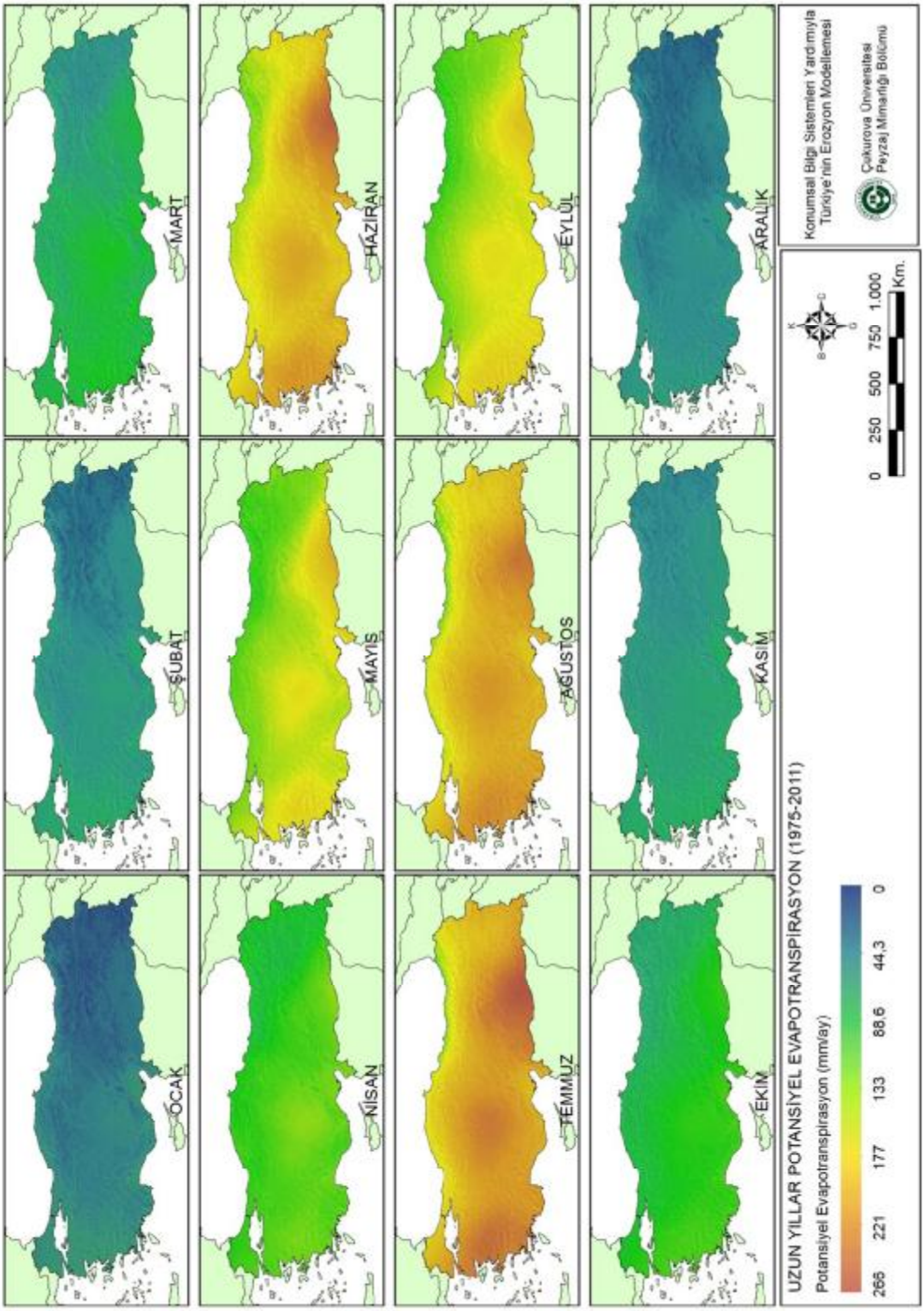
Oluşan 213 adet istasyona ait potansiyel evapotranspirasyon verisine interpolasyon teknikleri uygulanmış ve yüzey istatistikleri 12 ay olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17).

Çizelge 4.16. Aylık Potansiyel Evapotranspirasyon Haritaları Yüzey İstatistikleri

Yüzey	Ortalama	Standart Sapma	RTGCV	RTMSE	Kovaryans	Standart Hata
1	47,72	14,81	8,43	3,06	-11,19	1,90
2	60,90	15,84	8,16	2,87	-13,50	1,80
3	87,90	15,20	8,52	3,33	-10,02	2,00
4	120,83	13,94	9,66	3,87	-5,13	2,29
5	149,74	18,89	11,13	4,41	-4,92	2,62
6	185,10	27,48	16,05	6,54	-5,70	3,84
7	203,40	32,46	20,91	8,37	5,10	4,95
8	189,00	29,01	19,74	7,38	7,92	4,50
9	150,24	22,79	15,87	5,25	2,10	3,39
10	103,53	17,75	12,36	3,90	-3,96	2,56
11	68,20	15,29	10,44	2,49	-8,19	1,84
12	50,01	14,66	9,36	3,66	-9,66	2,19
Ort	118,08	20,79	13,26	4,95		

Çizelge 4.17. Model Doğrulama İstatistikleri

Yüzey	Nokta verisi Sayısı	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	Ortalamaların Karekökü
1	213	-7,26E-08	5,40	7,11
2	213	-1,11E-07	5,43	6,96
3	213	-3,36E-09	5,49	6,90
4	213	-2,24E-07	6,12	7,71
5	213	4,98E-08	6,90	8,97
6	213	-2,18E-07	9,69	12,66
7	213	-8,07E-09	12,87	16,71
8	213	4,83E-08	12,66	16,44
9	213	-1,96E-07	10,62	13,89
10	213	5,91E-08	8,70	11,01
11	213	1,38E-07	7,56	9,81
12	213	1,41E-08	5,70	7,62
Ort	213	-4,35E-08	8,10	11,04



Şekil 4.10. Uzun Yıllar Potansiyel Evapotranspirasyon Haritası

İklim verilerinde oluşturulan evapotranspirasyon haritasında en düşük değer Aralık, Ocak ve Şubat aylarında 0 mm/ay, en yüksek değer ise Temmuz ayında 266 mm/ay olarak hesaplanmıştır.

4.3.2. Bitki Örtüsü Değişkenleri

İklim değişkenleri gibi PESERA Modeli için bir diğer önemli bileşenlerden birisi de bitki örtüsü değişkenleridir. Bu değişkenler arazi kapalılığı, ürün deseni ve ekim zamanları ile ilgilidir. Modelde kullanılan bitki örtüsü ile ilgili değişkenlerin birimleri ve değer aralıkları Çizelge 4.18'da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Bitki Örtüsü Değişkenlerinin Özellikleri (Irvine ve Cosmas, 2003).

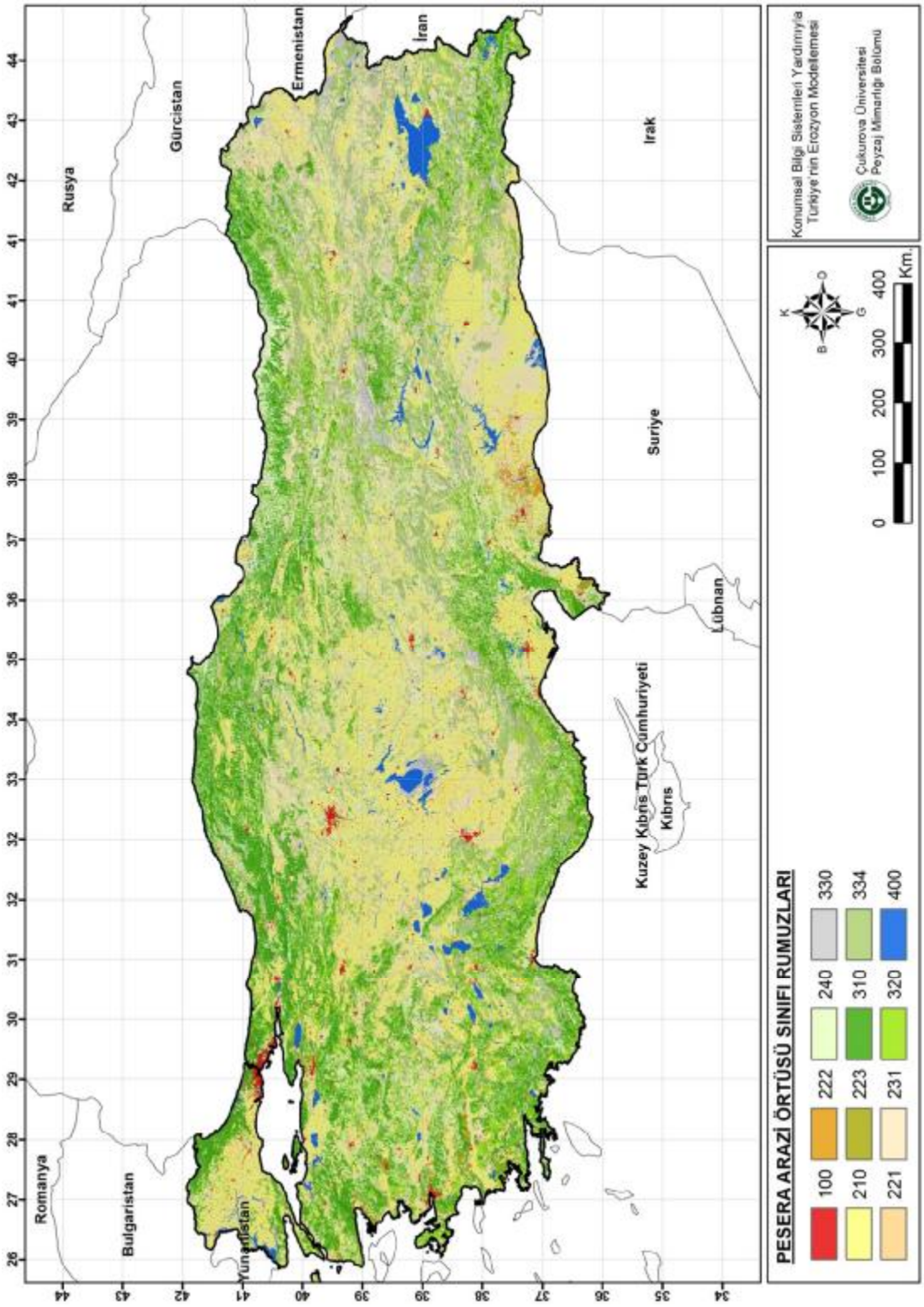
Tanımlama	Birim
Arazi kullanım tipi	-
Baskın ürün deseni	-
İkinci askın ürün deseni	-
Mısır ürün deseni	-
Ekim Ayı: baskın ürün deseni için	-
Ekim Ayı: ikinci baskın ürün deseni için	-
Ekim Ayı: mısır ürün deseni için	-
Ekim belirleyicisi: baskın ürün deseni için	-
Ekim belirleyicisi: ikinci baskın ürün deseni için	-
Ekim belirleyicisi: mısır ürün deseni için	-
Farklı arazi kullanımları için aylık kanopi	%
Yüzey kapasitesi	mm
Aylık yüzey pürüzlülüğü azalması	%
Bitki kök derinliği	mm

Arazi Kullanım Haritasının Oluşturulması;

100 m yersel çözünürlüğe sahip CORINE Arazi Örtüsü haritalarının 250 m yersel çözünürlüğe getirilmesinden sonra Çizelge 4.19'a göre sınıflandırılarak PESERA Arazi Örtüsü oluşturulmuştur (Şekil 4.11).

Çizelge 4.19. PESERA Arazi Örtüsü Sınıfları (Gobin ve ark., 2003)

CORINE Arazi Örtüsü Sınıfları		**PESERA Arazi Örtüsü Sınıfları**	
Kod	**Tanımlama**	**Kod**	**Tanımlama**
111	Sürekli Kent Gelişimi	100	Yapay arazi
112	Sürekli Olmayan Gelişim	100	Yapay arazi
121	Endüstriyel ve ticari üniteler	100	Yapay arazi
122	Yol ve demiryolu ağları, toplulaştırılmış alanlar	100	Yapay arazi
123	Limanlar	100	Yapay arazi
124	Havaalanları	100	Yapay arazi
131	Mineral çıkarma sahaları	100	Yapay arazi
132	Terkedilmiş alanlar	100	Yapay arazi
133	İnşaat alanları	100	Yapay arazi
141	Yeşil kent alanları	100	Yapay arazi
142	Spor tesisleri	100	Yapay arazi
211	Sulanmayan ekilebilen alanlar	210	Tarım alanları
212	Kalıcı sulanan alanlar	210	Tarım alanları
213	Pirinç tarlaları	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
221	Bağlar	221	Bağlar
222	Meyve ağaçları	222	Meyve bahçeleri
223	Zeytinlikler	223	Zeytinlikler
231	Çayırlık	231	Otlak ve mera
241	Yıllık ürünler	240	Heterojen tarım alanları
242	Karmaşık ziraat paterni	240	Heterojen tarım alanları
243	Tarım alanları ile kaplı doğal vejetasyon bakımından önemli alanlar	240	Heterojen tarım alanları
244	Tarım-Orman alanları	240	Heterojen tarım alanları
311	Geniş yapraklı ormanlar	310	Orman
312	İğne yapraklı ormanlar	310	Orman
313	Karışık ormanlar	310	Orman
321	Doğal meralar	231	Otlak ve mera
322	Kır ve çalılıklar	310	Orman
323	Odunsu vejetasyon	320	Çalılık
324	Geçici orman-çalı	320	Çalılık
331	Plaj ve kumullar	330	Açık alanlar
332	Kayalıklar	330	Açık alanlar
333	Seyrek vejetasyon alanları	334	Bozulmuş doğal alanlar
334	Yanmış alanlar	334	Bozulmuş doğal alanlar
335	Buz ve kalıcı kar	330	Açık alanlar
411	Bataklıklar	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
412	Turba bataklıkları	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
421	Tuzlu bataklıklar	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
422	Tuzlu düzlükler	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
423	Gelgit düzlükleri	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
511	Su yolları	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
512	Su yüzeyleri	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
521	Kıyı lagünleri	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
522	Göller	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar
523	Deniz ve okyanuslar	400	Su yüzeyleri ve Sulak alanlar



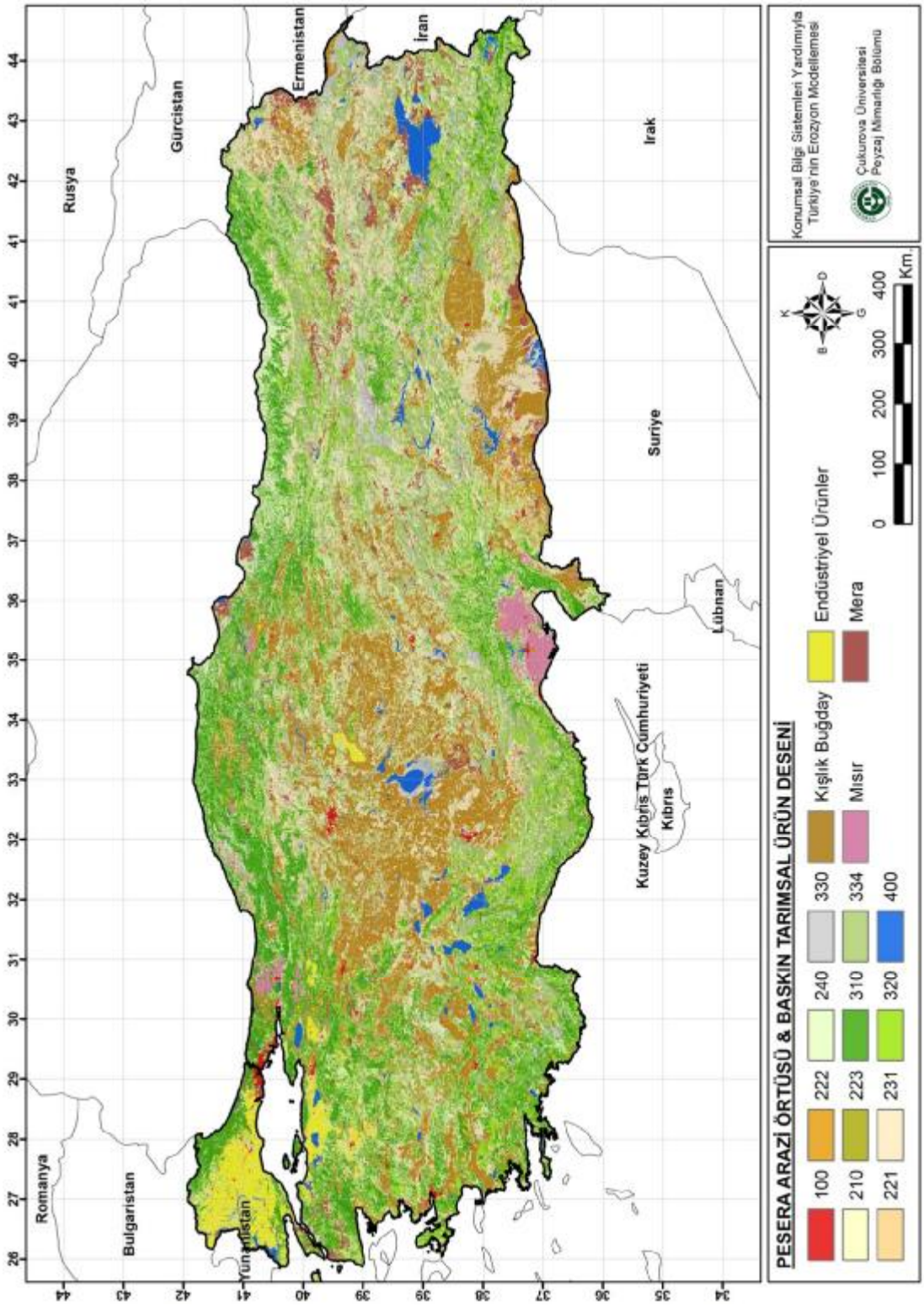
Şekil 4.11. PESERA Arazi Örtüsü Haritası

Tarımsal Ürün Desenleri Haritaların Oluşturulması ;

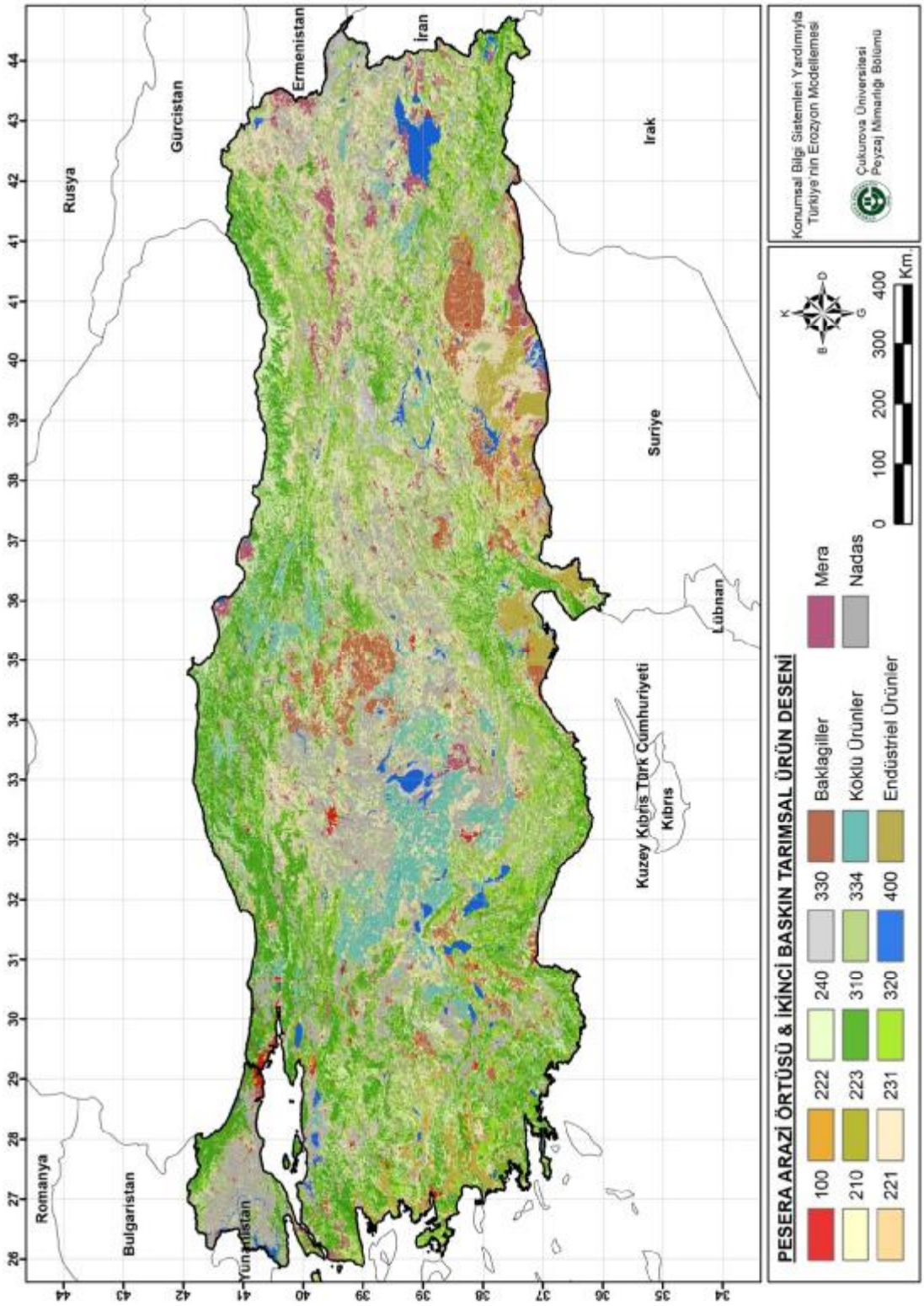
Doğu Anglia Üniversitesi İklim Araştırma Birimindeki iklim bilimcileri tarafından üretilen ekim ve hasat zamanlarını gösteren mısır, ekmeklik buğday ve kışlık buğday gibi 19 ürün çeşidinin küresel ekim zamanı verileri PESERA arazi örtüsü haritasındaki tarım alanları ile eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme sonucunda ürün desenleri Çizelge 4.20' deki gibi oluşturulmuştur. Baskın ürün deseni haritası Şekil 4.12'de, ikinci baskın ürün deseni haritası Şekil 4.13'de, mısır ürün deseni ise Şekil 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Tarımsal arazi örtüsü grupları (Gobin ve ark., 2003)

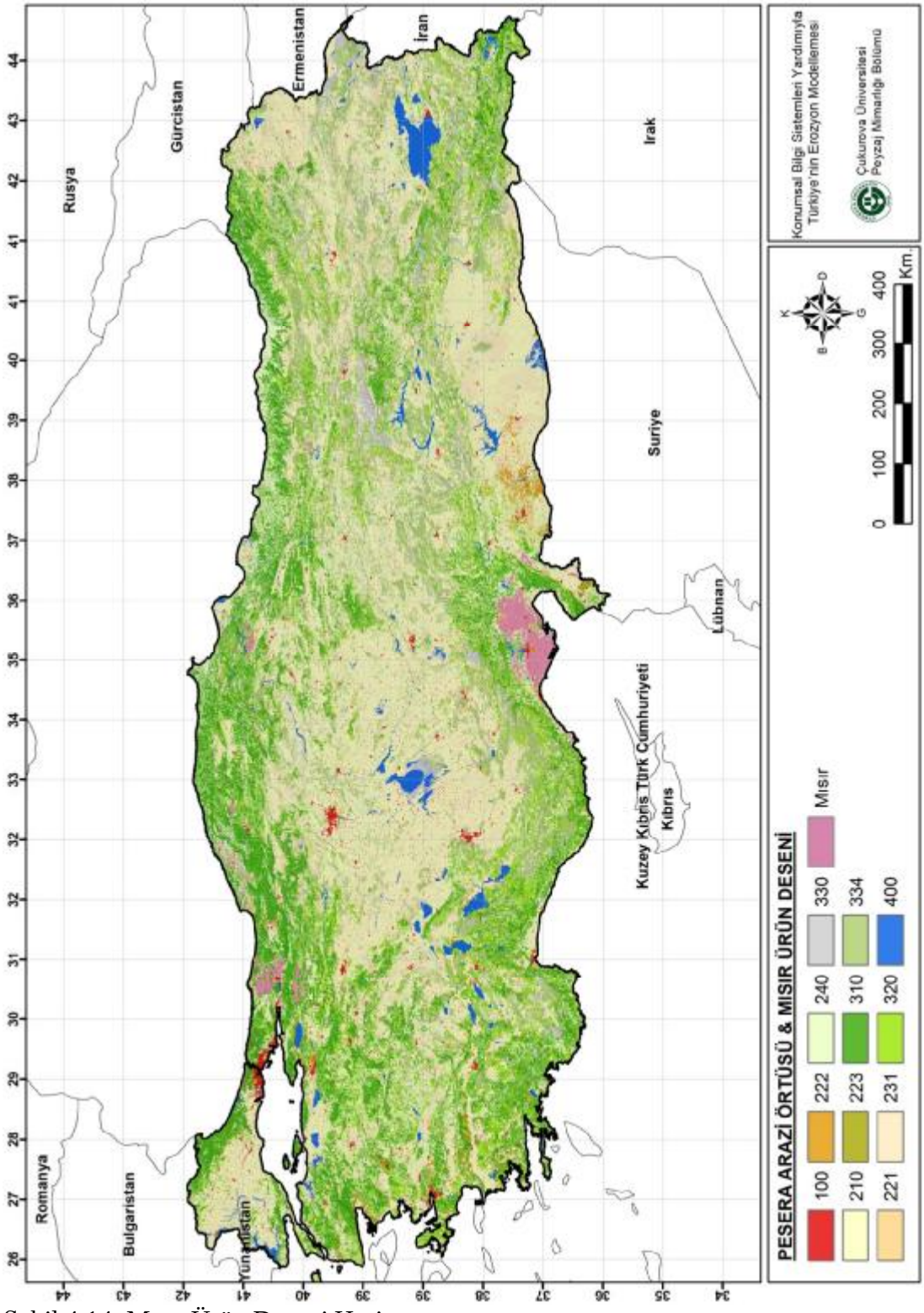
Tarımsal Arazi Örtüsü	**Tarımsal Arazi Örtüsü Sınıflandırması**
Tahıllar	§ Buğday § Makarnalık buğday § Çavdar § Arpa § Yulaf § Pirinç § Diğer tahıllar
Mısır	§ Mısır
Baklagiller	§ Baklagiller § Soya § Yerfıstığı
Köklü ürünler	§ Patates § Şeker pancarı § Tatlı patates
Endüstriyel bitkiler	§ Ayçiçeği § Tütün § Pamuk
Sebzeler	
Mera	
Nadasa bırakılmış topraklar	



Şekil 4.12. Baskın Ürün Deseni Haritası



Şekil 4.13. İkinci Baskın Ürün Deseni Haritası



Şekil 4.14. Mısır Ürün Deseni Haritası

Farklı arazi kullanımları için aylık kanopilerin oluşturulması;

Aylık kapalılık haritaları, farklı arazi örtüsü ve ürün tipine bağlı olarak yılın her ayındaki yüzde olarak aylık kanopi örtüsündeki değişimin haritasıdır. Farklı ürün türlerinin ekim tarihleri ve her aydaki kanopi değişimi aylık kanopi haritaları için önemli bilgi vermektedir. Özellikle tarımsal arazi örtüleri olmak üzere her arazi örtüsünde kanopi yüzdesi farklılık göstermektedir fakat orman ve bozulmuş orman alanlarında bu oranın çok değişik olmaması kabul edilmektedir. Böylece Çizelge 4.21 ve 4.22'de her ay için farklı arazi örtüleri için kanopi yüzdesi değişimleri tanımlanmıştır (Irvine ve Costas, 2003).

Çizelge 4.21. Farklı Arazi Örtüleri için Aylık Kanopi Değerleri (Irvine ve Costas, 2003).

Arazi Örtüsü Tipi	Kodu	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Yapay Arazi	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Su Yüzeyleri ve Sulak Alanlar	400	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Tarım Alanları	210	Çizelge 4.23											
Bağlar	221	10	10	10	20	25	30	30	30	30	20	15	15
Meyve Bahçeleri	222	10	10	10	20	25	30	30	30	30	20	15	15
Zeytinlikler	223	10	10	10	20	25	30	30	30	30	20	15	15
Otlak ve Mera	231	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Heterojen Tarım Alanları	240	50	50	50	60	70	80	90	90	60	50	45	45
Orman	310	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Açık Alanlar	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çalılık	320	Doğal vejetasyon %30 kapalılığa kadar izin verir											
Bozulmuş Doğal Alanlar	334												

Çizelge 4.22. Tarımsal Arazi Örtüleri için Aylık Kanopi Değerleri (Irvine ve Costas, 2003).

Tarımsal Arazi Örtüsü Tipi	Ekim Ayı	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	7.Ay	8.Ay	9.Ay	10.Ay	11.Ay
Mısır	0	17	61	94	94	43	0	0	0	0	0	0
Yazlık tahıl	0	9	46	88	94	37	0	0	0	0	0	0
Kışlık tahıl	0	8	27	47	67	78	87	96	98	86	32	0
Baklagiller	0	19	66	98	72	0	0	0	0	0	0	0
Köklü ürünler	0	11	68	99	94	86	36	0	0	0	0	0
Endüstriyel bitkiler	0	13	68	95	94	45	0	0	0	0	0	0
Sebzeler	0	18	64	98	91	45	0	0	0	0	0	0
Mera	0	10	67	69	72	77	81	70	54	0	0	0

Yüzey kapasitesi, aylık yüzey pürüzlülüğü ve bitki kök derinliği haritalarının oluşturulması;

Yüzey kapasitesi, aylık yüzey pürüzlülüğü ve bitki kök derinliği haritalarındaki değişkenler arazi örtüsü gruplarına göre literatürden türetilmiştir (Çizelge 4.23) (Allen, R.G. ve ark., 1998; Irvine ve Cosmas, 2003).

Çizelge 4.23. Yüzey kapasitesi, aylık yüzey pürüzlülüğü ve bitki kök derinlikleri değerleri (Irvine ve Cosmas, 2003)

Arazi Örtüsü Tipi	Arazi Örtüsü Kodu	Yüzey Kapasitesi	Aylık Yüzey Pürüzlülüğü	Bitki Kök Derinliği
Tarım Alanları	210	10	50	200
Yapay Arazi	100/400	0	0	10
Bağlar	221	5	0	500
Meyve Bahçeleri	222	5	0	500
Zeytinlikler	223	5	0	500
Otlak ve Mera	231	5	0	300
Heterojen Tarım Alanları	240	5	0	300
Orman	310	5	0	1000
Çalılık	320	5	0	600
Açık Alanlar	330	5	0	10
Bozulmuş Doğal Alanlar	334	5	0	300

4.3.3. Toprak Değişkenleri

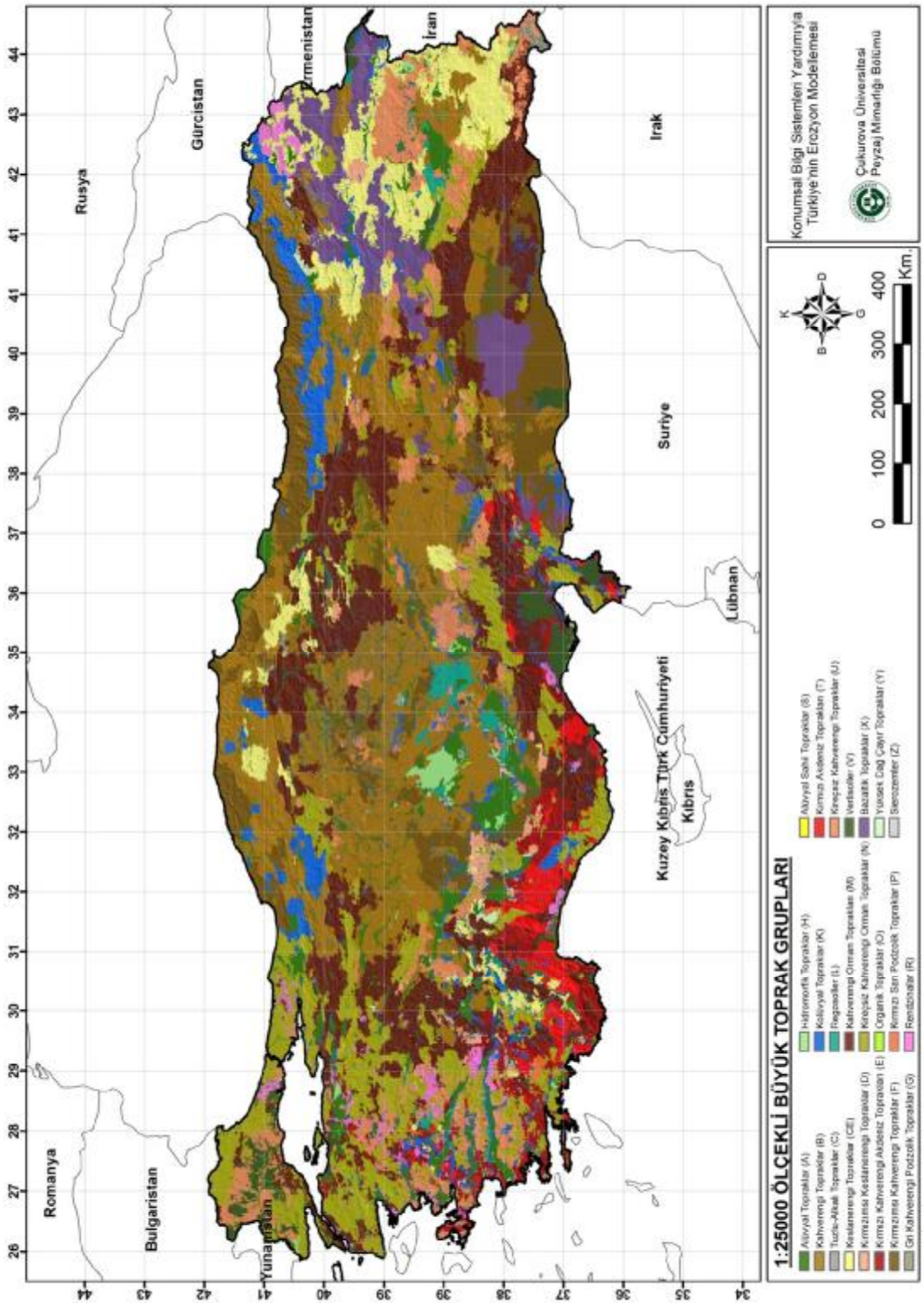
PESERA Modeli için gerekli olan 6 adet toprak değişkeni bulunmaktadır (Çizelge 4.24). Bu değişkenler toprak tekstürü ve organik madde miktarı ile temel olarak ilişkilidir. 1:25.000 ölçekli Türkiye Toprak Haritası (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü) ve 1:1.000.000 ölçekli Türkiye Genel Toprak Haritası (Özden ve ark., 2001) ve bu harita oluşumunda kullanılan toprak profil ölçümleri kullanılmıştır (Şekil 4.15, Şekil 4.16). Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nden bu konuda uzman kişiler ile havza ve bölge bazında çalışmalar yapılarak kil, silt ve kum değerleri hesaplanmıştır. Uzman görüşü ve Pedo-transfer kuralı 3 (PTR03) uygulanarak kil ve kum değerlerinden tekstür haritaları üretilmiştir (Çizelge 4.25) (Şekil 4.17).

Çizelge 4.24. Toprak Değişkenleri ve Özellikleri (Irvine ve Cosmas, 2003).

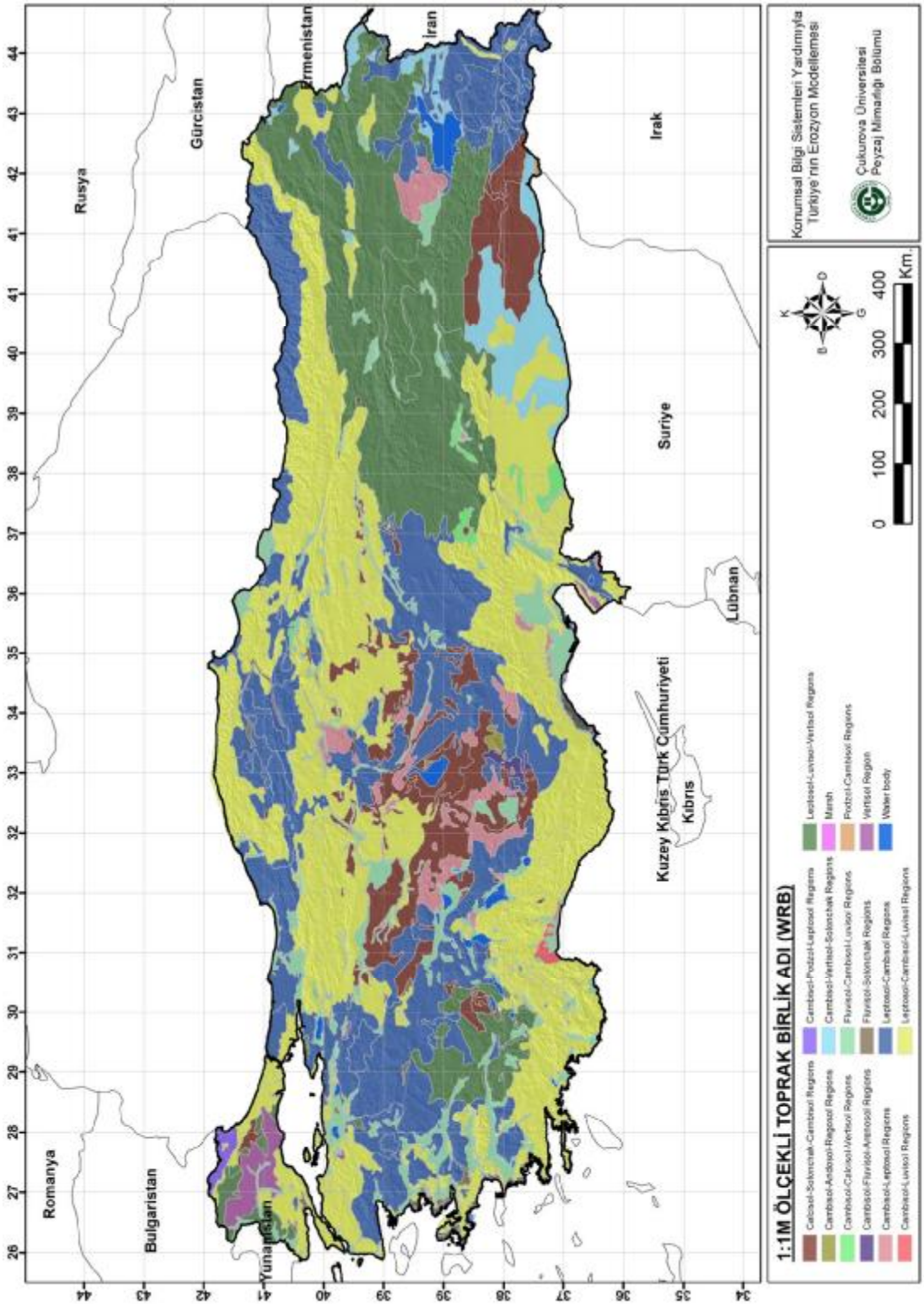
Tanımlama
Kabuklanma
Erodibilite
Etkili su tutma kapasitesi
Bitkiler için mevcut su miktarı (0-30 cm)
Bitkiler için mevcut su miktarı (30-100 cm)
Kabuk derinliği

Çizelge 4.25. Kil ve kum değerlerine göre toprak tekstür grupları (ESDB, 2004).

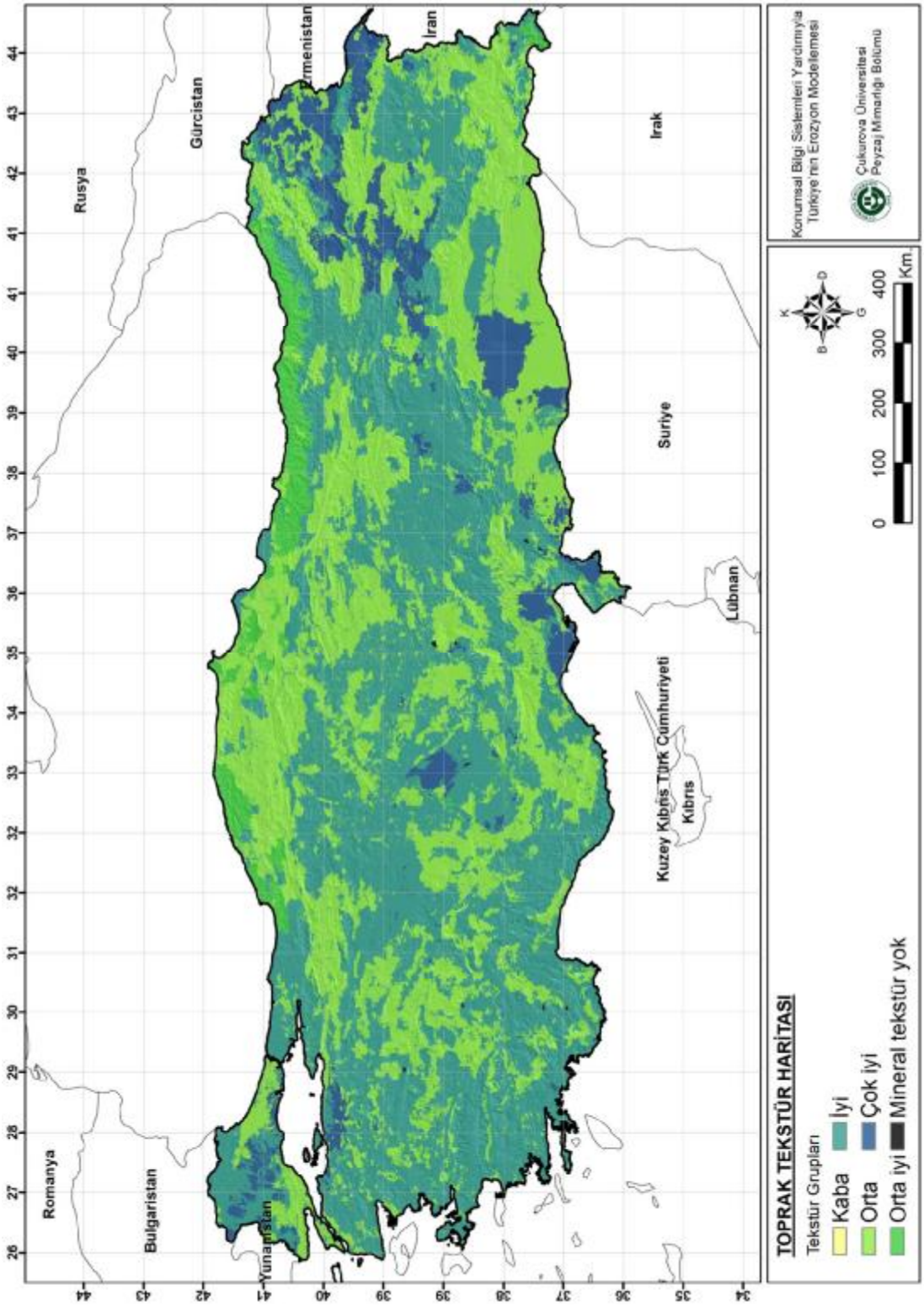
Tekstür id	Tekstür Grupları
0	Bilgi yok
9	Mineral tekstür yok (Turbalıklar, Kayalıklar)
1	Kaba (kil < 18% ve kum > 65%)
2	Orta (18% < kil < 35% ve kum < 65% veya kil < 18% ve 15% < kum < 65%)
3	Orta iyi (kil < 35% ve kum < 15%)
4	İyi (35% < kil < 60%)
5	Çok iyi (kil > 60 %)



Şekil 4.15. Türkiye Büyük Toprak Grupları Haritası (1:25.000)



Şekil 4.16. Türkiye 1:1M Ölçekli Toprak Birlik Adı Haritası (WRB'ye göre)



Şekil 4.17. Türkiye Toprak Tekstür Haritası

Tekstür haritası, Büyük Toprak Grupları, kil, silt, kum değerleri kullanılarak uzman görüşü ile birlikte Avrupa Toprak Veri tabanında belirtilen "FAO85-FULL" adlı FAO toprak sınıflamasına göre toprak isimleri belirlenmiştir. Bu veriler Pedo-transfer kuralında kullanılmak üzere oluşturulmuştur.

Avrupa Toprak Veri tabanında belirtilen "MAT1" adlı toprak sınıflandırmasına göre toprak tekstürü, FAO85-FULL, büyük toprak grupları ile 1:1000000 Türkiye Genel Toprak Haritasındaki (Dinç ve ark. 1997) ana materyal değerleri uzman görüşü ile 1:25000 ölçeğe küçültülerek toprak ana materyali belirlenmiştir (Şekil 4.18).

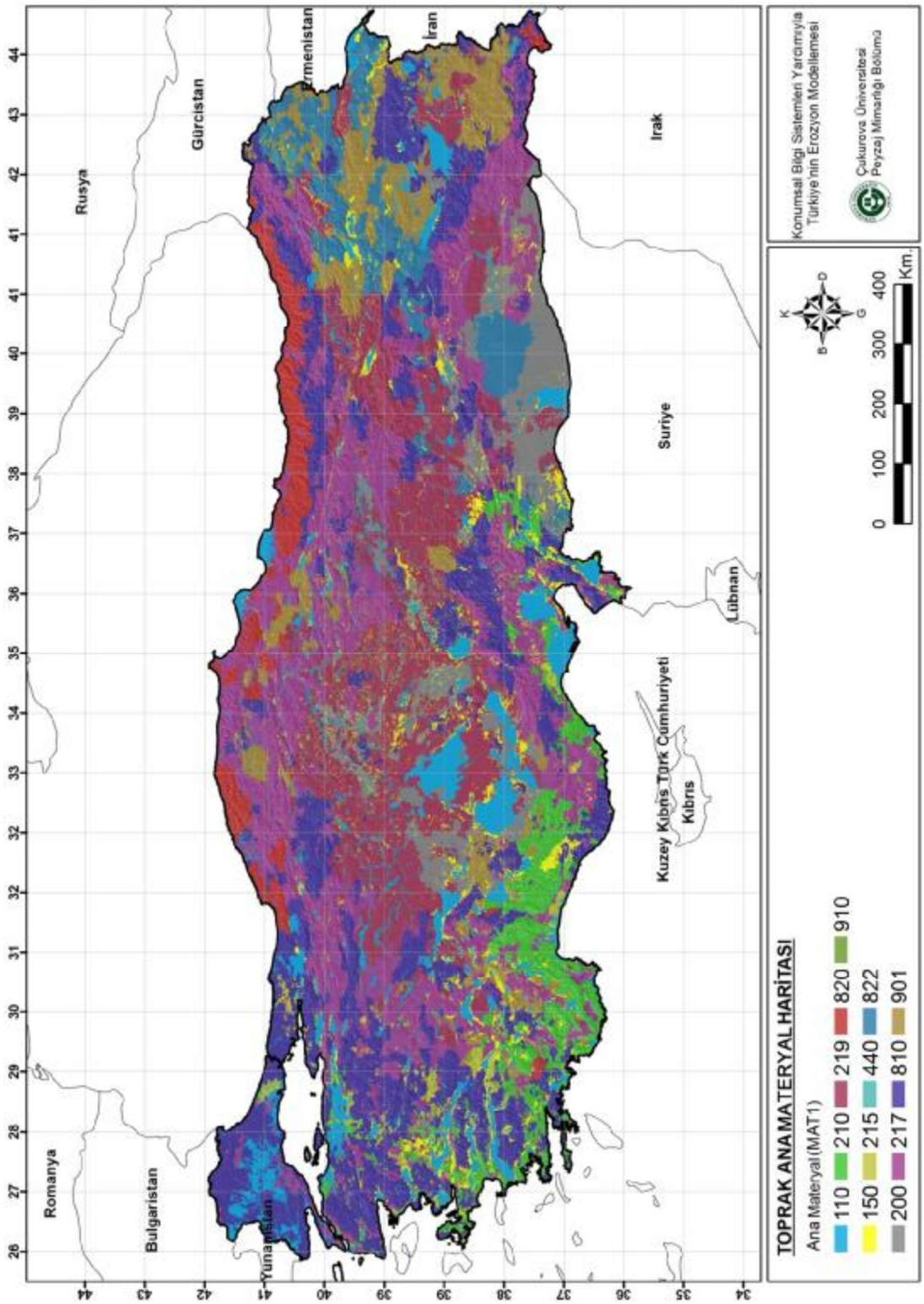
Toprak tekstür haritası ve Büyük Toprak Grupları ile uzman görüşü ile üst toprak ve alt toprak olmak üzere toprağın özgül ağırlığı aşağıdaki değerlere göre sınıflandırılmıştır.

Toprağın Özgül Ağırlığı Grupları;

L(Düşük): 1.4 g/cm3
M(Orta): 1.4 – 1.75 g/cm3
H(Yüksek): > 1.75 g/cm3

Kabuklanma ve Aşınabilirlik faktörlerinin oluşturulması;

PESERA projesi kapsamında toprak erozyonu modelleme için kullanılacak toprak değişkenlerinin değerlendirilmesi için Avrupa Toprak Coğrafi Veritabanına ait mevcut verilere dayalı bir metodoloji geliştirilmiştir. Pedotransfer Kuralı olarak adlandırılan bu metodolojide kurallar detaylandırılmış ve erozyon süreçleri hakkında en iyi uzman bilgisine ve toprak veritabanındaki mevcut toprak özelliklerine dayandırılmıştır. Toprak kabuklanması ekili topraklar üzerinde erozyon riski ve yüzey akışında önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Kabuklanma, açık alanlardaki su tutma kapasitesini değerlendirmede ve yüzey akışı eşiğini değerlendirmede kullanılmıştır (Gobin ve Govers, 2001).

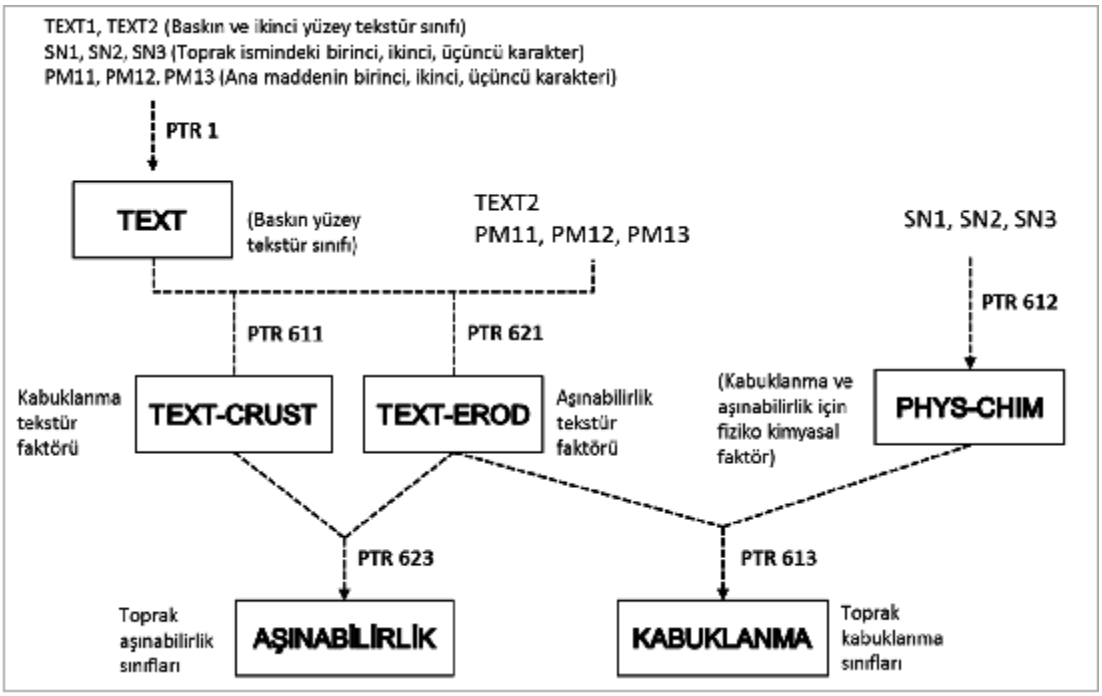


Şekil 4.18. Toprak Ana Materyal Haritası

Kabuklanma ve aşınabilirlik aşağıdaki faktörlerden türetilmiştir.

- Toprak ismi (FAO-FULL)
- Baskın ve ikinci yüzey tekstür sınıfları
- Toprağın ana materyali (MAT1)

Kabuklanma ve aşınabilirlik parametreleri ortak bir fiziko kimyasal parametrelere, tekstür ve ana materyal değişkenleri kombinasyonlarına bağlıdır (Şekil 4.19). Bu değişkenler pedotransfer kurallarından (PTR) oluşturulmuştur.



Şekil 4.19. PESERA Erozyon Modelindeki aşınabilirlik ve kabuklanma değerlerinin akış şeması (Irvine ve Cosmas, 2003).

Fiziko kimyasal parametreler organik madde, karbonat, katyonlar ve diğer pedogenetik özelliklerin olumlu ve olumsuz etkilerini hesaba katarak FAO 1974 3. seviye toprak ismi bilgilerinden uzman görüşü ve 1:1M ölçekli Türkiye Genel Toprak Haritası profilleri kullanılarak türetilmiştir.

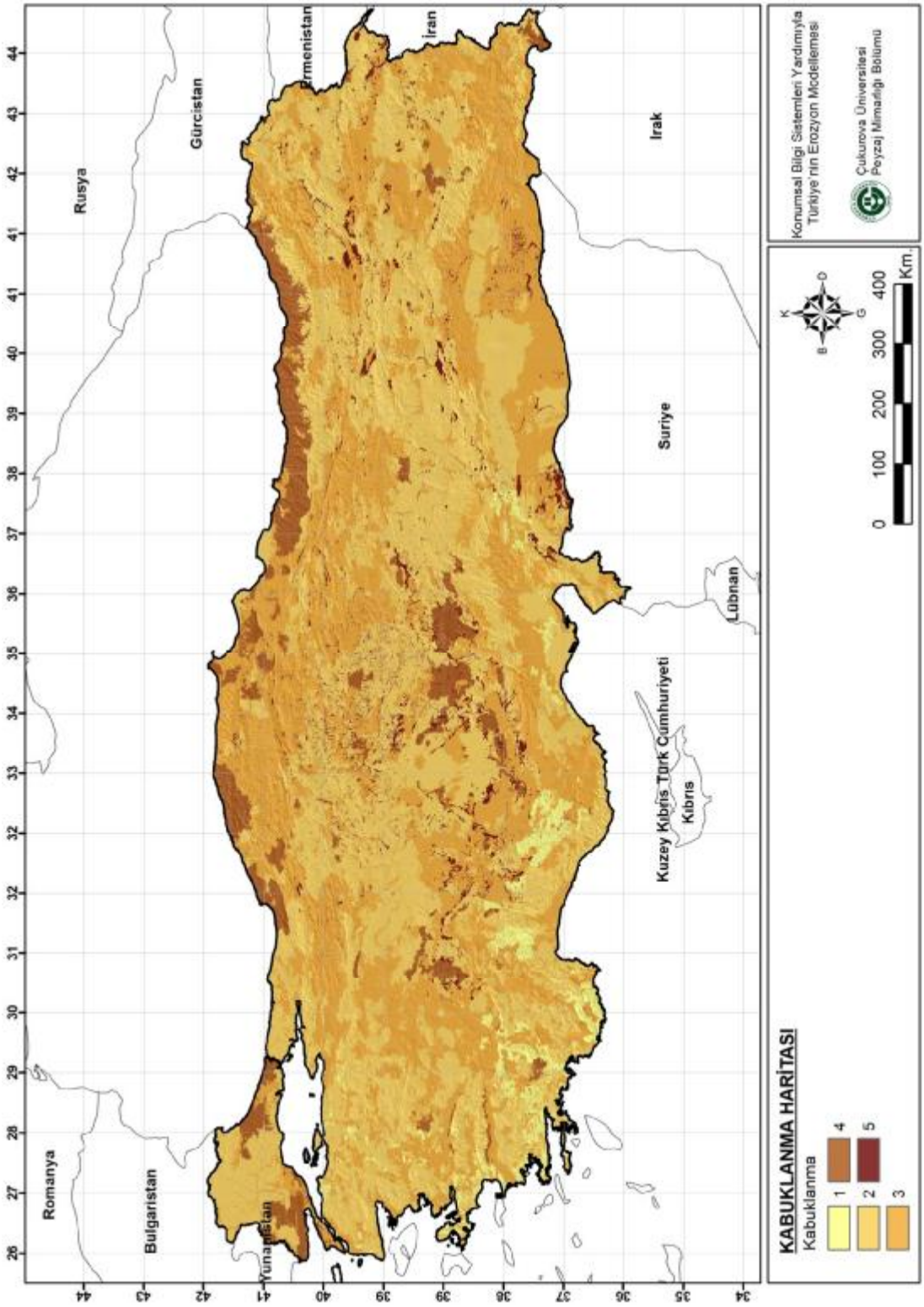
Kabuklanma tekstür parametresi baskın ve ikinci toprak tekstürü faktörü ve toprağın ana materyali ile ilişki bir fonksiyondur. Bunun temel ilkeleri aşağıdaki gibidir (Gobin ve Govers, 2001).

- Kaba, çok iyi ve iyi tekstür sınıfları düşük kabuklanma duyarlılığında sınıflandırılır.
- İyi ve orta iyi tekstür sınıfların değerlendirmesi hassaslaştırmak için ikinci toprak tekstürü ve ana materyala bağlı olarak orta ve yüksek kabuklanma duyarlılığında sınıflandırılır.

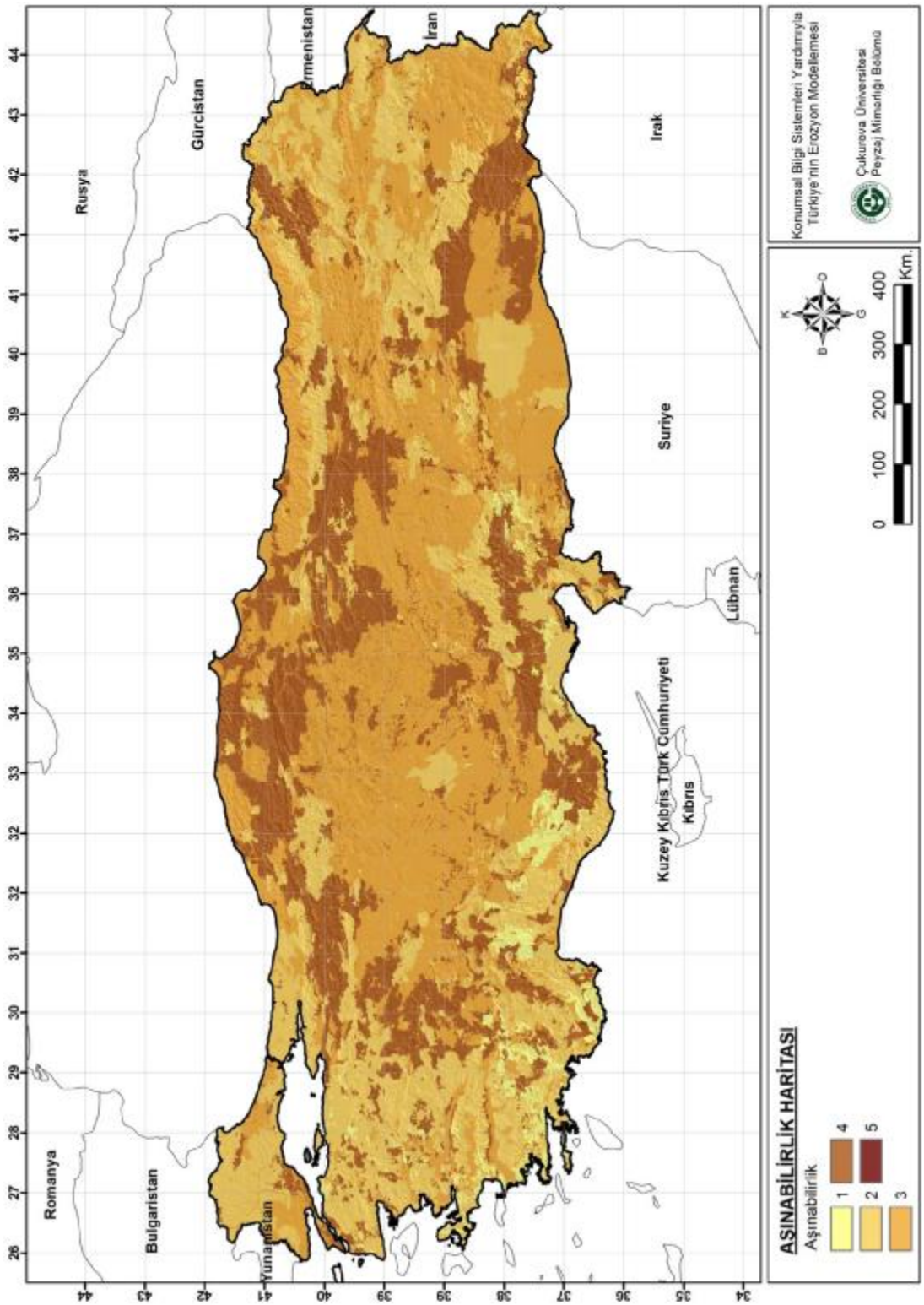
Aşınabilirlik tekstür parametresi, baskın toprak tekstürü ve toprak ana materyalinin kombinasyonuna dayanmaktadır.

- Granit ve kireçtaşı gibi masif kayalar düşük aşınabilirliğe sınıflandırılır.
- Kum ve molas gibi gevşek kayalar yüksek aşınabilirliğe sınıflandırılır.
- Kaba ve orta tekstürlü toprakların aşınabilirliği yüksektir.

Kabuklanma ve aşınabilirlik faktörleri pedotransfer kuralları uygulanarak oluşturulmuştur (Şekil 4.20, Şekil 4.21).



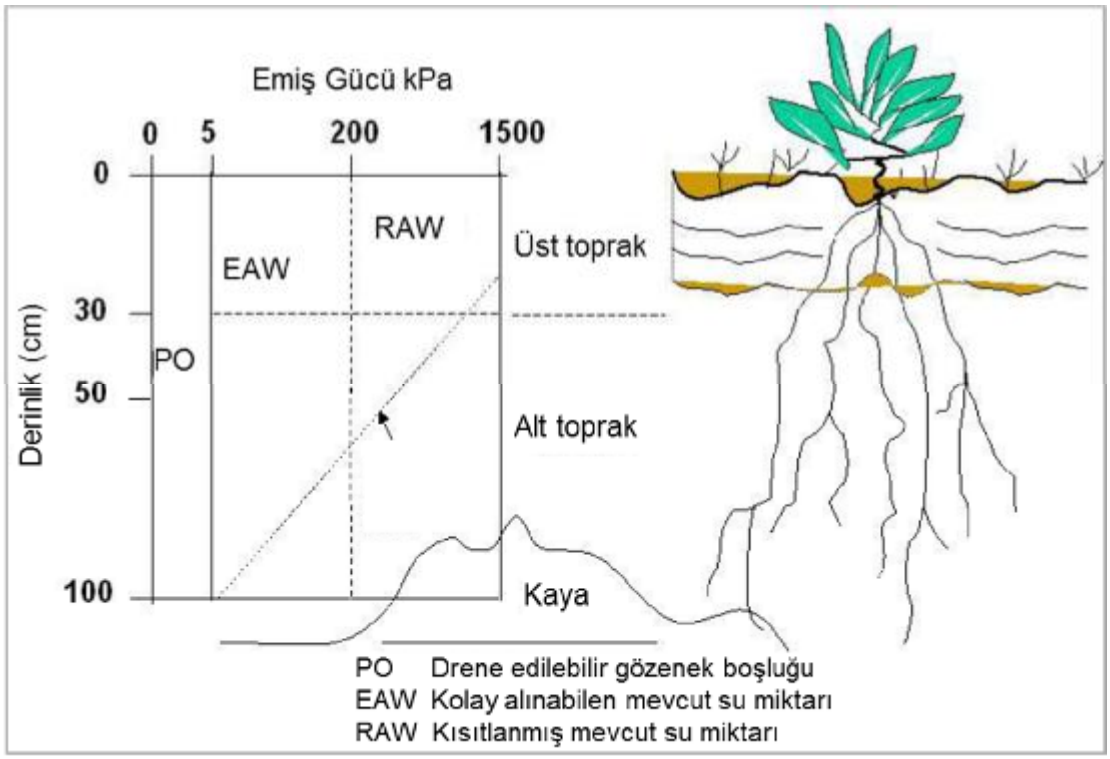
Şekil 4.20. Kabuklanma Haritası



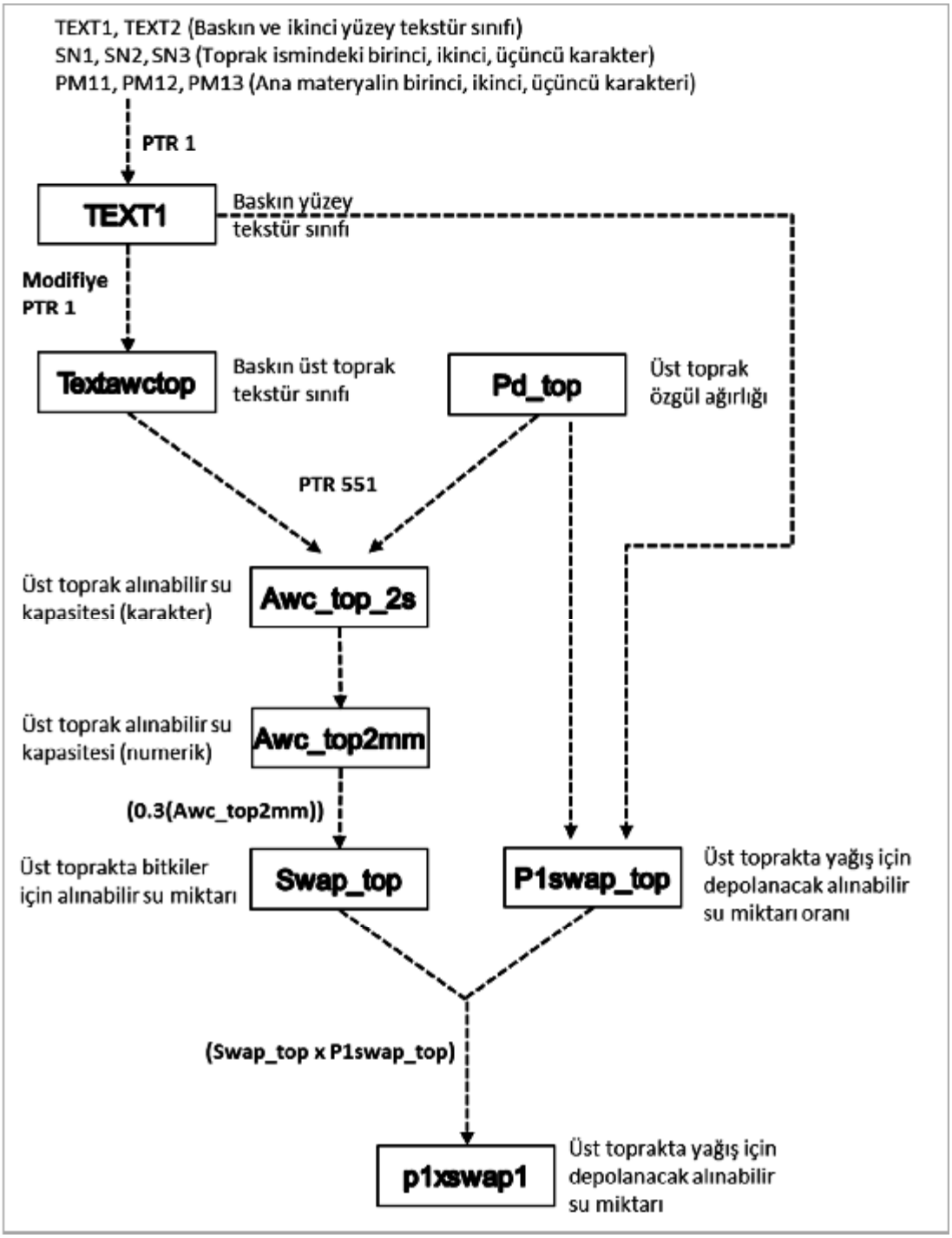
Şekil 4.21. Aşınabilirlik Haritası

Bitkiler için alınabilir su miktarı (0-30 cm ve 30-100 cm);

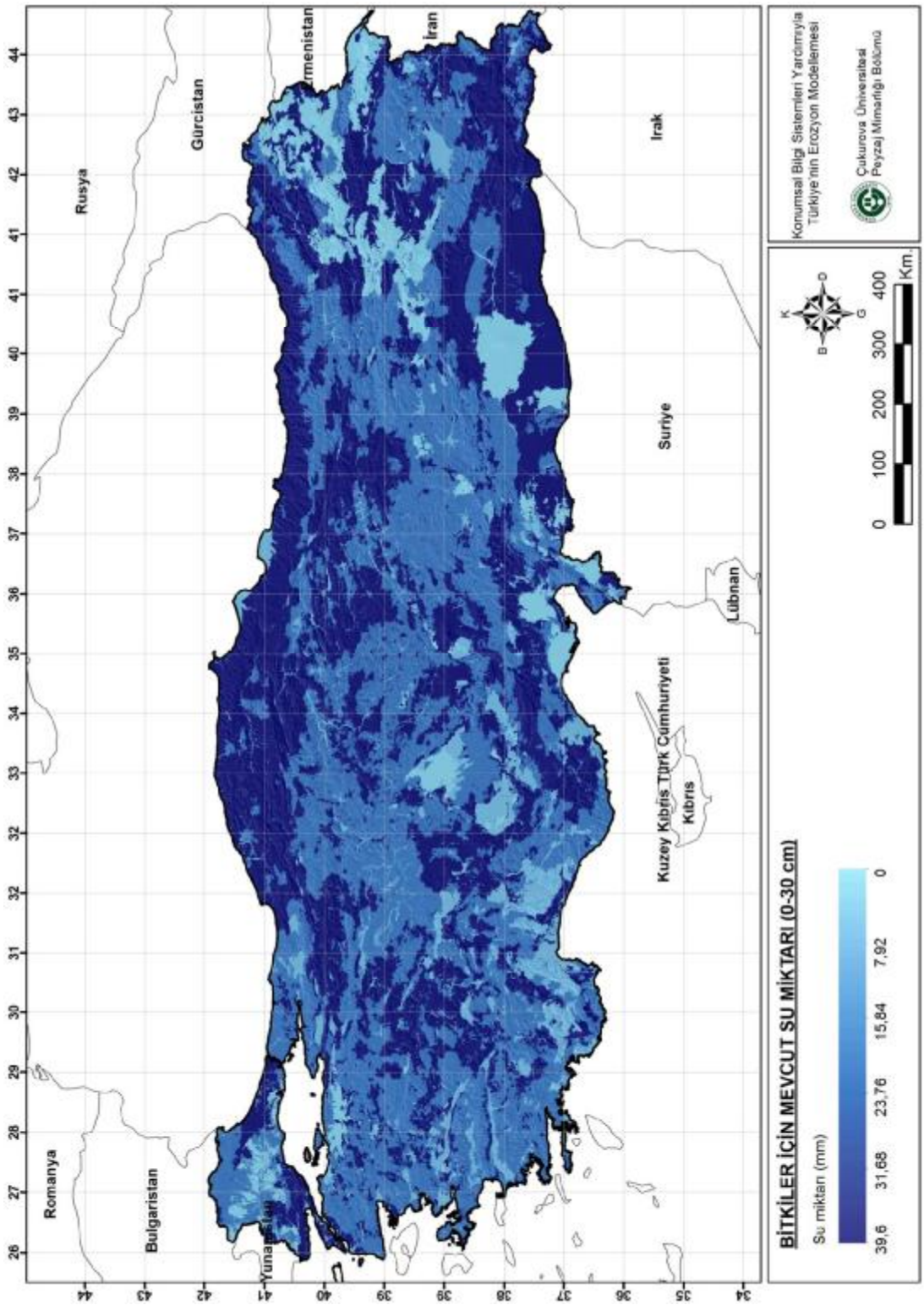
Şekil 4.22'de bitkiler ve drene edilebilir gözenek alanı için toprakta alınabilir su ile ilgili olan toprak-bitki sisteminin ana bileşenin göstermektedir. Bitkiler için alınabilir suyun miktarı bitki köklerinin uzayabileceği toprak derinliğine bağlıdır. Temel olarak su tutma kapasitesi, tarla kapasitesi (5kPa) ve kalıcı solma noktası (1500kPa) arasında tutulan suyun miktarıdır. Ancak bu arazi örtüleri bakımından değişmektedir. Gobin ve ark., (2003) Avrupa Toprak Veri tabanında bulunan toprağın fiziksel ve hidrolik parametreleri yeniden hesaplama için toprak verilerinin su ile ilgili değişkenlerini geliştirilmişlerdir. Bu kapsamda yeni pedotransfer kuralları oluşturulmuştur. 0-30 cm ve 30-100 cm derinlikteki bitkiler için mevcut su kapasitesi için oluşturulan akış şeması Şekil 4.23, Şekil 4.24 Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



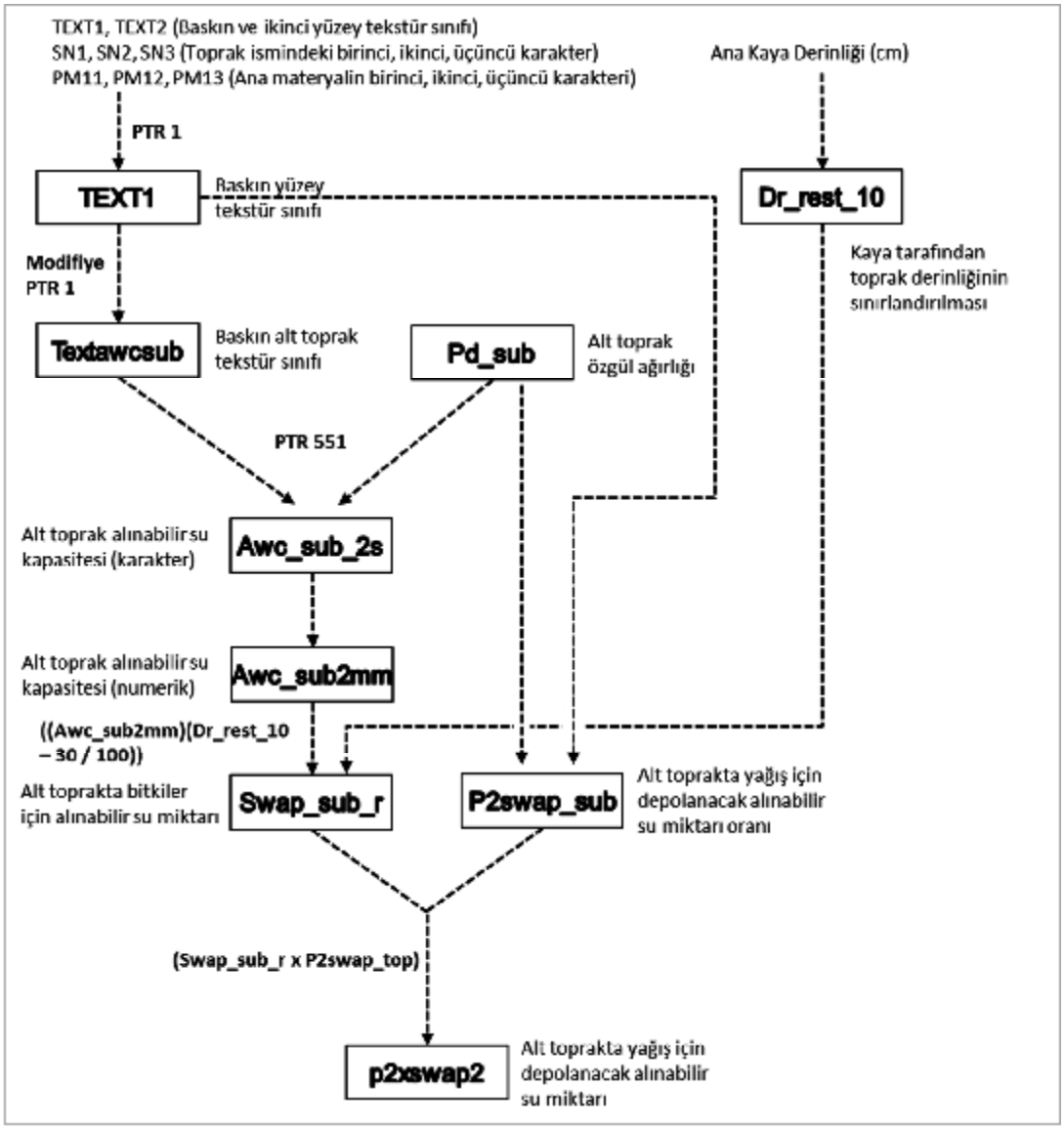
Şekil 4.22. Toprak bitki sisteminde su tutma (Gobin ve ark., 2003).



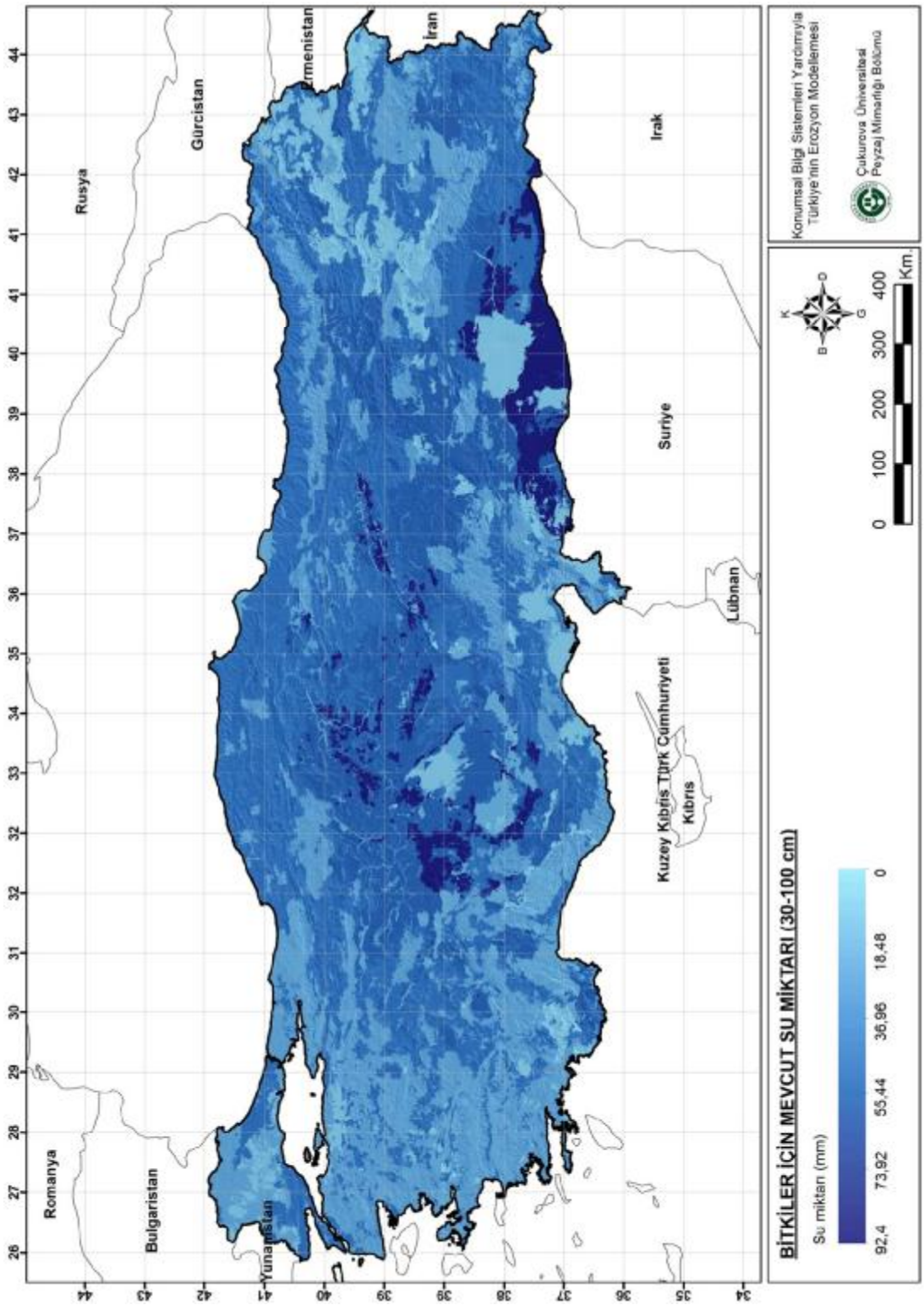
Şekil 4.23. 0-30 cm derinlikteki bitkiler için alınabilir su miktarı akış şeması (Irvine ve Cosmas, 2003).



Şekil 4.24. 0-30 cm toprak derinliğindeki bitkiler için alınabilir su miktarı



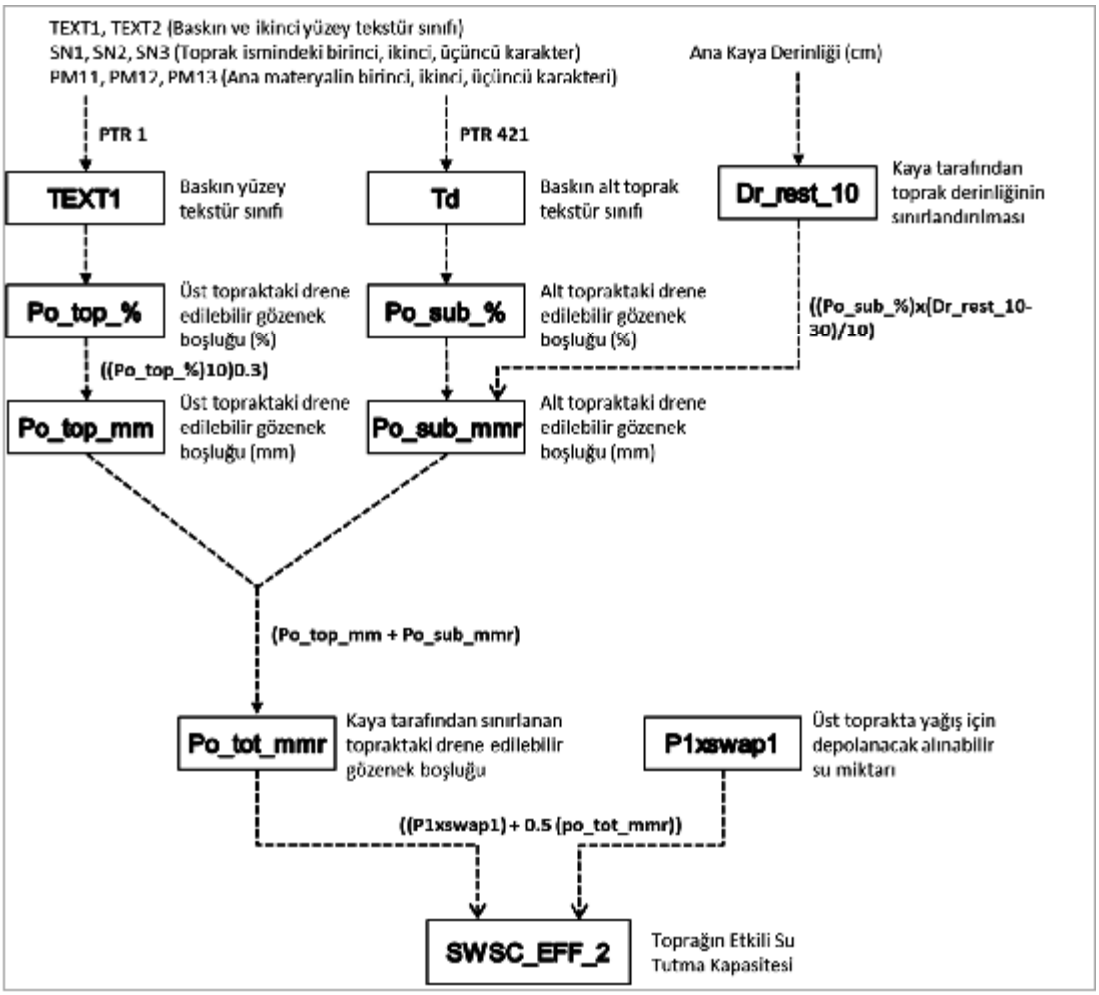
Şekil 4.25. 30-100 cm derinlikteki bitkiler için mevcut su miktarı akış şeması (Irvine ve Cosmas, 2003)



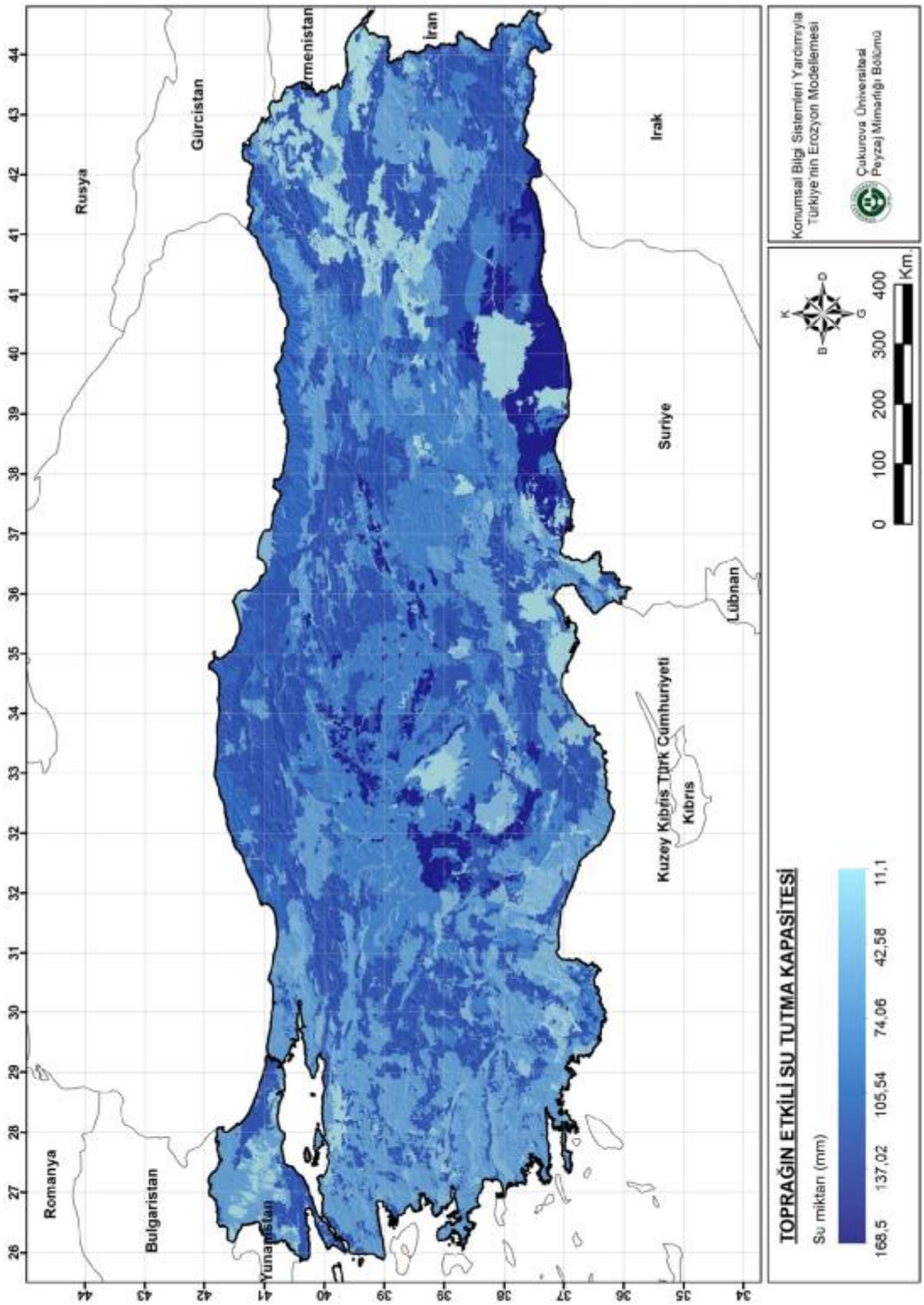
Şekil 4.26. 30-100 cm toprak derinliğindeki bitkiler için alınabilir su miktarı

Toprağın Etkili Su Tutma Kapasitesi;

Toprağın su tutma kapasitesi için PESERA Modelinde hesaplamak için toprağın gözenek boşluğunun ve alınabilir su miktarının hesaplanması gerekmektedir. Toprağın su tutma kapasitesi, yağış sırasında toprağın nem durumu ile yağmur suyunu depolamak için potansiyel denge yüzey akışının başlama olasılığını daha doğru tahmin ettiği için önemlidir. Toprağın etkili su tutma kapasitesi Şekil 4.27'deki gibi pedotransfer kuralından türetilmiştir.



Şekil 4.27. Toprağın Etkili Su Tutma Kapasitesi Akış Şeması (Irvine ve Cosmas, 2003).



Şekil 4. 28. Toprağın etkili su tutma kapasitesi

Kabuk derinliği;

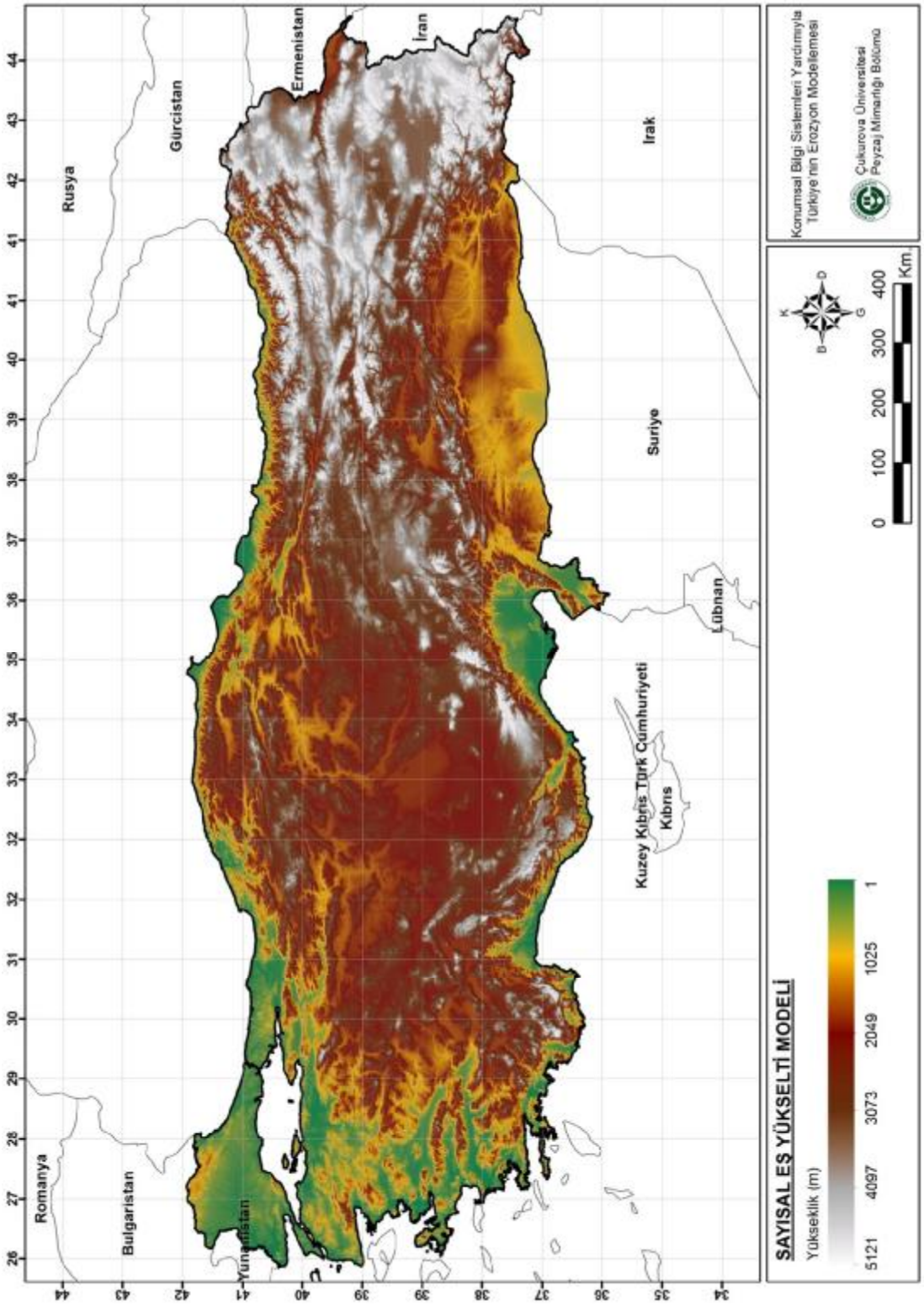
Kabuk derinliği farklı tekstür sınıflarının derinliğini tespit etmek için PESERA Modelinde toprak parametreleri içerisinde girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Kabuk derinliği değerleri kaba tekstürden çok iyi tekstüre doğru değişmektedir (Çizelge 4.26). Bu çalışmada değerler 1:25000 ölçekli tekstür haritasındaki her birim için uygulanmıştır.

Çizelge 4.26. Toprak tekstüründen üretilmiş kabuk derinliği (Irvine ve Cosmas, 2003).

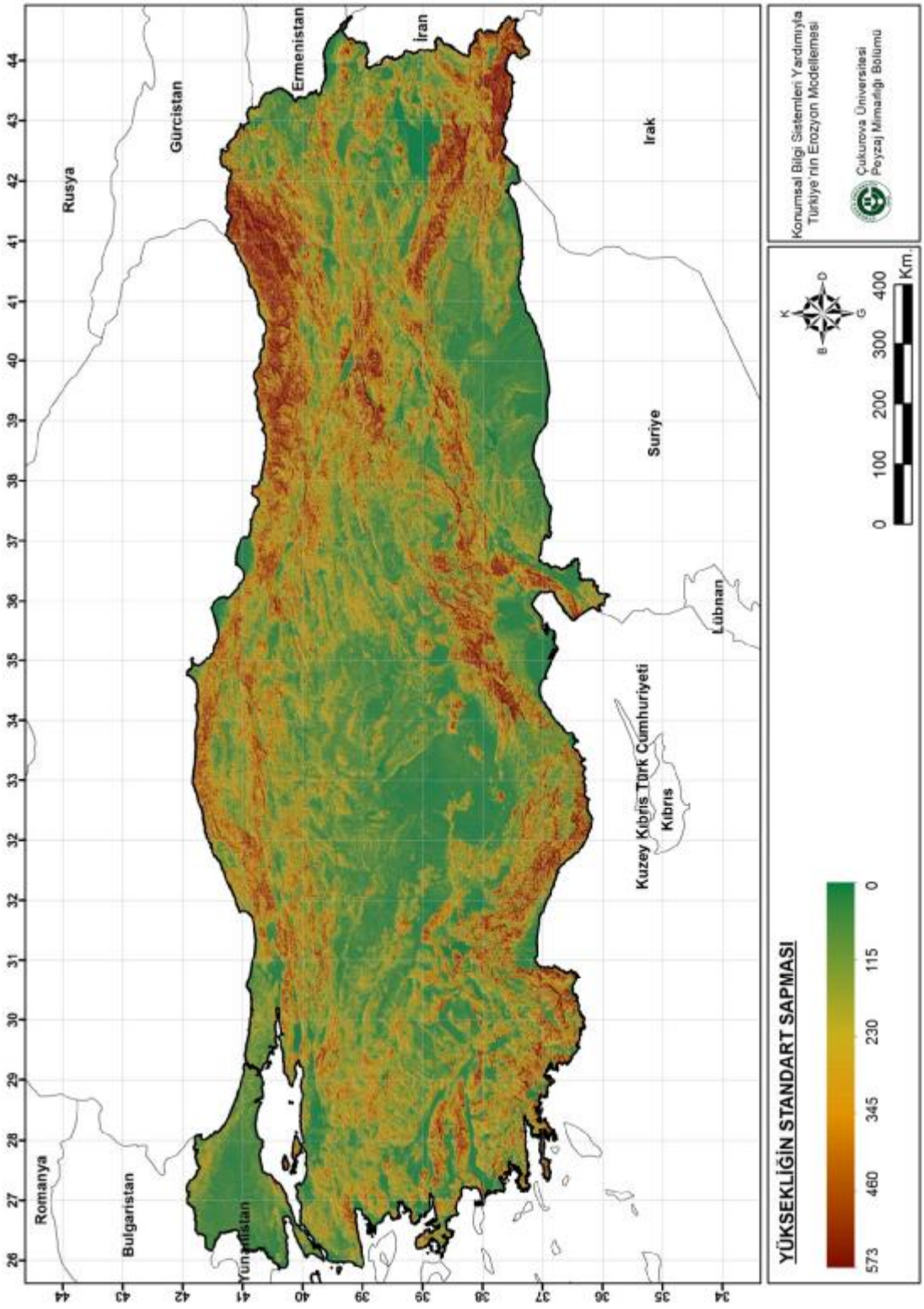
Toprak tekstürü	Kabuk Derinliği (Zm)
Kaba	30
Orta	20
Orta iyi	15
İyi	10
Çok iyi	5
Mineral tekstür yok (Turbalıklar, Kayalıklar)	10

4.3.4. Topografya Değişkeni

Modeldeki gerekli olan topoğrafya değişkeni yüksekliğin standart sapmasıdır. Sayısal yükselti modeli iki kaynaktan 50 m ve 100 m çözünürlükte üretilmiştir. Birinci kaynak olarak 250.000 ölçekli sayısal topografik haritalar kullanılmış, ikinci kaynak olarak da stereo ASTER uydu verileri kullanılarak 30 m çözünürlüğündeki yükseklik haritası kullanılmıştır (Şekil 4.29). 250 m çözünürlüğe dönüştürülen Sayısal yükselti modeli 3x3 piksel içerisinde standart sapması alınmıştır (Şekil 4.30).



Şekil 4.29. Sayısal Eş Yükselti Modeli



Şekil 4.30. Yüksekliğin standart sapma haritası

4.4. PESERA Modelinin Uygulaması

Toprak erozyonu PESERA Modelinde toprak aşınabilirliği (k), yüzey akışı ve iklim/bitki örtüsü potansiyeli ve topografya potansiyelinin entegre edilmesi ile hesaplanmıştır (Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5) (Şekil 4.31).

$$E = K \times L \times W \tag{4.4}$$

Eşitlikte;

E: Toprak kaybı miktarı (ton/hektar/yıl)

K: Aşınabilirlik (mm)

L: Yüksekliğin (m) standart sapmasındaki topografya potansiyeli

W: İklim verileri, bitki örtüsü, su dengesi ve bitki büyüme modelinden hesaplanan yüzey akışı ve iklim/bitki örtüsü potansiyelidir.

$$W = \sum_{r>h} P\ (r - h) \tag{4.5}$$

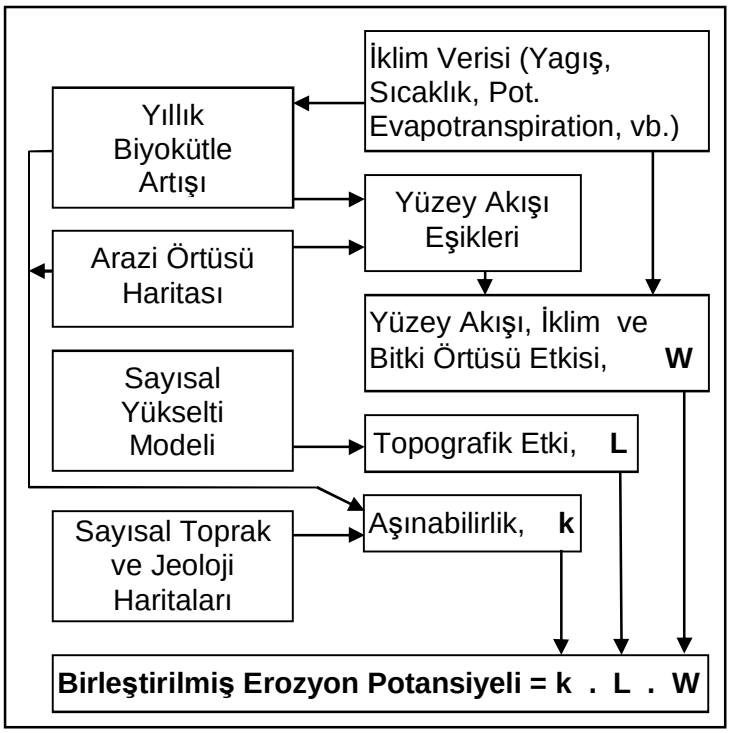
Eşitlikte;

W: Yüzey akışı (mm)

P: Eşik değer üzerindeki yüzey akışı oranı (mm)

r: toplam yağış (mm)

h: eşik değerdir (mm).



Şekil 4.31. PESERA Modeli akış diyagramı

PESERA_GRID modeli, 128 adet grid dosyasını işlenerek 5 aşamada sonuçlar üretilmiştir. Sonuç olarak aylık ve yıllık toprak erozyonu (ton/ha/yıl), aylık yüzey akışı (mm), toprak su eksikliği (mm), vejetasyon (kg/m^2), humus biyokütlesi (kg/m^2) ve önleme yüzdesi (%) haritaları oluşmaktadır (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. PESERA Modeli sonuç verileri (Irvine ve Cosmas, 2003).

Sonuç Parametreleri	Birim	Alt rutin	Tanımlama
Sedi_out	ton/hektar	Erozyon	Erozyon
Runoff	mm	Bitki büyüme Modeli	Yüzey akışı
Deficit	mm	Bitki büyüme Modeli	Toprak su eksikliği
Xint	%	Bitki büyüme Modeli	Önleme yüzdesi
Veg	kg/m^2	Bitki büyüme Modeli	Vejetasyon
Hum	kg/m^2	Bitki büyüme Modeli	Humus biyokütlesi

4.5. PESERA Modelinin Sonuçları

Bölüm 4.4'de açıklandığı gibi model aylık ve yıllık toprak kaybı, aylık yüzey akışı ve toprak su eksikliğinin sonuçlarını üretmektedir. Bu sonuçlardan aylık ve yıllık toprak kayıpları havza boyutunda ve farklı arazi örtüsü bakımından sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada 250 m yersel çözünürlüğe sahip her bir piksel değerine ait erozyon miktarı hektar başına ton cinsinden (ton/ha/yıl) tahmin edilmiştir.

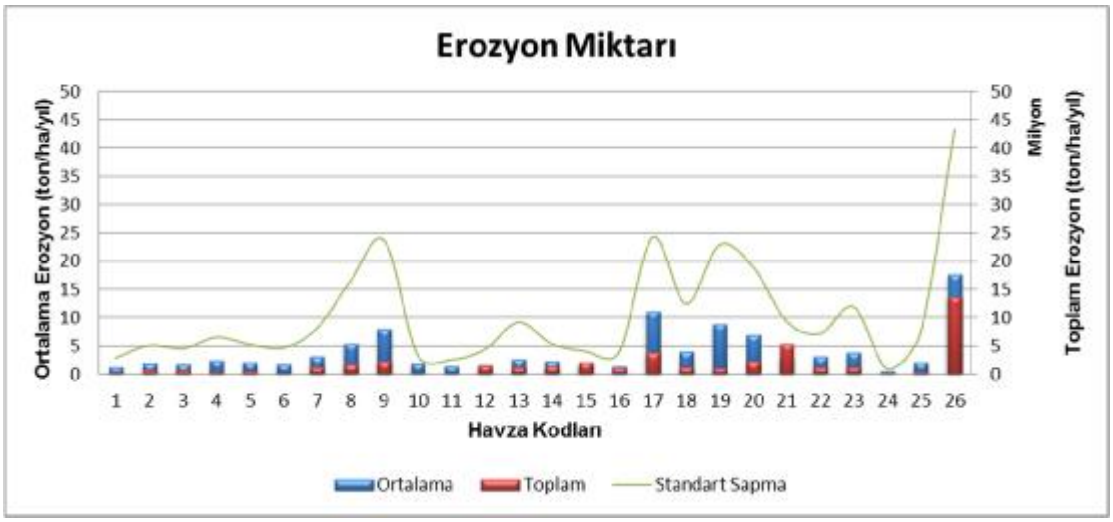
Yıllık Erozyon Miktarı;

Çalışmada yıllık erozyon miktarı 0 ile 1087 ton/yıl arasında hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre ortalama erozyon miktarı 3,88 ton/ha/yıl, standart sapma 15,08 olarak tespit edilmiştir. Toplam erozyon miktarı ise 45669122 ton/yıl olduğu hesaplanmıştır. Model sonucuna göre erozyon riski en yüksek Dicle Havzası (13666170 ton/yıl), en düşük ise Aras havzası (232543 ton/ha/yıl) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.28).

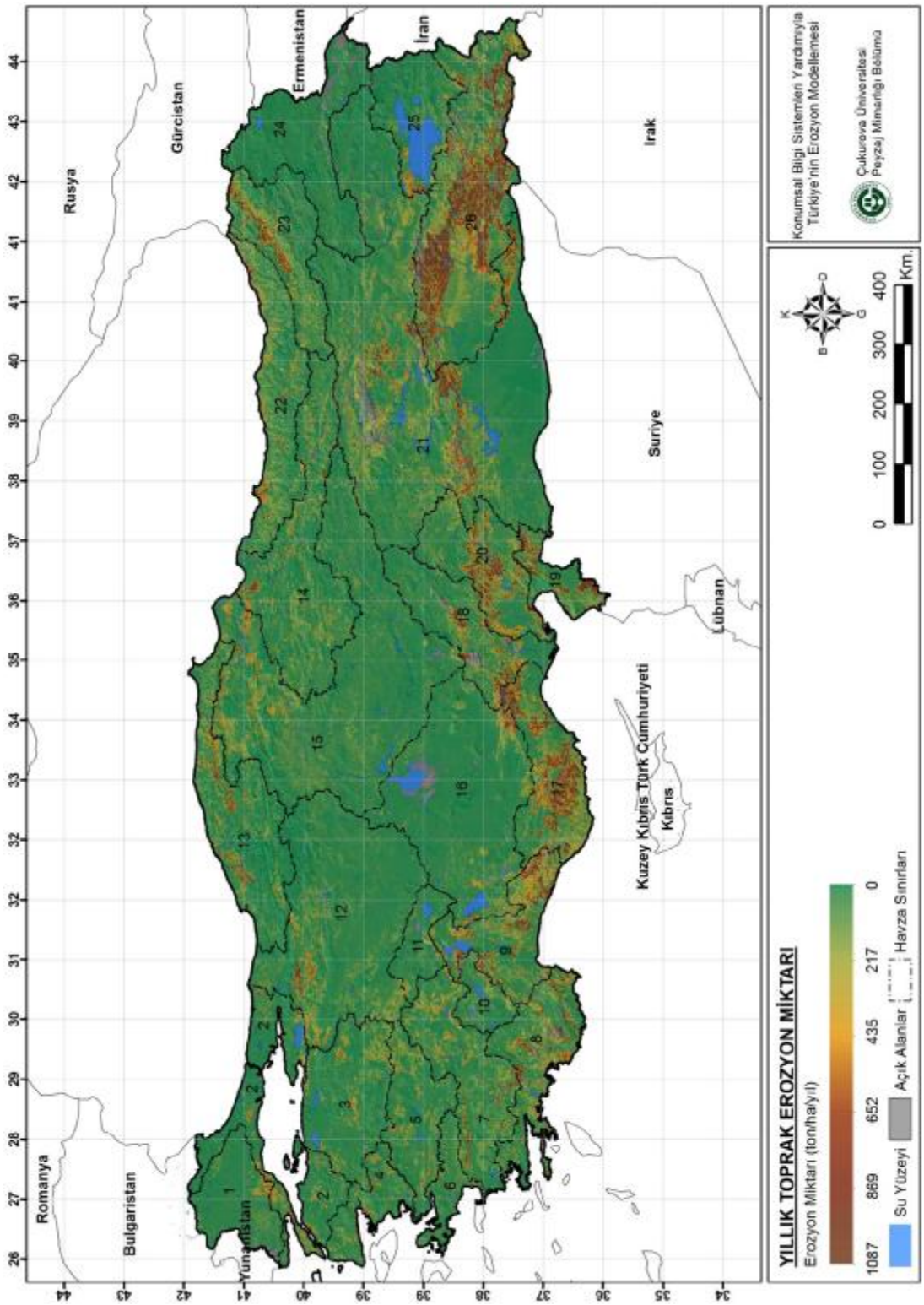
Çizelge 4.28. Model sonucu Türkiye Havzalarındaki erozyon miktarları

Havza Adı	Toplam Alanı (Ha)	Yıllık Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)			Yıllık Erozyon Miktarı (ton/yıl)	Standart Sapma	Toplam Erozyon Miktarı (%)
		Min.	Mak.	Ort.	Toplam		
(01) Meriç Ergene Havzası	1446560	0	65,76	1,24	267454	2,82	0,59
(02) Marmara Havzası	1686190	0	117,82	1,85	636293	5,01	1,39
(03) Susurluk Havzası	2429150	0	109,29	1,74	664137	4,46	1,45
(04) Kuzey Ege Havzası	988287	0	133,13	2,38	369104	6,44	0,81
(05) Gediz Havzası	1715540	0	132,88	2,08	561955	5,21	1,23
(06) Küçük Menderes Havzası	697435	0	147,80	1,72	186254	4,58	0,41
(07) Büyük Menderes Havzası	2602000	0	265,80	3,04	1245638	8,05	2,73
(08) Batı Akdeniz Havzası	2100680	0	540,28	5,27	1659367	16,38	3,63
(09) Antalya Havzası	1953360	0	702,92	7,94	2285091	23,70	5,00
(10) Burdur Göller Havzası	647022	0	86,04	1,85	173330	3,23	0,38
(11) Akarçay Havzası	799542	0	61,13	1,36	163623	2,47	0,36
(12) Sakarya Havzası	5892650	0	331,54	1,58	1475821	4,27	3,23
(13) Batı Karadeniz Havzası	2887070	0	256,25	2,61	1187547	9,09	2,60
(14) Yeşilırmak Havzası	3861560	0	111,26	2,17	1309570	5,28	2,87
(15) Kızılırmak Havzası	8223410	0	172,29	1,63	2079480	3,98	4,55
(16) Konya Kapalı Havzası	5437010	0	232,32	1,31	1036215	3,74	2,27
(17) Doğu Akdeniz Havzası	2235730	0	447,76	11,10	3851460	24,22	8,43
(18) Seyhan Havzası	2168070	0	313,90	3,93	1274215	12,32	2,79
(19) Asi Havzası	783898	0	316,20	8,84	1074998	22,93	2,35
(20) Ceyhan Havzası	2147080	0	549,62	6,88	2293004	18,85	5,02
(21) Fırat Havzası	12182200	0	443,97	2,92	5258770	9,24	11,51
(22) Doğu Karadeniz Havzası	2382610	0	524,58	3,07	1143727	7,10	2,50
(23) Çoruh Havzası	2023900	0	402,28	3,72	1141000	11,79	2,50
(24) Aras Havzası	2792860	0	63,82	0,57	232543	0,86	0,51
(25) Van Gölü Havzası	1797260	0	492,69	2,03	432356	7,45	0,95
(26) Dicle Havzası	5423800	0	1086,57	17,60	13666170	43,30	29,92
Türkiye Genel	77304874	0	1086,57	3,88	45669122	15,08	100

Dicle havzasında engebeliğin çok değişken olması, yüksek yağış alan bölge olması ve aşınabilirlik değerlerinin yüksek olması sonucu yüksek erozyon miktarı görülmektedir. Bu alanlardaki doğal bitki örtüsünün bozulmuş doğal alanlar olması da erozyona katkıda bulunan bir unsur olduğu görülmektedir. Toplam erozyon bakımından ikinci yüksek erozyona sahip (5258770 ton/yıl) havzanın Fırat Havzası olduğu görülmüştür. Fakat ortalamaya bakıldığında bu havzada erozyonun ikinci sırada olmadığı görülmektedir. Bunun nedeninin havzanın çok büyük olması ve minimum ile maksimum arasındaki farkın yüksek bulunmamasıdır. Ortalama erozyon miktarına baktığımızda Dicle Havzasından sonra Asi Havzası ve Antalya Havzası gelmektedir. Yıllık erozyon miktarının en az olduğu Aras havzasında ise ortalama erozyon 0,57 ton/ha/yıl ve toplam erozyon 232543 ton/yıl olduğu hesaplanmıştır (Şekil 4.32, Şekil 4.33).



Şekil 4.32. Havzalarda ortalama erozyon ile toplam erozyon ilişkisi

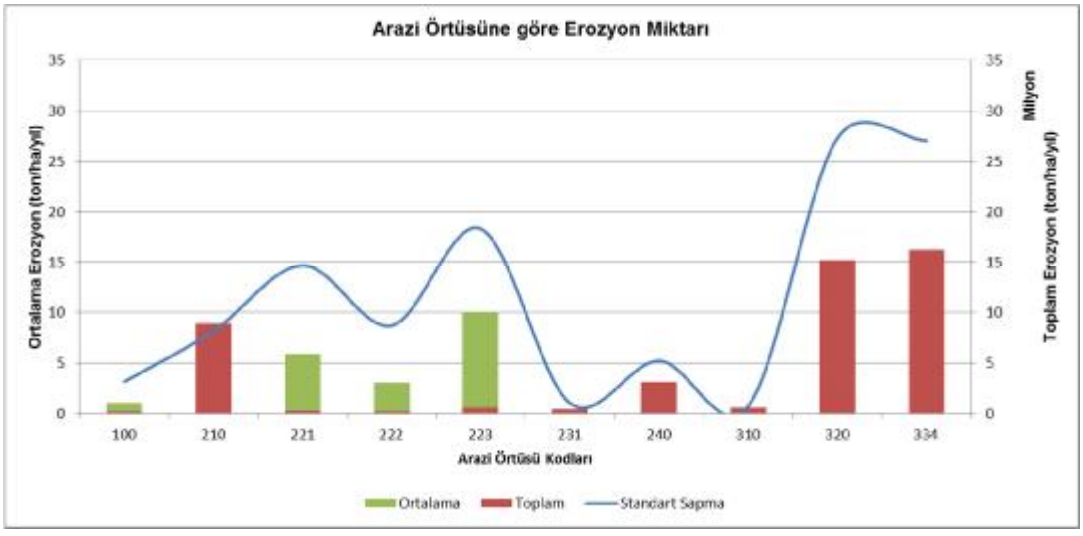


Şekil 4.33. Yıllık Toprak Erozyon Miktarı

CORINE Arazi Örtüsü gruplarına göre model sonuçları değerlendirildiğinde erozyon risk grubu en yüksek çalılık arazi örtüsü ve bozulmuş doğal alanlarda olduğu, en düşük ise ormanlar ve çayır ve meralarda olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.31) (Şekil 4.34). Açık alanlarda ve su yüzeyleri ve sulak alanlarda ise herhangi bir erozyon miktarı hesaplanmamıştır.

Çizelge 4.29. PESERA Arazi Örtüsüne göre Erozyon Sonuçları

PESERA Arazi Örtüsü Kodu	Alan (ha)	Yıllık Erozyon Miktarı				Standart Sapma
		(ton/ha/yıl)			(ton/yıl)	
		Min.	Mak.	Ort.	Toplam	
100	1199460	0,00	116,88	0,99	190075	3,13
210	17807600	0,00	702,92	3,12	8875630	8,14
221	267594	0,25	387,72	5,90	252627	14,66
222	405713	0,00	265,40	3,06	198666	8,68
223	362650	0,20	398,16	10,06	583816	18,33
231	10418500	0,00	120,21	0,25	424836	1,01
240	12331600	0,00	524,58	1,58	3120890	5,20
310	12112700	0,00	60,03	0,29	569029	0,73
320	8355550	0,00	746,78	11,36	15187500	27,29
334	10227400	0,00	1086,57	9,95	16275400	27,06
330	2321831	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	1785950	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

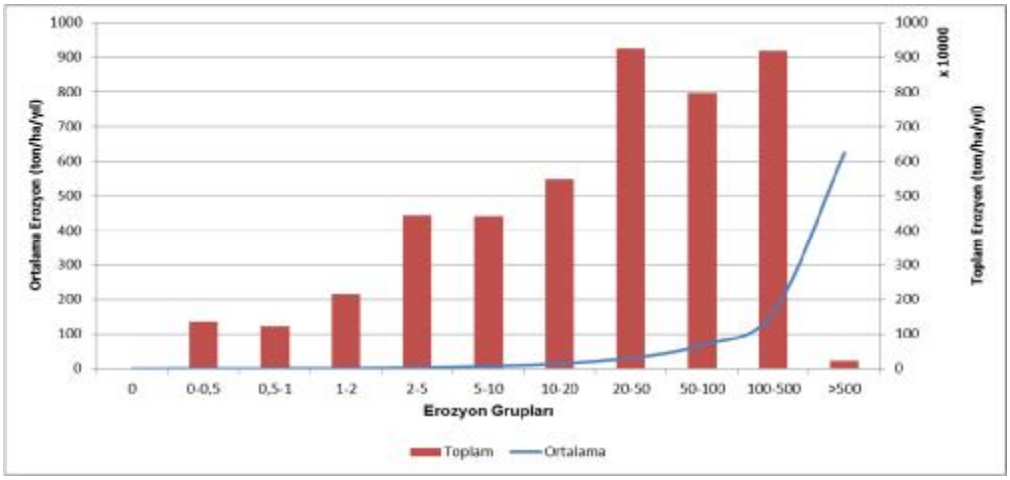


Şekil 4.34. Arazi örtülerine göre erozyon miktarı istatistikleri

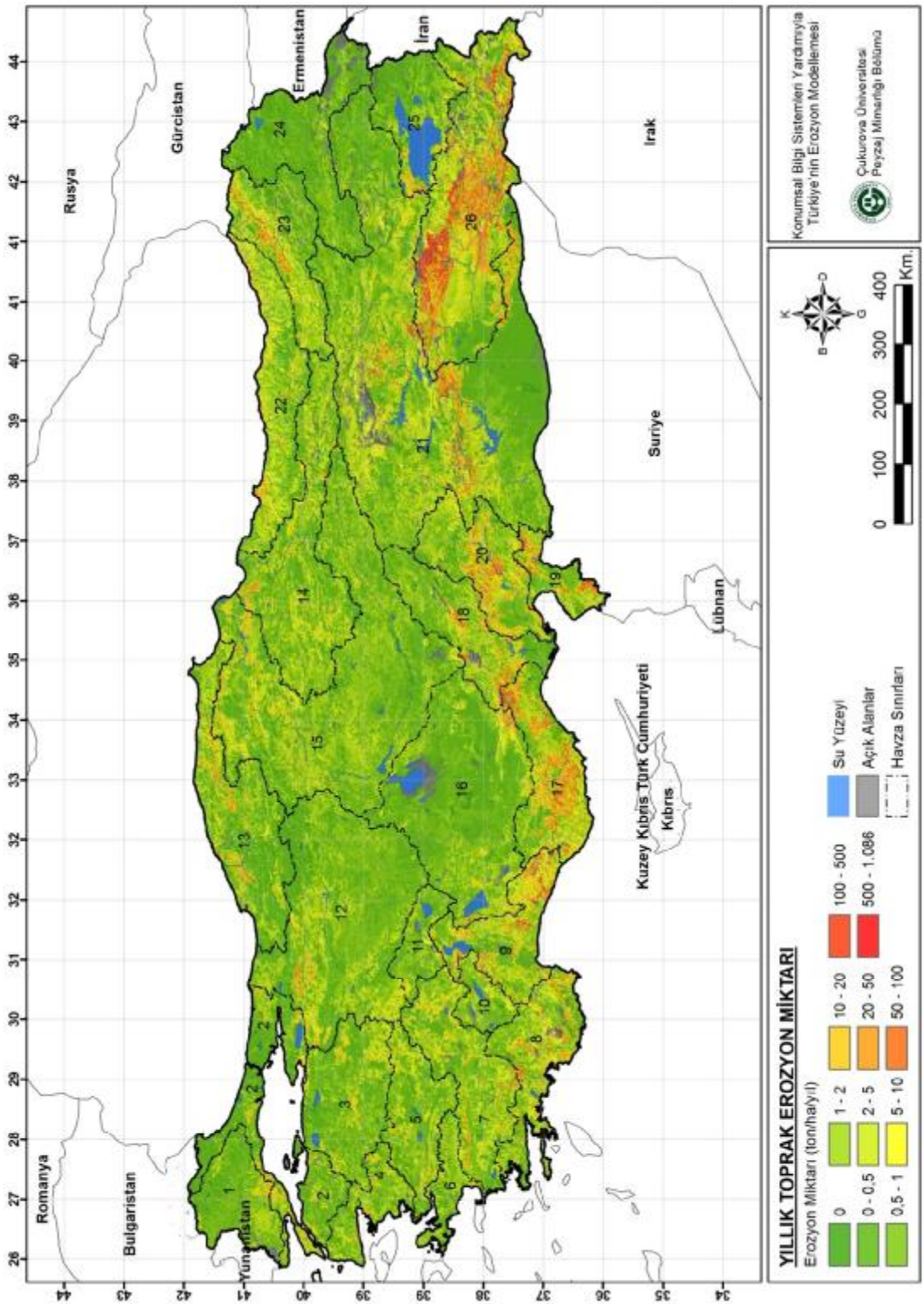
Toplam yıllık erozyon miktarlarının kategorik olarak değerlendirildiğinde çalışma alanının % 1,86'lık bölümünde erozyonun olmadığı, % 46,32'lik kısımda 0-0,5 ton/ha/yıl erozyon olduğu, %14,40'lık kısımda 0,5-1 ton/ha/yıl erozyon olduğu belirlenmiştir. Bu alan Türkiye'nin % 62,57'lik bölümünü oluşturmaktadır. Çalışma alanının %24,75'lik kısmında erozyon miktarı 1-5 ton/ha/yıl arasında olduğu hesaplanmıştır. 5-50 ton/ha/yıl arasındaki erozyon miktarı alanın %11,20'sinde, 50 ton/ha/yıl ve üzeri erozyon miktarı alanın 1,47 sini kapsamaktadır (Çizelge 4.32) (Şekil 4.35, Şekil 4.36).

Çizelge 4.30. Çeşitli erozyon gruplarına göre model sonuçları

Erozyon Miktar Grupları (ton/ha/yıl)	Alan (ha)	Yıllık Erozyon Miktarı		Standart Sapma	Alanın Yüzdesi (%)
		Ort. (ton/ha/yıl)	Toplam (ton/yıl)		
0	1364540	0,00	0	0,00	1,8568
0-0,5	34038900	0,25	1354150	0,11	46,3186
0,5-1	10580700	0,72	1214970	0,14	14,3977
1-2	9401410	1,43	2146790	0,28	12,7930
2-5	8787790	3,15	4431770	0,84	11,9580
5-10	3938870	7,00	4413190	1,41	5,3598
10-20	2442430	14,07	5497860	2,83	3,3235
20-50	1852160	31,19	9242870	8,36	2,5203
50-100	722025	68,94	7964050	13,75	0,9825
100-500	357500	160,51	9181140	61,22	0,4865
>500	2319	624,71	231766	113,63	0,0032



Şekil 4.35. Erozyon gruplarına göre ortalama ve toplam erozyon istatistikleri



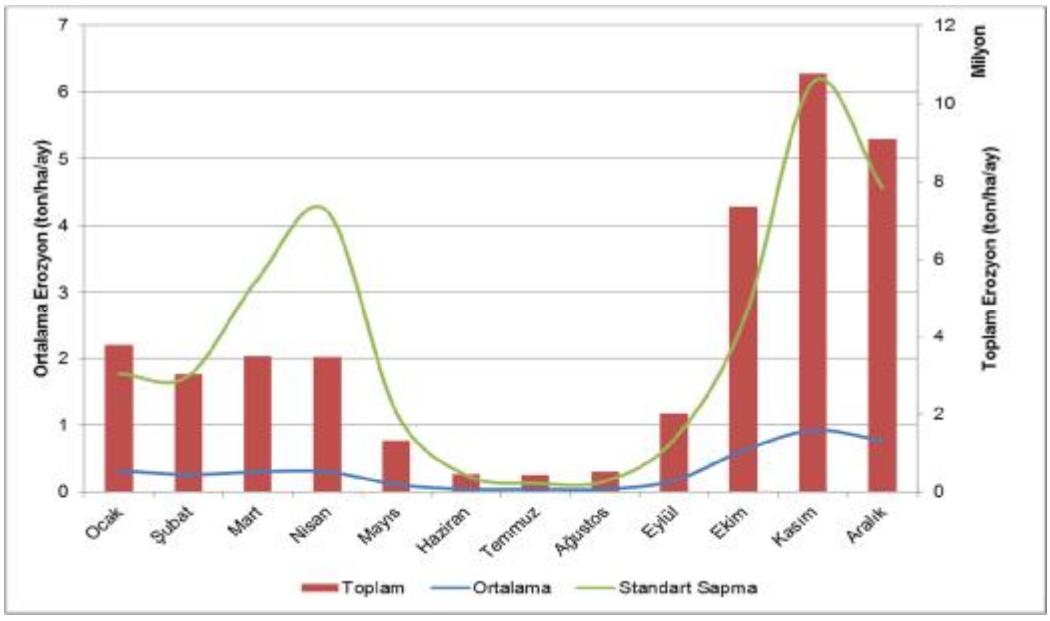
Şekil 4.36. Gruplandırılmış yıllık toprak erozyon miktarı

Aylık Erozyon Miktarı;

Çalışmada aylık erozyon miktarı ton/ha/ay olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre toplam erozyon miktarı (ton/ay) en yüksek Kasım ayında en düşük ise Temmuz ayında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.33) (Şekil 4.37).

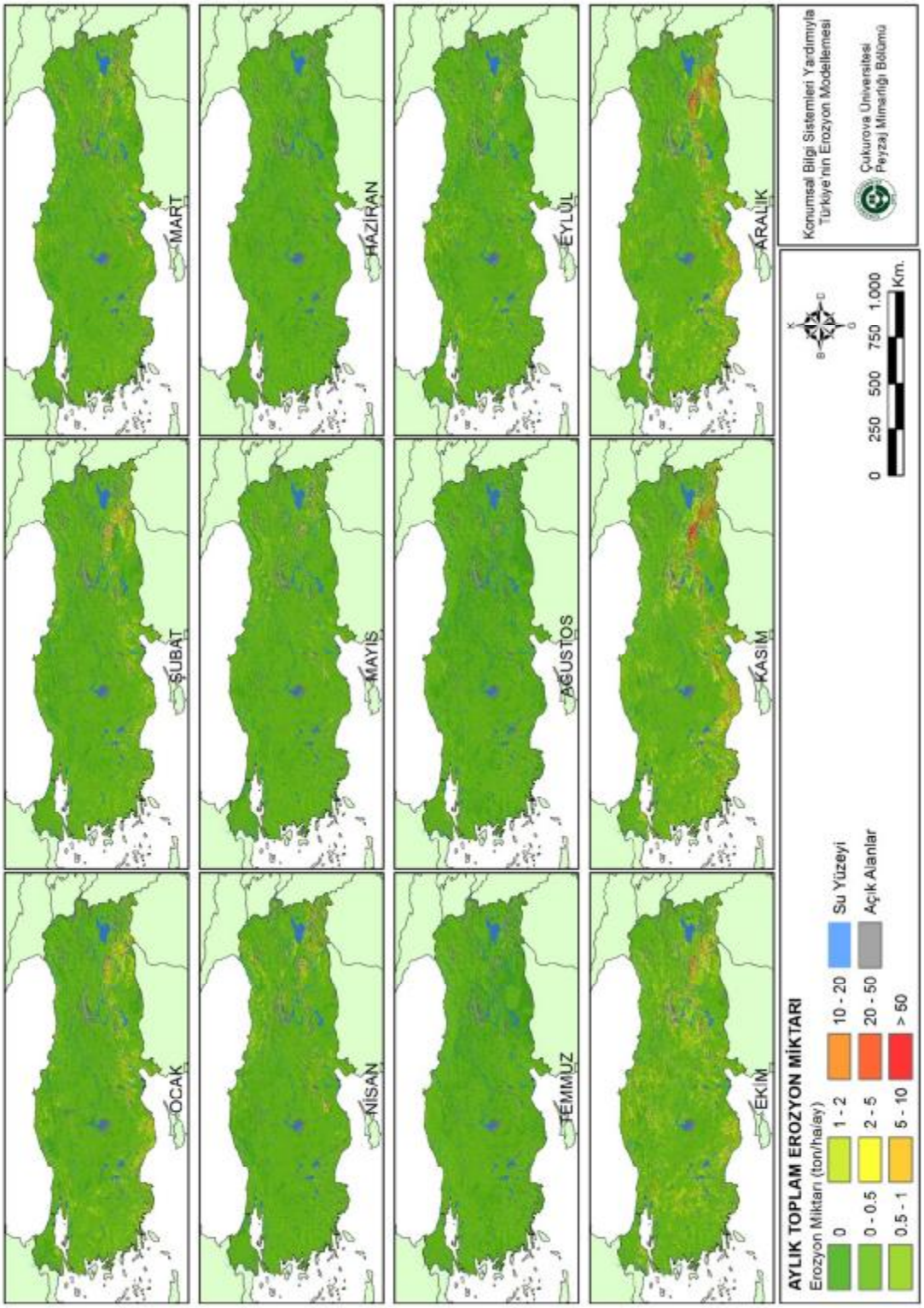
Çizelge 4.31. Aylık Erozyon istatistikleri

Aylar	Aylık Erozyon Miktarı (ton/ha/ay)			Aylık Erozyon Miktarı (ton/ay)	Standart Sapma
	Min.	Mak.	Ort.	Toplam	
Ocak	0	142,75	0,32	3772129	1,45
Şubat	0	161,43	0,26	3017571	1,48
Mart	0	448,64	0,30	3489605	2,91
Nisan	0	984,07	0,30	3468697	3,92
Mayıs	0	174,05	0,11	1316692	1,07
Haziran	0	89,35	0,04	455187	0,21
Temmuz	0	10,38	0,04	432822	0,09
Ağustos	0	7,56	0,04	523214	0,12
Eylül	0	55,23	0,17	2016013	0,62
Ekim	0	139,24	0,62	7347262	1,95
Kasım	0	264,20	0,92	10766184	5,23
Aralık	0	347,15	0,77	9068952	3,80



Şekil 4.37. Aylık toplam ve ortalama erozyon ilişkisi

Grafikten görüldüğü gibi Nisan ve Kasım aylarından sonra standart sapmanın ve toplam erozyon miktarın azaldığı görülmektedir. Nisan ayından sonra havaların ısınması ve yağışların azalmasının etkisi, Kasım ayından sonra ise havaların soğuması ve yüksek yerlerdeki yağışın kara dönüşmesinden dolayı değerlerin azaldığı görülmektedir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında değerlerin düşük, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise değerlerin yüksek olduğu görülmektedir. Standart sapmanın yüksek olduğu Nisan ve Kasım aylarında da bölgesel ve kısa süreli yoğun yağışların etkili olduğu görülmektedir. (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Aylık toplam erozyon miktarı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de toprak kaybı sürecinin en önemli etkeni erozyondur. Arazi engebeliği, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin etkileşimi sonucu oluşan doğal erozyonun yanı sıra, insanın doğaya müdahalesi temeline dayanan yapay etkenler sonucunda erozyon bir afet niteliğine dönüşmektedir. Erozyonun en önemli sebeplerinden bir tanesi de bilgisizliktir. Özellikle de tarım alanlarında bilinçsiz kullanımdan dolayı kaynaklanmaktadır. Bunlardan erozyon oluşumuna katkı sağlayan yöntemlerden bir tanesi tarlaların eğim yönünde sürülerek toprağın yerçekimi, su veya rüzgarın etkisiyle taşınmasıdır. Anızların yakılması da toprağın yapısı ve topraktaki canlılara zarar vererek dolaylı yollardan erozyona sebep olmaktadır.

Erozyon toplumsal sorunların artmasına da yol açmaktadır. Yanlış arazi kullanımı, tarım alanlarının verimini azaltmaktadır. Doğduğu ve büyüdüğü yerde geçim şansı ortadan kalkan insanların, kentlere göçmekten başka seçeneği kalmamaktadır. Köyden kente göç ise, alt yapının yetersiz olduğu kentlerdeki ekonomik ve toplumsal sorunları daha da ağırlaştırmaktadır. Barajlar ve yeraltı suları da, erozyondan etkilenmektedir. Yerinden kopup giden topraklar, baraj göllerini doldurarak su depolama hacimlerini azaltmakta ve barajların ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Erozyon sonucunda toprakların ana kayaları açığa çıkmaktadır. Faydalı toprak katmanlarını kaybeden arazilerde çölleşme başlamaktadır. NASA'nın yaptığı bir araştırmaya göre, erozyonun şiddetlenerek devam etmesi halinde Türkiye'nin büyük bir bölümü 55 yıl sonra çöl olacaktır. Toprakları çölleşen bir ülkenin temel sorunları, açlık, susuzluk, işsizlik ve iç göç olacaktır.

Erozyon tespitinde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması olgusunu değerlendirecek olursak; erozyon değerlendirme çalışmalarında kullanılan toprak haritalarının ayrıntılı şekilde tamamlanmasının ve sürekli güncellenmesinin, erozyon araştırmalarının sonuçlarının doğruluğunu artıracağı düşünülmektedir. Ülkemizde toprak konusunda çalışan devlet kurumlarının oluşturacakları toprak bilgi bankası ile erozyonla mücadelede daha etkin çözümler üretilebilecektir. Erozyon sonucu

meydana gelen toprak kaybının ve taşınan sediment miktarlarının bilinmesi, toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik havza çalışmaları için önemli bir ölçüttür.

Çalışma kapsamında erozyon modelleme için PESERA yöntemi, Avrupa ülkelerinde uygulanan ve geliştirilen bölgesel ölçekli bir model olduğundan bu çalışmada kullanılmıştır. En önemli avantajları böylesi büyük alanlar için uygulanabilir olmasıdır. Modelde çok sayıda veri olması ve dosya büyüklüğünün yüksek olması modelin dezavantajından sayılabilir. Bu çalışmada kullanılan 128 adet ve 250 m yersel çözünürlüğe sahip girdi verilerinin oluşturulması sonucunda dosya büyüklüğü yüksek olmaktadır. Bu verilerin oluşturulmasında ve uygulanmasında uzaktan algılama verilerinden faydalanılmıştır ve CBS ortamında çok daha kolay ve etkin sonuçlar sağlandığı görülmüştür.

TEMA'nın verilerine göre Türkiye'deki toprakların %63'ü çok şiddetli ve şiddetli erozyona sahip olduğunu, erozyon ile yılda yaklaşık 1,4 milyar ton kaybedildiğini belirtmektedir. Tarım topraklarında ise yılda 500 milyon ton verimli toprak kaybedildiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada ise ülke yüzeyinden bir yılda kaybedilen toprak miktarı yaklaşık 46 milyon ton olduğu tahmin edilmiştir. Sadece tarım alanlarından kaybedilen verimli toprak miktarı ise yaklaşık 13500 milyon ton/yıl'dır. Buda erozyonun %30'unun tarım alanlarında olduğu açıkça göstermektedir. Geriye kalan % 68'lik kısmı çalılık ve bozulmuş orman alanlarında, %2'lik kısmı ise ormanlar ve yerleşim alanlarında olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre Türkiye'nin kara yüzeylerinin %1,86'lık kısımda erozyonun olmadığı, %62,57'lik kısmında 0-1 ton/ha/yıl arasında, %24,75'lik kısmında ise erozyon miktarı 1-5 ton/ha/yıl arasında olduğu hesaplanmıştır. 5-50 ton/ha/yıl arasındaki erozyon miktarı alanın %11,20'lik kısmını, 50 ton/ha/yıl ve üzeri erozyon miktarı ise alanın %1,47'sini kapsadığı hesaplanmıştır.

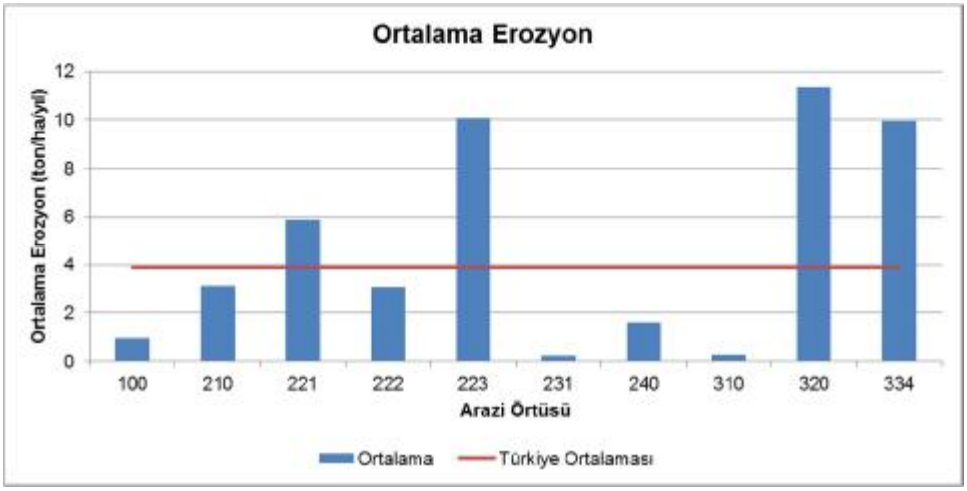
Havzalar bakımından ülkemizdeki toplam erozyonun %30'unu Dicle Havzası ve %12'sini Fırat Havzası, %8'ini ise Doğu Akdeniz Havzası oluşturmaktadır. Bu üç havzanın toplamı Türkiye'nin toplam erozyon miktarının yarısını oluşturmaktadır. Bu alanlardaki erozyonun oluşmasında etkili olan en önemli etkenlerden yağış miktarının fazla olduğu, engebeliğin ve aşınabilirlik faktörünün yüksek olduğu

yerlerde ve bozulmuş doğal alanlar gibi erozyon riskini yüksek oranda etkileyen faktörlerin bir arada bulunmasının sonucunda bu havzalardaki erozyon miktarı yüksek bulunmuştur. Burdur Göller Havzası ve Akarçay Havzasında ise toplam yağışın düşük olmasının yanında engebeliğin az olması havzalardaki erozyon riskini azaltmakta büyük rol oynamıştır.

Ortalama erozyon bakımından havzaların geneline baktığımızda 19 havzanın Türkiye genel ortalamasının altında olduğu, 6 havzanın ise ortalamanın üzerinde olduğu görülmüştür. Ortalamanın üzerinde bulunan Dicle havzası (17,60 ton/ha/yıl), Doğu Akdeniz havzası (11,10 ton/ha/yıl), Asi havzası (8,84 ton/ha/yıl), Antalya havzası (7,94 ton/ha/yıl), Ceyhan havzası (6,88 ton/ha/yıl) ve Seyhan havzasından (3,93 ton/ha/yıl) Dicle havzası dışındakiler Akdeniz Bölgesini temsil etmektedir. Bu da Akdeniz Bölgesi ve Dicle havzasındaki erozyon miktarının ülke ortalamasını artırdığını ortaya çıkarmaktadır.

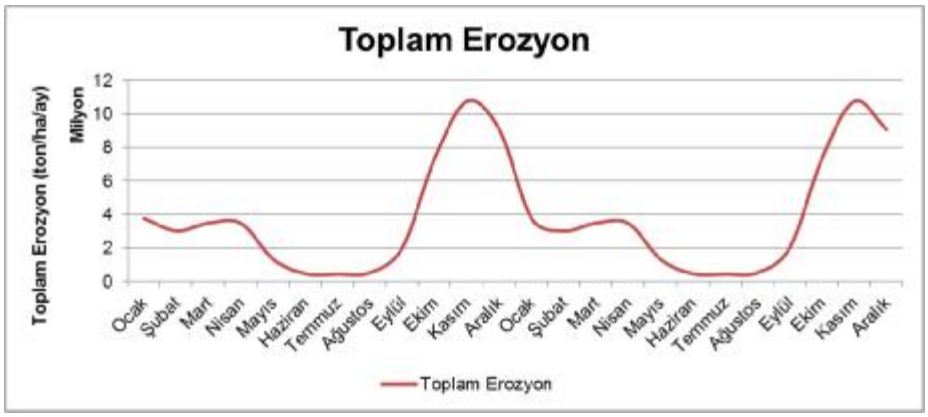
Çalışma alanında CORINE Arazi Örtüsü bakımından ortalama erozyon miktarlarına göre en yüksek çalılık alanlarda, bozulmuş doğal alanlarda ve zeytinliklerde olduğu görülmüştür. Bu alanların yüksek eğimli alanlarda daha çok bulunması ve yüzey kapalılığın az olmasının sonucunda yüksek erozyon görülmektedir. Bu alanlarda erozyon önleme çalışmalarına öncelik verilmesi sonucunda ülkemizdeki toplam erozyon miktarında keskin düşüşler yaşanması beklenen bir sonuç olacaktır.

Ortalama erozyon sonuçlarına göre Türkiye ortalamasının üzerinde çalılık (11,36 ton/ha/yıl), zeytinlik (10,06 ton/ha/yıl), bozulmuş doğal alanlar (9,95 ton/ha/yıl) ve bağlar (5,90 ton/ha/yıl) arazi örtüsünün olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Arazi örtüsüne göre ortalama erozyon dağılımı

Aylık erozyon miktarı sonuçlarına göre yağışların başladığı Eylül ayından itibaren erozyon miktarının Kasım ayına kadar arttığı gözlemlenmiştir. Kış aylarına gelindiğinde yağışın kara dönüşmesi ve yüzey akışının düşük olmasından dolayı erozyon oranlarında düşüş gözlenmektedir. Nisan ayında ise karların erimesiyle birlikte su rezervlerinin dolması ile yüzey akışına dönüşen kar suları ile yağışların başlaması sonucunda bir miktar artış gözlenmektedir. Yaz aylarında ise sıcaklığın artıp, yağışların azalmasından dolayı oluşan erozyon miktarı en düşük seviyelere gerilemektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.2. Aylık toplam erozyonun döngüsü

Bu çalışma sonucunda erozyon sonucu meydana gelen toprak kaybının ve taşınan sediment miktarlarının bilinmesi, toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesine

yönelik havza çalışmaları için önemli bir ölçüttür. Bu çalışmada konumsal bilgi teknolojileri, yer verileri ile birlikte kullanılarak, arazi kullanımları ve farklı iklim koşulları altında oluşan erozyonun ülkemiz genelinde modellenerek arazi örtüsü/kullanımı ve havza bazında değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma alanına göre çayır ve meralar için kalibrasyon yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan verilere göre sonuçların mantıklı ve yersel olarak doğru yerlerde olduğu görülmüştür. Yersel miktar doğrulaması bir sonraki aşama olarak planlanmıştır.

KAYNAKLAR

AKALAN, İ., 1983. Toprak ve Su Muhafazası. A.Ü. Zir. Fak. Yay. No: 873, Ders Kitap No: 238, Ankara. 42 s.

ALLEN, R.G., DIRK RAES, L.S.P, MARTIN SMITH, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines For Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage. s. 58.

AMORE, E., MODICA, C., NEARING, M.A. and SANTORO, V.C., 2004. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins Journal of Hydrology, s. 100-114.

ANONİM, 2003. Erozyonla Mücadele (Tema Eğitim Semineri Notları) Tema Yayınları. 297 s.

ANONİM. 1996. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknikleri Bazı Erozyon Haritalama Metodolojisinde Kullanımı. Dalaman Pilot 131/B. 83 s.

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

ATALAY, İ., 1997. Türkiye Coğrafyası, Ege Üniversitesi yayınları.

ATALAY, İ., 2000. Türkiye Coğrafyası ve Jeopolitiği, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.

AYDAY, C., ALTAN, M., YÜKSEL, M., TÜRE, C., KARAS, E. ve DENGİZ, O., 1997. Küçükelmalı-Bilecik gölet havzasının gerçek erozyon risk haritasının uzaktan algılama ve cografi bilgi sistemleri yöntemleri kullanılarak hazırlanması, Arastırma projesi, No:1997/15, Anadolu Üniversitesi, Eskisehir.

BASAYİĞİT, L., DİNÇ, U., 2010. Prediction of Soil Loss in Lake Watershed Using GIS: A Case Study of Egirdir Lake, Turkey. National & Environment Sciences. NES 1-11.

BAYRAMİN, İ., G. ERPUL, H.S. ÖZTÜRK, E. ERDOĞAN, A. UĞURLU, A. KESİM. 2006. Türkiye'de Erozyon Oluşturma Gücünü Gösteren Yağış İndislerinin Belirlenmesi. TÜBİTAK Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik Araştırma Grubu (TOVAG) Proje No: TOVAG 104 O 444, Ankara, 100s.

BAYRAMİN, İ., O. DENGİZ, O. BAŞKAN, M. PARLAK. 2003. Soil Erosion Risk Assessment with ICONA Model, Case Study: Beypazarı Area. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27:105-116.

BOHM, P., GEROLD G., 1995. Pedo-hydrological and sediment responses to simulated rainfall on soils of the Konya Uplands (Turkey). Catena 25(1–4), 63–75.

BOUMA J., VAN LANEN, H.A.J., 1986. Transfert functions and threshold values : from soil characteristics to land qualities. In proceedings of the international workshop on quantified land evaluation procedures. 27/04 - 2/05/1986, Washington DC. USA, 106-110.

BROWN, L., ve E. WOLF., 1984. Soil erosion: Quiet crisis in the world company. Worldwatch paper 60. Washington, D.C.: Worldwatch Institute.

BRYAN, R.B., CAMPBELL LA 1986. Runoff and sediment discharge in a semi-arid drainage basin. Zeitschrift fu¨ r Geomorphologie 58, 121–143.

BURING, P. 1981. An Assessment of Losses and Degradation of Productive Agricultural Land in the World. Working Group on Soils Policy, Food and Agriculture Organization, UN Rome, Italy. 120 p.

BÜTTNER, G., FERANEC, J., JAFFRAIN, G., 2002. Corine Land Cover Update 2000. Technical guidelines. Technical Report 89, European Environment Agency.

CAMPBELL, G.S., 1985. Soil physics with Basic. Elsevier Amsterdam.

CEC, 1993. CORINE Land Cover; guide technique, Report EUR 12585EN. Office for Publications of the European Communities. Luxembourg,. 144 pp

CERDA, A., 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in Eastern Spain. Soil Science Society of America Journal 63, 362–368.

CLEVERS J.G.P.W., ZURITA MILLA, R., SCHAEPMAN, M.E., BARTHOLOMEUS, H.M., 2004. Using Meris On Envisat For Land Cover Mapping, ENVISAT/ERS Symposium 6-10 September 2004, Salzburg, Austria.

CORINE, 2006. CORINE Arazi Örtüsü Sayısal Haritası, Çevre ve Orman Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Şubesi. (http://corine.cevreorman.gov.tr/)

CORWIN, D.L. and R.J. WAGENET., 1996. Applications of GIS to the Modelling of Non-point Source Pollutants in the Vadose Zone: A Conference Overview. Journal of Environmental Quality, 25(3):403-411.

COULTHARD, T. J. KİRKBY, M. J., MACKLİN, M. G., 2000. Modelling geomorphic response to environmental change in an upland catchment. Hydrological Processes. 14, 2031-2045.

COUNTY, V.B. 2002. Factors Influencing Erosion (http://www.vbco.org/planningeduc0043.asp)

ÇANGA, M.R. ve G. ERPUL 1994. Toprak İşlemeli Tarım Alanlarında Erozyon ve Kontrolü. En Büyük Tehlike Erozyon 1. Türkiye Konferansı. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, Ankara. s. 42-57.

ÇULLU, M.A. 1993. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan Algılama Teknikleri Yardımıyla Toprak erozyonunun Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı (Doktora Tezi). Adana. 126 s.

ÇULLU, M.A. ve U. DİNÇ. 1994. Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Şimdiki ve Potansiyel Toprak Erozyon Alanlarının Belirlenmesi. I. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, K.T.Ü. Atatürk Kültür ve Sanat Merkezi 18-20 Ekim 1994, Trabzon. s. 188-195.

DAROUSSIN J., KING, D., 1996. Pedotransfer rules database to interpret the Soil Geographical Database of Europe for environmental purposes. In: The use of pedotransfer in soil hydrology research in Europe. Workshop proceedings. Orléans, France. 10- 12 octobre 1996, p 25 - 40.

DE GRAFF, J., 1996. Price of Soil Erosion: An Economic Evaluation of Soil Conservation and Watershed development, Landbouwuniversiteit Wageningen (LUW), Wageningen. 300 s.

DEKUI NIU, H.W., LİFANG L., 2003. Cause of soil erosion. (http://159.226.205.16/curriculum/3w/01/cause/index.html)

DENGİZ, O., AKGÜL, S. 2004, Soil Erosion Risk Assessment of the Gölbaşı Environmental Protection Area and its vicinity using the CORINE Model. Turk J Agric For TUBİTAK, No:29 S.439-448

DESCROIX, L., VIRAMONTES, D., VAUCLIN, M., GONZALEZ BARRIOS, JL., ESTEVES, M. 2001. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). Catena 43, 115–135.

DİNÇ, U., ŞENOL, S., KAPUR, S., CANGİR, C. ATALAY, I. 1997. Soils of Turk Çukurova, Faculty of Agriculture Pub. No. 51 Adana. 233 s.

DOĞAN, O. 1987. Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri. KHGM Yay., Ankara. 78 s.

DOĞAN, O. 2002. Türkiye Yağışlarının Erozyon Oluşturma Gücü ve üniversal Toprak Kaybı Eşitliğinin Yağış Erozyon İndeks Değerleri. KHGM, Ankara Araş. Enst. Müd. Yay., Genel Yay. No:220, Rapor Yay. No:R-120, Ankara. 211 s.

DOĞAN, O. ve C. GÜÇER. 1976. Su Erozyonunun Nedenleri, Oluşumu ve Üniversal Denklem İle Toprak Kayıplarının Saptanması. T.C. Köy İşleri Bak. TOPRAKSU Genel Müd. TOPRAKSU Araş. Enst. Müd. Yay. No.41. Ankara. 159 s.

DOĞAN, O. ve N. KÜÇÜKÇAKAR. 1997. Güneybatı Akdeniz Kıyı Bölgesinde Eşen Havzası Erozyon Haritalama Çalışması. Hava Fotoğraflarının Araziye Uyarlanması ve Bu Bağlamda Ayrımlı Amaçlara Yönelik Toprak Haritalama Sistemleri, Workshop:2, 12-14 Şubat, E.Ü.Z.F.Toprak Bölümü, Bornova, İzmir, s. 45-55.

DOĞAN, O. ve O. DENLİ. 1999. Precipitation-Aridity-Erosion Indices and Arid Periods in Turkey. General Directorate of Rural Services. Technical Publication No: 60. 209 s.

DOĞAN, O., H. CEBEL, N. KÜÇÜKÇAKAR, S. AKGÜL. 2000. Türkiye Büyük Toprak Gruplarının Erozyona Duyarlılık "K" Faktörleri. KHGM, APK Dairesi Başk., Toprak ve Su Kaynakları Araş. Şube Müd. Yay No:111, Rehber No:17, Ankara. 204 s.

DUDAL, R. 1981. An Evaluation of Conservation Needs. In: R.P.C. MORGAN (Editor), Soil Conservation, Problems and Prospects. J.Wiley and Sons, Chichester, England. p. 3-12.

EKİNCİ, D., 2005. CBS Tabanlı Uyarlanmış RUSLE Yöntemi ile Kozlu Deresi Havzası'nda Erozyon Analizi. İ.Ü. Edeb. Fak. Coğrafya Böl. Coğrafya Dergisi, 13:109-119.

EKİNCİ, D., AKKÖPRÜ, E., DÖKER, M.F., 2010. Erozyon Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Uzaktan Algılama Teknolojilerinin Kullanımı. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu. s.496-506.

ELIREHEMA, Y.S., 2001. Soil Water Erosion Modeling in Selected Watersheds in Southern Spain. IFA, ITC, Enschede. 42 s.

EL-SWAIFY, S.A., DANGLER, E.W., 1982. Soil Erosion and Conservation in the Tropics, Madison, Wisc.,Washington D.C.

ELWELL, HA., STOCKING, MA., 1976. Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia. Geoderma 15, 61–70.

ERDOĞAN M.A., 2012. Büyük Menderes Havzası İçin Risk Analizi Yöntemi Geliştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı – (Doktora tezi). 192 s.

EROL, E., ve ÇANGA M.R., 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Tekniği Kullanılarak Erozyon Tehlikesinin Değerlendirilmesi. Tarım Bilimleri Dergisi 10(2): 136-143.

ESDB, 2004. The European Soil Database distribution version 2.0, European Commission and the European Soil Bureau Network, CD-ROM, EUR 19945 EN, 2004 Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

FABRI, K.P. 1991. The Use of Geographic Information Systems and Remote Sensing Analysis for the Assessment of Soil Erosion Hazard: A Case Study in Central Bolivia. MSc. Thesis, International Institute for aerospace Surveys and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands. 142 p.

FRANCIS, CF., THORNES, JB. 1990. Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. In: Vegetation and erosion, processes and environments, ed JB Thornes, Wiley Chichester UK pp 363–384.

GEMALMAZ, H.A., H. DEMİRBÜKEN, H. AZTOPAL, N. ÇALIŞ. 1993. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Uygulanarak Erozyon Riski Taşıyan Alanların Belirlenmesi Türkiye İçin Bir Çalışma. Araştırma Sempozyumu '93, Türk istatistik Derneği, Türk matematik Derneği ve T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 22-24 Kasım 1993, Ankara. s. 134-149.

GOBIN, A., DAROUSSIN, J. ve JONES, R. 2003. PESERA Deliverable 17: (1 Apr 00 – 30 Sept 03) Pan-European Soil Erosion Risk Assessment. Contract no QLK5-CT-1999-01323.

GOBIN, A., GOVERS, G., 2001. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: first annual report. Contract No. QLK5-CT-1999-01323.

GÖZENÇ, S., 1998. Türkiye'nin Toprak Özellikleri. Anadolu Üniversitesi Yayınları No:1069.

HAGOS, D.W. 1998. Assessment of the Effect of Present Land Use on Soil Degradation, a Case Study in Lom Kao Area, Central Thailand. Msc, ITC, Enschede. s 82.

HEYMANN, Y., STEENMANS, Ch., CROISSILLE, G., BOSSARD, M., 1994. Corine Land Cover – Technical Guide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

HICKS, DM., HARMSWORTH, GR., 1989. Changes in sediment yield regime during logging at Glenbervie Forest, Northland, New Zealand. Proceedings of the 19th Hydrology and Water Resource Symposium. University of Canterbury Christchurch New Zealand pp 424–428.

HUDSON, N., 1986. Soil Conservation. Cornell University Press, s.27.

HUTCHINSON, M.F., 2007. Anusplin Version 4.37 User Guide. The Australian National University 57s.

IRVINE B., KOSMAS, C., 2007. Deliverable 15: PESERA Users Manual. Geography Department Leeds University. 133 s.

İRVEM, A., F. TOPALOĞLU, V. UYGUR. 2007. Estimating Spatial Distribution of Soil Loss Over Seyhan River Basin in Turkey. Journal of Hydrology, 336:30-37.

İZBIRAK, R.1975. Geography of Turkey. Directorate General of Press and Information. Ankara,Turkey. 286.

KADUPITIYA, H.K. 2002. Empirical Evaluation and Comparative Study of Use of Erosion Modelling in Small Catchments in Naivasha, Kenya. Msc Thesis, ITC, Enschede. 89 s.

KAPUR, S., SAYDAM, C., AKÇA, E., ÇAVUŞGİL, V.S., KARAMAN, C., ATALAY, İ., VE ÖZSOY, T. 1998. Carbonate Pools in Soils of The Mediterranean: A Case Study From Anatolia. In: GlobalClimate Change and Pedogenic Carbonates (Eds. R. Lal, J.M. Kimble, B.A. Stewart). LewisPublishers. pp. 187-212.

KARABULUT, M., KÜÇÜKÖNDER, M., 2008. Kahramanmaraş Ovası ve çevresinde CBS kullanılarak Erozyon Alanlarının Tespiti. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 11(2) s.14.

KARABURUN, A., DEMİRCİ, A., KARAKUYU, M.,, 2009. "Erozyon Tahmininde Cbs Tabanlı Rusle Metodunun Kullanılması: Büyükçekmece Örneği", 3. Ulusal DEÜ CBS Sempozyumu, İzmir/Türkiye, CBS ve Bilgi Teknolojileri Bildiriler Kitabı, s. 43-49.

KESTEVEN, J.L. ve HUTCHINSON, M.F., 1996. Spatial Modelling of Climatic Variables on A Continental Scale. Paper presented at the The 3rd International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, N M, Ocak 21-25, 1996. (www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/kestecen_jennifer/jlkpaper.html)

KETİN, İ., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış. İstanbul Üniversitesi. 1259.

KILIÇ, M., ve YÖNTER, G. 2005. Yağışla Meydana Gelen Toprak Kaybının Yüzey Akış Miktarı ve Yağış Süresine Bağlı Değişiminin Modellenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Derg. 42(1) s.97-106

KINDLINGER, J., 2009. Validierung des Erosionsmodells PESERA mittels Ergebnissen aus Regensimulationen in drei EU-Mitgliedstaaten. Universitat Wien. (Yüksek Lisans Tezi) 116 s.

KIRKBY, M.J., 1998. Modelling across scales: the Medalus family of models. In: Modelling soil erosion by water, eds J Boardman & D Favis-Mortlock. NATO ASI Series 155 pp 61–173.

KIRKBY, M.J., 1999. Regional desertification indicators (RDIs). In: The Medalus Project, Mediterranean desertification and land-use manual on key Indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, eds C Kosmas M Kirkby ve N Geeson, European Commission EUR 18882 Luxembourg pp 48–65.

KIRKBY, M.J., 2003. Modelling erosion – the PESERA project. The first SCAPE (Soil Conservation and Protection for Europe) workshop in Alicante (ES), 14-16 June 2003, Amsterdam The Netherlands.

KIRKBY, M.J., Jones R.J.A., Irvine, B., 2004. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: the PESERA Map. European Soil Bureau Research Report no.16. Office for Official Publications of the European Community: Luxembourg.

KIRKBY, M.J., Le BISSONAIS, Y., COULTHARD, TJ. DAROUSSIN, J., McMahon, MD,. 2000. The development of Land Quality Indicators for Soil Degradation by Water Erosion. Agriculture, Ecosystems and Environment 81, 125–136.

KOSMAS, C., DANALATOS, N., CAMMERAAT, LH., CHABART, M., DIAMANTOPOULOS, J., FARARD, R., GUTIERREZ, L., JACOB, A., MARQUES, H., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., MIZARA, A,. MOUSTAKAS, N., NICOLAU, JM., OLIVEROS, C., PINNA, G., PUDDU, R., PUIDGEFABREGAS, J., ROXO, M., SIMAO, A., STAMOU, G., TOMASI, N., USAI, D,. VACCA, A., 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. Catena 29, 45–59.

LAL, R., 1990. Soil erosion in the tropics : principles and management. McGraw-Hill, New York etc., s. 580.

LAL, R., 1994. Soil erosion research methods. St. Lucie Press. Soil and Water Conservation Society, Delray Beach. Ankeny, 340 s.

LASANTA, T., GARCIA-RUIZ, JM., PEREZ-RONTOME, C., SANCHO-MARCEN, C., 2000. Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. Catena 38, 265–278.

LEE, CR., SKOGERBOE, IG., 1985. Quantification of erosion control by vegetation on problem soils. In: Soil erosion and conservation, eds WC Al Swaify Moldenhauer ve A Lo, Soil Conservation Society of America pp 437–444.

LICCIARDELLO, F., GOVERS, G., CERDAN, O., KIRKBY, M.J., VACCA, A., KWAAD, F.J.P.M., 2009. Evaluation of the PESERA model in two contrasting environments. Earth Surf. Process. Landforms 34, 629–640.

MGM, 2012. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. (http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx#sfU)

MITCHELL, D.J. 1990. The use of vegetation and land use parameters in modelling catchment sediment yields. In: Vegetation and erosion, processes and environments, ed JB Thornes, John Wiley Chichester UK s 289–314.

MKHONTA, M.M. 2000. Use of Remote Sensing and Geographic Information System (GIS) in the Assessment of Soil Erosion in the Gwayimane and Mahhuku Catchment Areas with Special Attention on Soil Erodibility K-Factor. Msc Thesis, Int. Inst. For Geo-inform. Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands. 88 s.

MODEL, W., 2005. Requirements For Major Factors Affecting Erosion (http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/jhtml/majfac.html)

MODIS, 2008. MODIS Overview, U.S. USA Geological Survey Web Site, (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_overview)

MONTE, R.ONEAL, NEARING, M.A., ROEL C. VINING JANE SOUTHWORTH ve PFEIFER, R.A., 2005. Climate change impacts on soil erosion in Midwest United States with changes in crop management Catena, s. 165–184.

NANNA, S. 1996. A Geo-information Theoretical Approach to Inductive Erosion Modelling Based on Terrain Mapping Units. PhD, Wageningen Agricultural University, Wageningen. 92 s.

NEARING, MA., NICKS, AD., 1998. Evaluation of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for hillslopes. In: Modelling soil erosion by water, eds J Boardman ve D Favis-Mortlock. NATO ASI Series I55 pp 43–53.

ÖZDEN, Ş. ve D.M. ÖZDEN. 1998. Türkiye Toprak Erozyonu Tahmin Modeli (TURTEM). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı 1997. s. 117-133.

ÖZSOY, G., 2007. Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı - Doktora Tezi Bursa. 154 s.

ÖZTÜRK, F. 2002. Yüzey Akış ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli ile Belirlenmesi. A. Üniv. Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara. 32 s.

PETERMANN, T. 1993. Irrigation and the Environment: A Review of Environmental Issues, Part I, Influence of Irrigation on the Environment and vice-versa, Internal Working Document, deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Germany. s 125.

PETTER, P. 1992. GIS and Remote Sensing for Soil Erosion Studies in Semi-arid Environments. PhD, University of Lund, Lund. 112 s.

PIERI, C., 1989. Fertilite des Terres de Savane. Bilan de Trente Ans de Recherche et de Developpment Agricoles au Sud du Sahara. Ministerede la Cooperation/Cirad Paris p 444.

PODMANICKY, L., BALAZS, K., BELENYESI, M., CENTERI, Cs., KRISTOF, D., KOHLHEM, N., 2011. Modelling soil quality changes in Europe. An impact assessment of land use change on soil quality in Europe. Ecological Indicators 11, s 4-5.

QUINTON JN & MORGAN RPC 1998. EUROSEM: an evaluation with single event data from the C5 watershed, Oklahoma, USA. In: Modelling soil erosion by water, eds J Boardman & D Favis-Mortlock. NATO ASI Series. I pp 65–74.

RAST, M., BÉZY, J.L., 1990. ESA's Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS): mission, system and applications, SPIE Journal 1298: 114-126.

RENARD, KG., FOSTER, GR., WEESIES, GA., PORTER, JP., 1991. RUSLE: revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation 46, 30–33.

SACKS, W.J., DERYNG, D., FOLEY, J.A. ve RAMANKUTTY, N. 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. Global Ecology and Biogeography, 19, 607-620.

SARI, M. 1997. Türkiye'deki Hatalı ve Yanlış Arazi Kullanımının Boyutları ve Erozyonla Olan İlişkileri. TEMA Vakfı Eğitim Kursları. 25 s.

SENSOY, S., DEMİRCAN, M., ULUPINAR, Y., BALTA, İ., 2008. Türkiye İklimi. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, P.O.Box: 401, Ankara, Türkiye 17 s.

SNELDER, DJ., BRYAN, RB., 1995. The use of rainfall simulation tests to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo District, Kenya. Catena 25(1–4), 105–116.

SOUKSAKOUN, K. 2008. Soil loss assessment at regional scale for different land use/cover types; Case study in Lomsak district, Phetchabun, Thailand. Yüksek lisans tezi. Science in Geo-information Science and Earth Observation, 82 s.

TAĞIL, Ş., 2007. Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli kullanılarak arazi degradasyonu risk değerlendirmesi. Ekoloji. No. 65, s. 11-20.

TAYSUN, A. 1989. Toprak ve Su Korunumu. E.Ü. Zir. Fak. Ders Teksiri No: 92-III. Bornova, İzmir. 72 s.

TÇMUKK, 2001. Türkiye Çölleşme ile Mücadele Ulusal Koordinasyon Kurulu (www.ccdturkiye.gov.tr/cms/ueptaslak.htm)

TGTAP, 1987. Türkiye Genel Toprak Amenajmanı Planlaması, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.

TOMBUŞ, F.E., 2005. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak erozyon risk belirlemesine yeni bir yaklaşım, Çorum ili örneği. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Uzaktan Algılama ve CBS Anabilim Dalı. (Yüksek Lisans tezi) Eskişehir 77s.

TSARA, M., KOSMAS, C., KIRKBY, M.J., KOSMA, D., YASSOGLOU, N. 2005. An evaluation of the PESERA soil erosion model and its application to a case study in Zakynthos, Greece. Soil Use and Management, 21 s. 377-385.

TÜRKİYE ÇEVRE ATLASI, 2004. ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.

TÜRKİYE GÜBRE VE GÜBRELEME REHBERİ, 1988. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitü Müdürlüğü.

VALENTIN, C., BRESSON, LM., 1998. Soil crusting. In: Methods for assessment of soil degradation, eds R Lal WH Blum C Valentine & BA Stewart, CRC Press Boca Raton FL.

VAN ROMPAEY, A., VERSTRAETEN, G., GOVERS, G., VAN OOST, K, POESEN, J., 2001. Modeling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and Landforms 26: 1221-1236.

VICTOR JETTEN, G.G.a.R.H., 2003. Erosion model: quality of spatial predictions. Hydrol.Process, s. 887-900.

VRIELING, A., 2006. Satellite Remote Sensing For Water Erosion Asessment: A Review. CATENA, s. 2-18.

WALL, O.S.G., 2003. Soil Erosion - Causes and Effects. (http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/87-040.htm)

WESSEL, P., ve Smith, W.H.F. 2010. Generic Mapping Tools Graphics. Laboratory for Satellite Altimetry NOAA/NESDIS.

WISCHMEIER, WH., SMITH, DD., 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Research Service Handbook 537. US Department of Agriculture Washington DC pp 58.

WOO, M., FANG, G., DI CENZO, P., 1997. The role of vegetation in the retardation of rill erosion. Catena 29(2), 145–159.

WOODWARD, S.J.R., BARKER, D.J. VE ZYSKOWSKI, R., 2001. A Practical Model For Predicting Soil Water Deficit In New Zealand Pastures. New Zealand Journal Of Agricultural Research, 44(1): 91-109.

YAZIDHI, B. 2003. A Comparative Study of Soil Erosion Modelling in Lom Kao-Phetchabun, Thailand. MSc. Thesis in Geo-information Science and Earth Observation. Int. Inst. For Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands. 92 s.

ÖZGEÇMİŞ

24/08/1987 yılında Samsun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimimi Sivas'ın Şarkışla ilçesinde tamamladı. 2005 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı ve Ocak 2013'de yüksek lisansını tamamladı.