



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA (UA) ve COĞRAFİ BİLGİ  
SİSTEMİ (CBS) TEKNİKLERİ KULLANILARAK  
EROZYON RİSKİNİN BELİRLENMESİ

Gökhan ÖZSOY

DOKTORA TEZİ  
TOPRAK ANABİLİM DALI

BURSA-2007



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA (UA) ve COĞRAFİ BİLGİ  
SİSTEMİ (CBS) TEKNİKLERİ KULLANILARAK  
EROZYON RİSKİNİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ  
TOPRAKİ ANABİLİM DALI

Gökhan ÖZSOY

Doç.Dr. Ertuğrul AKSOY  
(Danışman)

BURSA-2007

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA (UA) ve COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS)  
TEKNİKLERİ KULLANILARAK EROZYON RİSKİNİN  
BELİRLENMESİ

Gökhan ÖZSOY

DOKTORA TEZİ  
TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu Tez **16/11/2007** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oybirliği / ~~oy çokluğu~~** ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Ertuğrul AKSOY  
Danışman

Prof.Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA

Prof.Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU

Yrd.Doç.Dr. İlhami BAYRAMİN

Yrd.Doç.Dr. Zeynal TÜMSAVAŞ

## UZAKTAN ALGILAMA (UA) ve COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS) TEKNİKLERİ KULLANILARAK EROZYON RİSKİNİN BELİRLENMESİ

### ÖZET

Toprak erozyonu sonucu Mustafakemalpaşa Nehri ile bu nehrin boşaldığı Uluabat Gölü'ne (Ramsar Kapsamında) sediment taşınımı ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Sorunun ortaya çıkarılması ve toprak yönetiminin planlanmasında erozyon modelleri çok kullanışlı gereçlerdir. Bu amaçla Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE-RUSLE) erozyon tahminleme modeli Türkiye'de ve Dünya'da en yaygın kullanılan erozyon tahminleme modelidir.

Bu çalışma ile CBS ortamında YETKE parametreleri ile Mustafakemalpaşa Nehri drenaj havzasında yıllık potansiyel toprak kaybı belirlenmiş, toprak erozyon riski tahmininde UA ve CBS tekniklerinin uygulanabilirliği sınanmıştır. YETKE-R faktörü yerel meteoroloji istasyonlarının aylık yağış verileri kullanılarak Modifiye Fournier İndeksi'nden (MFİ) hesaplanmıştır, topoğrafik (LS) faktörler sayısal yükseklik modelinden, toprak (K) verileri sayısallaştırılmış toprak haritalarından ve arazi kullanım/örtü (C) verileri Landsat-7 ETM uydu verilerinden üretilmiştir.

Mustafakemalpaşa Havzası'nda YETKE/CBS modeli ile belirlenen toplam potansiyel toprak kaybı 11.296.061,75 ton yıl<sup>-1</sup>, ortalama toprak kaybı ise 11,18 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Alt havzalar bazında toplam potansiyel toprak kaybı Emet alt havzası için 5.656.609,72 ton yıl<sup>-1</sup> (ortalama 11,41 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>), Orhaneli alt havzasında 5.278.342,50 ton yıl<sup>-1</sup> (ortalama 11,26 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) ve Mkp alt havzası için ise 361.109,53 ton yıl<sup>-1</sup> (ortalama 7,89 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) olarak hesaplanmıştır.

YETKE modeli sadece erozyon miktarını ortaya koymaktadır, havzanın sediment verimini belirleyememektedir. Bunun için SİO (sediment iletim oranı) fonksiyonları kullanılarak tahmin edilen sonuçlar Mustafakemalpaşa Çayı üzerinde kurulu bulunan Döllük Sediment Gözlem İstasyonu'nun 41 yıllık sediment taşınım miktarı ölçüm raporlarıyla karşılaştırılmıştır. Sediment iletim oranı ve YETKE toprak kaybının bir fonksiyonu olarak tahmin edilen sediment miktarı ve verimi sırasıyla, 1.640.942,7 ton yıl<sup>-1</sup>, 170,1 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>.iken Döllük sediment gözlem istasyonunda sırasıyla 1.082.010 ton yıl<sup>-1</sup>, 127,59 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> olarak ölçülmüşlerdir. Sonuçlar Mustafakemalpaşa Havzası'nda, CBS ile bütünleştirilmiş YETKE modeli ile potansiyel erozyon riskinin etkin, doğru ve kolay bir biçimde tahmin edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, çalışılan havzaya ait daha doğru ölçülmüş veriler (R: plüviyograf okumaları, C: ölçülmüş bitki örtüsü ve yönetimi değerleri) elde edilebildiği takdirde, CBS erozyon modellemesinde başta işçilik olmak üzere, ekonomik ve zaman tasarrufu sağlayan mükemmel bir araçtır.

**Anahtar Kelimeler :** CBS, Uzaktan Algılama, YETKE, Toprak Erozyon Modellemesi, Mustafakemalpaşa Havzası.

# **DETERMINATION OF THE POTENTIAL EROSION RISK USING REMOTE SENSING (RS) and GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) TECHNIQUES**

## **ABSTRACT**

Sediment transport from agricultural and forestry lands to Uluabat Lake (Ramsar Site) by Mustafakemalpaşa River is a serious problem within the basin. Predictive erosion models are useful tools for evaluating soil erosion and to establish soil erosion management plans. RUSLE is the commonly used erosion model for this purpose in Turkey as well as in the World.

This research integrates the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) with a Geographic Information System (GIS) environment to investigate the spatial distribution of annual soil loss potential in Mustafakemalpaşa River Basin. Problems and capabilities in application to GIS and using Remote Sensing (RS) techniques were also discussed. The RUSLE-R factors were developed from local rainfall annual precipitation data using Modified Fournier Index (MFI), topographic (LS) factors were developed from a DEM, soil (K) data were determined from digitized soil maps and land use/cover (C) data were generated from Landsat-7 ETM images.

According to the RUSLE/GIS model, the total soil loss potential due to erosion by water of the Mustafakemalpaşa River basin is found as 11.296.061,75 tons year<sup>-1</sup> that an average soil loss of 11,18 tons ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. According to sub basins it is found 5.656.609,72 tons year<sup>-1</sup> for Emet sub basin (average 11,41 tons ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>), 5.278.342,50 tons year<sup>-1</sup> for Orhaneli sub basin (average 11,26 tons ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) and 361.109,53 tons year<sup>-1</sup> (average 7,89 tons ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) for Mkp sub basin.

Moreover RUSLE produces only local erosion amount values and cannot be used to estimate the sediment yield for a watershed. For this purpose SDR (sediment delivery ratio) equations were used and compared with the sediment monitoring reports of the Döllük stream gauging station, settled in Mustafakemalpaşa River, within 41 years collected data. While, predicted sediment amount and yield as a function of the sediment delivery ratio and soil loss amount of RUSLE were 1.640.942,7 tons year<sup>-1</sup> and 170,1 tons year<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, these were measured as a 1.082.010 tons year<sup>-1</sup> and 127,59 tons year<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> at the Döllük stream gauging station respectively. Comparative results showed that RUSLE integrated with GIS in the study area found to be effective in generating potential soil erosion risk rates. Furthermore, with the basin wide measured data (such as R factor: from pluviograph reading, C factor: from measured cropping and management values) GIS is powerful, accurately and easy tool mainly economic, time and manpower gaining in modeling soil erosion.

**Key Words :** GIS, Remote Sensing, RUSLE, Soil Erosion Modeling, Mustafakemalpaşa River Basin.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAY SAYFASI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER DİZİNİ.....	xi
DENKLEMLER DİZİNİ.....	xii
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>1. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>5</b>
1.1. Toprak Erozyonu.....	5
1.1.1. Erozyon tipleri.....	6
1.1.2. Erozyon nedenleri.....	7
1.2. Toprak Erozyon Modellemesi.....	12
1.2.1. Deneysel modeller.....	15
1.2.2. Fiziksel temelli modeller.....	17
1.2.3. Kurallı uzman sistemler.....	18
1.2.4. Melez (hybrit) yaklaşım.....	18
1.3. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Erozyon Modellemesi.....	19
1.4. Türkiye’de Toprak Erozyonu Durumu ve Haritalama Çalışmaları.....	24
1.5. Dünya’da Toprak Erozyonu ve Yürütülen Çalışmalar.....	31
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>43</b>
2.1. Materyal.....	43
2.1.1. Çalışma alanı.....	43
2.1.1.1. Konum.....	43
2.1.1.2. Topoğrafya.....	45
2.1.1.3. İklim.....	47
2.1.1.4. Jeoloji ve jeomorfoloji.....	49
2.1.1.5. Toprak.....	54
2.1.1.6. Bitki örtüsü ve arazi kullanımı.....	57
2.1.2. Çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlar.....	58
2.1.3. Çalışmada kullanılan veriler ve veri kaynakları.....	60

	Sayfa
2.2. Yöntem.....	61
2.2.1. Ön hazırlıklar ve veri toplama.....	61
2.2.2. Erozyon riski haritalaması metodolojisi (YETKE modeli).....	63
2.2.2.1. Yağışın erozyon yaratma faktörü (R).....	65
2.2.2.2. Toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K).....	67
2.2.2.3. Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörü (LS).....	70
2.2.2.4. Bitki yönetim faktörü (C).....	72
2.2.2.5. Toprak koruma önlemleri faktörü (P).....	74
<b>3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>75</b>
3.1. Mustafakemalpaşa Havzası ve YETKE Modeli Temel Kartoğrafik Haritalarının Oluşturulması.....	75
3.2. Mustafakemalpaşa Havzasında Yağışın Erozyon Yaratma Faktörü (R).....	77
3.3. Mustafakemalpaşa Havzasında Toprağın Erozyona Duyarlılık Faktörü (K)	81
3.4. Mustafakemalpaşa Havzasında Topoğrafik Faktörler (LS).....	85
3.5. Mustafakemalpaşa Havzasında Bitki Yönetim Faktörü (C).....	90
3.6. Mustafakemalpaşa Havzasında Toprak Koruma Önlemleri Faktörü (P) Değeri.....	95
3.7. Mustafakemalpaşa Havzası Potansiyel Toprak Kaybı Dağılımı.....	96
<b>SONUÇ.....</b>	<b>107</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>112</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>126</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>139</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>140</b>

## KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	- Amerika Birleşik Devletleri.
AGNPS	- Fiziksel Temelli Bir Erozyon Modeli.
ANSWERS	- Uzaysal Anlamsız Kaynaklı Su Havzası Çevresel Yanıt Similasyonu (Fiziksel Temelli Bir Erozyon Tahminleme Modeli).
ArcGIS ArcInfo	- CBS Yazılımı Paketi, ESRI Şirketi, ABD.
CBS	- Coğrafi Bilgi Sistemi (İngilizce GIS - Geographic Information Systems).
CLIGEN	- Erozyon Haritalama Modeli.
CORINE	- Avrupa Arazi Örtü Veri Bankası.
CREAMS	- Kimyasal Yüzeysel ve Tarımsal Yönetim Sisteminden Erozyon (Fiziksel Temelli Erozyon Modeli).
DUSLE	- Değiştirilmiş USLE Modeli, Modifiye Edilmiş USLE Modellerinden Biri.
EEKSTA	- Etkili Erozyon Kontrolü için Sediment Tahminleme Aracı (İngilizce SATEEC - Sediment Assesment Tool for Efective Erosion Control).
EİE	- Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü.
ERDAS Imagine	- UA Yazılımı, A.B.D.
ETKE	- Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (İngilizce USLE – Universal Soil Loss Equation.
ETM	- Zenginleştirilmiş Konulu Haritalayıcı (İngilizce – Enrich. Thematic Mapper).
EUROSEM	- Avrupa Toprak Erozyon Modeli.
FAO	- Birleşmiş Milletler Gıda Ve Tarım Örgütü
GAP	- Güneydoğu Anadolu Projesi.
GPS	- Evrensel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
ICONA	- İspanya Çevre Araştırmaları Genel Müdürlüğü.
ILWIS	- UA ve CBS Yazılımı, ITC, Hollanda.
KHGM	- Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
LANDSAT	- Uzaktan Algılama Uydusu, ABD.
METKE	- Modifiye Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (İngilizce Musle)
MKP	- Mustafakemalpaşa (Mustafakemalpaşa Nehri Havzası'nı Temsilen).
Mkp	- Mustafakemalpaşa Alt Havzası.
MMF	- Morgan, Morgan, Finney Model (Deneysel Bir Erozyon Tahminleme Modeli).
MTA	- Maden Tetkik Arama Gen.Müd., Ankara.



MUSLE	- Modifiye Edilmiş USLE Modellerinden Biri.
NetCAD	- AutoCAD Tabanlı, Daha Çok Vektör Esaslı CBS Programı, Türkiye.
NRCS	- Doğal Kaynakları Koruma Servisi, ABD.
RUSLE	- Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE).
PAP/RAC/UNEP	- Çok Katılımlı Erozyon Haritalama ve Ölçme Programı.
SATEEC	- EEKSTA, Etkili Erozyon Kontrolü İçin Sediment Değerlendirme Aracı.
SİO	- Sediment İletim Oranı (İngilizce SDR - Sediment Delivery Ratio).
SLEMSA	- Erozyon Tahminleme Modeli.
SYM	- Sayısal Yükseklik Modeli (İngilizce Dem)
TM	- Konulu Haritalayıcı (İngilizce - Thematic Mapper)
TOPRAKSU	- Topraksu Genel Müdürlüğü, Ankara (kapatılmıştır).
UA	- Uzaktan Algılama (İngilizce RS - Remote Sensing)
USDA	- Birleşik Devletler Tarım Departmanı, ABD
USLE	- Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (ETKE)
YETKE	- Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (İngilizce RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation)
WATEM	- Fiziksel Temelli Erozyon Haritalama Modeli
WEPP	- Su Erozyonu Tahmin Projesi (Fiziksel Temelli Erozyon Haritalama Modeli).

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	Sayfa
Çizelge 2.1. Mustafakemalpaşa Havzası'nda Aylık ve Yıllık Ortalama Sıcaklıklar.....	48
Çizelge 2.2. Mustafakemalpaşa Havzası'nda Aylık ve Yıllık Ortalama Düşen Yağış Miktarları.....	49
Çizelge 2.3. Mustafakemalpaşa Havzası Jeolojisi ve Ana Kaya Dağılımı.....	52
Çizelge 2.4. Mustafakemalpaşa Havzası Büyük Toprak Grubu Dağılımı.....	55
Çizelge 2.5. Mustafakemalpaşa Havzası'nın Arazi Kullanım Durumu.....	58
Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Meteoroloji İstasyonları MFİ ve R Faktör Değerleri.....	78
Çizelge 3.2. Mustafakemalpaşa Havzası MFİ Sınıfları ve Dağılımı.....	81
Çizelge 3.3. Mustafakemalpaşa Havzası K Faktörü Dağılımları.....	85
Çizelge 3.4. Mustafakemalpaşa Havzası Eğim Sınıflarının Oransal Dağılımları..	89
Çizelge 3.5. Mustafakemalpaşa Havzası Arazi Sınıfları ve YETKE-C Faktörü Değerleri.....	94
Çizelge 3.6. Mustafakemalpaşa Havzası Potansiyel Erozyon Riski Sınıfları ve Alansal Dağılımı.....	101
Çizelge 3.7. Mustafakemalpaşa Havzası ve Alt Havzaları'na Ait Tahmin Edilen ve Ölçülen Sediment Miktarı ve Sediment Verimi Sonuçları.....	106

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Mustafakemalpaşa Havzası Konum Haritası.....	44
Şekil 2.2. Mustafakemalpaşa Havzası Sayısal Yükseklik Modeli.....	46
Şekil 2.3. Mustafakemalpaşa Havzası 3-D Görüntüsü.....	47
Şekil 2.4. Çalışmada Kullanılan Meteoroloji İstasyonları ve Havzadaki Konumları.....	50
Şekil 2.5. Mustafakemalpaşa Havzası Jeoloji Haritası.....	53
Şekil 2.6. Mustafakemalpaşa Havzası Büyük Toprak Grubu Haritası.....	56
Şekil 2.7. Mustafakemalpaşa Havzası Arazi Kullanım/Örtü Haritası.....	59
Şekil 2.8. YETKE/CBS Tabanlı Erozyon Haritalaması Metodolojik Akım Şeması.....	62
Şekil 3.1. Mustafakemalpaşa Havzası ve Yakın Çevresi Landsat 7 ETM Uydu Görüntüsü ve Alt Havzaların Konumu.....	76
Şekil 3.2. Mustafakemalpaşa Havzası MFİ Haritası.....	79
Şekil 3.3. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-R Faktörü Haritası ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ).....	80
Şekil 3.4. Mustafakemalpaşa Havzası MFİ Sınıfları Dağılım Haritası.....	82
Şekil 3.5. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-K Faktörü Haritası ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ ).....	84
Şekil 3.6. YETKE-LS Faktörü Hesaplanmasında Kullanılan Yazılımın Akış Şeması.....	86
Şekil 3.7. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-L ve S Faktörü Haritaları.....	87
Şekil 3.8. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-LS Faktörü Haritası.....	88
Şekil 3.9. Mustafakemalpaşa Havzası Güncel Arazi Kullanım/Örtü Haritası.....	92
Şekil 3.10. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-C Faktörü Haritası.....	93
Şekil 3.11. Mustafakemalpaşa Havzası'nda YETKE Modeli ile Hesaplanan Birim Alandan Gerçekleşen Ortalama Yıllık Potansiyel Toprak Kaybı Haritası ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ).....	98
Şekil 3.12. Mustafakemalpaşa Havzası'nda Potansiyel Erozyon Riski Sınıfları Haritası.....	100

## SİMGELER DİZİNİ

- 22,13 - YETKE birim parsel uzunluğu (metre).
- A - Birim alandan toprak kaybı miktarı ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ).
- C - Bitki yönetim faktörü; belirli bir ürün yetiştirme ve amenajmana sahip bir araziden oluşan toprak kaybının K faktörünün değerlendirildiği nadas koşullarındaki araziden oluşan toprak kaybına oranı (birimsiz, 0 ve 1 değerleri arasında).
- d - Metrik sisteme dönüştürme katsayısı ( $d=7,59$ 'dur).
- E - Toplam şiddetli yağış enerjisi. Kinetik enerji ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ). Toplam fırtına kinetik enerjisi.
- $I_{30}$  - Maksimum 30 dakikalık yağış şiddeti ( $\text{mm h}^{-1}$ ).
- K - Toprağın erozyona duyarlılık faktörü (toprak aşınabilirlik faktörü); 22,13 m uzunlukta ve % 9 eğimli devamlı nadas yapılan bir araziden birim erozyon indeksine karşılık erozyon oranı ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ )
- L - Eğim uzunluğu faktörü; herhangi uzunluktaki bir araziden oluşan toprak kaybının, aynı toprak tipi ve 22,13 m uzunluktaki araziden oluşan toprak kaybına oranı (birimsiz)
- LS - Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörleri çarpımı (birimsiz)
- M - Zerre irilik parametresi.
- MFİ - Modifiye Fournier İndeksi
- $m$  - Eğim uzunluğu değişkenlik çarpanı.
- OM - Organik madde (%)
- P - Toprak koruma önlemleri faktörü; tesviye eğrilerine dik sürüm, şeritsel ekim veya teraslama yapılan bir araziden oluşan toprak kaybının, eğim aşağı sürüm yapılan arazideki toprak kaybına oranı (birimsiz, 0 ve 1 değerleri arasında).
- $\bar{P}$  - Yıllık ortalama düşen yağış miktarı (mm).
- $\bar{p}_i$  -  $i$  ayına ait ortalama düşen yağış miktarı (mm).
- R - Yıllık ortalama yağış erozyon indisi (yağış-akış aşındırıcı faktörü). Yağışın erozyon yaratma faktörü. faktörü ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ).
- S - Eğim derecesi faktörü; herhangi bir eğim dikliğine sahip bir araziden oluşan toprak kaybının % 9 eğim dikliği ve aynı toprak tipi ile eğim uzunluğuna sahip bir araziden oluşan toprak kaybına oranı.
- S - Toprak strüktür sınıfı (1-6)
- S/O - Sediment İletim Oranı.
- $\Theta$  - Eğim durumunu derece olarak vermektedir.
- $\lambda$  - İzdüşüm arazi eğim uzunluğu.

**DENKLEMLER DİZİNİ**

	Sayfa
Denklem 1.1. $A = R \times K \times LS \times C \times P$ .....	64
Denklem 1.2. $R = E \times I_{30} / 100$ .....	65
Denklem 1.3. $MFİ = \frac{\sum_{i=1}^{12} (\bar{p}_i)^2}{\bar{P}}$ .....	67
Denklem 1.4. $R = 0,1215 \times MFİ^{2,2421}$ .....	67
Denklem 1.5. $100 \times K = (2,1 \times 10^{-4}) \times (12 - OM) \times M^{1,14} + 3,25 \times (S - 2) + 2,5 \times (P - 3) / d..$	70
Denklem 1.6. $M = (\% \text{ silt} + \% \text{ çok ince kum}) \times (100 - \% \text{ kil})$ .....	70
Denklem 1.7. $LS(x,y) = (m+1) [ A(x,y) / a0 ]^m [ \sin b(x,y) / b0 ]^n$ .....	71
Denklem 3.1. $SİO = 0,4724 A^{-0,125}$ .....	104
Denklem 3.2. $SİO = 0,3750 A^{-0,2382}$ .....	104
Denklem 3.3. $SİO = 0,5656 A^{-0,11}$ .....	104

## GİRİŞ

Yer kabuğunu oluşturan kayalar, mineral ve organik maddelerin karışımı olan toprak, yaşam için gerekli olan dört unsurdan biridir. Güneş ışığı hava ve su ile birlikte toprak bütün canlıları besler. Topraksız bir dünya, üzerinde toprağın bulunmadığı ve canlıların yaşamadığı Ay'dan farksız bir durum alırdı (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 âlemi için vazgeçilmez bir hayat kaynağıdır. Bu kaynağı korumak yalnız onunla uğraşanların değil üzerinde yaşayan her ferдин 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.

İnsanoğlu uzun yıllar boyunca yaşamlarını sürdürebilmek için topraktan faydalanmış ve 10.000 yıl önce kontrollü bir şekilde toprağa yerleşmişlerdir. İnsanlık Çin'de ve Akdeniz ülkelerinde 3000 – 4000 yıldan beri, Batı Avrupa ülkelerinde ise 2000 yıldan beri uygulanan çiftçilik uğraşlarıyla artan nüfusun besin gereksinimini karşılamak için topraktan gereğince yararlanmayı amaçlamışlardır (Taysun ve Dağdeviren 1991).

İnsan, bitki ve hayvan hayatında önemli bir etkisi olan toprak, ekolojik, biyolojik, ekonomik ve kültürel fonksiyonları ile en önemli doğal kaynaklarımızdan birisidir. Ancak gerekli önlemlerin alınmaması, aşırı kullanım ve doğal etmenlere karşı etkili korunmaması nedeniyle giderek kaybolmaktadır. Her yıl denizlere veya akarsulara ulaşan 500 milyon ton verimli toprak, ülkemiz tarımsal potansiyelinin giderek azalmasına neden olmaktadır (Doğan ve Küçükçakar 1994).

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.

Türkiye’de yaklaşık 77 milyon hektarlık ülke arazilerinden işlemeli tarıma uygun alanların tamamı tarımsal kullanıma alınmıştır, hatta işlemeli tarıma uygun olmayan 5,5 milyon dekarlık VI. ve VII. sınıf araziler tarımsal kullanıma açılmış durumdadır (Canpolat 1981). Buna karşılık tarım toprağı olup da amacı dışında kullanılan alan yaklaşık 2,5 milyon hektar’dır. Toplam tarım topraklarımızın yaklaşık 26 milyon hektar olduğu düşünülürse bu büyük bir kayıptır. Yanlış arazi kullanımı sonucu verimli tarım topraklarımızın artan bir biçimde çarpık kentleşme ve sanayi tesisi, yüksek eğimli, erozyon riski yüksek mer’a ve orman arazilerinin de tarımsal üretime açılması ile bu kayıp daha da artmaktadır.

Ülkemiz toprak ve su kaynaklarından verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yararlanılması, nüfus artışı ve amaç dışı arazi kullanımı dikkate alındığında daha da önem kazanmaktadır. Toprak ve su kaynaklarımızı tehdit eden problemlerden biride erozyondur. Erozyona etkili olan faktörler başlıca; toprak, topoğrafya, iklim, vejetasyon ve insan olarak sınıflandırılmaktadır. Erozyonla yalnız toprak kayıpları olmamakta, aynı zamanda baraj ve göletlerin ekonomik ömründen önce dolmalarına neden olmaktadır.

Türkiye iklim ve topoğrafik yapısı erozyon olayının oluşması için çok uygundur. Buna ek olarak özellikle tarımsal değeri yüksek I. ve II. sınıf tarım arazileri üzerinde sanayi ve yerleşim merkezleri hızla çoğalmakta, tarım alanları giderek daha eğimli alanlara doğru kaymakta, dolayısıyla yanlış arazi kullanımı ve erozyon riski artmaktadır. Erozyon kontrol önlemlerinin alınabilmesi için çok hızlı bir şekilde erozyonun etkili olduğu alanların belirlenmesi gerekmektedir. Klasik etüdlere dayalı yöntemlerle yapılan erozyon çalışmaları uzun zaman almakta ve maliyet açısından fazla yükler getirmektedir. Ülkemizdeki erozyon şiddeti ve yayılışı dikkate alındığında yeni

teknolojilerin kullanılarak gerekli toprak ve su koruma önlemlerinin vakit geçirmeden alınması gerekmektedir. 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.

Çevre sorunları, coğrafi boyutlu olduklarından bu sorunların coğrafi özellikleri ele alınmaksızın çözüme ulaştırılmaları olası değildir. Günümüzde çevreye ait bilgilerin elde edilmesi, bu bilgilerin işlenmesi ve modellenmesi teknolojileri hızla gelişmektedir. Hatta sadece çevresel uygulamalara yönelik olarak geliştirilmiş uzaktan algılama platformlarının sayısında artış gözlemlenmektedir. Bu gelişmelere paralel olarak coğrafi bilgi sistemi gibi sistemlerin gelişimi, bu sistemlerin çevresel veri kaynaklarıyla entegrasyonunu kolay hale getirmiştir. Uzaktan algılama teknikleri ve CBS, ayrıca verilerin yetersiz olduğu bazı alanlarda, çevresel veri üretiminde önemli rol oynamaktadırlar.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde, uzaktan algılama biliminde ve evrensel konum bulma sistemlerinde (GPS) yaşanan gelişmelerle bilgi teknolojisinde ve iletişim teknolojisinde devrim sayılabilecek ilerlemeler, bilgisayar donanımlarının maliyetlerinin azalmasıyla birlikte işlem hızları ve fonksiyonlarının artması, CBS'ni hayatın bir parçası haline getirmiştir. Tek bir görüntünün binlerce kelimedenden çok daha fazla anlam ifade ettiği düşünüldüğünde, CBS'nin görsel gücü de ortaya çıkmaktadır. CBS teknolojisinin yaygınlaşmasının önemli bir diğer nedeni de farklı kaynaklardan elde edilmiş verileri bütünleştirebilme özelliğidir.

Yapılan birçok çalışma göstermiştir ki CBS erozyon modellemesinde mükemmel bir araçtır. Fakat ülkemizde uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin erozyon tahminine uygulanması tam olarak gelişmemiştir.

Bu çalışma ile Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri kullanarak Bursa-Mustafakemalpaşa Havzası'nın potansiyel erozyon riski durumunun Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE; İngilizce RUSLE) modeli



(Renard ve ark. 1997) ile haritalanması ve erozyon riskinin belirlenmesinde UA ve CBS tekniklerinin uygulanabilirliğini sınamak ve benzer özellikteki diğer havzalara önermek amaçlanmıştır.

Bu çalışma, MKP Havzasında, 3/7/2005 tarihinde kabul edilen 5403 kanun numaralı “TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU” esaslarına yönelik ileride yapılacak olan çalışmalara kaynak oluşturması açısından önemlidir. Kanunun kabulünden bu güne MKP Havzası, Uluabat Gölü ve yakın çevresinde toprak koruma ve arazi kullanım durumunun belirlenmesi açısından ilk büyük çalışma olma özelliğindedir. Söz konusu kanunun amacı; toprağın doğal veya yapay yollarla kaybını ve niteliklerini yitirmesini engelleyerek korunmasını, geliştirilmesini ve çevre öncelikli sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak, planlı arazi kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemektir. Bu Kanun; arazi ve toprak kaynaklarının bilimsel esaslara uygun olarak belirlenmesi, sınıflandırılması, arazi kullanım planlarının hazırlanması, koruma ve geliştirme sürecinde toplumsal, ekonomik ve çevresel boyutlarının katılımcı yöntemlerle değerlendirilmesi, amaç dışı ve yanlış kullanımların önlenmesi, korumayı sağlayacak yöntemlerin oluşturulmasına ilişkin sorumluluk, görev ve yetkilerin tanımlanması ile ilgili usul ve esasları kapsamaktadır.

Üç ana bölümden oluşan bu çalışmada giriş bölümünden sonra, birinci bölümde kaynak araştırması ve tanımlamalar verilmektedir. İkinci bölümde çalışmada kullanılan materyal ve yöntem açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiş, önerilerde bulunulmuş ve tartışmaya sunulmuştur.

## 1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 1.1. Toprak Erozyonu

Toprak erozyonu Dünya'nın kendisi kadar eskidir. De Roo (1993) toprak erozyonunu, toprak oluşturan faktörlerin yerine koyduğundan daha hızlı biçimde toprağın doğal güçlerle yer değiştirmesi olarak tanımlamaktadır. Bu durum erosiv etken olarak yağışlarla toprağın yerinden sökülüp taşınması sebebiyle olur (Nanna 1996). Genellikle bölgesel faktörleri içeren iklim, toprak, rölyef, vejetasyon ve insanların toprak koruma önlemleri bu süreci hızlandırabilir.

Jeolojik anlamda erozyon terimi; doğada toprak materyalinin su, rüzgar, yerçekimi, çığ, buzul ve dalga gibi doğal güçlerin etkisiyle parçalanarak bir yerden başka bir yere taşınması ve yığılmasını ifade eder. Doğal ve normal koşullar altında, toprağın bitki örtüsü bu taşınmayı frenlemekte ve taşınan kadar yeni üst toprak oluşmaktadır. Erozyon, insan etkisi sonucunda oluşuyorsa veya artıyorsa hızlandırılmış erozyon olarak adlandırılmaktadır. İnsan etkisi ile oluşan erozyonun başlıca kaynakları; orman kesimleri, orman yangınları, aşırı otlatma ve uygulanan hatalı tarım teknikleri biçiminde sıralanabilir. Sulu tarımda erozyonu etkileyen en önemli faktörler; arazinin eğimi, uygulanan sulama yöntemi, sulama suyu miktarı, toprak işleme yöntemleri, arazi yüzeyinin pürüzlülüğüdür (Topçu 1998).

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 degrade 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). Erozyonla toprakların

bozulması özel bir sorundur çünkü toprak oluşumu son derece yavaştır (Hagos 1998). Toprak erozyonunun sonucunda erozyona uğramış yamaçlarda toprak işleme zorlaşır, su rezervlerine sedimentasyon depolanması sonucunda tarla içi sulama kısıtlanır ve tarımsal üretim düşer. Erozyona uğrama riski orman ve mer'alarda, tarımsal alanlara oranla daha azdır. Trout (2000), sulamanın sürdürülebilir toprak verimliliği üzerine olumsuz etkileri olabileceğini bildirmektedir. Bucks ve ark. (1990), bazı durumlarda sulama faaliyetlerinin ormanların yok edilmesine ve toprak erozyonuna yol açarak arazilerde değer kaybına yol açtıklarını belirtmektedirler.

Arazi büyüklüğü, yağmur damlalarının büyüklüğü, eğim ve arazi biçimi gibi faktörler erozyonu önemli ölçüde etkilemektedir. Erozyon sorunlarının oluşmasını önlemek için dikkatli bir planlama yapılması gerekmektedir.

### **1.1.1. Erozyon tipleri**

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

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 aluviyal 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 amacıyla orman ve mer'aların tahrip edilmesiyle vejetatif 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. Esas 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 yetiştirilmesi mümkün değildir ve hatta doğal olarak gelişen otsu bitkiler dahi böyle alanlarda yetişemeyecektir (Sarı 1997).

Toprağın erozyona uğratılmasına neden olan güçlere göre su, rüzgar, yerçekimi, buzul, dalga ve çığ erozyonu gibi türleri vardır.

### **1.1.2. Erozyon nedenleri**

Toprak erozyonu, rölyef geometrisine ve yüzey akışını etkileyen yüzey özelliklere dayanan oldukça dinamik ve bölgesel doğal bir olaydır (Jaroslav ve ark. 1996). Genellikle altı temel erozyon faktörü vardır. Bunlar; yağış, eğim derecesi ve dikliği, toprak, yüzey örtüsü ve toprak yönetimidir. Erozyon sorununa yol açan veya hızlandıran etmenler, doğal, teknik ve sosyo-ekonomik olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Erozyona neden olan iklim parametreleri; yağış, rüzgar, sıcaklık ve nemlilik olarak sayılabilir. Bunlar içerisinde erozyona en çok etkili olan parametre yağışlar, yağışlar içerisinde de yağmurlardır. Yağışın türü, miktarı, şiddeti, süresi ve mevsimlere göre dağılışı 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 akışın birlikte etkileri nedeniyle yağışlarla 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 akışı belirler. Bu durum yerinden sökülen toprak parçacıklarının taşınması ve depolanmasıyla sonuçlanır (Nanna 1996). Yağış miktarı yüzey akışa yol açan genel su dengesi ve nispi oranı etkiler (Hagos 1998).

Yağış parametrelerinden biri olan yağmur damlalarının büyüklüğü ve hızları, onların küçüklükleri ile kıyaslanamayacak derecede erozyon oluşumunda etkilidir. Bir yağmur damlasının toprak yüzeyine çarpması ile parçalanmış toprak parçacıkları 60 cm dikey ve 150 cm yatay mesafede harekete geçebilmektedir. Başka bir deyişle, şiddetli bir yağış altında 1 hektar araziden 250 ton toprak yer değiştirmektedir. Bu olay neticesinde ufalanan ve aşınan topraklar, toprak yüzeyinde ve gövdesinde bulunan su taşıyıcı gözenekler tıkanmakta, yağmur ve/veya sulama suları toprak içerisine kolayca sızamamakta ve böylece yüzey akışı ve akabinde de erozyon başlamaktadır (Sarı 1997).

Rüzgar yağmur damlalarının toprağa çarpma hızına ve yönüne etkili olmaktadır. Rüzgarın etkisiyle yağmur damlaları toprak yüzeyine daha şiddetli çarpmakta ve rüzgar yönünde toprak taşınmasını büyük ölçüde arttırmaktadır (Taysun 1985). Ayrıca kurak bölgelerde şiddetli esen rüzgarlar toprak yüzeyini toz bulutları şeklinde sürüklemekte ve erozyona neden olmaktadır.

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.

Erozyon yönünden önemli bir diğer nokta, sıcaklık değişimlerinin infiltrasyon ve perkolasyon üzerine olan etkisidir. Zira sıcaklık arttıkça suyun viskozitesi 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. Türkiye de yıllık yağış dağılımının çok düzensiz olması erozyonun etkisini arttırmaktadır (Çanga ve Erpul 1994).

Yağışın mevsimlere dağılışı yüzeysel akış ve erozyon bakımından önemli olduğu kadar, toprakta suyun toplanması ve bitki gelişmesi yönünden de önemlidir. Islak topraklar üzerine düşen yağışlar, kuru topraklar üzerine düşen yağışlardan daha fazla erosiv karakter gösterir (Doğan ve Güçer 1976).

Eğim dikliği ve eğim uzunluğunun erozyon oluşumunda güçlü bir ilişkiye sahip olduğu kabul edilmektedir (Nanna 1996). Bu yüzden her ikisi de erozyonun nicel olarak değerlendirilmesinde yararlıdır. Eğim açısı ve eğim uzunluğu erozyon modellemesinde kullanılan ortak parametrelerdir (Petter 1992). Eğim açısının erozyon ile doğrudan ilişkisi vardır. Dik eğimler toprak erozyonunda daha kolay etkili olurlar çünkü erozyona yol açan kuvvetlerin toprak parçacıklarını sıçratması, aşındırması ve taşınması dik eğimlerde daha fazla etkili olur (Hudson 1995). Diğer yandan, uzun eğimli araziler yüzey akışın daha büyük, hızlı ve derin gelişeceğinden toprak kaybına daha hassastır.

Eğim uzunluğu, eğimin başladığı nokta ile sedimentlerin yığıldığı nokta olarak kabul edilir. Yamaç uzunluğunun erozyon üzerine etkisi, toprak tekstürü ve geçirgenliği ile yakından ilgilidir. Yamaç uzunluğu arttıkça taşınan toprak miktarı da artmaktadır.

Toprağın erozyon üzerindeki etkisi, toprak erodibilite faktörü olarak tanımlanan toprağın ayrılmaya ve taşınmaya karşı koyması ile ifade edilir (Morgan 1995). Yüksek erodibilite indeksine sahip topraklar düşük erodibilite indeksine sahip topraklara göre erozyona daha fazla hassastırlar. Toprak erodibilitesi (K-faktör) tekstür, hacim yoğunluğu, kırılma kuvveti, organik madde içeriği, agregat dayanıklılığı (stabilite), infiltrasyon kapasitesi, kimyasal özellikler ve gevşemiş toprak parçacıklarının taşınma yeteneği gibi toprak özelliklerine göre değişir (Mkhonta 2000). Bir toprağın agregat

stabilitesi toprak parçacıklarının nasıl kolay bir şekilde ayrılabilceğini belirlemektedir. Taşınma yeteneği ise bu gevşemiş, yerinden ayrılmış toprak parçacıklarının nasıl kolay bir şekilde yıkanıp uzaklaşabileceğini belirler.

Tane büyüklüğü toprak erodibilitesinde önemli bir unsurdur. Büyük parçalar taşınmaya karşı daha dirençlidir. Bununla birlikte, tane büyüklüğü 0,06 mm'den az olan topraklarda erodibilite, parçacıkların birbirine yapışmasından dolayı kısıtlanmıştır. Bu durum tane büyüklüğü ile kıyaslandığında ters bir ilişkidir. Erozyona az direnç gösteren parçacıklar bu nedenle silt ve ince kum'dur (Petter 1992). Toprak tekstürü ayrıca infiltrasyon kapasitesine de etki eder. Maksimum sürdürülebilir oranda suyun toprakta absorbe edilebilmesi gözenek büyüklüğüne, gözenek stabilitesi ve toprak profilinin formuna bağlıdır. Killi topraklar düşük infiltrasyon kapasitesine sahiptir ve kaba materyalli yüksek infiltrasyon yeteneğine sahip topraklara göre daha fazla yüzey akışa maruz kalırlar (Petter 1992).

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

Normal olarak iri zerreler içeren kaba bünyeli toprakların permeabiliteleri yüksektir. Bu nedenle kumlu topraklar, killi topraklardan daha geçirgendir. Topraktaki boşlukların miktarı ve büyüklüğü permeabiliteyi etkileyen önemli bir faktördür. Farklı tekstüre sahip topraklar, materyallerin taşınması, perkolasyon ve infiltrasyon farklılıkları nedeniyle aynı derecede erozyona maruz kalmazlar. Toprakların farklı tekstüre sahip olması, erozyon olayında yağış intensitelerine 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).

Toprakların diğerk birçok özellikleri de toprak aşınmasına etkilidir. Bu özellikler toprağın su tutma kapasitesi, dispersiyon oranı, agregat stabilitesi, değışik çaplı agregatlar ve primer taneler, kireç, katyon değışim kapasitesi, değışebilir katyonlar, serbest demir ve alüminyum oksitler, toprak organik maddesi ve ana materyal gibi özellikler erozyon üzerine etkili olmaktadır.

Vejetasyon 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 artırır, 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). Vejetasyon örtüsü bozulmadığı sürece yağış, eğim dikliği ve toprak farklılığına rağmen erozyon ve yüzey akışı az olur. Özellikle yüzey erozyonunda vejetasyon örtüsünün erozyon oluşumuna etkisi bitki örtüsünün çeşidine, yoğunluğuna, orman altı bitkilerinin ve diğerk artıkların ortamdaki varlığına bağlıdır. Bunlar oluşacak kayıpları durdurur, kinetik enerji absorpsiyonunu ve su infiltrasyonunu artırır. İyi örtüye sahip arazi yüzey akışı geciktirir. Vejetasyon koruyucu bir tabaka gibi davranır veya atmosfer ve toprak arasında tampon görevi görür. Yüzey üstündeki örtü düşen yağmur damlalarının, akan suyun ve rüzgarın enerjilerini absorbe eder, böylelikle toprağı yönelim azalır. Yüzey altındaki kök sistemleri toprağın mekanik gücüne etki eder (Hagos 1998).

Doğal yağış altında gerçekleştirilen bir denemede bitki örtüsü ile korunmuş yüzeyde 10 yılda toplam olarak 9,4 ton ha<sup>-1</sup> toprak kaybı meydana gelirken, yağmur damlalarının serbest düşmesine açık bir yüzeyde 10 yılda toplam olarak 1265,7 ton ha<sup>-1</sup> 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.

Toprakların erozyona uğramasında bir diğerk etmeni de teknik etmenler oluşturur. Bunlar kısaca; (1) Arazilerin yetenek sınıfına uygun biçimde kullanılmaması, (2) Bitki



ekim nöbetinin (münavebe) yeterince uygulanmaması, (3) Geniş alanlarda nadas uygulamasının yapılarak toprakların çıplak bırakılması, (4) Anız yakılması ve çok dik alanlarda dahi tarım yapılmaya çalışılması, (5) Ormanların arazi kazanmak amacıyla tahribatı ve yangınlarla yok olması, (6) Mer'aların düzensiz, kontrolsüz ve ağır biçimde otlatılması, ıslah edilmemesi, (7) Gerekli bitkisel, kültürel ve fiziksel toprak koruma önlemlerinin alınmaması sonucu toprakların geri dönüşümsüz biçimde erozyonla yok olması olarak sayılabilir.

Çiftçilerin marjinal ve çok dik eğimlerde yaptıkları toprak işleme, eğer doğru toprak koruma teknikleri de uygulanmamışsa toprak erozyonunu hızlandırabilir. Dik eğimlerde teraslama, malçlama, bitki rotasyonu gibi doğru toprak yönetim uygulamaları toprak erozyonunu önemli düzeyde azaltabilir. Diğer taraftan orman alanlarının tarıma açılması, dik eğimlerde toprak korumasız yapılan toprak işleme gibi arazinin yanlış kullanımı etkili bir şekilde toprak erozyonu yükseltebilir.

Erozyon sorununa yol açan sosyo-ekonomik etmenler ülkelerin örf ve adetlerine, ekonomik refahına ve yasalarına göre değişmektedir. Bu etmenleri ülkemiz açısından ele alırsak kısaca; (1) Miras yoluyla arazilerin çok küçük parçalara ayrılması ve genellikle bu parçaların eğim yukarı aşağı olması sonucu küçük tarım işletmelerinin giderek artması, (2) Optimum işletme büyüklüğünün ekolojik koşullara göre yapılmaması ve arazi toplulaştırmaya yeterince girilememesi, (3) Arazilerin büyük bir kısmının kiracılık ve yarıcılık sistemiyle işletilmesi, bu nedenle modern tarım tekniklerinin yeterince uygulanamaması, (4) Çiftlik gübrelerinin büyük bir kısmının yakacak olarak kullanılması, (5) Çiftçilerin çoğunun erozyon ve muhafaza tedbirleri konusunda yeterli bilgiye sahip olmaması olarak sıralanabilir.

## **1.2. Toprak Erozyon Modellemesi**

Toprak erozyonunu ölçmek için birçok metot geliştirilmiştir. Geleneksel metotlar toprak erozyonunu deneme parsellerinden hesaplama yoludur (Harmsen 1996). Deneme parselleri toprak kaybı ve yüzey akış hakkında doğru veriler sağlar. Fakat

uygulanmalarını kısıtlayan pratik dezavantajları vardır. Pahalıdırlar, çok zaman alırlar ve belki de sadece uygulandığı alana ait noktasal veri sağlarlar (Harmsen 1996).

Toprak erozyon tehlikesini ülkesel, bölgesel ve havza düzeyinde niteliksel veya niceliksel olarak değerlendirmede kullanılan birçok matematiksel model bulunmaktadır (Foster ve ark. 1977, Morgan ve ark. 1984, Nearing ve ark. 1989, Anonim 1992, Petter 1992, De Roo ve ark. 1989, 1994, 1996a, 1996b, De Roo 1993, Jager 1994, De Jong 1994, Morgan 1995, Nanna 1996, De Jong ve ark. 1998, Van Der Kniff ve ark. 2000). Bu yaklaşımlardan ETKE (Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği, İngilizcesi USLE: Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier ve Smith 1978) veya YETKE (Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği, İngilizcesi RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard ve ark. 1997) teknolojisi yaygın bir şekilde farklı ölçeklerde uygulanabilen ve daha az veri gereksinimi olduğu için, son zamanlarda en fazla kullanılan modellerden bir tanesidir (Desmet ve Govers 1996).

ETKE/YETKE teknolojisi, su erozyonu ile toprak kaybı potansiyelini, iklim, toprak, topoğrafya ve arazi kullanım ve örtüsünün ölçülebilir ve hesaplanabilir parametrelerinden niceliksel olarak ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ) değerlendirmektedir (Wischmeier ve Smith 1978, Renard ve ark. 1997).

ETKE basit olması nedeniyle en geniş kapsamda uygulanan erozyon modelidir. Bununla birlikte, bu model özellikle ABD dışındaki ülkeler için etkisiz olduğu yönünde eleştirilmektedir (Chisci ve Morgan 1988, Shrestha 2000).

Evrensel Toprak Kaybı Denklemi'nin, ETKE (Wishmeier ve Smith 1978) geliştirilmesiyle birçok ülkede toprak kaybı tahminine yönelik modelleme artarak kullanılmaya başlanmıştır. Geliştirilen birçok modelleme erozyon oluşumu ve etkilerinin anlaşılması için kullanışlı gereçlerdir (Nearing ve ark. 1994). Modeller özellikle toprak kaybına yol açan yoğun arazi kullanımı etkilerinin değerlendirilmesinde, su kalitesi ve bu tip ölçümlerde yapılacak olan harcamaları azaltması bakımından kullanışlıdır (Moore ve Burch 1986).

Toprak erozyonu tahmininde, çalışma alanında hangi modelin uygulanacağını seçimi, araştırmacıların karşısına her zaman bir problem olarak çıkar (Meijerink ve Lieshout 1996). Bir modelin bir alanın kritik koşullarına uyum sağlaması ve oraya adaptasyonu önemlidir (Chisci ve Morgan 1988). Bazı modeller belli bir amaç için tasarlanmıştır ve çok özel alanlar içindir ve diğer alanlarda iyi sonuç vermeyebilir (Shrestha 2000). Bu yüzden erozyon modellemesinde ilk etap kullanılacak uygun modelin seçilmesidir. Daha önce belli bir modelin test edildiği alanlarda çalışılacaksa, o modelin oraya adapte edilmesi veya tavsiye edilen modelin o alan için seçilmesi işi kolaylaştırır. Diğer alanlarda, modellerin uygunluğunun değerlendirilmesi ileriki çalışmalara temel oluşturması bakımından önemlidir. Söz konusu modellerin her biri kendine göre avantaj ve kısıtlayıcı faktörler içermektedir.

Renschler (1996) bir modeli, konu ile ilgili yöntemleri elde etmek, değerlendirmek ve taklit etmek amacıyla basitleştirilen işlemler ve bunların etkileri olarak tanımlar. Toprak erozyon modellerinin amacı ya tahmin edilebilir yada açıklayıcı olmalıdır (Petter 1992). Erozyon modelleri güncel erozyon tehlikesi üzerine veri üretmekte en mantıklı yaklaşımdır (Meijerink ve Lieshout 1996). Modeller erozyonu basitleştirilmiş biçimde matematiksel eşitlikler yoluyla açıklar (Nanna 1996).

Bugüne kadar farklı modeller geliştirilmiştir ve birçok yenileri de geliştirilme aşamasındadır. Erozyon modellerinin temel sınıflandırılması deneysel, fiziksel, tesadüfi (stochastic), melez (hybrid) ve cetvel esaslıdır. Erozyon modellerinin çoğu deneyseldir. Stochastic modeller; modelin kapsadığı değişkenlerden herhangi birinin olasılık dağılımları içeren gelişigüzel değişkenler olarak ele alındığı modeldir. Eğer tüm değişkenler rasgele varyasyonlardan bağımsız olarak ele alınırsa, model kararlı (deterministik) olarak kabul edilir (De Roo 1993).

Modeller, bir kümeyle dahil edilebilir (kümeleştirilebilir) veya sınıflara ayrılabilir (dağılabilir). Kümeleştirilmiş modeller girdi değişkenlerindeki (S) uzaysal dağılımları veya girdi üzerine etkili olan fiziksel işlemleri karakterize eden parametrelerdeki uzaysal varyasyonu hesaba almaz. Tüm alanlar için etkili değerlerin hesaplanmasında ilgili prosedürler kullanılabilir. Sınıflandırılmış modeller taklit edilebilir davranışlar

üzerine sınıfların etkisini değerlendirmek için değişkenlerin uzaysal dağılımları ile ilgili verileri hesaplanabilen algoritmalar ile birlikte birleştirir (De Roo ve ark. 1994). Bundan başka, modeller kavramsal veya deneysel olabilir. Fiziksel kurallar açısından dikkate alındığında, girdi değişkenlerinden üretilen çıktı değişkenleri eğer fiziksel süreçleri etkiliyorsa bu model kavramsaldir. Deneysel modeller ise teoriye değil kesin tanımlamalara dayalı deney ve gözlemlere dayanmaktadır. Fiziksel özelliklere dayalı model terimi kavramsal dağılımlı modellerin yerine kullanılır çünkü eğer modeller fiziksel esaslı ise, işlemler bugünün fiziksel kurallarına sıkı bir şekilde dayanıyorsa, zorunlu olarak sınıflandırılmışlardır çünkü dayandırıldıkları denklemler genellikle bir veya daha fazla uzaysal koordinatı içermektedir (Yazidhi 2003).

### 1.2.1. 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 ETKE'dir. SLEMSA, DUSLE, RUSLE (YETKE), MUSLE, v.b. gibi kullanılan diğer modeller temelde ETKE'ye dayanan modifiye edilmiş modellerdir. Seçilen deneysel modellerin detayları kısaca aşağıda sunulmuştur.

ETKE (Wishmeier ve Smith 1978), erozyon tahmininde kullanılan en yaygın modeldir. Bu model basit ve anlaşılır oluşu sebebiyle erozyon riski tahmininin anlaşılmasında araştırma ve eğitim amaçlı kullanılır (Hagos 1998). Birçok bilim adamı bu modelde değişiklikler önermiştir fakat hepsi yağış erosivitesi, toprak erodibilitesi, eğim uzunluğu, eğim sınıfı, arazi örtüsü ve arazi kullanım faktörlerinin yıllık toprak

erozyonu derecesine direkt orantılı olarak alınması üzerinde yoğunlaşmışlardır (Sohan ve Lal 2001).

Model, Amerika Birleşik Devletleri'nde Doğu Rocky Dağlarındaki bir çalışma için geliştirildiğinden bugüne A.B.D. dışındaki alanlarda kullanımının doğruluk düzeyi düzenli olarak sorgulanmıştır (De Roo 1993). ETKE modeli arazi profillerinde erozyonun görüldüğü fakat depolanmanın oluşmadığı yerlerdeki yüzey ve parmak erozyonuyla kaybolan ortalama yıllık toprak kaybını değerlendirir. Bu model ne basit fırtınalı sağnak yağış olaylarını ne de oyuntu (gully) erozyonunu tahminlemez (Foster 1982, Keneth ve ark. 1991). Bu model aynı zamanda aktif olayların analizleri için sınırlı olanaklarla durağan ve tek boyutludur (Jaroslav ve ark. 1996).

METKE (Modifiye Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği; İngilizcesi MUSLE) modeli ETKE modelinin modifiye edilmiş sürümlerinden biridir. METKE modelinde yağışın enerji faktörü yüzey akışı ile yer değiştirmiştir. Yüzey akış faktörü toplam fırtına akış hacmi ve en yüksek akış oranını içerir. ETKE ile karşılaştırıldığında bu model bireysel fırtınalı sağnak yağışlara uygulanabilir ve sediment dağıtım oranlarının gerekliliğini elimine eder çünkü yüzey akış faktörü sedimentlerin yerinden sökülmesi ve taşınmasında kullanılan enerjiyi temsil eder. Bu modeldeki temel kısıtlayıcı faktör yüzey akışı sırasında sediment veriminin zamansal dağılımı hakkında bilgi sağlamamasıdır. Bu değişmez bir sediment verim eşitliğidir ve sediment veriminin kontrolünde kullanılmamalıdır (De Roo 1993).

YETKE modeli daha kesin erozyon tahminlerini sağlamak üzere tasarlanmış ETKE'nin revize edilmiş şeklidir (Renard ve ark. 1994). ETKE ile aynı faktörleri içerir fakat faktörlere ait tüm eşitlikler revize edilmiştir. Temel düzeltmeler C, P, ve LS faktörlerinde yapılmıştır. C veya bitki amenajman faktörü 4 alt faktörden oluşmaktadır. Bunlar; önceki (prior) arazi kullanımı, gölge (canopy cover) örtüsü, toprak yüzeyi örtüsü ve yüzey taşlılığı'dır.

MMF modeli deneysel bir model olup tepe eğimlerinde belli bir alandaki yıllık toprak kaybının tahmininde kullanılır (Morgan ve ark. 1984). ETKE ve CREAMS gibi

modeller arasındaki boşluğu birbirine bağlamayı hedef alır. Model ETKE'ye göre daha güçlü fiziksel bir temele sahiptir ve CREAMS modeline göre daha esnek ve basittir. Model toprak erozyon oluşumunu iki aşamaya ayırır; su evresi ve sediment evresi. Su evresinde yıllık yağış miktarı sıçrayan taneler ve yüzey akışın hacminin tespitinde yağış enerjisini belirlemek için kullanılır. Günlük yağış toprak-bitki kompleksinin nem depolama kapasitesini temsil eden kritik değeri ne zaman aşarsa yüzey akışın oluştuğu varsayılır. Sediment evresinde sıçrayan taneler bitkinin yağış kesici etkisini sağlayan modifiye edilmiş yağış enerjisi ile bir kuvvet ilişkisi kullanılarak modellenir. Bu model orijinal sürüme göre elde edilebilir veri ve kesin parametrelerin değerlendirilmesindeki zorlukların aşılması yönünde yeni değişikliklerle revize edilmiştir. Revize edilmiş sürümde toprak tanelerinin yağmur damlalarının çarpması ile ayrılmasında bitki tentesi ve yaprak drenajı olarak değerlendirilen değişiklikler yapılmıştır ve toprak zerre ayrımı için bir bileşen eklenmiştir (Morgan 2001).

### **1.2.2. Fiziksel temelli modeller**

Fiziksel temellere dayalı modeller, kütle ve enerjinin korunumu kurallarını içermekte ve erozyon süreçlerinin temelini bilinmesine dayanmaktadır (Petter 1992). Kavram olarak fiziksel temele dayalı modeller kavramsal modellerin yerini alması için geliştirilmiştir çünkü sıkı bir şekilde karmaşık fiziksel süreçlerin anlaşılması esasına dayanmaktadır. Fiziksel temellere dayalı modeller, katkı sağlayan faktörlerin güç fark edilebilir uzaysal ve zamansal değişimlerini dikkate alır ve dinamik modelleme için daha uygundur (Jaroslav ve ark. 1996). Örnekler olarak CREAMS, ANSWERS, WEPP, EUROSEM ve AGNPS modelleri verilebilir. Bu modellerde temel kısıtlayıcı faktör veri kıtlığıdır (Yazidhi 2003).

WEPP (Nearing ve ark. 1994) modeli toprak ve su korunumu, çevresel planlama ve değerlendirilmesi çalışmaları için geliştirilmiştir. Net toprak kaybının konumsal dağılımları hesaplanabilir ve topoğrafya üzerindeki konumsal değişimler, yüzey pürüzlülüğü, toprak özellikleri, hidroloji ve arazi kullanımı hesaba alınır (Nanna 1996). WEPP erozyon modeli bir sabit sediment devamlılığı denklemi kullanarak net ayrılma ve depolanmayı değerlendirerek hesaplar. Parmak erozyonundaki net toprak kaybı

(parmak erozyon oranı) toprağın kritik su stresini geçtiği durumlarda oluşan hidrolik stresin bulunduğu ve sediment yükünün sediment taşıma kapasitesinden daha az olduğu durumlarda hesaplanır (Nanna 1996). WEPP modeli, sabit erozyon durumunda ve yüzey akışın neden olduğu depolanmayı tanımlamak için değişmeyen bir yaklaşım kullanır. Bununla birlikte bu durum gerçek arazi koşullarında, rölyef şekli, arazi örtüsü ve pürüzlülüğüne bağlı olarak oldukça azdır. Aynı zamanda eğimlerdeki yüzey akış dengesi de farklılık gösterir (Jaroslav ve ark. 1996). Bu modelin dezavantajı devamlı veri gereksinimidir, bu yüzden kısa zamanda modelin yürütülmesinde gerekli olan verilerin elde edilmesi zordur (Yazidhi 2003).

### **1.2.3. Kurallı uzman sistemler**

Bu sistemler mantıksal düşünme ve eğer-sonra (if-then) şeklinde ifade edilen bilgiler kullanılarak inşa edilen kararlı kurallara dayanmaktadır (Kadupitiya 2002). Bu modellerde temel faktörler nehir yataklarındaki oluşumlar hakkında uzman bilgiye ve topoğrafya, toprak, su ve bitki örtüsü hakkında haritasal bilgilere sahip olunmasıdır. Kurala dayalı 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).

### **1.2.4. Melez (hybrit) yaklaşım**

Hibrid yaklaşımı modellemesi, ilişkili kurala dayalı sistemlerle güçlendirilmiş modeli temel alan kombine bir yaklaşım kullanır (Kadupitiya 2002). Bağlantılı veya ilişkili kurallar her bir ünitenin fiziksel sınırlarının tanımlanmasında ve erozyon risk ünitesini yüksek ve düşük olarak bazı derecelere kadar kesin bir biçimde sınıflamak için kullanılabilir.

### 1.3. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Erozyon Modellemesi

Sayısal uydu verileri ve coğrafi bilgi sistemleri birçok alanda olduğu gibi toprak erozyonu haritalama çalışmalarında da başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Toprak erozyonu konusunda sayısal uydu verileri çoğunlukla erozyon yüzeylerinin gözle yorumu ve arazi örtü/kullanım türlerinin belirlenmesinde temel kartoğrafik materyal olarak kullanılır. Coğrafi bilgi sistemleri ise geçmişte üretilmiş veya üretilecek harita ve raporların bilgisayar ortamında paylaşılabilir, yeniden sınıflandırılabilir, sayısal veya basılı olarak çıktıları alınabilir formatta saklanmasına izin veren veritabanı ortamı olarak kullanılmaktadır. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistem teknikleri ile yapılan çalışmalarda doğruluk, hız ve maliyet yönünden birçok yararlar sağlanmaktadır.

Dünya yüzeyi mevsimsel, yeraltı ve yerüstünde meydana gelen olaylar veya insan aktiviteleri sonucu devamlı bir değişim sürecindedir. Bu değişimlerin bazıları hızlı, bazıları ise oldukça yavaştır ve bu yüzden yeryüzü objeleri sabit yapıda, büyüklükte ve pozisyonda görülür. Sık görülen değişimlerin belirlenmesi için bilgi gerekir. Bu değişimlerin karakterleri küresel, bölgesel veya yerel detaylara bağlıdır. Son durumu tanımlamak ve değişimleri belirlemek için yeryüzeyinin sürekli incelenmesi ve elde edilen verilerin kayıt altına alınması gerekir. Geçmişte bu veriler sadece arazi çalışmaları ile elde edilirken günümüzde uzaktan algılama bu durumu değiştirmiştir. Bu yeni ve uygulanmasında belli bir bilgi gerektiren teknik, insan için yeryüzeyi hakkında belli bir uzaklıktaki aletlerle bilgi toplamayı sağlayan değerli bir araçtır (Buiten ve Clevers 1993).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), coğrafi bilgileri depolamak ve amaca uygun olarak kullanmak için geliştirilmiş bilgisayar destekli sistemlerdir. Bu sistemler 1970'li yıllardan başlayarak hızla gelişmiş ve coğrafi bilgilerin kullanılmasında en etkin teknoloji haline gelmiştir (Aronoff 1989).

CBS ile ilgili ne kadar disiplin varsa en az o kadar farklı tanım yapılabilir. Burrough'a (1986) göre CBS belirli bir amaç ile yeryüzüne ait verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, transferi ve görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren



araçların tümüdür. Dewine ve Field (1986), Cowen (1987), Chorley (1988), Aronoff (1989), Star ve Estes (1990) yaptıkları çalışmalarda CBS'yi birbirine yakın ancak farklı ifadelerle tanımlamışlardır.

Yersel ölçmelere ve klasik yöntemlere göre hız, doğruluk, maliyet ve zaman açısından büyük avantaj sağlayan sayısal uydu verilerinin coğrafik bilgi sistem teknikleri ile birlikte kullanılması arazi örtü/arazi kullanım türlerindeki değişimlerin saptanmasında ve güncelleştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Doğal ve çoğunlukla insan kaynaklı söz konusu değişimlerin çok hızlı meydana gelmesi, onların sürekli olarak gözlenmesini ve bilgi üretilmesini gerektirmektedir (Aksoy ve Özsoy 2002).

Toprak erozyonu konumsal bir olaydır, bu nedenle coğrafi bilgi teknikleri erozyon modellemesinde önemli bir rol oynar. Uzaktan algılama verileri ve elde mevcut olan haritalar model girdileri için birçok veri sağlar (Petter 1992). Uzaktan algılama ile üretilen veriler coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları için uzaysal konumları ile birleştirilebilir (Mkhonta 2000). Coğrafi bilgi sistemleri coğrafik olarak tanımlanmış özellikler hakkında bilgi paylaşabilir. Genel olarak coğrafi bilgi sistemi teknikleri erozyon modellemesinde aşağıdaki avantajları sunar;

- 1)- Hızlı ve ekonomiktir,
- 2)- Büyük alanların araştırılmasına olanak tanır,
- 3)- Bu tip alanların devamlı gözlenmesine büyük olanak tanır,
- 4)- Toprak erozyon modelinin kaba ölçekten kesin yöresel ölçeğe kadar değişebilen gerekli çıktı ölçekleri ile sadeleşmesine olanak tanır.

Sayısal yükseklik modelleri ve CBS kullanımı konu ile ilgili daha çok topoğrafik parametrenin değerlendirilmesine olanak tanır. Bir drenaj havzasının büyüklüğü, ortalama eğim veya arazi yüzeyinde belli bir noktayı geçen su miktarı (yüzey akış) bir sayısal yükseklik modelinden hesaplanabilir (Petter 1992).

Bilgisayar donanım ve yazılımlarındaki gelişmeler bu tip modellerin bilgisayar ortamına alınmasına olanak tanımaktadır. Wolfgang ve ark.'na (2002) göre, arazi ölçümleri ve CBS ile desteklenmiş uzaktan algılama; toprak erozyonunun

incelenmesinde en iyi metodolojik araçlar setini sağlar. Uzaktan algılama teknikleri erozyon modellemesi için gerekli olan veri girişinin sağlanmasında çok elverişlidir. Görsel ve sayısal görüntü işleme arazi kullanımı ve arazi örtüsü gibi parametrelerin ve az miktarda toprak koruma ve erosiv faktörlerin türetilmesinde kullanılabilir (Jaroslav ve ark. 1996). Ayrıca uzaktan algılama teknikleri alana ait ölçekte model parametreleri geliştirmesi yönünden de avantaj sağlar. Bunun yanında geleneksel metotlar sadece noktasal bilgiler taşımaktadır (Mohamed ve ark. 2002).

Uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak, toprakları erozyona hassaslaştıran bazı etkenleri (örneğin çıplak toprağın yüzeysel durumunu, bitki örtüsünü veya toprağın morfolojik yapısını) zaman ve coğrafi konum çerçevesinde incelemek mümkündür. Coğrafi bilgi sistemleri teknolojisinin hem iyi belirlenmiş yönetim, hem de esneklik özellikleri, uzaktan algılama teknolojisinden gelecek büyük veri destekleri ile birlikte, sağanak yağmurlara ve nehir akıntılarına bağlı aşırı su hareketinden kaynaklanan toprak erozyonunun modellenmesinde yararlı bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Forsyth (1994), Tayland'da toprak bozulmasının boyutlarını belirlemek ve toprak fiziksel özelliklerindeki değişikliklerin çiftçiler tarafından anlaşılması ve çiftçilerin görüşlerini almak için yürüttüğü bir araştırmada arazi sınıflandırması ve işlenen alanların dağılımını belirlemek için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), toprak erozyon ölçümleri için ise 137 Cs tekniğini kullanmıştır. 1963–1991 yıllarında dik eğimli alanlarda erozyonla her yıl 28–64 ton ha<sup>-1</sup> toprak kaybının meydana geldiğini belirlemiştir. Çiftçiler de erozyonu bir tehlike olarak gördüklerini ve dik eğimli arazilerde toprak işlemeden kaçınılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Buna ek olarak, erozyonun çok olmasının nedenini, doğal olarak oluşmuş yarıntılardan kaynaklandığını açıklamışlardır. Araştırmacı, yüksek arazilerde yapılan tarımın erozyon üzerindeki etkisinin abartıldığını, ancak sık işlemenin toprak verimliliğini azalttığını belirtmiştir.

Toprak degradasyonu ile ilgili araştırmalar, toprak aşınımı kavramının daha iyi anlaşılmasını sağlamış, su ile sürüklenen topraklar ve erozyonla ilgili tanımlayıcı (deterministik) modellerin gelişmesine yol açmıştır (Yazidhi 2003).

Erozyon ölçümlerinde ve ilgili envanter yapımında sık sık uzaktan algılama ve arazi gözlemleri kullanılır. Uzaktan algılanan görüntülerde temel erozyon sınırlarının belirlenmesi ve değişik seviyelerle değerlendirilmesi daha çok deneysel olarak kalmıştır. Toprak bilimciler toprağın suyla sürüklenmesi veya erozyon konusunda “eşik” noktalarını ve erozyonun başlangıç sınırlarını belirleyebilmektedirler.

Erozyon haritasını coğrafi bilgi sistemine aktarmak için iki yol bulunmaktadır. İlk olarak elde bulunan erozyon haritası doğrudan girilebileceği gibi, başka bir ortamdan da sayısallaştırılabilir. Eğer elde erozyon haritası yok ise, erozyon oluşumunda etkili olan özel veriler girilerek erozyon haritası CBS ile oluşturulabilir. Bu özel veriler toprak haritası, topoğrafya verileri ve arazi örtü bilgilerini içermelidir. Uydu verileri potansiyel erozyon alanlarının belirlenmesinde temel veri olarak kullanılabilir. Bu verilerin CBS ile uyumlu olabilmesi için coğrafik olarak koordinatlandırılmış olması gerekmektedir.

Erozyon olaylarının çok değişik olmasından dolayı CBS, erozyon bilgilerinin amaca yönelik olarak kullanılması ve erozyon yayılım alanlarının belirlenmesi açısından ideal bir yöntemdir. Bu nedenle uzaktan algılama verilerinin değerlendirilmesinde çok kullanışlı bir yol olduğu savunulmaktadır.

Yapılan birçok çalışma (Shrestha 1997, 2000, Wessels ve ark. 2001, Yang ve ark. 2003, Shi ve ark. 2004) göstermiştir ki CBS erozyon modellemesinde mükemmel bir araçtır. CBS modellemesi sadece erozyon üzerine insan etkisi tahmininde bulunmaz, aynı zamanda karmaşık sistemlerin, farklı senaryoların karar vericiler tarafından kolaylıkla görüntülenmesini sağlar. Modellerde kullanılan vejetasyon, toprak, eğim, iklim gibi birçok veri bir CBS içinde işlenebilir ve bozulmuş alanların tanımlanması ve haritalanması için ilk veriler olarak kullanılabilir (Jaroslav ve ark. 1996, Shigeo ve ark. 1998).

Özellikle vejetasyon etkisinin ve arazi kullanımının uzaktan algılanmış verilerle çıkarıldığı örnek çalışmalar (De Jong 1994, Cyr ve ark. 1995) göstermektedir ki uzaktan algılama teknikleri ile desteklenen CBS'nin erozyon modellemesinde kullanılma etkinliğini arttırmakta ve arazi çalışmalarında tasarruf sağlamaktadır. Najmoddini

(2003) Batı Azerbaycan, İran'da yürüttüğü bir çalışmada eğim dikliği ve arazi kullanımını UA ve CBS kullanarak başarıyla belirlemiş ve farklı erozyon modellerinde test etmiştir. Arazi çalışmalarıyla desteklenen çalışmada uzaktan algılanmış veriler ulaşılamayan dağlık kesimlerde vejetasyon farklılığının belirlenmesinde büyük kolaylık sağlamıştır.

Bilgisayar teknolojisinde, CBS ve uzaktan algılama tekniklerindeki gelişmeler son yıllarda ETKE/YETKE metodunun CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak uygulanabilmesini kolaylaştırmıştır. CBS ve UA teknikleri, yeterince arazi çalışması yapılmamış, detaylı verilerin bulunmadığı geniş havzalarda toprak kayıplarının (potansiyel erozyon kayıplarının) daha hızlı, daha kısa ve daha doğru biçimde belirlenmesi çalışmalarının vazgeçilmez araçları durumuna gelmiştir. UA ve CBS teknikleri erozyon modelleri için önemli olan dört indisin hesaplanmasında ve belirlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bu indisler;

- Aylık Yağış Miktarı: Meteoroloji istasyonları aylık verileriyle oluşturulan veri bankasından elde edilen Yağış Faktörü (R)
- Toprak Özellikleri: Sayısal toprak haritaları ve haritalama ünitelerini oluşturan büyük toprak gruplarının arazi çalışmaları ile elde edilecek önemli karakteristiklerinin yorumlanmasıyla hesaplanan toprak aşınabilirlik faktörü (K)
- Eğim: Yükseklik Modeli (DEM) oluşturularak saptanabilecek Eğim Derecesi ve Eğim Uzunluğu Faktörü (LS)
- Bitki Yoğunluğu ve Arazi Örtü/kullanım Türleri: Uydu verileri ve arazi çalışmaları yardımıyla saptanan vejetasyon faktörü (C)
- Toprak ve su koruma önlemleri faktörü'dür (P).

Bu çalışmanın da konusu olan ETKE/YETKE teknolojisi, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile uyumlu olarak, ülkesel, bölgesel ve havza ölçeğinde rahatlıkla kullanılabilir (Burrough 1986, Eedy 1995, Millward ve Mersey 1999, Kinnell 2001, Ouyang ve Bartholic 2001, Wang ve ark. 2003, Martin ve ark. 2003, Royall 2007, İrvem ve ark. 2007).

Günümüzde “Avrupa Erozyon Haritası”, YETKE/CBS/SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) yöntemi ile bitirilmiş durumdadır (Van der Kniff ve ark. 2000). Ancak bu haritada ülkemiz yer almamaktadır.

#### **1.4. Türkiye’de Toprak Erozyonu Durumu ve Haritalama Çalışmaları**

Bilindiği üzere tarımsal üretim ile bir zamanlar kendi kendine yeterli yedi ülke arasında bulunan Türkiye, artık dışa bağımlı ve muhtaç ülkeler arasına girmiş bulunmaktadır. Oysa çok büyük döviz çıktısı ile dış ülkelere satın aldığımız ve almaya devam edeceğimiz tarımsal ve hayvansal gıdaların üretim potansiyeli ülkemizde mevcuttur.

Türkiye’de yaklaşık 77 milyon hektarlık ülke arazilerinden işlemeli tarıma uygun alanların tamamı tarımsal kullanıma alınmıştır, hatta işlemeli tarıma uygun olmayan 5,5 milyon dekarlık VI. ve VII. sınıf araziler tarımsal kullanıma açılmış durumdadır (Canpolat 1981).

Buna karşılık tarım toprağı olup da amacı dışında kullanılan alan yaklaşık 2,5 milyon hektar’dır. Toplam tarım topraklarımızın yaklaşık 26 milyon hektar olduğu düşünülürse bu büyük bir kayıptır. Yanlış arazi kullanımı sonucu verimli tarım topraklarımızın artan bir biçimde çarpık kentleşme ve sanayi tesisi, yüksek eğimli, erozyon riski yüksek mer’a ve orman arazilerinin de tarımsal üretime açılması ile bu kayıp daha da artmaktadır.

Ülkemiz arazilerinin yaklaşık % 30’u mer’a olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 20 milyon hektarın üzerinde olan meralarımızın ancak 5 milyon hektarı niteliklidir ve hayvancılığımız 60 milyon baş civarındadır. Özellikle meralarımız erken (toprak ıslak ve otlar körpe iken) ve aşırı otlatma nedeniyle büyük ölçüde bozulmuş, tarla kazanma düşüncesiyle açılınca alan olarak daralmış ve erozyonla da aşınarak çıplak kayalık ve bozkır hale dönüşmüştür. Toprak ıslak iken otlayan özellikle büyükbaş hayvanlar, bir yandan toprağı çiğneyip sıkıştırırken bir yandan da genç bitkileri kökleriyle birlikte söküp aldıklarından doğal denge her geçen gün erozyon lehine bozulmuştur. Bu kısır

döngü sonucunda 8000 yıl öncesinde Anadolu yarımadasının % 72'si ormanlarla kaplı iken bu oran günümüzde % 22'ye inmiştir. Bunun aksine Anadolu yarımadasının o tarihlerde % 17 olan step alanı bugün % 35'e yükselmiştir.

Ülkemiz toprak ve su kaynaklarından verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yararlanılması, nüfus artışı ve amaç dışı arazi kullanımı dikkate alındığında daha da önem kazanmaktadır. Toprak ve su kaynaklarımızı tehdit eden problemlerden biride erozyondur. Erozyona etkili olan faktörler başlıca; toprak, topoğrafya, iklim, vejetasyon ve insan olarak sınıflandırılmaktadır. Erozyonla yalnız toprak kayıpları olmamakta, aynı zamanda baraj ve göletlerin ekonomik ömründen önce dolmalarına neden olmaktadır.

Türkiye'de akarsularla birlikte alandan taşınan toprak, ABD'nin 7, Avrupa'nın 17 ve Afrika'nın 22 katı daha fazla düzeydedir. Fırat Nehri, yılda 108 milyon ton, Yeşilirmak 55 milyon ton toprak taşımaktadır. Her yıl Keban barajı'na 32 milyon, Karakaya Barajı'na 31 milyon ton toprak birikmektedir. Erozyonla yılda 90 milyon ton bitki besin maddesi toprak birlikte yitirilmektedir. Her yıl tarım alanlarından 500 milyon ton, tüm ülke yüzeyinden 1,4 milyar ton verimli üst toprak, erozyonla kaybedilmektedir. Kaybedilen bu topraklar, 25 cm kalınlığında, yaklaşık 400 bin hektar genişliğinde bir araziye eşdeğerdir. Türkiye kara yüzeyinin % 90'ında çeşitli şiddetlerde erozyon cereyan etmektedir. Arazinin % 63'ü çok şiddetli ve şiddetli, % 20'si ise orta şiddetli, % 7'si ise hafif şiddetli erozyonla karşı karşıyadır. Ülke genelinde yaklaşık 67 milyon hektarlık bir arazide toprak giderek yok olmaktadır. Erozyon büyük ölçüde tarım alanlarında yaşanmaktadır. İşlenen tarım alanların % 75'inde (yaklaşık 20 milyon ha) yoğun erozyon görülmektedir. Diğer bir anlatımla Türkiye tarım alanlarının ancak 5,0 milyon hektarlık bölümünde erozyon yoktur. Su ve rüzgar erozyonu tüm ülke topraklarının % 86,5'inde cereyan etmekte, rüzgar erozyonu 506 bin hektarlık bir yayılımla daha çok kural iklimine sahip olan Konya ve dolaylarında görülmektedir. Amaç dışı arazi kullanımı, hatalı tarım teknikleri, kent, sanayi, ulaşım ve benzeri yatırımların yanlış konumlanması süreci ise erozyonun hızını arttırmaktadır. Afet nitelikli erozyon yetmezmiş gibi, tarım arazileri, özellikle de verimli tarım arazileri, tarım dışı kullanımlarla açık bir saldırı ve talanla karşı karşıya kalmaktadır. 1978-1996 yıllarında amaç dışı tarım toprağı % 33 artmış ve betonlaşarak elden çıkan verimli tarım toprağı

600 bin hektara, yani verimli alanların yaklaşık onda birine yaklaşmıştır ([http://www.tema.org.tr/tr/cevre\\_kutuphanesi/erozyon/turkiyede\\_erozyon.htm](http://www.tema.org.tr/tr/cevre_kutuphanesi/erozyon/turkiyede_erozyon.htm), 2007).

Türkiye’de ilk erozyon haritası TOPRAKSU tarafından 1966–1971 yılları arasında yapılan arazi etüdüleri ve hava fotoğraflarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Pedolojik etüdülerin 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 degrade olmalarına neden olmuştur. O halde ülke topraklarımızın erozyon durumunu gelişen yöntemlere göre kısa zamanda tekrar haritalamak gerekmektedir. Bu amaçla son dönemlerde gelişen geniş uygulama alanları bulunan uydularla uzaktan algılama (UA) ve geniş kapsamlı bilgi kullanımına olanak veren coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tekniklerinden yararlanılmaktadır (Anonim 1996).

Ülkemizin iklim ve topoğrafik yapısı erozyon olayının oluşması için çok uygundur. Buna ek olarak özellikle tarımsal değeri yüksek I. ve II. sınıf tarım arazileri üzerinde sanayi ve yerleşim merkezleri hızla çoğalmakta, tarım alanları giderek daha eğimli alanlara doğru kaymakta, dolayısıyla yanlış arazi kullanımı ve erozyon riski artmaktadır. Erozyon kontrol önlemlerinin alınabilmesi için çok hızlı bir şekilde erozyonun etkili olduğu alanların belirlenmesi gerekmektedir. Klasik etüdülere dayalı yöntemlerle yapılan erozyon çalışmaları uzun zaman almakta ve maliyet açısından fazla yükler getirmektedir. Ülkemizdeki erozyon şiddeti ve yayılışı dikkate alındığında yeni teknolojilerin kullanılarak gerekli toprak ve su koruma önlemlerinin vakit geçirmeden alınması gerekmektedir. Bu amaca yönelik uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla geniş alanlara yönelik erozyona sebep olan faktörlerin şiddet ve derecesi çok hızlı bir şekilde ve düşük maliyetlerle belirlenebilmektedir.

Gemalmaz ve ark. (1993), Konya Karapınar bölgesinde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (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 ve Dinç (1994), uzaktan algılama verilerinin, özellikle toprak kayıplarını etkileyen arazi kullanımındaki değişikliklerin belirlenmesinde çok kullanışlı bir yol olduğunu belirtmişler ve 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. band kombinasyonunu kullanmışlardır.

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 vejetasyon örtü faktörü ile birleştirmiştir. Böylelikle tarım yapılan ve yapılmayan bölgelerin erozyon riski tayini yapılmıştır.

Öztürk (1995) yaptığı araştırmada Landsat 5 TM uydu verilerinin stereoskopik görüşe uygun olmaması dezavantajının 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalardan CBS teknikleri ile elde edilen sayısal yükseklik modeli ve eğim haritalarının kullanılması ile giderilebildiğini, sayısal yükseklik modeli, eğim haritaları ve kontrolsüz (unsupervised) sınıflandırma metodunun birlikte kullanılmasıyla daha doğru taslak toprak haritaları elde edilebildiğini belirtmiştir.

Çullu ve ark. (1995), sayısal uydu verileri ve coğrafi bilgi sistemlerini GAP bölgesi topraklarının haritalanmasında kullanarak söz konusu yeni teknolojilerin çalışmanın doğruluğu ve maliyeti açısından yararlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

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<sup>2</sup> 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.

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.

Doğan ve ark. (2000), ülke genelinde yaptıkları bir çalışmada, büyük toprak gruplarını dikkate alarak aldıkları toprak örnekleri üzerinde yaptıkları analizlerden elde ettikleri bulguları bu amaç için geliştirilmiş abaklara uygulayarak 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.

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<sup>-1</sup> veya cm saat<sup>-1</sup>) 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 içersinde 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), ICONA erozyon modeli ile toprak erozyon riskinin değerlendirilmesinde CBS ve UA tekniklerinin uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Çalışma farklı arazi formlarının, arazi kullanım/örtü çeşitliliğinin çok olduğu Beypazarı, Ankara'da yürütülmüştür. Çalışmada potansiyel erozyon riski haritası eğim, sayısal yükseklik modeli ve sayısal jeoloji haritalarından elde edilmiştir. Erozyon risk sınıfları dağılımları % 8,0 (çok düşük), % 24,7 (düşük), % 23,6 (yüksek) ve % 20,1 (çok yüksek) olarak saptanmıştır. Bu sınıflara göre oluşturulan toprak koruma haritasına göre çalışma alanının % 77,8'i düşük ve çok düşük, % 22,2'si çok yüksek, yüksek ve orta düzeydedir. Son olarak toprak aşınabilirlik ve toprak koruma haritası CBS'de birleştirilerek ICONA toprak erozyon durumu haritası oluşturulmuştur. Bu son haritaya göre alanın % 45,9'unun yüksek ve çok yüksek erozyona maruz olduğu belirlenmiştir. Bu alanlar orman özelliği olmayan, özellikle tepelik ve dağlık bölgeleri içermektedir. Çalışma alanının geri kalan kısmı düşük (çok düşük, düşük ve oldukça düşük) erozyona maruzdur. Araştırmacılar bu çalışma ile CBS ve UA tekniklerinin toprak erozyon riski çalışmalarında önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Cambazoğlu ve Göğüş (2004), Batı Karadeniz'de yaptıkları bir çalışmada ETKE ve METKE modelleri ayrı ayrı uygulamış ve farklılıkları belirtmişlerdir. ETKE ile sediment miktarının tahmininin çok daha kolay ve doğru olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmektedir. Çalışmada R faktörü Arnoldus'un (1977) geliştirdiği ortalama aylık ve ortalama yıllık yağış verilerinden hesaplanmıştır.

Ekinci (2005), Kozlu deresi havzasında potansiyel erozyon risk alanlarının tespit edilme ve sınıflandırılması işlemini ETKE ve YETKE modelinin sadeleştirilmesiyle oluşturulmuş  $Ea=ExTxZ$  şeklinde ifade edilen formülle yapmıştır. Bu formülde eğim (E), zemin örtüsü (Z) ve toprak (T) gibi faktörlerin bir arada değerlendirilmesi ile potansiyel erozyon risk alanları ve duyarlılık sınıflarını tespit etmiştir. Bu amaçla 30 m çözünürlükteki sayısal yükseklik modelinden eğim durumu (1:25.000 ölçek topoğrafik harita), yine 30 m çözünürlükteki 2000 yılı Landsat ETM uydu görüntüsünün sınıflandırılmasıyla zemin örtüsü özellikleri ve toprak haritalarından derlenen toprak özellikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak; eğim değerlerinin büyük, zemin örtüsünden yoksun ve ince taneli toprakların birlikte bulunduğu sahalar şiddetli erozyon alanları iken, eğim değerlerinin küçük, zemin örtüsünün kapalılık değeri yüksek ormanlardan oluştuğu ve kaba taneli toprakların birlikte bulunduğu sahalar ise erozyonun çok hafif olduğu alanlar durumunda olduğunu bildirmiştir.

Apaydın ve ark. (2006), Türkiye’de Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 29 yıllık günlük yağış miktarı ölçüm kayıtlarını kullanarak CBS ortamında MFI ve YYİ’ni iki farklı yöntemle hesaplamışlardır. MFI’in her yıl için aylık yağış miktarı ve çok yıllık ortalamasından yola çıkarak hesapladıkları metot ( $MF\bar{I}_j$ ) ile, MFI’in *i*. Aylık yağış miktarlarının ortalamalarından ve çok yıllık ortalamasından yola çıkılarak hesapladıkları bir diğer metot ( $\overline{MF\bar{I}}$ ) ile hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçta  $\overline{MF\bar{I}}$  bir diğer metot olan  $MF\bar{I}_j$ ’e göre daha düşük riskli MFI sınıflarına yol açmıştır. Araştırmacılar bu durumu  $\overline{MF\bar{I}}$  metodu ile yağış verilerindeki yıldan yıla olan değişkenliklerin istatistiksel olarak hesaplanamamasına bağlamaktadırlar.

Bayramin ve ark. (2006a), Türkiye genelinde düzenli veri toplanan 223 meteoroloji istasyonundan 30 yıllık günlük yağış verileri kullanılarak, Modifiye Fournier İndisi (MFI), Yağış Yoğunluk İndisi (YYİ), Mevsimsellik İndisi (Mİ) ve Yağış Değişebilirlik Katsayısı (YDK) yüzeyleri elde etmişlerdir. MFI, 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 MFI, YYİ ve Mİ haritaları elde etmişlerdir. Aynı çalışmada, sıradışı yağış tekerrür analizleri yapılarak,

10, 20 ve 30 yılda oluşması muhtemel MFİ değerleri (sırasıyla MFİ<sub>10</sub>, MFİ<sub>20</sub> ve MFİ<sub>30</sub>) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, MFİ<sub>j</sub> haritası ile karşılaştırıldığında, erozyon oluşturma gücü açısından MFİ<sub>10</sub>, MFİ<sub>20</sub> ve MFİ<sub>30</sub> değerlerinin daha yüksek değerler verdiği saptanmıştır. Araştırmacılar bu sonuçlar ışığında, Türkiye’de sıradışı yağışların erozyon tehlikesini büyük ölçüde etkilemesinden, MFİ<sub>10</sub>, MFİ<sub>20</sub> ve MFİ<sub>30</sub>’un toprak ve su koruma önlemlerinin alınmasında  $\overline{\text{MFİ}}$  ve MFİ<sub>j</sub>’e nazaran, kullanılması daha korumacı bir yaklaşım olacağını bildirmişlerdir.

Bayramin ve ark. (2006b), Ankara–Beypazarı bölgesinde CORINE yöntemi kullanarak yaptıkları toprak erozyonu tehlikesi değerlendirmesinde MFİ değerlerini, 10, 20 ve 30 yılda bir gelmesi olası aylık yağışlardan frekans analizleri ile hesaplamışlardır. Elde edilen MFİ yüzeyleri geleneksel toprak erozyon haritalama yüzeyleri ile karşılaştırılmış ve en yüksek uyumun frekans analizleri ile elde edilen MFİ değerlerinin verdiği gözlemlenmiştir. Böylece, bu bölgede toprak erozyonunun daha çok sıradışı yağışlarla oluştuğu sonucuna varmışlardır.

İrvem ve ark. (2007), Seyhan nehri havzasında yıllık toprak kaybını CBS teknikleri kullanarak ETKE (USLE) yöntemi ile hesapladıkları bir çalışmada R faktörünü Arnoldus’un (1977) önerdiği Modifiye Fournier İndeksi (MFİ) 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 ( $R=0,1215 \times F^{2,2421}$ ) eşitliği önermişlerdir. Çalışma sonucunda Seyhan havzasının yıllık ortalama toprak kaybını  $16,38 \text{ ton ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  olarak hesaplamışlardır.

### 1.5. Dünya’da Toprak Erozyonu ve Yürütülen Çalışmalar

Toprak erozyonu sadece ülkemizde değil dünyanın birçok yerinde, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve dağlık kesimlerde büyük bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bilim insanları, kendi ülkelerinde yerel veya ulusal tabanda toprak

erozyonunun tespiti, riskli alanların haritalanması ve yeni erozyon tahmin modellerinin geliştirilmesinde çalışmaktadırlar.

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

İnsan etkisiyle oluşan toprak bozulması meskun arazilerin % 24'ünü etkilemektedir. Bu değer kıtalar bazında Kuzey Amerika'da % 12, Güney Amerika'da % 18, Okyanusya'da % 19, Avrupa'da % 26, Afrika'da % 27 ve Asya kıtasında % 31 seviyelerindedir (Oldeman 1991).

Worldwatch Institute, her sene toprağın üst tabakasının 24 milyar tonunun kaybedildiğini ileri sürmektedir. Son yirmi sene içerisinde ABD'deki bütün ekili alanı kaplayacak kadar toprağın kaybolup gittiği bildirilmiştir. Bu kriz, özellikle dünya üzerindeki kararların üçte birinden fazlasını kaplayan kurak alanlarda ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerindeki 5.200.000.000 hektarlık tarımda kullanılan kurak alanların % 70'i özelliklerini yitirmiştir. Dolayısıyla çölleşme, toplam kara alanının % 30'una zarar vermektedir. Afrika'da kurak alanların % 73'ünü kapsayan bir milyon hektarın üzerinde arazi, orta derecede veya ciddi bir çölleşme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Asya'da 1,4 milyon hektar aynı şekilde etkilenmektedir. Fakat bu problem sadece kalkınmakta olan ülkelere mahsus değildir. Ciddi bir şekilde veya orta derecede çölleşmiş kurak alanların en fazla bulunduğu kıta % 74 ile Kuzey Amerika'dır. Dünya liderlerinin 1992 senesinde Rio'daki zirvede kabul ettikleri Çölleşmeyle Mücadele Anlaşması'nda (The Conversion of Combat Desertification) yer alan çölleşme tanımı, çölleşme ile ilgili olarak hem iklim şartlarını hem de insanların faaliyetlerini suçlu bulmaktadır. Aynı zamanda “çölleşme fiziksel, biyolojik, siyasi, kültürel ve ekonomik faktörler arasındaki karmaşık bir bileşim sonucu ortaya çıkar” denmektedir ([http://www.tema.org.tr/tr/cevre\\_kutuphanesi/erozyon/dunyada\\_erozyon.htm](http://www.tema.org.tr/tr/cevre_kutuphanesi/erozyon/dunyada_erozyon.htm), 2007).

Amerika Birleşik Devletleri'nde resmi erozyon ölçümleri ilk olarak 1912 yılında Utah eyaletinde başlamıştır. 1917 yılında Missouri, Columbia üniversitesinde, kullanımına bugün de devam edilen, erozyon parselleri kurulmuştur. 1950'lerden beri erozyon çalışmalarında yaygın olarak yapay yağmur uygulamaları kullanılmıştır. 1960'ların sonundan bugüne kadar geçen sürede çoğu araştırmada erozyon süreçleri arazi ve laboratuvar verileri kullanılarak matematiksel modellere dayandırılmıştır (Wischmeier 1959, Laflen ve ark. 1991, Renard ve ark. 1991).

Toprak erozyonunu ölçmek için birçok metot geliştirilmiştir. Ancak Wishmeier ve Smith'in (1978) geliştirdiği Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (ETKE) uygulamadaki basitliği ve yaygın oluşu sebebiyle en çok tercih edilen erozyon tahmin modelidir. Zamanla kullanımında ortaya çıkan bazı eksiklikleri çeşitli modifikasyonlarla revize edilmiş ve YETKE olarak sonuçlandırılmıştır.

ETKE modelinin test edildiği tropik ve dağlık bir bölge olan Rio Cauca, Kolombiya'daki bir çalışmada aşırı dağlık ve yoğun vejetasyon koşullarında model yöntemlerinin yetersiz kaldığı bulunmuştur. Bu durum büyük bir olasılıkla çalışma alanındaki vejetasyon çeşitliliğinin A.B.D.'deki karşılıklarına göre daha yoğun ve sık olmasına bağlanmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda ETKE modelindeki vejetasyon, eğim uzunluğu ve eğim açısı etkilerinin aşırı tropik dağlık ve koşullar için geliştirilmesi gerektiği de vurgulanmaktadır (Van Vuuren 1982).

Fabri (1991), ETKE ve bir seri basit arazi testleri kullanarak yaptığı bir çalışmada erozyondan kaynaklanan toprak kaybının değerlendirilmesinde uzaktan algılama ve CBS kullanılabilirliğini test etmiştir. Toprak erozyonu ile ilgili parametrelerin bulunmasında yardımcı olarak uzaktan algılanmış veriler kullanılmıştır. Türetilen sonuçlar ile CBS tasarımı yapılarak birçok tema bilgisayar modellemesiyle gösterilerek tanıtılmıştır.

Öztürk'ün (1995) bildirdiğine göre Ronald ve Dugan 1993 yılında Orta Amerika'da yaptıkları bir çalışmada toprak-su karakteristikleriyle (toprak derinliği, toprak geçirgenliği, toprak anamateryali, v.b.) iklim ve jeolojik özelliklerini (yağış,

buharlaşma, v.b.) CBS ortamında işlemişler ve toprakta depolanan suyu saptamışlardır (Öztürk 1995).

Toprak erozyonunun en büyük çevre problemlerinden biri olan % 83'ü dağlık ve buna rağmen ekonomisi tarıma dayalı olan Nepal'de yapılan uzaktan algılama ve CBS tabanlı bir erozyon çalışmasında DTM kullanılarak geliştirilmiş ETKE topoğrafik faktörü ve uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Elde edilen bilgiler bölgeye ait arazi kullanım planlaması geliştirilmesinde kısıtlayıcı bir faktör olarak kullanılmıştır. Araştırmacılar erozyon modellemesinde DTM kullanımının işi kolaylaştırdığı ve ETKE uygulamasının daha gerçekçi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Bunun yanında özellikle dağlık bir alanda CBS'nin arazi kullanımı ve toprak erozyon modellemesinde çok faydalı bir araç olduğunu belirtmişlerdir (Pahari ve ark. 1996).

Yu ve Rosewell (1996a) yağış erositivitesini tahminlemek için günlük yağış miktarı verileri kullanan bir modeli Yeni Güney Galler, Avustralya'da 29 ayrı bölgede test etmişlerdir. Gerçek ve tahmini mevsimsel dağılımlar arasındaki ortalama farklılık % 3'den fazla bulunmamıştır. Araştırmacılar bu modelin yağış erositivitesinin mevsimsel dağılımlarını belirlemek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Yu ve Rosewell (1996b) yaptıkları bir başka çalışma ile R faktör ve mevsimsel dağılımlarını güney Avustralya'nın 99 bölgesi için günlük yağış verilerini kullanarak tahminlemişlerdir.

Evans ve Seamon (1997), gerçekleştirdikleri bir projede sediment taşınım oranları ve iç havzada depolanan miktarın hesaplanabilmesi için CBS tabanlı bir erozyon modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra drenaj havzasının özelliklerini tanımlayabilmek için bir sediment takip modeli (sediment routing model) geliştirmişlerdir. Çalışılan 69,5 km<sup>2</sup> drenaj havzası 120 metre gridlerle bölünerek 4843 poligon (her biri 1,44 ha.) oluşturulmuştur. Her bir poligon için toprak erozyonu YETKE ile CBS tabanında hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca YETKE modelindeki LS faktörü SYM (sayısal yükseklik modeli) kullanılarak modifiye edilmiştir. YETKE modeline ait tüm faktörler kullanılmış ancak rüzgar etkisi hesaba katılmamıştır. Ayrıca bu çalışma depolanmanın oluştuğu iç havzadaki erozyonu göstermemektedir. Toprak erozyonu ve sediment

depolanması için geliştirilen CBS tabanlı modeller arazi kullanım planları için iyi bir araçtır.

Himalaya Sutlej nehri ve çevresinin vejetasyon ve eğim ile ilgili sayısal veri setlerinin oluşturulması için uzaktan algılama ve CBS'nin kullanıldığı bir çalışmada yağış miktarı, yüzey akış ve erozyon bu veriler kullanılarak modellenmiştir. Araştırmacılar arazide yaptıkları erozyon ölçümlerini aralarında YETKE-LS modelinin de bulunduğu iki farklı modelle karşılaştırmışlar ve her iki modelinde arazi ölçümlerine göre zayıf kaldığını ve hata oranlarının fazla çıktığını saptamışlardır. Uygulanan iki modelin CBS ortamında birleştirilmesiyle arazi ölçümlerine daha yakın ve gerçekçi sonuçlar elde etmişlerdir. Araştırmacılar erozyon oranının modelden modele ve arazi ölçümlerine göre farklılık yansıtmasını Himalayalarda yüksek kesimlerdeki yaz aylarında gerçekleşen buz erimelerine ve model için sağlanan verilerdeki dengesizliklere bağlamışlardır. Çalışmada elde edilen yüzey akış verileri ile hesaplanan yağış miktarı verileri arasında farklılıklar bulunmuştur. Bunun nedeni yaz aylarında yüksek kesimlerdeki buzların erimesinden dolayı yüzey akışın artması ve zirveye yakın kesimlerde buzun devamlı kalmasıdır (Gumbricht ve ark. 1997).

Renard ve Freimund (1994), Modifiye Fournier İndisi'nin (Arnoldus 1977) yağışların erozyon gücünü belirlemede kullanılabileceğini belirtmişlerdir. ABD'deki 132 meteoroloji istasyon verisini kullanarak, Renard ve Freimund (1994) ETKE-R faktörü ile MFİ arasında,  $MFİ < 55$  mm ve  $MFİ \geq 55$  mm olduğu durumlar için iki regresyon eşitliği geliştirmişlerdir. Benzer şekilde, Kai ve ark. (2002), MFİ'ni ETKE'de yağış erozyon indis değerini hesaplamak için başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Kinnell ve Risse (1998) ETKE-M adını verdikleri yağış ve sediment miktarları aracılığıyla tahminlenen bir yağış erozyon modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra Kinnell (2001) ETKE-M'de gridlere uygulanabilen ve eğim faktörü belirlenmesinde kullanılan bir eşitlik önermiştir. Bu eşitlik Desmet ve Govers'ın (1996) önerdiği eşitliğin modifiye edilmişidir. Bu eşitlik yüzey akışın değişmez olarak tüm alan üzerinde meydana geldiği durumlarda eğim uzunluğu faktörü değerinin belirlenmesinde yetersiz bulunmuştur. Bu amaçla Kinnell (2005) yaptığı bir başka çalışma ile eğim uzunluğu faktörünün



belirlenmesinde kullanılabilir ve ETKE-M'nin erozyona gridler şeklinde uygulanması için gereken karakterlere sahip yeni bir metot geliştirmiştir.

Ferro ve ark. (1999), Sicilya/İtalya ve Avustralya'da yağış yoğunluk verileri kullanarak ETKE'de yer alan yağış aşındırıcı faktörünün farklı tahminlerle karşılaştırılmasını yapmışlardır (modifiye founier indeks  $F$ ,  $F_F$  indeks). MFI ile ortalama yıllık yağış arasındaki ilişki  $P$  teorik olarak türetilmiştir.  $K$  değişmezi  $F_F$  indeksi ve  $P$  ile bağdaştırılarak ve kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılarak güney İtalya ve güneydoğu Avustralya'nın farklı coğrafik bölgeleri arasında hidrolojik simülasyonlar kurulmuştur. Erozyon riskinin tahminlenmesinde eldeki veriler ile Arnoldus indeksinin  $F_{aj}$  yıllık değeri ve olası dağılımlar çalışılmıştır. Araştırmada homojen bölgeler tespit edilerek her bir alt bölge için erozyon risk indeksi değeri değişmez bulunmuştur.

Yıllık, aylık ve günlük yağış verileri kullanılarak yapılan bir çalışmada 5 farklı yağış aşındırma indeks formülü önerilmiş ve test edilmiştir. Araştırma Avustralya'nın nemli tropiklerinde iki farklı havzada yürütülmüştür. Havza sediment verimi ile ilgili yıllık ve mevsimsel değişikliklerin tanımlanmasında yıllık ve günlük yağış miktarlarının basit fonksiyonlarını kullanan yağış aşındırma indeksleri yeterli olarak bulunmuştur. Ayrıca test edilen bu yağış aşındırma indeksleri ETKE'deki  $R$  faktörü etkisi ile benzer bulunmuştur (Yu ve Neil 2000).

Van der Kniff ve ark. (2000), YETKE kriterlerine göre coğrafik bilgi sistemi içinde sayısal yükseklik modeli kullanarak Avrupa Birliği üye ülkelerini kapsayan Avrupa Erozyon Haritası oluşturmuşlardır. Bu haritada ülkemiz yer almamaktadır.

De Luis ve ark. (2001) Valencia-İspanya'da yağışları analiz etmek ve erozyonun Akdeniz ekosistemi üzerine olan etkisini görmek amacıyla YYİ değerlerini hesaplamışlardır. Araştırmacılara göre erozyon modellerinde MFI'e ek olarak, YYİ değerleri de kullanılabilir.

Avustralya’da ülke genelinde toprak erozyon tahmini için bir model çalışması yürütülmüştür. YETKE temel alınarak devamlı kaydedilen uzaktan algılanmış veriler, günlük yağış verileri ve güncellenmiş toprak, arazi kullanımı ve topoğrafya verileri kullanılmıştır. Sonuçlar yıllık ortalama toprak kaybı haritası ve aylık dağılımları olarak sunulmuştur. Ülkenin kuzey kesimlerinin güney kesimlerine göre daha yüksek erozyon potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmadan çıkan bir başka sonuç ise doğal vejetasyon alanlarına göre tarım alanlarında erozyon oranının daha yüksek bulunması ve erozyon potansiyelinin yaz ve kış dönemlerinde önemli farklılıklara sahip olmasıdır (Lu ve ark. 2001).

Boggs ve ark. (2001), YETKE modelini daha basite indirgeyerek daha detaylı erozyon modellemesi planları için yol gösterici olacak bir çalışma yapmışlar, arazi veri geçerliliği ve erozyon tahmini üzerine eğimin etkisini araştırmışlardır. Sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanımının büyük ölçüde hızlı erozyon tahminleme modelinin doğruluğunu arttırdığını bulmuşlardır. Veri çözünürlüğü azaldıkça sonuçlar büyük alanlar için fazla, küçük alanlar için ise daha az çıkmıştır. Araştırmacılar ayrıca arazi verileriyle kıyasladıklarında daha detaylı çalışmalar için 100 m SYM verisi kullanımının daha uygun çözünürlük olduğunu bildirmişlerdir.

Norton ve ark.’nın (2001) bildirdiğine göre Brezilya’da Dünya’nın en büyük hidroelektrik projesi olarak kabul edilen Italipu projesine sediment birikme riski taşımamasından dolayı kullanılabilirliği açısından 300 yıldan fazla ömür biçiliyordu. Fakat son yıllarda proje bölgesinde tarla tarımı için ormanların açılması ve doğal faunayı tehdit eden diğer arazi kullanımındaki değişiklikler proje ömrünün kısılmasına yol açmaktadır. Bu durumdan yola çıkılarak araştırmacılar sedimentasyonun boyutunu ve geldiği bölgelerin belirlenebilmesi için sediment akışını gözlemek ve modellemek için bir çalışma başlatmışlardır. Bu amaçla bir metodoloji geliştirerek; (1) oluşturulan ölçüm istasyonları ile baraja su taşıyan ana ırmakların gözlemlenmesi ve bulanıklıklarının ölçülmesi, (2) yüksekliklerin belirlenmesi ve yükseklik ile suyun deşarj olmasıyla ilgili kalibrasyon eğrileri geliştirilmesi, (3) bulanıklığın ölçülerek sediment yüküne kalibre edilmesi amaçlanmıştır. Tüm bu ölçümler sayısal olarak kayıt altına alınmış ve her saat göle akan sediment ve su miktarı hesaplanmıştır. Modelleme CBS tabanında YETKE ile

yapılmıştır. YETKE'deki R faktörü bölgede yer alan meteoroloji istasyonlarından sağlanan verilerden, K faktörü elde bulunan toprak verilerinden, topoğrafik (LS) verileri oluşturulan sayısal yükseklik modelinden ve vejetasyon ile toprak yönetimi (C ve P) faktörleri uzaktan algılama verileri ve arazi parsellerinde yapılan çalışmalardan toplanmıştır. Elde edilen gözlem değerleri daha ufak su toplama havzalarında yapılan tahminlerle karşılaştırılarak oluşturulan YETKE/CBS modeli kalibre edilmiştir. Kalibrasyonu yapılan model tüm çalışma alanının erozyon potansiyeli haritalarının sağlanmasında kullanılmıştır. Proje yürütücüleri bölgenin vejetasyonunda ve arazi kullanımındaki olumsuz değişimlerin baraja siltasyon akışını ciddi olarak arttırdığını ve proje ömrünün tahmin edilenden daha da azaldığını belirtmişlerdir.

Slovakya'da ülke genelinde 1:500.000 ölçekte potansiyel ve gerçek erozyon durumunun araştırıldığı bir çalışmada 50 m çözünürlükte raster veri modelleri kullanılarak CBS ortamında işlemişlerdir. Çalışmada ETKE modeli uygulanmıştır. R faktörü 82 meteoroloji istasyonundan alınan veriler interpolate edilerek oluşturulmuştur. K faktörü toprak tekstürü verilerinden değerlendirilmiştir. LS faktörü 50 m çözünürlükte sayısal modelden çıkarılmıştır. Arazi kullanım/örtü faktörü ise CORINE arazi örtü veri bankasından türetilmiştir. Çalışmada erozyon kontrol uygulamaları faktörü dikkate alınmamıştır. Araştırma sonucunda çalışılan alanın % 75'inin çeşitli derecede toprak erozyonu tehlikesi altında olduğu saptanmıştır. Ayrıca gerçek erozyonun özellikle tarımsal kullanıma açılmış tepelik alanlarda, dağlık kesimlerde ve ülkenin yaklaşık % 55'ini oluşturan platolarda daha tehlikeli seviyede olduğunu bildirmişlerdir (Suri ve ark. 2002).

Sukhanovski ve ark. (2002), ETKE'de kullanılan  $EI_{30}$  indeksinin birçok kısıtlayıcı faktörünün olduğunu ve farklı iklim bölgeleri için adaptasyonunun gerektiğini bildirmişlerdir. Yağış erosivitesini hesaplamak için yağış similasyonu ile hesaplanabilen ve fiziksel temelli ağırlık fonksiyon formülü olan bir A indeks geliştirilmiştir. Yaptıkları bir çalışma ile de bu indeksin fonksiyonelliğini ispatlamışlardır. Çalışma Rusya ve Sardinya/İtalya 'da toplam üç farklı bölgede yağış olayları hesaplanarak yapılmıştır. İstatistik ve korelasyon analizleri göstermiştir ki; A indeks değerleri yüksek bir doğrulukla üç test bölgesinde veri uyarlamasına gerek duyulmadan  $EI_{30}$  hesaplamaları

yerine 1:1 oranında kullanılabilir. Erozyon değerleri iki indekste de büyük benzerlikler gösterdiği halde tek tip yağış olaylarında farklılıklar meydana gelmiştir. Fiziksel temelli A indeksi ile tek tip yağışlarla yapılan çalışmalar çok iyi sonuçlar vermiş ve EI<sub>30</sub> indeksi yerine başarıyla uygulanmıştır.

Klik ve Truman (2003), yüksek şiddetli yağışların zamansal dağılımının bilinmesinin yüzey akış ve toprak erozyonu miktarlarının değerlendirmesi için gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Etkili bir yağış indisi, yağış ve yüzey akışların yersel, zamansal ve frekans karakteristiklerinin bilinmesinin önemi üzerinde durmuşlardır. Yağışlardaki herhangi bir dalgalanma toprak erozyonu üzerinde büyük etkilere sahip olabilecektir.

YETKE-1.06c ve YETKE-2 son zamanlarda ortaya çıkmış bilgisayara aktarılmış erozyon modellerindendir. Bu modeller yüksek derecede bozulmuş alanlardaki uygulamalar için çok uygundur. ETKE modeli ile benzerliklerin ve farklılıkların tartışıldığı bir çalışmada YETKE-2 modeli daha etkili, kolay kullanılabilir bulunmuştur. Çalışma sonucunda araştırmacılar ETKE ve ETKE-1 kullanıcıları ve diğer erozyon modellerini kullananları YETKE-2'ye geçmelerini tavsiye etmişlerdir. YETKE-1.06c modeli ETKE modelini kullanmaya devam etmek isteyenler için önerilmektedir. ETKE-1.06c'deki eşitlikler ETKE ve daha önceki sürüm olan YETKE-1'den daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Foster ve ark. 2003).

Endale (2003), Kuzey Tayland'da Lom Kao bölgesinin tepelik eğimlerinde su ile oluşan toprak erozyon oranlarını WEPP modeli ile değerlendirmiştir. Model simülasyonu için dört temsili alan (yüksek dağlık, az dağlık, tepelik ve sıradağ yamaçları) seçilmiştir. Model her temsili alan için iki farklı ürün uygulamasında (devamlı mısır ve mısır-fasulye münavebesi) ve iki farklı eğim uzunluğunda (50 m ve 80-100 m) çalıştırılmıştır. Böylelikle 20 yıllık periyotta 16 çalışma simülasyon edilmiştir. Eğimli arazilerin seçiminde, eğimlerin belirlenmesinde ve erozyonla oluşan toprak kayıplarının tahmininde CBS kullanılmıştır. WEPP modelinde ihtiyaç duyulan iklim parametreleri için CLIGEN modeli kullanılmıştır. Toprak, bitki, toprak yönetimi gibi diğer parametreler arazi çalışmaları ve ikincil kaynaklardan saptanmıştır. Araştırma

sonuçlarına göre mısır-fasulye münavebesinin yapıldığı ve eğim uzunluğunun 80-100 m arasında değiştiği alanlarda ortalama yıllık toprak kaybı 48,36 ton.ha.yıl<sup>-1</sup> olarak gerçekleşmiştir. Aynı bitki münavebesinin yapıldığı ve eğim uzunluğunun 50 m'den daha az olduğu alanlarda yıllık ortalama toprak kaybı 27,6 ton.ha.yıl<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Devamlı mısır ekilen alanlarda ise eğim uzunluğunun 80-100m olduğu kısımlarda yıllık ortalama toprak kaybı 40,53 ton.ha.yıl<sup>-1</sup> çıkmıştır. Araştırmacıya göre çalışma alanında yapılan fazla toprak işleme uygulamaları, bu dönemde bölgeye düşen yağışların da etkisiyle birlikte, erozyon oranını arttırmıştır. Ayrıca çalışmada yüksek dağlık kesimlerin çok daha fazla erozyon oranına sahip olduğu da belirlenmiştir.

Amazonlarda uzaktan algılanmış verilerle CBS tabanında YETKE modeli ile yapılan bir çalışmada iklim verileri (R) ve P faktörü değişmez olarak varsayılmış ve hesaba katılmayarak sadece K, LS ve C faktörü üzerine çalışmalar yapılmıştır. Toprak erodibilitesi (K) faktörü toprak haritaları ve etüd verileri kullanılarak, topoğrafik faktörler (LS) sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturularak ve C faktörünü oluşturan vejetasyon, örtü ve toprak fonksiyonu özellikleri Landsat uydu görüntüleri ile çıkarılmıştır. Sonuçta CBS tabanında basitleştirilmiş YETKE modeline dayanan toprak erozyon risk haritası üretilmiştir. Elde edilen harita arazi kullanım ve arazi örtü/kullanım dağılımı verileriyle çakıştırılarak toprak erozyon riski ve arazi örtü/kullanım dağılımı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre sık ve olgun ormanların bulunduğu bölgelerde toprak erozyonu riski çok az ve az değerlerde, ormanlık vasfı bozulmuş ve çayır arazilerde erozyon orta ile yüksek risk değerleri göstermiştir (Lu ve ark. 2004).

Toprak erozyonunun ciddi bir problem oluşturduğu Çin'in Loess platosunda yapılan bir çalışmada, Yanhe su havzasındaki toprak kaybı YETKE ve CBS ile değerlendirilmiştir. Araştırmacıların bu çalışmada YETKE modelini seçmelerindeki temel amaç; modelin istatistiksel olarak ve nispeten basit olması, kolay parameterize edilebilmesi, daha az veriye ihtiyaç duyması ve çabuk sonuca ulaşılabilmesidir. Çalışmada YETKE modelinde kullanılan tüm faktörler yerel veriler ile hesaplanarak faktör haritaları hazırlanmış ve yıllık ortalama toprak kaybı tesbit edilmiştir. Araştırmacılar YETKE faktör doğruluğu ve ölçek etkisi gibi uyumsuzluklarla

karşılaştıklarını ve bunlar üzerine daha fazla çalışmanın yapılması gerektiğini vurgulamışlardır (Fu ve ark. 2005).

Yüzey akış ve toprak erozyonunun modellendiği ve karakterizasyonu üzerine CBS ve UA uygulamalarının tartışıldığı bir başka araştırma Hindistan'da kurak bir su toplama havzasında uygulanmıştır. Çalışmada IRS (1A/1B II sensör) uydu görüntüleri kullanılarak 1988–1996 yılları arasındaki arazi kullanım/örtü değişimleri de incelenmiştir. Havzanın yüzey akış ve toprak erozyonu durumu ArcInfo-CBS kullanılarak ETKE modeline göre hesaplanmıştır. Düşen yağışın ortalama % 20-30'unun yüzey akışa geçtiği belirlenmiştir. Araştırmacılar UA ve CBS uygulamalarının özellikle büyük ve ulaşılması güç olan alanlarda bu tip çalışmalar için büyük kolaylıklar sağladığını bildirmişlerdir (Chakraborty ve ark. 2005).

Lewis ve ark. (2005), YETKE'deki LS faktörünü CBS ortamında SYM kullanarak belirlemişler ve R, K, C, P faktörleri ile bütünleyerek homojen alt birimler oluşturmuşlardır. Her birim için toprak kaybı ayrı ayrı belirlenmiş ve bu birimler birleştirilerek genele yayılmıştır. Bunun için iki çalışma yürütülmüştür. Massachusetts, ABD'de yapılan birinci çalışmada Idrisi YETKE modülü ile tahminlenen toprak kaybı değerleri Amerikan tarım bakanlığı doğal kaynakları koruma servisinin YETKE arazi verileri ile karşılaştırılmıştır ve toprak kaybı sonuçları benzer bulunmuştur. İkinci çalışmada ise YETKE modeli ile WATEM modeli ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma Belçika'da yer alan bir havzada yürütülmüştür. Bu model-model karşılaştırması sonucunda her iki model ile elde edilen toprak kaybı sonuçları kendi aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki çıkmıştır. Bununla birlikte WATEM modeli ile elde edilen toprak kaybı sonuçları daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar bu sonucu büyük ölçüde iki modelin L faktörü hesaplamasındaki farklılıklardan kaynaklandığını ve buna ek olarak WATEM modelinin kısa ömürlü galiler ve yüzey akış yönünü işleme dahil etmesine bağlamışlardır.

YETKE birçok ülkede kullanılmaktadır. Ancak YETKE modeli boşaltma havzalarındaki sediment birikiminin tahminlenmesi için kullanılamaz. Bu yüzden etkili erozyon kontrolü için CBS tabanlı sediment tahmin aracı (SATEEC-etkili erozyon

kontrolü için sediment değerlendirme aracı) geliştirilmiştir. Bu araç YETKE ve bir sediment taşıma oranı kullanarak boşaltma havzasının herhangi bir yerinde toprak kaybı ve sediment birikiminin tahminlenmesi için geliştirilmiştir. Lim ve ark. (2003) yaptıkları çalışmalar ile SATEEC'in etkinliğini yeni modüllerin geliştirilmesiyle arttırmışlardır. Etkinliği arttırılan yeni SATEEC sistemini işletmek için kullanıcının CBS'de deneyiminin olmasına gerek kalmamıştır. Bu kolay kullanılabilir sistem toprak kaybına duyarlı alanların saptanmasında ve toprak erozyon yönetim planlarının geliştirilmesinde kullanılabilir (Lim ve ark. 2005).

Kenya'da yapılan bir çalışmada Perkerra nehri havzasında potansiyel toprak erozyonu kaybı ArcInfo ve ILWIS coğrafi bilgi sistemi yazılımları birlikte kullanılarak ETKE modeli ile tahminlenmiştir. Çalışmada birçok fiziksel parametre Landsat TM uydu görüntüsü yardımıyla elde edilmiştir. Çalışma alanında toprak erozyon potansiyeli 1,73milyon ton.yıl<sup>-1</sup> ve havza çıkışında sediment birikimi miktarı 1,47milyon ton.yıl<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır. Sonuçlar havzada yüksek oranda meydana gelen sediment kaybının havza dışında depolandığını göstermiştir. CBS kullanımıyla da potansiyel toprak erozyonu sonuç haritaları sağlanmış ve bu haritalar toprak erozyonunun kontrolünde yapılacak olan çalışmalara yönelik öncelikli alanların belirlenmesinde faydalı olmuştur (Onyando ve ark. 2005).

De Jong (2006), toprak erozyon modellemesinde vejetasyonla ilgili değişkenlerin belirlenmesinde Landsat TM görüntülerinin potansiyel kullanımının değerlendirildiği bir çalışma yürütmüştür. Araştırma güney Fransa'da dört farklı nicel metot (Fosberg strüktürel sınıflama sistemi, ETKE-örtü ve yönetim faktörü, yaprak alan indeksi ve toplam yüzde örtü) kullanılarak 33 arazi parselinde yürütülmüştür. Vejetasyon değerlerinin hesaplanmasında denenmiş olan bu farklı metotlar arasında sadece ufak farklılıklar saptanmıştır. Toprak erozyonu modellemesinde vejetasyon farklılıklarının belirlenmesinde Landsat TM uydu görüntüleri büyük kolaylıklar sağlamıştır.

## **2. MATERYAL ve YÖNTEM**

### **2.1. Materyal**

Çalışmada kullanılan materyaller, araştırmanın yürütüldüğü havzaya ait tanımlayıcı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

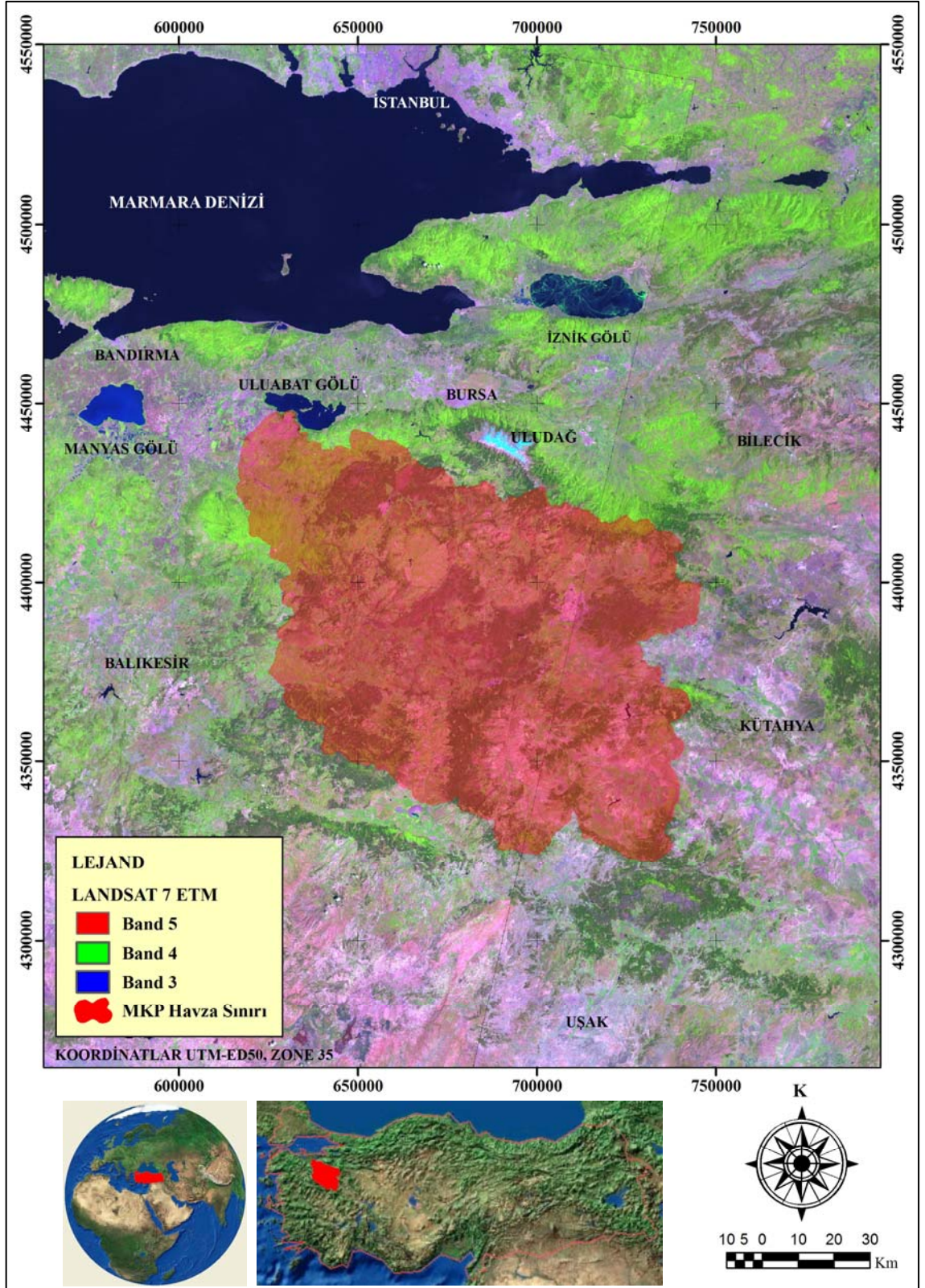
#### **2.1.1. Çalışma Alanı**

Mustafakemalpaşa (MKP) Çayı Havzası genelinde tarımsal amaçlı ve diğer kullanımlar için orman açma işlemleri, madencilik faaliyetleri, şehirleşme ve sanayileşme gibi insan kaynaklı arazi bozulmaları çok yönlü çevresel ve sosyo ekonomik nedenlere bağlı olarak gün geçtikçe artmakta ve artmaya devam etmektedir. Ayrıca havza akarsularının boşaldığı ve Marmara bölgesinin ikinci büyük gölü olan Uluabat Gölü'nde MKP Çayının getirdiği sediment birikimine bağlı delta oluşumu ve göldeki sığlaşma Aksoy ve Özsoy (2002) tarafından belirlenerek havzadaki erozyon sorunun ciddiyeti ve çözüm bulunması gerektiği açıklanmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında MKP havzası'nın uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak potansiyel erozyon riskinin ve havzadaki erozyonun güncel durumunun belirlenmesinde örnek model oluşturacağı düşüncesiyle çalışma alanı olarak Bursa Mustafakemalpaşa (MKP) Çayı Havzası seçilmiştir.

##### **2.1.1.1. Konum**

Mustafakemalpaşa (MKP) Çayı Havzası 618000–720000 m doğu boylamları ile 4340000–4455000 m kuzey enlemleri arasında uzanmaktadır (UTM-ED50, Zone 35). ArcGIS içinde yer alan hidroloji modülündeki akış birikim (flow accumulation) alt modülü ile CBS ortamında hazırlanan SYM'den elde edilen havza sınırlarına göre çalışma alanı 10101,77 km<sup>2</sup> bir drenaj alanı kaplamaktadır (Şekil 2.1).





Şekil 2.1. Mustafakemalpaşa Havzası Konum Haritası.

Mustafakemalpaşa Çayı havzası içerisinde Bursa'ya bağlı Mustafakemalpaşa, Orhaneli, Keles, Büyükorhan, Harmancık; Kütahya'ya bağlı Tavşanlı, Emet, Hisarcık, Domaniç, Çavdarhisar; Balıkesir'e bağlı Dursunbey ilçeleri bulunmaktadır.

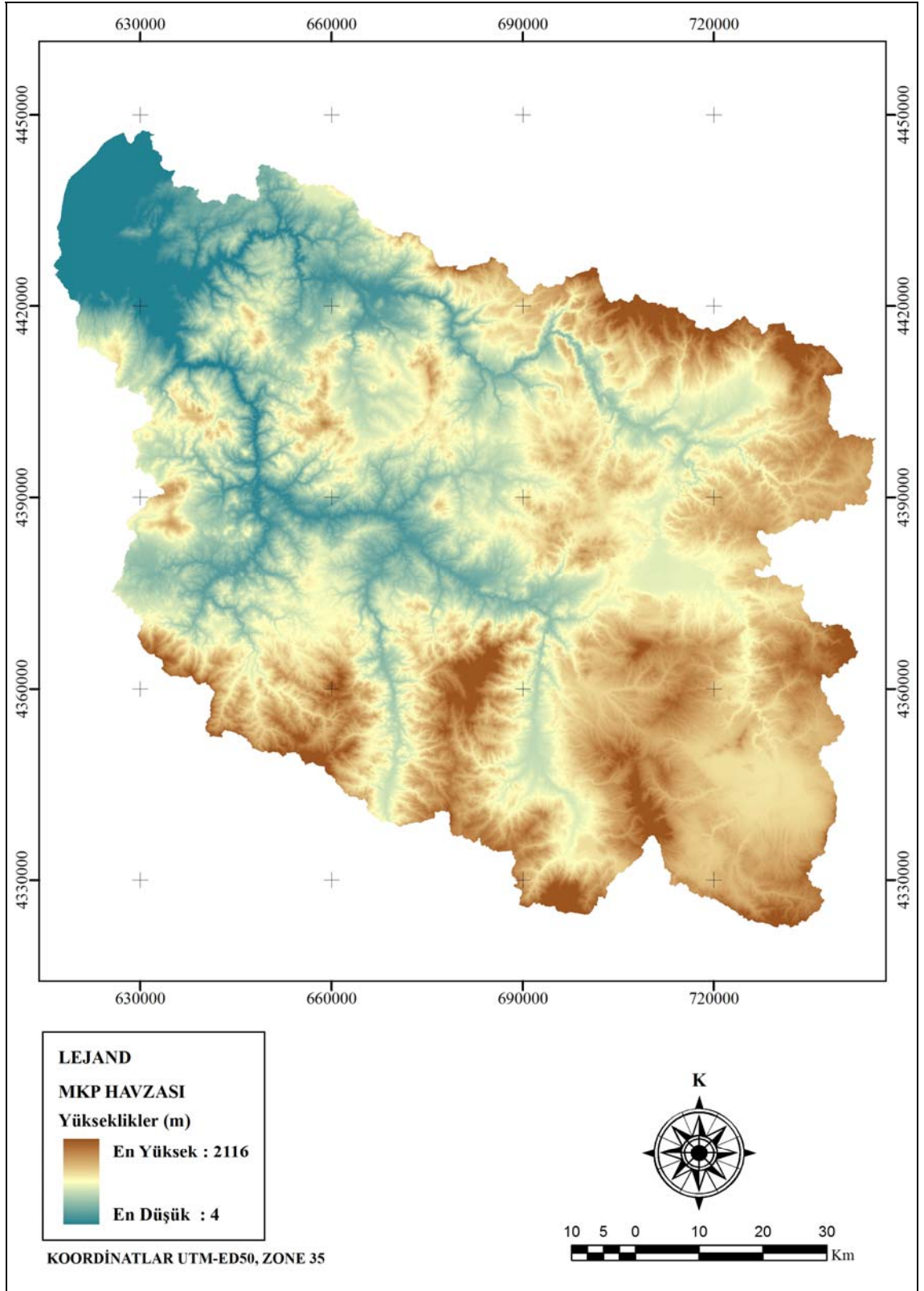
### 2.1.1.2. Topoğrafya

Ülkemizin Kuzey batısında yer alan Mustafakemalpaşa Çayı havzası fizyografik ve topoğrafik olarak çeşitli farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak üç grupta özetlenebilir.

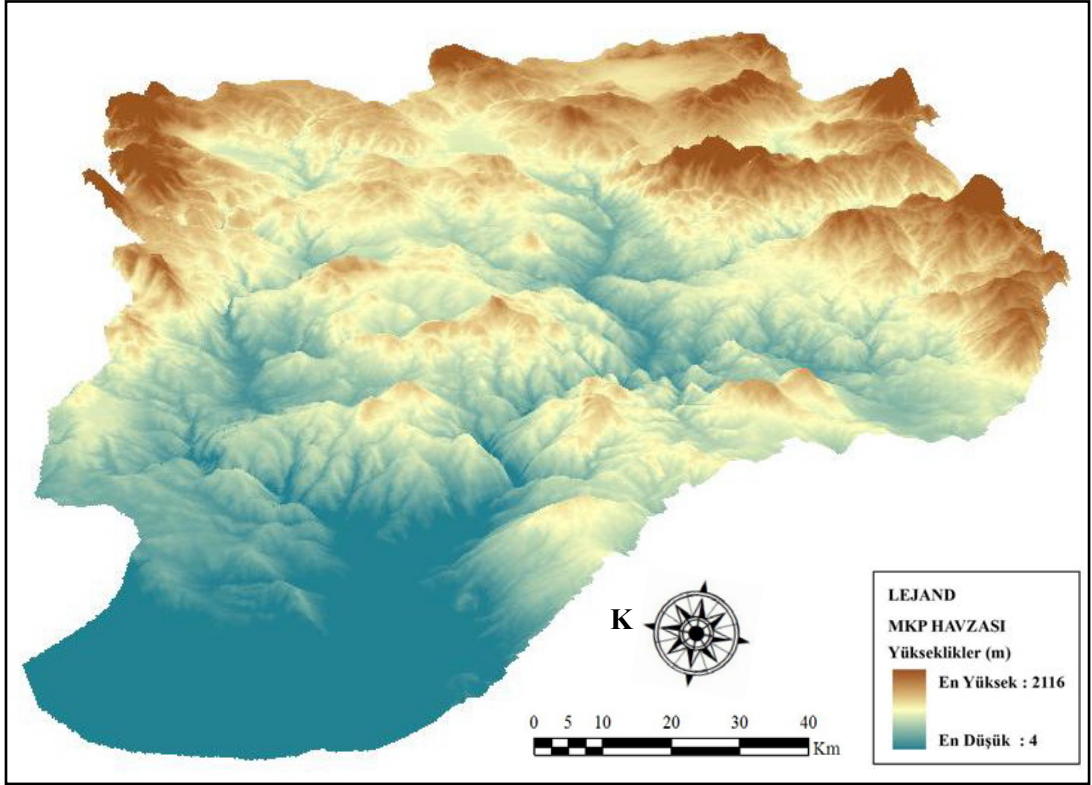
Bunlardan birincisi yer yer çok derin vadilerle kesilmiş arızalı topoğrafyaya sahip dağlık alanlardır. Bölgedeki en yüksek dağ, Mustafakemalpaşa Çayı havzasının dışında ve kuzeyinde yer alan Uludağ'dır (2543 m). Simav İlçesi'nin kuzeyinde bulunan Katran ve Eğrigöz Dağları (2181 m) ile Simav ilçe merkezinin 20 km batısındaki Akdağ (2089 m) Uludağ'dan sonra havzada yer alan en yüksek dağlardır. Akdağ'ın kuzeydoğusunda, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı Akçam Dağları (1591 m) yer alır. Keles'in yaklaşık 20 km doğusunda yer alan Allıkaya Dağı (2023 m), Uludağ'ın güneyinde ve Keles İlçesi'nin 20 km kuzeydoğusundaki Tepel Dağı (2012 m) havzadaki diğer önemli yükseklikleri oluşturur.

İkinci olarak kireç ve çakılca zengin bağıntısız materyallerden ibaret üzerleri yuvarlaklaşmış tepelik ve hafif eğimli arazilerdir. Üzerlerinde doğal bitki örtüsü çalı olan bu arazilerin büyük bir bölümü tarım arazisine dönüştürülmüştür. Kolayca aşınım taşınmaya uygun olan materyallerden meydana gelmiş söz konusu araziler sık sık küçük yan derelerle kesilmişlerdir. Üçüncü olarak ise havzanın kuzeyinde alüvyal toprakların yayılım gösterdiği taban arazilerdir.

Mustafakemalpaşa Havzası'nı temsil eden 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik haritaları bilgisayar ortamına alınarak koordinat bilgileri altlık haritalara göre düzeltilmiş ve paftalar birleştirilerek CBS ortamında havzaya ait sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 2.2). SYM kullanılarak oluşturulmuş Mustafakemalpaşa havzası 3-D görüntüsü Şekil 2.3'de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Mustafakemalpaşa Havzası Sayısal Yükseklik Modeli.



Şekil 2.3. Mustafakemalpaşa Havzası 3-D Görüntüsü.

### 2.1.1.3. İklim

Çalışma alanının Marmara Denizi'ne yakın kesimlerinde Akdeniz iklimi özellikleri, havzanın güneydoğusu ve yüksek kesimlerinde ise karasal iklim özellikleri hakimdir. Havzaya yağış taşıyan hava kütleleri daha çok Balkanlar yönünden, Marmara Denizi ve Batı Karadeniz üzerinden ulaşmaktadır.

Marmara denizine yakın, havza kuzeyinde kalan kısımlara güneyde kalan kesimlere oranla daha bol yağış düşmektedir. Yağışların büyük bölümü kış aylarında düşmekte, geri kalan kısım ise bahar aylarında görülmektedir. Havzadaki hakim yağış türü yağmurdur. Kış mevsiminde iç ve yüksek kesimlerde gözlenen yağış türü kardır. Havzada uzun yıllar gözlenmiş aylık ve yıllık ortalama sıcaklıklar Çizelge 2.1'de verilmiştir (Anonim 2006).

**Çizelge 2.1.** Mustafakemalpaşa Havzası'nda Aylık ve Yıllık Ortalama Sıcaklıklar (Anonim 2006).

Meteoroloji İstasyonu	Ölçüm Periyodu	Ortalama Sıcaklık (°C)												
		Aylar												Yıllık
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Bursa	1975-2005	5,5	5,9	8,3	12,9	17,6	22,3	24,6	24,1	20,1	15,3	10,4	7,2	14,5
Kütahya	1975-2005	0,5	1,5	4,9	9,9	14,4	18,3	20,8	20,4	16,5	11,7	6,2	2,2	10,6
Balıkesir	1975-2005	4,9	5,6	8,2	13,2	17,8	22,6	24,8	24,4	20,7	15,7	10,1	6,5	14,5
M.Kemalpaşa	1975-2005	5,3	5,9	8,4	12,4	17,2	21,6	23,6	22,5	18,9	15,2	10,3	7,0	14,0
Deveci Konağı	1985-1994	5,3	5,4	7,9	13,3	16,7	21,1	23,1	23,3	19,0	14,8	10,2	6,8	13,9
Domaniç	1976-1990	1,0	1,9	5,2	9,9	14,2	17,8	19,9	19,7	16,6	11,8	6,7	3,0	10,6
Büyükorhan	1988-2000	0,7	1,5	4,7	9,9	13,0	17,1	19,9	20,2	16,6	12,6	6,2	3,3	10,5
Harmancık	1988-1992	0,1	1,3	5,4	10,6	13,8	18,2	21,1	21,6	16,8	11,2	6,7	2,1	10,7
Emet	1975-1995	1,8	2,2	5,7	10,0	14,3	18,5	21,1	20,9	17,6	12,9	6,9	3,2	11,3
Keles	1975-2005	0,4	0,6	3,5	8,1	12,8	16,6	19,1	18,8	15,2	10,9	5,9	2,1	9,5
Dursunbey	1975-2005	2,8	3,3	6,2	10,8	15,4	19,7	21,9	21,4	17,9	13,4	8,1	4,5	12,1
Tavşanlı	1975-2005	1,2	2,0	5,3	10,1	14,9	18,9	21,6	21,2	17,1	12,2	6,9	2,9	11,2
Simav	1975-2005	2,4	2,8	5,9	10,5	15,2	19,3	21,8	21,2	17,0	12,2	7,3	4,0	11,6
Gediz	1975-2005	2,4	3,1	6,3	10,9	15,9	20,5	23,8	23,5	18,7	13,1	7,3	3,8	12,4

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere, çok yıllık ölçümlere göre, havzada görülen en yüksek ortalama yıllık sıcaklık 14,5 °C ile Bursa ve Balıkesir il merkezlerinde görülmektedir. En düşük ortalama yıllık sıcaklık ise 9,5 °C ile Bursa ili Keles ilçesinde ölçülmüştür. Havzada en düşük sıcaklıklar sırasıyla Ocak, Şubat ve Aralık aylarında, en yüksek sıcaklıklar ise Temmuz, Ağustos ve Haziran aylarında görülmektedir (Çizelge 2.1). Mustafakemalpaşa Çayı Havzasında çok yıllık ortalama düşen yağış miktarları ve aylık dağılımları Çizelge 2.2'de sunulmuştur (Anonim 2006). Çalışmada iklimsel verileri kullanılan meteoroloji istasyonları konum haritası Şekil 2.4'de verilmiştir.

Mustafakemalpaşa havzası ve yakın çevresinde yer alan meteoroloji istasyonları verilerinden derlenen ve Çizelge 2.2'de sunulan çok yıllık aylık ve yıllık düşen yağış miktarı verilerine göre sırasıyla Kütahya ili Simav ilçesi, Bursa ili Keles ve

Mustafakemalpaşa ilçeleri ile Bursa ili merkez havzanın en yağışlı bölgelerini oluşturmaktadır.

**Çizelge 2.2.** Mustafakemalpaşa Havzası'nda Aylık ve Yıllık Ortalama Düşen Yağış Miktarları (Anonim 2006).

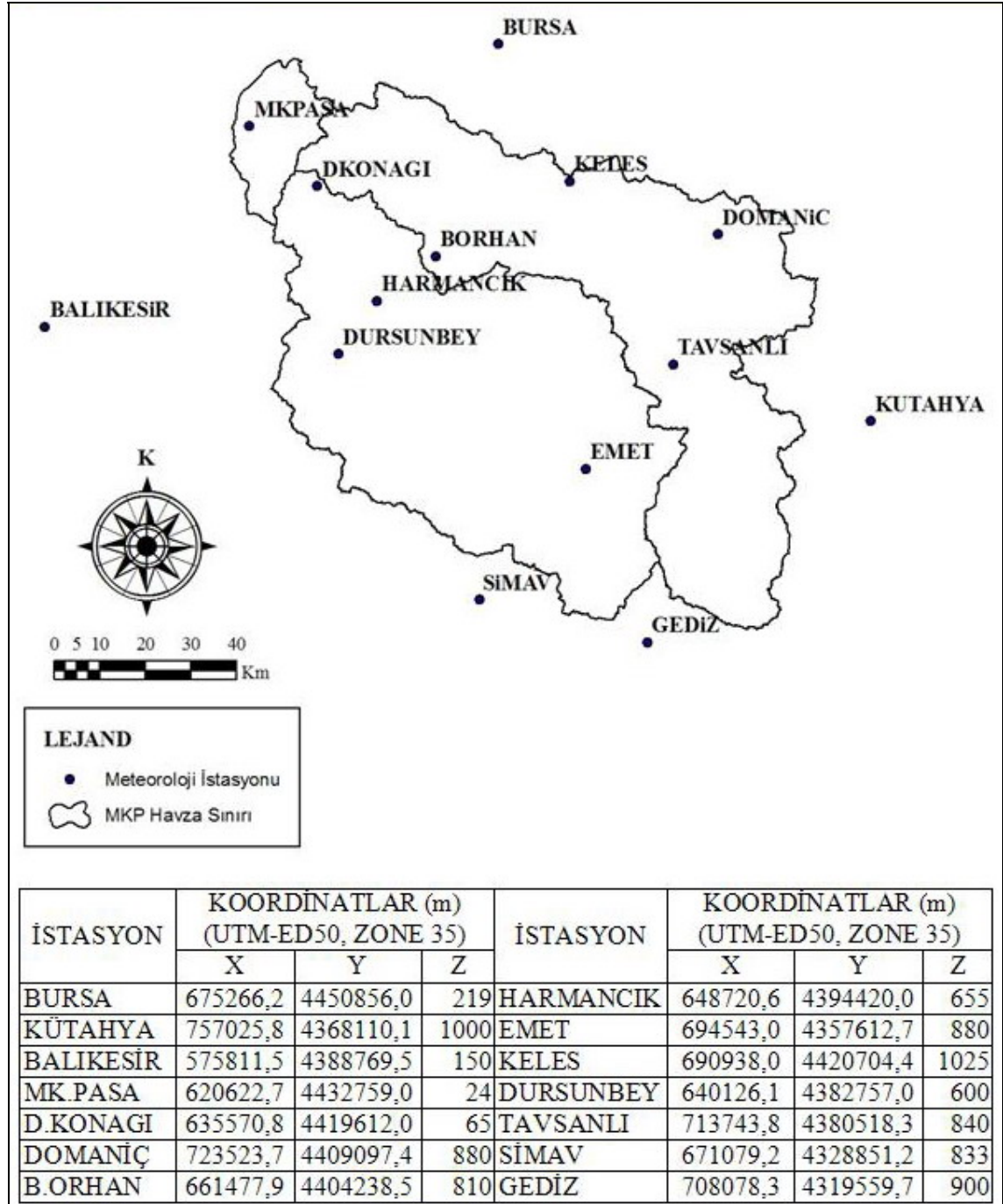
Meteoroloji İstasyonu	Ölçüm Periyodu	Ortalama Düşen Yağış Miktarı (mm)												
		Aylar												Yıllık
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Bursa	1975-2005	81,6	66,2	61,2	68,8	46,2	32,4	20,2	17,3	38,0	68,9	83,8	96,7	681,3
Kütahya	1975-2005	67,4	53,7	50,9	60,6	50,4	28,8	19,7	18,0	20,7	40,1	57,6	82,2	550,1
Balıkesir	1975-2005	70,6	58,0	54,8	52,2	42,1	17,5	10,5	5,3	19,7	41,7	84,4	90,2	547,0
M.Kemalpaşa	1975-2005	93,7	78,1	65,8	58,5	43,0	26,7	15,5	20,6	28,8	68,6	93,8	105,8	698,9
DeveciKonağı	1985-1994	66,9	69,2	55,4	48,4	46,5	39,1	11,5	5,6	22,9	64,3	94,8	92,9	617,5
Domaniç	1976-1990	100,4	64,7	51,5	54,3	47,8	32,9	28,3	8,9	19,7	53,6	72,2	90,6	624,9
Büyükorhan	1988-2000	20,1	35,6	41,7	44,5	28,9	17,6	10,4	3,4	17,3	42,0	65,4	52,0	378,8
Harmancık	1988-1992	13,9	35,3	51,9	49,7	50,6	48,9	15,7	10,1	16,4	49,0	70,0	77,6	489,2
Emet	1975-1995	69,6	41,2	42,5	43,8	42,8	35,3	14,5	13,5	16,5	37,1	52,9	66,7	476,4
Keles	1975-2005	96,0	75,3	73,2	79,7	58,5	39,0	17,4	17,8	23,9	52,8	88,5	106,9	729,0
Dursunbey	1975-2005	70,8	56,3	53,6	60,7	43,7	25,7	11,4	12,2	19,2	45,4	70,1	81,2	550,3
Tavşanlı	1975-2005	50,6	41,7	42,2	50,7	45,2	28,6	24,0	20,6	23,4	39,8	50,8	59,4	477,0
Simav	1975-2005	124,7	90,1	75,9	78,0	49,0	29,4	13,7	11,2	23,1	46,4	102,7	146,8	791,0
Gediz	1975-2005	76,3	60,6	58,0	61,9	41,9	22,2	19,2	12,7	18,3	43,9	69,8	89,7	574,5

Havzada en kurak bölgeler Büyükorhan, Emet, Tavşanlı ve Harmancık'tır. Çalışma alanında en fazla yağış sırasıyla Aralık, Ocak, Kasım ve Şubat aylarında gerçekleşir. En kurak geçen aylar ise sırasıyla Ağustos, Temmuz ve Eylül aylarıdır.

#### 2.1.1.4. Jeoloji ve jeomorfoloji

Yaklaşık 10101 km<sup>2</sup>'lik bir drenaj alanına sahip olan Mustafakemalpaşa havzasındaki jeomorfolojik yapılar, genel olarak aşınmaya, çökelmeye, karstlaşmaya ve tektonizmaya bağlı olarak gelişmiş yapılar şeklinde tanımlanabilir. Aşınma yapıları, daha çok, havzada temeli oluşturan Neojen öncesi birimlerde gözlenmektedir. Üst Miyosen'e kadar aşınmanın sürmesi, temeli oluşturan Neojen öncesi birimlerde aşınma

düzlüklerinin oluşmasına neden olmuştur. Aşınma sonucu kazanılan morfolojiyi, litolojik birimlerin erozyona karşı dirençleri önemli oranda belirlemiştir.



Şekil 2.4. Çalışmada Kullanılan Meteoroloji İstasyonları ve Havzadaki Konumları.

Üst Miyosen ve sonrasında yoğunlaşan neo-tektonik etkinlikler, havzada yükselmelere ve kırılmalara neden olmuştur. Bölgesel yükselmeler, yeni aşınma

rejiminin gelişmesine, aşınmanın yer yer hızlanmasına neden olmuştur. Öte yandan, tektonik hareketlerle oluşan zayıf zonlar ve çizgisellikler, havzanın drenaj ağında yeni şekillenmeleri sağlamıştır.

Havzada önemli alanlar kaplayan Paleozoyik ve Senozoyik yaşlı magmatik metamorfik kayaçlar, aşınmaya karşı en dirençli birimleri oluşturmaktadırlar. Batıdan doğuya doğru, Çatal Dağı, Akbağ Dağı, Katran Dağı, Eğriöz Dağı, Dümen Dağı gibi havzanın su bölüm hattının izlediği yükselteleri, Senozoyik yaşlı granit ve granodiyoritin hakim olduğu aşınmaya karşı yüksek dirence sahip magmatik kaya kütleleri oluşturmaktadır. Bu kaya kütleleri, bu nedenle, havzadaki ana yükselteleri oluştururlar. Miyosen dönemine ait aşınım düzlüklerini temsil eden bu kütleler, tektonizmanın da etkisiyle derin vadilerin ve boğazların geliştiği bir drenaj yapısına sahiptirler. Havzada, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçların yayılım gösterdiği Çaldağ ve Karakoz-Kızılelma Dağı mevkiilerinde Emet ve Orhaneli Çayları derin bir vadi içinde akmaktadırlar. Kapladıkları alan açısından ikinci derecede önemli olan Neojen dönemine ait çökeller ise havzada aşınmaya karşı direnci en düşük litoloji birimlerini temsil etmektedirler. Harmancık, Emet, Gediz, Tavşanlı, Mustafakemalpaşa düzlükleri bu litolojilerin hakim olduğu alanlarda gelişmişlerdir (Anonim 2002).

Havzada sınırlı alanda yayılım gösteren Mezozoyik yaşlı birimler, genellikle karbonatlı kayaçlarla temsil edilmektedir. Karbonatlı kayaçların aşınmaya karşı dirençleri orta düzeydedir. Yayılım alanları daha çok düşük yükseltilere karşılık gelen karbonatlı kayaçalarda, özellikle Uluabat Gölü'nün güney kıyılarını oluşturan Söğütalan mevkiinde yoğun dolin, düden gibi karstik yapılara rastlanmaktadır.

Havzaya ait 1:500.000 ölçekli jeoloji haritaları sayısallaştırılmış ve CBS ortamında alansal ve oransal dağılımları hesaplanmıştır. Oluşturulan bu haritaya göre MKP havzasında Neojen karasal ayrılmamış (3179,72 km<sup>2</sup>) formasyonlar en fazla alanı kaplamaktadır (% 31,47). Bunu serpantin, peridotit, piroksenit, diorit, gabro (1989,18 km<sup>2</sup>, % 19,69) ve paleozoik metamorfikler (1085,03 km<sup>2</sup>, % 10,74) izlemektedir. Permien-mesozoikler 973,39 km<sup>2</sup> (% 9,64), granit, granodiorit, kuarslı diorit 949,18 km<sup>2</sup> (% 9,40), andezit, spilit, porfiriterler 785,52 km<sup>2</sup> (% 7,78), mesozoikler 362,49 km<sup>2</sup>

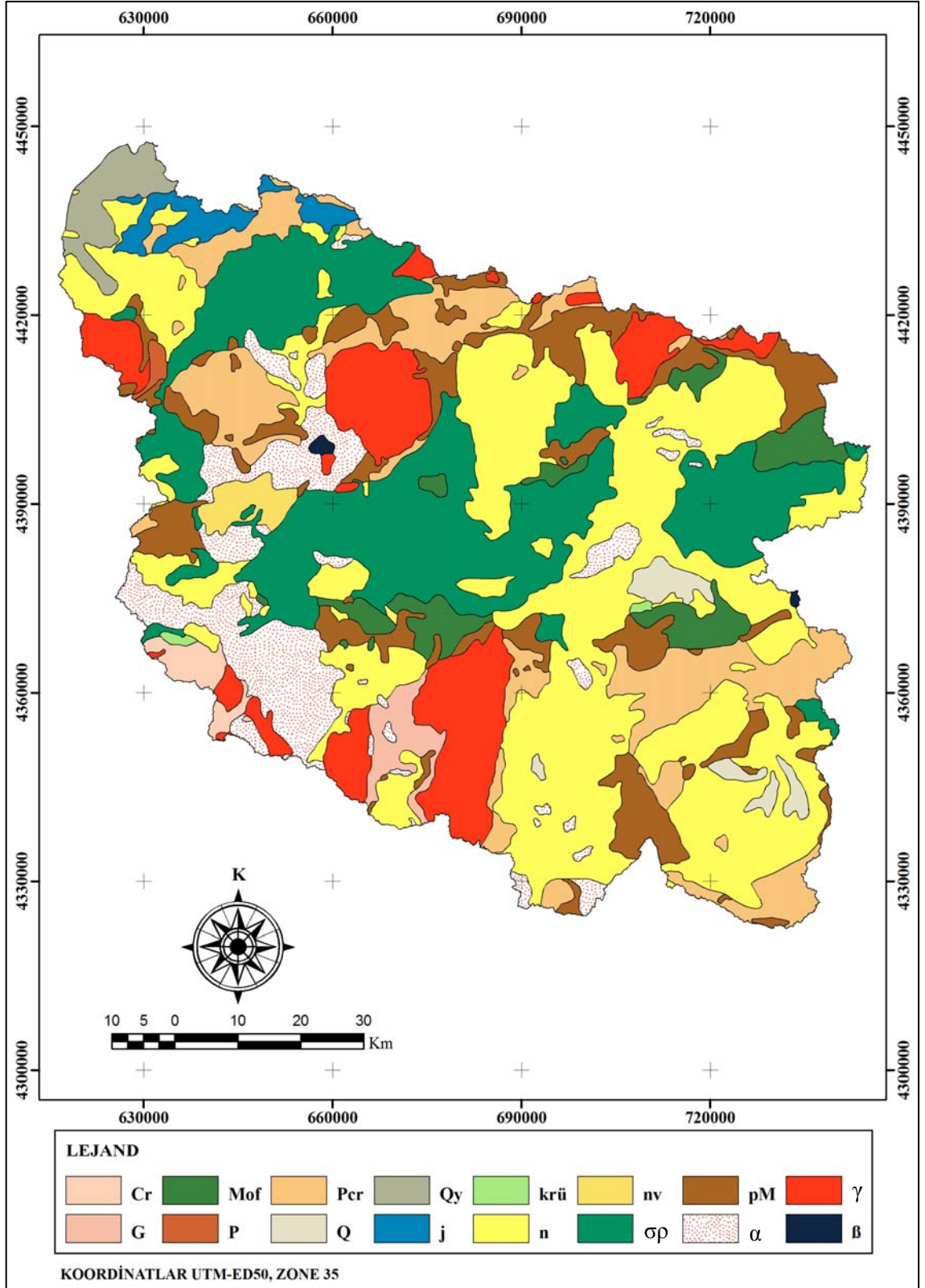


(% 3,59) alan kaplamaktadır. Havzada görülen diğer jeolojik birimler ile ilgili alansal bilgiler Çizelge 2.3’de, havzanın jeoloji haritası ise Şekil 2.5’de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Mustafakemalpaşa Havzası Jeolojisi ve Ana Kaya Dağılımı.

ANA KAYA	HARİTALAMA KODU	ALAN	
		km <sup>2</sup>	%
Neojen, Karasal, Ayrılmamış	n	3179,72	31,47
Serpantin, Peridotit, Piroksenit, Diorit, Gabro	σρδ	1989,18	19,69
Paleozoik, Metamorfik	Pcr	1085,03	10,74
Permien-Mesozoik	pM	973,39	9,64
Granit, Granodiorit, Kuarslı Diorit	γ	949,18	9,40
Andezit, Spilit, Porfirit	α	785,52	7,78
Mesozoik (Ofiolitli Seri) Ekseriye Kretase	Mof	362,49	3,59
Holosen, Yeni Alüvyon	Qy	166,97	1,65
Jura, Ayrılmamış	j	142,19	1,41
Kuaterner, Karasal, Ayrılmamış	Q	124,44	1,23
Gnays, Mikaşist, Amfibolit	G	122,98	1,22
Neojen, Volkanik Fasies	nv	89,53	0,89
Metamorfik Seri, Ayrılmamış	Cr	87,14	0,86
Paleozoik, Ayrılmamış	P	19,41	0,19
Üst Kretase	krü	13,07	0,13
Bazalt, Dolerit	β	11,53	0,11
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>10101,77</b>	<b>100,00</b>

Havzada yer alan en geniş ovalar Tavşanlı, Karacabey ve Mustafakemalpaşa ovalarıdır. Geçirimliliği yüksek olan bu alüvyon bölgeler yeraltı suyu sağlanması açısından önemlidir. Mustafakemalpaşa ovasında 0,4–1,5 m derinliklerde, Tavşanlı ovasında 2 m derinlikte su tablasına erişmek mümkündür. Ancak Tavşanlı ovası yüzeyinde oldukça geçirimsiz olan bir toprak örtüsü bulunmakta, yamaçlardan gelen sel ve ovaya düşen yağış suları uzun süre yüzeyde kalmaktadır (Anonim 2000a).



Şekil 2.5. Mustafakemalpaşa Havzası Jeoloji Haritası.

### 2.1.1.5. Toprak

Mustafakemalpaşa havzasında iklim, bitki örtüsü topografya ve ana madde farklılıkları nedeni ile farklı karakteristiklere sahip, 12 ayrı Büyük Toprak Grubu altında sınıflandırılmış topraklar oluşmuştur. Söz konusu toprakların yanı sıra toprak örtüsünden yoksun bazı araziler ve su yüzeyleri de görülmektedir (Anonim 1993, 1995 ve 1999).

Bursa, Balıkesir, Kütahya ve Bilecik İllerine ait 1:25.000 ölçekli sayısal toprak haritalarının havza sınırları içerisinde kalan bölümleri CBS ortamında kesilerek birleştirilmiş ve herbir haritalama ünitesinin alansal ve oransal dağılımları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonunda MKP havzasının en yaygın toprak grubunu 5004,95 km<sup>2</sup> ve % 49,54 oranla Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları'nın oluşturduğu belirlenmiştir. Bunu 3659,45 km<sup>2</sup> ve % 36,22'lik dağılımla Kahverengi Orman Toprakları izlemektedir. Havzada hakim diğer topraklar ve alansal dağılımları sırasıyla Rendzinalar 367,76 km<sup>2</sup> (% 3,64) , Aluviyal Topraklar 350,77 km<sup>2</sup> (% 3,47), Koluviyal Topraklar 125,21 km<sup>2</sup> (% 1,24) ve Kahverengi Topraklar 99,57 km<sup>2</sup> (% 0,99)'dır. Havzada Çıplak Kayalıklar 219,01 km<sup>2</sup> (% 2,17) ve yerleşim alanları 61,41 km<sup>2</sup> (% 0,61) şeklinde belirlenmiştir (Çizelge 2.4 ve Şekil 2.6).

Havzanın en yaygın toprak grubu olan Kireçsiz kahverengi orman toprakları genelde yaprağını döken orman örtüsü altında oluşur. Yüksek eğim (% 12–20) ve şiddetli erozyon nedeniyle sığ profile sahiptir. Genellikle VI. arazi yetenek sınıfında yer alırlar ve A (B) C horizonlu topraklardır. A horizonu iyi oluşmuştur. B horizonunun gelişimi yavaştır.

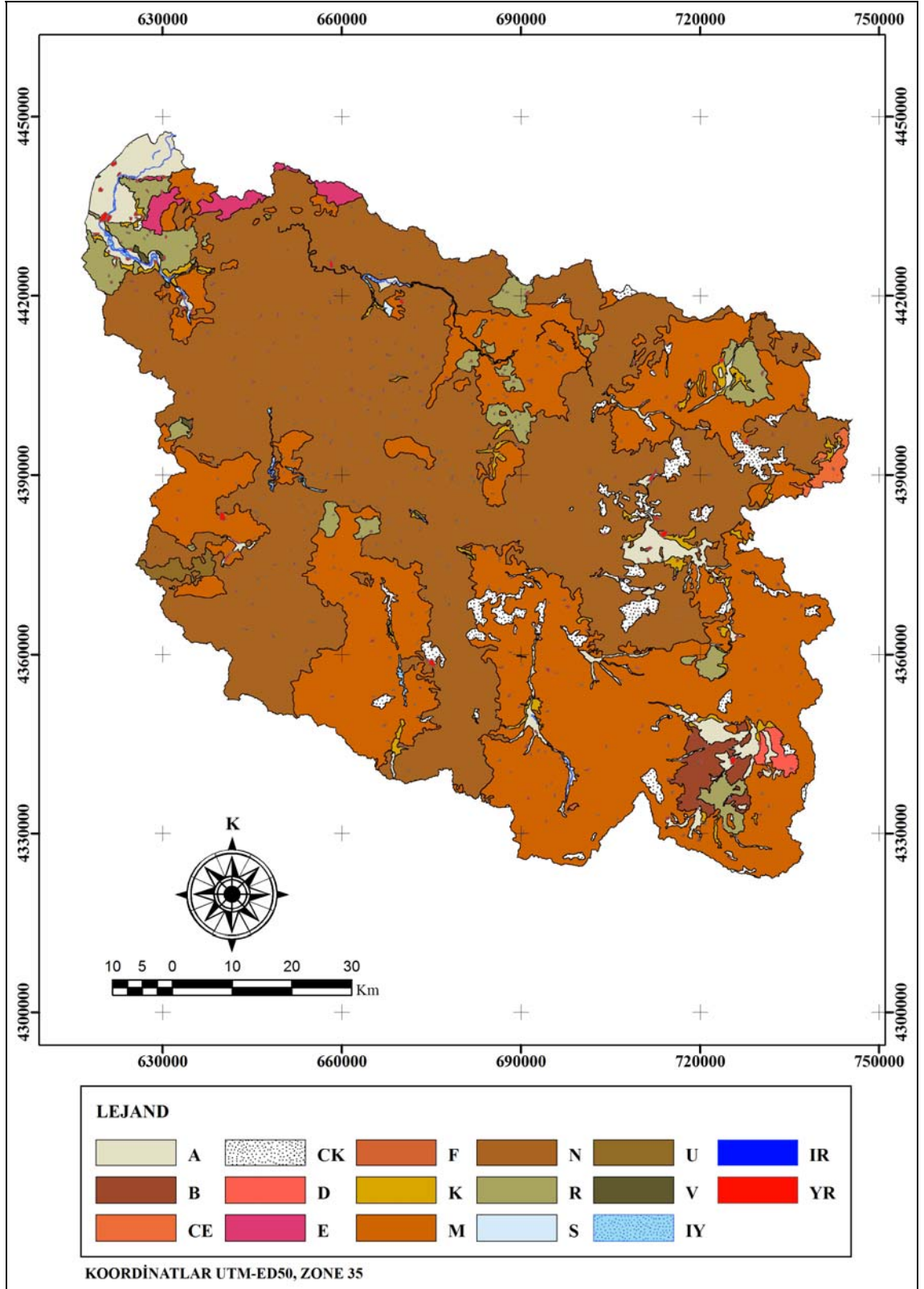
Havzanın ikinci en yaygın toprak grubu olan Kahverengi orman toprakları yüksek kireç içerikli ana madde üzerinde oluşan, A (B) C horizonlu bir profile ve koyu kahverenkli A horizona sahip topraklardır. B horizonu daha açık renktedir ve genellikle kahverengi ve bazende kırmızıdır. Çok az miktarda kil birikmesi ve horizonların aşağı kısımlarında CaCO<sub>3</sub> birikmesi görülebilir. Drenajları iyidir. Arazi kullanımı ise çoğunlukla orman, funda veya meradır. Bir kısmında ise kuru tarım yapılmaktadır.

**Çizelge 2.4.** Mustafakemalpaşa Havzası Büyük Toprak Grubu Dağılımı.

BÜYÜK TOPRAK GRUBU	HARİTALAMA KODU	ALAN	
		km <sup>2</sup>	%
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	N	5004,95	49,54
Kahverengi Orman Toprakları	M	3659,45	36,22
Rendzinalar	R	367,76	3,64
Aluviyal Topraklar	A	350,77	3,47
Çıplak Kaya	CK	219,01	2,17
Koluviyal Topraklar	K	125,21	1,24
Kahverengi Topraklar	B	99,57	0,99
Kırmızı Kahverengi Akdeniz Topraklar	E	75,35	0,75
Yerleşim	YR	61,41	0,61
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	U	33,42	0,33
Kestanerengi ve Kırmızı Kahverengi Akdeniz Topraklar	CE	31,87	0,32
Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar	D	27,99	0,28
Irmak Yatakları	IY	24,17	0,24
Irmaklar	IR	10,74	0,11
Vertisoller	V	6,55	0,06
Aluviyal Sahil Bataklıkları	S	2,38	0,02
Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	F	1,17	0,01
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>10101,77</b>	<b>100,00</b>

Çalışma alanının % 1'den fazla yayılım alanına sahip toprak gruplarını ise kireçli ve çok kireçli anamateryaller üzerinde gelişen Rendzina (% 3,64) ve çoğunlukla MKP çayının getirdiği genç sedimentler üzerinde oluşmuş Aluviyal Büyük Toprak Grupları (% 3,47) oluşturmaktadır.

Intrazonal toprakların kalsimorfik grubuna dahil olan Rendzinalar özelliklerini kireçli ana maddelerinden alırlar. Zonal topraklara göre horizonlar çok zayıf olup A C profillidirler. A horizonu ince, granüler yapılı, orta bünyeli, koyu grimsi, kahverengiden siyaha kadar değişen renkli, alkali reaksiyonlu ve organik maddece zengindir. Bu grupta



Şekil 2.6. Mustafakemalpaşa Havzası Büyük Toprak Grubu Haritası.

CaCO<sub>3</sub> bütün profile dağılmış ve baz doygunlukları da yüksektir. Doğal bitki örtüsü; ot, çayır, çalı ve fundadır. Ana materyelleri ise çoğunlukla kalker, dolomit, marn ve tebeşirdir.

Aluviyal topraklar akarsular tarafından taşınıp depolanan materyaller üzerinde oluşmuş A (C) profilli genç topraklardır. Mineral bileşimleri akarsu havzasının litolojik bileşimi ile jeolojik periyotlarda yer alan toprak gelişimi sırasındaki erozyon ve birikme devrelerine bağlı olup heterojendir. Profillerinde horizonlaşma ya hiç yok, ya da az çok belirgindir. Buna karşılık değişik özellikte katlar görülür. Çoğu çevresindeki kireçli materyallerden taşınarak biriktikleri ve yeni depolandıkları için kireççe zengindir. Bunlarda üst toprak alt toprağa belirsiz olarak geçiş yapar. İnce bünyeli ve taban suyu yüksek alanlarda düşey geçirgenlik azdır. Yüzey nemli ve organik maddece zengindir. Alt toprakta hafif seyreden bir indirgenme olayı hüküm sürer. Kaba bünyeliler iyi drene olduklarından çabuk kurur. Üzerlerindeki bitki örtüsü iklime bağlıdır. Drenaj, tuzluluk ve alkalilik problemleri olamayan Aluviyal topraklar havzanın en verimli topraklarını oluştururlar ve çoğunlukla MKP Ovasında yer almaktadırlar.

#### **2.1.1.6. Bitki örtüsü ve arazi kullanımı**

Bölgenin doğal bitki örtüsü orman, fundalık, makilik ve çalılıklardan oluşmaktadır. Meşe, kayın, gürgen, çam, dişbudak, karaağaç, kızılbaş, kestane, ıhlamur, delice, ahlat, çitlembik ve mazi en çok görülen ağaç türleridir. Ot ve çalı örtüsü olarak, ılgın, böğürtlen, eğrelti ve kısa boylu otlar yaygındır (Anonim 2003).

CBS ortamına alınan Bursa, Balıkesir, Kütahya ve Bilecik İllerine ait 1:25.000 ölçekli sayısal toprak haritaları aynı zamanda 1984 yılına ait arazi kullanım verilerini de içermektedir. Bu verilere göre haritanın yeniden sınıflandırılması ile oluşturulan arazi kullanım haritasından elde edilen 1984 yılı arazi kullanım verilerine göre MKP havzasında en çok görülen arazi kullanım/örtü tipini tüm alanın % 42,51'sini kaplayan ormanlık alanlar (4294,91 km<sup>2</sup>) oluşturmaktadır (Anonim 1993, 1995, 1999). Bunu % 17,29'luk bir oranla nadaslı kuru tarım alanları (1746,88 km<sup>2</sup>) ve % 16,39 ile fundalık (1655,26 km<sup>2</sup>) izlemektedir. Nadassız kuru tarım arazileri 1231,65 km<sup>2</sup> (% 12,19) bir alan kaplamaktadır. Havzanın iyi sulanabilen tarım alanları 337,29 km<sup>2</sup> (% 3,34), bağ ve

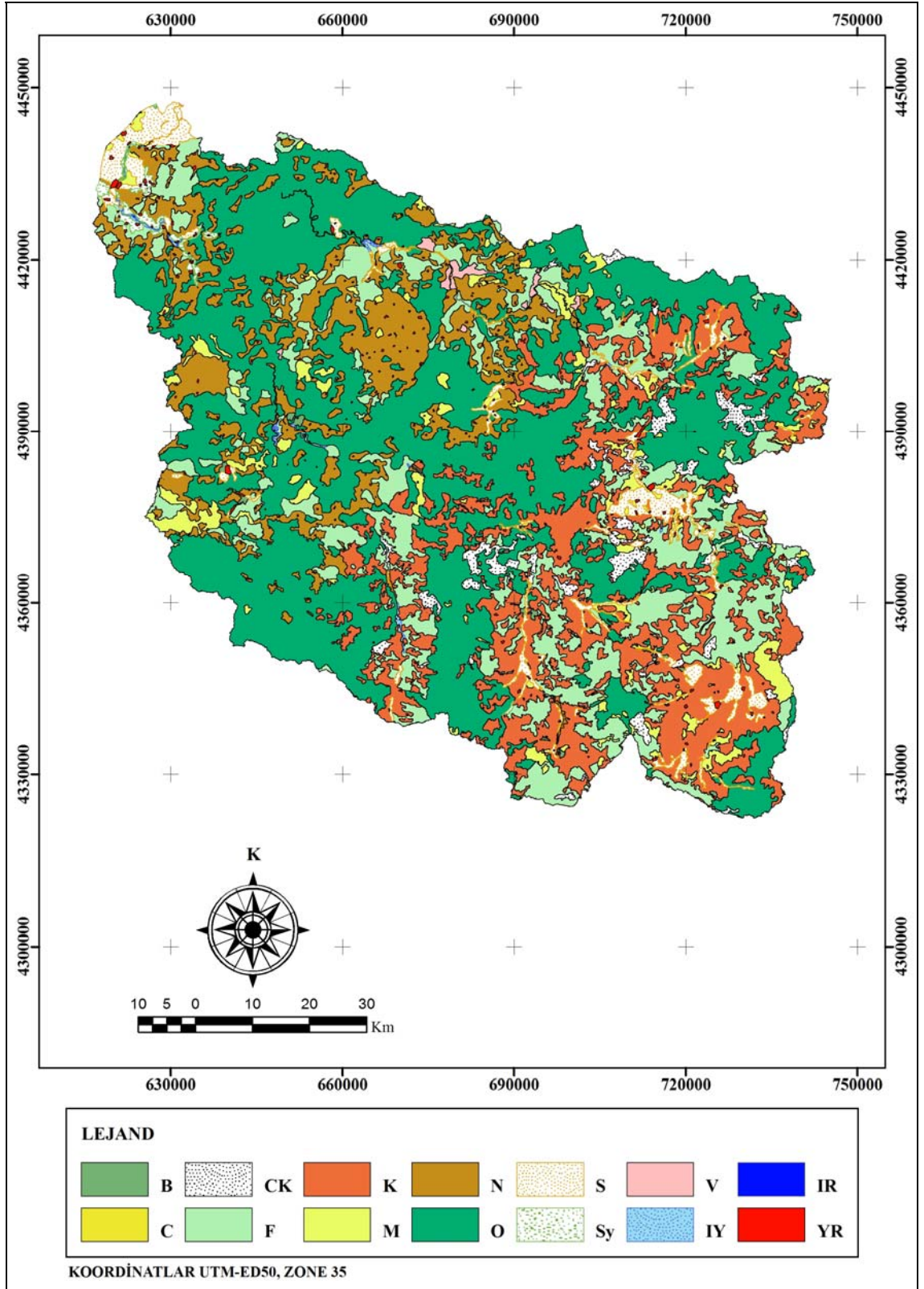
bahçeler toplam 52,75 km<sup>2</sup> ve % 0,52'lik dağılımdadır. Bölgede çayır ve mer'alar toplam 425,29 km<sup>2</sup>'dir ve tüm alana oranı % 4,21'dir (Çizelge 2.5 ve Şekil 2.7).

**Çizelge 2.5.** Mustafakemalpaşa Havzası'nın Arazi Kullanım Durumu.

ARAZİ KULLANIM TÜRÜ	HARİTALAMA KODU	TOPLAM ALAN	
		km <sup>2</sup>	%
Orman	O	4294,91	42,51
Kuru Tarım (nadaslı)	K	1746,88	17,29
Fundalık	F	1655,26	16,39
Kuru Tarım (nadassız)	N	1231,65	12,19
Mer'a	M	424,71	4,20
Sulu Tarım	S	337,29	3,34
Çıplak Kaya ve Molozlar	CK	219,01	2,17
Yerleşim Alanı	YR	61,41	0,61
Sulu Tarım (yetersiz)	SY	42,41	0,42
Bağ (kuru)	V	33,17	0,33
Irmak Yatığı	IY	24,17	0,24
Bahçe (kuru)	B	19,58	0,19
Irmaklar	IR	10,74	0,11
Çayır	C	0,58	0,01
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>10101,77</b>	<b>100,00</b>

### 2.1.2. Çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlar

Çalışmanın yürütülmesinde Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama ve CBS Laboratuvarında bulunan UA ve CBS donanım ve yazılım olanaklarından yararlanılmıştır. Toprak Bölümünde bulunan ve bu çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlar; Windows XP Professional işletim sisteminde çalışan çeşitli kapasitedeki masa üstü bilgisayarlar, A0 büyük formatlı renkli yazıcı (plotter), A3 ve A4 yazıcılar, A0 ve A4 yüksek çözünürlükteki renkli tarayıcılar, GPS'ler, el bilgisayarları, ERDAS Imagine 8.7, ArcGIS ArcInfo 9.1 Workstation, NetCAD GIS 4.0, ILWIS 3.3 Academic ve Microsoft Office programlarıdır.



Şekil 2.7. Mustafakemalpaşa Havzası Arazi Kullanım/Örtü Haritası.



### 2.1.3. Çalışmada Kullanılan Veriler ve Veri Kaynakları

Çalışmanın sağlıklı yürütülebilmesi ve gerçekçi sonuçların üretilebilmesi mevcut veri tabanının yeterli ve güvenilir olmasına bağlıdır. Yeterli ve doğru veriye sahip olduğunda CBS son derece etkilidir. Projeye ait coğrafi ve coğrafi olmayan (öznitelik) verileri çeşitli kuruluşlardan ve mevcut veri tabanından sağlanmıştır. Verilerin sisteme girilişinde ve analizinde gerekli düzeltmeler ve eklemeler yapılmıştır. Havza'nın toprak karakteristikleri, topoğrafik özellikleri, güncel ve geçmişteki arazi kullanım ve örtü durumu, iklimsel özellikleri ile ilgili veriler ile havzanın sayısal uydu görüntüleri, hava fotoğrafları araştırmanın temel materyallerini oluşturmaktadır. Çalışmanın yürütülmesi sırasında kullanılan temel kartoğrafik veri, donanım ve yazılımlar aşağıda verildiği gibidir.

- 1995 yılı 1:35.000 ölçekli 611 adet siyah beyaz hava fotoğrafları.
- Landsat 7 ETM uydu verileri; 7 band, 4 tam çerçeve (179/32,33-18.05.2001 ve 180/32,33-12.06.2001).
- 53 adet 1:50.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar (kullanılan pafta isimleri EK 1'de verilmiştir).
- 117 adet 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik haritaları (kullanılan pafta isimleri EK 1'de verilmiştir).
- 1:100.000 ölçekli basılı toprak kaynağı envanter haritaları ve raporları (KHGM).
- 1:25.000 ölçekte sayısal Bursa, Balıkesir, Kütahya ve Bilecik İlleri toprak haritaları (KHGM).
- 1:500.000 ölçekli basılı jeoloji haritaları (MTA).
- 1:25.000 ölçekli basılı orman mesçere haritaları.
- İklim verileri, meteoroloji istasyonlarına ait bülten ve raporlar, sedimantasyon verileri (DMİ, EİE).

## 2.2. Yöntem

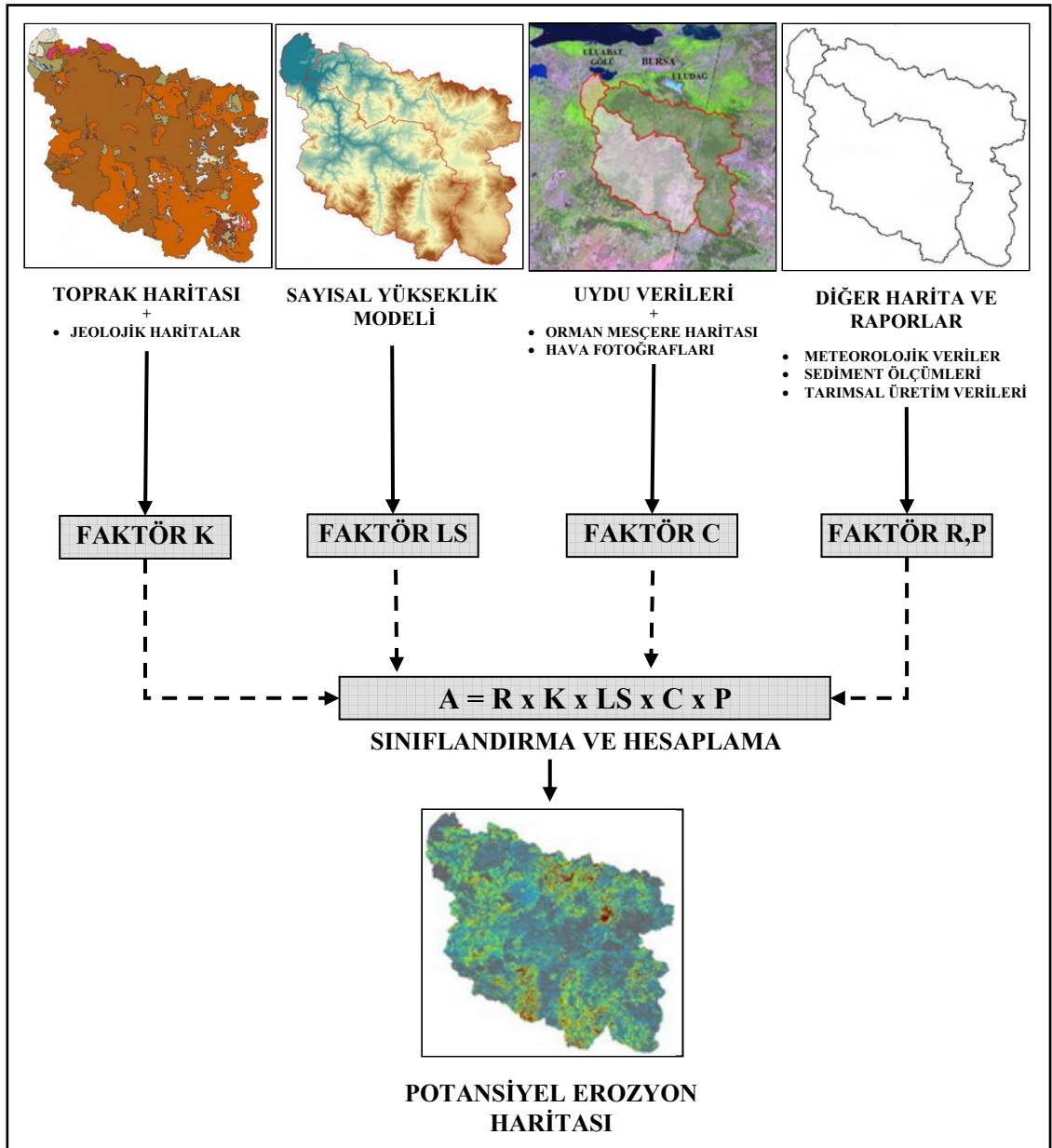
Bu çalışma uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistem tekniklerini kullanarak Mustafakemalpaşa havzasının erozyon risk haritasını ve güncel erozyon ve arazi kullanım durumunu belirlemek amacıyla planlanmıştır. Erozyon modellemesinde YETKE (Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği) modeli parametreleri kullanılmıştır (Renard ve ark. 1997). Çalışmada kullanılan metodolojik yaklaşım Şekil 2.8’de özetlenmiştir. Araştırmada kullanılan yöntemler aşağıda detaylarıyla verilmiştir.

### 2.2.1. Ön hazırlıklar ve veri toplama

Bu çalışma için gereken veriler genellikle iklim, topoğrafya, toprak, arazi kullanımı ve doğal bitki örtüsü’ne 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 modelinin CBS teknikleri ile deneneceği uygun arazi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılacak haritalar, uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının çeşidi, niteliği, miktarı ve kullanılacak olan ölçek bilgileri belirlenmiş ve temin edilmiştir. Özellikle uydu görüntüsü temininde, çalışmanın sağlığı için, bulutluluk oranı % 5’den küçük olan tarihler tercih edilmiştir. Hava fotoğrafları ve Landsat ETM uydu görüntülerinde yapılan gözle yorum ile seçilen alan tanımlanmıştır. Görüntülerin ve fotoğrafların gözle yorumlanmasıyla söz konusu alanda arazi bozulma problemleri, erozyon izleri ve farklı arazi kullanım türleri gözlenmiştir.



**Şekil 2.8.** YETKE/CBS Tabanlı Erozyon Haritalaması Metodolojik Akım Şeması.

Temel olarak hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin yorumlanması ve ön bilgilerin elde edilmesi çalışmaları bu aşamada gerçekleştirilmiştir. Ayrıca toprak ve bitki örtüsü farklılıkları ve bunların kendi aralarındaki ilişkileri çalışılmış ve temel bitki örtüsü çeşitleri ve toprak tipleri tanımlanmıştır. Arazinin dağlık ve engebeliklerin çok oluşu, ayrıca tarım yapılan alanlarda toprak koruma önlemlerinin uygulanmaması, bölgede madencilik faaliyetlerinin bulunması, havza akarsularının boşaldığı Uluabat gölünde

gerçekleşen sediment birikiminin tehlikeli boyutlarda oluşu (Aksoy ve Özsoy 2002) MKP havzasında toprak erozyonu potansiyelinin yüksek olduğuna dair bir ön görüş oluşturmuştur.

Mustafakemalpaşa Havzasını temsil eden toplam 53 pafta 1:50.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar bilgisayar ortamına aktarılmış ve birleştirilerek çalışma alanının tek parça 1:50.000 ölçekli topoğrafik haritası oluşturulmuştur. Yollar, akarsular, tarım alanları, yerleşim alanları ve diğer kültürel yapılarla ilgili bilgiler ArcInfo formatında ekrandan yarı otomatik sayısallaştırma tekniği ile sisteme girilmiştir. Tüm veriler proje amacına uygun olarak değerlendirilmek amacı ile CBS tabanlı bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Çalışma alanı drenaj sınırı ve alt havza sınırlarını daha doğru ve CBS teknikleri ile belirlemek için havzayı içine alan toplam 117 adet 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik verileri bilgisayar ortamına aktarılmış, gerekli koordinat dönüşümleri yapılmış ve paftalar birleştirilerek MKP havzası ve yakın çevresinin sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Daha sonra ArcGIS ArcInfo 9.1 coğrafi bilgi sistemi yazılımı içinde yer alan hidroloji modülündeki akış birikim (flow accumulation) alt modülü ile havza sınırı CBS ortamında otomatik olarak ekstrakte edilmiştir. Drenaj sınırının daha hassas belirlenebilmesi ve havzaya ait drenaj ağına ait bilgilerin elde edilebilmesi için topoğrafik haritalar üzerinden sayısallaştırılmış tüm akarsular ve kolları veri tabanına aktarılmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm haritalar ve uydu görüntüleri CBS ortamında hidroloji modülü ile oluşturulan bu sınır temel alınarak ekstrakte edilmiş ve sisteme girilmiştir.

### **2.2.2. Erozyon riski haritalaması metodolojisi (YETKE modeli)**

YETKE metodolojisi ETKE modelinin temel yapısını korumaktadır ve yıllık toprak kaybını ton/ha/yıl olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplamaktadır (Wischmeier ve Smith 1965, 1978, Renard ve ark. 1997).

**Denklem 1.1.  $A = R \times K \times LS \times C \times P$** 

Burada;

A : Birim alandan gerçekleşen ortalama yıllık toprak kaybı miktarı ( $\text{ton ha}^{-1} \text{yıl}^{-1}$ ).

R : Yağış-akış aşındırıcı faktörü ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ).

K : Toprağın erozyona duyarlılık faktörü ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ ).

L : Eğim uzunluğu faktörü (birimsiz).

S : Eğim dikliği faktörü (birimsiz).

C : Bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü (birimsiz, 0 ve 1 değerleri arasında).

P : Toprak ve su koruma önlemleri faktörü (birimsiz, 0 ve 1 değerleri arasında).

Yukarıda verilen eşitlikte R faktörü erozyon üzerine etki eden iklim faktörünü, LS faktörü topoğrafik karakteristiklerine bağlı olan eğim uzunluğu ve dikliğini, K faktörü toprağın türünü, C ve P faktörleri ise arazi kullanımı ile ilgili süreçleri temsil etmektedir. Bu nedenle bu eşitlik hem doğal hem de yapay nedenlerle oluşacak potansiyel erozyon miktarının tahmin edilmesini sağlamaktadır. Söz konusu eşitlik ile belirlenen değer çoğunlukla seçilen herhangi bir alanda oluk ve oluklarsı erozyon nedeni ile oluşacak potansiyel toprak kaybı miktarını ifade etmektedir. Erozyona uğrayan toprağın taşınması ve depolanması ile ilgili süreçler ile yatak ve oyuntu erozyonun sonuçlarını kapsamamaktadır.

YETKE meralardan olduğu kadar belirlenmiş arazi eğimlerinden belli ürün ve amenajman sistemlerinde yüzey akışı ile taşınan uzun süreli ortalama yıllık toprak kaybını (A) önceden bilmek için tasarlanmış bir erozyon modelidir. Yaygın şekilde kullanımı YETKE'nin bu amaç için yararlılık ve geçerliliğini kanıtlamıştır. İnşaat alanları gibi tarım dışı koşullara da uygulanabilir ancak YETKE tahrip olmuş orman koşullarındaki toprak kaybını tahmin için elverişli değildir, halbuki ETKE bu amaç için kullanılmıştır. Son yıllarda yapılan bazı araştırmalar ETKE teknolojisinin bozulmuş maden alanları ve üst toprak serilmiş yerler için kullanılabileceğini göstermiştir. Bu gibi durumlarda toprak sıkışmasının erozyon üzerindeki etkileri önemlidir ve C faktörünün hesaplanmasında bir alt faktör içinde dikkate alınır.

### 2.2.2.1. Yağışın erozyon yaratma faktörü (R)

YETKE modeli, diğer faktörler sabit olduğunda işlenen alanlardaki toprak kayıplarının direkt olarak yağış parametresine orantılı olduğunu varsayar. Yağış aşındırıcı faktörü (R) bir yıl içinde gerçekleşen tüm fırtınalı yağışların fırtına kinetik enerjisi (E) ve maksimum 30 dakikalık fırtına süresi-yağış yoğunluğu ( $I_{30}$ ) işleme alınarak hesaplanır. Bu ilişki yağmur damlalarının çarpma ve sıçratma miktarını ve olası yüzey akış oranının etkisini ölçer (Wischmeier ve Smith 1978). R değerleri model için belirlenecek havzaya ait yağış yoğunluğu ( $\text{cm h}^{-1}$ ) ve yağış süresi (dak) biliniyorsa Denklem 1.2'de görülen formül yardımıyla hesaplanır.

**Denklem 1.2.  $R = E \times I_{30} / 100$**

Burada;

R : Yağışın erozyon yaratma faktörü ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ).

E : Toplam şiddetli yağış enerjisi ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ).

$I_{30}$  : Maksimum 30 dakikalık yağış şiddeti'dir ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Erozyonu etkileyen iki önemli faktörden biri olan erosivite, yani yağmurun erozyon yaratma gücü, toprağın taşınma ve ayrılmasına sebep olan erozyon güçlerinin kabiliyetinin de bir ifadesidir (Wischmeier 1959).

Bununla birlikte, birçok gelişmekte olan ülkede yağış yoğunluğu verisinin elde edilmesi güçtür. Genel olarak R faktörünün yıllık yağış miktarı (x) verilerinden hesaplandığı denklemler kullanılır. Örneğin Tayland için  $R=0.4669x-12.1415$  eşitliği geliştirilmiştir (Srikhajon ve ark. 1994).

YETKE-R faktörü uzun yıllık plüviograf verilerinin bulunmadığı durumlarda ortalama yıllık yağış verilerinden veya Modifiye Fournier İndeksi'nden (MFI) hesaplanabilir (Stocking ve Elwell 1976, Arnoldus 1977 ve 1980, Roose 1977, Renard ve Freimund 1994, Yu ve Rosewell 1996c, Lu ve Yu 2002, İrvem ve ark. 2007).

Erozyon modelinin çalıştırılması için detaylı iklim verilerine ihtiyaç vardır. Bunlar yağış miktarı, yağış yoğunluğu (intensite), yağmurlu gün sayısı, fırtına süresi gibi verileri oluşturur. Fakat lkemiz için günümüzde bu verilerin tamamına her meteoroloji istasyonu için ulaşmak mümkün değildir. Örneğin sağnak yağışlı günler ve sağnak yağış hızı veya  $I_{30}$  indeksi ölçümleri her istasyonda yapılamamaktadır. Ölçümlerin yapılabileceği teknolojik imkanlar ya yoktur yada henüz yeni veri toplanmaya başlanmıştır. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada yağış faktörü hesaplanmasında düşen yağış miktarının kullanıldığı formüller tercih edilmiştir.

Çalışma havzası sınırları içinde ve yakın çevresinde yer alan Bursa, Balıkesir ve Kütahya il merkezleri ile Mustafakemalpaşa, Keles, Büyükorhan, Harmancık, Devecikonağı, Dursunbey, Domaniç, Emet, Tavşanlı, Simav ve Gediz ile merkezlerinde kurulu bulunan meteoroloji istasyonlarından çok yıllık (31 yıl) aylık ve günlük düşen yağış miktarlarını gösteren veriler temin edilmiştir (Anonim 2006).

Arnoldus'un (1977 ve 1980) geliştirdiği ve önerdiği Modifiye Fournier İndisi (MFİ) hesaplama denklemleri kullanılarak her istasyon için MFİ değerleri hesaplanmış ve CBS ortamında MKP Havzası MFİ haritası oluşturulmuştur. YETKE-R faktörü ise MKP havzası için hesaplanan MFİ değerleri kullanılarak İrvem ve ark.'nın (2007) geliştirdiği R faktörü denklemleri ile hesaplanmıştır.

İrvem ve ark. (2007), Seyhan Havzası'nda düzenli veri toplanan 30 meteoroloji istasyonundan çok yıllık günlük yağış verileri kullanılarak, plüviograf okumaları olan istasyonların R faktörlerini Wischmeier ve Smith'e (1978) göre hesaplayarak aylık yağış verileri olan istasyonların MFİ değerleriyle regresyon analizine ( $R^2=0,94$ ) tabi tutmuşlardır. Sonuçta lkemizin benzer iklim koşullarına sahip alanları için MFİ verileri ile hesaplanabilecek bir R faktörü eşitliği geliştirmişlerdir.

Bu alışmada MKP havzasında ve yakın çevresinde kurulu bulunan meteoroloji istasyonlarından 31 yıllık aylık ve günlük düşen yağış miktarları alınmıştır. Her bir istasyon için ayrı ayrı MFİ değerleri Arnoldus'un (1977 ve 1980) geliştirdiği Denklem

1.3'de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır. İrvem ve ark. (2007) önerdiği Denklem 1.4'de verilen eşitlik ile ise YETKE-R faktörü hesaplanmıştır.

$$\text{Denklem 1.3. } MF\dot{I} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (\bar{p}_i)^2}{\bar{P}}$$

Burada,

$MF\dot{I}$  : Her bir meteoroloji istasyonuna ait  $MF\dot{I}$ .

$\bar{p}_i$  :  $i$  ayına ait ortalama düşen yağış miktarı (mm).

$\bar{P}$  : Yıllık ortalama düşen yağış miktarı (mm).

Bu yaklaşımda, her bir istasyonda 31 yıla ait 31 ayrı  $MF\dot{I}$  hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Her bir istasyon için Denklem 1.4'de verilen formül ile R-faktörü hesaplanmış ve CBS ortamında sınıflandırılarak haritalanmıştır.

$$\text{Denklem 1.4. } R = 0,1215 \times MF\dot{I}^{2,2421}$$

Burada;

$R$  : Yağışın erozyon yaratma faktörü ( $MJ \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ).

$MF\dot{I}$  : Meteoroloji istasyonuna ait hesaplanan  $MF\dot{I}$ 'dir.

#### 2.2.2.2. Toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K)

Toprağın aşınmaya duyarlılık faktörü, standart YETKE devamlı nadas altındaki parsellerde (22.13 m uzunluğunda ve % 9 eğime sahip) toprağın doğal aşınımını ölçer (Renard ve ark. 1997).  $K$  faktörü yağışın uygunluğunu kontrol eden süreçlerin ve toprağın zerre dağılmasına ve daha sonra taşınmasına karşı gösterdiği direnç etkisini bütünleştirir. Bu özellikle uzun zamanda toprak ve toprak profilinin fırtınalı yağışların aşındırma güçlerine tepkisidir. Büyük miktarda erozyona ve hidrolojik süreçlere toprağın ve profilin gösterdiği reaksiyonun bütünleştirilmiş ortalama yıllık bir değerine dayanan bir parametredir. Yani toprak erodibilite faktörü çok sayıda erozyon ve



hidroloji işlemlerine toplam toprak ve toprak profilinin birleşik ortalama bir yıllık değerini temsil etmektedir. YETKE modeli, K faktörünün değerlendirilmesinde mevcut kaya parçalarını da dikkate almaktadır.

Bir başka ifade ile toprağın aşınmaya duyarlılık faktörü (K) bir toprak karakteristiği olarak, toprağın erozyon güçleri tarafından ayrılma ve taşınmasına olan hassasiyetinin bir ölçüsüdür. Bu faktör mevsimlere ve toprağın çeşidine göre değişmektedir. Bu faktör, yağmur damlalarının etkisi ile toprak koparılma ve taşınması, topoğrafya ve toprak işleme sonucu yüzey pürüzlülüğünden dolayı yerinde depolanma ile toprak profiline yağmur suyunun infiltrasyonunu içermektedir.

K faktörü ile diğer YETKE faktörleri arasında karşılıklı bazı bağımlılıklar bulunmaktadır. K değerlerini etkileyen toprak fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ve bunların karşılıklı etkileşimleri çok sayıda ve farklıdır. Doğada birçok erozyon faktörü aynı zamanda faaliyet göstermektedir ve bunların her biri belli bir toprak özelliğine bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle, her bir toprak için K değerlerinin doğru bir biçimde tanımlanması mümkün değildir. Önceki toprak suyu ve toprak yüzeyi koşullarından ve toprak özelliklerindeki mevsimsel değişmelerden dolayı K değerlerinin tahmini zordur. Dolayısıyla toprak kaybı tahminlerinde mevsimlik K değerlerinin hataları azaltılabileceği düşünülmektedir.

Standart koşullar, eğim oranının % 9 ve eğim uzunluğunun 22,13 m olduğu, devamlı nadas uygulanan ve eğim boyunca sürüm yapılan koşullardır. Bu koşullarda  $L=S=C=P=1$ 'dir (Wischmeier ve Smith 1978). Türkiye'de bu faktörün kesin saptanması ile ilgili denemeler sürdürülmektedir fakat henüz yeterli sonuç alınabilmiş değildir.

Toprak verilerinin elde edilmesinde Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından üretilen 1:100.000 ölçekli basılı, 1:25.000 ölçekli sayısal Toprak Kaynağı Envanter Haritaları ve Raporları, havza ve yakın çevresi ile ilgili daha önce üretilmiş güncel raporlar öncelikle yorumlanmıştır (Anonim 1993, 1995, 1999, 2000a, 2003). Toprak haritaları CD-ROM aracılığı ile bilgisayar ortamına alınmış ve daha sonra havza sınırı yardımıyla ekstrakte edilerek bilgi sistemine aktarılmıştır. 1:500.000 ölçekli

jeoloji haritaları tarayıcı yardımı ile bilgisayar ortamına alınarak ekran üzerinden sayısallaştırılmış ve veri tabanına aktarılmıştır. Söz konusu haritalar toprak örnek noktalarının yerlerinin belirlenmesinde temel kartoğrafik materyal olarak kullanılmıştır.

Havzada en yaygın büyük toprak gruplarını % 49,54'lük oranla kireçsiz kahverengi orman toprakları (5004,95 km<sup>2</sup>) ve % 36,22'lik bir oranla kahverengi orman toprakları (3659,45 km<sup>2</sup>) oluşturmaktadır. Havzaya ait toprak özelliklerinin belirlenmesi ve YETKE-K faktörü'nün daha doğru hesaplanabilmesi amacıyla toprak örneklerinin havzayı daha iyi ve daha doğru bir biçimde temsil etmesi gerektiğinden havzaya ait büyük toprak grubu düzeyindeki toprak haritaları ve jeoloji haritaları CBS ortamında çakıştırılarak yeni bir harita üretilmiştir. Böylelikle toprakların anamateryale bağlı farklılıklarını belirleyecek biçimde toprak örnek sayısı arttırılmıştır. Bu son harita ile farklı ana kaya üzerinde oluşmuş farklı büyük toprak grupları belirlenerek örnek noktaları bu sınırlara göre tespit edilmiştir. Böylelikle farklı ana materyal üzerinde oluşmuş her toprak grubu yaygınlıklarına göre ayrı ayrı örneklenmiş, örnek sayısı arttırılmış ve çalışma alanına homojen olarak dağılmıştır. Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş büyük toprak gruplarını temsil edecek biçimde ve büyük toprak gruplarının yaygınlıklarına göre en az bir veya daha fazla olmak üzere toplam 168 toprak örneği YETKE-K faktörü'nün belirlenmesi amacıyla örneklenmiştir.

YETKE-K faktörünün hesaplanmasında gereken toprak parametrelerinden organik madde Walkey (1947) ve Black'a (1965) göre, tekstür Bouyoucous (1952) hidrometre yöntemiyle, ince kum ise ıslak eleme yöntemi ile laboratuarda belirlenmiştir. Geçirgenlik kodları ise Renard ve ark.'na (1997) göre USDA temel tekstür sınıflarına ait toprak-su verileri çizelgesinden toprakların tekstürlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Strüktür, taşlılık gibi parametreler ise arazi çalışması sırasında Anonim'de (1962 ve 1975a) verilen esaslara dayanılarak saptanmıştır.

K faktörü birçok ülkede yapılan çalışmalarda genellikle toprak nomograflarının kullanılmasıyla değerlendirilir. Bununla birlikte, silt fraksiyonunun % 70'i geçmediği topraklar için Wischmeier ve Smith'in (1978) geliştirdiği matematiksel yaklaşım tavsiye edilmektedir. K değerinin deneysel olarak belirlenemediği yerlerde kullanılabilen ve

toprağın organik madde, tekstür, strüktür ve geçirgenlik değerlerine göre belirlenen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır. Toprağın aşınmaya duyarlılık faktörünün (K) hesaplanmasında kullanılan Denklem 1.5 aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Denklem 1.5. } 100 \times K = (2,1 \times 10^{-4}) \times (12 - \text{OM}) \times M^{1,14} + 3,25 \times (\text{S} - 2) + 2,5 \times (\text{P} - 3) / d$$

Burada;

K : Toprağın erozyona duyarlılık faktörü.

OM : % organik madde.

S : Toprak strüktür sınıfı (1-6).

P : Toprak su geçirgenliği kodu (permeabilite).

M : Zerre irilik parametresi.

d : Metrik sisteme dönüştürme katsayısı (d = 7,59).

Eşitlikte yer alan M parametresi aşağıda verilen Denklem 1.6 yardımıyla belirlenmektedir.

$$\text{Denklem 1.6. } M = (\% \text{ silt} + \% \text{ çok ince kum}) \times (100 - \% \text{ kil})$$

### 2.2.2.3. Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörü (LS)

RUSLE modelinde eğim faktörü (LS) eğim derecesi ve eğim uzunluğu gibi topoğrafik etkiyi temsil etmektedir. Eğim uzunluğu (L), yüzey akışın olduğu noktadan itibaren, eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı veya yüzey akışın bir kanala (bu drenaj şebekesinin bir parçası olabilir) veya çevirme terası kanalı olarak inşa edilmiş bir kanala kadar olan yatay mesafesi olarak tanımlanır (Wischmeier ve Smith 1978). LS faktörü, diğer koşulların aynı olduğu, 22,13 m uzunluğunda ve % 9 eğimi olan bir arazideki toprak kaybı oranını temsil etmektedir. LS değerleri mutlak değerler değildir fakat 22,13 m uzunluğunda ve % 9 eğime sahip bir arazideki LS değeri 1 'dir (Wischmeier ve Smith 1978).

Bu çalışmada eğime bağlı parametrelerin hesaplanmasında Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen bölgeye ait toplam 117 adet 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik verilerinden faydalanılmıştır. Bu veriler CD-ROM yardımı ile bilgisayar ortamına alınmış, koordinatları altlık haritalara göre düzeltilmiş, paftalar birleştirilmiş ve CBS ortamında havzaya ait bir 20x20 m çözünürlükte sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur.

YETKE-LS faktörü hesabında ArcGIS ArcInfo Workstation ortamında çalışan ve Van Remortel ve ark. (2001) tarafından yazılan YETKE kriterlerine dayanan bir “Arc Macro Language (AML)” yazılımı çalıştırılmıştır. Bu programcık LS faktörünü SYM kullanarak YETKE (Renard ve ark. 1997) kriterlerine göre McCool ve ark. (1997) tarafından geliştirilen ve her hangi bir (x,y) noktasında LS faktörünü hesaplanmasında kullanılmasını önerdikleri ve aşağıda verilen Denklem 1.7 yardımıyla hesaplamaktadır. Orijinal yazılım ilk olarak USLE-1 versiyonunda kullanılmak üzere Hickey ve ark. (1994) tarafından tasarlanmıştır. USLE-2 versiyonu ise 2000 yılında Hickey tarafından yazılmıştır (Van Remortel ve ark. 2001 ve 2004).

**Denklem 1.7.  $LS = (\lambda / 22,1)^m (65,41 \sin^2 \beta + 4,56 \sin \beta + 0,065)$**

Burada;

- $\lambda$  : Eklemeli eğim uzunluğu (m).
- $\beta$  : Tepeyağı eğim açısı.
- m : Eğime bağlı değişken (McCool ve ark. 1997) (eğim < 0,1°, m=0.01; 0.1–0.2°, m=0.02; 6.3–7.4°, m=0.37; 0.2–0.4°, m=0.04; 7.4–8.6°, m=0.40; 0.4–0.85°, m=0.08; 8.6–10.3°, m=0.41; 0.85–1.4°, m=0.14; 10.3–12.9°, m=0.44; 1.4–2.0°, m=0.18; 12.9–15.7°, m=0.47; 2.0–2.6°, m=0.22; 15.7–20.0°, m=0.49; 2.6–3.1°, m=0.25; 20.0–25.8°, m=0.52; 3.1–3.7°, m=0.28; 25.8–31.5°, m=0.54; 3.7–5.2°, m=0.32; 31.5–37.2°, m=0.55; 5.2–6.3°, m=0.35; >37.2°, m=0.56).

Eğim derecesi eşik sınırı önerildiği şekilde; eğim < % 5 olduğunda 0,7 ve eğim > 5 olduğunda 0,5 alınmıştır.

Çalışma alanının topoğrafyası daha çok dağlık ve tepeliklerden oluştuğundan eğim uzunluğu faktörü (L) hesabında etkili parsel uzunluğu sabit bir değer alınmamıştır. LS faktörünün hesaplanmasında kullanılan yazılım eğim uzunluğu değerlerini yüksek noktalardan alçak noktalara doğru değişken olarak hesaplamaktadır. YETKE modelinde birim parsel uzunluğu 22,13 m'dir. Ancak bu tip dağlık ve eğim derecesi yüksek alanlarda çalışılırken bu standart parsel uzunluğu değeri erozyon potansiyelinin tespitinde hatalara yol açmaktadır ve erozyon olduğundan daha fazla tahmin edilmektedir. Bu konu hakkında yayınlanmış ve birinci bölümde kaynak özetleri başlığı altında sunulan çeşitli araştırmalar bunu desteklemektedir.

#### **2.2.2.4. Bitki yönetim faktörü (C)**

Bitki yönetim faktörü ürün yetiştirme ve amenajman uygulamalarının erozyon oranları üzerindeki etkisini yansıtmak için hem ETKE hem de YETKE içinde kullanılmaktadır. Amenajman seçeneklerinin toprak koruma planları üzerindeki oransal etkilerini kıyaslamak için en sık kullanılan faktördür. Bu faktör toprak koruma planının ortalama yıllık toprak kaybını nasıl etkileyeceğini ve toprak kaybı potansiyelinin yapılaşma faaliyetleri, ürün münavebeleri veya diğer amenajman programları sırasında zaman içinde nasıl bozulup dağılacakını gösterir (Renard ve ark. 1997). RUSLE modeli içersindeki çoğu faktörde olduğu gibi C faktörü de bir standart sapma kavramına dayanmaktadır. Buradaki standart iyi işlenmiş sürekli nadas koşullarıdır. Çoğu durumlarda faktörün değeri yıl boyunca sabit kalmamaktadır.

Denklemden her ne kadar bu faktör bağımsız olarak işlem görse de bu faktörün gerçek değeri erozyon denklemindeki diğer faktörlere bağlıdır. Zayıf veya iyi bitki örtüsü mevsimlere ve bölgelere göre değişiklik gösterir. Ayrıca her bölgede ürün yetiştirme alışkanlığı, yıllık yağış durumu, bitkinin gelişme evresi aynı değildir. Bu nedenle birçok durumda C faktörü değerinin deneysel olarak bulunması gerekmektedir. Bitki örtüsünün toprak erozyonuna etkisi yıl içinde aşamalı olarak değişim gösterir.

Arazi kullanımı erozyonu kontrol eden başlıca etkenlerden birisidir. Bu nedenle erozyonun şiddetinin konumsal dağılımının belirlenmesinde havzanın arazi kullanımı

dağılımının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanının güncel arazi kullanım/örtü haritasının elde edilmesinde Mayıs ve Haziran 2001 tarihli Landsat-7 ETM uydu verileri kullanılmıştır. Söz konusu uydu verileri ERDAS görüntü işleme programı aracılığıyla bilgisayar ortamına alınmış, topoğrafik haritalardan elde edilen koordinat noktaları kullanılarak bir pikselden daha düşük bir hatayla ( $RMS < 1$  piksel) coğrafik düzeltmeleri yapılmış ve UTM projeksiyon ve ED50 datum sistemine uyarlanmıştır. Oluşturulan görüntüler histogram birleştirme tekniği yardımıyla birleştirilerek 2001 yılları için havzanın bütün görüntüsü oluşturulmuştur. Oluşturulan görüntüden havza sınırlarını içeren kısım ekstrakte edilerek gözle yorumu ve sınıflandırmayı kolaylaştıracak görüntü işleme ve zenginleştirme teknikleri uygulanmıştır.

Arazi sınıflarının belirlenmesinde ve sınırlarının kesinleştirilmesinde Harita Genel Komutanlığı'ndan sağlanan 1:35.000 ölçekli 1997 yılına ait siyah beyaz hava fotoğrafları kullanılmış ve arazi gözlemlerinden yararlanılmıştır. Hava fotoğrafları arazi kullanım/razi örtü haritası çalışmasında yersel kontrol noktalarına ait detaylı bilgilerin elde edilmesinde, arazi kullanım/razi örtülerine ait örnek piksellerin belirlenmesinde ve tanımlanmasında temel materyal olarak kullanılmıştır. Uydu görüntüleri üzerinde hava fotoğrafları ve GPS'ler kullanılarak yürütülen arazi çalışmaları yardımıyla havzadaki arazi kullanım ve örtü türlerine ait örnek noktalar belirlenmiştir. Görüntüler örnek noktalara ait yansıma karakteristikleri temel alınarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarına ait taslak haritalar arazide GPS, uydu görüntüsü ve hava fotoğrafları kullanılarak yürütülen arazi kontrolleri ile havzanın arazi kullanım/örtüsü haritası kesinleştirilmiştir. Sayısal sınıflandırmada arazi kullanım/razi örtü tiplerine ait örnek piksellerin seçilmesinde, ulaşılması mümkün olmayan arazilerin incelenmesinde ve sınıflandırma doğruluğunun test edilmesinde hava fotoğraflarından ve 1:25.000 ölçekli orman mesçere haritalarından yararlanılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında bu alanlar arazi kullanımı ve bölgeye ait diğer bilgiler CBS yardımıyla veri tabanına aktarılmıştır. Bu çalışmada kullanılan YETKE-C değerleri uydu görüntüsünden belirlenen arazi sınıflarına bağlı olarak çeşitli araştırmalardan derlenmiştir (Renard ve ark. 1997, Yang ve ark. 2003, Çanga 1995).

### 2.2.2.5. Toprak koruma önlemleri faktörü (P)

RUSLE modelindeki toprak koruma önlemleri faktörü (P) veya destek uygulama faktörü tanımı; özel bir destek uygulaması ile toprak kaybının eğim doğrultusunda toprak işleme ile oluşan toprak kaybına oranıdır. Prensip olarak bu uygulamalar yüzey akışın akış şeklini, derecesini veya yönünü değiştirerek veya yüzey akışın miktarını ve hızını azaltarak erozyonu etkiler (Renard ve Foster 1983). Ekili araziler için düşünülen destek uygulamaları içinde kontur sürüm (tesviye eğrileri doğrultusunda veya dik sürüm ve dikim), şeritsel ekim, teraslama ve yüzeyaltı drenajı yer alır. Kuru alanlar veya meralarda tesviye eğrilerine dik yapılan toprak bozma uygulamaları sonucunda toprakta nemi depolaması ve yüzey akışı azaltması nedeniyle bu uygulamalar da koruma önlemleri olarak kullanılır (Foster ve ark. 1996).

Sıfır toprak işleme ve diğer toprak işleme sistemleri, çim temelli ürün rotasyonu, gübreleme ve malç uygulamaları gibi geliştirilmiş toprak koruma uygulamaları P faktöründe hesaba katılmaz. Bu tip erozyon kontrol uygulamaları C faktöründe değerlendirilir (Foster ve ark. 1996). Arazide toprak koruma önlemleri alınmıyorsa  $P=1.0$  alınır (Wischmeier 1975, Wischmeier ve Smith 1978).

Türkiye genelinde olduğu gibi çalışma alanında da toprak korunumuna yönelik uygulamalar ya kısıtlı seviyelerde yada hiç bulunmamaktadır. Bu durum arazi gözlemleri ve hava fotoğraflarının gözle yorumu ile de desteklenmiştir. YETKE modelinde P faktörü eğer toprak korunumuna yönelik herhangi bir uygulama yoksa 1,0 alınmaktadır (Wischmeier 1975, Wischmeier ve Smith 1978). Bu çalışmada  $P=1,0$  alınmıştır.

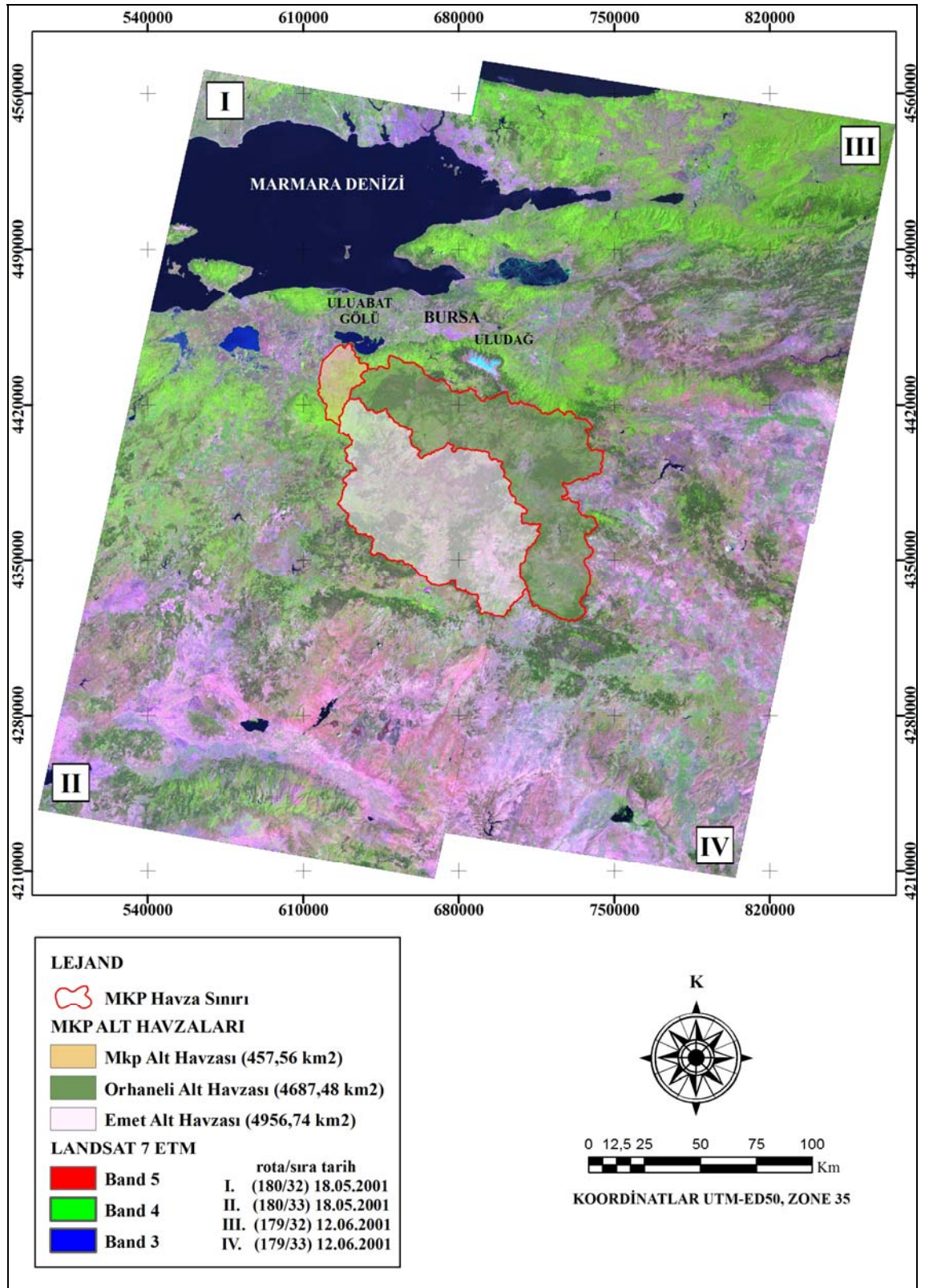
### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mustafakemalpaşa Havzası ve YETKE Modeli Temel Kartografik Haritalarının Oluşturulması

Mustafakemalpaşa Havzasının 12.06.2001 tarihli Landsat-7 ETM 179/32.-33. ile 18.05.2001 tarihli Landsat-7 ETM 180/32.-33. rota ve sıra kodlarına sahip 4 tam çerçeve uydu görüntüsü ERDAS 8.7 uzaktan algılama yazılımı formatında bilgisayar ortamına alınmıştır. Her görüntünün bir pikselden daha düşük bir hatayla ( $RMS < 1$  piksel) coğrafik düzeltilmesi yapılarak UTM projeksiyon, Zone 35 ve ED50 datum sisteminde kaydedilmiş ve böylece Ülke koordinatlarına dönüştürülmüştür. Daha iyi görsel yorumun yapılabilmesi için gerekli filtreler uygulanmış ve 4 tam çerçeve görüntü mozaikleme işlemi ile birleştirilerek çalışma alanı ve yakın çevresini gösteren Landsat 7 ETM, 7 band tam bir renkli uydu görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 3.1).

Mustafakemalpaşa Havzası'nın yüzey drenaj alanını belirlemek üzere 53 adet 1:50.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar ve söz konusu çalışma alanını içine alan 117 adet 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yollar, akarsular, tarım alanları, yerleşim alanları ve diğer kültürel yapılarla ilgili bilgiler bu şekilde sisteme girilmiştir. Tüm veriler proje amacına uygun olarak değerlendirilmek amacı ile ArcGIS coğrafi bilgi sistemi yazılımı kullanılarak proje alanına ilişkin bir veri tabanı oluşturulmuştur. Havza sınırlarının tespit edilmesinde ArcGIS ArcInfo 9.1 coğrafi bilgi sistemi yazılımı içinde hidroloji modülündeki akış birikim (flow accumulation) alt modülü ile CBS ortamında otomatik olarak ekstrakte edilmiştir (Şekil 3.1). Oluşturulan bu sınır haritasına göre Mustafakemalpaşa Havzası toplam 10101,77 km<sup>2</sup>'lik bir drenaj alanı kaplamaktadır. Bu geniş havza Emet Çayı, Orhaneli Çayı ve Mustafakemalpaşa Çayı alt havzalarından oluşmaktadır. Söz konusu alt havzalardan alansal olarak en büyüğü Emet Alt Havzası'dır (4956,74 km<sup>2</sup>). Bunu 4687,48 km<sup>2</sup>'lik drenaj alanıyla Orhaneli Alt Havzası ve 457,56 km<sup>2</sup>'lik bir drenaj alanına sahip olan Mkp Alt Havzası izlemektedir (Şekil 3.1).





**Şekil 3.1.** Mustafakemalpaşa Havzası ve Yakın Çevresi Landsat 7 ETM Uydu Görüntüsü ve Alt Havzaların Konumu.

### 3.2. Mustafakemalpaşa Havzasında Yağışın Erozyon Yaratma Faktörü (R)

YETKE-R faktörü uzun yıllık plüviograf verilerinin bulunmadığı durumlarda ortalama yıllık yağış verilerinden veya Modifiye Fournier İndeksi'nden (MFİ) hesaplanabilir (Stocking ve Elwell 1976, Arnoldus 1977 ve 1980, Roose 1977, Renard ve Freimund 1994, Yu ve Rosewell 1996c, Lu ve Yu 2002, İrvem ve ark. 2007).

Bu çalışmada MKP havzasında ve yakın çevresinde kurulu bulunan meteoroloji istasyonlarından aylık ve günlük düşen yağış miktarları alınmış ve Arnoldus (1977 ve 1980) önerdiği Denklem 1.3'de verilen MFİ hesaplama formülü kullanılarak çalışmada kullanılan her bir meteoroloji istasyonu için MFİ değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu MFİ değerleri kullanılarak Denklem 1.4'de verilen İrvem ve ark.'nın (2007) Seyhan Havzası, Türkiye için geliştirdikleri eşitlik ile her bir meteoroloji istasyonu için YETKE-R faktörü hesaplanmıştır. R faktörü değerlerinin hesaplanmasında kullanılan İrvem ve ark.'nın (2007) geliştirdiği denklemin tercih edilmesinin sebebi Seyhan Havzası ve MKP Havzası iklim verileri ve düşen yıllık yağış miktarları karşılaştırıldığında bu iki havzanın benzer iklim özelliklerine sahip olması ve bu denklemin uygulandığı Seyhan-Türkiye koşullarında plüviograf okumalarından elde edilen R ile MFİ değerlerinin yüksek bir regresyon değeri ( $R^2=0,94$ ) göstermesidir. Her bir meteoroloji istasyonu için ayrı ayrı hesaplanan MFİ değerleri ve R faktörleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 de verilen MFİ ve R değerlerinin coğrafik koordinatları yardımıyla CBS ortamında nokta haritaları ve öznitelik tabloları oluşturulmuştur. Öznitelik tablolarındaki MFİ ve R değerlerinden ArcInfo programının iç değer biçim modülündeki tersinir ağırlıklı mesafe ortalaması (Inverse Distance Weighted Average, IDW) yüzey oluşturma tekniği kullanılarak MKP havzasına ait MFİ ve YETKE-R faktörü haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.2, Şekil 3.3). Mustafakemalpaşa havzası ve yakın çevresinde yıllık ortalama yağışın en yüksek gerçekleştiği Kütahya ili Simav ilçesi ve yakın çevresinin MFİ değerleri ve buna bağlı olarak YETKE-R faktörü değeri en yüksek seviyede çıkmıştır. Bursa iline bağlı Mustafakemalpaşa ve Keles ilçeleri yüksek R-faktörü değerlerine sahiptir. Havzanın en kurak kesiminde yer alan Bursa'nın

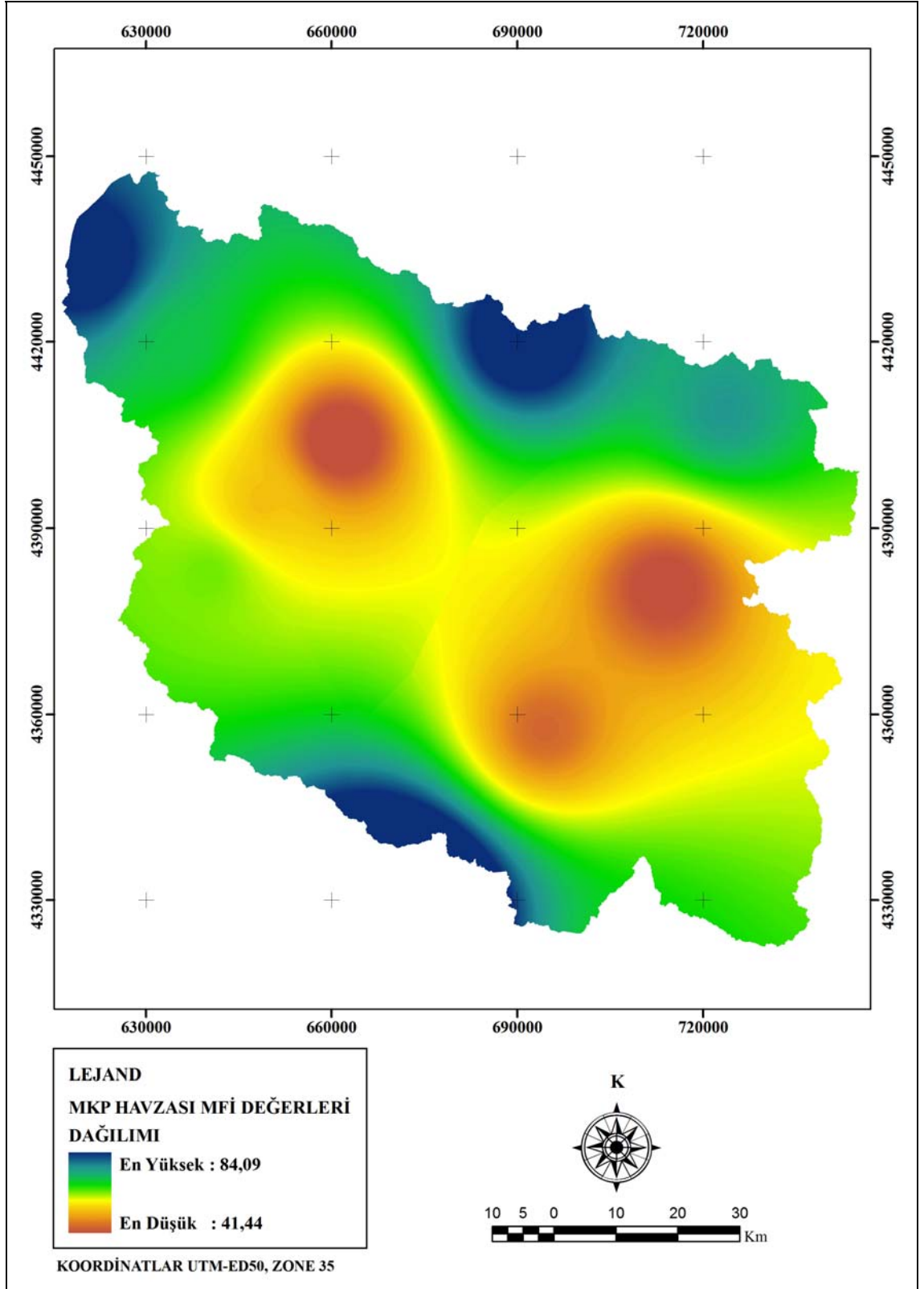
Büyükorhan ve Kütahya'nın Tavşanlı ilçeleri MFİ ve YETKE-R faktörü değerinin en düşük olduğu bölgelerdir. Bu kesimden başka Bursa-Harmancık ve Kütahya'nın Emet ilçeleri R-faktörünün en düşük olduğu bölgeleri oluşturmaktadır (Çizelge 3.1).

Hesaplamalar sonucunda dağılımsal olarak en yüksek YETKE-R faktörü değerleri Emet Alt Havzasında (R:2658,11) görülmektedir. Mkp alt havzasında YETKE-R faktörü 1277,41 ile 1859,42 değerleri arasında hesaplanmıştır. Orhaneli alt havzasında ise bu değerler 514,04–1951,36 arasında değişirken Emet alt havzasında 566,93–2658,11 arasında değişmektedir.

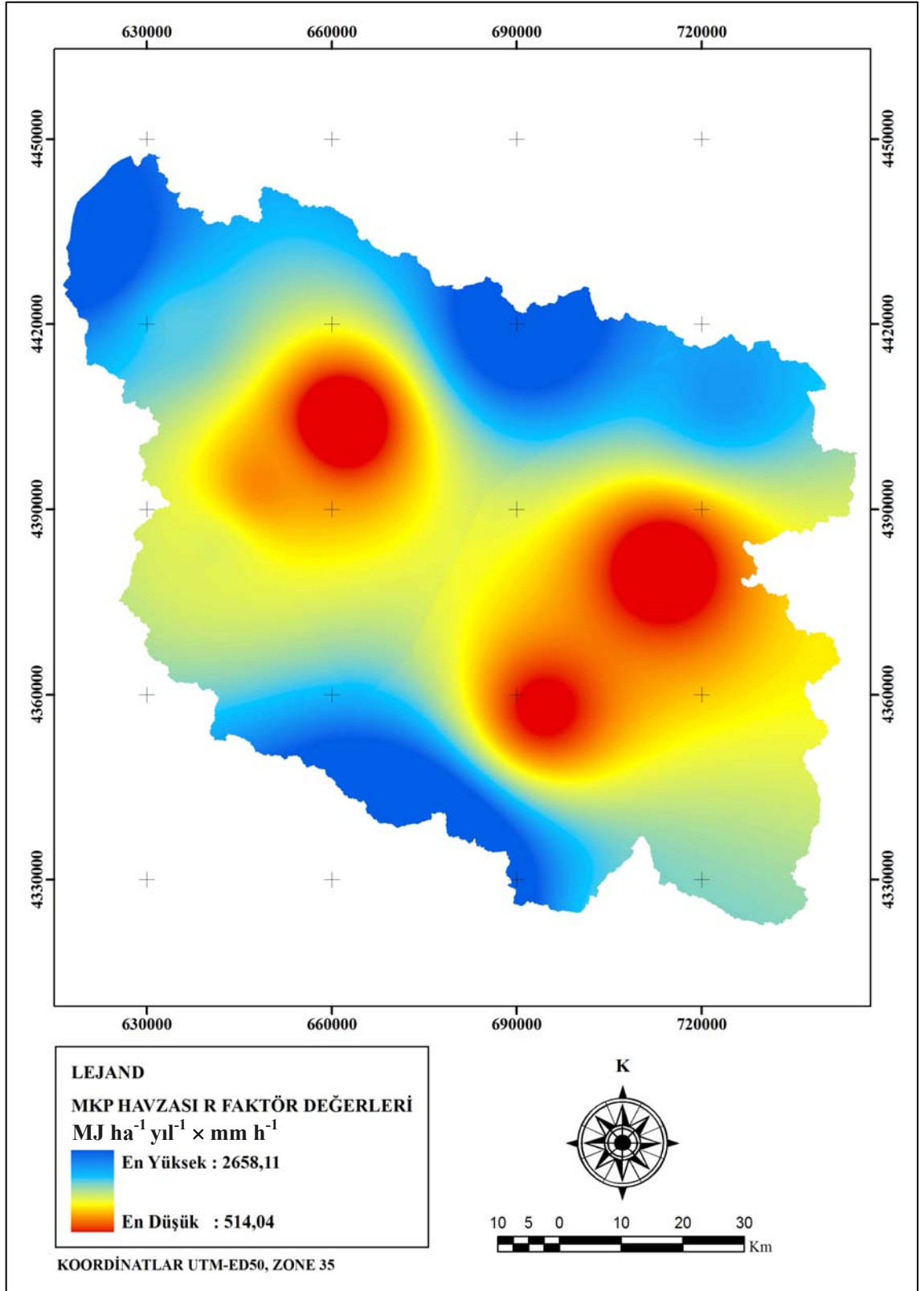
**Çizelge 3.1.** Çalışmada Kullanılan Meteoroloji İstasyonları MFİ ve R Faktör Değerleri.

METEOROLOJİ İSTASYONU ÖZELLİKLERİ				MFİ	MFİ SINIFI		YETKE-R FAKTÖR*
ADI	KOORDİNATLAR						
	X (m)	Y (m)	Z (m)				
B.ORHAN	661477,9	4404238,5	810	41,44	Çok Düşük	< 60	514,04
TAVSANLI	713743,8	4380518,3	840	43,50	Çok Düşük	< 60	573,10
EMET	694543,0	4357612,7	880	46,76	Çok Düşük	< 60	673,91
HARMANCIK	648720,6	4394420,0	655	52,11	Çok Düşük	< 60	859,18
KÜTAHYA	757025,8	4368110,1	1000	54,34	Çok Düşük	< 60	943,82
DURSUNBEY	640126,1	4382757,0	600	57,77	Çok Düşük	< 60	1082,65
GEDİZ	708078,3	4319559,7	900	60,30	Düşük	60-90	1191,86
BALIKESİR	575811,5	4388769,5	150	61,57	Düşük	60-90	1248,88
D.KONAGI	635570,8	4419612,0	65	61,90	Düşük	60-90	1263,94
DOMANIÇ	723523,7	4409097,4	880	65,27	Düşük	60-90	1423,46
BURSA	675266,2	4450856,0	219	67,47	Düşük	60-90	1533,29
M.K.PASA	620622,7	4432759,0	24	73,53	Düşük	60-90	1859,42
KELES	690938,0	4420704,4	1025	75,13	Düşük	60-90	1951,36
SİMAV	671079,2	4328851,2	833	93,39	Orta	90-120	3178,24

\* (MJ ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> × mm h<sup>-1</sup>)



Şekil 3.2. Mustafakemalpaşa Havzası MFİ Haritası.



Şekil 3.3. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-R Faktörü Haritası (MJ ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> × mm h<sup>-1</sup>).

Mustafakemalpaşa havzasının oluşturulan MFİ haritası Anonim (1992) tarafından önerilen MFİ sınıfları temel alınarak yeniden sınıflandırılmış ve alansal ve oransal dağılım yüzdeleri belirlenmiştir (Çizelge 3.2, Şekil 3.4). Çizelge 3.2'den de anlaşılacağı gibi MKP havzasında MFİ değerleri % 68,50 gibi büyük bir oranla çok düşük (< 60) değerlerdedir. Düşük sınıf (60-90) MFİ değerlerinin tüm alana oranı % 31,50'dir ve bunun büyük bir kısmı Mkp alt havzasından kaynaklanmaktadır (% 100). Emet ve Orhaneli alt havzalarında ise MFİ değerleri sırasıyla % 79,93 ve % 63,12 ile çok düşük sınıfta ve % 20,07 ve % 36,88 ile düşük sınıfta (60-90) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Mustafakemalpaşa havzasında yağışın erozyon yaratma gücünün çok hafif-yok veya hafif düzeyde olduğunu, erozyon oluşturma gücü orta, yüksek ve çok yüksek yağışların havzada meydana gelmediğini göstermiştir.

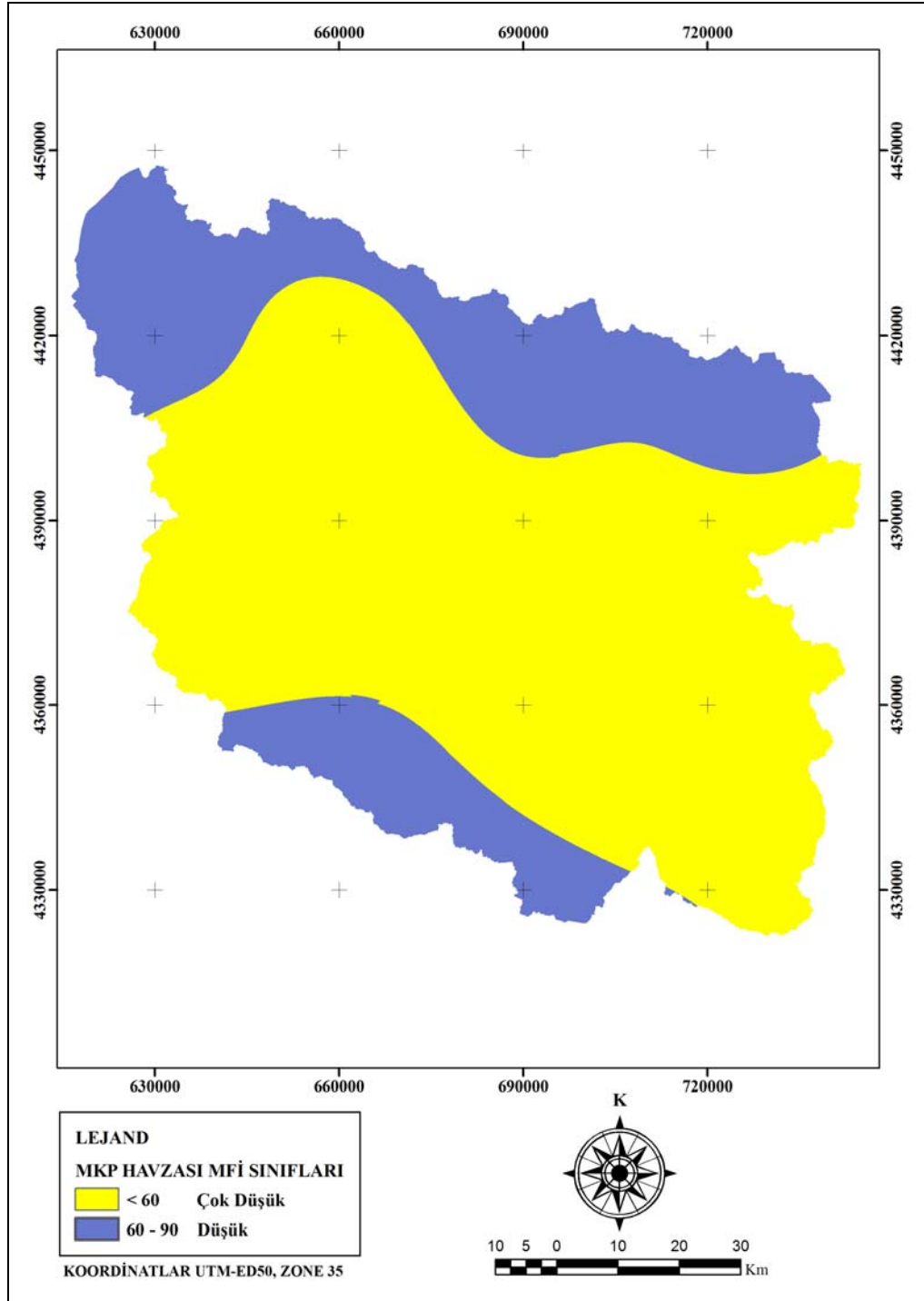
**Çizelge 3.2.** Mustafakemalpaşa Havzası MFI Sınıfları ve Dağılımı.

Sınıf	Tanım	Erozyon Oluşturma Gücü	Havza Genelindeki Dağılım (%)	Alt Havzalardaki Dağılım (%)		
				Mkp	Emet	Orhaneli
<60	Çok Düşük	Yok	68,50	-	79,93	63,12
60-90	Düşük	Hafif	31,50	100	20,07	36,88
90-120	Orta	Orta	-	-	-	-
120-160	Yüksek	Şiddetli	-	-	-	-
< 160	Çok Yüksek	Çok Şiddetli	-	-	-	-

### 3.3. Mustafakemalpaşa Havzasında Toprağın Erozyona Duyarlılık Faktörü (K)

Toprağın aşınımına duyarlılık faktörü olan K faktörü, toprağın yapısı, dokusu, organik madde içeriği ve geçirgenlik özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle toprağın yapısı, dokusu, organik madde içeriği ve geçirgenlik değerlerinin Wischmeier ve Smith (1978) ve Renard ve ark.'na (1997) göre öncelikle belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle K Faktörünün hesaplanabilmesi için her farklı jeolojik ana materyalin üzerinde oluşmuş farklı toprak gruplarından yaygınlıklarına göre alınan 168 adet bozulmuş toprak örneğinde organik madde, tekstür ve ince kum miktarları laboratuvar analizleri ile saptanmıştır. Strüktür, geçirgenlik gibi diğer K faktör parametreleri ise arazi çalışmaları

sırasında ölçülen ve gözlenen değerlere göre elde edilmiştir. Tüm elde edilen arazi ve laboratuvar verileri toprak haritasının öznetelik tablosuna girilmiş ve veri tabanına yüklenmiştir.



**Şekil 3.4.** Mustafakemalpaşa Havzası MFİ Sınıfları Dağılım Haritası.

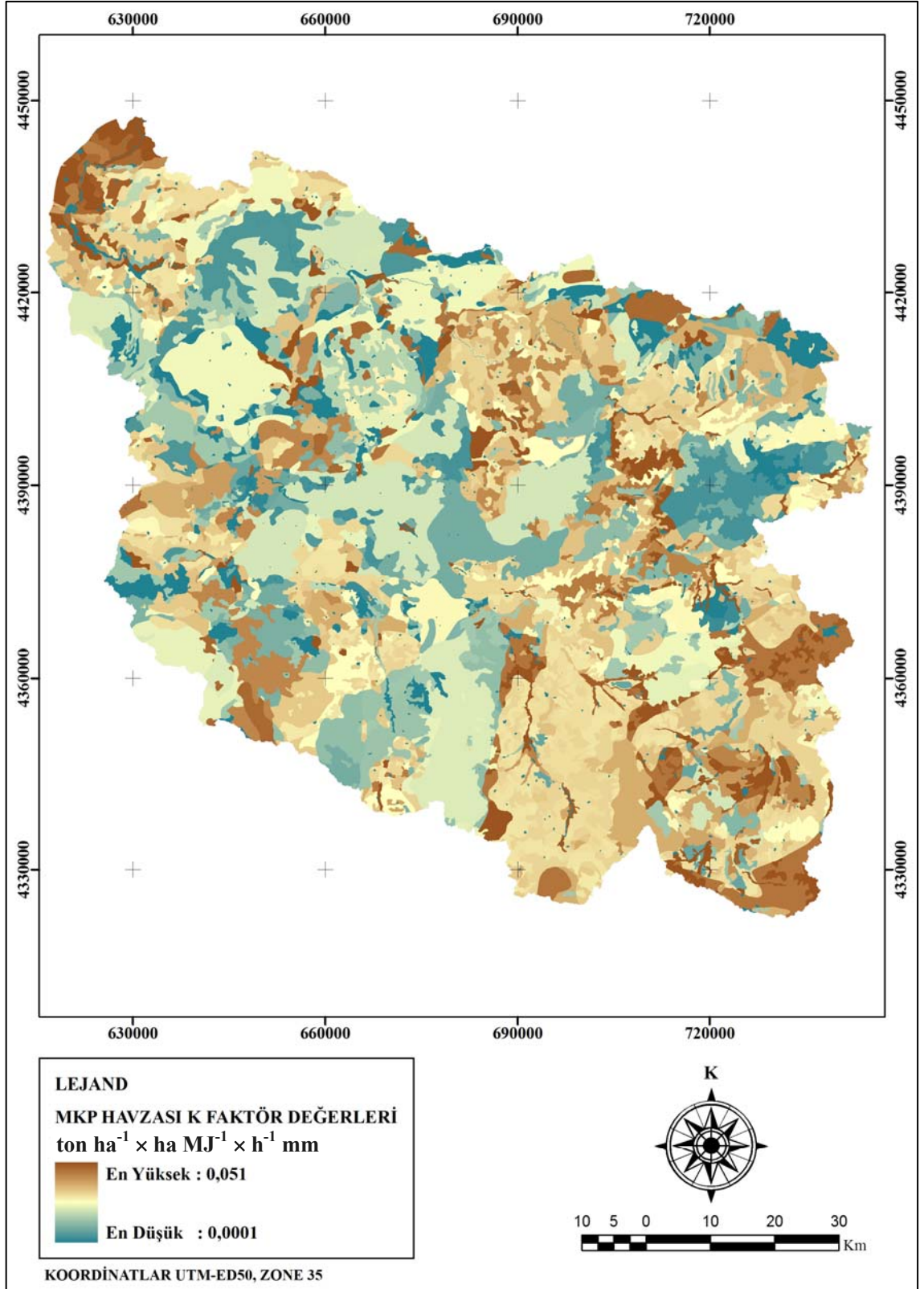
Öznitelik tablolarına girilen toprak karakteristiklerine ait değerler materyal ve metod bölümünde verilen ve ayrıntılı olarak açıklanan denklem 1.5 ve 1.6'da yerlerine konularak Mustafakemalpaşa havzasına ait toprakların YETKE-K faktör değerleri hesaplanmış ve öznitelik tablosuna ayrı bir sütun olarak girilmiştir. Mustafakemalpaşa havzasının jeoloji haritaları ve büyük toprak grupları haritasının üst üste çakıştırılmasıyla oluşturulan ana kaya farklılıklarını da içeren büyük toprak grupları haritası öznitelik tablosunun K faktör değerlerine göre yeniden sınıflandırılarak çalışma alanının YETKE-K faktörü haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Söz konusu harita toprakların erozyona uğrama derecelerine göre oluşturulmuş K faktör sınıflarına göre yeniden sınıflandırılarak K faktör sınıflarının alansal ve oransal dağılımları hesaplanmıştır. MKP havzası ve alt havzalarının K faktörü sınıflarına ait oransal ve alansal dağılımları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çalışılan havzanın diğer erozyon faktörleri değişmez kabul edilip tekstür, strüktür, organik madde gibi toprak özellikleri dikkate alındığında tüm havza topraklarına oranla % 65,45'lik kısmı orta derecede aşınabilir (3.sınıf) olarak saptanmıştır. Bunun yanında MKP havzası topraklarının % 29,16'lık kısmı kuvvetli derecede aşınabilir (4.sınıf) özelliktedir. Havzada çok az aşınabilir (1.sınıf) ve az aşınabilir (2.sınıf) topraklar toplam % 5,39'luk bir alan kaplamaktadır.

Erozyona uğrama derecesi açısından 5. sınıf yani çok kuvvetli derecede aşınabilir topraklar Mustafakemalpaşa nehri havzasında bulunmamaktadır. MKP nehrinin drenaj havzasını oluşturan Mkp, Emet ve Orhaneli alt havzaları toprakları büyük oranla orta ve kuvvetli derecede aşınabilir özelliktedir (Çizelge 3.3).

Mkp alt havzası toprakları kuvvetli (% 50,36) ve orta derecede aşınabilir (% 45,35) özellikte olup az aşınabilir (% 0,01) topraklar hemen hemen hiç yer almamaktadır. Bu alt havzada çok az aşınabilir toprakların oranı ise % 4,28'dir. Emet ve Orhaneli alt havzalarını daha çok orta derecede aşınabilir özellikteki topraklar oluşturmaktadır ve oransal olarak Emet havzası topraklarının % 70,96'sı, Orhaneli alt havzası topraklarının ise % 61,60'ı kadardır. Bunları çok az ve az aşınabilir topraklar takip etmektedir (Çizelge 3.3).





**Şekil 3.5.** Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-K Faktörü Haritası ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h}^{-1} \text{mm}$ ).

Orhaneli alt havzası topraklarının % 32,43'ü ve Emet alt havzası topraklarının % 24,11'i kuvvetli derecede aşınabilir özelliktedir. Çok az aşınabilir topraklar Orhaneli alt havzasının % 3,99'unu ve Emet alt havzasının % 2,75'ini kaplamaktadır. Yine Emet alt havzası topraklarının % 2,18'i ve Orhaneli alt havzası topraklarının % 1,98'i az aşınabilir sınıfta yer almaktadır (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3.** Mustafakemalpaşa Havzası K Faktörü Dağılımları.

Sınıf	Metrik Sistemde Sınıf*	Tanım	Havza Genelindeki Dağılım (%)	Alt Havzalardaki Dağılım (%)		
				Mkp	Emet	Orhaneli
<0,05	<0,0066	Çok Az Aşınabilir	3,39	4,28	2,75	3,99
0,1	0,0132	Az Aşınabilir	2,00	0,01	2,18	1,98
0,2	0,0264	Orta Derecede Aşınabilir	65,45	45,35	70,96	61,60
0,4	0,0527	Kuvvetli Derecede Aşınabilir	29,16	50,36	24,11	32,43
0,6	0,0791	Çok Kuvvetli Derecede Aşınabilir	-	-	-	-

\*hesaplama (=Sınıf/7,59)

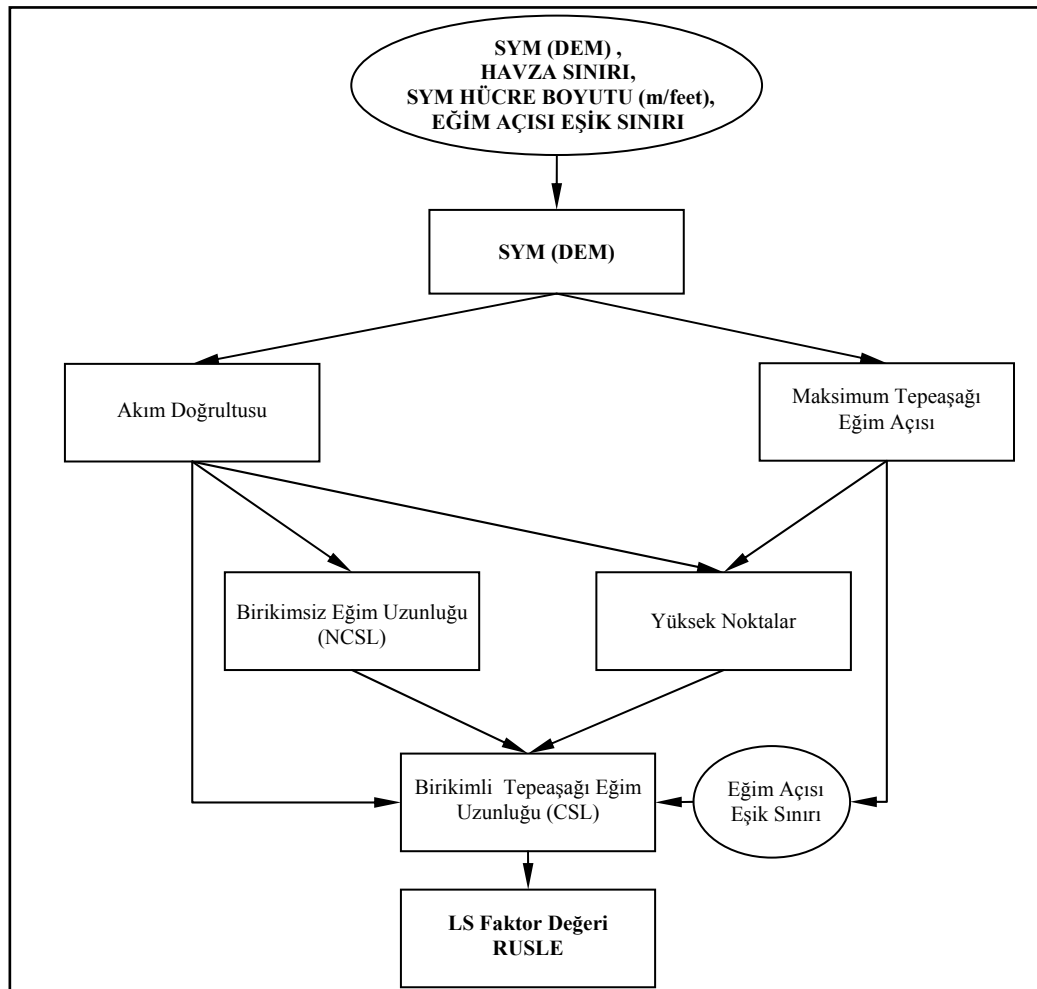
#### 3.4. Mustafakemalpaşa Havzasında Topoğrafik Faktörler (LS)

Topoğrafyanın toprak erozyonuna üzerine olan etkisi dikkate alınan her hangi bir (x,y) noktasında; tarlada bir parsel veya CBS raster grid ortamında olduğu gibi bir hücrenin eğim uzunluğunun (L) ve eğim dikliğinin (S) bir fonksiyonu olarak elde edilen ve birimsiz olan LS faktöründen tahmin edilmektedir. Bu nedenle topoğrafyanın toprak erozyonu üzerine olan özel etkisinin belirlenebilmesi için öncelikle eğim uzunluğu ve eğim dikliği parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir.

YETKE-LS faktörü hesabında; lokal değişkenliği koruması nedeniyle eğim açısını sadece iki hücrenin fonksiyonu olarak hesaplayan, maksimum eğim açısı hesaplamasının artırıcı etkisini eğim açısını sınırlayarak tepeşağı doğrultularda azaltan, eklemeli tepeşağı eğim uzunluğunun hesaplanmasında hem depolanma hem de akım veren alanların her ikisini birden dikkate alan, geniş alanlar için pahalı ve uzun zaman gerektiren eğim uzunluğunun arazide belirlenmesi çalışmalarına gerek kalmadan geniş

alanlarda toprak erozyonu miktarının tahmin edilmesini sağlayan ve ArcGIS ArcInfo Workstation ortamında çalışan Van Remortel ve ark.(2004) tarafından geliştirilen YETKE (RUSLE) tabanlı bir “Arc Macro Language (AML)” yazılımı kullanılmıştır.

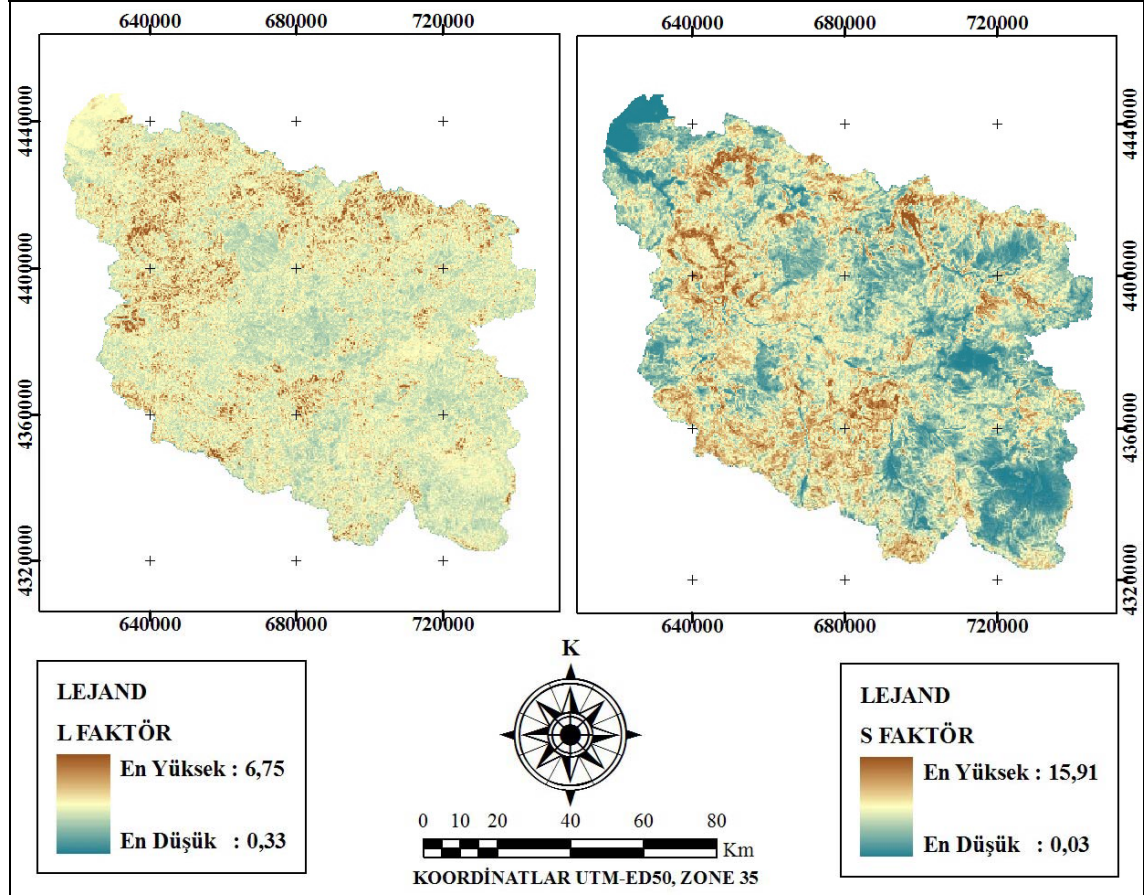
Bu yazılım McCool ve ark. (1997) tarafından geliştirilen modele benzer bir biçimde grid tabanlı olarak sisteme girilen sayısal yükseklik modelinden yararlanarak Denklem 1.7 yardımıyla LS faktörünü hesaplamaktadır. Yazılımın çalışması için 20x20 m grid aralıklarında hazırlanan sayısal yükseklik modeli, grid ölçüleri (m/feet), havza sınır haritaları ile eğim derecesi eşik sınır değerlerinin sisteme tanıtılması gerekmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. YETKE-LS Faktörü Hesaplanmasında Kullanılan Yazılımın Akış Şeması.

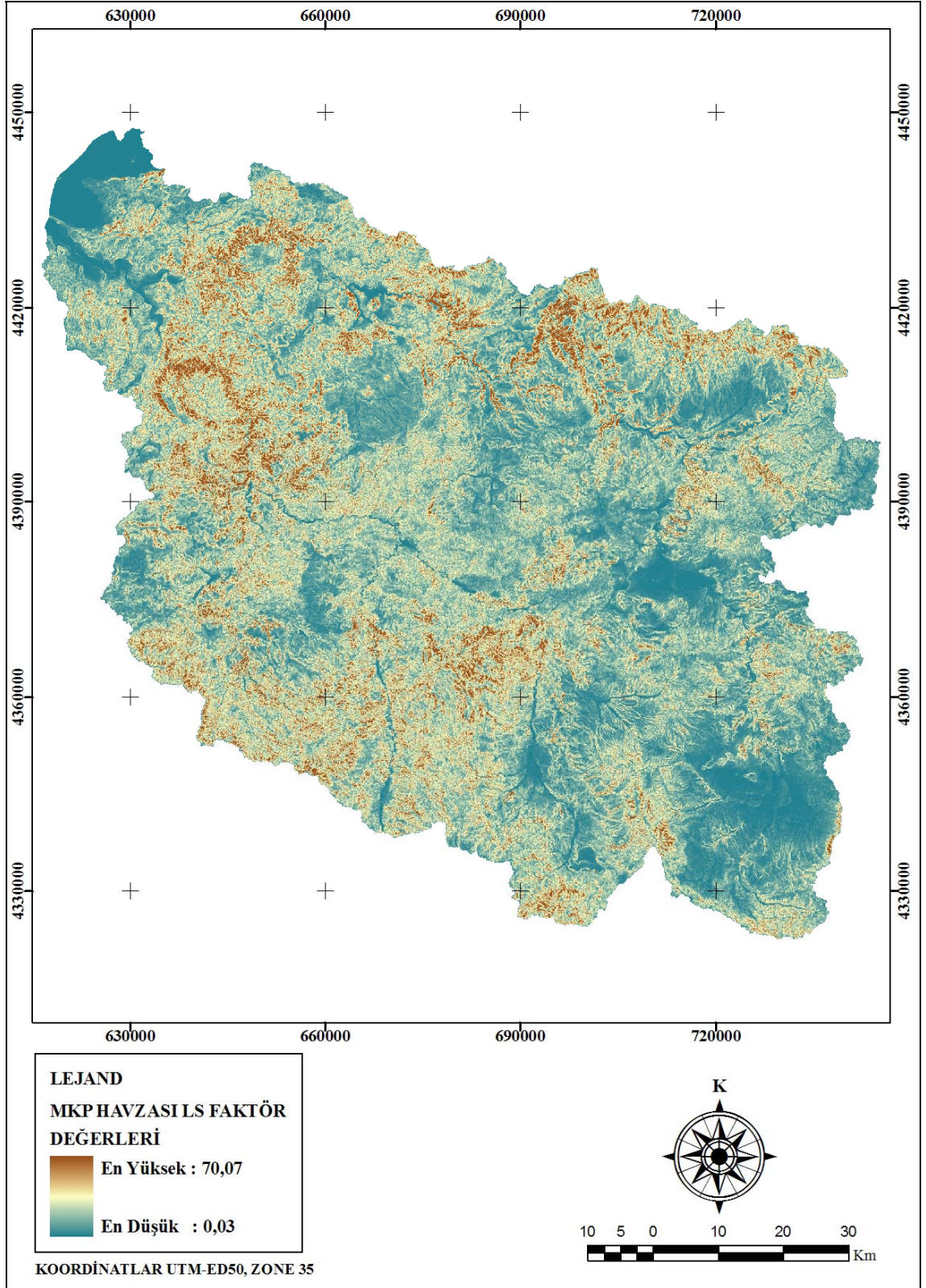
Söz konusu veri ve parametre girişleri yapıldıktan sonra yazılım CBS ortamında YETKE LS değerlerini, eğim açısı (S; tepeşığı eğim açısı değerleri) ve eğim uzunluğu

değerleri (L; eklemeli tepeyağı eğim uzunluğu değerleri) ile bunlara ait haritalar otomatik olarak oluşturulmaktadır. Eğim uzunluğu (L) ve eğim dikliği haritaları (S) Şekil 3.7’ de, söz konusu haritaların bir fonksiyonu olarak elde edilen YETKE-LS faktörü haritası ise Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-L ve S Faktörü Haritaları.

YETKE-LS faktörü dağılım haritası (Şekil 3.8) incelendiğinde, LS-faktörü değerlerinin havzanın kuzey-batısında yer alan Mustafakemalpaşa alt havzasında en düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu bölgeler daha çok Mustafakemalpaşa nehrinin iç kesimlerden getirip yığıldığı alüvyonlardan oluşmuş ve tarımsal kullanıma açılmış düz ve düze yakın alanlardır. Bu alandan başka havzanın orta kesimleri ile doğu ve güney-doğu kesimleri LS faktörünün düşük değerlerde çıktığı alanlardır. Havzanın orta batı kesimleri ile kuzey ve güney sınırını oluşturan yüksek kesimlerde LS faktörü değerleri artmaktadır. Bu alanlar daha çok yüksek eğimlere sahip dağlık bölgeleri oluşturur. Söz konusu alanlar genelde seyrek orman ve orman örtüsü ile kaplıdır.



Şekil 3.8. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-LS Faktörü Haritası.

LS faktörün elde edilmesi sırasında oluşturulan eğim haritası Anonim’de (1962) tanımlanan eğim sınıflarına göre yeniden sınıflandırılarak MKP havzasının eğim sınıfları haritası oluşturulmuş ve sonuç olarak eğim sınıflarının alansal ve oransal dağılımları hesaplanmıştır. Eğim sınıflarının Mustafakemalpaşa ve alt havzalarındaki oransal dağılım sonuçları Çizelge 3.4’de verilmiştir. Havzada en yüksek eğimler Emet alt havzasında yer alır iken düz ve hafif eğimli araziler ise çoğunlukla Mkp alt havzasındadır.

Havza genelinde eğim sınıfları incelendiğinde havzanın büyük bir kısmının sırasıyla sarp, çok dik ve dik eğimli olduğu anlaşılmaktadır (toplam= % 73,05). Orta eğimli araziler % 13,59 alan kaplamaktadır. Düz ve hafif eğimli araziler ise sırasıyla % 6,76 ve % 6,60’lık dağılımdadır (Çizelge 3.4).

**Çizelge 3.4.** Mustafakemalpaşa Havzası Eğim Sınıflarının Oransal Dağılımları.

Eğim Sınıfı (%)	Tanım	Havza Genelindeki Dağılım (%)	Alt Havzalardaki Dağılım (%)		
			Mkp	Emet	Orhaneli
0 – 2	Düz veya düze yakın	6,76	34,21	3,31	7,73
2 – 6	Hafif eğimli	6,60	7,21	4,48	8,80
6 – 12	Orta eğimli	13,59	13,14	10,73	16,68
12 – 20	Dik eğimli	20,26	18,76	19,16	21,56
20 – 30	Çok dik eğimli	22,47	15,22	24,97	20,52
> 30	Sarp	30,32	11,46	37,35	24,71

Mustafakemalpaşa havzasını oluşturan alt havzaların oransal dağılımları incelendiğinde Mkp alt havzasının daha çok düz ve düze yakın eğimli (% 34,21) olduğu açıkça görülmektedir. Bu alt havzada hafif eğimli alanların oranı ise % 7,21’dir. Emet ve Orhaneli alt havzaları ise daha çok sarp ve çok dik eğimlidir. Bu alt havzalardan Orhaneli alt havzasında düz ve hafif eğimli araziler sırasıyla % 7,73 ve % 8,80’lik bir dağılımdadır. Emet alt havzasının ise sadece % 3,31’i düz ve düze yakın eğimli, % 4,48’i ise hafif eğimlidir. Sarp eğimli alanların Emet, Orhaneli ve Mkp alt havzaları için oransal olarak dağılımları sırasıyla % 37,35, % 24,71 ve % 11,46 iken çok dik eğimli alanlar % 24,97, % 20,52 ve % 15,22 dağılımlardadır. Dik eğimli alanların dağılımları ise Orhaneli alt havzasında % 21,56, Emet alt havzasında % 19,16 ve Mkp

alt havzasında ise % 18,76'dır. Orta eğimli alanlar Orhaneli alt havzasının % 16,68'ini, Mkp alt havzasının % 13,14'ünün ve Emet alt havzasının % 10,73'ünü kaplamaktadır.

### **3.5. Mustafakemalpaşa Havzasında Bitki Yönetim Faktörü (C)**

Bitki yönetim faktörü ürün yetiştirme ve amenajman uygulamalarının erozyon oranları üzerindeki etkisini yansıtmak için hem ETKE hem de YETKE içinde kullanılmaktadır. Amenajman seçeneklerinin toprak koruma planları üzerindeki oransal etkilerini kıyaslamak için en sık kullanılan faktördür. Bu faktör toprak koruma planının ortalama yıllık toprak kaybını nasıl etkileyeceğini ve toprak kaybı potansiyelinin yapılaşma faaliyetleri, ürün münavebeleri veya diğer amenajman programları sırasında zaman içinde nasıl bozulup dağılacağını gösterir (Renard ve ark. 1997).

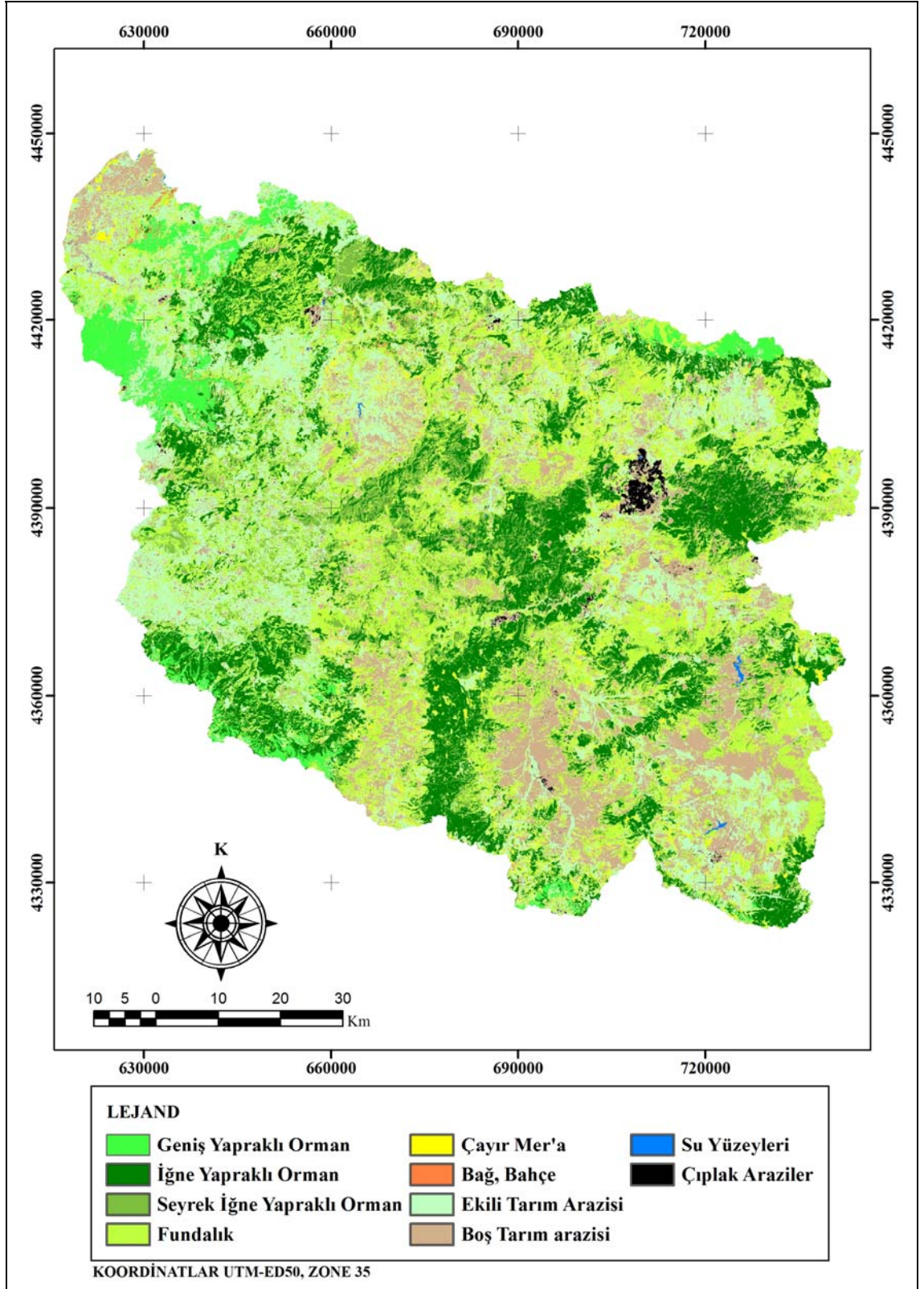
Çalışma alanının güncel arazi kullanım/örtü haritasının elde edilmesinde Mayıs ve Haziran 2001 tarihli Landsat-7 ETM uydu verileri kullanılmıştır. Söz konusu uydu verileri ERDAS 8.7 görüntü işleme yazılımı aracılığıyla bilgisayar ortamına alınmış, topoğrafik haritalardan elde edilen koordinat noktaları kullanılarak bir pikselden daha düşük bir hatayla (RMS<1 piksel) coğrafik düzeltmeleri yapılmış ve UTM projeksiyon, Zone 35 ve ED50 datum sistemine uyarlanmıştır. Oluşturulan görüntüler histogram birleştirme tekniği yardımıyla birleştirilerek 2001 yılları için havzanın bütün görüntüsü oluşturulmuştur. Oluşturulan görüntüden havza sınırlarını içeren kısmın görüntüsü ekstrakte edilerek gözle yorumu ve sınıflandırmayı kolaylaştıracak görüntü işleme ve zenginleştirme teknikleri uygulanmıştır.

Uydu görüntüleri üzerinde hava fotoğrafları ve GPS'ler kullanılarak yürütülen arazi çalışmaları yardımıyla havzadaki arazi kullanım ve örtü türlerine ait örnek noktalar belirlenmiştir. Görüntüler arazi çalışmaları sırasında belirlenen arazi kullanım/örtü türleri ve hava fotoğraflarının desteğiyle örnek noktalar ve bu noktalara ait yansıma karakteristikleri belirlenmiştir. Sayısal uydu görüntüleri arasındaki zamansal farklılık (18 Mayıs ve 12 Haziran 2001) özellikle ekili tarım arazileri ile mera alanlarında bitki yoğunluklarını etkilediğinden yürütülecek sayısal sınıflandırmada olası karışım hatalarını önlemek amacıyla MKP havzasını bütünleyen farklı tarihlere ait görüntüler

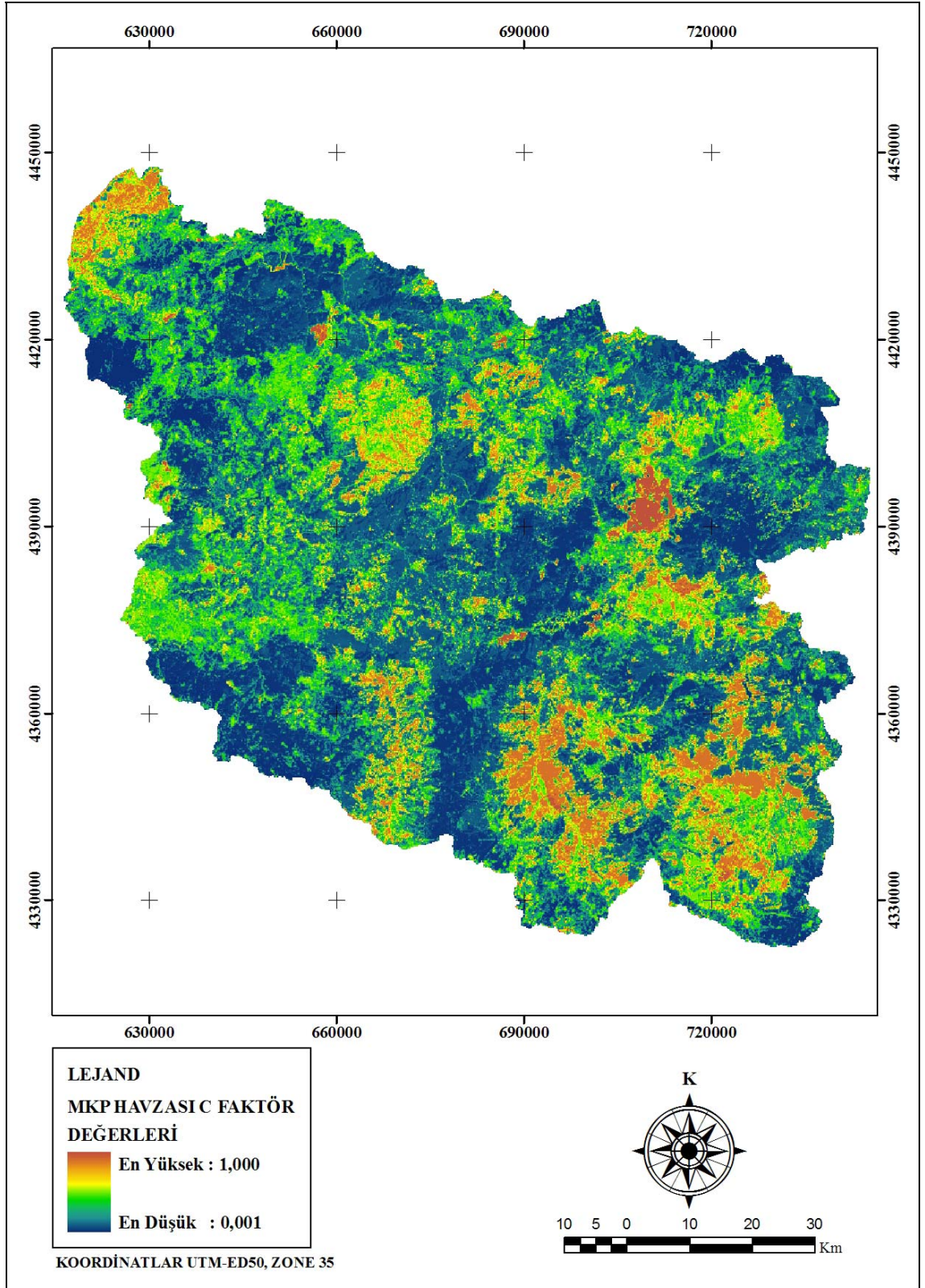
ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Çalışma alanı; geniş yapraklı orman, iğne yapraklı orman, seyrek iğne yapraklı orman, fundalık, çayır mer'a, bağ ve bahçelik, ekili tarım arazileri, boş tarım arazileri, su yüzeyleri ve çıplak araziler (kayalık, kazılmış, yerleşim) olmak üzere 10 ayrı arazi kullanım/örtü sınıfına ayrılmıştır. Bu amaçla temel alınan 10 farklı arazi kullanım/örtü türünün yansıma karakteristiklerindeki farklılıkları içerecek biçimde 32 alt örnek alan otomatik olarak görüntü işleme programına seçtirilmiş ve görüntü işleme programına tanıtılarak kontrollü sınıflandırma tekniklerinden birisi olan en çok benzerlik yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucu elde edilen arazi kullanım/örtü türleri haritasında farklı kodlarla tanımlanmış aynı temel arazi kullanım/örtü türlerine ait sınıflar yeniden kodlanarak sınıflandırılmış, birleştirilmiş ve arazi kullanım/örtü türleri haritası kesinleştirilmiştir. Sayısal sınıflandırmada arazi kullanım/arazi örtü tiplerine ait örnek piksellerin seçilmesinde, ulaşılması mümkün olmayan arazilerin incelenmesinde ve sınıflandırma doğruluğunun test edilmesinde hava fotoğraflarından ve 1:25.000 ölçekli orman mesçere haritalarından yararlanılmıştır.

YETKE-C değerleri uydu görüntülerinin sınıflandırılması ile elde edilen arazi kullanım/örtü türlerine ait harita ve arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler sonucu belirlenen arazi kullanım ve örtü sınıflarının karakteristikleri temel alınarak ilgili literatür ve araştırma sonuçlarından elde edilmiştir (Wischmeier ve Smith 1978, Renard ve ark. 1997, Yang ve ark. 2003, Çanga 1995). Arazi kullanım türleri/örtü haritası belirlenen YETKE C faktör değerlerine göre CBS ortamında yeniden sınıflandırılarak 20x20 m grid büyüklüğünde MKP havzasının YETKE C faktör haritası oluşturulmuştur. Araştırmanın bu aşamasında üretilen arazi kullanım/örtü haritası (Şekil 3.9), YETKE C faktör değerleri haritası (Şekil 3.10) ve söz konusu haritalardan elde edilen alansal ve oransal dağılımlar ise Çizelge 3.5'de verildiği gibidir.





Şekil 3.9. Mustafakemalpaşa Havzası Güncel Arazi Kullanım/Örtü Haritası.



Şekil 3.10. Mustafakemalpaşa Havzası YETKE-C Faktörü Haritası.

**Çizelge 3.5.** Mustafakemalpaşa Havzası Arazi Sınıfları ve YETKE-C Faktörü Değerleri.

Arazi Kullanım/Örtü Sınıfı	YETKE-C	MKP Havzası Dağılım		Alt Havzalardaki Dağılım Oranı (%)		
		Alansal (km <sup>2</sup> )	Oransal (%)	Mkp	Emet	Orhaneli
Geniş Yapraklı Orman	0,001	427,72	4,23	20,55	4,16	2,71
İğne Yapraklı Orman	0,010	1774,63	17,57	0,87	20,13	16,49
Seyrek İğne Yapraklı Orman	0,050	993,99	9,84	0,30	11,84	8,66
Fundalık	0,038	2646,84	26,20	20,57	26,57	26,36
Çayır Mer'a	0,090	459,68	4,55	4,00	3,50	5,71
Bağ, Bahçe	0,180	104,02	1,03	2,27	0,90	1,04
Ekili Tarım Arazileri	0,280	2253,75	22,31	31,28	20,62	23,22
Boş Tarım Arazileri	0,500	1383,48	13,70	19,61	12,10	14,82
Su Yüzeyleri	0,001	8,07	0,08	0,30	0,01	0,13
Çıplak Araziler	1,000	49,59	0,49	0,25	0,17	0,86
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>10101,77</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Çalışma alanı genelindeki arazi kullanımı haritasından (Şekil 3.9) ve Çizelge 3.5’de verilen Mustafakemalpaşa havzası arazi sınıfları dağılımlarından anlaşılacağı gibi, havzanın büyük bir kısmının ekili ve boş tarım arazileri (toplam 3637,23 km<sup>2</sup> ve % 36,01) ile fundalık (2646,84 km<sup>2</sup> ve % 26,20) örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir. Havzadaki doğal bitki örtüsünün genelini çayırlar, fundalıklar, iğne ve geniş yapraklı ormanlık alanlar oluşturmaktadır. Havza içinde önemli büyüklükte bir yerleşim alanı bulunmamaktadır. Havzadaki ormanlık alanlar tüm alanın toplam % 31,64’ünü (3196,34 km<sup>2</sup>) kaplamaktadır. Bunun % 17,57’sini iğne yapraklı orman (1774,63 km<sup>2</sup>), % 9,84’ünü seyrek iğne yapraklı orman (993,99 km<sup>2</sup>) ve % 4,23’ünü geniş yapraklı orman (427,72 km<sup>2</sup>) örtüsü oluşturur. Havzada çayır mer’alar 459,68 km<sup>2</sup> (% 4,55) ve bağ-bahçelik alanlar 104,02 km<sup>2</sup> (% 1,03) alan kaplamaktadır. Havza genelinde yer alan su yüzeyleri ve çıplak arazilerin (kayalık, kazılmış, yerleşim) tüm alana oranı sırasıyla % 0,08 (8,07 km<sup>2</sup>) ve % 0,49’dur (49,59 km<sup>2</sup>).

Mustafakemalpaşa havzasını oluşturan alt havzalar dikkate alındığında, Mkp alt havzasında tarımsal amaçlı arazi kullanımı ve geniş yapraklı orman örtüsü diğer alt

havzalarinkine oranla daha fazladır. Mkp alt havzasının alansal dağılımının % 50,89'u tarla tarımı için kullanılmaktadır. Tarım alanları Orhaneli alt havzasının % 38,04'ü ve Emet alt havzasının % 32,72'sini kaplamaktadır. Bağ ve bahçelikler ise Mkp, Orhaneli ve Emet alt havzaları bireysel olarak dikkate alındığında sırasıyla % 2,27, % 1,04 ve % 0,90 oranlarındadır. Buna karşın Orhaneli ve Emet alt havzalarında iğne yapraklı orman örtüsü ve fundalık alanları Mkp alt havzasından daha fazladır. Doğal bitki örtüsünü oluşturan bu alanlardan iğne yapraklı orman örtüsü Emet alt havzasının % 11,84'ü seyrek olmakla beraber toplam % 31,97'sini, Orhaneli alt havzasının % 8,66'sı seyrek olarak toplam % 25,15'ini, Mkp alt havzasının ise % 0,30'u seyrek olmakla birlikte toplam % 1,17'sini kaplamaktadır. Geniş yapraklı orman örtüsü ise diğer alt havzalara oranla en çok Mkp alt havzasında yer almaktadır (% 20,55). Emet ve Orhaneli alt havzalarında ise geniş yapraklı orman örtüsü iğne yapraklılara göre çok azdır (sırasıyla % 4,16 ve % 2,71). Fundalık ve çayır mer'alar sırasıyla Orhaneli alt havzasının % 26,36 ve % 5,71'ini, Emet alt havzasının % 26,57 ve % 3,50'sini, Mkp alt havzasının ise % 20,57 ve % 4'ünü kaplamaktadır. Çıplak arazilerin (kayalık, kazılmış, yerleşim alanları) alt havzalardaki dağılımına baktığımızda ise bu alanlar Orhaneli, Emet ve Mkp alt havzaları için sırasıyla % 0,86, % 0,17 ve % 0,25 oranlarındadır (Çizelge 3.5).

Ayrıca arazi kullanım türleri/örtü haritasının YETKE C faktör değerlerine göre sınıflandırılmasından elde edilen MKP havzasının YETKE C faktör haritasına göre Mustafakemalpaşa havzasında ve alt havzalarda YETKE-C faktörünün 0,001 ile 1,0 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

### **3.6. Mustafakemalpaşa Havzasında Toprak Koruma Önlemleri Faktörü (P) Değeri**

YETKE-P faktörü toprak yönetim aktivitelerini temsil etmektedir. Toprağın eğim yönünde ya da eğime dik yönde ya da dönerek işlenmesine bağlı olarak erozyon süreçleri hızlanabilir ya da yavaşlayabilir. P faktörünün büyük havzalarda alansal dağılımının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım bulunmamaktadır. Buna karşılık Wischmeier ve Smith (1978) eğim derecesine bağlı olarak en yaygın toprağın işleme yöntemlerini sınıflandırmışlardır. YETKE yaklaşımının iklim, toprak özellikleri ve arazi kullanımına bağlı olarak her hangi bir noktada meydana gelen toprak kaybını yansıttığı

ve erozyona uğrayan bu toprağın taşınması ile ilgili süreçleri yansıtmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmalarında Mustafakemalpaşa havzası sınırlarında tarım yapılan alanlarda herhangi bir toprak koruma önlemine ve tekniklerine rastlanamamıştır. Bu yüzden çalışma ile ilgili erozyon modelinde toprak koruma önlemleri faktörü (P) 1,0 olarak değerlendirilmiştir. Bu değer YETKE modelinde, çalışılan alanda herhangi bir toprak koruma önlemi uygulaması yoksa alınması gereken P faktörü değeridir (Wischmeier ve Smith 1978).

### 3.7. Mustafakemalpaşa Havzası Potansiyel Toprak Kaybı Dağılımı

Bu bölüme kadar elde edilmiş yöntemleri ve sonuçları verilen R Yağış-akış aşındırıcı ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ), K Toprağın erozyona duyarlılık ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ ), LS Eğim uzunluğu ve dikliği, C Bitkisel örtü ve ürün yönetimi ve P Toprak ve su koruma önlemleri faktörlerine ait haritalar materyal ve metod bölümünde detaylı olarak açıklanan YETKE modeli;  $A = R \times K \times LS \times C \times P$  uyarınca (Wischmeier ve Smith 1978, Renard ve ark. 1997) CBS Programının harita hesaplama modülünde yerine koyularak çarpılmış ve sonuç olarak Mustafakemalpaşa havzasının potansiyel toprak kaybı ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ) belirlenerek haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.11).

Mustafakemalpaşa Havzası'nda YETKE modeli ile hesaplanarak oluşturulan potansiyel erozyon haritası ve istatistiksel sonuçları değerlendirildiğinde havzada potansiyel yıllık toprak kaybı minimum  $2 \times 10^{-6}$  ton  $\text{ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (piksel değeri) maximum 1508,09 ton  $\text{ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (piksel değeri) değerleri arasında değişmektedir. Havzanın en yüksek toprak kaybı değeri olan 1508,09 ton  $\text{ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (piksel değeri) Orhaneli alt havzasından gelmektedir. Emet alt havzasında yıllık potansiyel toprak kaybı  $4 \times 10^{-6}$ -1374,16 ton  $\text{ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (piksel değeri) arasında değişirken, Mkp alt havzasında ise  $6 \times 10^{-6}$ -513,99 ton  $\text{ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (piksel değeri) arasında değişmektedir.

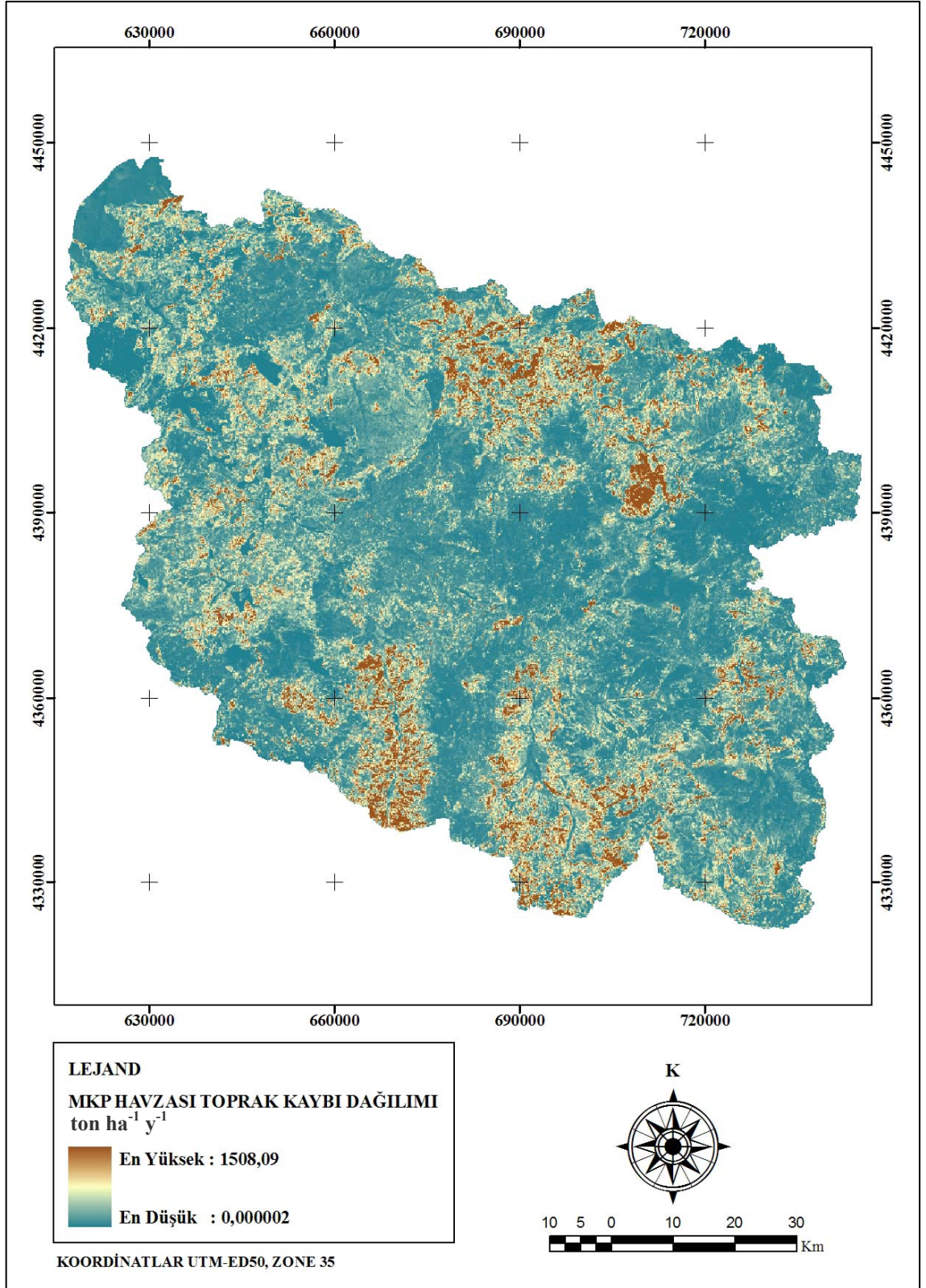
Elde edilen pixel bazında değerler kullanılarak havza ve alt havzalar bazında meydana gelecek toplam ve ortalama toprak kaybı ton  $\text{yıl}^{-1}$  olarak hesaplanmış ve

Mustafakemalpaşa havzasının geneli için toplam potansiyel toprak kaybı 11.296.061,75 ton yıl<sup>-1</sup> ve ortalama potansiyel toprak kaybı ise 11,18 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Alt havzalar bazında toplam potansiyel toprak kayıpları Emet havzasında 5.656.609,72 ton yıl<sup>-1</sup>, Orhaneli havzasında 5.278.342,50 ton yıl<sup>-1</sup> ve Mkp alt havzasında ise 361.109,53 ton yıl<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Alt havzaların ortalama potansiyel toprak kayıpları ise en yüksek Emet alt havzasında 11,41 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>, en düşük ise Mkp alt havzasında 7,89 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Orhaneli alt havzasının ortalama potansiyel toprak kaybı ise Emet alt havzasına yakın değerinde 11,26 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Emet alt havzasının gerek tarım gerekse madencilik faaliyetlerinin yapıldığı kesimlerinde ve Orhaneli havzasının doğal bitki örtüsünün tahrib edildiği kısımlarında toprak kaybı potansiyeli oldukça yüksektir. Söz konusu alanlarda yapılacak erozyon önleme çalışmaları ile Mustafakemalpaşa çayına ve bu yolla bu çayın boşaldığı Uluabat gölüne taşınan sediment miktarının azaltılması sağlanabilir.

Erozyonu kontrol eden süreçlerden iklim ve toprak özellikleri değiştirilemez. Buna karşılık YETKE modelinde yer alan arazi kullanımı (C), topoğrafik (LS) faktörler ve toprak işleme yöntemi (P) kontrol edilebilen değişkenlerdir (Renard ve ark. 1997). Eğim uzunluğunun azaltılması, ağaçlandırma, özellikle yamaç arazilerde yapılan tarımsal faaliyetlerde eğime dik yönde toprak işleme gibi uygulamalar bu parametrelerin küçülmesini ve buna bağlı olarak sediment yükünün azalmasını sağlayacaktır.

Doğal nedenler ile oluşan erozyonu insan kaynaklı faaliyetler de etkilemektedir. Arazi gözlemleri sonucunda ve Şekil 3.11'de verilen MKP havzasının birim alandan gerçekleşen ortalama yıllık toprak kaybı haritası incelendiğinde Mustafakemalpaşa havzası için bu etkiler; havzada bulunan bor ve linyit işletmelerinin, mermer ve taş ocaklarının geniş alanlarda yaptıkları kazılar sonucunda oluşan toprak kaybının fazlalığı, doğal bitki örtüsü olan ormanların tahrip edilmesi, tarım ve yerleşime açılması, eğimli alanlarda yapılan tarımsal uygulamalar, yoğun otlatma sonucu havzada yer alan çayır mer'aların bozularak giderek kalitesinin ve ot veriminin düşmesi olarak sayılabilir.



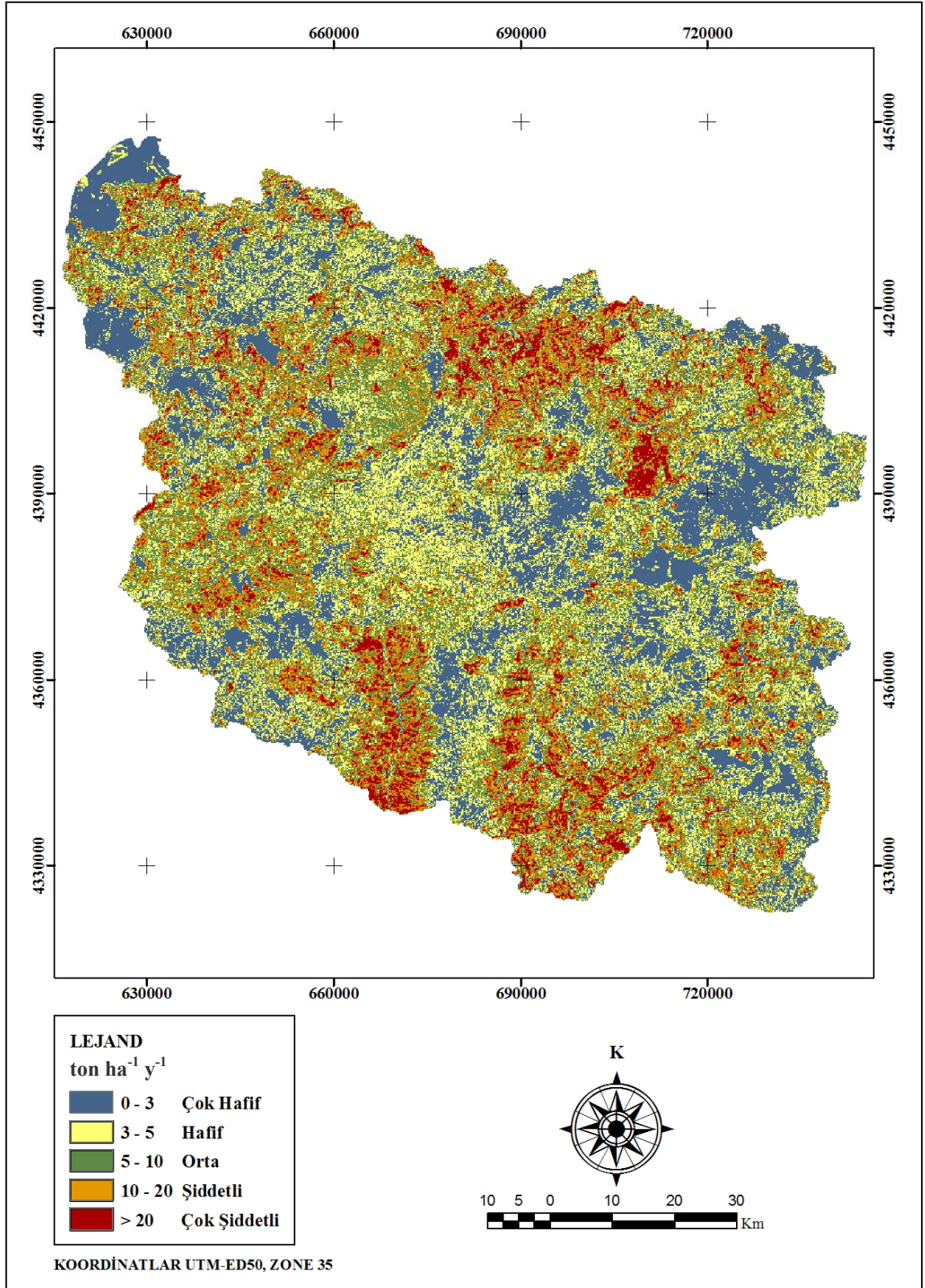
Şekil 3.11. Mustafakemalpaşa Havzası'nda YETKE Modeli ile Hesaplanan Birim Alandan Gerçekleşen Ortalama Yıllık Potansiyel Toprak Kaybı Haritası (ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>).

Çalışma alanı için YETKE modeli ile hesaplanan ve haritası oluşturulan Mustafakemalpaşa havzasının potansiyel toprak kaybı haritası toprak kaybı değerlerine bağlı olarak oluşturulan erozyon riski sınıflarına göre yeniden sınıflandırılarak MKP havzasına ait toprak erozyonu risk haritaları oluşturulmuştur. Erozyon risk sınıfları çok hafif ( $0-3 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ), hafif ( $3-5 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ), orta ( $5-10 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ), şiddetli ( $10-20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ), çok şiddetli ( $> 20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ) olmak üzere 5 grupta sınıflandırılmıştır (Şekil 3.12).

MKP havzasının oluşturulan erozyon risk haritasından hesaplanan erozyon risk sınıflarına ait alansal ve oransal dağılımlar Çizelge 3.6'da verilmiştir. Morgan'a (1995) göre tarımsal üretim için kabul edilebilir toprak kaybı  $10 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ 'dir. Bu tolere edilebilir limit toprak kaybı oranlarının sınıflarının oluşturulmasında dikkate alınmıştır.

Mustafakemalpaşa Havzası'nın % 49,93'ünde erozyon tehlikeli bir durum göstermemektedir. Havza topraklarının % 10,67'si hafif ve % 13,51'i orta şiddetli erozyona maruzdur. Tüm havza genelinin % 10,74'ünde erozyon şiddetli ve % 15,15'inde çok şiddetlidir. Alt havzalar bazında değerlendirildiğinde Emet alt havzasının toplam % 26,66'sında, özellikle yüksek kesimlerde, erozyon şiddetli ve çok şiddetli çıkmıştır. Bu durum Orhaneli alt havzasının % 25,70'i ve Mkp alt havzasının % 19,38'i için de aynıdır. Özellikle Emet çayının kaynağına yakın yörelerde sarp arazilerde erozyon yüksek değerlerde gerçekleşmektedir. Mkp alt havzasının % 63,65'inde, Orhaneli alt havzasının % 50,35'inde ve Emet alt havzasının % 48,27'sinde ise erozyon sorunu yoktur (Çizelge 3.6). Bunlara ek olarak Mustafakemalpaşa havzasının yaklaşık olarak % 25'inde yani  $2614 \text{ km}^2$ 'lik bölümünde erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli olduğu Çizelge 3.6'dan rahatlıkla elde edilebilir.





Şekil 3.12. Mustafakemalpaşa Havzası'nda Potansiyel Erozyon Riski Sınıfları Haritası.

**Çizelge 3.6.** Mustafakemalpaşa Havzası Potansiyel Erozyon Riski Sınıfları ve Alansal Dağılımı.

Sınıf (ton ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Erozyon Riski	MKP Havzası Dağılım		Alt Havzalardaki Dağılım (%)		
		Alansal (km <sup>2</sup> )	Oransal (%)	Mkp	Emet	Orhaneli
0 - 3	Çok Hafif	5044,10	49,93	63,65	48,27	50,35
3 - 5	Hafif	1078,07	10,67	7,62	11,19	10,42
5 - 10	Orta	1365,02	13,51	9,35	13,88	13,53
10 - 20	Şiddetli	1084,48	10,74	7,73	10,78	10,98
> 20	Çok Şiddetli	1530,12	15,15	11,65	15,88	14,72

Erozyon riski tolere edilebilir sınırların üzerinde yani erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli alanlara sahip Mustafakemalpaşa Çayı Havzası'nda orman arazilerinin azalması, işlenen tarım arazilerinin artışı ve artmaya devam etmesi, mera alanlarının aşırı otlatma ile bozulmalarına karşın potansiyel erozyon miktarının 11.296.061,75 ton yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmesinin en önemli nedeni MFİ sınıflarına göre değerlendirildiğinde yağışların erozyon oluşturma güçlerinin çok düşük ve düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, insanların yukarıda açıklanan toprak erozyonunu hızlandırıcı olumsuz etkilerine karşın Mustafakemalpaşa Çayı havzasının olumlu ve önemli bir özelliği olduğu söylenebilir.

Çalışma sonuçlarına dayanarak Mustafakemalpaşa Çayı ve bu çayın boşaldığı Uluabat gölü'nde görülen sediment birikiminin havzada oluşan doğal erozyon süreçlerinden büyük ölçüde etkilendiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Uluabat Gölü'nü etkileyen doğal erozyon süreçlerinin yanında göle ulaşan Mustafakemalpaşa Çayı ve bu çayla birleşen Emet ve Simav Çaylarına maden yataklarından çıkan yoğun kazı malzemelerinin bırakılması ve bu malzemelerden oluşan sedimentlerin de göle taşınıp birikmesi toprak erozyonuna ve göl alanının küçülmesine insanların direkt etkilerinin de rol oynadığını göstermektedir. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) idaresinin MKP nehrinin Döllük mevkiinde yer alan sediment gözlem istasyonunun 1941 yılından günümüze kadar yaptıkları gözlemlerde özellikle 1993 yılına kadar akım hızının çok düşük olduğu bazı tarihlerde çok yüksek sediment miktarının ölçülmesi bu durumu desteklemektedir.

CBS ortamına alınan sayısal toprak haritalarının arazi kullanım türlerine göre yeniden sınıflandırılması ile oluşturulan arazi kullanım haritası (Şekil 2.7) ve arazi kullanım/örtü bilgilerini kapsayan havza ile ilgili diğer raporlar (Anonim 1993, 1995, 1999, 2000a ve 2003) ile Çizelge 3.5’de verilen güncel (2001 yılı) arazi kullanım/örtü verileri karşılaştırıldığında havzadaki orman örtüsünün alansal dağılımının azaldığı ve bu alanların tarla ve bağ-bahçeye dönüştüğü veya kontrolsüz yoğun kesimlerin yapılması sonucu bu ormanların fundalık vasfına düştüğü anlaşılmaktadır. Söz konusu arazi kullanım/örtü türlerinin alansal dağılımlarının güncel haritada artması bunu desteklemektedir. Bu durum söz konusu arazi kullanım/örtü sınıflarının yer aldığı alanlarda erozyonu arttırıcı bir etkiye yol açmaktadır. Bölgede önemli büyüklükte bir yerleşim alanı bulunmamaktadır. Ancak özellikle ormanlık alanlara yakın yerleşim yerlerinde ormanların önce bağ-bahçe tarımına açılması ve bir müddet sonrada yerleşime dönüşmesi sıklıkla rastlanmaktadır.

Özellikle toprak kaybının şiddetli ve çok şiddetli olarak belirlendiği Orhaneli ve Emet alt havzalarının tarım yapılan yüksek kesimlerinde eğime dik sürüm veya sekileme gibi toprak koruma önlemleri alınmalıdır. Havzada yer alan ormanlık alanların daha fazla tahrip edilmesi önlenmeli ve ormanların kalitelerinin arttırılması sağlanmalıdır. Çayır ve mer’a alanlarında büyük bir sorun oluşturan yoğun otlatma ve tarımsal faaliyetlere açılması önlenmeli ve bu alanların ot verimlerinin arttırılması için gereken önlem ve uygulamalar başlatılmalıdır. Havzada yer alan kömür, bor ve mermer gibi madencilik aktivitelerinden çıkan malzemelerin gelişi güzel nehir ve çaylara boşaltılması önlenmeli ve bu malzemelerin depolanacağı alternatif alanlar oluşturulmalıdır. Mustafakemalpaşa Çayı’nın Uluabat Gölü’ne boşaldığı alanda oluşturduğu delta da yapılan tarımsal üretim kontrol altına alınmalı ve bir programa bağlanmalıdır. Bu bölgede yapılan yoğun tarımsal üretim nedeniyle drenaj sularıyla göle karışan fosfor, azot, potasyum gibi bitki besin elementleri gölde ötrifikasyona yol açarak balık ve diğer göl canlılarını olumsuz yönde etkilediğinden bu durumu önleyici veya tolere edilebilir seviyelere çekecek tedbirler alınmalıdır.

YETKE modeli kullanılarak hesaplanan MKP havzasının potansiyel toprak kaybı sonuçlarının EİE’nin Mustafakemalpaşa Çayı üzerinde bulunan Döllük Sediment

Gözlem İstasyonu tarafından ölçülen değerlerle kıyaslanmasında Lim ve ark. (2003) tarafından geliştirilen YETKE modelinin gerektirdiği veriler dışında herhangi bir veri kullanılmaksızın toprak erozyonu ve sediment veriminin tahmininde daha kolay bir CBS erişimi sağlamak amacıyla CBS tabanlı olarak geliştirdikleri Etkili Erozyon Kontrolü için Sediment Tahminleme Aracı'nda (EEKSTA; İngilizce SATEEC - Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control) önerdikleri eşitliklerden yararlanılmıştır.

Söz konusu yazılım YETKE faktör haritalarının girişiyle EEKSTA yazılımı CBS arayüzü menüleri yardımıyla toprak erozyonu ve sediment verimini havza içerisinde seçilecek herhangi bir nokta için tahmin edebilmektedir. Bununla beraber EEKSTA CBS sistemi sediment çökelme havzasının gelen su gövdesinin sediment verimine olan etkilerinin tahmininde kullanılmadığı gibi etkili sediment kontrol yönetimi amacıyla bireysel sağanak yağıştan kaynaklanan sediment veriminin ölçülmesinde de kullanılamaz.

EEKSTA CBS'nin model yazılımında sediment iletim oranının (SİO) konumsal dağılımının hesaplanmasında yüzlerce havza ölçüm sonuçlarından elde edilmiş üç farklı metot sağlanmaktadır. Bu nedenle kullanıcı daha doğru bir sediment iletim oranı (SİO) tahmin edebilmek için çalışma havzasına uygun SİO üstel fonksiyonunu kullanmalıdır. Küçük havzalarda SİO yüksektir ve bunun anlamı ise erozyona uğrayan toprağın aşağı akış alanlarına önemli derecede bir depolanma olmaksızın taşınması, hareket etmesidir. Bu nedenle SİO havza genişliği arttıkça azalmaktadır. Bu yüzden geniş havzalara YETKE modelinin uygulanması sırasında SİO'nun dikkate alınması gerekir. SİO'nun tahmin edilmesi amacıyla yürütülmüş çok sayıda araştırmadan elde edilen sonuçlara göre SİO'nun havza genişliği ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. SİO ve havza genişliği arasındaki ilişki SİO eğrisi olarak bilinmektedir (Anonim 1975b).

Üstel fonksiyonlar olan ve aşağıda verilen 1, 2 ve 3 nolu fonksiyonlardan birincisi Vanoni (1975) tarafından 300 havzaya ait verilerden yararlanılarak geliştirilmiş ve genelleştirilmiş SİO eğrisidir. 2. ve 3. fonksiyonlar ise sırasıyla Boyce (1975) ve Anonim (1975b) tarafından geliştirilmiş SİO eğrileridir.

**Denklem 3.1.**  $SIO = 0,4724 A^{-0,125}$  (Vanoni 1975)

**Denklem 3.2.**  $SIO = 0,3750 A^{-0,2382}$  (Boyce 1975)

**Denklem 3.3.**  $SIO = 0,5656 A^{-0,11}$  (Anonim 1975b)

Burada;

SİO : Sediment iletim oranı.

A : Havza alanı (km<sup>2</sup>).

Lim ve ark. (2003) geliştirdikleri model yazılım EEKSTA'da 300 havzaya ait verilerden elde edilen ve Vanoni (1975) tarafından geliştirilen SİO fonksiyonunu temel almış ve önermiş olmalarına rağmen kullanıcılara diğer fonksiyonları da uygulama ve sonuçları kıyaslama seçeneği sunmuşlardır.

Mustafakemalpaşa havzasının YETKE modeli ile hesaplanan potansiyel toprak kayıpları ve Lim ve ark. (2003) tarafından verilen sediment iletim oranı (SİO) eğrilerine ait fonksiyonlar kullanılarak hesaplanan sediment iletim oranı sonuçları yardımıyla MKP havzası ve alt havzalarının yıllık sediment miktarları ve sediment verimleri tahmin edilmiş ve Çizelge 3.7'de sunulmuştur. Ayrıca MKP Çayının Döllük mevkiinde bulunan ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü'ne ait sediment gözlem istasyonunun 41 yıllık sediment gözlemlerinden elde edilen sediment miktarı ve sediment verimi ölçüm sonuçları (Anonim 2000b ve 2005) ile havzada tahmin edilen sediment miktarı ve sediment verimi sonuçları da sadece Orhaneli ve Emet çayının toplamından oluşan havza için verilmiştir (Anonim 2000b ve 2005). Çünkü EİE'ye ait Döllük Sediment Gözlem İstasyonu Orhaneli ve Emet Çayı Havzaları'nın toplamından oluşan havzanın sediment ve akım gözlemlerini yapacak bir biçimde konumlandırılmıştır.

Çizelge 3.7'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi Döllük sediment gözlem istasyonunda Emet ve Orhaneli Çaylarına ait havzanın ölçülen sediment miktarı 1.082.010 ton yıl<sup>-1</sup> iken söz konusu havza için Vanoni (1975), Boyce (1975) ve Anonim (1975b) fonksiyonlarına göre sediment miktarı sırasıyla 1.640.942,7 ton yıl<sup>-1</sup>, 86.338,0

ton yıl<sup>-1</sup> ve 2.254.534,8 ton yıl<sup>-1</sup> olarak tahmin edilmiştir. EİE 302 nolu Döllük gözlem istasyon verisi sonucuna göre ölçülen sediment verimi ise 127,59 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> iken Vanoni (1975), Boyce (1975) ve Anonim (1975b) fonksiyonlarına göre sırasıyla 170,1 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, 9,0 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> ve 233,8 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 3.7).

Yukarıda yapılan açıklamalar ve çizelgede verilen sonuçlar değerlendirildiğinde Döllük istasyonunda ölçülen 41 yıllık sediment miktarı ve sediment verim değerlerine en yakın sonucu Vanoni (1975) tarafından 300 havzada yürütülerek geliştirilen Sediment İletim Oranı fonksiyonunun verdiği söylenebilir. Ayrıca, Lim ve ark. (2003) tarafından önerilen ve EEKSTA CBS yazılımında temel alınan ve Vanoni (1975) tarafından geliştirilen fonksiyonun Mustafakemalpaşa Çayı Havzası'nda uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistem teknikleri yardımıyla uygulanan YETKE yönteminden Mustafakemalpaşa havzası için tahmin edilen potansiyel erozyon sonuçlarına uygulanması ile elde edilen sediment miktarı değerinin EİE 302 nolu Döllük gözlem istasyonuna ait verilerle uyumu Mustafakemalpaşa havzası'nın potansiyel erozyon riskinin YETKE/CBS modeli ile doğru ve sağlıklı bir biçimde tahmin edildiğini göstermiştir.

**Çizelge 3.7.** Mustafakemalpaşa Havzası ve Alt Havzalarına Ait Tahmin Edilen ve Ölçülen Sediment Miktarı ve Sediment Verimi Sonuçları.

HAVZA	ALAN (km <sup>2</sup> )	TOPRAK KAYBI YETKE (ton yıl <sup>-1</sup> )	SEDİMENT İLETİM ORANI			TAHMİN EDİLEN SEDİMENT MİKTARI (ton yıl <sup>-1</sup> )			TAHMİN EDİLEN SEDİMENT VERİMİ (ton yıl <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )			EİE AĞI VERİSİ (Anonim 2000b ve 2005) ÖLÇÜLEN	
			Vanoni (1975)	Boyce (1975)	Anonim (1975b)	Vanoni (1975)	Boyce (1975)	Anonim (1975b)	Vanoni (1975)	Boyce (1975)	Anonim (1975b)	SEDİMENT MİKTARI (ton yıl <sup>-1</sup> )	SEDİMENT VERİMİ (ton yıl <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
<b>Mkp alt</b>	457,56	361109,53	0,22	0,02	0,29	79321,9	6424,5	104111,6	173,4	14,0	227,5	-	-
<b>Emet</b>	4956,74	5656609,72	0,16	0,01	0,22	922500,5	52255,1	1254856,5	186,1	10,5	253,2	-	-
<b>Orhaneli</b>	4687,48	5278342,5	0,16	0,01	0,22	866842,2	49571,3	1178158,3	184,9	10,6	251,3	-	-
<b>Emet ve Orhaneli</b>	9644,21	10934952,22	0,15	0,01	0,21	1640942,7	86338,0	2254534,8	170,1	9,0	233,8	1082010	127,59
<b>MKP HAVZASI TOPLAM</b>	10101,77	11296061,75	0,15	0,01	0,21	1685338,9	88501,6	2317142,4	166,8	8,8	229,4	-	-

## SONUÇ

Mustafakemalpaşa Havzasında erozyon ve buna bağlı olarak açığa çıkan sediment yükünün miktarının ve konumsal dağılımının belirlenmesi amacıyla, en çok kullanılan ve uygulanan model olan YETKE (Yenileştirilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği) kullanılmıştır.

Bu modelin gerektirdiği tüm parametreler Uzaktan Algılama ve CBS teknikleri uygulanarak elde edilmiş, CBS ortamında havzaya ait veri tabanları oluşturulmuş ve yapılan hesaplama ve sınıflandırma işlemleri sonucunda, havzada su erozyonu ile oluşan sediment yükünün konumsal ve alansal dağılımının belirlenmesi mümkün olmuştur.

Mustafakemalpaşa Havzası'nda YETKE modeli ile hesaplanarak oluşturulan potansiyel erozyon haritası ve istatistiksel sonuçları değerlendirildiğinde havzada potansiyel yıllık toprak kaybı minimum  $2 \times 10^{-6}$  (piksel değeri) maximum 1508,09 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> (piksel değeri) değerleri arasında değişmektedir. Havzanın en yüksek toprak kaybı değeri olan 1508,09 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> (piksel değeri) Orhaneli alt havzasından gelmektedir. Emet alt havzasında potansiyel yıllık toprak kaybı  $4 \times 10^{-6}$ -1374,16 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> (piksel değeri) ve Mkp alt havzasında ise  $6 \times 10^{-6}$ -513,99 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> (piksel değeri) arasında değişmektedir. Hesaplanan bu değerler havzanın toplam sediment yükünü oluşturmamaktadır. YETKE modeli yerinde erozyona uğrayan toprak kaybını hesaplamaktadır. Ancak aşınan bu malzemenin ne kadarının ve nasıl taşındığına ve nerelerde depolandığına yönelik bir tahminde bulunmamaktadır.

Yürütülen araştırma sonunda elde edilen verilere göre Mustafakemal Paşa Çayı havzasında toplam potansiyel toprak kaybı 11.296.061,75 ton yıl<sup>-1</sup> ve ortalama potansiyel toprak kaybı ise 11,18 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>'dir. Alt havzalar bazında ise toplam potansiyel toprak kayıpları Emet havzasında 5.656.609,72 ton yıl<sup>-1</sup>, Orhaneli havzasında 5.278.342,50 ton yıl<sup>-1</sup> ve Mkp alt havzasında ise 361.109,53 ton yıl<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Alt havzaların ortalama potansiyel toprak kayıpları ise en yüksek Emet



alt havzasında 11,41 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>, en düşük ise Mkp alt havzasında 7,89 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Orhaneli alt havzasının ortalama toprak kaybı ise Emet alt havzasına yakın değerlerde 11,26 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

YETKE-A potansiyel toprak kaybı değerlerinin (ton ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup>) erozyon riski sınıflarına göre sınıflandırılması sonuçları Mustafakemalpaşa Havzası'nın % 49,93'ünde (5044,10 km<sup>2</sup>) potansiyel toprak erozyon riskinin bulunmadığını göstermiştir. Yani erozyon risk sınıfı tolere edilebilir sınır olan 0-3 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>'a eşit veya daha küçük değerler almaktadır. Ayrıca havzanın % 24,18'ni (2443,09 km<sup>2</sup>) kapsayan kısmı ise erozyon riski hafif ve orta şiddete sahip arazilerden oluşmaktadır. Havzanın % 25,89'unda (2614,60 km<sup>2</sup>) ise erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli olarak saptanmıştır. Söz konusu alanlarda potansiyel toprak erozyonu tolere edilebilir sınır olan 10 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>'dan daha yüksektir.

Alt havzalardaki dağılım ise MKP havzasına benzer bir dağılım göstermektedir. Sadece düz ve düze yakın alüvyal alanların geniş yayılım gösterdiği arazilerden oluşan Mkp alt havzasında erozyon riski dağılımı diğer havzalardan farklı olarak çok hafif (% 63,65) ve hafif olan araziler Mkp alt havzasının % 71,27'sini oluşturmaktadırlar.

Özellikle Emet çayının kaynağına yakın yörelerde sarp arazilerde tarımsal üretim yapılan neojen anamateryalleri üzerinde oluşmuş orta ve dik eğimli arazilerden erozyon yüksek değerlerde gerçekleşmektedir. Orhaneli alt havzasında ise erozyon en yoğun olarak Orhaneli ile Büyükorhan arasında kalan yükseltilerde gerçekleşmektedir. Mkp alt havzasında dağlık ve yamaç arazilerin azlığı, doğal bitki örtüsünün diğer alt havzalarda olduğu gibi tahrip edilmemiş olması dolayısıyla, erozyon ile toprak kaybı diğer havzalara oranla daha az çıkmıştır.

Erozyon riski tolere edilebilir sınırların üzerinde yani erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli alanlara (2614,60 km<sup>2</sup> ile havzanın % 25,89'u) sahip Mustafakemalpaşa Çayı havzasında orman arazilerinin azalması, işlenen tarım arazilerinin artışı ve artmaya devam etmesi ve çayır mer'a alanlarının aşırı otlatma ile bozulmalarına karşın potansiyel erozyon miktarının 11.296.061,75 ton yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmesinin en önemli nedeni MFİ sınıflarına göre değerlendirildiğinde, havzada meydana gelen yağışların erozyon

oluşturma güçlerinin çok düşük ve düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, insanların yukarıda açıklanan toprak erozyonunu hızlandırıcı olumsuz etkilerine karşın Mustafakemalpaşa Çayı havzasının olumlu ve önemli bir özelliği olduğu söylenebilir.

Mustafakemalpaşa Çayı havzasında su erozyonunu önleme çalışmaları kapsamında yapılacak çalışmalar arazi kullanımı, toprak işleme yöntemleri ve teraslandırma esasına dayanmalıdır. Şekil 3.10'de verilen C faktörü incelendiğinde aşınmanın fazla olduğu yerlerin C faktörünün büyük olduğu çıplak arazi, zayıf bitki örtüsü ve kuru tarım alanları ile kaplı olan bölgeler olduğu görülmektedir. Bu nedenle erozyon kontrolü ile ilgili çalışmaların bu alanlarda C ve P faktörlerini azaltıcı arazi kontrolü ve toprak işlenmesi ıslahına yönelik faaliyetlerden oluşması gerekmektedir.

CBS ortamına alınan sayısal toprak haritalarının arazi kullanım türlerine göre yeniden sınıflandırılması ile oluşturulan arazi kullanım haritası (Şekil 2.7) ve arazi kullanım/örtü bilgilerini kapsayan havza ile ilgili diğer raporlar (Anonim 1993, 1995, 1999, 2000a ve 2003) ile Çizelge 3.5'de verilen güncel (2001 yılı) arazi kullanım/örtü verileri karşılaştırıldığında havzadaki orman örtüsünün alansal dağılımının azaldığı ve bu alanların tarla ve bağ-bahçeye dönüştüğü veya kontrolsüz yoğun kesimlerin yapılması sonucu bu ormanların fundalık vasfına düştüğü anlaşılmaktadır. Söz konusu arazi kullanım/örtü türlerinin alansal dağılımlarının güncel haritada artması bunu desteklemektedir. Bu durum söz konusu arazi kullanım/örtü sınıflarının yer aldığı alanlarda erozyonu arttırıcı bir etkiye yol açmaktadır. Bölgede önemli büyüklükte bir yerleşim alanı bulunmamaktadır. Ancak özellikle ormanlık alanlara yakın yerleşim yerlerinde ormanların önce bağ-bahçe tarımına açılması ve bir müddet sonrada yerleşime dönüşmesi sıklıkla rastlanmaktadır.

Özellikle toprak kaybının şiddetli ve çok şiddetli olarak belirlendiği Orhaneli ve Emet alt havzalarının tarım yapılan yüksek kesimlerinde eğime dik sürüm veya sekileme gibi toprak koruma önlemleri alınmalıdır. Havzada yer alan ormanlık alanların daha fazla tahrip edilmesi önlenmeli ve ormanların kalitelerinin arttırılması sağlanmalıdır. Çayır ve mer'a alanlarında büyük bir sorun oluşturan yoğun otlatma ve tarımsal faaliyetlere açılması önlenmeli ve bu alanların ot verimlerinin arttırılması için

gereken önlem ve uygulamalar başlatılmalıdır. Havzada yer alan kömür, bor ve mermer gibi madencilik aktivitelerinden çıkan malzemelerin gelişi güzel nehir ve çaylara boşaltılması önlenmeli ve bu malzemelerin depolanacağı alternatif alanlar oluşturulmalıdır.

Mustafakemalpaşa Çayı Havzasında yer alan taş ve kum ocakları ile maden ve termik santral işletmelerinin varlığı ve bu tesislerin aşınma derecesinin yüksek olduğu bölgelerde yoğunlaşması havzanın toprak erozyonunun önlenmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardandır. Bu alanlar, aynı zamanda Şekil 3.12’de verilmiş olan erozyon derecesi haritasından da görülebileceği gibi, yüksek erozyonun gerçekleştiği alanları oluşturmaktadır. Bu durum tesislerin ve maden yataklarının işletimi sırasında açığa çıkan malzemenin aşınmasının daha kolay ve hızlı olacağı, ayrıca bu bölgelerden kaynaklanan sediment yükünün artmasına neden olacağı bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle özellikle kömür, bor ve diğer madenlerde yürütülen açık işletmecilik ile çıkan kazı ve proses malzemelerinin yığıldıkları yerlerde aşınmasını önleyecek tedbirlerin alınması bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

Havzanın jeomorfolojik özellikleri incelendiğinde aşınma daha çok, havzanın temelini oluşturan Neojen öncesi birimlerde gözlenmektedir. Aşınma sonucu kazanılan morfolojiyi, litolojik birimlerin erozyona karşı dirençleri önemli oranda belirlediğinden dağlık ve tepelik alanlar sıklıkla derin ve sarp vadilerle kesilmiştir. Havzada önemli alanlar kaplayan Paleozoyik ve Senozoyik yaşlı magmatik-metamorfik kayalar, aşınmaya karşı en dirençli birimleri oluşturmaktadırlar. Kapladıkları alan açısından ikinci derecede önemli olan Neojen dönemine ait çökeller ise havzada aşınmaya karşı direnci en düşük litoloji birimlerini temsil etmekte ve havzanın % 31,47’sini yani 3179,72 km<sup>2</sup>’sini oluşturmaktadırlar. Havzada sınırlı alanda yayılım gösteren Mesozoyik yaşlı birimler, genellikle karbonatlı kayalarla temsil edilmektedir. Karbonatlı kayaların aşınmaya karşı dirençleri orta düzeydedir.

Çalışma sırasında karşılaşılan temel sorunlar verilerin elde edilmesi, farklı ölçek ve projeksiyon sistemindeki verilerin CBS ortamına alınarak veri tabanlarının oluşturulması ve bu verilerin bütünleştirilmesinde karşılaşılan sorunlardan

oluşmaktadır. Özellikle resmi kuruluşlardan alınması gereken verilerin zamanında ve istenen kapsamıyla elde edilememesi temel verilerin üretilmesinde ve analizinde ciddi zaman kayıplarına neden olmuştur. Ayrıca MKP havzasının çok geniş olması nedeniyle sayısal yükseklik verilerinin kalitesi uygun olmasına rağmen YETKE-LS faktörünün hesaplanmasında kullanılan yazılımın çok yavaş çalışması ve 4. günün sonunda işlemin sonuçlandırılmayarak sonlandırılmak zorunda kalınması nedeniyle daha doğru ve sağlıklı LS faktör hesaplanmasını sağlayacak 10x10 m grid büyüklüğü kullanılamamıştır. 20x20 m grid boyutunda ise LS faktörün hesaplanması 48 saat sonunda; 30x30 m grid boyutunda ise 30 dakikada tamamlanabilmiştir. Bu nedenle CBS ortamında çalışmanın amacına ve ulaşılmak istenen doğruluk ve verilerin kalitesine uygun grid boyutunun seçilmesi yürütülecek işlemler sırasında gereksiz zaman kaybını önleyecektir.

YETKE modeli sadece erozyon miktarını ortaya koymaktadır, havzanın sediment verimini belirleyememektedir. Bunun için SİO (sediment iletim oranı) fonksiyonları kullanılarak tahmin edilen sonuçlar Mustafakemalpaşa Çayı üzerinde kurulu bulunan Döllük Sediment Gözlem İstasyonu'nun 41 yıllık sediment taşınım miktarı ölçüm raporlarıyla karşılaştırılmıştır. Sediment iletim oranı ve YETKE toprak kaybının bir fonksiyonu olarak tahmin edilen sediment miktarı ve verimi sırasıyla, 1.640.942,7 ton yıl<sup>-1</sup>, 170,1 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> iken Döllük sediment gözlem istasyonunda sırasıyla 1.082.010 ton yıl<sup>-1</sup>, 127,59 ton yıl<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> olarak ölçülmüşlerdir. Sonuçlar Mustafakemalpaşa Havzası'nda, CBS ile bütünleştirilmiş YETKE modeli ile potansiyel erozyon riskinin etkin, doğru ve kolay bir biçimde tahmin edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, çalışılan havzaya ait plüviyograf okumaları (R) ve ölçülmüş bitki örtüsü ve yönetimi değerleri (C) gibi daha doğru ölçülmüş veriler elde edilebildiği takdirde, CBS erozyon modellemesinde başta işçilik olmak üzere, ekonomik ve zaman tasarrufu sağlayan mükemmel bir araçtır.

**KAYNAKLAR**

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

AKSOY, E. ve G. ÖZSOY. 2002. Investigation of Multi-Temporal Land Use/Cover and Shoreline Changes of the Uluabat Lake Ramsar Site Using RS and GIS. International Conference on Sustainable Land Use and Management, 10-13 June 2002, Çanakkale, Turkey. Proceedings Book p. 318-325.

ANONİM. 1962. Soil Survey Manual. Soil Survey Staff, USDA Handbook No:18, Washington D.C., USA. 503 p.

ANONİM. 1975a. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA, A Soil Cons. Serv. Agr. Handbook No:436, Washington D.C., USA. 754 p.

ANONİM 1975b. Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. National Engineering Handbook, Section 3, Sedimentation. USDA, Soil Conservation Service, Washington D.C. p. 8(1-18).

ANONİM. 1992. CORINE: Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community. Brussels, Commission of the European Community EUR 13233 EN, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Community, 97 p.

ANONİM. 1993. Kütahya İli Arazi Varlığı. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara. 103 s.

ANONİM. 1995. Bursa İli Arazi Varlığı. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara. 130 s.

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

ANONİM. 1999. Balıkesir İli Arazi Varlığı. İl Rapor No:10. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara. 164 s.

ANONİM. 2000a. Susurluk Nehri Havzasında Su Kalitesi Yönetimi. DSI Gen. Müd. (yayınlanmamış), Ankara. 23 s.

ANONİM 2000b. Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları. Bölüm 3-Susurluk Havzası. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), Ankara. Yayın: 20-17, s. 24-59 (617 s.)

ANONİM. 2002. Sulak Alanların Yönetimi Projesi Uluabat Gölü Mustafakemalpaşa Çayı Sistemi Sediment Birikimi Araştırması Alt Projesi Sonuç Raporu. T.C. Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü Hassas Ekosistemler ve Korunan Alanlar Dairesi Başkanlığı, Ankara.

ANONİM. 2003. Türkiye Toprak Su Kaynakları ve Çölleşme. T.C.Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, APK Daire Başkanlığı, Ankara. 292 s.

ANONİM 2005. Susurluk Havzası Mustafakemalpaşa Çayı Döllük İstasyonu (302 No'lu İstasyon) Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), (yayınlanmamış), Ankara. 13 s.

ANONİM. 2006. Bursa, Mustafakemalpaşa, Keles, Büyükorhan, Harmancık, Balıkesir, Dursunbey, Domaniç, Kütahya, Emet, Gediz, Simav, Devecikonağı, Tavşanlı Meteoroloji İstasyonları Çok Yıllık ve Aylık Yağış ve Sıcaklık Verileri Raporları. DMI genel Müd. (yayınlanmamış). 32s.

APAYDIN, H., G. ERPUL, İ. BAYRAMİN, D. GABRIELS. 2006. Evaluation of Indices for Characterizing the Distribution and Concentration of Precipitation: A Case for the Region of Southeastern Anatolia Project, Turkey. *Jornal of Hydrology*, 328:726-732.

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.

ARNOLDUS, H.M.J. 1980. An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In: M. De Boodt and D. Gabriels (Editors), *Assessment of Erosion*. J.Wiley and Sons, Chichester, England. p. 127-132.

ARONOFF, S. 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, Kanada. 294 p.

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.

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

BAYRAMİN, İ., G. ERPUL, E.H. ERDOĞAN. 2006b. Use of CORINE Methodology to Assess Soil Erosion Risk in the Semi-Arid Area of Beypazarı–Ankara, Turkey. *Tr. J. of Agricultural and Forestry*, 30:81–100.

- BLACK, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Mineralogical Properties*. American Society of Agronom Inc., Publisher No: 9 Madison, Wisconsin, USA. 770 p.
- BOGGS, G., C. DEVONPORT, K. EVANS, P. PUIG. 2001. GIS-Based Rapid Assessment of Erosion Risk in a Small Catchment in the Wet/Dry Tropics of Australia. *Land Degradation and Development*, 12:417-434.
- BOUYOUCOUS, G.J. 1952. A Recalibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agron. J.*, 43:434-438.
- BOYCE, R.C. 1975. Sediment Routing with Sediment Delivery Ratios. In: *Present and Prospective Technology and Predicting Sediment Yields and Sources*. USDA agric. Res. Serv. Publ. S-40, Washington, D.C. p. 61-65.(285 p.)
- BUCKS, D. A., T.W. SAMMIS ve G. L. DICKEY. 1990. Irrigation for Arid Areas. In: G. J. Hoffman (Editor), *Management of Farm Irrigation Systems*, ASAE Monograph, St. Joseph, Michigan. s. 499-548.
- BUITEN, H.J. and J.G.P.W. CLEVERS. 1993. *Land Observation by Remote Sensing: Theory and Applications*. Gordon and Breach Sci. Pub., The Netherlands, 642 p.
- 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.
- BURROUGH, P.A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford. 194 s.
- CAMBAZOĞLU, M.K. and M. GÖĞÜŞ. 2004. Sediment Yields of Basins in the Western Black Sea Region of Turkey. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 28:355-367.
- CANPOLAT, O. 1981. Türkiye Topraklarının Tarımsal Kullanıma Uygunluk Bakımından İncelenmesi. DSİ Toprak ve Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri, Cilt 1, Ankara. s. 326-336.
- CHAKRABORTY, D., D. DUTTA, H. CHANDRASEKHARAN. 2005. Spatial Modelling for Hydrological Response Behaviour of an Arid Watershed, India-Remote Sensing and GIS Approach. *Journal of Spatial Hydrology*, 5(1):47-66.
- CHISCI, G. and R.P.C. MORGAN. 1988. Modelling Soil Erosion by Water: Why and How? In: T. Dino (Editor), *Agriculture Erosion Assessment and Modelling*. EU. p. 123-145.
- CHORLEY, R. 1988. Some Reflections on Handling of Geographic Information. *International Journal of Geographical Information Systems* 2(1988):3-9.

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.

COWEN, D.J. 1987. GIS vs. CAD vs. DBMS: What are the Differences? In: *Proceedings of the GIS'87 Symposium*. American Congress on Surveying and Mapping and American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia, Vol.1:46-56.

CYR, L., F. BONN, A. PESANT 1995. Vegetation Indices Derived From Remote Sensing for an Estimation of Soil Protection Against Soil Erosion. *Ecological Modelling*, 79:277-285.

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.

ÇANGA, M.R. 1995. Toprak ve Su Koruma. Ders Kitabı, A.Ü.Zir.Fak.Yay.No:1386, s. 43-64.

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.

ÇULLU, M.A., U. DİNÇ, S. ŞENOL, N. ÖZTÜRK. 1995. Türkiye Uydu Verileri Yardımıyla GAP Bölgesi Topraklarının Haritalanması. Türkiye II. ARC/INFO ve ERDAS Kullanıcıları Grubu Toplantısı. Bildiriler. ODTÜ-İşlem Müh. Ltd. Şti, Ankara. s. 125-133.

De JONG, S.M. 1994. Derivation of Vegetative Variables from Landsat TM for Modelling Soil Erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19:165-178.

De JONG, S.M., L.C. BROUWER, H. RIEZEBOS. 1998. The Erosion Hazard Assessment in the Peyne Catchment, France. Working Paper DeMon-2 Project Dept. Physical Geography, Utrecht University, The Netherlands. 27 p.

De JONG, S.M. 2006. Derivation of Vegetative Variables from a Landsat TM Image for Modelling Soil Erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19(2):165-178.

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



De ROO, A.P.J., L. HAZELHOFF, P.A. BURROUGH. 1989. Soil Erosion Modelling Using ANSWERS and Geographical Information Systems. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 14:517-532.

De ROO, A.P.J. 1993. Modelling Surface Runoff and Soil Erosion in Catchments Using Geographical Information Systems: Validity and Applicability of the 'ANSWERS' Model in Two Catchments in the Loess Area of South Limburg (The Netherlands) and one in Devon (UK). *Netherlands Geog. Stud.* 157. 295 p.

De ROO, A.P.J., C.G. WESSELING, N.H.D.T. CREMERS, ve R.J.E. OFFERMANS. 1994. LISEM: A Physicallybased Hydrological and Soil Erosion Model Incorporated in a GIS. *EGIS Foundation*, 52 p.

De ROO, A.P.J., C.G. WESSELING, C. J. RITSEMA. 1996a. LISEM: A Single-event Physically Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. I: Theory, Input and Output. *Hydrological Processes*, 10:1107-1117.

De ROO, A.P.J., R.J.E. OFFERMANS, N.H.D.T. CREMERS. 1996b. LISEM: A Single-event, Physically Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. II: Sensitivity Analysis, Validation and Application. *Hydrological Processes*, 10:1119-1126.

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

DEWINE, H. and R. FIELD. 1986. The Gist of GIS. *Journal of Forest*, August 1986: 17-22.

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

DOĞAN, O. ve N. KÜÇÜKÇAKAR. 1994. Erozyon Haritalamasında Bazı Metodolojiler. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yay. Ankara. 32 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. and O. DENLİ. 1999. Precipitation-Aridity-Erosion Indices and Arid Periods in Turkey. General Directorate of Rural Services. Technical Publication No: 60. 209 p.

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.

DOĞAN, O. 2002. Türkiye Yağışlarının Erozyon Oluşturma Gücü ve universal 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.

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.

EEDY, W. 1995. The Use of GIS in Environmental Assessment. Impact Assess., 13:199-206.

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.

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

ENDALE, M. 2003. Cropland Soil Erosion Prediction Using WEPP Model: A Case Study on Hillslope in Lom Kao District, Thailand. MSc. Thesis in Geo-information Science and Earth Observation. Int. Inst. For Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands. 101 p.

EVANS, J.E. and D.E. SEAMON. 1997. A GIS Model to Calculate Sediment Yields from a Small Rural Watershed, Old Woman Creek, Erie and Huron Counties, Ohio. Ohio J. Sci., 97(3):44-52.

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.

FERRO, V., P. PORTO, B. YU. 1999. A Comparative Study of Rainfall Erosivity Estimation for Southern Italy and Southeastern Australia. Hydrological Sciences Journal, 44(1):3-24.

FORSYTH, T.J. 1994. The Use of Cesium-137 Measurements of Soil Erosion and Farmers Perceptions to Indicate Land Degradation Amongst Shifting Cultivators in Northern Thailand. Mountain Research and Development, 14(3):229-244.

FOSTER, G.R., L.D. MEYER, C.A. Onstad. 1977. An Erosion Equation Derived from Basic Erosion Principles. Transactions American Society of Agricultural Engineers, 20: 678-682.

FOSTER, G.R. 1982. Modeling the Erosional Process, *In* Haan, ed. Hydrological Modeling of Small Watersheds, 5 ed. ASAE Monograph. s. 297-380.

FOSTER, G.R., K.G. RENARD, D.C. YODER, D.K. McCOOL, G.A. WEESIES. 1996. RUSLE User's Guide. Soil and Water Cons. Soc. 69 p.

FOSTER, G.R., T.E. TOY, K.G. RENARD. 2003. Comparison of the USLE, RUSLE1.06c, and RUSLE2 for Application to Highly Disturbed Lands. First Interagency Conference on Research in the Watersheds, October 27-30, 2003, Benson, Arizona, Conference Proceedings, p.154-160.

FU, B.J., W.W. ZHAO, L.D. CHEN, Q.J. ZHANG, Y.H. LU, H. GULINCK, J. POESEN. 2005. Assessment of Soil Erosion at Large Watershed Scale Using RUSLE and GIS: A Case Study in the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, 16:73-85.

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 İstatistik Derneği, Türk matematik Derneği ve T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 22-24 Kasım 1993, Ankara. s. 134-149.

GUMBRICHT, T., H. LINDHOLM, A. AKRE, R. SZCZEPAREK, M. HESSLING, J. McCARTHY. 1997. GIS Integrated Modelling of a Himalayan Landscape. *Int. Journal of Water resources Development*, 13(1):67-78.

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. 82 s.

HARMSEN, K. 1996. Assessment of Current Erosion Damage Land Druck, Liebfeld. 111 p.

HICKEY, R., A. SMITH, P. JANKOWSKI. 1994. Slope Length Calculations from a DEM within ArcInfo GRID. *Computing, Environment and Urban Systems*, 18(5):365-380.

HUDSON, N. 1995. Soil Conservation. B T Batsford, London, 233 p.

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

JAGER, S. 1994. Modelling Regional Soil Erosion Susceptibility Using the Universal Soil Loss Equation and GIS. In: Rickson, R. J. (Editor). *Conserving Soil Resources, European Perspectives*, p. 161-177.

- JAROSLAV, M.H., R.S. MARCEL, J.B. GREŠÁKA, S.B. GEOGRAFICKÝ. 1996. Modelling Spatial and Temporal Changes of Soil Water Erosion. *Geografický Casopis*, 48:255-269.
- 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.
- KAI, S.K., K.M. SAMANN, T. HILGER, D. LEIHNER. 2002. Erosion Control and Prediction in Cassava Based Cropping Systems in the Southern Andean Region of Colombia. In Proc. of 12th ISCO Conference, Beijing, China. p. 189-195.
- KENETH, G., G. FOSTER, A. GLENN, P. JEFFERY. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1):123-137.
- KINNELL, P.I.A., L.M. RISSE. 1998. USLE-M: Empirical Modelling Rainfall Erosion Through Runoff and Sediment Concentration. *Soil Science Society of America Journal*, 62:1667-1672.
- KINNELL, P.I.A. 2001. Slope Length Factor for Applying the USLE-M to Erosion in Grid Cells. *Soil Tillage Research*, 58:11-17.
- KINNELL, P.I.A. 2005. Alternative Approaches for Determining the USLE-M Slope Length Factor for Grid Cells. *Soil Science Society of America Journal*, 69:674-680.
- KLIK, A. and C.C. TRUMAN. 2003. What is a Typical Rainstorm? In: D. Gabriels, W. Cornelis (Editors.), Proc. Int. Symposium, 25 Years of Assessment of Erosion, Ghent, Belgium. p. 93-98.
- LAFLEN, J.M., L.J. LANE, G.R. FOSTER. 1991. WEPP: A New Generation of Erosion Prediction Technology. *J. Soil Water Conserv.*, 46(1):34-38.
- LEWIS, L.A., G. VERSTRAETEN, H. ZHU. 2005. RUSLE Applied in a GIS Framework: Calculating the LS Factor and Deriving Homogeneous Patches for Estimating Soil Loss. *Int. Journal of Geographic Information Science*, 19(7):809-829.
- LIM, K.J., J. CHOI, K. KIM, M. SAGONG, B.A. ENGEL. 2003. Development of Sediment Assessment Tool for Affective Erosion Control (SATEEC) in Small Scale Watershed. *Transactions of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 45(5):85-96.
- LIM, K.J., M. SAGONG, B.A. ENGEL, Z. TANG, J. CHOI, K.S. KIM. 2005. GIS Based Sediment Assessment Tool. *Catena*, 64(1):61-80.
- LU, H., J. GALLANT, I.P. PROSSER, C. MORAN, G. PRIESTLEY. 2001. Prediction of Sheet and Rill Erosion Over the Australian Continent, Incorporating Monthly Soil Loss Distribution. CSIRO Land and Water Technical Report 13101, National Land and Water Resource Audit, Canberra, Australia. 31 p.

LU, H. and B. YU. 2002. Spatial and Seasonal Distribution of Rainfall Erosivity in Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 40(6):887-901.

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

MARTIN, A., J. GUNTER, J. REGENS. 2003. Estimating Erosion in a Riverine Watershed, Bayou Liberty–Tchefuncta River in Louisiana. *Environmental Science and Pollution Research*, 4:245-250.

McCOOL, D.K., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES. 1997. Slope Length and Steepness Factors (LS). In: K.G. Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, D.C. Yoder (Coordinators), *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 703. p.101-141, chapter 4. (404p.)

MEIJERINK, A.M.J. and A.M.V. LIESHOUT. 1996. Comparison of Approaches for Erosion Modelling Using Flow Accumulation with GIS. *Hydro GIS*, 235:437-444.

MILLWARD, A.A. and J.E. MERSEY. 1999. Adapting the RUSLE to Model Soil Erosion Potential in a Mountainous Tropical Watershed. *Catena*, 38:109-129.

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 p.

MOHAMED, M.H., S.P. AGGARWAL, P.S. RANJITH. 2002. Application of Remote Sensing and GIS on Soil Erosion Assessment at Bata River Basin, India. Available by GIS Development. 45 p.

MOORE, I.D. and G.J. BURCH. 1986. Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects. *Amer. Soci. of Agri. Eng.*, 000-2351:1624-1640.

MORGAN, R.P.C., D.D.V. MORGAN, H.J. FINNEY. 1984. A Predictive Model for the Assessment of Soil Erosion Risk. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 30:245–253.

MORGAN, R.P. 1995. *Soil Erosion and Conservation*, Second Edit. Longman Group, Cranfield. 412 p.

MORGAN, R.P.C. 2001. A Simple Approach to Soil Loss Prediction: A Revised Morgan-Morgan Finney Model. *Catena*, 44:305-322.

NAJMODDINI, N. 2003. Assessment of Erosion and Sediment Yield Processes Using Remote Sensing and GIS: A Case Study in Rose Chai Sub-Catchment of Orumieh Basin, W. Azarbaijan, Iran. MSc. Thesis in Watershed and Environmental Management.

International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Int. Inst. Aerospace Surv. Earth Sci. (ITC), Enschede, The Netherlands. 55 p.

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

NEARING, M.A., G.R. FOSTER, L.J. LANE, S.C. FINKNER. 1989. A Process-based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. Transactions of the ASAE, 32:1587–1593.

NEARING, M.A., L.J. LANE, V.L. LOPES. 1994. Modelling Soil Erosion, In: R. Lal (Editor), Soil Erosion Research Methods, Second edit. St. Lucie Press, Ankeny. 340 p.

NORTON, L.D., C.C. FILHO, T.A. COCHRANE, J.H. CAVIGLIONE, H.M. FONTES Jr., L.P. JOHANSON, L.D. MAREDA. 2001. Monitoring the Sediment Loading of Itaipu Lake and Modelling of Sheet and Rill Erosion Hazards in the Watershed of Parana River: An Outline of the Project. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar, G.C. Steinhardt (Editors), Sustaining the Global Farm. Selected Papers from the 10<sup>th</sup> Int. Soil Conservation Org. Meet. May 1999 at Purdue Univ. and the USDA-ARS National Soil Erosion Res. Lab. p.321-323.

OLDEMAN, L.R. 1991. Global Extent of Soil Degradation. Bi-annual Report. Int. Soil Reference and Information Center, Wageningen, The Netherlands. p.19-36.

ONYANDO, J.O., P. KISOYAN, M.C. CHEMELIL. 2005. Estimation of Potential Soil Erosion for River Perkerra Catchment in Kenya. Water Resources Management, 19(2):133-143.

OUYANG, D. and J. BARTHOLIC. 2001. Web-Based GIS Application for Soil Erosion Prediction. ASAE, p. 260-263

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

ÖZTÜRK, N. 1995. Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve Sayısal Uydu Verilerinin Detaylı Toprak Etüdlerinde Kullanma Olanakları. (Doktora Tezi) Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı, Adana. 106 s.

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

PAHARI, K., J.P. DELSOL, S. MURAI. 1996. Remote Sensing and GIS for Sustainable Watershed Management: A Study from Nepal. 4<sup>th</sup> International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Karlstad-Kiruna-Troms, August 19-29. Proceedings book p. 195-202.

- 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. 125 p.
- PETTER, P. 1992. GIS and Remote Sensing for Soil Erosion Studies in Semi-arid Environments. PhD, University of Lund, Lund. 112 p.
- RENARD, K. G. ve G. R. FOSTER. 1983. Soil Conservation: Principles of Erosion by Water. In H.E. Dregne and W.O. Willis, eds., Dryland Agriculture, Agronomy Monogr. 23, Am. Soc. Argon., Crop Sci. Soc. Am. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. p. 155-176.
- RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, J.P. PORTER. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. J. Soil and Water Conser., 46(1):30-33.
- RENARD, K.G., J.M. LAFLEN, G.R. FOSTER, D.K. McCOOL. 1994. The Revised Universal Soil Loss Equation, In: R. Lal (Editor), Soil Erosion Research Methods, Second edit. St. Lucie Press, Ankeny, 340 p.
- RENARD, K.G. and J.R. FREIMUND. 1994. Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R-factor in the Revised USLE. Journal of Hydrology, 157:287-306.
- RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. McCOOL, D.C. YODER, Coordinators. 1997, Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 703. 404 p.
- RENSCHLER, C. 1996. Soil Erosion Risk Mapping by Means of Geographical Information Systems (GIS) and Hydrologic Modelling. MSc Thesis, Technical University of Braunschweig, Braunschweig. 95 p.
- ROOSE, E. 1977. Erosion and Runoff in West Africa from 20 Years of Records for Small Experimental Plots. Works and Documents of OSTROM, No:78, Paris.
- ROYALL, D. 2007. A Comparison of Mimeral-Magnetic and Distributed RUSLE Modelling in the Assessment of Soil Loss on a Southeastern U.S. Cropland. Catena, 69:170-180.
- SARI, M. 1997. Türkiye'deki Hatalı ve Yanlış Arazi Kullanımının Boyutları ve Erozyonla Olan İlişkileri. TEMA Vakfı Eğitim Kursları. 25 s.
- SHI, Z.H., C.F. CAI, S.W. DING, T.W. WANG, T.L. CHOW. 2004. Soil Conservation Planning at the Small Watershed Level Using RUSLE with GIS: A Case Study in the Three Gorge Area of China. Catena, 55:33-48.

SHIGEO, O., S.G.S.M. NOBUYUKI, U. SATOSHI, M. NASIR, S. MUHAMMAD. 1998. Estimation of Soil Erosion Using USLE and Landsat TM in Pakistan. National Institute of Agro-environment Sciences. 53 p.

SHRESTHA, D.P. 1997. Assessment of Soil Erosion in the Nepalese Himalaya: A Case Study in Likhu Khola Valley, Middle Mountain Region. *Land Husbandry*, 2:59-80.

SHRESTHA, D.P. 2000. Aspects of Erosion and Sedimentation in the Nepalese Himalaya: Highland-Lowland Relations. PhD Thesis, Ghent Univ., Ghent. 145 p.

SOHAN, W. and S. LAL. 2001. Extraction of Parameters and Modelling Soil Erosion Using GIS in a Grid Environment, Center for Remote Imaging, Sensing and Processing. 42 p.

SRIKHAJON, M., A. SOMRANG, P. PRAMOJANEE, S. PRADUBVITH, C. ANECKSAMPHANT. 1994. Application of the Universal Soil Loss Equation for Thailand. Fifth Asean Conference, Bangkok, Thailand, 10-23 June 1994. p. 113-144.

STAR, J. and J. ESTES. 1990. Geographic Information Systems: An Introduction. Prentice Hall, New Jersey. 303 p.

STOCKING, M.A. and H.A. ELWELL. 1976. Rainfall Erosivity Over Rhodesia. *Trans. Of the Inst. Of British Geographers, New Series*, 1(2):231-245.

SUKHANOVSKI, Y.P., G. OLLESCH, K.Y. KHAN, R. MEISSNER. 2002. A New Index for Rainfall Erosivity on a Physical Basis. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(1):51-57.

SURI, M., T. CEBECAUER, J. HOFIERKA, E. FULAJTAR. 2002. Erosion Assessment of Slovakia at a Regional Scale Using GIS. *Ecology (Bratislava)*, 21(4):404-422.

TAYSUN, A. 1985. Erozyon Sorunu ve Erozyonun Sınıflandırılması. *Tarım Dünyası Dergisi Sayı 4. Şanlıurfa*. s. 12-21.

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

TAYSUN, A. ve İ. DAĞDEVİREN. 1991. GAP Bölgesi Eğimli Tarım Arazilerinin Labaratuvar Şartlarında Toprak Özellikleri İle Erozyon İlişkileri. *Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No:63, Şanlıurfa*. 65 s.

TOPÇU, S. 1998. Tarım Mühendisliğinde Çevre Sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yay. No:207, Ders Kitap No:A-65, Adana. 269 s.

TROUT, T.J. 2000. The Environmental Impacts of Irrigation. *Irrigation Journal*, Sept/Octb. 2000, s. 8-12.



- Van Der KNIFF, J.M., R.J.A. JONES, L. MONTANARELLA. 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Europe. European Soil Bureau, Joint Research Center of the European Commission. EUR 19044 EN, 34 p.
- Van REMORTEL, R.D., M.E. HAMILTON, R.J. HICKEY. 2001. Estimating the LS Factor for RUSLE Through Iterative Slope Length Processing of Digital Elevation Data Within ArcInfo Grid. *Cartography*, 30(1):27-35.
- Van REMORTEL, R.D., R.W. MAICHLE, R.J. HICKEY. 2004. Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation Through Array-based Slope Processing of Digital Elevation Data Using C++ Executable. *Computers and Geosciences*, 30(9-10):1043– 1053.
- Van VUUREN, W.E. 1982. Prediction of Sediment Yield for Mountainous Basins in Colombia, South America. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield. Proceedings of the Exeter Symposium, July 1982. IAHS Pub.No:137, p. 313-325.
- VANONI, V.A. 1975. Sedimentation Engineering, Manual and Reports on Engineering Practice No. 54. American Society of Civil Engineers, New York, N.Y. 745 p.
- WALKEY, A. 1947. An Examination of Methods for Determining Organic Carbon and Nitrogen in Soils. *Agr. Sci. Eng.*, (25):598-609.
- WANG, G., G. GERTNER, S. FANG, A. B. ANDERSON. 2003. Mapping Multiple Variables for Predicting Soil Loss by Geostatistical Methods with TM Images and a Slope Map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69:889-898.
- WESSELS, K.J., H.M.V.D. BERG, D.J. PRETORIUS. 2001. Spatial Natural Resource Monitoring in Mpumalanga Province of South Africa, In: S. Samran, (Editor), Response to Land Degradation. Science Publishers, Inc, Enfield. s. 237-246
- WISCHMEIER, W.H. 1959. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 23:246-249.
- WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains: Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. U.S. Dep. Agric., *Agric. Handbook No:282*. 47 p.
- WISCHMEIER, W.H. 1975. Estimating the Soil Loss Equations Cover and Management Factor for Undisturbed Lands. In *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*. U.S. Dep. Agric., *Agric. Res. Serv., ARS-S-40*. p. 118-125.
- WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses- A Guide to Conservation, *Agricultural Handbook 537*. Planning, Science and Education Administration. US Dep. of Agriculture, Washington, DC, USA. 58 p.

WOLFGANG, A., M. MICHAEL, M. SANDRO, R. GIULIANO. 2002. Integrating GIS, Remote Sensing, Ground Truthing and Modelling Approaches for Regional Erosion Classification of Semi Arid Catchments in South Africa and Swaziland. John Willey & Sons. 135 p.

YANG, D., S. KANAE, T. OKI, T. KOIKEL, T. MUSIAKE. 2003. Global Potential Soil Erosion with Reference to Land Use and Climate Change. *Hydrological Processes*, 17(14):2913-2928.

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 p.

YU, B. and D.T. NEIL. 2000. Empirical Catchment-wide Rainfall Erosivity Models for Two Rivers in the Humid Tropics of Australia. *Australian Geographer*, 31(1):115-132.

YU, B. and C.J. ROSEWELL. 1996a. An Assessment of a Daily Erosivity Model for New South Wales. *Australian Journal of Soil Research*, 34(1):139-152.

YU, B. and C.J. ROSEWELL. 1996b. Rainfall Erosivity Estimation Using Daily Rainfall Amounts for South Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 34(5):721-733.

YU, B. and C.J. ROSEWELL. 1996c. A Robust Estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 39:559-561.

## **İNTERNET SAYFALARI**

[http://www.tema.org.tr/tr/cevre\\_kutuphanesi/erozyon/turkiyede\\_erozyon.htm](http://www.tema.org.tr/tr/cevre_kutuphanesi/erozyon/turkiyede_erozyon.htm)  
Erişim Tarihi: 08.02.2007. Konu: Türkiye’de Erozyon.

[http://www.tema.org.tr/tr/cevre\\_kutuphanesi/erozyon/dunyada\\_erozyon.htm](http://www.tema.org.tr/tr/cevre_kutuphanesi/erozyon/dunyada_erozyon.htm)  
Erişim Tarihi: 08.02.2007. Konu: Dünya’da Erozyon.

## EKLER

### EK - 1

Çalışmada kullanılan sayısal topoğrafik haritalar ve sayısal yükseklik haritaları pafta isimleri;

- 53 adet 1:50.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar; G21c, G22c, G22d, G23c, G23d, H20a, H20b, H20c, H20d, H21a, H21b, H21c, H21d, H22a, H22b, H22c, H22d, H23a, H23b, H23c, H23d, İ20a, İ20b, İ20c, İ20d, İ21a, İ21b, İ21c, İ21d, İ22a, İ22b, İ22c, İ22d, İ23a, İ23b, İ23c, İ23d J20a, J20b, J20c, J20d, J21a, J21b, J21c, J21d, J22a, J22b, J22c, J22d, J23a, J23b, J23c, J23d paftalar.
- 117 adet 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik haritaları; H20 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; H21 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; H21 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; H22 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; H22 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; H23 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; İ20 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>; İ20 c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>; İ21 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>; İ21 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>; İ21 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; İ21 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; İ22 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>; İ22 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>; İ22 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; İ22 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; İ23 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>; İ23 b<sub>4</sub>; İ23 c<sub>1</sub>, c<sub>4</sub>; İ23 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; J20 b<sub>2</sub>; J21 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>; J21 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>; J21 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; J21 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; J22 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>; J22 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>; J22 b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>; J22 c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>; J22 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>; J23 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>; J23 b<sub>1</sub>, b<sub>4</sub>; J23 c<sub>1</sub>, c<sub>4</sub>; J23 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub> paftalar.

**EK-2****YETKE-K Faktörü Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Toprak Örnekleri'nin Özellikleri.**

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
M_11.Mof	657687.48, 4374403.24	8	5-15 Taşlı- kayalı	Buğday Anızı	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	44,36	34	21,64	CL	40,88	3,48	5,63	4	4	0,020107
N_11.Mof	662311.49, 4373047.10	10	50-85 taşlı	Sürülmüş Tarla	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	kireçsiz	28,36	44	27,64	C	25,64	2,72	4,89	6	4	0,027921
K_4.n	686266.22, 4395229.35	3-4	taşsız	Buğday Anızı	Zayıf küçük granüler	orta kireçli	52,36	28	19,64	SCL	41,9	10,46	3,25	4	2	0,018672
M_23.C	633128.87, 4370202.91	50-60	Çok taşlı yeryer kayalı	Karaçam Seyrek kayın	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	51,28	18,72	30	L	46,48	4,8	5,93	3	4	0,023017
N_15.C	632079.95, 4370699.27	8-10	85+ taşlı	Karaçam	Orta orta granüler	kireçsiz	63,28	17,08	19,64	SL	58,18	5,1	2,55	2	3	0,016589
N_20.Cr	642353.43, 4366429.95	40-45	3-5 taşlı	Karaçam	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	62	12	26	SL	54,42	7,58	6,25	2	2	0,011097
N_19.Cr	642826.31, 4365630.22	5-6	1-3 taşlı	Karaçam	Zayıf küçük yarı köşeli blok	kireçsiz	73,28	8,72	18	SL	55,02	18,26	1,96	2	4	0,033865
N_20.G	670361.32, 4357242.02	40	1-3 taşlı	Meşe ormanı	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	66,72	9,28	24	SL	61,46	5,26	2,18	2	2	0,018454
M_15.G	669699.23, 4349430.80	35-37	50-75 taşlı	Meşe ormanı	Zayıf küçük granüler-köşeli blok	kireçsiz	70	10	20	SL	60,7	9,3	2,15	2	2	0,018357
K_13.G	670305.13, 4348824.99	3-5	1 taşlı	kiraz bahçesi	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	69,08	15,28	15,64	SL	60,96	8,12	1,59	2	4	0,022089
N_15.G	673517.51, 4340797.54	15-20	15-35 taşlı	Karaçam	Orta küçük yarı köşeli blok	kireçsiz	60	16	24	SL	50,2	9,8	3,15	2	4	0,026432
M_11.GpS	657069.59, 4373979.48	12-14	taşsız	Buğday Anızı	Orta orta köşeli blok	orta kireçli	37,28	44,72	18	C	35,12	2,16	1,8	6	4	0,026844
M_29.GpS	694007.56, 4371715.70	45-50	1-3 taş,seyrek kaya	Kızılcım	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	51,64	28,72	19,64	SCL	48,3	3,34	3,29	4	4	0,022983

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
N_20.GpS	713794.15, 4387856.98	25-30	3-15 taş yer yer kaya	Karaçam	Zayıf orta granüler	kireçsiz	39,08	39,28	21,64	CL	34,38	4,7	5,99	4	3	0,015046
N_24.GpS	698152.57, 4390627.44	30-35	10-15 taşlı	Kızılçam	Orta küçük köşeli blok	kireçsiz	45,28	36,72	18	SC	41,62	3,66	6,02	5	4	0,021386
N_20.GpS	680978.37, 4394298.06	25-30	15-35taşlı yer yer kaya	Kızılçam	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	66,72	14	19,28	SL	59,14	7,58	3,9	2	2	0,012016
N_11.Mof	676371.06, 4392511.55	10-12	25-30 taşlı	Mercimek anızi	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	Çok kireçli	51,28	28,72	20	SCL	45,62	5,66	2,15	4	4	0,026125
M_16.Mof	675269.92, 4392621.25	10-12	15-35 taşlı	Sürülmüş Tarla	Orta orta yarı köşeli blok		57,44	23,28	19,28	SCL	52,36	5,08	1,64	4	4	0,027237
N_20.Mof	677499.38, 4393138.39	35-40	taşsız	Kızılçam- karaçam- mera	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	64,36	16	19,64	SL	55,48	8,88	3,11	2	2	0,014222
CE_15.GpS	740894.37, 4392983.14	8-9	3-5 taşlı	Buğday Anızı	Orta orta köşeli blok	kireçli	43,08	35,28	21,64	CL	37,34	5,74	4	4	4	0,023035
R_15.GpS	665313.24, 4380840.52	8-10	15-35 taşlı	Buğday Anızı	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	Çok kireçli	38,72	39,28	22	CL	34,94	3,78	3,19	4	4	0,022544
K_13.GpS	740893.90, 4392641.90	0-2	taşsız	Yonca	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçli	34	40	26	C	26,74	7,26	2,83	6	4	0,033115
K_5.GpS	682749.05, 4394079.99	0-2	taşsız	Buğday Anızı	Orta orta yarı köşeli blok	Çok kireçli	38	32	30	CL	26,6	11,4	1,55	4	4	0,036605
A_4.GpS	688289.11, 4373163.41	0-1	taşsız	Buğday	masif	Çok kireçli	34	22	44	L	16,72	17,28	2,19	3	4	0,051043
E_16.J	626507.66, 4432000.12	4-5	3-5 taşlı ve kayalı	Kızılçam	Kuvvetli iri köşeli blok	Az kireçli	53,28	33,08	13,64	SCL	48,58	4,7	2,83	4	4	0,020286
E_11.J	640891.56, 4436148.37	8-10	4-6	Buğday	Çok kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	38,08	43,28	18,64	C	35,54	2,54	3,82	6	4	0,025783
M_15.J	635580.95, 4434304.69	10-12	taşsız	Meşe ormanı (kesilmiş)	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	46,36	32	21,64	SCL	35,68	10,68	5,73	4	4	0,023055
N_11.J	638461.75, 4433555.25	6-8	taşsız	Buğday Anızı	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	kireçsiz	38,72	37,64	23,64	CL	31,92	6,8	2,96	4	4	0,025518
N_24.J	663077.34, 4435387.91	38-40	50 taşlı yeryer kaya	Meşe ormanı	Zayıf küçük köşeli blok	kireçsiz	68,72	7,28	24	SL	56,9	11,82	5,67	2	4	0,023369

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
N_15.J	661855.14, 4434821.10	7-8	1-3 taşlı	Buğday Anızı	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	38	40	22	C	31,3	6,7	2,88	6	4	0,030778
M_16.J	637390.10, 4436823.47	3-5	1-3 taşlı	Ayçiçek	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	32	48	20	C	28,34	3,66	3,83	6		0,008848
R_16.J	626855.91, 4430840.13	18-20	taşsız	Zeytin bahçesi soğan ekili	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	Çok kireçli	42,72	39,28	18	CL	40,22	2,5	1,19	4	4	0,021955
R_11.J	628299.08, 4430721.11	10-15	3-15 taşlı	Buğday Anızı	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçli	36,72	41,64	21,64	C	33,5	3,22	3,73	6	4	0,027644
CK.krü	710018.41, 4373284.63	7-8	15 taş seyrek kaya	Bozuk meşelik	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	60,72	23,28	16	SCL	58,18	2,54	2,5	4	2	0,013625
N_11.krü	707397.91, 4373004.69	7-8	1-3 taşlı	Buğday	Zayıf küçük granüler	orta kireçli	39,64	42,72	17,64	C	35,28	4,36	1,72	6	2	0,019619
N_23.krü	634606.83, 4368963.23	50-60	çok taşlı kayalı	Karaçam	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	57,44	15,28	27,28	SL	45,44	12	1,9	2	2	0,02565
A_2.Mof	720681.72, 4375639.16	0-1	taşsız	Buğday Anızı	Masif	kireçli	49,28	18,72	32	L	36,74	12,54	1,77	3	4	0,040835
K_3.Mof	721999.31, 4372706.15	2-3	1-3	Şeker pancarı	Kuvvetli orta köşeli blok	orta kireçli	41,28	36,72	22	CL	27,28	14	3,17	4	4	0,028285
M_19.Mof	723745.08, 4371634.46	30	80+ taş ve seyrek kaya	Bozuk meşelik	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	69,28	10,72	20	SL	64,3	4,98	3,03	2	2	0,012995
M_15.Mof	735746.20, 4404025.88	35	1-3 taş ve seyrek kaya	Karaçam	Kuvvetli köşeli blok	kireçsiz	57,64	18,72	23,64	SL	50,58	7,06	10,55	2	4	0,008263
M_28.Mof	659662.42, 4374590.07	30-35	taşsız	Karaçam	Orta küçük granüler	kireçsiz	78	10	12	SL	73,04	4,96	2,88	2	4	0,016019
N_19.Mof	662860.99, 4372907.27	3-5	1-3 taşlı	Buğday anızı	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	41,28	38,72	20	CL	37,74	3,54	1,48	4	2	0,014919
N_15.Mof	710748.28, 4371966.02	2-3	1	Buğday	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	45,08	39,28	15,64	SC	42,1	2,98	1,83	5	4	0,023664
N_24_Mof	691388.44, 4393507.36	25	35-40 taş yer yer kaya	Çok seyrek meşe çam- mera	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	kireçsiz	63,28	10,72	26	SL	51,86	11,42	2,27	2	4	0,033279

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
A_4.n	691840.23, 4352489.86	0-1	taşsız	Sürülmüş Tarla	Masif	Çok kireçli	58	16	26	SL	37,64	20,36	0,59	2	4	0,044385
A_2.n	710911.42, 4386141.69	0-2	taşsız	Mısır-Sebze	Kuvvetli orta köşeli blok	Çok kireçli	59,44	23,28	17,28	SCL	50,16	9,28	1,05	4	4	0,029797
A_3.n	727202.49, 4344172.11	0-2	taşsız	nohut	Orta orta köşeli blok	Çok kireçli	27,28	34,72	38	CL	18,2	9,08	1,63	4	4	0,039
B_6.n	723037.17, 4344462.61	0-2	3-5 taşlı	nohut	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	33,28	44,72	22	C	29,24	4,04	1,38	6	4	0,030153
B_11.n	720426.81, 4344402.83	9	70-80 taşlı	Buğday Anızı	Zayıf küçük granüler	Çok kireçli	41,44	33,28	25,28	CL	34,44	7	1,68	4	2	0,021303
B_28.n	718992.11, 4344024.23	40-45	80 + taşlı	maki	Kuvvetli orta köşeli blok	Çok kireçli	50	24	26	SCL	37,04	12,96	2,28	4	4	0,03624
CE_11.n	740937.68, 4390472.39	8-10	3-5 taşlı	buğday	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçli	37,64	40,72	21,64	C	33,44	4,2	1,9	6	4	0,030397
CE_15.n	742909.81, 4390299.02	10-15	3-5 taşlı	Sürülmüş Tarla	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçli	35,28	48,72	16	C	32,22	3,06	3,54	6	4	0,024444
CK_n	711753.83, 4383862.58	25-26	3-5 taşlı kayalı	Bozuk meşelik	Kuvvetli orta yan köşeli blok	kireçsiz	58,36	24	17,64	SCL	47,66	10,7	3,13	4	4	0,027337
D_12.n	731029.02, 4344692.56	3-4	1-3 taşlı	Sürülmüş Tarla	Kuvvetli iri köşeli blok	çok az kireçli	32,72	45,64	21,64	C	28,86	3,86	1,9	6	4	0,029111
D_1.n	732276.70, 4345210.82	0-2	taşsız	nohut	orta orta köşeli blok	Çok kireçli	27,28	33,08	39,64	CL	16,32	10,96	1,33	4	4	0,043047
F_7.n	699161.73, 4334980.13	3-4	1-3 taşlı	Meşelik	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	35,28	48,72	16	C	30,88	4,4	2,17	6	4	0,025976
E_16.n	633343.10, 4436169.52	10-12	taşsız	Mera- meşelik	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	49,28	28,72	22	SCL	44,42	4,86	2,89	4	4	0,025759
K_1.n	722766.27, 4408068.00	0-2	15-20 taşlı	Sürülmüş Tarla	Kuvvetli küçük granüler	orta kireçli	51,08	31,28	17,64	SCL	42,3	8,78	1,68	4	2	0,018117
K_13.n	631641.92, 4423803.71	2-3	taşsız	Kuru nohut	Kuvvetli orta köşeli blok	Çok kireçli	42,72	29,28	28	CL	28,84	13,88	1,71	4	4	0,037678
M_15.n	631820.61, 4421354.04	8-10	taşsız	yonca	Orta iri köşeli blok	Çok kireçli	34	40	26	C	26,76	7,24	2,24	6	4	0,034049

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
M_12.n	690364.43, 4415167.58	8-9	85 + taşlı	kiraz bahçesi tütün ekili	Zayıf küçük yarı köşeli blok	Çok kireçli	37,44	45,28	17,28	C	34,76	2,68	2,4	6	4	0,026171
M_11.n	721304.85, 4407309.44	0-2	3-5 taşlı	zayıf meşe ormanı	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçli	43,28	40,72	16	C	39,84	3,44	4,35	6	4	0,02499
M_11.n	691326.56, 4347274.35	0-2	taşsız	Buğday Anızı	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	kireçli	46,72	33,64	19,64	SCL	41,12	5,6	1,03	4	4	0,02623
M_16.n	689326.54, 4393523.76	8-10	1-3 taşlı	Buğday Anızı	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçli	26	46	28	C	21,92	4,08	2,8	6	4	0,030971
M_12.n	689418.59, 4394063.80	8-10	3-15 taşlı	Ayçiçek	Orta orta köşeli blok	Çok kireçli	40	32	28	CL	34,54	5,46	2,88	4	4	0,028801
M_20.n	669112.73, 4360873.93	45	15-30 taşlı	Sürülmüş Tarla	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	kireçsiz	68,72	16	15,28	SL	58,72	10	1,43	2	4	0,023421
M_7.n	721827.24, 4405937.56	10-12	taşsız	açılmış boş arazi	orta orta granüler	Az kireçli	57,28	28,72	14	SCL	53,24	4,04	3,93	4	2	0,011116
M_15.n	669483.14, 4364618.08	35	30 taş yeryer kaya	Bozuk meşe ormanı	orta küçük granüler	Kireçli	70,36	12	17,64	SL	62,28	8,08	1,21	2	2	0,016632
N_11.n	702414.00, 4387185.08	3-4	taşsız	Sürülmüş Tarla	Kuvvetli iri köşeli blok	Kireçli	33,28	40,72	26	C	29,82	3,46	1,9	6	4	0,032324
N_15.n	669438.12, 4340229.79	55	1-3 taşlı	Bozuk meşelik	Çok kuvvetli orta köşeli blok	Kireçsiz	44,36	32	23,64	CL	38,82	5,54	4,66	4	4	0,023524
N_10.n	670148.15, 4340351.83	8-10	35-40	mercimek kuru	Kuvvetli orta köşeli blok	Kireçli	38	40,36	21,64	C	34,1	3,9	2,56	6	4	0,029545
N_24.N	633767.63, 4435297.83	27-30	8-10 taşlı	genç meşelik	Orta orta yarı köşeli blok	Kireçsiz	57,64	16,72	25,64	SL	49,06	8,58	5,09	2	4	0,021864
N_20.n	711287.04, 4385467.48	22	1-3	Karaçam- meşe	Kuvvetli iri köşeli blok	Az kireçli	55,64	16,72	27,64	SL	38,36	17,28	1,91	2	4	0,038312
N_5.n	705282.61, 4376350.74	3-5	taşsız	zayıf meşe ormanı	zayıf küçük granüler	kireçsiz	65,28	14,72	20	SL	54,62	10,66	2,08	2	2	0,018301
R_11.n	724534.32, 4410852.25	6-8	35-50 taşlı yeryer kayalı	zayıf meşe ormanı	zayıf küçük granüler	Kireçsiz	59,08	17,28	23,64	SL	49,82	9,26	3,11	2	2	0,016962
R_12.n	627440.88, 4436641.08	10	1 taşlı	Buğday tarlası	Kuvvetli iri köşeli blok	Çok kireçli	38,36	32	29,64	CL	30,42	7,94	1,34	4	4	0,034465



BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
R_15.n	725610.17, 4411412.22	25	3-5	Buğday tarlası	Kuvvetli orta köşeli blok	Çok kireçli	37,44	35,28	27,28	CL	31,34	6,1	2,57	4	4	0,028372
R_16.n	625147.51, 4430677.42	15-18	taşsız	Meşelik	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	Az kireçli	37,28	44,72	18	C	33,68	3,6	3,27	6	4	0,026222
V_1.n	626477.33, 4426828.36	0-2	taşsız	yonca sulu	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	34,72	49,28	16	C	32,1	2,62	2,31	6	4	0,025052
M_11.nv	650323.07, 4389285.73	7-8	1-3 taşlı	nohut	Orta orta köşeli blok	Az kireçli	61,28	16,72	22	SL	50,38	10,9	1,31	2	4	0,029816
N_24.nv	646794.26, 4387827.49	30-35	3-15 taşlı	Kızılçam	Orta küçük köşeli blok	Orta kireçli	64,72	15,28	20	SL	56,88	7,84	8,39	2	4	0,012257
N_11.nv	643699.29, 4387733.39	3-5	15-30 taşlı	Karpuz kavun	Zayıf küçük granüler	Kireçsiz	78	8	14	LS	64,82	13,18	1,18	2	2	0,019092
M_15.P	633334.14, 4413195.99	23-25	2-3	Buğday anızı	Kuvvetli iri köşeli blok	Kireçsiz	52	30	18	SCL	45,66	6,34	3,58	4	4	0,023107
N_20.P	632974.12, 4412257.76	30-35	80 +taşlı	Bozuk meşelik	zayıf çok küçük granüler	Kireçsiz	63,08	15,28	21,64	SL	51,22	11,86	2,44	2	2	0,019556
A_3.Pcr	692074.10, 4360534.79	0-1	taşsız	Mısır-soğan	Orta orta köşeli blok	Kireçsiz	44	28	28	CL	33,6	10,4	1,59	4	4	0,036008
A_4.Pcr	724663.86, 4367564.32	0-2	taşsız	mısır sulu	Orta iri köşeli blok	Orta kireçli	26	40	34	C	21,26	4,74	4,78	6	4	0,032189
CK.Pcr	724276.39, 4367896.25	40-45	80 + taşlı ve kayalı	Mera	Çok zayıf küçük granüler	Kireçsiz	55,28	18,72	26	SL	48,56	6,72	6,6	2	2	0,008691
E_11.Pcr	645251.98, 4437322.99	0-2	taşsız	Buğday tarlası	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	Kireçsiz	30	34	36	CL	25,36	4,64	4,99	4	4	0,027568
K_10.Pcr	647201.06, 4433299.85	3-5	taşsız	dutluk	Orta orta yarı köşeli blok	Çok az kireçli	60,72	19,28	20	SL	52,8	7,92	4,16	2	4	0,019678
K_13.Pcr	664154.00, 4416878.25	0-2	taşsız	Bostan- fasülye	Orta orta köşeli blok	Kireçsiz	68	16	16	SL	59,24	8,76	1,54	2	4	0,022811
M_12.Pcr	714629.96, 4345335.28	8-9	1-3 taşlı	çayır mera	Orta orta köşeli blok	az kireçli	57,28	12,72	30	SL	43,44	13,84	3,29	2	4	0,034537
M_15.Pcr	691863.52, 4360123.07	32	50-60 taşlı	Kızılçam	strüktürsüz	Çok kireçli	54,72	13,28	32	SL	42,5	12,22	1,21	2	4	0,041616

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
M_30.Pcr	725030.87, 4365440.85	45	5-15 Taşlı- kayalı	meşe ormanı	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	kireçsiz	48	34	18	SCL	42,06	5,94	3,51	4	4	0,022266
N_15.Pcr	646763.81, 4433453.09	15-18	1-5 taşlı ve seyrek kaya	Kızılçam	orta iri yarı köşeli blok	kireçsiz	67,28	16,72	16	SL	60,76	6,52	3,01	2	4	0,018669
N_24.Pcr	646406.71, 4433836.36	20-25	yer yer kayalar	Meşe ormanı (kesilmiş)	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	52,72	23,28	24	SCL	46,3	6,42	6,22	4	4	0,022911
R_11.Pcr	634436.44, 4430780.16	4-5	taşsız	Fasülye	zayıf küçük granüler	Çok kireçli	52	24	24	SCL	43,74	8,26	2,22	4	2	0,023078
R_16.Pcr	687342.16, 4421685.54	10	1-3	mera	orta orta köşeli blok	kireçsiz	58,36	26	15,64	SCL	50,14	8,22	1,92	4	4	0,025883
A_2.pM	712051.33, 4370360.96	0-2	taşsız	Yonca	orta orta köşeli blok	orta kireçli	41,28	34,72	24	CL	36,62	4,66	6,15	4	4	0,020553
A_4.pM	711490.03, 4370664.36	0-2	taşsız	Buğday	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	39,28	38,72	22	CL	35,66	3,62	3,07	4	4	0,022726
K_2.pM	719996.21, 4349021.78	0-2	3-5 taşlı	Mercimek anızı_buğday	Kuvvetli iri köşeli blok	Çok kireçli	29	44	27	C	25,38	3,62	3,76	6	4	0,029534
M_11.pM	669052.19, 4418827.60	0-2	taşsız	Buğday Anızı	Orta orta yarı köşeli blok	Çok kireçli	40,36	38	21,64	CL	33,74	6,62	2,65	4	4	0,024754
M_12.pM	716736.46, 4347596.89	4	80+ taş ve kayalı	maki, kara çalı, seyrek çam	zayıf küçük granüler	Çok kireçli	41,28	32,72	26	CL	37,42	3,86	3,54	4	4	0,025495
M_16.pM	657352.90, 4371862.48	3-4	85 + taşlı kayalı	meşe ormanı bozuk	Orta küçük yarı köşeli blok	kireçsiz	42	28	30	CL	36,32	5,68	4,36	4	3	0,023876
M_20.pM	669354.31, 4416910.14	25-30	taşsız	çam ormanı	Orta küçük yarı köşeli blok	kireçli	59,44	11,28	29,28	SL	46,56	12,88	1,32	2	4	0,040239
M_28.pM	632788.99, 4383332.57	7-8	75 taşlı	Buğday Anızı (çoğunluk meşe)	Orta orta yarı köşeli blok	Çok kireçli	35,28	38,72	26	CL	31,48	3,8	3,69	4	4	0,023873
M_24.pM	637779.63, 4382341.05	10-15	50 taşlı	meşe kızılçam	Kuvvetli orta yarı köşeli blok	kireçli	54,72	24	21,28	SCL	48,22	6,5	4,02	4	4	0,025471
M_7.pM	717454.42, 4347956.95	5-6	5-10 taşlı	Buğday tarlası	Kuvvetli köşeli blok	çok kireçli	36	42	22	C	28,86	7,14	1,66	6	4	0,032133

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
N_19.pM	628728.52, 4423050.71	20	3-5 taşlı	Buğday anızı	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	Çok az kireçli	48,36	32	19,64	SCL	41,68	6,68	1,62	4	4	0,026525
N_20.pM	630884.75, 4416414.74	22-25	1-3 taşlı	Açılmış boş arazi (tarla)	Kuvvetli iri yarı köşeli blok	Kireçsiz	54,72	31,28	14	SCL	50,5	4,22	2,5	4	4	0,020791
N_24.pM	735961.68, 4409132.75	25-30	80+ çok taşlı	Karaçam	zayıf küçük granüler	Çok az kireçli	52,72	11,28	36	SL	46,44	6,28	10,03	2	2	0,003177
R_16.pM	690031.73, 4417805.20	3-5	3-15 taşlı	mısır zayıf	Orta orta yarı köşeli blok	çok kireçli	54,72	27,28	18	SCL	47,34	7,38	1,52	4	4	0,027195
R_7.pM	690943.96, 4416905.64	3-5	3-5 taşlı	karaçam	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	57,08	23,28	19,64	SCL	46,64	10,44	2,76	4	4	0,029303
A_5.pS	668242.08, 4422614.56	0-2	taşsız	Ayçiçek (sulu)	zayıf küçük granüler	Az kireçli	33,44	27,28	39,28	L	15,58	17,86	1,92	3	2	0,037208
A_6.pS	669328.60, 4422539.86	0-2	taşsız	Kavak (sulu)	Zayıf küçük granüler	kireçli	43,08	19,28	37,64	L	17,68	25,4	4,59	3	2	0,03446
M_11.pS	639683.71, 4382168.03	3-4	taşsız	buğday anızı	Orta orta yarı köşeli blok	çok kireçli	44	34	22	CL	37,52	6,48	4,38	4	4	0,023244
M_15.pS	638884.85, 4386920.18	7-8	0-1	Bozuk meşelik	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	70	8	22	SL	53,78	16,22	1,09	2	2	0,029998
N_15.pS	628560.50, 4420670.89	8-10	taşsız	sürülmüş tarla	Kuvvetli orta köşeli blok	Çok kireçli	45,64	34,72	19,64	SCL	41,22	4,42	2,66	4	4	0,02323
N_16.pS	668141.61, 4426608.08	10-15	3-15	karaçam	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	56,72	25,28	18	SCL	51,22	5,5	4,93	4	4	0,021633
N_20.pS	661158.90, 4429150.85	30	50 taşlı profil içi ve yüzeyi	karaçam yeniekilmiş	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	48,72	35,64	15,64	SC	42,6	6,12	3,09	4	4	0,021377
N_24.pS	657211.03, 4430300.41	25-30	50 taş ve yer yer kaya	karaçam	Orta küçük köşeli blok	kireçsiz	62,72	14	23,28	SL	48,64	14,08	10,76	2	4	0,008684
N_24.pS	647767.69, 4432502.78	35-40	80 + taş ve yer yer kaya	kızılcım	Orta orta köşeli blok	kireçsiz	56,72	17,64	25,64	SL	46,02	10,7	6,48	2	4	0,019288
R_11.pS	635303.34, 4377947.63	7-8	15-35	Buğday anızı	Orta orta köşeli blok	kireçli	62	18	20	SL	53,04	8,96	2,12	2	4	0,024542
A_4.Q	720626.86, 4347820.73	0-2	taşsız	nohut	kuvvetli orta köşeli blok	orta kireçli	24,36	48	27,64	C	20,68	3,68	1,56	6	4	0,031694

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
A_3.Q	728726.92, 4343729.09	0-2	taşsız	Korunga sulu	kuvvetli orta köşeli blok	Çok kireçli	46	20	34	L	30	16	1,16	3	4	0,046878
A_1.Q	708667.90, 4377384.54	0-1	taşsız	mısır	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	38,36	42	19,64	SL	33,34	5,02	1,32	2	4	0,016958
B_1.Q	727864.07, 4342009.48	0-1	taşsız	Erik Bahçesi	masif	Çok kireçli	29,08	39,28	31,64	CL	20,02	9,06	1,15	4	4	0,034006
D_1.Q	733362.58, 4342935.15	0-2	taşsız	Elma bahçesi	kuvvetli yarı köşeli blok	Orta kireçli	22,72	37,28	40	CL	17,7	5,02	3,63	4	4	0,031747
K_2.Q	717030.39, 4375282.43	0-2	taşsız	buğday anızı	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	42	36	22	CL	37,86	4,14	1,53	4	2	0,016993
M_11.Q	693554.94, 4346983.89	3-5	taşsız	Meşelik	Kuvvetli orta köşeli blok	çok kireçli	38,72	39,28	22	CL	32,16	6,56	1,55	4	4	0,026103
M_5.Q	729206.69, 4341581.39	1-2	1-3 taşlı	nohut	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	29,28	48,72	22	C	24,8	4,48	1,43	6	4	0,029348
N_11.Q	717255.67, 4374906.90	4	1-3	mercimek anız	kuvvetli yarı köşeli blok	kireçsiz	36,72	47,28	16	C	33,86	2,86	1,92	6	4	0,025733
N_6.Q	711621.14, 4375008.40	0-3	1 taşlı	Buğday	Kuvvetli orta köşeli blok	kireçsiz	46,72	30	23,28	SCL	40,34	6,38	2,88	4	4	0,027121
A_1.Qy	623524.77, 4436088.41	0-1	taşsız	biber sulu	masif	kireçli	32,72	25,64	41,64	L	19,5	13,22	1,43	3	4	0,04677
A_2.Qy	621173.23, 4437428.24	0-1	taşsız	Fasülye	masif	kireçli	45,28	22,72	32	L	24,56	20,72	1,67	3	4	0,045848
A_3.Qy	621282.60, 4434639.21	0-1	taşsız	mera (ayrık ve hayıt otu)	strüktürsüz teksel	kireçli	72,72	7,28	20	SL	53,62	19,1	3,53	2	4	0,032032
A_5.Qy	622249.64, 4432445.72	0-1	taşsız	ikinci ürün mısır	Kuvvetli iri köşeli blok	çok kireçli	42	32	26	CL	30,3	11,7	1,72	4	4	0,033738
E_28.Qy	627641.81, 4439781.25	40	80 + taşlı ve kayalı	mera kara çalı	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	52,72	22	25,28	SCL	47,88	4,84	7,82	4	4	0,019912
K_1.Qy	623819.25, 4432061.57	2-3	taşsız	mısır sulu	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	40	44	16	C	34,5	5,5	2,3	6	4	0,027168
K_11.Qy	625667.27, 4432398.42	5-8	1-3	Şeker pancarı	Kuvvetli iri köşeli blok	çok kireçli	27,08	51,28	21,64	C	24,3	2,78	2,39	6	4	0,026971

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
M_23.Qy_J	634697.62, 4440264.64	20-25	taşsız	buğday anızı	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçli	38	34	28	CL	28,2	9,8	2,68	4	4	0,031089
N_15.Qy_n	624771.54, 4423717.73	8-10	taşsız	buğday anızı	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	39,08	39,28	21,64	CL	34,94	4,14	2,16	4	4	0,023793
R_16.Qy_n	622266.80, 4432071.87	15-18	taşsız	yonca	Kuvvetli iri köşeli blok	Az kireçli	39,64	42,72	17,64	C	35,82	3,82	1,64	6	4	0,027985
R_12.Qy_n	622216.83, 4431184.82	15	1-3	Zeytin bahçesi	kuvvetli iri köşeli blok	Az kireçli	38	42	20	C	33,7	4,3	1,47	6	4	0,029777
R_8.Qy_n	624390.72, 4438805.94	8-10	taşsız	Zeytin bahçesi	Kuvvetli iri köşeli blok	kireçli	36,36	46	17,64	C	31,9	4,46	1,54	6	4	0,027757
M_15.β	733315.15, 4374866.07	15-20	80 + taşlı kayalı	mera	Çok kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	46,72	28	25,28	SCL	39,56	7,16	3,47	4	4	0,028185
N_24.β	656676.62, 4398859.23	30-35	Taşlı kayalı	bozuk meşe	orta küçük yarı köşeli blok	kireçsiz	52	22	26	SCL	45,4	6,6	4,58	4	4	0,027505
CK_x	705904.03, 4385442.60	30	kayalı arazi	bozuk meşe	zayıf orta yarı köşeli blok	kireçsiz	63,28	13,08	23,64	SL	55,28	8	3,37	2	4	0,02517
F_7.x	698674.27, 4334421.02	2-5	1-3 taşlı	meşe ormanı	Çok kuvvetli iri köşeli blok	kireçsiz	43,28	40,72	16	C	38,36	4,92	1,79	6	4	0,027942
K_3.x	708155.25, 4383293.57	3-5	0-1	Buğday tarlası	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	58,72	25,28	16	SCL	49,98	8,74	1,03	4	2	0,019377
M_11.x	699273.32, 4333747.06	5-6	1-3	Vişne bahçesi bozuk	Orta orta köşeli blok	çok kireçli	65,64	16,72	17,64	SL	51,64	14	1,16	2	4	0,029076
M_15.x	644529.65, 4382507.25	30-35	Çok kayalı	kızılçam	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	62	16	22	SL	52,66	9,34	3,03	2	4	0,024949
N_11.x	639561.16, 4384417.82	3-5	1-3 taşlı ve seyrek kayalı	Boş arazi	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	73,44	7,28	19,28	SL	57,84	15,6	1,2	2	2	0,026664
N_15.x	658637.67, 4403673.88	10-15	3-15 taşlı	karaçam	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	64,72	12	23,28	SL	55,78	8,94	3,73	2	2	0,016451
N_19.x	664370.73, 4400053.60	5-10	80-90 taşlı kayalı	çam -meşe	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	54,36	22	23,64	SCL	49,38	4,98	4,07	4	2	0,01771
N_20.x	658511.40, 4402900.40	15-25	15-30 taşlı	çam-meşe	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	72	14	14	SL	66,84	5,16	9,56	2	2	0,00016

BTG_JEO.*	COĞRAFİK KOORDİNATI (x,y)	EGİM (%)	TAŞLILIK (%)	ARAZİ KULLANIMI	STRÜKTÜR	KİREÇ (%)	KUM (%)	KİL (%)	SİLT (%)	BÜNYE	S-vfS (%)	vfS (%)	ORG. MAD. (%)	GEÇ KOD	STR KOD	K FAKTÖR**
N_24.x	655679.96, 4397307.84	25-30	5-15 taşlı	anız meşe açması	zayıf küçük yarı köşeli blok	kireçsiz	50,36	26	23,64	SCL	43,7	6,66	1,25	4	4	0,031498
R_15.x	658399.28, 4381007.45	8-10	1-3 taşlı	karaçam	küçük yarı köşeli blok	kireçli	52,72	25,28	22	SCL	49,16	3,56	10,37	4	4	0,014338
U_28.x	633796.01, 4373904.00	3-4	taşsız	tarla	yarı köşeli blok	kireçli	59,08	17,28	23,64	SL	49,82	9,26	3,11	2	4	0,008399
K_16.y	669709.26, 4406457.67	3-4	taşsız	buğday anızı	orta iri köşeli blok	kireçsiz	76	10	14	SL	64	12	1,12	2	4	0,02614
M_15.y	728332.58, 4415317.57	8	taşsız	fiğ buğday çilek (çevresi kayın orm.)	orta küçük granüler	kireçsiz	70,72	11,28	18	SL	59,64	11,08	2,17	2	2	0,017781
M_29.y	728061.37, 4413577.32	30	taşsız	kayın ormanı	orta küçük granüler	kireçsiz	69,28	12,72	18	SL	59,74	9,54	2,17	2	2	0,016148
N_11.y	667261.00, 4412189.33	10-12	taşsız	buğday anızı	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	72,36	14	13,64	SL	63,06	9,3	1,24	2	4	0,02226
N_12.y	671172.76, 4407991.18	10-12	taşsız	buğday anızı	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	77,08	11,28	11,64	SL	64,22	12,86	1,16	2	4	0,024386
N_16.y	670031.55, 4413233.67	25	1-3 taş yer yer kaya	meşe zayıf	Zayıf küçük granüler	kireçsiz	77,28	6,72	16	LS	66,18	11,1	0,97	2	2	0,019811
N_20.y	666326.91, 4408703.64	18-20	taşsız	meşelik	zayıf küçük granüler	kireçsiz	84,72	7,28	8	LS	77,16	7,56	1,4	2	2	0,008421
N_24.y	670400.26, 4414958.85	25-30	1-3 küçük taşlar	buğday anızı- meşelik	Orta orta yarı köşeli blok	kireçsiz	59,44	13,28	27,28	SL	51,54	7,9	1,1	2	4	0,03356

\* Büyük Toprak Grubu ve Jeolojik Birim.

\*\* YETKE-K Faktörü Hesabı;

**Denklem 1.5.**  $100 \times K = (2,1 \times 10^{-4}) \times (12 - OM) \times M^{1,14} + 3,25 \times (S - 2) + 2,5 \times (P - 3) / d$

Burada;

K : Toprağın erozyona duyarlılık faktörü ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ ).

OM : % organik madde.

S : Toprak strüktür sınıfı (1-6).

P : Toprak su geçirgenliği kodu (permeabilite).

M : Zerre irilik parametresi.

d : Metrik sisteme dönüştürme katsayısı ( $d = 7,59$ ).

Eşitlikte yer alan M parametresi aşağıda verilen Denklem 1.6 yardımıyla belirlenmektedir.

**Denklem 1.6.**  $M = (\% \text{ silt} + \% \text{ çok ince kum}) \times (100 - \% \text{ kil})$

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Bandırma’da doğdu. Orta ve Lise öğrenimini 1992 yılında Bandırma KEV Özel Anadolu Lisesinde tamamladı. 1998 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’nden başarı ile mezun oldu. Temmuz-Eylül 1997 yılında BAGFAŞ, Bandırma Gübre Fabrikaları A.Ş. Toprak Tahlil Laboratuvarlarında çalıştı. 1999 yılı Ocak ayında U.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve aynı yıl Şubat ayında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2001 yılı Ocak ayında yüksek lisans tezini tamamlayarak Ziraat Yüksek Mühendisi ünvanını aldı. Halen U.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.



## TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora çalışmam boyunca, gerek arazi çalışmaları gerekse büro çalışmaları sırasında ve akademik eğitimim her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY'a teőekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim. Sevgili eşim Ziraat Mühendisi Duygu ÖZSOY'a laboratuvar çalışmalarımdaki yardımları ve tezimin hazırlık ve yazım aşamasında göstermiş olduğu sabır ve desteği için teşekkür ederim.

Ayrıca yoğun geçen arazi çalışmalarımda yardımcı olan Yrd.Doç.Dr. M.Sabri DİRİM ve Yrd.Doç.Dr. Zeynal Tümsavaş'a, toprak örneklerinin laboratuvar analizlerine hazır duruma getirilmesinde yardımlarını gördüğüm stajyer öğrenciler Ebru Yıldız SEZER, Gülsün ATLI, Gülhan ÇANKAYA'ya ve bölüm çalışma arkadaşlarım Araş.Gör.Serhat GÜREL ve Araş.Gör. Funda MOL ERCAN'a da teşekkür ederim.

