

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Levent BAŞAYIĞIT

DOKTORA TEZİ

119 867

EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASINDA EROZYON RİSKİNİN SAPTANMASI
ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

T.C. YÖKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

ADANA, 2002

119 867

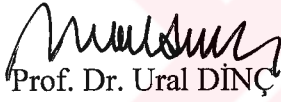
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASINDA EROZYON RİSKİNİN SAPTANMASI
ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

Levent BAŞAYIĞIT

DOKTORA TEZİ
TOPRAK ANABİLİM DALI

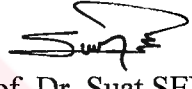
Bu tez 06/09/2002 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle
Kabul Edilmiştir.


Prof. Dr. Ural DİNÇ

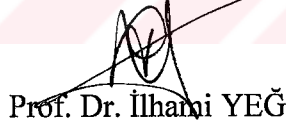
DANIŞMAN


Prof. Dr. Saim KARAKAPLAN

ÜYE


Prof. Dr. Suat ŞENOL

ÜYE


Prof. Dr. İlhan YEĞİNGİL

ÜYE


Doç. Dr. M. Ali ÇULLU

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Toprak Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 682

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**




Prof. Dr. Fikri AKDENİZ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No:FBE. 2000 D.56

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASINDA EROZYON RİSKİNİN SAPTANMASI
ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR**

Levent BAŞAYIĞIT

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Ural DİNÇ

Yıl: 2002, **Sayfa:** 224

Jüri: Prof. Dr. Ural DİNÇ

: Prof. Dr. Saim KARAKAPLAN

: Prof. Dr. Suat ŞENOL

: Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL

: Doç. Dr. Mehmet Ali ÇULLU

Tez çalışması, Eğirdir göl havzası için şimdiye kadar hazırlanmış olan haritalar kullanılarak erozyon haritalarını oluşturmak ve göl havzalarında uygulanabilir bir model geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Araştırmada, Eğirdir göl havzasının potansiyel erozyon riskini, şimdiki erozyon durumunu ve toprak kayıplarını belirlemede coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla havza-ölçekli vektör/çizgi tabanlı sayısal bir erozyon modeli geliştirilmiştir.

Çalışmada Landsat-7 ETM+ uydu verisi, havza alanı için hazırlanmış haritalar, çeşitli araştırma sonuçları, raporlar meteorolojik veriler, istatistik bilgiler ve arazi çalışmaları sonucu elde edilen bilgiler kullanılmıştır.

Çalışma alanına ait potansiyel erozyon riski, şimdiki erozyon durumu, toprak kayıpları haritaları oluşturulmuş arazi çalışmaları ile kontroller yapılmış, bu haritalar kullanılarak havzada yer alan korumada öncelikli alanlar haritalanmış ve korumada öncelikli alanlar için öneri haritaları üretilmiştir.

Geliştirilen modellerin amaç doğrultusunda yeterli detaya sahip olduğu belirlenmiş ve göl havzalarında erozyon haritalarının üretilmesi için bu modellerin uygulanabilir olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Eğirdir, potansiyel erozyon riski, şimdiki erozyon durumu, uzaktan algılama (UA), coğrafi bilgi sistemleri (CBS).

ABSTRACT

Ph. D. THESIS

RESEARCHES ON THE DETERMINATION OF EROSION RISK IN EGIRDİR LAKE WATERSHED

Levent BAŞAYIĞIT

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Prof. Dr. Ural DİNÇ

Year: 2002, **Pages:** 224

Jury: Prof. Dr. Ural DİNÇ

: Prof. Dr. Saim KARAKAPLAN

: Prof. Dr. Suat ŞENOL

: Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL

: Assoc. Prof. Dr. M.Ali ÇULLU

The aim of this study was to produce the erosion maps and to develop an applicable model for Egirdir lake watershed using present maps of the area. In this research, a field-scaled erosion model based on vector was developed to determine the potential and actual erosion risks and soil loses of Egirdir watershed by using geographic information systems.

Landsat-7 ETM+ data, existing maps of study area, research reports, meteorological and statistical data and the information obtained from field studies were used to produce potential and actual erosion risks maps and soil loses. These maps then were tested by field studies. The lands given priority for soil conservation were mapped and the recommended maps for risky lands were also produced.

It was concluded that these models possess sufficient details for the purpose of determination of erosion conditions and were applicable in order to determine erosion maps of lake watershed.

Key Words: Egirdir Lake, potential erosion risk, actual erosion, remote sensing (RS), geographic information systems (GIS).

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, tez çalışmasının planlanması, projelendirilmesi ve yürütülmesinde bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, çalışmanın gerçekleştirilmesi için çeşitli projelerle maddi destek sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Ural Dinç'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmasında toprak kayıplarının modellenmesi aşamasında konu ile ilgili bilgi veren Prof. Dr. Roy P.C. Morgan'a teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hiç bir zaman manevi desteğini esirgemeyen eőim Rukiye Başayığıt'e ve evimizin neőe kaynakları oğullarımız Mehmet'e ve Melih'e de teşekkür ederim.



SİMGELER VE BİRİMLER DİZİNİ

a) Simgeler

C	: Ürün örtü faktörü
C°	: Santigrat derece
I	: Yağış yoğunluğu
K	: Aşınabilirlik
KE	: Kinetik enerji
log	: Logaritma
P	: Koruma faktörü
R	: Yağış miktarı
r ²	: Varyans
tan	: Tanjant
°	: Derece

b) Birimler

cm	: Santimetre
cm/h	: Santimetre/saat
cm ²	: Santimetrekaire
dk	: Dakika
gr	: Gram
gr/cm ³	: Gram/santimetreküp
gr/J	: Gram/Joule
gr/m ² /ha	: Gram/metrekaire/hektar
gr/sn	: Gram/saniye
ha	: Hektar
hm ³	: Hektometreküp

J/m^2	: Joul/metre-kare
kg/m^2	: Kilogram/metre-kare
km^2	: Kilometre-kare
kPa	: Kilopaskal
m	: Metre
m^2	: Metre-kare
m^3/J	: Metre-küp/joul
m^3/m^3	: Metre-küp/metre-küp
m^3/sn	: Metre-küp/saniye
$m^3/sn/m$: Metre-küp/saniye/metre
mg	: miligram
mg/m^3	: Miligram/metre-küp
mm/h	: Milimetre/saat
mm/ha	: Milimetre/hektar
sn	: Saniye
ton/ha	: Ton/hektar
$ton/km^2/yıl$: Ton/kilometre-kare/yıl
ton-m/ha	: Ton-metre/hektar
ton-m/ha/cm	: Ton-metre/hektar/santimetre

c) Kısaltmalar

AVHRR	: İleri çok yüksek çözünürlüklü radyometre (Advanced Very High Radiometer)
3D	: Üç boyut (Three Dimension)
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
GIS	: Coğrafi bilgi sistemleri (Geographic Information Systems)
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model)
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
(dbf)	: Veri tabanı dosyası (Data base file)

ETM +	: Güçlendirilmiş thematic haritalayıcı (Enhanced Thematic Mapper+)
GPS	: Küresel konum bulma sistemleri (Global Positioning Systems)
HES	: Hidroelektrik Santrali
KHGM	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
LAI	: Yaprak alan indeksi (Leaf Area Index)
MMF	: Morgan-Morgan-Finney
mMMF	: Modifiye Edilmiş Morgan-Morgan-Finney
MSS	: Çok bantlı algılayıcı (Multi Spectral Sensor)
MTA	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
NDVI	: Normalize edilmiş vejetasyon indeksi (Normalized Vegetation Index)
TM	: Çift yönlü tarama sistemli haritalayıcı (Thematic Mapper)
UA	: Uzaktan algılama
UTM	: Uluslar arası enleme bağı kareleme metodu (Universal Tranverse Mercator)
VI	: Vejetasyon indeksi (Vegetation Index)
XS	: Çok bantlı sistemler

d) Uydular

NOAA	: Ulusal okyanus ve atmosferik uygulamalar uydusu (National Oceanic and Atmosperic Administration)
IRS	: Hindistan araştırma uydusu (Indiana Research Satellite)
Jers	: Japon yeryüzü araştırma uydusu (Japan Earth Research Satellite)
Landsat(ERTS)	: Dünya araştırma teknoloji uydusu (Earth Research Technology Sattellite)
Spot	: Dünya araştırmaları çok yönlü sistemleri (Systeme Polyvalend d' Observation de la Terre)

e) Yazılımlar

- ARC/INFO : ESRI Veri girişi ve yorumlama CBS yazılımı
ARC VIEW : ESRI Veri sorgulama ve görüntüleme CBS yazılımı
ERDAS : ERDAS Uydu verisi görüntüleme ve işleme yazılımı
ERMAPPER : Yeryüzü kaynakları haritalama yazılımları (Earth Resource Mapping Pty. Ltd)
ILWIS : Entegre edilmiş arazi ve su bilgi sistemi (The Integrated Land and Water Information System)

f) Erozyon Modelleri

- AGNPS : Tarımsal kaynakların araştırılması (Agricultural Nonpoint Research)
ANSWERS : Su hatları kaynaklarının izlenmesinde simülasyon uygulaması (Areal Nonpoint Watershed Environment Response Simulation)
AOF : A.Onstad and Foster erozyon modeli
CORINE : Avrupa ülkeleri araştırma birliği (Research in European Community)
EPIC : Erozyon verimliliği etkisi hesabı (Erosion Productivity Impact Calculator)
EUROSEM : Avrupa toprak kayıp denklemi (European Soil Loss Equation)
GLEAMS : Tarımsal yönetim sistemlerinde yüzey suyu yükü etkisi (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems)
GUEST : Griffith Üniversitesi erozyon sistemi (Griffith university System Template)
LISEM : Limburg toprak erozyon modeli (Limburg Soil Erosion Model)
MEDALUS : Akdeniz ülkelerinde çölleşme ve arazi kullanımı (Mediterranean Desertification and Land Use)
MEDRUSH : Akdeniz ülkelerinde çevresel bozulma, sediment kaybı ve hidroloji için sorumlu birimler (Mediterranean Environmental Degradation and Response Units for Sediment Yield and Hydrology)
MIRSED : WEPP'in en az veri girişi ile uygulanması (Minimum Information Requirement for WEPP)

- MUSLE : Modifiye edilmiş uluslar arası toprak kayıp denklemi (Modified Universal Soil Loss Equation)
- MUSS : Küçük su hatları için MUSLE modelinin uygulanması (MUSLE for small watershed)
- RUSLE : Yenilenmiş uluslar arası toprak kayıp denklemi (Revised Universal Soil Loss Equation)
- SEMMED : Akdeniz ülkeleri için erozyon modeli (Soil Erosion Model for Mediterranean Area)
- STREAMS : Toprak, Taşıma, Yağış, Erozyon ve Haritalama Sistemleri (Soil Transport Rain Erosion Mapping Systems)
- USLE : Uluslar arası toprak kayıp denklemi (Universal Soil Loss Equation)
- WEPP : Su erozyonu tahmin projesi (Water Erosion Prediction Project)

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Yağış yoğunluğu ve toprak kaybı arasındaki ilişki	6
Çizelge 2.2. Eğim büyüklüğü ve yağışın erozyon üzerine etkisi.....	9
Çizelge 3.1. Çalışma alanı iklim değerleri uzun yıllar ortalaması	50
Çizelge 3.2. Landsat-7 ETM+uydu verisinin özellikleri.....	53
Çizelge 3.3. mMMF modelinin giriş verileri ve veri birimleri.....	70
Çizelge 3.4. mMMF modeli A, Et/Eo ve C değerleri.....	71
Çizelge 3.5. mMMF modeli MS ve BD değerleri	73
Çizelge 3.6. mMMF modeli EHD değerleri	73
Çizelge 3.7. mMMF modeli K ve COH değerleri.....	74
Çizelge 4.1. Çalışma alanı topraklarının eğim büyüklüğüne göre dağılımı.....	81
Çizelge 4.2. Çalışma alanı topraklarının eğim yönlerine göre dağılımı.....	84
Çizelge 4.3. Çalışma alanı topraklarının eğim uzunluğu sınıfları ve dağılımı....	85
Çizelge 4.4. Çalışma alanı topraklarının büyük toprak guruplarına göre dağılımı.....	87
Çizelge 4.5. Çalışma alanı topraklarının arazi kullanım kabiliyeti sınıflarına göre dağılımı.....	89
Çizelge 4.6. Çalışma alanı topraklarının tekstür sınıflarına göre dağılımı.....	89
Çizelge 4.7. Çalışma alanı topraklarının yüzey taşlılığına göre dağılımı.....	92
Çizelge 4.8. Çalışma alanı topraklarının derinlik sınıfları ve dağılımı.....	92
Çizelge 4.9. Çalışma alanının jeolojik formasyonları ve dağılımı.....	95
Çizelge 4.10. Çalışma alanı topraklarının ana materyal sınıflarına göre dağılımı	95
Çizelge 4.11. Çalışma alanı yıllık yağış miktarı ve kapladığı alanlar.....	98
Çizelge 4.12. Çalışma alanı yağışlı gün sayısı ve kapladığı alanlar.....	98
Çizelge 4.13. Çalışma alanı yağış indeksi ve kapladığı alanlar.....	99
Çizelge 4.14. Çalışma alanı mera kullanım yoğunluğu ve kapladığı alanlar.....	99
Çizelge 4.15. Çalışma alanı hayvan riski ve kapladığı alanlar.....	101
Çizelge 4.16. Çalışma alanı koruma önlemleri ve kapladığı alanlar.....	103

Çizelge 4.17.	Çalışma alanının alt havzalara göre dağılımı.....	104
Çizelge 4.18.	Farklı arazi kullanım türlerinin Landsat 7 ETM+ uydu verisi 3., 4. ve 7. bantlarından olan ortalama yansımaya değerleri.....	107
Çizelge 4.19.	Çalışma alanı arazi kullanım türleri ve kapladığı alanlar.....	111
Çizelge 4.20.	Çalışma alanı bitki indeksi ve yansımaya değerleri.....	111
Çizelge 4.21.	Çalışma alanı bitki yoğunluğu ve kapladığı alanlar.....	113
Çizelge 4.22.	Ana materyal sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.	115
Çizelge 4.23.	Tekstür sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	115
Çizelge 4.24.	Yapısal tehlike karşılaştırma tablosu.....	116
Çizelge 4.25.	Yapısal tehlike sınıfları ve sembolleri.....	116
Çizelge 4.26.	Toprak taşlılığı sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	117
Çizelge 4.27.	Yüzey aşınabilirliği karşılaştırma tablosu.....	117
Çizelge 4.28.	Yüzey aşınabilirliği sınıfları ve sembolleri.....	117
Çizelge 4.29.	Toprak derinliği sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	118
Çizelge 4.30.	Aşınabilirlik indisi karşılaştırma tablosu.....	118
Çizelge 4.31.	Aşınabilirlik indisi sınıfları ve sembolleri.....	118
Çizelge 4.32.	Eğim büyüklüğü sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	119
Çizelge 4.33.	Eğim uzunluğu sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	120
Çizelge 4.34.	Eğim etkisi karşılaştırma tablosu.....	120
Çizelge 4.35.	Eğim etkisi sınıfları ve sembolleri.....	120
Çizelge 4.36.	Yağış indeksi sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.	121
Çizelge 4.37.	Yağış etkisi karşılaştırma tablosu.....	121
Çizelge 4.38.	Yağış etkisi sınıfları ve sembolleri.....	121
Çizelge 4.39.	Potansiyel erozyon riski karşılaştırma tablosu.....	122
Çizelge 4.40.	Potansiyel erozyon riski sınıfları ve sembolleri.....	122
Çizelge 4.41.	Mera kullanımı sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	124
Çizelge 4.42.	Hayvancılık riski sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	124

Çizelge 4.43.	Sosyal eğilim riski karşılaştırma tablosu.....	124
Çizelge 4.44.	Hayvancılık etkisi sınıfları ve sembolleri.....	124
Çizelge 4.45.	Koruma önlemleri sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	125
Çizelge 4.46.	Sosyal eğilim riski karşılaştırma tablosu.....	125
Çizelge 4.47.	Sosyal eğilim indisi sınıfları ve sembolleri.....	125
Çizelge 4.48.	Arazi kullanım türü sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	126
Çizelge 4.49.	Bitki yoğunluğu sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller.....	126
Çizelge 4.50.	Bitki indisi karşılaştırma tablosu.....	126
Çizelge 4.51.	Bitki indisi sınıfları ve sembolleri.....	127
Çizelge 4.52.	Koruma düzeyleri karşılaştırma tablosu.....	127
Çizelge 4.53.	Koruma düzeyleri sınıfları ve sembolleri.....	128
Çizelge 4.54.	Net aşınma faktörü karşılaştırma tablosu.....	128
Çizelge 4.55.	Net Aşınma faktörü sınıfları ve sembolleri.....	128
Çizelge 4.56.	Şimdiki erozyon durumu karşılaştırma tablosu.....	129
Çizelge 4.57.	Şimdiki erozyon durumu sınıfları ve sembolleri.....	129
Çizelge 4.58.	Toprak kayıpları modeli A, C ve PH değerleri.....	131
Çizelge 4.59.	Toprak kayıpları modeli CC değerleri.....	131
Çizelge 4.60.	Toprak kayıpları modeli EHD değerleri.....	132
Çizelge 4.61.	Toprak kayıpları modeli MS, BD ve COH değerleri.....	132
Çizelge 4.62.	Toprak kayıpları modeli Et/Ec ve GC değerleri.....	132
Çizelge 4.63.	Toprak kayıpları modeli K değerleri.....	133
Çizelge 4.64.	Toprak kayıpları modeli S değerleri.....	134
Çizelge 4.65.	Yapısal tehlike sınıfları ve kapladığı alanlar	137
Çizelge 4.66.	Yüzey aşınabilirliği sınıfları ve kapladığı alanlar	137
Çizelge 4.67.	Aşınabilirlik sınıfları ve kapladığı alanlar	139
Çizelge 4.68.	Eğim etkisi sınıfları ve kapladığı alanlar	140
Çizelge 4.69.	Aşındırıcı sınıfları ve kapladığı alanlar	143
Çizelge 4.70.	Potansiyel erozyon risk sınıfları ve kapladığı alanlar	143

Çizelge 4.71.	Hayvancılık etkisi sınıfları ve kapladığı alanlar	146
Çizelge 4.72.	Sosyal eğilim sınıfları ve kapladığı alanlar	148
Çizelge 4.73.	Bitki indisi sınıfları ve kapladığı alanlar	149
Çizelge 4.74.	Koruma düzeyleri sınıfları ve kapladığı alanlar	150
Çizelge 4.75.	Şimdiki erozyon durum sınıfları ve kapladığı alanlar	154
Çizelge 4.76.	Yüzey akış sınıfları ve kapladığı alanlar	156
Çizelge 4.77.	Yağış etkisi ile parçalanma sınıfları ve kapladığı alanlar	157
Çizelge 4.78.	Yüzey akışla parçalanabilirlik sınıfları ve kapladığı alanlar.....	159
Çizelge 4.79.	Yüzey akış taşıma kapasitesi sınıfları ve kapladığı alanlar.....	161
Çizelge 4.80.	Toprak kayıpları sınıfları ve kapladığı alanlar.....	161
Çizelge 5.1.	Potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumuna göre oluşturulan korumada öncelik sınıfları.....	183
Çizelge 5.2.	Çalışma alanı için hazırlanan öneri sınıfları ve sınıfların özellikleri.....	186

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu.....	49
Şekil 3.2. Çalışma alanı iklim diyagramı.....	51
Şekil 3.3. Çalışma alanı ve kullanılan topoğrafik haritaların konumu.....	54
Şekil 3.4. Çalışmanın akış şeması.....	56
Şekil 3.5. Model akış şeması.....	57
Şekil 3.6. Haritaların karşılaştırılması işlemi.....	64
Şekil 3.7. Veri tabanlarının birleştirilmesi işlemi	64
Şekil 3.8. Birleştirilmiş veri tabanları ve kodları.....	65
Şekil 3.9. Veri tabanlarında sorgulama işlemi.....	66
Şekil 3.10. mMMF modeli akış şeması.....	68
Şekil 4.1. Çalışma alanının sayısal topoğrafik haritası.....	78
Şekil 4.2. Sayısal yükseklik modeli üzerine bindirilmiş Landsat 7 uydu verisinin 3. 4 ve 7 bant kombinasyonundan elde edilen zenginleştirilmiş görüntüsü.....	79
Şekil 4.3. Çalışma alanının yükseklik haritası.....	80
Şekil 4.4. Çalışma alanının eğim büyüklüğü haritası.....	82
Şekil 4.5. Çalışma alanının eğim yönü haritası.....	83
Şekil 4.6. Çalışma alanının eğim uzunluğu üniteleri ve poligon sayısı dağılımları.....	85
Şekil 4.7. Çalışma alanının eğim uzunluğu haritası.....	86
Şekil 4.8. Çalışma alanının sayısal toprak haritası.....	87
Şekil 4.9. Çalışma alanının büyük toprak gurupları haritası.....	88
Şekil 4.10. Çalışma alanının tekstür haritası.....	90
Şekil 4.11. Çalışma alanının taşlılık haritası.....	91
Şekil 4.12. Çalışma alanının toprak derinliği haritası.....	93
Şekil 4.13. Çalışma alanının sayısal jeoloji haritası.....	94
Şekil 4.14. Çalışma alanının ana materyal haritası.....	96
Şekil 4.15. Çalışma alanının yağış haritası.....	97
Şekil 4.16. Çalışma alanının mera kullanım haritası.....	100

Şekil 4.17.	Çalışma alanının hayvancılık haritası.....	101
Şekil 4.18.	Çalışma alanının koruma önlemleri haritası.....	102
Şekil 4.19.	Çalışma alanının zenginleştirilmiş görüntüsü ve alt havzaları (Landsat-7 ETM+ 3., 4. ve 7. bant kombinasyonları).....	104
Şekil 4.20.	Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 3. bantı yansıma histogramı.....	105
Şekil 4.21.	Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 4. bantı yansıma histogramı.....	106
Şekil 4.22.	Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 7. bantı yansıma histogramı.....	106
Şekil 4.23.	Arazi kullanım türlerinin Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 3., 4. ve 7. bantlarından olan ortalama yansıma değerleri.....	108
Şekil 4.24.	Çalışma alanının arazi kullanım türü haritası (11 sınıf).....	109
Şekil 4.25.	Çalışma alanının arazi kullanım türü haritası (5 sınıf).....	110
Şekil 4.26.	Çalışma alanının bitki yoğunluğu haritası.....	112
Şekil 4.27.	Derecelendirme metodu akış şeması.....	114
Şekil 4.28.	Çalışma alanının yapısal tehlike haritası.....	136
Şekil 4.29.	Çalışma alanının yüzey aşınabilirliği haritası.....	138
Şekil 4.30.	Çalışma alanının aşınabilirlik haritası.....	139
Şekil 4.31.	Çalışma alanının eğim etkisi haritası.....	140
Şekil 4.32.	Çalışma alanının aşındırıcı haritası.....	142
Şekil 4.33.	Çalışma alanının potansiyel erozyon riski haritası.....	144
Şekil 4.34.	Çalışma alanının hayvancılık etkisi haritası.....	145
Şekil 4.35.	Çalışma alanının sosyal eğilim haritası.....	147
Şekil 4.36.	Çalışma alanının bitki indisi haritası.....	149
Şekil 4.37.	Çalışma alanının koruma düzeyleri haritası.....	151
Şekil 4.38.	Çalışma alanının şimdiki erozyon durum haritası.....	153
Şekil 4.39.	Çalışma alanının yüzey akış haritası.....	155
Şekil 4.40.	Çalışma alanının yağmur damlası etkisi ile parçalanabilirlik haritası	157
Şekil 4.41.	Çalışma alanının yüzey akışla parçalanabilirlik haritası.....	158
Şekil 4.42.	Çalışma alanının yüzey akış taşıma kapasitesi haritası.....	160
Şekil 4.43.	Çalışma alanının toprak kayıpları haritası.....	162
Şekil 5.1.	Potansiyel erozyon riski çok şiddetli ve şiddetli olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	165

Şekil 5.2.	Potansiyel erozyon riski çok şiddetli, şiddetli ve orta şiddetli olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	166
Şekil 5.3.	Potansiyel erozyon riski yok olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	167
Şekil 5.4.	Yüzey taşlılığının potansiyel erozyon riski üzerine etkisini gösteren bir görünüm.....	168
Şekil 5.5.	Tüf ana materyali üzerinde oluşan toprakların taşınmasını gösteren zenginleştirilmiş uydu görüntüsü (5., 4., 3. bant kombinasyonları)...	169
Şekil 5.6.	Şimdiki erozyon durumu şiddetli ve orta olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	172
Şekil 5.7.	Şimdiki erozyon durumu hafif olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	173
Şekil 5.8.	Şimdiki erozyon durumu çok şiddetli ve yok olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	174
Şekil 5.9.	Şimdiki erozyon durumu erozyon yok olarak belirlenen bir alana ait görünüm.....	175
Şekil 5.10.	Yıllık toprak kaybı $0.10-0.50 \text{ kg/m}^2$ ve $10-50 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm.....	177
Şekil 5.11.	Yıllık toprak kaybı $0.25-0.50 \text{ kg/m}^2$ ve $0.50-0.75 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm.....	178
Şekil 5.12.	Yıllık toprak kaybı $0-0.0001 \text{ kg/m}^2$ ve $1-5 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm.....	179
Şekil 5.13.	Yıllık toprak kaybı $10-50 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm.....	180
Şekil 5.14.	Tarım alanlarında oluşan toprak kayıplarına ait bir görünüm.....	181
Şekil 5.15.	Korumada öncelikli alanları ve öncelik sınıfları.....	184
Şekil 5.16.	Öneri haritası ve sınıfları.....	187
Şekil 5.17.	Arazi bozulmasındaki sürekliliğin devamı sonucu oluşabilecek erozyon durum haritası.....	190
Şekil 5.18.	5 nolu havzadan seçilen test alanlarından biri.....	201
Şekil 5.19.	5 no'lu havzada yer alan test alanında (şekil 5.18) uydu verilerinin kontrol görüntüleri.....	202
Şekil 5.20.	Şekil 5.20. 5 no'lu havzada yer alan test alanının (şekil 5.18) doğu kısmına ait bir görünüm.....	203
Şekil 5.21.	Sulu tarım alanlarına ait bir görünüm.....	205
Şekil 5.22.	Maki türlerine ait bir görünüm.....	206

Şekil 5.23.	Pırnal meşesi ve köklerine ait bir görünüm.....	206
Şekil 5.24.	Çıplak alanlara ait bir görünüm.....	207
Şekil 5.25.	Landsat-7 ETM+ uydu verisinin 3., 4., 7. bant kombinasyonundan elde edilen görüntüdeki çıplak alanlara ait bir görünüm.....	207
Şekil 5.26.	mMMF modeli için gerekli verilerin sağlanması amacıyla geliştirilen yöntemin akış şeması.....	211



İÇİNDEKİLER	Sayfa
Öz.....	I
Abstract.....	II
Teşekkür.....	III
Simgeler ve Birimler Dizini.....	IV
Çizelgeler Dizini.....	IX
Şekiller Dizini.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Erozyon Oluşumunda Etkili Olan Faktörler.....	6
2.1.1. İklimin Etkisi.....	6
2.1.2. Toprak Özellikleri ve Ana Materyalin Etkisi.....	10
2.1.3. Topoğrafyanın Etkisi.....	13
2.1.4. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımının Etkisi.....	17
2.2. Erozyon Risk Haritalarının Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemler...	19
2.3. Toprak Kayıplarının Tahmininde Kullanılan Yöntemler.....	22
2.3.1. Morgan-Morgan Finney Metodu.....	23
2.3.2. WEPP.....	25
2.3.3. SEMMED.....	27
2.3.4. LISEM.....	29
2.3.5. EUROSEM.....	32
2.3.6. Modifiye Edilmiş Morgan-Morgan-Finney Metodu (mMMF).....	35
2.4. Erozyon Çalışmalarında Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanımı.....	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	48
3.1. Materyal.....	48
3.1.1. Çalışma Alanına Ait Bilgiler.....	48
3.1.1.1. Konum.....	48
3.1.1.2. İklim.....	49

3.1.1.3. Bitki Örtüsü.....	50
3.1.1.4. Toprak Özellikleri.....	51
3.1.1.5. Jeoloji.....	52
3.1.2. Temel Veriler.....	53
3.1.2.1. Uydu verileri.....	53
3.1.2.2. Topoğrafik haritalar.....	54
3.1.2.3. Jeolojik haritalar.....	54
3.1.2.4. İklim verileri.....	55
3.1.2.5. Havza raporları ve toprak haritaları.....	55
3.1.2.6. Diğer çalışma raporları ve araştırma sonuçları.....	55
3.2. Yöntem.....	55
3.2.1. Veri Girişi.....	58
3.2.2. Veri Üretimi.....	58
3.2.2.1. Sayısal topoğrafik harita.....	58
3.2.2.2. Sayısal yükseklik modeli.....	59
3.2.2.3. Sayısal toprak haritası.....	59
3.2.2.4. Sayısal jeolojik harita.....	60
3.2.2.5. Yağış haritası.....	60
3.2.2.6. Sosyal durum haritaları.....	60
3.2.2.7. Arazi kullanım haritası.....	61
3.2.2.8. Bitki yoğunluğu haritası.....	62
3.2.3. Veri Değerlendirme.....	62
3.2.3.1. Haritaların karşılaştırılması ve veri tabanının birleştirilmesi.....	63
3.2.3.1. Veri tabanında sorgulama.....	65
3.2.4. Erozyon Haritalarının Üretimi.....	67
3.2.5. Toprak Kayıplarının Tahmini.....	68
3.2.5.1. Yağış enerjisinin hesaplanması.....	69
3.2.5.2. Yüzey akışın hesaplanması.....	72
3.2.5.3. Yağış etkisiyle toprak zerrelerinin parçalanabilirliği.....	74
3.2.5.4. Yüzey akışla toprak zerrelerinin parçalanabilirliği.....	74

3.2.5.5. Yüzeş akışın taşıma kapasitesi.....	75
3.2.5.6. Toprak kayıplarının saptanması.....	75
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	77
4.1. Temel Haritalar.....	77
4.1.1. Sayısal Topoğrafik Harita.....	77
4.1.2. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM).....	78
4.1.3. Yükseklik Haritası.....	80
4.1.4. Eğim Büyüklüğü Haritası.....	81
4.1.5. Eğim Yönü Haritası.....	82
4.1.6. Eğim Uzunluğu Haritası.....	84
4.1.7. Sayısal Toprak Haritası.....	85
4.1.8. Toprak Tekstürü Haritası.....	89
4.1.9. Yüzeş Taşlılığı Haritası.....	90
4.1.10. Toprak Derinliği Haritası.....	92
4.1.11. Sayısal Jeolojik Harita.....	94
4.1.12. Ana Materyal Haritası.....	95
4.1.13. Yağış Yoğunluğu Haritası.....	96
4.1.14. Mera Kullanımı Haritası.....	99
4.1.15. Hayvan Otlatma Riski Haritası.....	99
4.1.16. Koruma Önlemleri Haritası.....	102
4.1.17. Arazi Kullanım Haritası.....	103
4.1.18. Bitki Yoğunluğu Haritası.....	111
4.2. Erozyon Derecelendirme Metodu.....	113
4.2.1. Potansiyel Erozyon Riski.....	113
4.2.1.1. Aşınabilirlik indisi.....	115
4.2.1.2. Aşındırıcı indisi.....	119
4.2.2. Şimdiki Erozyon Durumu.....	123
4.2.2.1. Sosyal eğilim indisi.....	123
4.2.2.2. Bitki indisi.....	125
4.2.2.3. Koruma düzeyleri.....	127

4.3. Toprak Kayıpları Denklemi.....	130
4.3.1. Çalışma Alanı Yağış Enerjisi Değerleri.....	131
4.3.2. Çalışma Alanı Yüzey Akış Değerleri.....	132
4.3.3. Yağmur Damlası Etkisiyle Toprak Zerrelerinin Parçalanabilirliği.....	133
4.3.4. Yüzey Akışla Toprak Zerrelerinin Parçalanabilirliği.....	133
4.3.5. Yüzey Akış Taşıma Kapasitesi Değerleri.....	134
4.3.6. Erozyon Oranları.....	135
4.4. Erozyon Haritaları.....	135
4.4.1. Potansiyel Erozyon Riski Haritası.....	135
4.4.1.1. Yapısal tehlike haritası.....	135
4.4.1.2. Yüzey aşınabilirliği haritası.....	137
4.4.1.3. Aşınabilirlik haritası.....	138
4.4.1.4. Eğim etkisi haritası.....	140
4.4.1.5. Aşındırıcı haritası.....	141
4.4.2. Şimdiki Erozyon Durumu Haritası.....	144
4.4.2.1. Hayvancılık etkisi haritası.....	145
4.4.2.2. Sosyal eğilim haritası.....	146
4.4.2.3. Bitki indisi haritası.....	148
4.4.2.4. Koruma düzeyleri haritası.....	150
4.4.3. Toprak Kayıpları Haritaları.....	154
4.4.3.1. Yüzey akış haritası.....	154
4.4.3.2. Yağış etkisiyle toprak zerrelerinin parçalanabilirlik haritası.....	156
4.4.3.3. Yüzey akışla toprak zerrelerinin parçalanabilirlik haritası.....	158
4.4.3.4. Yüzey akışın taşıma kapasitesi haritası	159
4.4.3.5. Toprak kayıpları haritası.....	160
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	164
5.1. Potansiyel Erozyon Riski Haritasının Değerlendirilmesi.....	164
5.2. Şimdiki Erozyon Durum Haritasının Değerlendirilmesi.....	171

5.3. Toprak Kayıpları Haritasının Değerlendirilmesi.....	176
5.4. Korumada Öncelikli Alanlar, Öneri Haritaları ve Senaryolar.....	182
5.5. Çalışmada Kullanılan Parametrelerin Değerlendirilmesi.....	191
5.6. CBS Kullanımının Değerlendirilmesi.....	195
5.7. Uydu Verileri Kullanımının Değerlendirilmesi.....	199
5.8. Kullanılan Modellerin Değerlendirilmesi.....	208
5.9. Çalışmanın Genel Değerlendirilmesi ve Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler.....	212
KAYNAKLAR.....	217
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

1. GİRİŞ

Toprak, yeryüzünde yaşayan tüm canlılara çeşitli yönleriyle fayda sağlamakta, canlılara bu faydaları sağlarken doğal koşullar altında kendini yenilemekte ve sürekliliğini korumaktadır. Ancak insanların artan gereksinimlerini karşılamak amacıyla toprağı doğasına aykırı kullanımı toprak ve toprakla ilişkili tüm varlıklar için bir çok tehlikeyi de birlikte getirmektedir.

Günümüzde ulaşılan yüksek teknolojiye rağmen yapay olarak üretilmesi mümkün olmayan ve yenilenmesi binlerce yıllık bir süreç gerektiren topraklar, insanların tarımsal faaliyetlere başlamasıyla ortaya çıkan ve gerekli önlemlerin alınmaması halinde artarak devam eden erozyonla yok olmaktadır. Bu olay toprakla ilişkili olarak insanlığın karşılaştığı en eski ve en tehlikeli sorunların başında yer alır. Bu bozulmanın yaygın olarak karşılaşılanı ise su erozyonudur.

Erozyonun oluşumunda tek etken insanlar değildir. İnsanlar zaten var olan ancak doğanın kontrol ettiği ve toprak oluşumunda olumlu bir unsur olan aşınma/birikme olayını kontrolsüz ve olumsuz bir olgu haline dönüşmesinde başlangıcı oluşturan güçtür. Su erozyonun oluşumunda temel etkenler; yağışın miktarı, yoğunluğu ve çeşidinin bileşeni olan aşındırıcı, toprakların sahip oldukları özneliklerinin yansıması olan aşınabilirlik, toprakların üzerinde yer aldıkları doğal yüksekliklerin konumu, şekli ve yoğunluğunun bileşeni olan topoğrafya ve herhangi bir topoğrafya üzerinde yer alan toprağın aşındırıcı etkisine karşı korunabilirliğinin göstergesi olan bitki örtüsüdür.

Erozyonun nasıl ve ne zaman oluştuğunu anlamak için erozyon oluşumunu kontrol eden yağış, toprak özellikleri, topoğrafik özellikler, bitki örtüsü ve insanların toprakları yönetimine ait uygulamalar gibi faktörlerin birbirleri ile olan ilişkisinin ve etki derecesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bu güne kadar laboratuvar yada arazi koşullarında toprak kayıplarını tahmin etmek üzere bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda değişkenler kaydedilmiş, en uygun ilişkiler korelasyon ve regresyon analizlerini içeren istatistik metotlarıyla araştırılmıştır. Ancak bu çalışmalarda ortak sonuçlardan çok birbirinden farklı olan ilişkiler ortaya konulmuştur (Morgan, 1991).

Bu sonuçlar, erozyonun belirlenmesi ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde kullanılacak değerlerin küresel çalışmalar yerine bölgesel çalışmalardan sağlanması gerekliliğini ortaya koymuştur. Ayrıca noktasal örnekleme ile yapılan çalışmalarda, erozyon oluşturan faktörlerin erozyon oluşumuna etkisi açıklanmış ve matematiksel denklemler kullanılarak toprak kayıplarının tahmin edilmesine yönelik yöntemler geliştirilmiştir.

Erozyon çalışmalarının temelini oluşturan arazi ölçümleri yada laboratuvar koşullarında yapılan deneyler ile desteklenen matematiksel toprak kayıp denklemlerinin hazırlanmasından sonra noktasal verilerin yayılım alanlarının belirlenmesi bir başka değişle noktasal verilerle elde edilen sonuçların kapladığı alanları belirlemeye yönelik yöntemler üzerinde durulmuştur. Böylece erozyon oluşan alanların yada erozyon riski bulunan alanların belirlenmesi ve sınırlarının çizilmesine ait çalışmalar başlamıştır. Bu haritalama çalışmalarda matematiksel denklemlerin kullanımının yanında derecelendirme ve modelleme çalışmaları da yapılmıştır. Bu çalışmalarda özellikle erozyonun mekanizmasını oluşturan parçalanma ve sürüklenme olaylarının modellenmesinde, bu olayları kontrol eden iklim, toprak ve topoğrafik özellikler ve bitki örtüsünün durumu üzerine temellendirilmiştir. Araştırmacıların bu uygulamalara yönelmesinin temel nedeni; arazi koşullarında toprak kaybının ölçülmesi için harcanan sürenin ve parasal kaynağın yüksek olması ve doğru sonuçların belirlenmesi için ölçüm işlerinin süreklilik gerektirmesi, laboratuvar koşullarında yapılan simülasyon çalışmalarının ise doğal koşulları yansıtmamasıdır.

Son yıllarda teknolojideki gelişmeler tüm alanlarda olduğu gibi erozyon çalışmalarında da bir çok kolaylıklar sağlamıştır. Bu kolaylıkların başında laboratuvar koşullarının daha kontrollü hale getirilmesi, arazi çalışmalarında otomasyona sahip ölçüm cihazlarının kullanımı yer almaktadır. Bu gelişmeler erozyon çalışmalarında gerekli insan gücünü azaltmakta ancak, bu çalışmalar için gerekli parasal kaynağı artırmaktadır.

Teknolojideki gelişmeler erozyonu belirlemede kullanılan modeller için gerekli olan parametrelerin sayısal katmanlar halinde depolanarak matematiksel ilişkiler yardımıyla tahmin edilmesine yardım etmektedir. Bu gün ilk erozyon tahmin

modeli olan USLE için gerekli parametrelerin büyük çoğunluğu bu yolla ve yüksek bir doğruluk derecesi ile tahmin edilebilmektedir.

Erozyon oluşumunu kontrol eden faktörlerin belirlenmesinde ve özellikle birbirleri ile ilişkilendirilmesinde de teknolojik yeniliklerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunların başında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama Metodu (UA) yer almaktadır. Bilgisayar ortamına aktarılan verilerin harita katmanları halinde depolanmasına ve bu katmanların birbirleri ile ilişkilendirilmesine olanak sağlayan coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı erozyonla oluşan toprak kayıplarının tahmin edilmesinde, erozyon riski taşıyan alanların belirlenmesinde ve haritalanmasında yerini almıştır. Ayrıca bu sistemler erozyon oluşumunu kontrol eden faktörlerin sanal ortamda modellenmesine olanak sağlamıştır. Büyük havzalarda bile binlerce veriyi birbirleri ile ilişkilendirebilen, matematiksel denklemleri, derecelendirme tablolarını ve modelleme işlemini çok kısa sürede gerçekleştirebilen grafik tabanlı bu sistemler için verilerin bir bölümünün uzaktan algılama metodolojisi ile elde edilmesi, araştırmacıların erozyon çalışmalarını bu yöntemleri kullanarak yapmasına ve kontrolleri test alanları için gerçekleştirmesine yöneltmiştir.

Erozyon risk haritalarının belirlenmesinde ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde çalışma için harcanan giderlerin ve çalışma süresinin azaltılması, çalışmanın doğruluğunun artırılması ve yapılan çalışmaların gelecekte güncellenmesi için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı büyük avantajlar sağlamıştır. Böylece bu sistemler yardımıyla erozyon oluşan alanların özelliklerinden erozyon oluşmayan alanların sahip olduğu risklerin belirlenmesi, korumada öncelikli bölgelerin bulunması ve erozyon yatırımlarının sonuçlarının izlenmesi yapılabilmektedir.

Ayrıca bu sistemler farklı verilerin kullanılmasına, farklı ölçekte ve detayda çalışmaların yapılmasına ve farklı modellerin kurulmasına olanak sağlamakta, aynı veriler ile kurulan farklı modellerin karşılaştırmalarının yapılmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Türkiye, topoğrafik yapısı ve yağış karakteristiği nedeniyle erozyonun şiddetli olarak görüldüğü ve yoğun risk altında yer aldığı topraklara sahiptir.

Türkiye’de 66.576.042 ha alan su erozyonu, 330.000 ha alan ise rüzgar erozyonunun tehdidi altındadır. Türkiye topraklarının % 7’sinde hafif, % 20’sinde orta, % 36’sında şiddetli ve % 28’inde çok şiddetli erozyon olduğu belirtilmektedir (Özden, 2000).

Türkiye’de erozyon tehlikesi altında bulunan toprakların % 99’unda erozyon çeşidi su erozyonudur. Su erozyondan kaynaklanan zararlar ise iki yönlü olarak oluşmaktadır. Bunlardan birincisi bitkisel üretimde verimlilik için temel unsur olan üst toprağın aşınması, ikincisi ise aşınan toprakların taşınarak tarım arazilerinde, su yataklarında, kanallarda, baraj ve göl rezervuarlarında birikmesidir.

Taşınan toprakların birikmesi tarım arazilerinde verimliliği düşürmekte, su yataklarının ve kanallarının topraklarla dolmasına ve taşkınlara neden olmakta, barajlarda yapı ömrünü kısaltmakta ve göl rezervuarlarını doldurarak göl suyunun kullanımını etkilemekte, göllerdeki doğal hayatı ve göllerin ömrünü tehdit etmektedir (Akalan, 1974).

Eğirdir gölü Türkiye’nin 4., göller bölgesinin ise 2. büyük gölüdür. Eğirdir gölü, Isparta ilini de kapsayan bir çok yerleşim birimi için içme suyu, tarım alanları için de sulama suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Gölden alınan sularla 45.881 ha tarım alanı sulanmaktadır (Altınbilek, 1998). Eğirdir gölünden geçmiş yıllarda sulama suyu temini ve gölün mansabında yer alan Kovada I ve II HES’lerden enerji üretimi için faydalanılmıştır. 1997 yılından itibaren ise Isparta iline içme-kullanma amaçlı yıllık 30 hm³’lük su verilmektedir. Eğirdir gölü su potansiyelinden faydalanılarak doğrudan gölden pompajla çekilen sulama amaçlı su miktarı 1992 yılı rakamlarına göre 109 hm³’e ulaşmıştır. Göl yöre halkı için balıkçılık kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca göl ve çevresi bitki ve kuş türleri yönüyle doğal zenginliğe sahip turizm bölgesidir (Çakmak, 1998).

Son yıllarda iklimdeki kuraklığa paralel olarak göldeki su miktarının azaldığı, buna rağmen göl alanının sedimentlerle dolduğu ve gün geçtikçe daraldığı yerel yönetimler tarafından belirtilmektedir. Ancak oluşan erozyon zararının miktarı ve şiddeti konusunda hiçbir bilgi bulunmamaktadır. Hem gölün hem de göl havzasında bulunan toprakların korunması ve uygun kullanımlarla değerlendirilmesi için gerekli bilgiler, göl havzasında erozyon durumunun belirlenmesi ve haritalanması, göle

taşınan toprak miktarının tahmin edilmesi ile sağlanabilecektir. Bu gereklilik tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

Çalışma, Eğirdir gölü su toplama havzasını kapsamaktadır. Çalışma kapsamında erozyon oluşumunda etkili olan faktörlerin birer harita katmanları halinde sayısal ortamda depolanması, ilişkilendirilmesi, karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yer almaktadır.

Tez çalışması, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla çalışma alanı için mevcut bulunan haritalar, araştırma raporları, meteorolojik veriler ve istatistik bilgileri kullanılarak potansiyel erozyon riski, şimdiki erozyon durumu haritalarının oluşturulması ve bu haritalarla oluşturulan veri tabanları yardımıyla toprak kayıplarının tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla havza-ölçekli vektör/çizgi tabanlı sayısal bir erozyon modeli geliştirilmiştir.

Çalışma ile uzun yıllardan beri bölgeye hayat veren Eğirdir gölünün ve göl havzasındaki toprakların korunması için uygulayıcılara temel materyal hazırlanması, havza planlayıcılarına ve erozyon koruma uygulayıcılarına korumada öncelikli alanların belirlenmesi konularında yön vermesi amaçlanmıştır. Modelin göller bölgesinde yer alan diğer göl havzaları için de uygulanabilir özellikte olmasına çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Erozyon Oluşumunda Etkili Olan Faktörler

Erozyon parçalanma, taşınma ve birikme olayları olmak üzere üç aşamalı bir mekanizmaya sahiptir. Bu olayları kontrol eden faktörler ise iklim, toprak ve topoğrafik özellikler, bitki örtüsü ve arazi kullanımudur. Erozyonun oluşma zamanı, şiddeti ve erozyonla taşınan toprak miktarı bu faktörlerin etkisi altındadır. Erozyon oluşumunun mekanizmasını açıklamak, erozyon oluşum süreci ve erozyonla taşınan toprak miktarını belirlemek amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaları dört ana başlık altında toplamak mümkündür.

2.1.1. İklimin Etkisi

Su erozyonunda rüzgar, sıcaklık ve nispi nem gibi iklimin diğer öğeleri de etkili birer faktör iseler de temel öge yağıştır. Toprak kaybı, yağmur damlasının toprak zerrelerini koparmada ve yüzey akışa katkı sağlamasındaki etkiler olmak üzere yağış ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle erozyonun oluşumunda en etkili iklim faktörü yağış yoğunluğudur. Yağış yoğunluğunun toprak kaybı üzerine etkisinin araştırıldığı ve Morgan'ın (1991) yağış yoğunluğu ile toprak kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren en çarpıcı örnek olarak nitelendirdiği bir çalışma, Fournier tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, 183 farklı iklim istasyonundan ölçüm yapılmış, yapılan ölçümler sonucunda 5 dakikada oluşan yağış miktarındaki 5 katlık bir artışın toprak kaybında 13 katlık artışa neden olduğu belirtilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Yağış yoğunluğu ve toprak kaybı arasındaki ilişki (Morgan,1991).

Maksimum 5 dk. yoğunluk (mm/ha)	Yağışın yağma sayısı	Ortalama toprak kaybı (kg/m ²)
0-25.4	40	0.37
25.4-50.8	61	0.60
50.9-76.2	40	1.18
76.3-101.6	19	1.14
101.7-127.0	13	3.42
127.1-152.4	4	3.63
152.5-177.8	5	3.87
177.9-254.0	1	4.79

Yağışın aşındırıcı etkisinin en uygun ifadesi yağışın kinetik enerjisi üzerine temellendirilmiştir. Bir yağışın aşındırıcı etkisi yağış yoğunluğu, süresi, yağmur damlasının kütlesi, çapı ve hızının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ilişki Wishmeier ve Smith (1958) tarafından,

$$KE=11.87 + 8.73 \log_{10} I \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada I yağış yoğunluğu (mm/ha), KE kinetik enerji ($J/m^2/mm$) dir.

Bazı araştırmacılar bu eşitliği kendi bölgelerine uyarlamıştır. Nitekim Zanchi ve Torri, İtalya için (Akdeniz iklim tipi);

$$KE=9.81 + 11.25 \log_{10} I \quad (2.2)$$

Coutinho ve Tomas, Portekiz için (Batı Akdeniz iklimi);

$$KE=35.9(1 - 0.56 e^{-0.034 I}) \quad (2.3)$$

Onaga ve ark., Japonya için (Doğu Asya iklimi);

$$KE=9.81 + 10.60 \log_{10} I \quad (2.4)$$

olarak düzenlemişlerdir (Morgan, 2001).

Türkiye'nin çeşitli bölgeleri için de KE değerleri belirlenmiştir. Türkiye'de yer alan 60 rasat istasyonunun 25 yıllık (1957-1982 yılları arası) verilere göre yağış erozyon indeksleri, aylık dağılımları, yıllık eklenik verileri Doğan (1987) tarafından yapılan bir çalışmada belirlenmiştir. Bu çalışmada yağışların birim kinetik enerjileri;

$$Eu=210.3 + 89 \log_{10} I \quad (2.5)$$

yağışların toplam kinetik enerjileri;

$$E=Eu \times h \quad (2.6)$$

uniform yoğunluktaki yağışların kinetik enerjileri;

$$I = \frac{hx60}{t} \quad (2.7)$$

yağışın erozyon indeksi;

$$ExI = \frac{ExI}{100} \quad (2.8)$$

eşitliklerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Burada verilen değişkenlerden;

E =Toplam kinetik enerji (ton-m/ha)

Eu =Birim kinetik enerji (ton-m/ha/cm)

h =Yağış miktarı (cm)

I =Yağış yoğunluğu (cm/h)

t =Yağış süresi (dakika)

olarak kullanılmıştır.

Bazı araştırmacılar, havza bazında büyük alanlar için erozyon tahminleri yaparken yıllık yağış yoğunluğunu kullanmaktadırlar. Drake ve ark. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, erozyonla oluşan toprak kayıplarını belirlemek üzere hazırlanan matematiksel bir denklemde yağış katsayısı yıllık toplam yağışın yağışlı günlere bölümünden hesaplanmıştır.

Yağış ile oluşan toprak kayıpları arasındaki ilişki bir çok araştırmacı tarafından gerek laboratuvar gerekse arazi çalışmalarında belirlenmiştir. Bu çalışmalardan birinde Fox ve Bryan (1999), Kanada Güney Ontarionun Gri Kahverengi Luvisollerini (% 50 kum, % 20 silt ve % 28 kil) kullanarak 100 x 40 x 10 cm'lik yapay alanlarda yaptıkları yağış denemelerinde yağış özellikleri ile toprak kayıpları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmada Fluvisollerin A horizonundan alınan topraklar 2 cm kalınlığında ve yoğunluğu 1.29 gr/cm³ olacak şekilde kolonlara yerleştirilmiştir. Yağış yoğunluğu 38.2-56.3 mm/saat arasında olmak üzere ortalama 49.1 mm'lik yapay yağış uygulanmıştır. Çalışma sonunda yağışla oluşan toprak kayıplarının parçalanma oranı ile sınırlandırıldığı bir başka ifadeyle, toprak kaybının yağışın çarpma etkisiyle oluşan parçalanmayı geçmediği ve elde edilen eşitliğinde bu kurala göre hazırlanması gerekliliği belirtilmiştir. Benzer bir laboratuvar çalışmasında

Römkens ve ark. (2001), farklı yağış yoğunluğunun çeşitli eğimlerde toprak kaybına olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla laboratuvar simülasyonunda 3.7 x 0.61 x 0.23 m'lik deneme blokları kullanılmıştır. Çalışmada % 18 kil, % 80 silt ve % 2 kum içeren Grenada siltli tınının Ap horizonundan alınan topraklar kullanılmış ve kolonları % 2, % 8 ve % 17 eğimde yerleştirilmiş, 15, 30, 45 ve 60 mm/h yoğunlukta fırtına oluşturacak yağış uygulanmıştır. Çalışma sonunda toplam sediment miktarının tüm yağış uygulamalarında ve tüm eğimlerde artış gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 2.2'de bu araştırma sonucunda belirlenen toprak kayıpları (kg/m²) verilmiştir.

Çizelge 2.2. Eğim büyüklüğü ve yağışın erozyon üzerine etkisi (Römkens ve ark., 2001)

Yağış Yoğunluğu (mm/h)	Eğim büyüklüğü		
	% 2	% 8	% 17
15	0.01	0.01	0.05
30	0.13	0.08	1.74
45	0.19	0.24	1.89
60	0.40	0.67	1.44
Toplam	0.73	1.00	5.12

Ayrıca bu çalışma sonunda yüzey topoğrafyasının toprak kayıplarıyla ilişkili olarak drenaj desenini etkilediği, yağış öncesi düzgün yüzeye sahip toprakların pürüzlü yüzeye sahip topraklara göre daha az toprak kaybına sebep olduğu belirtilmiştir.

Wang ve ark. (2001), RUSLE-R aşındırıcı faktörünün jeostatistik metodlar yardımıyla belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma Amerika'nın bir çok eyaletinde Gaussian simülasyon modeli ile yürütülmüştür. Toplam 247 iklim istasyonuna ait 26 yıllık verilerin kullanılarak yapılan çalışmada yağış enerjisini belirlemek için Wisniewski (1978) denkleminde yararlanılmıştır. R faktörünün belirlenmesi için ise N yıllık dönem içerisinde oluşan fırtınalı yağışlar için elde edilen E30 değerleri toplamının ortalaması olarak düşünülmüş ve aşağıdaki gibi formüllendirilmiştir.

$$R = \sum_i^j \frac{(EI30)}{N} \quad (2.9)$$

$R=K$ faktörü

N =Yıllar toplamı

Çalışma sonucunda, yıllık ve mevsimlere bağlı R değerleri belirlenmiştir. Belirlenen R değerleri ile geleneksel olarak eşyağış eğrileri ve aşınabilirlik eğrileri ile bulunan değerler arasında bir ilişki ($r^2=0.89$) bulunmuştur. Bu çalışmada, jeostatistik metodları ile belirlenen R faktörünün yağış istasyonları arasında kalan alanlar için kullanılabileceği belirtilmiştir (Wang ve ark., 2002).

2.1.2. Toprak Özellikleri ve Ana Materyalin Etkisi

Toprak tekstürü, strüktür stabilitesi, organik madde içeriği, kil miktarı ve mineralojisi erozyon oluşumunda etkili olan toprak özellikleridir (Lal, 1994). Büyük parçalar taşınmaya, küçük parçalar ise parçalanmaya karşı dirençlidir. En az dirençli zerreler siltler ve ince kumlardır. Richter ve Negendank (1977) yaptıkları çalışmada % 40-60 arasında silt içeren toprakların en fazla aşınabilir topraklar olduğunu ortaya koymuşlardır. Evans (1980) ise kil içeriği ile aşınabilirlik arasında ilişki kurmuştur. Ancak kil içeriğinin aşınabilirlik ile ilişkisi organik maddenin varlığı nedeni ile teorik olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte organik madde miktarı % 2'den az olan toprakların aşınabilir olarak düşünülebileceği vurgulanmıştır. Yer yüzündeki toprakların çoğu % 15'den daha az organik madde içermektedir. Bir genelleme ile kumlu ve kumlu tın tekstürlü topraklar % 2'den daha az organik madde içerirler. Voroney van Veen ve Paul (1981)'a göre % 10'dan fazla organik madde içeren topraklarda organik maddedeki artışa paralel olarak aşınabilirlik doğrusal olarak azalmaktadır (Lal, 1994).

Figueiredo ve Poesen (1998), toprak yüzeyinde bulunan taşların erozyon oluşumuna etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, 612 cm²'lik metal bloklar ile yaptıkları bu çalışmada toprak yüzeyini % 17, % 30 ve % 66 oranında kum taşları ile örtmüşlerdir. Bu blokları % 10 eğimde ve 240 mm'lik doğal yağış altında bırakmışlardır. Çalışma sonunda yüzey taşlılığı ile infiltrasyon arasında pozitif ilişki, yüzey akışı ve akışla taşınma arasında negatif ilişki belirlenmiştir. Bu sonuçlarla

yüzeyde yer alan taşların yağmurun çarpma etkisini ve yüzey akış oranını engellediği belirlenmiştir.

Taysun ve ark. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada yüzeydeki taş örtüsü ile yüzey akış ve toprak kayıpları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla 7.3 x 1.7 m'lik 43 farklı parsele yılın farklı zamanlarında yapay yağış uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yüzeyde bulunan taş örtüsündeki artışın toprak kayıplarında bir azalmaya neden olduğu belirlenmiş ve çeşitli modellere göre bu ilişkilerin denklemleri hazırlanmıştır.

Toprak oluşum sürecinde diğer çevresel faktörlerle birlikte oluşan toprağın sahip olduğu özellikler üzerine etkili olan toprak ana materyali, dolaylı olarak toprakların aşınabilirliği üzerine de etkili bir faktördür. Özdemir ve ark. (1998) tarafından Urfa ve civarında yapılan bir çalışmada, toprak ana materyalinin erozyona duyarlılığı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda erozyona duyarlılık bakımından en hassas olan kireçtaşı ana materyali olduğu ve bunu marn, aluviyal ve bazaltların takip ettiği ortaya konulmuştur. Toprak ana materyalinin erozyona olan etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, Cerda (1999) marn, kil, kireçtaşı ve kumtaşı ana materyali üzerinde oluşmuş toprakların % 20'den az, % 40-60 ve % 80-100 oranında bitki örtüsüne sahip olduğu şartlarda aşınabilirliğini kontrol etmiştir. Araştırmacı bu çalışmayı bir simülatör ile gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda vejetasyon oranındaki artışın infiltrasyonu artırdığı ve yüzey akışla taşınan toprak miktarını azalttığı belirtilmiştir. Çıplak topraklarda oluşan infiltrasyonun 3-55 mm/ha ve oluşan toprak kaybı 0-3720 gr/m²/ha, vejetasyon örtüsüne sahip topraklarda bu oranlar 53-55 mm ve 0-6 gr/m²/ha olarak bulunmuştur. Ana materyal ile erozyon arasında ise belirgin bir ilişki belirlenmiştir. Buna göre; erozyonun en fazla marn ana materyali üzerinde oluşan topraklarda meydana geldiği, bunu sırayla kil, kireçtaşı ve kumtaşı ana materyali üzerinde oluşan toprakların izlediği belirtilmiştir. Ana materyale bağlı olarak oluşan toprak kayıpları ise marn için 0-3720 gr/m²/ha, kil ve kireçtaşı için 0-131 gr/m²/ha ve kumtaşı için 0-29 gr/m²/ha olarak belirtilmiştir.

Ana materyal ile toprak kayıpları arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir diğer çalışmayı Kosmas ve ark. (2000), Yunanistan'ın Lesvos bölgesinde yürütmüşlerdir.

Çalışmada volkanik, piroklastik, şist ve şeyl ana materyali üzerinde oluşmuş 106 farklı toprak serisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda 40-45 yıldır tarım yapılmayan bu toprakların ana materyal çeşidine bağlı olarak organik madde ve agregat stabilitesinin arttığı, böylece erozyona karşı duyarlılığın azaldığı belirlenmiştir. Bu ana materyaller içerisinde erozyona karşı duyarlılığı en az olanın ise piroklastik olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, bu gibi alanlarda toprak derinliğinin 25-30 cm olması halinde oluşan doğal bitki örtüsü ile erozyona karşı korunabildiği ancak derinliğin 10 cm'nin altına düşmesi halinde ise geri dönüşümün mümkün olmadığı, toprakların kısa sürede aşınarak yok olduğu ve ana materyale bağlı olarak aşınmanın devam ettiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada toprak derinliği ve vejetasyon örtüsü arasında bir ilişki belirlenmiştir. Bu ilişkiye göre, toprak derinliği çok sığ (0-15 cm) ve sığ (15-30 cm) olan şiddetli ve çok şiddetli erozyona uğrayabilirlik özelliğe sahip bu alanlarda vejetasyonun çok zayıf olduğu, orta sığ (30-50 cm) ve orta derin (50-100 cm) korunmuş alanların ise zeytin gibi yarı doğal vejetasyon ve orman örtüsü altında bulunduğu belirlenmiştir.

Veihe ve ark. (2000), toprak yüzeyinde bulunan taşların ve kayaların varlığının erozyona olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Monte Carlo simülasyonu kullanarak EUROSEM modelini uygulamışlardır. Çalışma sonunda yüzeyde bulunan taş ve kaya parçalarının toplam yüzey akışı, pik akış oranı, toplam toprak kaybı ve pik sediment oluşumu üzerine etkili olduğu, bunun EUROSEM modelinde kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca yüzeyde yer alan kaya parçalarının özellikle dere yollarında çok etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Sheridan ve ark. (2000), aşınabilirlik ve erozyonun modellenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kesin ölçülebilen özelliklerden elde edilen verilerle erozyon tahmini için aşınabilme faktörünü belirlemek amaçlanmıştır. 34 farklı toprak çeşidi üzerine yapılan bu çalışmada agregat stabilitesi, atterberg limitleri, kütle yoğunluğu, katyon değiştirme kapasitesi, dispersiyon oranı, elektrik geçirgenliği, değişebilir sodyum oranı, organik karbon içeriği, pH, tekstür, tarla kapasitesi ve solma noktası kullanılmıştır. Bu özellikler ile erozyon oluşumu arasında regresyon analizi yapılmıştır. % 5, 10, 15, 20, ve 30 eğim için bu özellikler ile

sediment verimi arasında ilişki belirlenmiştir. Bu ilişkinin % 5 eğim için en düşük, % 30 eğim için en yüksek olduğu belirtilmiştir.

Duiker ve ark. (2001) farklı topraklarda oluşan erozyon oranlarını incelemiştir. Bu amaçla farklı ana materyal üzerinde oluşmuş ve Akdeniz iklim kuşağının yaygın toprakları olan *Calcic Palexeralf (Chromic Luvisol)*, *Aquic Palexeralf (Eutric Planosol)*, *Fluventic Xerochrept (Eutric Cambisol)*, *Calcixerollic Xerochrept (Calcaric Cambisol)* ve *Typic Haploxerert (Calcaric Vertisol)* toprakları kullanarak bir kolon denemesi yapmışlardır. Çalışma sonunda hem kurak dönem hem de yağışlı dönem simülasyonlarında en fazla erozyona uğrayan toprakların Fluventler olduğu saptanmıştır. Bu durumun infiltrasyon oranı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Vertisollerin yüzeylerinde yer alan çatlakların infiltrasyon oranını artırdığı ve bu nedenle Vertisollerde en az erozyona uğrayan topraklar olarak belirlenmiştir. Ancak arazi şartlarında yağışlı dönem için Vertisollerin burada belirlendiğinden daha fazla erozyona uğrayabileceği işaret edilmiştir. Inceptisoller ve Alfisollerin benzer erozyon etkisine sahip olduğu ve Vertisollere göre daha fazla toprak kaybına uğradığı belirtilmiştir. Bu çalışmada kaydedilen toprak kayıpları ile USLE ve WEPP modelleri ile hesaplanan toprak kayıpları karşılaştırılmıştır. Çalışmada WEPP modeli ile belirlenen toprak kayıplarının ölçülen değerlere göre daha fazla olduğu belirlenmiş ve WEPP modelinde yer alan *K* katsayısının Akdeniz iklim tipi toprakları için düzeltmelere gereksinim gösterdiği belirlenmiştir.

2.1.3. Topoğrafyanın Etkisi

Erozyon oluşumu, eğim büyüklüğü, eğim uzunluğu, rölyef-mikro rölyef ve yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili bir olaydır. Ancak bu özelliklerden eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu temel etken olmaktadır. Eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğundaki artış yüzey akışa geçen su miktarını ve akışa geçen suyun hızını artırmaktadır. Sonuçta erozyon oluşumunda da bir artış oluşmaktadır.

Erozyon ve eğim arasındaki ilişki;

$$Q_{s\infty} \tan^m \theta L^n \quad (2.10)$$

eşitliği ile ifade edilmiştir. Burada θ eğim açısı, L eğim uzunluğunu belirtmektedir. Bu eşitlikte yer alan m ve n katsayılarını belirlemek üzere birçok alan çalışması ve laboratuvar denemeleri yapılmış, farklı arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğuna göre çeşitli değerler belirlenmiştir (Morgan, 1991).

Eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu arasındaki ilişki Wisheier ve Smith (1978) tarafından USLE eşitliği için;

$$LS = (1/22.13)^m \frac{(0.043 \times x^2 + 0.3x + 0.43)}{6.613} \quad (2.11)$$

olarak belirlemiştir.

Bu eşitlikte yer alan m katsayısı % 1 den daha az eğimler için 0.2, % 1-3 eğim için 0.3, % 3-5 eğim için 0.4 ve % 5'den daha büyük eğimler için ise 0.5 olarak kullanılmaktadır.

Eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu ile ilgili olarak Millward ve ark. (1999), Meksika'da Sierra de Manantlan rezerv alanında yer alan Zentzonla bölgesinin toprak kayıplarını RUSLE metoduna göre belirlemiştir. Model için gerekli verilerden topoğrafik özellikler 1:50.000 ölçekli topoğrafik haritada yer alan eşyüksekti eğrilerinden her 20 m'de geçenlerin sayısallaştırılmasıyla oluşturulan yükseklik modelinin 3x3'lük ortalama (mean) filtre kullanarak küçük parçaları elemine edilmesiyle sağlanmıştır. Yağış özellikleri yağış istasyonlarından yapılan ölçümlerden, toprak özellikleri ise 1:50.000 ölçekli toprak haritasından sağlanmıştır. Vejetasyona ait bilgiler Landsat TM verisinin 1., 2., 4., 5. ve 7. bantlarını kullanarak yapılan sınıflandırma ve NDVI'den sağlanmıştır. Bu çalışmada RUSLE metodu için gerekli olan parametreler CBS ortamında katmanlar halinde depolanarak ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada gerekli olan eğim faktörü; (Nearing, 1997)

$$S = -1.5 + \frac{17}{(1 + e^{2.3 - 6.1 \sin Q})} \quad (2.12)$$

S =RUSLE eğim faktörü

Q =Eğim açısı

eşitliğine göre, yağış faktörünü ise bölge için daha önce Renard ve ark. (1997) tarafından hesaplanmış ve $r^2=0.98$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada R yağış faktörü;

$$R=-0.0334 Pa+0.006661 Pa^2 \quad (2.13)$$

R =RUSLE yağış faktörü

Pa =Yıllık yağış (mm/yıl)

eşitliğine göre hesaplanmıştır. Bu yaklaşımla kuru ve yağışlı dönemlerin her biri için bölgeye ait RUSLE eğim faktörleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda RUSLE modeline ait parametrelerin belirlenmesinde ve birbirleri ile ilişkilendirilmesinde CBS ve UA uygulamalarının geçerli olduğu ve Meksika'nın aynı yağış rejiminde yer alan bölgelerinde RUSLE modeli için gerekli verilerin bu şekilde sağlanabileceği belirtilmiştir.

Fox ve Bryan (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğunun toprak kayıplarına olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan blok denemelerinde, yapay yağışlar altında eğim büyüklüğüne bağlı olarak toprak kaybındaki artışın yalnızca eğim büyüklüğüne bağlı değerlendirilemeyeceği, eğimdeki artışla yüzey akışta da artış olduğu ve bunun doğrusal ilişki gösterdiği ancak bu doğrusallığın toprak kayıplarına yansımadağı ve özellikle % 11.5 eğimden sonra toprak kaybının toprak özelliklerine bağlı olarak arttığı saptanmıştır. İlk pik yağışta oluşan toprak kayıplarının eğimle çok etkilendiği, büyük eğimlerde çok fazla olduğu ancak sonraki yağışlarda eğimin etkisinin azaldığı ve toprak özelliklerinin daha baskın faktör olarak bulunduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar eğim uzunluğunun yüzey akış hızını, suyun taşıma gücünü ve dolayısıyla toprak kayıplarını etkilediği belirtilmiştir.

Fu ve ark. (2000), Çin'in kuzey Shaanxi bölgesinde lös platolarda arazi kullanımındaki değişimin farklı eğimlerde yer alan toprakların özellikleri ve erozyonla oluşan toprak kayıpları üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma 2.02 km²'lik bir havzada gerçekleştirilmiştir. Yıllık ortalama yağışı 535 mm olan ve yarı kurak iklim rejimine sahip bu bölge 1984-1996 yılları arasında izlenmiştir. Çalışma sonunda, alan içerisinde yer alan mera, orman gibi doğal arazi kullanımının %

36'dan % 43'e çıkması ile havzada oluşan toprak kayıplarının 11.866 ton/km²/yıl'dan 8.979 ton/km²/yıl'a düştüğü ve yaklaşık % 24'lük bir azalmaya neden olduğu saptanmıştır.

Çin'in lös platolarında yapılan bir başka çalışmada Kang ve ark. (2001), iki farklı havzada sediment kaybı ve yüzey akışa geçen yağış miktarı ile arazi kullanımı arasındaki değişim üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 1995-1997 yılları arasında doğal yağışlar altında arazi kullanımı, bitkisel üretim tipi ve yağış ile yüzey akış ve sediment kaybı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda yüzey akış ve sediment kaybında en etkili faktör olarak arazi eğimi bulunmuştur. Yağış yoğunluğunun 58.8 mm/h'den fazla yada 2.4 mm/h'den az olduğu şartlarda sediment kaybında eğim etkisinin çok az olduğu, işlenen topraklarda eğimin yüzey akış ve sediment kaybına olan etkisinin doğal bitki örtüsü ve orman alanlarına göre daha fazla gerçekleştiği bulunmuştur. Bu çalışmada, eğim uzunluğunun yüzey akış ve sediment kaybına olan etkisinin eğim büyüklüğünde olduğu gibi gerçekleştiği belirlenmiştir. Özellikle bitki örtüsünce yoksun alanlarda eğim uzunluğunun sediment kaybına etkisinin daha kuvvetli bulunduğu vurgulanmıştır.

Liu ve ark. (2001), eğim uzunluğunun toprak kayıpları üzerine ilişkisini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan USLE denkleminde eğim uzunluğu faktörü;

$$L = (V / 22.1)^m \quad (2.14)$$

V = Eğim uzunluğu

m = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5

eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, dünyada yapılan çeşitli çalışmalarda m katsayısının eğim büyüklüğü % 60'dan fazla ve dere aşınımı orta olduğu zaman USLE metodunda 0.5, RUSLE metodunda ise 0.71 olarak kullanıldığını belirtmişler ve çalışmalarında bu yaklaşımların doğruluğunu araştırmışlardır. Sonuçta kuvvetli fırtınalı yağışlardaki m değeri daha az yoğun yağışlardakine göre daha düşük olarak belirlenmiş, USLE için kullanılan 0.5 değeri RUSLE için kullanılan 0.71 değerine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Yu ve Rosewell (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Avustralya'nın Gunnedah bölgesinde yüzey akış miktarının ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde WEPP modelinin geçerliliği araştırılmıştır. Çalışma 1980-1987 yılları arasında buğday amızının yakıldığı ve yakılmadan malçlama ile ekim yapıldığı 3 farklı alanda yürütülmüştür. Çalışmada eğimi % 8-9 arasında ve eğim uzunluğu 21-61 m arasında değişen bir arazi kullanılmıştır. Bu çalışmada sature olmuş kondaktivite ve aşınabilirlik parametreleri toprak özelliklerine bağlı olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerden hiç birinin kalibrasyonu yapılmadan kullanılmıştır. Çalışmada WEPP modelinde eğim uzunluğu değeri kullanılarak sediment konsantrasyonunun ve toprak kaybının belirlenmesinde uygulanabilir bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

2.1.4. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımının Etkisi

Bitki örtüsü çeşidi ve yoğunluğu hem yağmur damlasının çarpma etkisini hem de yüzey akışta toprak zerrecilerinin taşınmasını kontrol etmektedir. Arazi kullanım türü ise bitki örtüsünü yönlendiren etkidir. Erozyon çalışmalarında bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanım türü yağmurun çarpma etkisi, yüzey akışa geçen su miktarı ve bu miktarın toprak zerrecelerini taşıma etkisi özellikleriyle değerlendirilmektedir. Bir genelleme ile erozyon modellerinde yağış ve topoğrafya parametreleri baskın faktörler olarak kullanılmaktadır. Ancak bitki örtüsü üzerine temellendirilen modelleme çalışmaları da yapılmaktadır.

Drake ve ark. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada UA ve CBS kullanılarak Thornes (1989) ve Wainwright (1994) tarafından geliştirilen vejetasyona bağlı fiziksel temelli bir erozyon modeli uygulanmıştır. Çalışmada, ortalama yıllık erozyonla oluşan toprak kaybı;

$$Q_s = kf^2s^{1.67} \quad (2.15)$$

$$E = Q_s \times e^{-0.7v} \quad (2.16)$$

eşitlikleri kullanılarak belirlenmiştir. Burada kullanılan değişkenler;

- Q_s =Vejetasyonun yokluğunda alanda oluşan toprak kaybı (mm/yıl),
 k =Toprak zerre büyüklüğüne göre hesaplanmış erozyon katsayısı,
 f =Yıllık yağış, yağışlı gün sayısı ve infiltrasyon oranından çıkarılmış yüzey akış değeri (mm/yıl),
 s =Eğim büyüklüğü,
 v =Vejetasyon örtüsünün yıllık ortalama oranı olarak kullanılmıştır.

Çalışmada, küçük ölçekte bir alan ve Avrupa ülkelerinin tamamını kapsayacak büyüklükte bir alan için basit bir şekilde erozyon hesapları yapılmıştır. Bu model ile elde edilen sediment verimleri bazı çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sediment veriminin bir çok geleneksel hesaplama yönteminde olduğu gibi gerçekte var olandan daha fazla hesaplandığı belirtilmiştir. Modelin Kuzey Avrupa gibi yüksek dağların bulunduğu ve toprak yüzeyinin artık materyallerle örtülü olduğu ancak NDVI de düşük değerlerin elde edildiği alanlarda yeterli olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca modelin yüzey akıştan çok bitki örtüsüne bağlı kurulduğu için topoğrafik faktörlerin baskın olduğu alanlarda tartışmalı sonuçlar ortaya koyduğu saptanmıştır.

Arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğunun yüzey akışa ve toprak kaybına olan etkisinin araştırıldığı bir çalışma, Kosmas ve ark. (1997) tarafından yapılmıştır. Çalışma Portekiz, Fransa, İspanya, İtalya ve Yunanistan'ı kapsayan Akdeniz ülkelerinden seçilen test alanlarında yürütülmüştür. Çalışma sonunda, toprak yüzeyinin bitkilerden yoksun olduğu dönemlerde yıllık yağışa bağlı olarak toprak kaybının çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bitki örtüsünün olmadığı dönemlerde yıllık yağışı 200 mm'den az olan bölgeler için toprak kaybının tehlike oluşturmadığı ancak, yağışın 700 mm'ye ulaştığı bölgelerde toprak kaybının 15-90 ton/km² olduğu belirlenmiştir. Zeytin gibi yarı-doğal koşullarda yetiştirilen bitkilerin yetiştirildiği alanlarda toprak kaybının en az (0.8 ton/km²/yıl) olduğu, çalı ve fundalıkların bulunduğu alanlarda oluşan toprak kayıplarının 6.7 ton/km²/yıl, bağ ve okalıptus yetiştirilen alanlarda oluşan toprak kayıplarının ise 142.8 ve 23.8 ton/km²/yıl olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada, bağ ve okalıptus yetiştirilen alanlar için belirlenen toprak kayıplarının buğday ekim alanları için belirlenenden (17.6 ton/km²/yıl) daha fazla

olduğu belirtilmiştir. Sonuçta arazi kullanımının yanında bitki örtüsü yoğunluğunun da toprak kayıplarına olan etkisinin önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Doğal bitki örtüsünün erozyona olan etkisi Doğan ve Sevinç (1998) tarafından yapılan çalışmada araştırılmıştır. Çalışmada, Çayboğazı havzasında yapılan sediment ölçümleri sonucu sağlanan bilgiler Dalaman ve Eşen havzalarında yapılan çalışmalar ile elde edilen bilgilerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda Batı Akdeniz bölgesinde yer alan havzaların kapalılık oranı yüksek doğal bitki örtülerine sahip olması nedeniyle bu bölgelerde belirlenen toprak kayıplarının Türkiye ortalamasının altında olduğu ortaya konmuştur. Türkiye’de yapılan bir başka çalışmada Oğuz ve Durak (1998) Çekerek havzasının erozyona duyarlılıklarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada aşınmaya duyarlılık yönünden tarla topraklarının en çok aşınabilir topraklar olduğu belirlenmiş, bunu mera ve orman alanlarında yer alan toprakların izlediği belirtilmiştir. Jose ve Ines (2000), İspanya-Predes-Anoia bölgesinde yaptıkları bir çalışmada 1957-1992 yılları arasında arazi kullanımı ve uygulanan koruma önlemlerindeki değişimlerin erozyonla oluşan toprak kaybına etkisini araştırmışlardır. RUSLE metodunun kullanıldığı bu çalışmada, en fazla toprak kaybının kışlık buğday ve mera alanlarının makinalı tarıma uygun asma bahçelerine yada tek yıllık ağaç yetiştirme alanlarına dönüştürüldüğü topraklarda olduğu belirlenmiştir. RUSLE metoduna göre bu alanlarda oluşan toprak kaybının % 8.3 oranında arttığı bulunmuştur. Aynı çalışmada, teraslamadan vazgeçilerek yapılan tarımsal uygulamalarda erozyonla oluşan toprak kaybının % 44.1 oranında arttığı saptanmıştır, toprak kaybındaki artışta makinalı tarımın önemli bir etken olduğu vurgulanmıştır. İnsanların arazileri kullanımında seçtikleri yöntem ve bitki örtüsü etkisinin birlikte incelendiği bir başka çalışmada Köse ve ark. (2001) Orta Gediz Havzasında kontur sürümün erozyon oluşumunu azalttığını ve özellikle bu alanlarda bitki örtüsünün yoğunluğunun artması ile toprak kayıplarının azaldığını saptamışlardır.

2.2. Erozyon Risk Haritalarının Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemler

Toprak kayıplarını tahmin etmeye yönelik modellerin yanında erozyona ait verilerin yeterli olmadığı bölgeler için risk haritalama modelleri geliştirilmiştir. Bu

yaklaşımın temel esasları içinde arazi çalışmaları ile erozyon haritalarının oluşturulmasının maliyet ve zaman yönünden yüksek gideri olan bölgelerde ve özellikle büyük havzalarda UA teknolojileri yardımıyla erozyona ait verilerin sağlanması yer almaktadır. Bu modellerden Avrupa ülkelerinde uygulanan çevre insan uyumu (CORINE) programı çerçevesinde yapılan çalışmalarda erozyon alanlarının derecelendirilmesinde uydu verileri ve CBS tabanlı haritalama metotlarının kullanımının zorunlu olduğu belirtilmiştir.

CORINE metodu arazilere ait genel özelliklerden erozyon risklerinin ve arazi kalitesinin belirlenmesinde kabul gören genel bir metottur. Yöntem USLE modelinde yer alan toprak aşınabilirliği, yağışın aşındırıcı etkisi, eğim etkisi, koruma önlemleri ve yüzey örtü faktörü parametrelerini kullanmaktadır. Ancak CORINE metodu bu parametreleri niceliksel değerler olarak kullanıp toprak kaybını rakamsal değerler yerine karşılaştırmalı sınıflar olarak sonuca gitmektedir.

CORINE metodunda toprağın aşınabilirliği; toprak tekstürü, derinliği ve taşlılığının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Toprak tekstürü 3 sınıfta, toprak derinliği 3 sınıfta ve yüzey taşlılığı 2 sınıfta toplanmış ve bu sınıfların her biri için verilen sayısal değerlerin çarpımı ile toprak aşınabilirlik indisi belirlenmiştir. Aşındırıcı indisinin belirlenmesinde Fournier yağış indeksi ile Bagnouls-Gaussen kuraklık indeksi kullanılmıştır. Aşındırıcı indisi bu iki indis sınıfı için verilen sayısal değerlerin çarpımı olarak değerlendirilmiştir. Metotta topoğrafik faktörlerden yalnızca eğim büyüklüğü kullanılmıştır.

CORINE metodunda iki sonuç elde edilmektedir. Bunlar potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumudur. Potansiyel erozyon riski aşınabilirlik, aşındırıcı ve eğim indislerinin çarpımından elde edilmektedir. Şimdiki erozyon durumu ise potansiyel erozyon riski ile vejetasyon örtüsü ve arazi kullanım koşullarının birlikte değerlendirilmesi sonucu belirlenmektedir (EEA, 1995).

CORINE programı çerçevesinde Akdeniz'e komşu ülkelerde uygulanan erozyon risk haritalama modeline ait bir çalışmada, model üç farklı alan için denenmiş ve bu tip çalışmalarda 1:1.000.000 ölçekli risk haritalarının oluşturulmasının mümkün olduğu belirtilmiştir (Briggs ve ark, 1989).

Çakal ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, CORINE metoduna göre Tortum göl havzasının erozyon risk haritaları hazırlanmıştır. Çalışmada 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar, 1/100.000 ölçekli toprak haritası ve Landsat 5 TM uydu verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada CBS teknolojilerinin kullanımının doğruluğu artırdığı ve Landsat 5 uydusunun 3., 4. ve 7. bantlarının kullanımı ile vejetasyon indeksinin bulunmasında uygun sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Biossonais ve ark. (2001), Fransa'da tarım yapılan alanların erozyon risk haritalarını hazırlamışlardır. Bu çalışmada amaç erozyon oluşumunda etkili olan faktörlerin kullanılarak ulusal ölçekli erozyon risklerini belirlemede bir yöntem oluşturulmasıdır. Bu amaçla 1:1.000.000 ölçekli toprak haritası, 250x250 m gridli sayısal yükseklik modeli, CORINE arazi örtü haritası ve meteorolojik yağış verileri temel materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmacılar kullandıkları modeli CORINE metodunun derecelendirme sistemini esas alarak yapılandırmışlardır. Çalışmada farklı arazi kullanımının her biri için eğim, yapısal özellikler, aşınabilirlik ve yağışın aşındırıcı etkisi ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Modelde, tekstür sınıfları ve ana materyal ilişkilendirilerek yapısal özellikler belirlenmiş, eğim gurupları 8 sınıfa ayrılmış, arazi örtü tipi 9 farklı grupta değerlendirilmiştir. Hazırlanan bu modelin CORINE'in giriş verilerine göre daha zengin veriler içerdiği, ayrıca CORINE metodunda risk belirlemek için hazırlanan çarpım değerlendirmesinin bu metotta sayısal tablolar ile yapıldığı belirtilmiştir. Bu modelin bir diğer avantajının ise, risk derecelendirmesinde arazi örtüsünün esas alındığı, arazi örtüsünün uydularla belirlendiği ve buna göre değerlendirmenin yapılması ile erozyonun mevsimlere bağlı değişiminin belirlenmesine olanak sağladığı şeklinde tanımlanmıştır.

Risk haritalarının oluşturulmasında araştırmacılar bölgesel özelliklere bağlı olarak karşılaştırmalı çalışmalar yapabilmektedirler. Bu şekilde uygulanan bir modelde Adinarayana ve ark. (1999), Hindistanın batı Ghats bölgesinde 100 km²'lik bir drenaj havzası için erozyon risklerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar çalışma için gerekli toprak özelliklerine ait bilgileri test alanlarında yaptıkları etüdlerle fizyografik ünitelere bağlı haritalardan sağlamışlardır. Eğime ait bilgiler için 1:50.000 ve 1:250.000 ölçekli topoğrafik harita kullanarak oluşturulan

sayısal yükseklik modelinden sağlamışlardır. Çalışmada gerekli olan arazi kullanımı ve bitki örtüsüne ait verileri Landsat TM ve IRS-1A uydu verileri kullanarak elde etmişlerdir. Alana ait iklim bilgilerini ise meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalamasından sağlamışlardır. Araştırmacılar çalışma alanını her biri 1.4-7 km²'den oluşan 33 mikrohavzada yürütmüşlerdir. Çalışmanın CBS ortamında yürütülmesinde ise 30 x 30 m lik gridlere ayırarak hazırlanan sayısal haritalar kullanılmıştır. Araştırma sonucunda çalışma alanı hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli olmak üzere dört farklı risk gurubuna ayırmışlardır. Aynı çalışmada USLE metoduna göre toprak kayıpları tahmin edilmiş ve toprak kayıpları ile risk haritaları karşılaştırılmıştır. Buna göre 20 ton/ha/yıl'dan daha az toprak kaybı olan yerler hafif şiddetli risk gösteren alanlar olarak belirlenmiştir. Orta derecede risk taşıyan alanlardaki toprak kayıpları 20-30 ton/ha/yıl, şiddetli ve çok şiddetli risk taşıyan alanlardaki toprak kayıpları ise 30-50 ton/ha/yıl ve 50'den daha fazla ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonunda risk çalışmalarında insanların toprakları yönetimine ait bilgilerinde kullanılmasının gerekliliği de vurgulanmıştır.

Costa ve Cintra (1999), tarafından Brezilyanın Belo Horizonte bölgesinde erozyon risklerini haritalamak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada giriş verisi olarak 1:50.000 ölçekli topoğrafik harita, 1:250.000 ölçekli toprak haritası kullanılmıştır. Topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş, sayısal yükseklik modelinden eğim büyüklüğü ve drenaj hatları belirlenmiştir. Toprak haritasındaki büyük toprak gurupları, eğim büyüklüğü ve drenaj hatları için 500x500 m'lik gridler oluşturulmuştur. Bu gridlerde ARC/INFO yazılımının Grid modülünde yer alan "IF STATEMENT" komutuyla risk sınıfları üretilmiştir. Çalışma sonunda hazırlanan harita ile UA yoluyla sağlanacak bilgilerin çalışma alanının izlenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

2.3. Toprak Kayıplarının Tahmininde Kullanılan Yöntemler

Toprak erozyonunun tahmin edilmesinde çeşitli modeller geliştirilmiştir. Toprak erozyonunun modellenmesi arazi yüzeyinde toprak zerrelere parçalanma, taşınma ve birikme olaylarının yada bu olaylar sonucu oluşabilecek toprak kayıplarının matematiksel olarak tanımlanmasıdır. Modelleme çalışmaları toprak

kayıplarının tahmini, planlayıcılara bilgi vermesi ve erozyon oluşum mekanizmasının tanımlanmasında yardımcı olmaktadır.

Toprak erozyonunu tahmin edilmesinde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Morgan'a (1991) göre bu yaklaşımlar üç ana grupta altında yer alır. Bunlardan birincisi, fiziksel temelli modellerdir. Bu modellerde seçilen detaya bağlı olarak laboratuarda yapılan ve erozyon oluşum faktörlerinin yapay olarak oluşturulduğu modellerdir. İkincisi ise analog modellerdir. Bu modeller su akışının simüle edildiği mekanik yada elektrik sistemli araçlarla uygulanan modellerdir. En yaygın olarak kullanılan modeller ise sayısal modellerdir. Bu modeller bir matematiksel eşitlik ile yapılan kütle enerji ilişkilerinin modellendiği fiziksel temelli sayısal modeller, kısa periyotlu ölçümler için uygulanabilir olan sentetik yapıli modeller ve erozyon oluşturan faktörler arasındaki ilişkilerin istatistik sonuçlarına göre kurulan denklem modelleri olarak ayrılmaktadır.

Boardman ise Favis-Mortlock'un fiziksel temelli modelleri arazi ölçekli su erozyon modeli, havza ölçekli su erozyon modeli, rüzgar erozyon modeli ve arazi modeli üzerine kurulan modeller olarak ayırdığını belirtmiştir (Boardman ve Favis-Mortlock, 1998)

USLE, MUSLE, MUSLT, EUSLE, RUSLE, WEPP, AOF, MEDALUS, ANSWERS, EUROSEM, LISEM, STREAMS, AGNPS, SEMMED, CEP-EROS, CEP-TOPER, MEDRUSH, GLEAMS, EPIC, EGEM, GAMES, SWRRB, GUEST, SWAT bu amaçla oluşturulan modellerdir. Bunlar içerisinde son dönemlerde yaygın olarak kullanılan, UA ve CBS ile uygulanabilir özellikle olanlar seçilmiş ve modellerin temel yaklaşımları başlıklar halinde özetlenmiştir.

2.3.1. Morgan-Morgan-Finney Metodu

Morgan ve ark. (1984) tarafından geliştirilen fiziksel temelli sayısal bir modeldir. Bu model erozyon proseslerindeki son çalışmalar değerlendirilerek hazırlanan arazi ölçekli bir yaklaşıma sahiptir. Model jeomorfolog ve ziraatçıların yaptıkları araştırma sonuçlarına göre hazırlanmıştır. Model iki fazlı bir sisteme sahiptir. Bunlardan birincisi su fazı, ikincisi ise sediment fazıdır. Modelin 15 giriş verisi bulunmakta ve 6 eşitlikten oluşmaktadır.

Modeli oluşturan sediment fazı Meyer ve Wishmeier (1969) yaklaşımını temel almaktadır. Sediment fazı toprak erozyonunun yağış etkisiyle toprakların parçalanması ve yüzey akışla taşınması olmak üzere iki olayın birleşmesiyle oluştuğu varsayımından oluşmaktadır. Bu aşamada yağmur damlasının çarpması ile toprak zerrecilerinin sıçraması ve yüzey akış etkisiyle oluşan parçalanma önemsenmemiştir. Bu nedenle sediment fazı iki eşitlikten oluşmaktadır. Bunlardan birincisi çarpma etkisi ile parçalanma, ikincisi ise yüzey akışla taşınmadır. Yağış enerjisi ve yüzey akış hacmi için gerekli olan eşitlikler su fazından elde edilmiştir. Su fazı için kullanılan temel veriler yıllık ortalama yağış (R ;mm) ve yağış yoğunluğudur (I ;mm/h). Yağış enerjisi

$$KE=R(11.9+8.7 \log I) \quad (2.17)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

Burada kullanılan yağış yoğunluğu (I) değişkeni sıcak iklimler için 11 mm/h, tropik iklimler için 25 mm/h ve Akdeniz iklimi gibi mevsimsel kuvvetli yağışlar olan bölgeler için 30 mm/h olarak kullanılmaktadır. Ancak tercihlerin bölgesel alan ölçüm değerleri için yapılması en uygunu olmaktadır.

Yüzey akışın yıllık hacmi Carson ve Kirkby (1972) eşitliğine göre yıllık yağış değerlerinden belirlenmiştir. Bu eşitlik;

$$Q=R \exp(-Rc/Ro) \quad (2.18)$$

şeklindedir. Ro değişkeni;

$$Ro=R/Rn \quad (2.19)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Burada Ro (mm) yıllık ortalama yağışın (R ;mm) yıl içindeki yağışlı günlere (Rn) oranıdır. Rc değişkeni ise Withers ve Vipond (1974) eşitliğinin Kirkby (1976) tarafından uyarlanmasıyla elde edilmiştir. Oluşturulan eşitlik;

$$Rc=1000 \times MS \times BD \times EHD (Et/Eo)^{0.5} \quad (2.20)$$

ve eşitlikte kullanılan değişkenler:

MS =Tarla kapasitesinde toprağın nem içeriği (%w/w),

BD =Toprağın kütle yoğunluğu (gr/cm^3),

EHD =Toprağın etkili hidrolojik derinliği (m),

Et/Eo =Aktüel evaporasyonun potansiyel evaporasyona oranıdır.

Sediment fazı yağışla oluşan parçalanma ve yüzey akışla taşınma olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Parçalanma yağış enerjisinin oluşturduğu gücün bir etkisi olarak a ve b katsayıları ve toprağın parçalanma katsayısı K ile ilişkilendirilmesinden hesaplanmıştır. Bu ifade;

$$F=Kx(KE e^{-aA})^b x 10^{-3} \quad (2.21)$$

eşitliği ile değerlendirilmiştir.

Yüzey akışın taşıma kapasitesi; yüzey akış hacmi, eğim ve ürün örtüsünün etkisi ile ilişkilendirilen Kirkby, (1976) eşitliğine göre yapılmıştır. Burada kullanılan C faktörü USLE-C faktörü ile aynıdır. Yüzey akışın taşıma kapasitesi;

$$G=C Qd \sin(S) 10^{-3} \quad (2.22)$$

eşitliğinden belirlenmektedir. Bu aşamada toprak koruma pratiklerinin kullanılarak eşitlik içerisinde değerlendirilmeye alınması uygun olmaktadır.

Bu hesaplamalar sonucunda yağışla olan parçalanma yüzey akışla oluşan taşınma karşılaştırılmaktadır. İki değerden küçük olanı yıllık toprak kaybı olarak kullanılmaktadır. Böylece parçalanma veya taşınmanın fazla olması sınırsız değerler hesaplanması engellenmiş olmaktadır.

Bu modelde kullanılan a değerinin 0.05 olarak kullanılması (Lafren ve Colvin, 1981), b değerinin 1 alınması (Meyer, 1981) ve d değerinin 2 olarak kullanılması çeşitli araştırmalar ile belirlenmiştir.

2.3.2. WEPP

Nearing ve ark. (1989), su erozyonu ile oluşan toprak kayıplarını belirlemek üzere WEPP modelini hazırlamışlardır. WEPP modeli bir dere havzası, su yatağı

yada bir hücre birimi için sonuçlar elde etmeyi amaçlayan bir model olarak tasarlanmıştır. WEPP temelde dört kavram üzerine kurulmuştur. Bunlar; iklim, eğim, toprak ve yönetimidir. Bu kavramlar modelin kurulmasında esas rolü oynamaktadır. Suyun modellenmesinde yağış miktarı, süresi ve yoğunluğu, yönü ve hızı, bitki gelişimi, ürün artışı ve toprak koşullarını kullanmaktadır. Dere yatakları ve kanallarında oluşan erozyonun WEPP ile modellenmesinde erozyon yada parçalanma aşağıdaki eşitliğe göre belirlenmektedir.

$$D_i = K_i I_e \sigma_{ir} SDR_{RR} F_{nozzle} \left(\frac{R_s}{W} \right) \quad (2.23)$$

Bu eşitlikte kullanılan değişkenler;

K =Aşınabilirlik,

I_e =Etkili yağış yoğunluğu,

σ_{ir} =Yüzey akış oranı,

SDR_{RR} =Sediment dağıtım oranı,

F_{nozzle} =Yağmurdan kaynaklanan enerji farklılığı için uyarılma faktörü,

R_s =Yüzey,

W =Genişlik olarak tanımlanmıştır.

Parçalanmış bu zerreler ya bir alt eğim bölgesine taşınmakta yada kanal içerisinde birikmektedir. Yüzey akışın oluşturduğu parçalama miktarı ise;

$$D_c = K_r (T_f - T_c) \quad (2.24)$$

eşitliğiyle belirlenmektedir. Bu eşitlikte yer alan değişkenler;

D_c =Yüzey akışın parçalama kapasitesi,

K_r =Kanal aşınabilirliği,

T_f =Yüzey akış kesme direnci,

T_c =Toprak kritik kesme direncini göstermektedir.

Bu aşamada yüzey akış kesme direnci kritik kesmeden daha az ise dere yatağında oluşan erozyon 0 (sıfır) olarak kabul edilmiştir. Gerçek parçalanma yada

birikme oranı ise sediment yükü potansiyeline bağlı olarak ve yüzey akış taşıma kapasitesi ile ilişkili olarak hesaplanmıştır. Bu tanımlamayı karşılayan eşitlik;

$$D_f = Dc \left(I - \frac{G}{TC} \right) \quad (2.25)$$

olarak belirtilmiştir. Eşitlikte yer alan değişkenler ise;

D_f =Net erozyon yada depozitleşme,

G =Sediment yükü,

TC =Taşıma kapasitesidir.

Bu aşamada eğer aşınan sediment miktarı taşıma kapasitesinden fazla ise depozitleşme oluşacaktır.

2.3.3. SEMMED

De Jong ve Riezebos (1996) tarafından geliştirilen ve Akdeniz Bölgeleri İçin Erozyon Modeli olarak tanımlanan SEMMED temelde Morgan-Morgan-Finney (1984) modeline dayanmaktadır. Model iki fazlı bir sisteme sahiptir. Bunlardan birincisi su fazı, diğeri ise sediment fazıdır. Model yağmur damlasının çarpma etkisiyle toprak zerrecilerinin parçalanmasından kaynaklanan toprak erozyonunu göz önüne almaktadır. Bu ifadeden sıçramayla taşınma ve parçalanmanın dikkate alınmadığı anlaşılmamalıdır. Su fazında çarpma etkisiyle parçalanma ve akış miktarı için gerekli olan enerjiler tahmin edilmiştir. Bu amaçla Wischmeier ve Smith, (1978) eşitliği kullanılmaktadır. Bu eşitlik ve eşitlikte kullanılan değişkenler aşağıda verilmiştir.

$$E = 11.87 + 8.73 \log_{10} I \quad (2.26)$$

E =Kinetik enerji (J/m^2),

R =Yıllık yağış miktarı (mm),

I =30 dakikalık erozif yağış yoğunluğu (mm/h)

Yüzey akış miktarı toplam yağışın yağışlı günlere oranı ve toprağın su tutma kapasitesine bağlı olarak hesaplanmıştır. Günlük toplam yağış miktarı, toprağın

günlük nem depolama kapasitesi olarak ifade edilen kritik miktardan daha fazla olduğu zaman yüzey akışın meydana geldiği kabul edilmektedir. Nem depolama kapasitesi Withers ve Vipod (1974) tarafından hazırlanan ve Kirkby (1976) tarafından uyarlanan modele göre belirlenmiştir. Kritik nem depolama faktörü tarla kapasitesindeki nem miktarına bağlıdır. Yüzeyin ürünle kaplı olduğu kabul edilen toprağın kütle yoğunluğu ve köklenme derinliği üst toprağın evaporasyonunu etkilemektedir. Bu açıklamalar ile kritik nem depolama miktarı (R_c),

$$R_c = 1000 \times MS \times BD \times EHD (E_t/E_o)^{0.5} \quad (2.27)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte kullanılan değişkenler;

MS =Tarla kapasitesinde toprağın nem içeriği (%w/w),

BD =Toprağın kütle yoğunluğu (gr/cm^3),

EHD =Toprağın etkili hidrolojik derinliği (m),

E_t/E_o =Aktüel evaporasyonun potansiyel evaporasyona oranıdır.

Yüzey akış hacmi Kirkby (1972) eşitliğinden hesaplanmıştır. Bu eşitlik;

$$Q = R \exp(-R_c/R_o) \quad (2.28)$$

olarak belirtilmiştir. Eşitlikte yer alan R_o değeri;

$$R_o = R/R_n \quad (2.29)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki değişkenler;

R_o =Yıllık ortalama yağışın yıl içindeki yağışlı günlere oranı,

R =Yıllık ortalama yağış miktarı (mm),

R_n =Yağışlı günler sayısı (gün) olarak tanımlanmıştır.

Modelin sediment fazı çarpma etkisiyle toprak kütesinden kopan sedimentlerin taşınmasını kapsamaktadır. Zerrelerin kopmasında Meyer (1981) tarafından deneylerle belirlenen ilişkiler kullanılmıştır. Bu ilişki yağış enerjisinin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Bu güç ilişkisi bir bitki örtüsü ile yağışın etkisini engelleme olarak değerlendirilmiş, bu ilişki Quansah (1981) tarafından yapılan

çalışmalarda ortaya konulmuştur. Modelde yağmur damlalarının etkisiyle oluşan parçalanma;

$$F=K*(E*\exp(-a*P))*b*10^{-2} \quad (2.30)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada;

F =Çarpma etkisiyle parçalanma (kg/m^2),

K =Toprağın parçalanma indisi (gr/J),

E =Yağışın kinetik enerjisi (J/m^2),

P =Yağış engelleme faktörü (%),

a, b =Katsayı, 0.05, 1.0 olarak tanımlanmıştır.

Taşıma kapasitesi yüzey akış miktarı, eğim derecesi ve ürün örtü etkisinin bir fonksiyonu olarak tasarlanmıştır. Ürün örtüsünün etkilerini belirlemede USLE-C faktörü kullanılmıştır. Bu eşitlik;

$$G=C*Qd*\text{Sin}(S)*10^{-3} \quad (2.31)$$

olarak ifade edilmiştir. Verilen eşitlikte kullanılan değişkenler;

G =Taşıma kapasitesi (kg/m^2),

C =Örtü faktörü,

Q =Yüzey akış miktarı (mm),

S =Eğim açısı ($^\circ$),

d =1.7-2.0 arasında katsayı, olarak tanımlanmıştır.

SEMMED modeli her bir bağımsız hücre için değerlerin belirlenmesi ve bağımsız hücrelerden bir sonraki hücreye taşınma yada birikmenin CBS ortamında hesaplanması esasına dayandırılmıştır.

2.3.4. LISEM

De Roo ve ark. (1996) tarafından geliştirilmiş bir modeldir. LISEM modeli raster/hücre tabanlı CBS sisteminde tam olarak ilişkilendirilebilen bir yapıdadır. Modelde yağış, yağış engelleyiciler, küçük çukurlarda suyun birikmesi, infiltrasyon, toprak içerisinde suyun yatay hareketi gibi özellikler kullanılmıştır. Model içerisinde

bitki yada doğal vejetasyonla oluşan engellemeler yağış süresince oluşan maksimum su depolama kapasitesinden hesaplanmaktadır. Maksimum su depolama kapasitesi Von Hoyningen-Huene (1981) tarafından geliştirilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır. Bu eşitlik;

$$SMAX=0.935 + 0.498 \times LAI - 0.00575 \times LAI^2 \quad (2.32)$$

olarak tanımlanmıştır. Eşitlikte kullanılan değişkenler;

$SMAX$ =Maksimum depolama kapasitesi (mm)

LAI =Leaf (yaprak) alan indisini (-) ifade etmektedir.

Yağış süresince oluşan kümülatif birikme Merriam (1960) tarafından geliştirilen ve Aston (1979) tarafından uyarlanan eşitliğe göre hesaplanmıştır. Bu eşitlik ve eşitlikte kullanılan değişken ve katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$CINT = SMAX \left[1 - e^{-\frac{(1-p)PCUM}{SMAX}} \right] \quad (2.33)$$

$CINT$ =Kümülatif yağıştan kalan (mm),

$PCUM$ =Kümülatif yağış (mm),

p =Düzeltilme faktörü (1-0.046 LAI).

İnfiltrasyon ve su taşınması Richards eşitliğinin Darcy eşitliğiyle birleştirilmiş bir çözümü ile hazırlanmıştır. Mualem/Van Genuchten eşitliği (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1983) için gerekli olan sature olmamış hidrolik kondaktivite ve toprak-su tansiyonunu tahmin etmede kullanılmaktadır.

Mikro depresyonda depolama ve bu ilişki Onstad ve Linden (1984) tarafından geliştirilen eşitlikten yararlanılmıştır. Bu eşitliklere göre yüzey akışın başlangıç noktası, suyla örtülü yüzeyin maksimum fraksiyonu ve gerçek fraksiyon, isole edilmiş fraksiyon, yüzey akışa katkı sağlayanlar hesaplanmıştır (De Roo ve ark., 1996).

Yüzey akış ve kanal akış yönü Manning eşitliğine göre belirlenmiştir. Çarpma ile parçalanma agregat stabilitesi, yağışın kinetik enerjisi ve yüzeydeki su

katmanının kalınlığına bağlı olarak belirlenmiştir. Burada kullanılan eşitlik EUROSEM'den uyarlanmıştır. Toprak parçalanma indisi yerine agregat stabilitesi kullanılmaktadır. Kullanılan eşitlik;

$$\left[DETR = \frac{2.82}{AGGRSTB} \times KE \times \exp^{-1.48 \times DEPTH} + 2.96 \right] \times (p - I) \times \frac{(dx)^2}{dt} \quad (2.34)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu eşitlikteki değişkenler;

$DETR$ =Çarpma ile parçalanma etkisi (gr/sn),

$AGGRSTB$ =Agregat stabilitesi (ortalama değer),

KE =Yağışın kinetik enerjisi (J/m^2),

$DEPTH$ =Yüzeydeki su katmanının derinliği (m),

p =Yağış (mm),

I =Yağış engelleyici (mm),

dx =Bir elementin büyüklüğü (m),

dt =Zaman artışı (sn),olarak kullanılmıştır.

Taşıma kapasitesi Govers ve ark., (1990) eşitliğine göre modellenmiştir. Bu eşitlik ve eşitliği oluşturan değişkenler aşağıda verilmiştir.

$$T = CI \times (S \times V - 0.4)^{DI} \quad (2.35)$$

TC =Hacimsel taşıma kapasitesi (cm^3/cm^3),

S =Eğim büyüklüğü (m/m),

V =Ortalama yüzey akış hızı (cm/sn),

CI, DI =Deneysel katsayı.

Dere ve kanal erozyonunda yüzey akışla parçalanma ve birikme EUROSEM'e göre modellenmiştir. Her nerede taşıma kapasitesi çarpma ile oluşan zerre miktarı parçalanma ile oluşan zerre miktarından daha az ise üst eğimden bir sonraki eğime olan depozitleşme o oranda oluşmaktadır. Bu ilişki;

$$DEP = w \times Vs \times (TC - C) \quad (2.36)$$

eşitliği ile olarak modellenmiştir. Eşitliği oluşturan değişkenler;

DEP =Depozit oranı (kg/m^2),

w =Akış genişliği (m),

V_s =Zerelerin hızı (m/sn),

TC =Taşıma kapasitesi (kg/m^2),

C =Akıştaki sediment konsantrasyonu (kg/m^2) olarak kullanılmıştır.

Eğer taşıma kapasitesi sediment konsantrasyonunu geçerse yüzey parçalanma oranı;

$$DF=Y \times w \times V_s \times (TC-C) \quad (2.37)$$

eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Eşitliği oluşturan değişkenler ise;

DF =Yüzey parçalanma oranı (kg/m^2),

Y =Etkinlik katsayısı (-), olarak tanımlanmıştır. Etkinlik katsayısı Morgan ve ark. (1992) tarafından geliştirilen;

$$Y = \frac{1}{0.89 + 0.56 \times COH} \quad (2.38)$$

eşitliğinden belirlenmektedir. Burada kullanılan COH değişkeni satire edilmiş toprakta kohezyonu (kPa) ifade etmektedir.

Temel olarak LISEM de yer alan giriş ve sonuç verileri CBS haritalarından oluşmaktadır. Bu nedenle LISEM'de erozyon haritaları raster/hücre formatında hazırlanabilmektedir. Bu modelle arazi kullanımındaki değişimin etkilerini belirlemek ve koruma senaryoları uygulamak mümkündür. Modelde giriş bilgilerinin detayına bağlı olarak planlamaya yönelik haritaların üretimi yapılabilmektedir.

2.3.5. EUROSEM

Avrupa toprak erozyon modeli (EUROSEM) Morgan ve ark. (1992), tarafından geliştirilmiştir. Bu model dere yataklarında oluşan sedimentin taşınması ve birikmesinin simüle etmede kullanılan dinamik dağıtılmış bir modeldir. Bireysel

alanlar ve küçük havzalar için uygulanabilir gerçek temelli bir model olarak tasarlanmıştır. Model sonucu elde edilen veriler toplam yüzey akış, toplam toprak kaybı, fırtına hidroğrafyası ve fırtınalı yağışlarda oluşan sediment kaybindan oluşmaktadır. Yüzey akışın engellenmesi, infiltrasyon, yağış enerjisi, ve akış hızı üzerine bitki örtüsünün etkisi, yüzey akış hızı ve sıçrama üzerine etkili olan taşlılık ve kaya parçalarının örtme etkisini yansıtan simülasyon modelidir.

Bu modelde değerlendirmeye alınan havzalar, ya su yolları yada su yolu vadileri gibi çizgilerin basitçe bağlandığı alanlar olarak tanımlanır. Bu işlemde her bir su hattı toprak, eğim, yüzey topoğrafyası ve arazi örtüsü yönüyle üniform olarak dağıldığı düşünülür.

EUROSEM modeli KINEROS (Woolhiser ve ark., 1990) modelinde yer alan su, yüzey akış ve sediment hareketi kavramını kullanır. Herhangi bir zaman için arazi yüzeyinde bir noktadan geçen sediment hacmi için aşağıdaki eşitlikten faydalanılır.

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(gC)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad (2.39)$$

Eşitliği oluşturan değişkenler;

∂ =Boşaltma (m^3/sn),

C =Sediment konsantrasyonu (m^3/m^3),

A =Yüzey akışın kestiği bölgesel alan (m^2),

q_s =Yüze akışın her bir uzunluğu için sediment yayılımı (m^3/sn),

e =Yüzey akışın her bir uzunluğu için net parçalanma oranı yada yatağın erozyon oranı($m^3/sn/m$),

x =Yatay mesafe (m),

t =Zamanı (sn) ifade etmektedir.

Yukarıda kullanılan e değeri iki değişkenin bileşiminden oluşmaktadır.

Bunun belirlenmesinde ise;

$$e=DR+DF \quad (2.40)$$

eşitliğinden yararlanılmaktadır. Eşitlikte kullanılan değişkenler;

DR =Yağışın çarpma etkisiyle toprak zerrelere parçalanma oranı ($m^3/sn/m$),

DF = Yüzey akışın etkisiyle toprak zerrelere parçalanma ve birikme oranları arasındaki denge ($m^3/sn/m$) olarak ifade edilmektedir.

Erozyon ve birikmenin modellenmesinde üç aşama yer almaktadır. Bunlardan birincisi yağmur damlası etkisiyle toprak zerrelere parçalanabilirliğidir. Her bir adım için yağmur damlası etkisiyle toprak zerrelere parçalanması yüzey özellikleri, toprağın parçalanabilirliği ve yüzey suyu derinliğine bağlı olarak kinetik enerjinin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Bu eşitlik, eşitliği oluşturan değişkenler ve kullanılan katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$DR=((KE) e^{-bh})/ps \quad (2.41)$$

k =Toprağın parçalanma indisi (m^3/J),

KE =Yüzeydeki yağışın kinetik enerjisi (J/m^2),

b =Katsayı 0.2 (Torri ve ark., 1987),

h =Yüzeydeki su katmanının derinliği (m),

ps =Sediment zerre yoğunluğu ($=2.65 mg/m^3$).

İkinci aşamada, yüzey akışla toprak zerrelere parçalanması belirlenmektedir. Yüzey akışla toprak zerrelere parçalanması Smith ve ark. (1995) tarafından hazırlanan genelleştirilmiş bir aşınma-birikme kavramı içinde modellenmiştir. Bu kavram taşıma kapasitesinde yüzey akış içindeki sedimentlerin konsantrasyonunun aşınma ve birikmenin etkisiz hale gelme işlemi arasındaki bir dengeyi yansıttığı varsayımını kabul eder. Akışla oluşan parçalanma ve birikme aşağıdaki eşitlik ile modellenmiştir.

$$DF= Bw v_s(TC-C) \quad (2.42)$$

Eşitliği oluşturan değişkenler ise;

DF =Yüzey akışla toprak zerrelere net parçalanma oranı,

B =Yüzey akış parçalanması için etkinlik katsayısı,

w =Yüzey akışın genişliği (m),

v_s =Yüzey akışta zerrelerin hareket hızı (m/sn),

TC =Taşıma kapasitesinde yüzey akışa uğrayan sediment konsantrasyonu,

C =Yüzey akıştaki gerçek sediment konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Üçüncü aşamada ise, yüzey akışın taşıma kapasitesi hesaplanmaktadır. EUROSEM iki farklı taşıma kapasitesi ilişkisini kullanır. Bunlardan birincisi Govers ve ark. (1990) tarafından geliştirilen derelerdeki yüzey akışın modellenmesi olan aşağıdaki eşitliktir.

$$TC = C (w - w_c)^n \quad (2.43)$$

w =Eğim ve yüzey akış hızından kaynaklanan güç,

w_c =Bu gücün kritik değeri,

n =Laboratuar çalışmalarında belirlenen zerre büyüklüğü ortalamasına bağlı katsayı eşitliği oluşturan değişkenlerdir.

İkincisi ise Everaert (1991) tarafından geliştirilen su yataklarındaki akışı için hazırlanmış eşitliktir. Bu eşitlik;

$$TC = \frac{b}{psq} \left[(\Omega - \Omega_c)^{0.7/n} - 1 \right]^n \quad (2.44)$$

olarak oluşturulmuştur. Eşitlikte kullanılan değişkenler;

b =Zerre büyüklüğünün fonksiyonu,

ps =Sediment yoğunluğu,

Ω =Bagnold gücü,

Ω_c = Bagnold gücünün kritik değeri,

$n=5$ katsayısından oluşmaktadır.

2.3.6. Modifiye Edilmiş Morgan-Morgan-Finney Metodu (mMMF)

Morgan (2001) tarafından geliştirilmiş bu model Morgan-Morgan-Finney modelinden uyarlanmıştır. Model önceki versiyonuna göre daha az giriş verisi ile

kullanılabilir olması avantajına sahiptir. mMMF modeli su fazı ve sediment fazı olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Su fazı, toprak kütlesi ve yüzey akış hacminden toprak zerrelere parçalanmasında yağış enerjisinin etkisinin belirlendiği fazdır. Sediment fazı ise, yağış ve yüzey akışa geçen suyun etkisi ile toprak kütlesinden parçalanmış zerrelerin yüzey akışa geçen suyun taşıma kapasitesine göre taşınmasından oluşmuştur. Modelde yaklaşım parçalanmış ve taşınmış zerrelerin miktarlarının belirlenerek bu iki değerin birbirleri ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Basit bir mantıkla; eğer bir alanda parçalanmış toprak zerrisi için belirlenen değer, taşınma için belirlenen değerden daha az ise yıllık toprak kaybı parçalanma için bulunan değer olarak kullanılmaktadır. Bu ifadenin tersi olarak eğer bir alanda taşınma için belirlenen değer, parçalanma için belirlenen değerden daha az ise yıllık toprak kaybı taşınma için bulunan değerden oluşmaktadır.

Modelde yağış enerjisinin hesaplanmasında yağış süresince oluşan parçalanma ve yapraklardan damlama ile oluşan enerjiden yararlanılmıştır. Etkili yağış (ER), toplam yıllık yağış miktarı (R ;mm) ile yağış sonrası yüzeyde kalan kısmın (A ;0-1 arasında katsayı) çarpımından elde edilmiştir. Bu ifade;

$$ER=R(1-A) \quad (2.45)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır. Eşitlikte kullanılan A değeri arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmektedir.

Daha sonra etkili yağış, doğrudan yüzeye ulaşan kısmı (DT) ve leaf drenajı (LD) olmak üzere ikiye bölünmüştür. Bu bölünme bitki örtüsünün (CC) bir fonksiyonu olarak düşünülmüştür. Yapılan bölünme aşağıdaki eşitliklerle tanımlanmıştır.

$$LD=ER \times CC \quad (2.46)$$

$$DT=ER-LD \quad (2.47)$$

* Burada verilen eşitlik Morgan (2001) literatüründekinden farklıdır. Prof. Dr. Roy. P. C. Morgan'la yapılan görüşmeler sonucu literatürde yazım hatası olduğu gerekçesi ile Prof. Dr. Roy. P. C. Morgan tarafından bir düzeltme yaptırılmıştır.

Doğrudan yüzeye ulaşan yağışın kinetik enerjisi ($KE(DT); J/m^2$), iklim bölgesinin erosif yağış için tipik değerlerin kullanımıyla bulunmuş, yağış yoğunluğunun ($I; mm/h$) fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımda Wischmeier ve Smith, (1978) eşitliğine göre belirlenmiştir. Kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$KE(DT) = DT(11.9 + 8.7 \log I) \quad (2.48)$$

Yapraktan damlama ile oluşan kinetik enerjinin ($KE(LD); J/m^2$) belirlenmesinde ise Brandt (1990) tarafından geliştirilen bitki örtüsü yüksekliği ($PH; m$) değişkenleri kullanılmıştır. Bu değişkenlerle oluşturulan ilişki;

$$KE(LD) = (15.8 \times PH^{0.5}) - 5.87 \quad (2.49)$$

eşitliği ile belirlenmiştir.

Bu eşitlikte bulunan değer negatif sayıdır. Etkili yağışın toplam kinetik enerjisi ($KE; J/m^2$);

$$KE = KE(DT) + KE(LD) \quad (2.50)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Yıllık yüzey akışı ($Q; mm$) belirlemek üzere hazırlanan eşitlik MMF modelindeki ile aynıdır. Bu eşitlik Kirkby (1976) metoduna dayanmaktadır. Bu eşitlikte oluşan günlük yağışın toprağın nem depolama kapasitesinin ($Rc; mm$) üzerinde gerçekleştiği şartlarda oluştuğu kabul edilir. Günlük yağış miktarı yaklaşık olarak üslü katsayı olarak dağılıma karşılık gelmektedir. Yıllık yüzey akışı;

$$Q = R \exp(-Rc/Ro) \quad (2.51)$$

eşitliği ile, eşitlikte yer alan Ro değeri ise;

$$Ro = R/Rn \quad (2.52)$$

eşitliğine göre hesaplanmaktadır.

Burada R_o (mm) yıllık ortalama yağışın, (R ;mm) yıl içindeki yağışlı günlere (Rn) oranı olarak tanımlanmıştır.

Toprağın nem depolama kapasitesi;

$$Rc=1000 \times MS \times BD \times EHD (Et/Eo)^{0.5} \quad * \quad (2.54)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitliği oluşturan değişkenler;

MS =Tarla kapasitesinde toprağın nem içeriği (%w/w),

BD =Toprağın kütle yoğunluğu (gr/cm^3),

EHD =Toprağın etkili hidrolojik derinliği (m),

Et/Eo =Aktüel evaporasyonun potansiyel evaporasyona oranıdır.

Burada kullanılan EHD terimi orijinal modelde kullanılan ve yüzey akışın geliştirildiği kesitte belirlenen su tutma kapasitesindeki toprak derinliğini niteleyen köklenme derinliğine (RD ;m) karşılık gelmektedir. Bu terim bitki örtüsünün kök yoğunluğu ve derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan bu değer 0.1 m'den daha küçük bir sayıdır.

Morgan tarafından geliştirilen mMMF modelinde yağmur damlasının çarpma etkisiyle toprağın parçalanma oranı yağış enerjisinin kullanımı ile hesaplanmaktadır.

Bu eşitlik;

$$F=K \times K E \times 10^{-3} \quad (2.55)$$

şeklinde basitleştirilmiştir. Eşitlikte, K toprağın aşınabilirliği (gr/J), F yağmur damlası etkisiyle toprağın parçalanabilirliğini (kg/m^2) göstermektedir.

mMMF modeli yüzey akışla oluşan parçalanabilirliği belirlemede orijinal modele göre farklı bir yöntem kullanmaktadır. Deneysel çalışmalar (Quansah, 1982) yüzey akışla oluşan parçalanmanın (Q), eğim büyüklüğü (S), ve toprağın direncinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Bu nedenle parçalanma (H ; kg/m^2);

$$H=ZQ^{1.5} \sin S(1-GC) \times 10^{-3} \quad (2.56)$$

* Burada verilen eşitlik Morgan (2001) literatüründekinden farklıdır. Prof. Dr. Roy. P. C. Morgan'la yapılan görüşmeler sonucu literatürde yazım hatası olduğu gerekçesi ile Prof. Dr. Roy. P. C. Morgan tarafından bir düzeltme yaptırılmıştır.

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada GC yüzeyin örtülme oranı olarak tanımlanmıştır. Eşitlik yüzey akışla oluşan toprak zerrecelerinin parçalanmasını yalnızca yüzey örtüsüyle oluşan korunmanın var olmadığını kabul etmektedir. Morgan'a göre bu ilk yaklaşımda makul görünmektedir. Çünkü vejetasyon örtüsünün bulunduğu yerlerde yüzey akış hızı bitkilerce etkilenmektedir.

Kayıplar için kohezif olmayan topraklarda $Z=1$ dir. Kohezif topraklarda ise erozyona karşı direnç;

$$Z = \frac{1}{(0.5COOH)} \quad (2.57)$$

eşitliği ile (Rauws ve Govers, 1988'den sadeleştirilmiş) belirlenmektedir.

Yüzey akışın taşıma kapasitesini (TC ; kg/m^2) belirlemede kullanılan yöntem MMF de kullanılan yöntem ile aynıdır. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$TC = CQ^2 \sin S \times 10^{-3} \quad (2.58)$$

Eşitliği oluşturan değişkenlerden bitki örtü faktörü (C) USLE'nin C ve P faktörleri için hazırlandığı gibidir. S ise eğim açısını belirtmektedir. C faktörü farklı toprak işleme teknikleri, korumalı tarım yada bitki artıklı tarıma göre uyarlanabilir özellikte hazırlanmıştır.

Yağmur damlası etkisiyle ve yüzey akışla oluşan parçalanma miktarlarının toplamı toplam yıllık parçalanma oranını vermektedir. Bu değer yıllık taşıma kapasitesi ile karşılaştırılır. İki değerden küçük olanı yıllık toprak kaybı olarak kabul edilmiştir (Meyer ve Wischmeier, 1969).

2.4. Erozyon Çalışmalarında Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanımı

UA ve CBS erozyonun modellenmesinde önemli birer araç olmuştur. Özellikle CBS'ndeki gelişmeler toprak erozyonunun modellenmesinde farklı yöntemlerin ortaya çıkmasına hatta erozyon tiplerinin bile ayrılarak her birinin bağımsız olarak modellenmesine olanak sağlamıştır. UA ile elde edilen verilerin çözünürlüklerinin 1 m'den daha küçük olması, kısa zamanda çok fazla ve tekrarlı

bilgiler sağlamaya olanak vermesi araştırmacıların tercihlerini uydu verilerinden yana kullanmalarına neden olmuştur. Bu gün erozyon modellerinin çoğunda bitki örtüsüne ait faktörler UA metodolojisi ile sağlanmakta, modelleri oluşturan veriler CBS ile değerlendirilmektedir.

Tektaş'da yapılan bir çalışmada STREAMS (Toprak, Taşıma, Yağış, Erozyon ve Haritalama Sistemleri) isimli model, üniversal toprak kayıp denklemleri için gerekli örtü bilgileri ve arazi kullanımının uydu verileri ile elde edilmesi ve diğer bilgilerle CBS ortamında değerlendirmesi üzerine temellendirilmiştir. Modelde son ürün taşınma ve birikimlerin belirlenmesi ve farklı yağış altında sonuçların değerlendirilmesinden oluşmaktadır (Oslin ve ark., 1988). Coğrafi bilgi sistemleri ile risk haritalarını oluşturmak amacıyla Monte Karlo'da yapılan bir çalışmada üç boyutlu arazi modeli ile iklim, toprak, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu özellikleri kullanılmıştır. Çalışmada çeşitli senaryolara göre en az riskin hangi şartlarda oluşabileceği bulunmaya çalışılmıştır (Mitas ve ark., 1988).

Erozyonun belirteçleri olan parmak ve oyuntu erozyonları belli bir büyüklüğe ulaşmadan UA yöntemi ile belirlenemese de erozyon oluşumunu kontrol eden faktörler yardımıyla bunları tahmin etmek mümkün olmaktadır. CBS'nin bir kullanımında Illinois nehir havzasında sediment verimi ve depozitleşme miktarı CBS ile tahmin etmeye çalışılmıştır. Çalışma sonuçları üç farklı yer istasyonundan elde edilen verilerle karşılaştırılmış, çalışma sonunda bu tip çalışmaların bölgesel olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Lee, 1989). Bu amaçlara uygun hazırlanan ILWIS paket programı yardımıyla parmak erozyonu modellenmiş ve sonuçların uydu verilerinin sınıflandırılması ile elde edilebileceğini belirtilmiştir (Bocco, 1990). Bocco (1991) tarafından yapılan bir çalışmada, erozyona neden olan olayların çok değişken olması nedeniyle veri sağlamada UA, erozyon yayılım alanlarının belirlenmesinde ise CBS'nin kullanımının ideal bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Fabri (1991) yaptığı çalışmada, UA verileriyle CBS'ni birlikte kullanıp Bolivya'da meydana gelen yıllık toprak kayıplarını tahmin etmişlerdir. Çalışma sonucunda UA ve CBS ile yapılan değerlendirmeleri diğer bölgeler için de uygulanabileceği vurgulanmıştır

Toroslar' da yapılan bir çalışmada, erozyon şiddeti üzerine etkili olan jeolojik yapı, toprak özellikleri, eğim, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu gibi parametreler kullanılarak şimdiki erozyon durumu ve potansiyel erozyon riski haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada erozyon oluşumunda etkili olan toprak ve bitki faktörlerinin Landsat TM uydu verileri yardımıyla belirlenebileceği vurgulanmıştır (Çullu, 1993). Price (1993) Utah yarı kurak bölgelerde Landsat TM parlaklık seviyeleri ile toplam toprak kayıpları arasında kuvvetli ilişkiler bulunduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, toprak erozyonu üzerine etkili olan faktörlerin yüzey özelliklerinden (topoğrafya, vejetasyon örtüsü, zerre büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü, toprak ve kaya tipi, toprak ve organik madde içeriği, yağış, toprak nemi ve porozite) olan yansılardan etkilenmesi ve bunun UA ile belirlenebilmesi nedeniyle bu ilişkinin var olduğu oraya konulmuştur.

İtalya'nın Tiber vadisinde yapılan bir çalışmada 1700 ha alan için erozyon durumu belirlenmiştir. Çalışmada alana ait toprak, topoğrafik, iklim ve bitki örtüsüne ait verilere ait bir veri tabanı hazırlanmıştır. Bu veri tabanında USLE modeli için gerekli olan veriler üretilmiştir. Bu veri tabanında toprak çeşitleri, arazi kullanımı ve morfoloji gibi yer bilgileri birleştirilerek potansiyel toprak kayıpları tahmin edilmiştir. Çalışmada toprak kayıpları yerine erozyon potansiyeli belirlenmiştir (Conese ve Ark.,1993).

Benzer bir çalışmada, Spot veya Landsat TM uydu verilerinden erozyon oluşumuna neden olan çevre özelliklerini tanımlayan bilgilerin sağlanabildiği ve bu bilgilerin CBS ile değerlendirilmesi ile sonuçların doğruluğunun ve hızının arttığı belirtilmiştir (Dee Jong, 1994). Çalışmada erozyon uygulamaları için gerekli olan vejetasyon haritalarının hazırlanmasında TM görüntülerinin kullanılarak NDVI ile elde edilen haritaların toprak haritaları ile birleştirilmesinin uygun olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada DEM ve iklim bilgilerinin de birleştirilerek kullanılmasının SEMMED erozyon modeli için en iyi yöntem olduğu saptanmıştır. Akdeniz bölgelerindeki yarı kurak alanlar için geliştirilen bu modelin (SEMMED) uydu verileri ve CBS ile uygulanabilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Erozyon oluşan alanların belirlenmesi küresel ve bölgesel ölçeklerde modellerin parametrelere bağlılığı yüzünden sınırlanmaktadır. Çünkü, gereken

veriler çoktur ve toprak, iklim ve vejetasyon hakkında bilgileri içermektedir. UA farklı ölçeklerde büyük miktarlarda alanlardan bilgi elde etmede yardımcı olmaktadır

Bu amaçla (Sharma ve Surendra, 1995) yapılan bir çalışma olan ANSWERS erozyon modelinde, yüzey akışı ve yüzey erozyonu CBS ortamında tanımlanarak topoğrafik yapının bilgisayar ortamında oluşturulması, yüzey akış ve infiltrasyon gibi olguların kuramsal olarak taklit edilmesi değerlendirilmiştir.

Paracchini ve ark. (1997) tarafından Sicilyanın kuzeydoğusunda yer alan 100 km²'lik Timeto nehir havzasında yapılan bir çalışmada Morgan ve Finney tarafından hazırlanan fiziksel temelli sayısal modeller üzerine kurulmuş olan SEMMED modeline göre toprak kayıpları tahmin edilmiştir. Çalışmada 1:25.000 ve 1:50.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanarak oluşturulan sayısal yükseklik modelinden eğime ait bilgileri sağlanmış, Landsat TM uydu verisinden C faktörünü bulunmuştur. 1:250.000 ölçekli toprak haritasından ise toprak kütle yoğunluğu, A horizon kalınlığı, tarla kapasitesindeki nem içeriği, sature edilmiş iletkenlik ve toprakların parçalanabilirliğine ait bilgiler sağlanmıştır. Çalışmada gerekli yağış verileri yağış istasyonlarında ölçülen değerlere göre üretilmiştir. Modelin uygulanması ile havzada oluşan toprak kayıplarının 0-6.48 kg/m² arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma sonunda, en fazla toprak kayıplarının bitki örtüsünce zayıf olan arazilerden oluştuğu saptanmıştır. Ayrıca Landsat TM görüntülerinin örtü faktörünü belirlemede ve, erozyon çalışmalarında araziye ait dinamik bilgilerin izlenmesinde uydu verilerinin kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Wu ve Price (1997) tarafından Fidney-Kansas'ta yürütülen koruma programı (CPR) içerisinde USLE modeline göre toprak kayıplarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada USLE için gerekli olan bitki örtüsü faktörünü belirlemek üzere üç farklı zamanda alınmış Landsat TM görüntülerinin 3., 4., 5. ve 7. bantları kullanılmıştır. Arazi kullanımını belirlemek üzere bu verileri ERDAS yazılımı ile kontrolsüz/eğitimsiz (unsupervised) sınıflama yöntemine göre sınıflandırılmış, çalışma alanını tarım alanı, çayır-orman, yerleşim, mera-otlak ve çıplak alanlar olmak üzere beş farklı guruba ayrılmıştır. Ayrıca tarım alanlarını aynı yazılım ile kontrollü/eğitilmiş (supervised) sınıflama sistemine göre sınıflandırılarak ürün deseni belirlenmiştir. USLE modeli için gerekli olan toprak özelliklerine ait

verileri 1:24.000 ölçekli toprak haritasından, topoğrafik verileri 1:25.000 ölçekli haritadan ARC/INFO yazılımı ile sayısallaştırılan haritalardan elde edilmiş ve uydu verileri ile elde edilen bilgilerle birlikte CBS yardımıyla değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda UA ve CBS'nin bu amaç için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Eyaletin erozyon durumu, bitkisel üretim yapılan alanlarda ürün desenleri ve yetiştirilen topraklar arasındaki ilişkileri erozyona uğrama dereceleri yönünden belirlenmiştir.

Metternicht ve Zinck (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, Landsat-4 TM ve Jers-1 uydu verilerinin erozyon özelliklerinin belirlenmesi ve haritalanmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma erozyon yönünden hayli risk taşıyan Bolivya'nın Scoba vadisinde yürütülmüştür. Çalışma 10.000 ha alana sahip ve dağ, dağ etekleri ve dağlar arasında kalan vadilerden oluşan fizyografyaları kapsamaktadır. Subtropik iklime sahip ve mısır tarımı yapılan bu alanlar için Mayıs 1994 tarihinde Landsat ve Haziran 1994 tarihinde Jers-1'den alınmış veriler kullanılmıştır. Çalışmada ERDAS programının maksimumu likelihood metoduna göre sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma sonunda yalnızca uydu verileri kullanılarak erozyon alanlarının haritalanmasında en iyi sonuçları Landsat TM ve JERS-1'in birlikte kullanımı ile elde edildiğini ve bu iki uydu kullanılarak elde edilen sınıfların kayalık, nadas, hafif aşınmış alanlar ve çeşitli arazi tipleri % 90'ın üzerinde doğrulukla ayırt edilebildiği belirtilmiştir.

Cochrane ve Flanagan (1999) yaptıkları bir çalışmada su hatlarında CBS ve sayısal yükseklik modelleri yardımıyla WEPP erozyon tahmin modelini değerlendirmişlerdir. Çalışmada altı farklı dere havzası için üç farklı yaklaşım karşılaştırılmıştır. Bunlardan birincisinde WEPP modeli için gerekli olan veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve değerlendirme yapılmıştır. İkinci yaklaşımda, sayısallaştırılan topoğrafik haritalardan ARC VIEW 3.0 yazılımının 3D analiz opsiyonu kullanılarak çalışma alanına ait eğim ve su akış çizgilerini oluşturulmuş ve WEPP modelin uygulanmış, üçüncü yaklaşımda ise arazide tanımlanan tüm su yolları bilgisayar ortamına aktarılıp WEPP modeli ile değerlendirilmiştir. WEPP modelinin CBS'ne uygulanmasında GRAS-CIS yazılımından yararlanılmış ve Fortran dilinde yazılan yardımcı programlar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda

USLE gibi toprak kayıplarını belirlemeye yönelik olan WEPP modeli için CBS kullanımının çalışmaların doğruluğu ve hızını artırdığı belirtilmiştir.

Rode ve Frede (1999) tarafından Almanya’da yapılan bir çalışmada SPANS-GIS’da AGNPS 3.65 versiyonu kullanılarak fiziksel temelli bir model yaklaşımı yapılmıştır. Modelde alanın konumsal değerlendirmesi için su hatları uygun gridlere ayrılmıştır. Toprak kayıpları MUSLE’ye göre tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda sediment taşınmasına göre alan 5 sınıfa ayrılmıştır. Çalışmadan elde edilen sediment kayıpları CREAMS modeli kullanılarak N ve P kayıpları tahmin edilmiştir. Bu araştırma ile CBS ile bağlı yüzey akış ve besin taşınmasının birlikte hesaplanabileceği bir sistemin kurulabileceği belirtilmiştir.

Kirkby ve ark. (2000) bölgesel ölçekte erozyon risklerini belirlemek ve izlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında toprak, iklim, topoğrafya ve vejetasyona bağlı olarak ton/hektar cinsinden toprak kayıplarını belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmada yüzey akış ve akışın taşıdığı sedimenti tahmin etmeye yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışma için gerekli olan bitki örtüsüne ait verileri CORINE yöntemine göre sağlanmıştır. Sayısal yükseklik modeli ve CBS kullanılarak yapılan bu çalışmada 1:250.000-1:1.000.000 ölçekli bir sonuç haritası oluşturmak için 1 yada 5 km’lik gridlerin oluşturulmasının ve AVHRR algılayıcısından (NOAA) alınan aylık görüntülerle bitki örtüsünün devamlı izlenmesinin yeterli olduğu belirtilmiştir. Çalışmada erozyon riskinin belirlenmesi için geliştirilen matematiksel denklemlerle erozyon riski sayısal değerlere bağlı olarak 5 sınıfa ayrılmıştır. Alan için yapılan toprak kayıpları hesaplamalarına göre 0.005 t/ha’dan daha az kayıp oluşturan alanları çok düşük erozyon, 0.005-0.05 t/ha arasında toprak kayıpları olan alanları düşük, 0.05-0.5 t/ha arasında toprak kayıpları olan alanları orta, 0.5-5 t/ha arasında toprak kayıpları olan alanları şiddetli ve 5 t/ha’dan daha fazla toprak kayıpları olan alanları ise çok şiddetli risk sınıfına ayrılmıştır.

Eşen ve Dalaman havzalarında yürütülen model çalışmalarında erozyonla mücadelede öncelikli alanların belirlenmesinde uydu verileri ve CBS kullanımının şimdiki ve potansiyel erozyon risklerinin derecelemede uygulanabilir olduğu belirtilmiştir. Araştırmacı Dalaman havzasının erozyon risk haritasını CORINE

yöntemine göre hazırlamış ve havzayı 4 farklı risk gurubuna ayırmıştır (Doğan ve ark., 2000).

FitzHugh ve Mackay (2000) tarafından yapılan bir araştırmada AGNPS tahmin programı için gerekli olan toprak üzerinde kalmış artık ürünlerin UA metodu yardımıyla belirlenmesine ait bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Landsat TM uydu verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada ERDAS yazılımı ile yapılan kontrolsüz/egitimsiz (unsupervised) sınıflama metodunun en iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda toprak yüzeyini örten artık ürünlerin kapalılık oranına göre % 15 <, 15-45, 45-75 ve 75> olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Bu ayırmda % 60'lık başarı sağlandığı belirtilmiştir.

Rafaelli ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Arjantin-İruya bölgesinde fiziksel temelli erozyon modelleri için gerekli olan sayısal yükseklik modellerinin oluşturulmasına ait farklı yöntemler denenmiştir. Bu amaçla hava fotoğrafları ve topoğrafik haritadan elde edilen sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Çalışmada hava fotoğrafları ve topoğrafik haritaların kullanımının fark oluşturmadığını ancak raster/hücre ve vektör/çizgi tabanlı sonuç haritalarının karşılaştırıldığı zaman vektör/çizgi tabanlı yaklaşımlar ile elde edilen haritaların daha detaylı bilgiler içerdiği belirlenmiştir.

Ahamed ve ark. (2000) tarafından Hindistan'ın Kalyanakere-Karnataka bölgesinde 2250 ha'lık bir alanda yapılan erozyon tahmin çalışmasında USLE yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada gerekli parametrelerden eğime ait olanları 5 m'lik sayısal yükseklik modelinden elde edilmiş, toprağa ait parametreleri ise 1:8.000 ölçekli toprak haritasından sağlanmıştır. Toprak kayıplarını belirlemek amacıyla 14.5x14.5 m'lik gridler oluşturulmuş ve her bir grid hücresinde USLE modeli uygulanmıştır. Gridlemede oluşan detaylardaki veri kayıplarını engellemek amacıyla Fuzzy sınıflama metodu kullanılmıştır. Çalışma sonunda Fuzzy sınıflama yaklaşımının uygulandığı ve uygulanmadığı iki metodu karşılaştırılmış, iki uygulamanın bir birine çok benzediği belirlenmiştir.

GRAS-GIS programı kullanılarak yapılan bir çalışmada (Suri ve Hofierka, 2001) UA ve CBS leri ile geniş alanlarda su erozyonunun belirlenmiştir. Çalışmada Spot XS uydu verisinde kontrollü/egitimli (supervised) sınıflama (isodata) ile

çalışma alanında yer alan çıplak alanlar belirlenmiştir. Bu alanlar maskelendikten (mask) sonra uydu verisinde XS3-XS2/XS3+XS2 bantları kullanılarak NDVI ile bitki indeksi hesaplanmıştır. Ayrıca erozyona çıplak alanlarda unsupervised sınıflama metoduna göre sınıflandırılmış ve GRAS-GIS metodu ile elde edilen sonuçlar toprak kayıpları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile bitki örtüsüne ait verilerin belirlenmesinde Spot XS uydu verisinin kullanımının uygun olduğu, ayrıca uydu verileri ile yapılan sınıflandırmanın erozyon aşınımını belirlemede ümit verici sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Erozyon tahminlerini gerçekleştirmede gerekli olan arazi ölçekli veri tabanı oluşturmak için kullanılacak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir (Runquist ve ark., 2001). Bu program arazi özelliklerinin girildiği, sınırların işlendiği, ek algoritmaların bağlandığı, veri olmayan alanlar için interpolasyona uygun, temel istatistik metodları içeren, gridleme ve sınıflama prosesleri, sorgulama çözümlene ve konum analizlerinin yapıldığı ayrıca UA verilerinin işlendiği yapıda tasarlanmıştır.

Brazier ve ark. (2001), WEPP modeli kullanılarak daha az veri girişi ile ulusal ve bölgesel ölçekte toprak kayıplarını tahmin etmeye yönelik bir model geliştirilmiştir. MIRSSED olarak adlandırdıkları bu model için WEPP verileri kullanılmış, bu amaçla 1 km²'lik gridler oluşturulmuştur. Model WEPP de olduğu gibi CBS uygulamalarını içermektedir. MIRSSED modeli ile yaptıkları bir çalışmada İngiltere'nin Cambridgeshire bölgesi Great Ouse havzasında toprak kayıpları tahmin edilmiştir. Çalışma sonucu böyle bir yaklaşımın ulusal ölçekte havzalar için kullanılabilir özellikte olduğu belirtilmiştir.

Jain ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Hindistan'ın Uttar Pradesh bölgesi Doon vadisinin batı kısmında yer alan Sitlarao su toplama alanında Morgan ve ark. (1984) ve USLE modeline göre toprak kayıpları belirlenmiştir. Çalışma deniz seviyesinden yüksekliği 440-2300 m ve toplam alanı 52 km² bir havzada yürütülmüştür. Çalışmada ILWIS-GIS ve ERDAS görüntü işleme programları kullanılmıştır. Topoğrafik haritadan sayısallaştırılan eşyükselti eğrileriyle sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş, yıllık toplam yağışı bölge için daha önce hazırlanmış bir denklem ile hesaplanmıştır. Yağmur damlasının etkisini belirlemek amacıyla enerji hesabında 30 dakikalık yağış yoğunluğu 25 mm/h olarak

kabul edilmiştir. Toprak özellikleri fizyografik ünitelere bağlı hazırlanmış toprak haritasından, bitkisel özellikler ise uydu verilerinden sağlanmıştır. Çalışma alanını yoğun orman, bozuk orman, karışık orman örtüsü, tarım alanı, nadas, çıplak toprak, kar örtüsü ve nehir yatağı olarak arazi kullanım türlerine ayrılmıştır. CBS programları ile genelleştirilen haritalar bu iki modele göre ilişkilendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, Morgan modeline göre yoğun orman alanlarında erozyona uğrayan toprak miktarı 569 ton/km²/yıl olarak belirlenmiştir. Her iki modelde de yoğun ormanların bulunduğu alanlarda en az toprak kayıplarının olduğu bulunmuştur. Modellerin fizyografyaya bağlı olarak değerlendirilmesinde ise, dağlık alanların en fazla risk gösterdiği düz alanların ise en az risk gösterdiği belirlenmiş ve düşük kotlarda yer alan topraklarda erozyon miktarının 20 ton/km²/yıl olduğu tahmin edilmiştir. Morgan modeliyle yapılan tahminlerde ortalama toprak kaybı 2200 ton/km²/yıl, USLE modeli ile yapılan tahminlerde ise 5800 ton/km²/yıl olarak bulunmuştur. Himalayalar için ölçülen toprak kaybının 2000-2500 ton/km²/yıl olduğunu ve bu bölge için Morgan modelinin USLE modeline göre daha mantıklı sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Bhuyan ve ark. (2002), üç farklı erozyon modeli ile toprak kayıplarını tahmin etmişler ve arazi ölçümleri ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışma Kansas State Üniversitesi deneme sahasında yürütülmüştür. Çalışma alanı Woodson siltli tını topraklarından oluşmakta ve % 1.0-1.5 eğimde yer almaktadır. Çalışmada WEPP, EPIC ve ANSWERS modelleri kullanılmıştır. Bu modellerle yapılan tahminler ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması sonucu her ne kadar üç modelde uygun tahminler yapılabilmesine rağmen bir genelleme ile en makul değerlerin WEPP modeli ile elde edildiği belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma Eğirdir Gölü su toplama havzasında yürütülmüştür. Çalışmada materyal olarak çalışma alanı, alana ait haritalar, uydu verileri, raporlar ve istatistik bilgileri kullanılmıştır. Ayrıca haritaları sayısallaştırmada ARC/INFO 8.1 yazılımı ve A0 sayısallaştırıcı, uydu verilerinin işlenmesinde ERDAS 8.4 görüntü işleme yazılımı, verilerin çakıştırılmasında ve sorgulanmasında ARC VIEW 3.2a. yazılımı ve veri formatlarının birbirlerine dönüştürülmesinde ERMAPPER 6.0 yazılımı kullanılmıştır.

3.1.1. Çalışma Alanına Ait Bilgiler

3.1.1.1. Konum

Eğirdir gölü su toplama havzası Isparta ili sınırları içerisinde yer almakta, Isparta ilinin kuzey-kuzeydoğu sınırını oluşturmaktadır. Havza Acıgöl, Akşehir, Eber, Burdur ve Beyşehir göllerinin havzaları ile çevrilidir. Eğirdir gölü havzası kuzey-kuzey doğuda Sultan dağları ile Akşehir ve Eber gölleri havzasından ayrılmaktadır. Kuzeybatıda Karadağ havzayı Gül ovası ile ayıran doğal sınırdır. Havzanın batı-güneybatısında Acıgöl ve Burdur gölü havzaları yer almaktadır. Eğirdir gölü havzasının güneydoğusunda Beyşehir gölü havzası yer alır. Güneyinde ise Kovada gölü ve su toplama havzası yer almaktadır (Şekil 3.1).

Eğirdir gölü havzası 5 ilçe merkezi, 17 belde ve 59 köyden oluşan toplam 81 yerleşim birimini kapsar. Toplam alanı 3289.4 km² olan havzanın 465.8 km²'si (1965 yılında hazırlanan 1:25.000 ölçekli standart topoğrafik haritaya göre) Eğirdir gölü rezervuarına aittir. Havza alanından Eğirdir gölü rezervuarına ait alan çıkarıldığında kalan net alan ise 2823.6 km² olmaktadır. Çalışma alanı 37°45'-38°30' kuzey enlemleri 30°15'-31°30' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Havzanın deniz seviyesinden yüksekliği 930-2750 m arasında değişmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu

3.1.1.2. İklim

Çalışma alanı İç Anadolu karasal iklimi ile Akdeniz ılıman iklimi arasında geçit bölge iklimine sahiptir. Ancak genel yağış ve sıcaklık özellikleri ile karasal bölge iklimine (yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı) daha yakındır.

Isparta ilinde 25 yıllık ortalama meteorolojik verilere göre yağış ortalaması 524 mm, yıl içerisinde 79.6 mm ile en fazla yağış Aralık ayında, 6.5 mm ile en az yağış Ağustos ayında düşmektedir (Çizelge 3.1). Yıllık ortalama sıcaklık 12.4 C°, yıllık ortalama oransal nem % 55 olarak gerçekleşmektedir.

Yıl içerisinde en düşük nem değerleri % 35 ile Temmuz ayında, en yüksek nem değerleri ise % 75 ile Aralık ayında gerçekleşmektedir. 50 cm toprak derinliğinde yıllık ortalama sıcaklık 13.8 C°, en düşük toprak sıcaklığı 3.3 C° ile Şubat ayında, en yüksek toprak sıcaklığı ise 25.0 C° Ağustos ayında gerçekleşmektedir (KHGM, 1994).

Çizelge 3.1. Çalışma alanı iklim değerleri uzun yıllar ortalaması (KHGM, 1994)

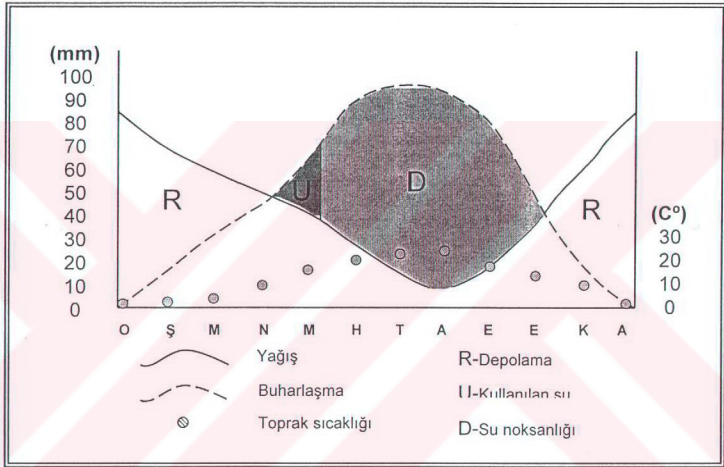
Aylar	Sıcaklık (C°)	Yağış (mm)	50 cm'de toprak sıcaklığı (C°)	Buharlaşma (mm)	Oransal nem (%)
Ocak	1.6	76.2	4.0	-	74
Şubat	3.1	61.0	3.3	-	70
Mart	6.6	51.0	6.4	63.2	61
Nisan	10.6	55.5	10.6	104.3	54
Mayıs	15.8	59.5	15.1	155.4	51
Haziran	20.0	25.3	21.0	186.6	44
Temmuz	23.8	10.8	24.3	233.4	35
Ağustos	23.2	6.5	25.0	214.4	36
Eylül	19.1	15.4	23.5	153.8	41
Ekim	13.6	40.5	18.4	94.3	54
Kasım	8.1	43.0	11.3	28.2	63
Aralık	3.4	76.9	6.1	-	75
Toplam ve Ortalama	12.4	524.3	13.8	1233.6	55

Bu bilgilere göre çalışma alanı Xeric nem rejimi ve Mesic toprak sıcaklık rejimine sahiptir (Soil Survey Staff, 1975). Şekil 3.2'de çalışma alanı için hazırlanan iklim diyagramı yer almaktadır.

3.1.1.3. Bitki örtüsü

Çalışma alanının doğal bitki örtüsü kurak iklimlere adapte olmuş otsu bitkiler, çalı-orman karışımı doğal örtüler, yüksek alanlarda çam türleri, maki ve meralıklardır. Kurakçıl otsu bitkilerden festuka, sulkata, geven, üzerik ve fermer en yaygın yetişenlerdir. Orman örtüsü ise meşe türleri ve ardıçlardan oluşmaktadır. Makilikler ve bozulmuş orman örtüsü olarak boz ardıç (*Juniperus exelsa*) ve pırnal meşesi (*Quercus aucheri*) alanın baskın bitki türüdür.

Çalışma alanında yer alan meralar yem kaynaşı (*Phalaris arundinacea*), domuz ayrığı (*Dactylis glomerata*), stipa (*Dactylis hispaica*), çayır kelp kuyruğu (*Pheleum pratense*), otlak ayrığı (*Agropyum cristatum*), kır ayrığı (*Agropyum desertorum*), ve yüksek otlak ayrığından (*Agropyum elengatum*) oluşmaktadır. Alanda kültür bitkisi olarak buğday, arpa, mısır, nohut ve fasulye sulanan alanlarda yoğun elma tarımı, yağ gülü ve bazı sebze türleri yetiştirilmektedir.



Şekil 3.2. Çalışma alanı iklim diyagramı

3.1.1.4. Toprak özellikleri

Çalışma alanı aluviyal, tuzlu alkali aluviyal ve hidromorfik aluviyal, koluviyal, kahverengi orman ve kireçsiz kahverengi orman, kestane rengi, kırmızı akdeniz ve kırmızımsı kahverengi akdeniz ve nehir taşkını topraklardan oluşmaktadır. Bunlar dışında doğal toprağı bulunmayan veya çok az olan çıplak kayalıklar bulunmaktadır. Aluviyal topraklar, çalışma alanının düz ve düze yakın kısımlarında ve Eğirdir gölüne komşu alanlarda yer almaktadır. Gölün kıyısında ise yer yer hidromorfik aluviyal topraklar bulunmaktadır. Yüksek bölgelere doğru kahverengi orman, kireçsiz kahverengi orman ve kestane rengi topraklar bir birleri

içerisinde dağılmıştır. Bu ana dağılım deseni arasında yer yer tuzlu alkali aluviyal, kırmızı akdeniz, kırmızımsı kahverengi akdeniz toprakları yer almakta, dere ağızlarında nehir taşkını topraklar bulunmaktadır. Çalışma alanında 1800 m yükseklikten sonra ise genel olarak aşınmış çıplak kayalıklar yer almaktadır. Çalışma alanını oluşturan en büyük toprak gurubu kahverengi orman topraklarıdır. Bu toprakları kestane rengi topraklar izlemektedir. Alanda yer alan çıplak kayalıkları üçüncü sırada yer almaktadır. Bu üç gurup alanın yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü oluşturmaktadır. Kırmızımsı Akdeniz toprakları havzada yer alan ve en az alana sahip toprak gurubudur.

Arazi kabiliyet sınıflarına göre ise çalışma alanında en fazla VII. sınıf araziler yer almaktadır. Bunu VIII. ve VI. sınıf araziler izlemektedir. I. ve II. sınıf arazilerin oranı ise çalışma alanının en az kısmını oluşturmaktadır (KHGM, 1994).

3.1.1.5. Jeoloji

Bölgede otokton mesozoik karbonat platformu üzerine lütesiyon sonunda ofiyolitik karmaşık tektonik olarak yerleşmiştir. Tortoniyen sonunda toroslar su yüzeyine çıkmış ve miyosen-pliyosen yaşlı birimlerle uyumsuz olarak örtülmüştür.

Daha sonra karasal tortullaşma, kıta içi volkanizma ve blok faylanmaları gelişmiş göl yatağı güney-güney doğu kenarı fay üzerine yaslanmıştır (KHGM, 1994).

Çalışma alanı temel kayaçları neojen-ayrılmış karasallar, kuaterner-ayrılmamış karasalları, mesozoik tersiyerler ve paleozik metamorfiklerinden oluşmuştur. Havzanın çukur alanları kuaterner karasallar oluşturmaktadır. Havza ortasında ve güney doğusunda kalan yükseltilere mesozoik tersiyerlerden oluşmuştur. Havzanın doğusunda yer alan yükseltiler doğru önce neojen karasal formasyonları sonra jura-kretase dizilimleri ve havza sınırında paleozik metamorfikler yer almaktadır. Havzanın güney doğusu Ofiolitli mesozoiklerden oluşmuştur. Göl havzasının batı kısmında ise üst kratese flišleri temel formasyonlardır. Kuzey batı yamaçlarında lokal olarak dağılmış tuf ve eosen flišler yer almaktadır.

3.1.2. Temel Veriler

Çalışmada, alana ait sayısal uydu verileri, standart topoğrafik haritalar, jeolojik haritalar, iklim verileri, havza raporları, istatistik sonuçları ve çeşitli kamu kuruluşlarından sağlanan bilgiler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu verilere ait detaylı bilgiler başlıklar halinde verilmiştir.

3.1.2.1. Uydu verileri

21 Ağustos 2000 tarihinde 8 banttan alınmış Landsat-7 ETM+ uydu verisi (full frame) kullanılmıştır.

Landsat-7 uydusu, 15 Nisan 1999 tarihinde yörüngeye oturtulmuştur. Bu uydu tarayıcı aynalı spektrometre algılama sistemine sahiptir. Bir çerçevede tarama genişliği 185x185 km'dir. Yılda 250 çerçevelik veri sağlamakta ve bu rakam 31.400 km²'lik alana karşılık gelmektedir. Landsat-7 uydusu yörüngesini 16 günde tamamlamaktadır. Yeryüzünden uzaklığı 705 km olan Landsat-7 uydusu güneşe senkronize yörüngede hareket etmektedir. Landsat-7 uydusu yatayla 98,2° lik açı ile ekvatorдан öğleden önce saat 10:00'da (± 15 dakika) geçmektedir (NASA, 1999; Jensen, 2000).

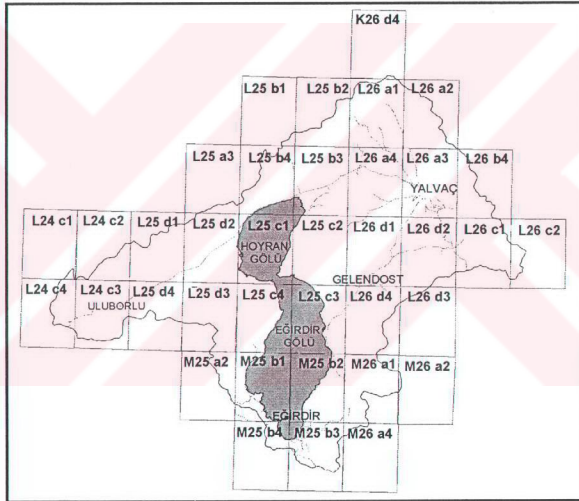
Landsat-7 uydusu ETM + algılayıcısının Landsat programında en önemli özelliği 15 m çözünürlüklü pankromatik banta sahip olmasıdır. Çizelge 3.2'de Landsat-7 ETM+ uydu verisinin band özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Landsat-7 ETM+uydu verisinin özellikleri(Lillesand ve Kiefer, 2000)

ETM +			
Band		Dalga boyu (µm)	Çözünürlük (m)
1.	Mavi	0.450-0.515	30
2.	Yeşil	0.525-0.605	30
3.	Kırmızı	0.630-0.690	30
4.	Yakın kızılötesi	0.750-0.900	30
5.	Orta kızılötesi	1.55-1.75	30
6.1. (1 nolu formatta)	Termal	10.40-12.50	60
6.2.(2. nolu formatta)	Termal	10.40-12.50	60
7	Orta kızılötesi	2.09-2.35	30
8	Pankromatik	0.520-0.900	15

3.1.2.2. Topoğrafik haritalar

Çalışmada Harita Genel Komutanlığınca hazırlanan toplam 37 adet 1:25.000 ölçekli standart topoğrafik harita kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan topoğrafik haritalar K26d4, L25a3, L25b1, L25b2, L25b3, L25b4, L26a1, L26a2, L26a3, L26a4, L26b4, L24c1, L24c2, L24c3, L24c4, L25d1, L25d2, L25d3, L25d4, L25c1, L25c2, L25c3, L25c4, L26d1, L26d2, L26d3, L26d4, L26c1, L26c2, M26a2, M25b1, M25b2, M25b3, M25b4, M26a1, M26a2, M26a4 pafta numaralarına sahiptir. Şekil 3.3'de çalışmada kullanılan topoğrafik haritaların çalışma alanında dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma alanı ve kullanılan topoğrafik haritaların numuru

3.1.2.3. Jeolojik haritalar

Çalışmada MTA Genel Müdürlüğünce Hazırlanan jeolojik haritalar kullanılmıştır. Bunlar 1:100.000 ölçekli ve M25, M26 pafta numaralı haritalar ve 1:500.000 ölçekli Konya-A ve Ankara-A pafta numaralı haritalardan oluşmaktadır.

3.1.2.4. İklim verileri

1950-1999 yılları arasını kapsayan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünce (1999) hazırlanan yağış özelliklerine ait ölçüm değerleri kullanılmıştır. Çalışmada iklim verilerinden yıllık yağış ortalamaları ve yağışlı gün sayısı kullanılmıştır.

3.1.2.5. Havza raporları ve toprak haritaları

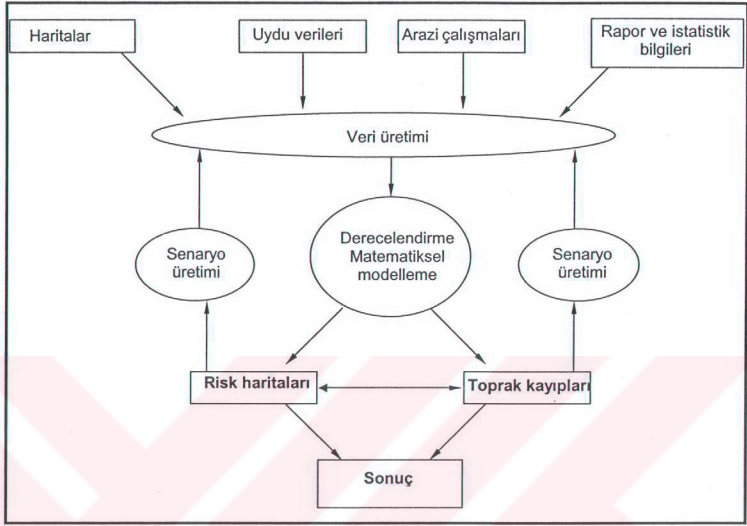
Topraksu Genel Müdürlüğünce 1970 yılında basılan Antalya Havzası Toprakları Raporu ve bu rapora ait 1:200.000 ölçekli Toprak Haritası (Topraksu İşleri Gen. Müd. 1970), Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünce 1994 yılında basılan Isparta İli Arazi Varlığı Raporu ve rapora ait 1:100.000 ölçekli toprak haritası (KHGM, 1994) kullanılmıştır.

3.1.2.6. Diğer çalışma raporları ve araştırma sonuçları

Bölgesel olarak çeşitli kamu kurumlarının bölge veya il müdürlükleri ve üniversitelerin bölümlerince hazırlanan jeolojik, hidrolojik, istatistik çalışmaları, bu çalışmalara ait raporlar, çalışma alanında yapılmış araştırma sonuçları kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

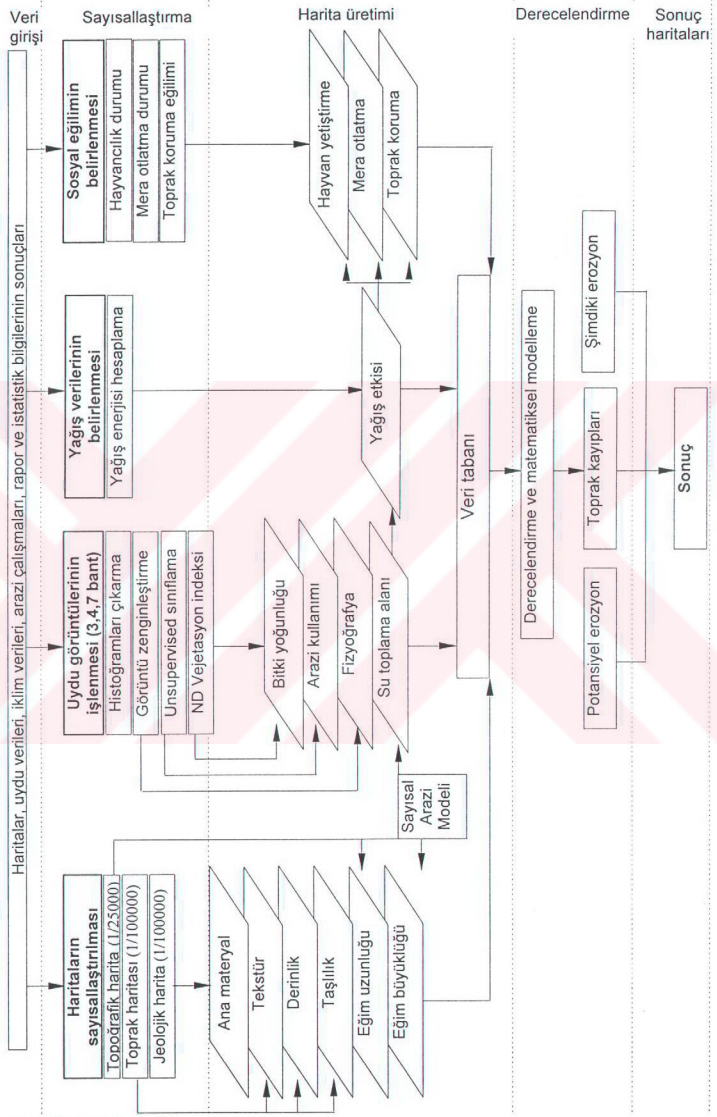
Bu araştırma, uydu verileri ve CBS kullanarak Eğirdir göl havzasının erozyon risk derecelerini saptamak, haritalamak, olası toprak kayıplarını tahmin etmek ve göl havzalarında uygulanabilir vektör/çizgi tabanlı yeni bir model geliştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Çalışmanın akış şeması şekil 3.4'de verilmiştir. Bu amaçla çalışma iki temel yaklaşım üzerine kuruludur. Bunlardan birincisi erozyon derecelendirmesi, ikincisi ise toprak kayıplarının tahminidir. Geliştirilen bu modelde alana ait haritalar ve veriler tanımlı ve ölçekli olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan haritalarda yer alan her bir özellik için veri tabanı hazırlanmıştır. Bu sayısal haritalar ve veri tabanları kullanılarak erozyon risklerini ve toprak kayıplarını belirlemede kullanılabilecek her bir özellik için yeni harita katmanları üretilmiştir. Üretilen harita katmanları CBS ortamında modelin metodolojisine uygun olarak ilişkilendirilmiştir. Böylece potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumu belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmanın akış şeması

Potansiyel erozyon riski; toprağın yapısından kaynaklanan özelliklerinden oluşan aşınabilirlik indisi ve topoğrafik faktörlerle yağış özelliklerinin oluşturduğu aşındırıcı indisinin ilişkilendirilmesi ile belirlenmiş, şimdiki erozyon durumu ise arazileri kullanma yönünde insanların davranışlarının etkisini belirten sosyal etkenler indisinin bitki indisi ile birlikte kullanılması sonucu bulunan koruma düzeyleri indisinin aşınabilirlik ve aşındırıcı indisleri ile ilişkilendirilmesinden elde edilmiştir. Aynı harita katmanları kullanılarak Morgan (2001) tarafından geliştirilen bir toprak kayıp denkleminin bölgeye uyarlanması ile toprak kayıpları tahmin edilmiştir.

Erozyon riskleri ve toprak kayıplarını belirlemek için geliştirilen bu modelin beş temel aşaması vardır. Bunlar; veri girişi, veri üretimi, veri değerlendirme, erozyon haritalarının üretimi, toprak kayıplarının tahmini ve sonuç haritalarının oluşturulmasıdır. Şekil 3.5’de geliştirilen modelin akış şeması yer almaktadır.



Şekil 3.5. Model akış şeması

3.2.1. Veri Girişi

Çalışmayı oluşturan modelde giriş verilerini çalışma alanına ait haritalar, uydu verileri, arazi çalışmaları, alana ait rapor ve istatistik bilgileri oluşturmaktadır. Verilerin bilgisayar ortamına aktarılmasında, 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar, 1:100.000 ölçekli toprak haritaları, 1:100.000 ve 1:500.000 ölçekli jeolojik haritalar ARC/INFO 8.1 yazılımı ve A0 sayısallaştırıcı ile manual olarak sayısallaştırılmıştır (ESRI, 1994).

Sayısallaştırmada UTM koordinat sistemi kullanılmıştır. İklim, hayvancılık durumu ve koruma önlemlerine ait rakamsal veriler, sayısallaştırılan haritalar temel alınarak üretilen yeni haritalar üzerine aktarılmış, böylece noktasal veriler alansal verilere dönüştürülmüştür. Sayısallaştırılan haritalara ait veri tabanları hazırlanmış ve çalışmada kullanılacak her bir özellik için veri üretimi yapılmıştır.

3.2.2. Veri Üretimi

Sayısal haritalardan erozyon oluşumunda etkili olan ve model metodolojisinde yer alan her özellik için yeni harita katmanları oluşturulmuştur. Bu katmanların sahip oldukları öznelikleri veri tabanlarında depolanmış ve çalışmaya uygun olarak guruplandırılmış yada rakamsal değerler verilmiştir. Bu harita katmanları ve veri tabanları erozyon derecelerinin belirlenmesinde ve toprak kayıplarının matematiksel metotlarla tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada sayısallaştırma sonucu hazırlanan haritalardan üretilen yeni haritalar başlıklar halinde sunulmuştur.

3.2.2.1. Sayısal topoğrafik harita

Sayısal topoğrafik haritanın oluşturulmasında, toplam 37 paftadan oluşan 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita kullanılmıştır. Topoğrafik haritalarda yer alan eşyüksekti eğrileri, yollar ve yerleşim alanları, çalışma alanında yer alan su hatları (dere ve kuru dereler) tanımlanarak ve koordinat verileri girilerek sayısallaştırılmıştır (ESRI, 1994). Sayısallaştırmada eşyüksektiller, yollar, dere ve kuru dereler çizgi,

yerleşim alanları poligon olarak tanımlanmıştır. Böylece koordinat sistemine sahip ölçekli sayısal topoğrafik harita hazırlanmıştır. Sayısal topoğrafik harita sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında, uydu verilerinin arazi kontrollerinde ve sonuç haritalarının basımında altlık olarak kullanılmıştır.

3.2.2.2. Sayısal yükseklik modeli

Sayısal yükseklik modelinin oluşturulması için sayısal topoğrafik haritada 50 m'de bir geçen eşyüksekti eğrileri kullanılmıştır. Bu veriler ARCVIEW 3.2a yazılımının 3D analiz opsiyonu yardımıyla alanın sayısal yükseklik modeli hazırlanmıştır (ESRI, 1998 a). Oluşturulan sayısal yükseklik modeli eğim uzunluğu, eğim yönü, eğim büyüklüğü ve yağış haritalarının oluşturulmasında, uydu verilerinin işlenmesi için havzalara bölünmesinde kullanılmıştır.

Eğim uzunluğu haritası iki farklı haritanın kesişimi ile elde edilmiştir. Bu haritalar eğim büyüklüğü haritası ve eğim yönü (bakı) haritasıdır. Eğim uzunluğunun belirlenmesinde öncelikle bu iki harita sayısallaştırılarak vektör/çizgi formatına çevrilmiştir. Daha sonra bu haritalar için veri tabanları hazırlanmıştır. Vektör/çizgi formatına çevrilen ve veri tabanları hazırlanan eğim büyüklüğü ve eğim yönü haritaları çakıştırılarak yeni bir harita oluşturulmuştur. Böylece bu haritada eğim gurubu aynı fakat eğim yönleri farklı olan birimlerin bir birinden ayrıldığı poligonlar yer almıştır.

Daha sonra haritanın veri tabanında yer alan eğim yönüne uygun olarak her bir poligonun içerisine çizgiler çizilmiş ve bu çizgilerin ölçülmesi ile eğim uzunlukları belirlenmiştir. Son aşamada ise eğim uzunluğu haritasının veri tabanına ölçülen uzunluk değerleri işlenmiş ve eğim uzunluğuna ait veri haritası ve veri tabanı elde edilmiştir. Eğim uzunluğu haritasının hazırlanmasında ARC VIEW 3.2a yazılımı kullanılmıştır.

3.2.2.3. Sayısal toprak haritası

Topraksu Genel Müdürlüğü (1970) ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (1994) tarafından hazırlanan toprak haritalarında yer alan her bir haritalama ünitesi poligon tanımlı olarak sayısallaştırılmıştır. Daha sonra aynı haritalama sembollerine

sahip poligonlara aynı tanımlama numaraları (ID) verilmiş ve bu numaralara göre veri tabanı hazırlanmıştır. Böylece her poligonun alanı belirli ve tanımlı toprak özelliklerini içeren sayısal toprak haritası elde edilmiştir. Sayısal toprak haritası toprak derinliği, yüzey taşlılığı ve üst toprak tekstürüne ait haritaların oluşturulmasında kullanılmıştır.

Sayısal toprak haritası ARCVIEW 3.2a yazılımının kuramsal analiz opsiyonu kullanılarak çalışma alanına ait toprak tekstürü, toprak derinliği ve yüzey taşlılığı haritaları üretilmiştir (ESRI, 1998 b).

3.2.2.4. Sayısal jeolojik harita

Çalışma alanına ait 1:100.000 ve 1:500.000 ölçekli jeolojik harita sayısallaştırılarak sayısal jeolojik harita hazırlanmıştır. Jeolojik haritada yer alan her bir haritalama ünitesi poligon olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan poligonlar için haritalama birimleri ve tanımlama numaraları (ID) verilmiş ve veri tabanı hazırlanmıştır. Sayısal jeolojik harita alana ait ana materyal haritasının üretilmesinde kullanılmıştır.

3.2.2.5. Yağış haritası

Çalışma alanı içerisinde 8 farklı meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan ölçülen yıllık yağış ortalamaları ve yağışlı gün sayısına ait verilerin dağılım alanlarını belirlemek amacıyla sayısal yükseklik modeli ile oluşturulan yükseklik sınıfları ve doğal fizyografik havza sınırları kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli ve fizyografik havza sınırları çakıştırılmıştır. Böylece fizyografya ve yüksekliğe bağlı olarak poligonlar oluşturulmuştur. Yağış istasyonlarından sağlanan veriler istasyonun içerisinde bulunduğu poligonu temsil ettiği kabul edilmiştir.

3.2.2.6. Sosyal durum haritaları

Çalışmada hayvancılık durumu, koruma önlemleri ve meraların kullanımı sosyal durum haritalarında incelenmiştir. Bu amaçla ilçe sınırları ve çalışma alanı

içerisinde kalan ilçe sınırları baz alınmıştır. Hayvancılık durumunun belirlenmesinde DİE (1999)'de belirtilen verilere göre birim alana düşen hayvan çeşidi-sayısı kullanılmıştır. Meraların kullanımı ve toprak koruma uygulamaları ise Tarım il ve ilçe müdürlüklerinden sağlanan bilgiler doğrultusunda aynı sınırlar üzerinde tanımlanmıştır.

3.2.2.7. Arazi kullanım haritası

Arazi kullanım haritasının oluşturulması amacıyla Landsat 7 ETM+ uydu verisinin tüm bantlarının histogramları hazırlanmıştır. Bu histogramlar ve bant özellikleri birlikte yorumlanarak arazi kullanım türlerinin en iyi ayırt edildiği bantların 3. 4. ve 7. kombinasyonları olduğu belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yansıma değerleri arasındaki farklılığı daha belirgin hale getirmek için "Histogram Equalization" metoduna göre görüntü zenginleştirme işlemi yapılmıştır (ERDAS, 1999). Daha sonra oluşturulan bu görüntü sayısal yükseklik modeli üzerine bindirilerek çalışma alanının üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir. Oluşturulan üç boyutlu görüntünün tüm yönlerden ve farklı yüksekliklerden incelenerek yorumlanmasıyla çalışma alanı alt havzalara ayrılmıştır. Daha sonra göl alanı maskelenmiş (mask) ve çalışma alanına ait uydu verisi alt havzalara bölünmüştür.

Her bir havzaya ait uydu verisi aynı yazılım yardımıyla kontrolsüz/eğitimsiz (unsupervised) sınıflama metoduna göre 11 sınıfa ayrılmıştır (ERDAS, 1999). Sınıflandırmada piksellerin en uygun guruba katılması için tekrarlama faktörü (maksimum iterations) 20 olarak kullanılmış, her bir pikselin o sınıfa girmesi için en az % 98 oranında benzemesi uygun bulunmuş (convergence 0.98) ve her pikselin bu şartlara uygun olduğu kontrol edilmiştir (skip factor x=1, y=1). Daha sonra sınıflandırılmış görüntülerde 3x3 pikselden (8.1 dekar) daha az alanı oluşturan guruplar elenmiş (eliminate 3x3) ve oluşturulan sınıfların sınırlarının düzenlenmesi için görüntü filitrelenmiştir (statistical filtering/median filter, window 3x3). Oluşturulan 11 sınıfın hangi arazi kullanım türünü gösterdiğini belirlemek üzere arazi çalışması yapılmıştır. Arazi çalışmaları için yan havzaların her birinde tüm sınıfları içeren 5x5 km büyüklüğünde ikişer adet test alanları belirlenmiştir. Arazi çalışmalarında test alanlarında yer alan sınıfların yerini bulmada GPS kullanılmıştır.

Arazi kontrollerinde test alanları etüd edilmiş ve kontrolsüz/eğitimsiz (unsupervised) sınıflama metoduna göre elde edilen her bir sınıfın hangi arazi kullanım türlerine karşılık geldiği saptanmıştır. Bu aşamadan sonra arazi çalışması ile test alanlarında kontrolleri yapılan sınıfların yansıma değerlerine göre tüm alan için arazi kullanım türü belirlenmiştir. Sınıflandırılmış görüntüde yer alan gruplar erozyon modelinin metodolojisine göre 5 grupta birleştirilmiştir.

3.2.2.8. Bitki yoğunluğu haritası

Bitki yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla bölünmüş yan havzalara ait uydu verileri normalize edilmiş vejetasyon indeksi (NDVI) metoduna göre (ERDAS, 1999) sınıflandırılmıştır. NDVI belirlenmesinde Landsat 7 ETM+ uydusunun 3. ve 7. bantları kullanılmıştır. NDVI, 7-3.bant/7+3.bant işlemine göre hesaplanmıştır. Bitki yoğunluğu yüzeyi örtme oranına göre dört grupta toplanmıştır. Bu aşamadan sonra arazi kullanım haritalarının hazırlanmasında olduğu gibi her havzada bitki indeksi işleminde oluşturulan dört grubu içeren 5x5 km'lik ikişer adet test alanları seçilmiş, test alanlarındaki sınıflar arazide bulunduğu yerlerin belirlenmesinde GPS'ten yararlanılmış ve arazi kontrolleri yapılmıştır. Yapılan kontrollere göre NDVI sınıflaması ile oluşturulan her bir grubun içerdiği bitkilerin yoğunluğu saptanmış, çalışma alanının tamamı için bitki yoğunluğu haritası hazırlanmıştır.

3.2.3. Veri Değerlendirme

Çalışmanın bu aşamasında erozyon oluşumunda etkili olan faktörlerin vektör/çizgi formatlı birer harita katmanı haline dönüştürülmesi, bu haritalara ait veri tabanlarına erozyon modeli için gerekli olan bilgilerin girilmesi, haritaların çakıştırılması ve bu bilgileri içeren veri tabanlarının birleştirilmesi işleri yer almaktadır. Veri değerlendirme aşamasında ilk olarak sayısal topoğrafik harita, sayısal toprak haritası, sayısal jeolojik harita, uydu verileri ve diğer noktasal veriler kullanılarak raster/hücre formatlı harita katmanları hazırlanmıştır. Hazırlanan raster/hücre formatlı toprak tekstürü, ana materyal, yüzey taşlılığı, toprak derinliği, eğim büyüklüğü, eğim yönü, yağış, hayvan yetiştirme alışkanlığı, mera kullanımı, koruma önlemleri, şimdiki arazi kullanımı haritaları ve bitki yoğunluğu haritaları

vektör/çizgi formatlı haritalara dönüştürülmüştür. Bu işlem haritada yer alan poligonların sayısına, büyüklüğüne ve detay derecesine bağlı olarak ya manual bir şekilde ARC VIEW 3.2a ve ERDAS 8.4. Imagine yazılımlarıyla ekran üzerinde fare kullanılarak sayısallaştırılmış yada ERMAPPER 6.0 yazılımının "Raster to Vector" modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir (ERMAPPER, 1998). Böylece bir birinden farklı her bir ünite ayrılmış ve poligonlar haline getirilmiştir.

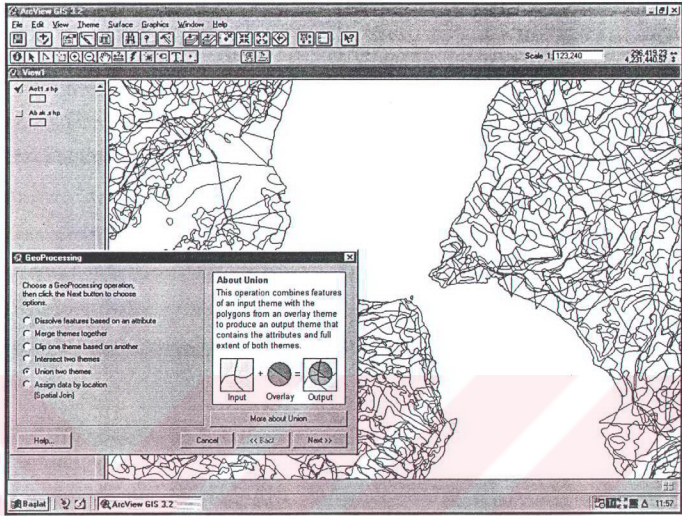
Daha sonra sayısallaştırma ile oluşturulan haritalarda yer alan her bir poligon için veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanı, risk haritalarının oluşturulmasında kullanılmak üzere derecelendirme metodunda yer alan iki harften oluşan (AZ, OR, SD vb) kısaltmalar ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde kullanılmak üzere rakamsal değerlerden oluşturulmuştur.

3.2.3.1. Haritaların çakıştırılması ve veri tabanının birleştirilmesi

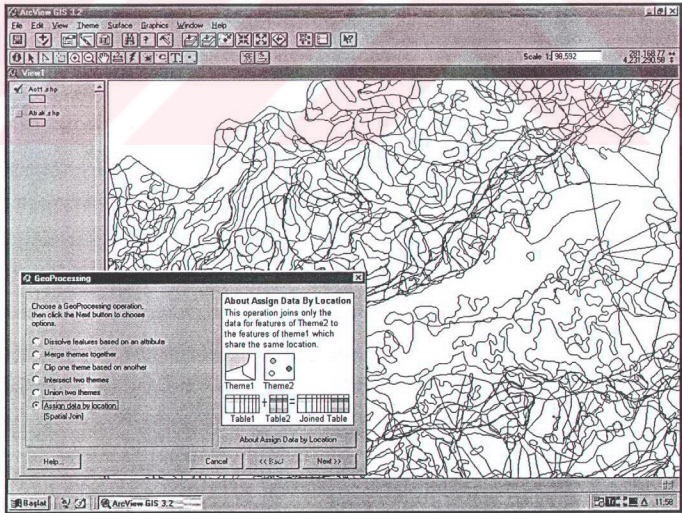
Erozyon oluşumunda etkili olan faktörler birer harita katmanı haline dönüştürülüp her bir haritada yer alan poligonlar için veri tabanları oluşturulduktan sonra tablolarda yer alan derecelendirme metodundaki sıralamaya göre haritalar çakıştırılmıştır. Haritaların çakıştırılmasında ARC VIEW 3.2a yazılımının Union opsiyonu kullanılmıştır (ESRI, 1998b). Böylece çalışma alanını erozyon oluşumunda etkili olan özellikler yönünden bir birinden farklı bağımsız poligonlara ayrılmıştır. Şekil 3.6'da haritaların çakıştırılması yer almaktadır.

Potansiyel erozyon riskini oluşturmak üzere toprak tekstürü, ana materyal, yüzey taşlılığı, toprak derinliği, eğim büyüklüğü, eğim uzunluğu ve yağış yoğunluğu olmak üzere 7 farklı harita birleştirilmiştir.

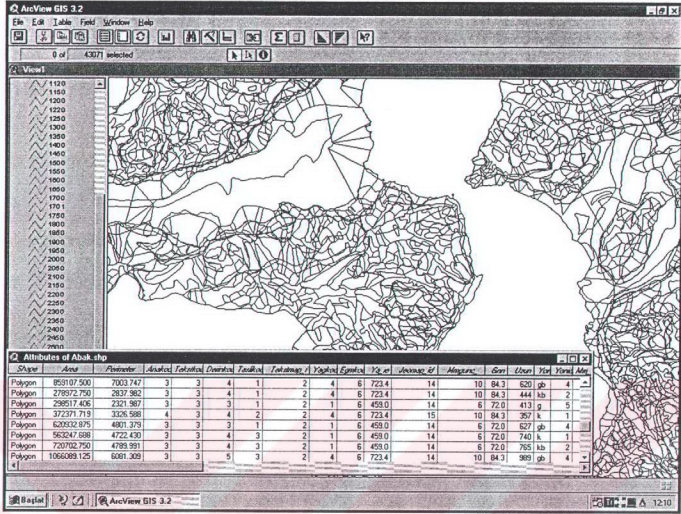
Şimdiki erozyon durumunu belirlemek için potansiyel erozyon risk haritası ile mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı, toprak koruma önlemleri, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu haritaları birleştirilmiştir. Daha sonra veri tabanları aynı yazılımın Spatial Join opsiyonu kullanılarak tek bir tablo haline dönüştürülmüştür (ESRI, 1998b). Şekil 3.7'de veri tabanlarının birleştirme prosesi ve şekil 3.8'de birleştirilmiş veri tabanları yer almaktadır.



Şekil 3.6. Haritaların çakıştırılması işlemi



Şekil 3.7. Veri tabanlarının birleştirilmesi işlemi



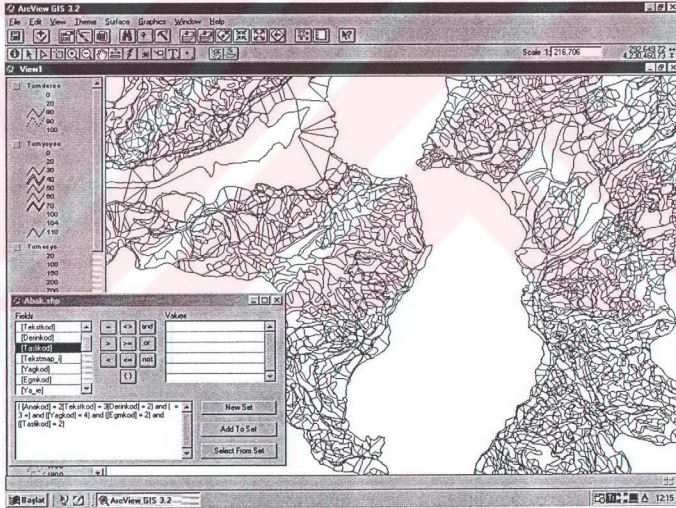
Şekil 3.8. Birleştirilmiş veri tabanları ve kodları

Böylece her bir poligonun içerdiği özellikler birleştirilerek tek bir veri tablosuna aktarılmıştır. Bu işlem verilerin sorgulanması için gerekli tabloların hazırlanmasında kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasından sonra derecelendirme tablolarına göre sorgulama işlemine geçilmiştir.

3.2.3.2. Veri tabanında sorgulama

Birleştirilmiş veri tabanı ARC VIEW 3.2a yazılımının Query opsiyonu ile sorgulanmıştır. Sorgulamanın ilk aşamasında potansiyel erozyon risklerinin ve şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde her bir özellik için tanımlanan kodlara göre derecelendirme tablolarında yer alan sınıf sembolleri veri tabanına işlenmiştir. Daha sonra tablolarda belirtilen sınıfların sorgulanması yapılmıştır. Bu aşama derecelendirme metodunda belirtilen sıraya göre uygulanmıştır. Şekil 3.9'da sorgulama prosesinin uygulanması yer almaktadır. Sorgulanma işleminde ilk olarak toprak tekstürü ve ana materyal özelliği birleştirilmiş ve alanın yapısal olarak

erozyona uğrayabilirliği belirlenmiştir. Bu özellik ile yüzey taşlılığı özelliği birleştirilmiş ve yüzeyin aşınabilirliği bulunmuştur. Erozyonun bir başka belirteci olan toprak derinliği yüzey aşınabilirliği ile birleştirilmiş ve çalışma alanının aşınabilirlik indisi belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer indis ise aşındırıcı indisidir. Bu indis belirlemek üzere ilk olarak eğimin aşındırıcı kuvvete olan etkisi belirlenmiştir. Eğimin etkisini belirlemek üzere eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu birleştirilmiştir. Daha sonra oluşturulan eğim etkisi ile yağış yoğunluğu birleştirilmiş ve aşındırıcı indisi belirlenmiştir. Potansiyel erozyon riskinin belirlenmesinde son aşama ise aşındırıcı indisinin aşınabilirlik indisi ile birleştirilmesi yer almaktadır. Bu iki indis birleştirilerek potansiyel erozyon riski belirlenmiştir. Çalışma alanı potansiyel erozyon riskine göre 5 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 3.9. Veri tabanında sorgulama işlemi

Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde ise ilk olarak aşınabilirlik indisinin koruma düzeyleri ile ilişkilendirilmesinden net aşınma faktörü elde edilmiştir. Net aşınma faktörünün koruma aşındırıcı indisi ile birleştirilmesi sonucu şimdiki erozyon durumu elde edilmiştir. Koruma düzeyleri ise sosyal eğilim ve bitki

indisinin birleştirilmesi ile belirlenmiştir. Sosyal eğilimin belirlenmesinde, mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı ve koruma önlemleri birleştirilmiştir. Bitki indisi ise arazi kullanımı ile bitki yoğunluğu özelliklerinin birleştirilmesinden oluşturulmuştur.

3.2.4. Erozyon Haritalarının Üretimi

Derecelendirme metodu, erozyon oluşumu üzerine etkili olan faktörlerin erozyonun oluşumunda etkileme derecesine göre oluşturulmuştur. Bu amaçla erozyon oluşumunda doğrudan etkisi olan faktörler ve bu faktörlerin şiddetleri metotta tek başına değerlendirmeye alınırken dolaylı olarak etkileyen faktörler birleştirilerek kullanılmıştır. Derecelendirme metodunda her bir özellik için katmanlar halinde hazırlanan veri haritaları ve veri tabanları birleştirilmiş ve her bir poligon için elde edilen birleştirilmiş veriler derecelendirme tablolarında yer alan karşılık değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Derecelendirme tablolarında yer alan veri tabanı kodları o özelliğin erozyon oluşumundaki olumsuz etkisinin derecesini belirtmektedir. Yani bu sütunda verilen değerler arttıkça o özelliğin erozyon oluşturma riski artmaktadır.

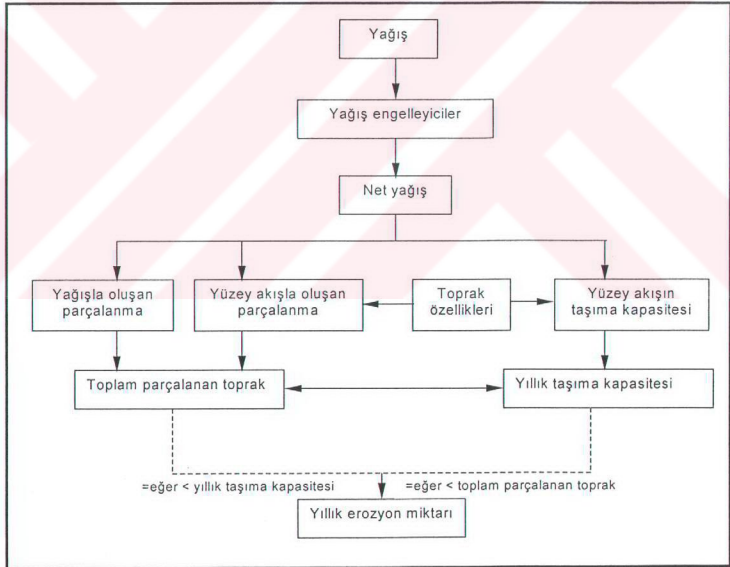
Derecelendirme modeli ile iki temel özellik belirlenmiştir. Bunlardan birincisi potansiyel erozyon riskidir. Potansiyel erozyon riski iki indisin bileşeni olarak düşünülmüştür. Bu indislerden erozyona duyarlılığın belirteci olan aşınabilirlik indisi; ana materyal, toprak tekstürü, yüzeysel taşlılığı ve toprak derinliğinin birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Erozyon etkeni olan aşındırıcı indisi ise; eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğunun yağış özellikleri ile birleştirilmesinden sağlanmıştır.

Şimdiki erozyon durumu, potansiyelde var olan erozyon riskinin insanların toprakları kullanımı ve korumaya yönelik eğilimleri karşısında oluşma durumunu ve oluşum derecesini ifade belirtmektedir. Bu yaklaşımla, iki indis oluşturulmuştur. Bunlardan birincisi; mera ve ormanların kullanılma yoğunluğu, hayvancılığın etkisi ve insanların toprakları korumak üzere yaptıkları faaliyetlerin bileşeni olan sosyal eğilim indisi, ikincisi ise arazi kullanımı ve bitki yoğunluğunun bileşeni olan bitki indisidir. Bu iki indis birleştirilerek erozyona karşı korunabilme düzeyleri elde edilmiştir. Şimdiki erozyon durumu aşınabilirlik indisinin korunabilmenin ifadesi

olan koruma düzeyleri ile birleştirilmesi sonucu elde edilen net aşınım faktörünün aşındırıcı indisi ile ilişkilendirilmesinden elde edilmiştir. Potansiyel erozyon riskini ve şimdiki erozyon durumunu belirlemek amacıyla elde edilen indislerin her biri için birleştirilmiş veri tabanları kullanılarak haritalar üretilmiştir.

3.2.5. Toprak Kayıplarının Tahmini

Çalışmada toprak kayıplarını tahmin etmek amacıyla Morgan ve ark.(1984) tarafından geliştirilen (MMF) ve daha sonra Morgan tarafından yeniden düzenlenen modifiye edilmiş Morgan-Morgan-Finney (mMMF) Metodu (2001) kullanılmıştır. Şekil 3.10'da mMMF modelinin çalışma prensibini gösteren akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.10. mMMF modeli akış şeması

mMMF modeli su fazı ve sediment fazı olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Su fazı, toprak kütle ve yüzey akış hacminden toprak zerrecilerinin parçalanmasında yağış enerjisinin etkisinin belirlendiği fazdır. Sediment fazı ise, yağış ve yüzey akışa geçen suyun etkisi ile toprak külesinden parçalanmış zerrecilerin yüzey akışa geçen suyun taşıma kapasitesine göre taşınmasından oluşmuştur.

Modelde yaklaşım parçalanmış ve taşınmış zerrecilerin miktarlarının belirlenerek bu iki değeri birbirleri ile karşılaştırılmasına dayanır. Basit bir mantıkla; eğer bir alanda parçalanmış toprak zerrecisi için belirlenen değer taşınma için belirlenen değerden daha az ise yıllık toprak kaybı parçalanma için bulunan değerdir. Bu ifadenin tersi olarak eğer bir alanda taşınma için belirlenen değer parçalanma için belirlenen değerden daha az ise yıllık toprak kaybı taşınma için bulunan değerdir. mMMF modelinde giriş verileri dört ana grupta toplanmıştır.

Bu gruplar; yağış özellikleri, toprak özellikleri, arazi yapısı ve arazi örtüsüdür. Bu dört grupta toplanmış giriş verileri ve veri birimleri çizelge 3.3'de yer almaktadır. mMMF modelinde ilk aşama yağış enerjisinin hesaplanmasıdır.

3.2.5.1. Yağış enerjisinin hesaplanması

Modelde yağış enerjisinin hesaplanmasında yağış süresince oluşan parçalanma ve leaf drenajının enerjisinden yararlanılmıştır. Yağış enerjisinin hesaplanmasında yıllık yağış miktarı ve yağış sonrası toprak yüzeyinde kalan miktar kullanılmıştır. Etkili yağış (ER), toplam yıllık yağış miktarı (R ;mm) ile yağış sonrası yüzeyde kalan kısmın (A ;0-1 arasında katsayı) çarpımından elde edilmiştir.

$$ER=R(I-A) \quad (3.1)$$

A değeri uydu verilerinin sınıflandırılması ve arazi kontrolleri ile doğrulanması sonucu belirlenen arazi kullanımı türüne bağlı olarak Morgan (1984;1991) 'a göre belirlenmiştir. A katsayısına ait değerler çizelge 3.4'de verilmiştir. Daha sonra etkili yağış doğrudan yüzeye ulaşan kısmı (DT) ve leaf drenajı (LD) olmak üzere ikiye bölünmüştür. Bu bölünme bitki örtüsünün (CC) bir fonksiyonu olarak düşünülmüştür.

Çizelge 3.3. mMMF modelinin giriş verileri ve veri birimleri (Morgan, 2001)

Faktör	Parametre	Tanımlama ve Birim
Yağış	<i>R</i>	Yıllık yada ortalama yıllık yağış (mm)
	<i>Rn</i>	Yıl içindeki yağışlı günlerin sayısı toplamı (gün)
	<i>I</i>	Erozif yağış yoğunluğu (mm/h)
Toprak	<i>MS</i>	Tarla kapasitesindeki nem miktarı (% w/w)
	<i>BD</i>	Üst toprak katmanının kütle yoğunluğu (gr/cm ³)
	<i>EHD</i>	Toprağın etkili hidrolojik derinliği
	<i>K</i>	Toprağın parçalanma indisi (gr/j)
	<i>COH</i>	Sature edilmiş koşullarda yüzey toprağın kohezyonu (kPa)
Arazi yapısı	<i>S</i>	Eğim açısı (°)
Arazi Örtüsü	<i>A</i>	Kalan yağış miktarı indisi (0-1 arasında katsayı)
	<i>Et/Eo</i>	Aktüel evaporasyonun potansiyel evaporasyona oranı
	<i>C</i>	USLE'de kullanılan C ve P faktörlerinin birleştirildiği örtü faktörü
	<i>CC</i>	Ürün örtü faktörü (0-1 arasında katsayı)
	<i>GC</i>	Yüzey örtü faktörü (0-1 arasında katsayı)
	<i>PH</i>	Bitki yüksekliği (m)

Etkili yağışın belirlenmesinde;

$$LD=ER \times CC \quad (3.2)$$

$$DT=ER-LD \quad (3.3)$$

eşitlikleri kullanılmıştır. Bitki örtüsü (*CC*) değerleri; çalışma alanına ait uydu verisinden sağlanan NDVI'lere göre belirlenmiştir.

Doğrudan yüzeye ulaşan yağışın kinetik enerjisi ($KE(DT);J/m^2$), iklim bölgesinin aşındırıcı yağış için tipik değerlerin kullanımıyla bulunmuş, yağış yoğunluğunun (*I*;mm/h) fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımda Wischmeier ve Smith, (1978) yaklaşımına göre belirlenmiştir.

$$KE(DT)=DT(11.9+8.7 \log I) \quad (3.4)$$

Leaf drenajının knetik enerjisinin ($KE(LD)$;J/m²) belirlenmesinde ise Brandt (1990) tarafından geliştirilen bitki örtüsü yüksekliği (PH ;m) kullanılmıştır. Bu ilişki;

$$KE(LD) = (15.8 \times PH^{0.5}) - 5.87 \quad (3.5)$$

eşitliğiyle belirlenmiştir. Bu eşitlikte bulunan değer negatif sayıdır. Etkili yağışın knetik enerjisi (KE ;J/m²) toplam enerjisi;

$$KE = KE(DT) + KE(LD) \quad (3.6)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.4. mMMF modeli A, Et/Eo ve C değerleri (Morgan, 1984;1991)

Bitki Örtüsü	A (%)	Et/Eo	C
Çeltik	-	1.35	0.1-0.2
Buğday (kışlık)	43	0.59-0.61	0.1-0.2
Buğday (yazlık)	43	0.59-0.61	0.2-0.4
Mısır	25	0.67-0.70	0.2
Arpa	30	0.56-0.60	0.1-0.2
Darı	-	0.62	0.4-0.9
Manyok kökü	-	-	0.2-0.8
Patates	12	0.70-0.80	0.2-0.3
Bezelye	20-25	0.62-0.69	0.2-0.4
Fındık	25	0.50-0.87	0.2-0.8
Lahana	17	0.45-0.70	
Muz	-	0.70-0.77	
Çay	-	0.85-1.00	0.1-0.3
Kahve	-	0.50-1.00	0.1-0.3
Kakao	-	1.00	0.1-0.3
Şeker kamışı	-	0.68-0.80	
Şeker pancarı	12-22	0.73-0.75	0.2-0.3
Kauçuk	20-30	0.90	0.2
Palmiye	30	1.20	0.1-0.3
Pamuk	-	0.63-0.69	0.3-0.7
Kültüre alınmış mera	-	0.85-0.87	0.004-0.01
Doğal mera	25-40	0.80-0.95	0.01-0.1
Orman/ağaçlandırma	25-35	0.90-1.00	0.001-0.002
Çıplak toprak	0	0.05	1.00

Çalışma alanı için Yağış yoğunluğu (I) 15 mm/h olarak alınmıştır. Bitki örtüsü yüksekliği (PH) ise arazi kullanım türüne bağlı olarak belirlenmiştir.

3.2.5.2. Yüzey akışın hesaplanması

Yıllık yüzey akışı (Q ;mm) belirlemek üzere hazırlanan eşitlik MMF modelindeki ile aynıdır. Bu eşitlik Kirkby (1976) metoduna dayanmaktadır. Bu eşitlikte oluşan günlük yağışın toprağın nem depolama kapasitesinin (Rc ;mm) üzerinde gerçekleştiği şartlarda oluştuğu kabul edilir. Bu günlük yağış miktarı yaklaşık olarak üslü katsayı olarak dağılıma karşılık gelmektedir.

Yıllık yüzey akışı;

$$Q = R \exp(-Rc/Ro) \quad (3.7)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Ro değeri ise;

$$Ro = R/Rn \quad (3.8)$$

Eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Burada Ro (mm) yıllık ortalama yağışın yağışın (R ;mm) yıl içindeki yağışlı günlere (Rn) oranıdır. Ro değeri çalışma alanında yer alan 8 yağış istasyonundan elde edilen yağış miktarı ve yağışlı gün sayısı değerlerine göre hesaplanmıştır.

Toprak nem depolama kapasitesi;

$$Rc = 1000 \times MS \times BD \times EHD (Et/Eo)^{0.5} \quad (3.9)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikte kullanılan değişkenler:

MS =Tarla kapasitesinde toprağın nem içeriği (% w/w)

BD =Toprağın kütle yoğunluğu (gr/cm^3)

EHD =Toprağın etkili hidrolojik derinliği (m)

Et/Eo =Aktüel evaporasyonun potansiyel evaporasyona oranıdır.

Burada kullanılan EHD terimi orijinal modelde kullanılan ve yüzey akışın geliştirildiği kesitte belirlenen su tutma kapasitesindeki toprak derinliğini

niteleyen köklenme derinliğine (RD ;m) karşılık gelmektedir. Kullanılan bu değer 0.1 m'den daha küçük bir sayıdır.

Çalışmada MS ve BD değerleri toprak tekstürüne göre değerlendirilmiştir. Morgan (1984;1991) 'a göre MS ve BD değerleri çizelge 3.5'de yer almaktadır.

Çizelge 3.5. mMMF modeli MS ve BD değerleri (Morgan, 1984;1991)

Toprak Tekstürü	MS	BD
Kil	0.45	1.1
Killi tın	0.40	1.3
Siltli kil	0.30	-
Kumlu tın	0.28	1.2
Siltli tın	0.25	1.3
Tın	0.20	1.3
İnce kum	0.15	1.4
Kum	0.08	1.5

EHD için ise Morgan (2001)'da yer alan değerlerden yararlanılmıştır. Çizelge 3.6'de çeşitli koşullara göre belirlenmiş EHD değerleri verilmiştir. Çalışmada bu değerler toprak derinliği göre çalışma alanı için uyarlanmıştır.

Çizelge 3.6. mMMF modeli EHD değerleri (Morgan, 1984;1991)

Koşullar	EHD
Kaymak tabakası olmayan ve 0.2 m derinliğe kadar herhangi bir geçirimsiz katman içermeyen çıplak toprak	0.09
Sarp eğimde, kaymak tabakasına sahip çıplak ve sığ toprak	0.05
Alt ürünler (arpa, buğday, mısır, çeltik, bezelye)	0.12
Alt ürünler (baklagillerle yada çayırarla karışık)	0.15
Doğal orman, yoğun ikincil orman	0.20
Kauçuk, palmye	0.15
Kakao, kahve	0.12
Muz	0.18
Çayır otları	0.14
Kültüre alınmış mera	0.12
Pamuk	0.10
Fındık	0.12

3.2.5.3. Yağış etkisiyle toprak zerrelere parçalanabilirliği

mMMF modelinde yağmur damlasının çarpma etkisiyle toprağın parçalanma oranı yağış enerjisinin kullanımı ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlik;

$$F=KxKEx10^{-3} \quad (3.10)$$

şeklinde basitleştirilmiştir. Formülde K toprağın aşınabilirliği (gr/J), F yağmur damlası etkisiyle toprağın parçalanabilirliğini (kg/m^2) göstermektedir. Çalışma alanında yer alan toprakların K değerleri Morgan (2001) 'a göre toprak tekstürüne bağlı olarak alınmıştır. Çizelge 3.7'de toprak tekstürüne göre belirlenmiş K değerleri yer almaktadır. Çalışmada K değerlerinin belirlenmesinde tekstür özelliğinin yanında toprakların oluştuğu ana materyal ve yüzey taşlılığı da göz önünde bulundurulularak bölge için uyarlanmıştır.

Çizelge 3.7. mMMF modeli K ve COH değerleri (Morgan, 1984;1991)

Toprak Tekstürü	K	COH
Kum	1.2	2
Tınlı kum	0.3	2
Kumlu tın	0.7	2
Tın	0.8	3
Silt	1.0	-
Siltli tın	0.9	3
Kumlu killi tın	0.1	3
Killi tın	0.7	10
Siltli killi tın	0.8	9
Kumlu kil	0.3	-
Siltli kil	0.5	10
Kil	0.05	12

3.2.5.4. Yüzey akışla toprak zerrelere parçalanabilirliği

mMMF modeli yüzey akışla oluşan parçalanabilirliği belirlemede orijinal modele göre farklı bir yöntem kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalar (Quansah, 1982) yüzey akışla oluşan parçalanmanın (Q), eğim büyüklüğü (S), ve toprağın direncinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Bu nedenle parçalanma ($H;kg/m^2$);

$$H=ZQ^{1.5} \sin S(1-GC) \times 10^{-3} \quad (3.11)$$

formülünden hesaplanmıştır. Burada GC yüzeyin örtülme oranı olarak tanımlanmıştır. Eşitlik yüzey akışla oluşan toprak zerrecilerinin parçalanmasını yalnızca yüzey örtüsüyle oluşan korunmanın var olmadığını kabul etmektedir.

Kayıplar için kohezif olmayan topraklarda $Z=1$ dir. Kohezif topraklarda ise erozyona karşı direnç;

$$Z = \frac{1}{(0.5COH)} \quad (3.12)$$

formülü ile (Rauws ve Govers, 1988'den sadeleştirilmiş) belirlenmektedir.

Model içerisinde kullanılan C ve GC değerleri arazi kullanım türüne, COH değeri toprak tekstürüne, S değeri ise eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğuna bağlı olarak belirlenmiştir.

3.2.5.5. Yüzey akışın taşıma kapasitesi

Yüzey akışın taşıma kapasitesini (TC ;kg/m²) belirlemede kullanılan yöntem MMF de kullanılan yöntem ile aynıdır. Bu formül aşağıda verilmiştir.

$$TC=CQ^2 \sin S \times 10^{-3} \quad (3.13)$$

Burada; bitki örtü faktörü (C) USLE'nin C ve P faktörleri için hazırlandığı gibidir. S ise eğim açısını belirtmektedir. C faktörü farklı toprak işleme teknikleri, korumalı tarım yada bitki artıklı tarıma göre uyarlanabilir.

3.2.5.6. Toprak kayıplarının saptanması

Erozyonla oluşan toprak kayıplarının saptanmasında denklemlerden hesaplanan iki değer göz önüne alınarak kabul edilen bir varsayım kullanılmıştır. Bu varsayım; toprak kaybının yüzey akışa geçen suyun taşıma kapasitesinden daha fazla olamayacağını, yağışla parçalanmış toprak miktarının yüzey akışa geçen suyun taşıyabileceğinden az olduğu durumlarda ise toprak kaybının parçalanma miktarı kadar olabileceğini kabul etmektedir.

mMMF modelinde yağmur damlası etkisiyle ve yüzey akışla oluşan parçalanma miktarlarının toplamı toplam yıllık parçalanma oranını olarak belirlenmiştir. Bu değer yıllık taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmış ve iki değerden küçük olanı yıllık toprak kaybı olarak kabul edilmiştir. Böylece varsayımına uygun olarak toprak kaybı belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonucu elde edilen bulgular, temel haritalar, erozyon derecelendirme metodu, toprak kayıpları denklemi, risk haritaları ve erozyon haritaları olmak üzere beş grupta toplanmıştır. Temel haritalar bölümünde giriş verilerinden erozyon oluşumunda etkili olan özelliklere ait hazırlanan haritalar yer almaktadır. Erozyon derecelendirmesi konusunda temel haritaların veri tabanlarının birbirleri ile ilişkilendirilmesiyle erozyonun derecelendirilmesi için hazırlanmış yeni bir yöntem ve karşılaştırma tabloları bulunmaktadır. Toprak kayıpları denklemi bölümünde mMMF modeli için gerekli verilerin sağlanmasında havza için uyarlanmış bir yöntem ve bu yönteme göre hesaplanan toprak kayıpları yer almaktadır. Son bölümde ise, derecelendirme metodu ve toprak kayıpları denklemine göre havzanın erozyon dereceleri ve toprak kayıpları haritaları sunulmuştur.

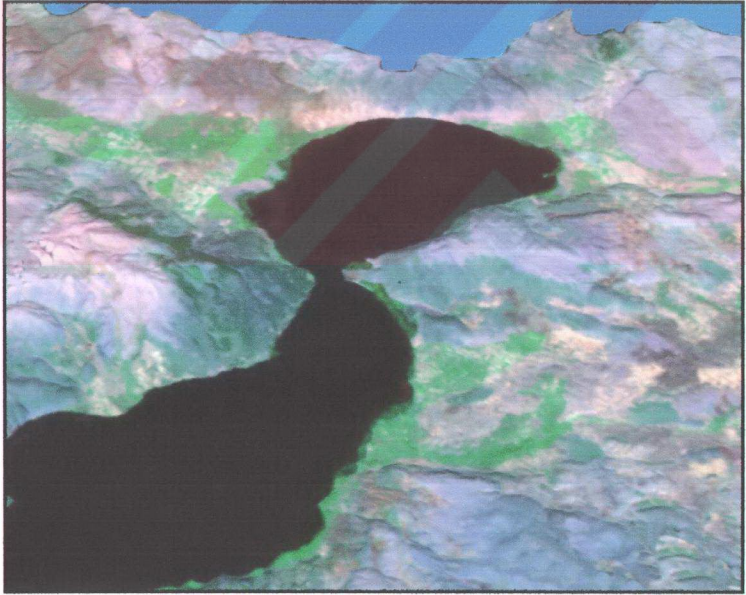
4.1. Temel Haritalar

Çalışmada giriş verilerinin bilgisayar ortamına aktarılarak, noktasal veriler ve uydü verilerinin işlenmesi ve arazi kontrolleri sonucu toplam 20 farklı harita üretilmiştir. Bu haritalar çalışma alanının erozyon oluşum faktörlerinin etkisini gösteren temel özellikleri içermektedir.

4.1.1. Sayısal Topoğrafik Harita

Sayısal topoğrafik haritadan elde edilen verilere göre, çalışma alanı 458 km²'si Eğirdir gölü olmak üzere toplam 3.289 km² den oluşmaktadır. Çalışma alanında 3'ü büyük dereyi besleyen toplam 40 su toplama kanalı ve kanalları besleyen küçük havzalar belirlenmiştir. Su kanalları özellikle havzanın dik eğimli yüksek yamaçlarında toplanan suyun üç ana dereye ulaştıran kanalları oluşturmaktadır. Eğirdir gölüne kadar uzanan üç ana dere dışında göle komşu olan ve dik yamaçlarda bulunan kanallardan bazıları da doğrudan göle ulaşmaktadır. Bunların dışında havzanın doğusunda yer alan yükseltilerden topladıkları suyu havzanın ortasındaki düz eğimli alanlara taşıyan ve Eğirdir gölüne ulaşmadan su akışları sona eren dere yatakları belirlenmiştir (Şekil 4.1).

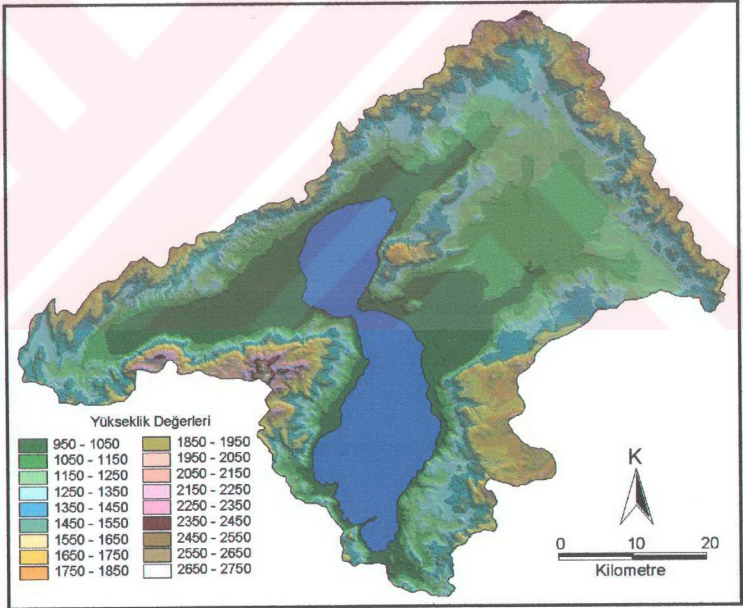
eğimli araziler yer almaktadır. Yan havzaların sınırlarını oluşturan yükselti orman ve maki örtüsü ile kaplıdır. Yükselti en üst kısımlarında aşınmış yüzeyler ve çıplak kayalıklar yer almaktadır. Sayısal yükseklik modeli ile üretilen haritalarda eğim, yön ve yükseklik sınıflarının istenilen sayıda ve değere bağlı olarak üretilmesi erozyon oluşumunda etkili olan faktörlerin başarıyla elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca sayısallaştırılan topoğrafik haritanın ölçek ve detayına bağlı olarak üretilen yeni haritalar % 100 doğru olmaktadır. Oluşturulan sayısal yükseklik modeli eğim ve yağış haritalarının oluşturulmasında, uydu verilerinin işlenmesi için havzalara bölünmesinde başarıyla kullanılmıştır. Yükseklik modeli ve uydu verisinin birleştirilmesi ile elde edilen görüntünün yorumuyla havzaların ayrılması, dere yataklarının ve su kanallarının beslendiği alanların belirlenmesi, alanın havzanın kullanım türlerinin dağılımını izlemek mümkün olmuştur.



Şekil 4.2. Sayısal yükseklik modeli üzerine bindirilmiş Landsat 7 uydu verisinin 3. 4 ve 7 bant kombinasyonundan elde edilen zenginleştirilmiş görüntüsü

4.1.3. Yükseklik Haritası

Çalışma alanın 918 m’inde yer alan Eğirdir Gölünden başlayarak 2750 m’ye ulaşan güney batı yükseltilerine kadar çeşitli yüksekliklerde alanlardan oluşmaktadır. Alanın büyük çoğunluğu 950-1450 m yükseklikte yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma alanının en az kısmını yükseklik sınıfı 2600-2750 m arasında olan alanlar oluşturmaktadır Şekil 4.3’de eşyüksekti eğrilerinin değerlerine göre oluşturulmuş yükseklik haritası yer almaktadır. Çalışma alanı güneybatısında bulunan ve 1500’den daha düşük kotlarda yer alan alanlar dışında alanının tüm sınırı 2500 m’den daha yüksek alanlarla çevrilidir. Özellikle çalışma alanının kuzeydoğusunda ve kuzeybatısında yüksekliği 2750 m’ye ulaşan araziler yer almaktadır.



Şekil 4.3. Çalışma alanının yükseklik haritası

4.1.4. Eğim Büyüklüğü Haritası

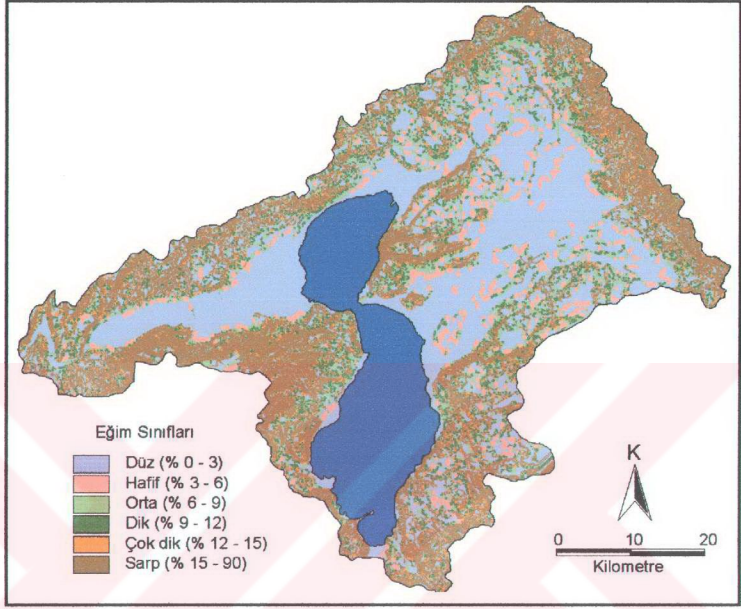
Çalışma alanın uydu verileri ile birlikte oluşturulan 3D görüntüsü ve yükseklik sınıflarının yorumu ile özellikle tarım yapılan alanlarda erozyon derecelerinin belirlenebilmesi ve toprak kayıplarının tahmin edilebilmesi için eğim gurupları 6 sınıfa ayrılmıştır. Eğim sınıflarının değişim aralığın ise % 0-3, % 3-6, % 6-9, % 9-12, % 12-15, % 15-90 olarak oluşturulmasının çalışma için yeterli olduğu belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanı eğim gurupları erozyon modelinin özelliğine uygun olarak düz-düze yakın (% 0-3), hafif (% 3-6), orta (% 6-9), dik (% 9-12), çok dik (% 12-15) ve sarp (% 15-90) olmak üzere tanımlanmış bu sınıflara göre eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.4).

Çalışma alanının % 39.30'u düz ve düze yakın eğimli arazilerden oluşmaktadır. Bu araziler Eğirdir gölüne komşu alanlarda yer almaktadır. Göl havzasının sınırlarını oluşturan sarp eğimli dik yamaçlar alan olarak 2. sırada yer alır. Sarp arazilerin oranı çalışma alanın % 29.53'ünü oluşturmaktadır. Hafif orta dik ve çok dik eğimlerde yer alan arazilerin oranı ise % 7.34, % 9.01, % 7.02 ve % 7.81 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çalışma alanı topraklarının eğim büyüklüğüne göre dağılımı

Eğim gurupları	Tanımlama	Alan (ha)	Alan (%)
Düz-düze yakın	% 0-3	110970.8	39.30
Hafif	% 3-6	20697.6	7.33
Orta	% 6-9	25441.0	9.01
Dik	% 9-12	19822.2	7.02
Çok dik	% 12-15	22053.0	7.81
Sarp	% 15- +	83383.9	29.53
Toplam		282368.5	100.00

Eğim büyüklüğü haritası toplam 1944 haritalama ünitesinden oluşturulmuştur. Bu ünitelerden 502'si düz alanları belirtmektedir. Hafif eğimde yer alan alanlar 305 üniteyle tanımlanmıştır. Orta, dik, ve çok dik alanlarda yer alan ünitelerin sayısı sıra ile 394, 334 ve 409 olarak bulunmuştur.



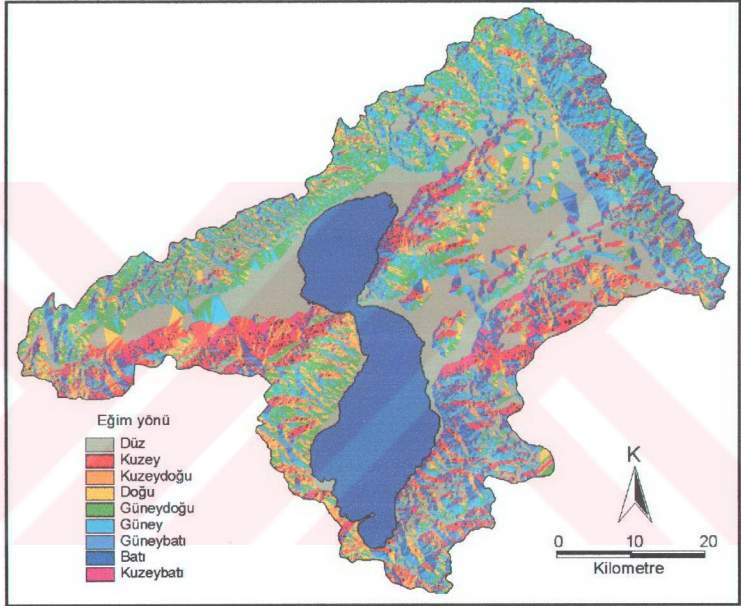
Şekil 4.4. Çalışma alanının eğim büyüklüğü haritası

Eğirdir gölü su toplama havzası güney doğusu dışında tüm yönlerde dik ve sarp eğimde alanlar ile komşu havzalardan ayrılmaktadır. Çalışma alanının en tipik eğim özelliği göle komşu düz ve düze yakın alanlar ile göl havzasının sınırı oluşturan dik ve sarp alanlardan oluşmasıdır. Hafif ve orta eğimli alanlar çok az yer kapsamakla birlikte özellikle dik eğimler içerisinde su yollarına komşu hatlarda dizilmişlerdir.

4.1.5. Eğim Yönü Haritası

Eğim yönü haritasının hazırlanması ve tüm yön gruplarının kullanılması eğim uzunluğu haritasının oluşturulabilmesi için zorunludur. Birbirine komşu olan ve aynı eğim gurubu içerisinde yer alan fakat farklı eğim yönlerine sahip alanların eğim uzunluklarını belirlemede tek yöntem tüm eğim yönlerini ayırmaktır.

Çalışma alanının eğim yönleri kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı olmak üzere tüm yön gurupları kullanılarak haritalanmıştır. Çalışma alanında düz alanlar ise düz ve yönsüz olarak gruplandırılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Çalışma alanının eğim yönü haritası

Çalışma alanı, eğim yönlerinin dizilimi özelliği ile iki parçaya ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi Eğirdir Gölünün kuzeyini oluşturan Hoyran Gölü çevresinde yer alan ve eğimin tüm alanlarda göle bakan kısımlarından oluşmaktadır. İkincisi ise Eğirdir Gölünün büyük kısmını oluşturan güneydeki bölümdür. Bu kısımda eğim yönleri göle doğru olmakla birlikte göl havzasının kuzeydoğusunda farklı eğim yöneylerinin birbirleri içerisinde girişler bulunduğu geniş alanlar yer almaktadır. Çalışma alanı toprakları eğim yönleri ile yaklaşık birbirine eşit oranlarda dağılım

göstermektedir. Bununla birlikte doğu, güneybatı ve batı yönlerde eğime sahip alanlar diğer yönlerdeki eğime göre fazlalık göstermektedir. Çizelge 4.2'de eğim yönleri ve dağılım alanları yer almaktadır.

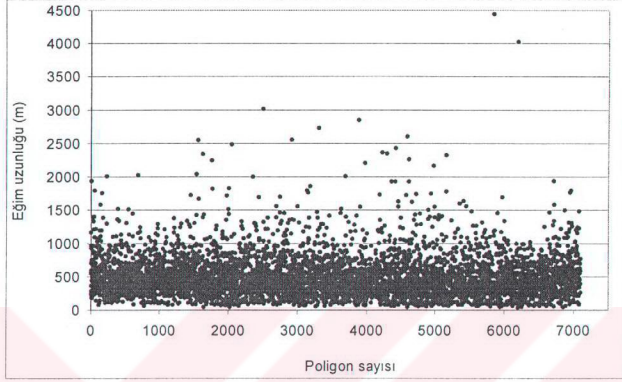
Çizelge 4.2. Çalışma alanı topraklarının eğim yönlerine göre dağılımı

Eğim Yönü	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Düz ve yönsüz	DY	110970.8	39.30
Kuzey	K	16123.2	5.71
Kuzeydoğu	KD	16857.4	5.97
Doğu	D	27728.6	9.82
Güneydoğu	GD	15530.3	5.50
Güney	G	16885.6	5.98
Güneybatı	GB	27869.8	9.87
Batı	B	27898.0	9.88
Kuzeybatı	KB	22504.8	7.97
Toplam		282368.5	100.00

4.1.6. Eğim Uzunluğu Haritası

Çalışma alanı için eğim uzunluğu haritasında toplam 7102 farklı haritalam ünitesi oluşturulmuştur. Bu üniteler için ölçülen uzunluk değerleri 40-4445 m arasında değişmektedir. Çalışma alanı eğim uzunluğuna göre 4 guruba ayrılmıştır. Bunlar; uzunluğu 0-250 m arasında olan ve toplam 2282 üniteden oluşan kısa eğim uzunluğu gurubunda tanımlanan alanlar, 250-500 m arasında olan toplam 2355 üniteden oluşan orta uzun eğim uzunluğu gurubunda tanımlanan alanlar, 500-1000 m uzunluğa sahip ve 1945 üniteden oluşan uzun eğim uzunluğu gurubunda olan alanlar ve 1000 m'den daha fazla uzunlukta olan çok uzun eğim gurubunda tanımlanan alanlardır. Eğim uzunluğu haritasından elde edilen ünitelerin uzunluklarına bağlı olarak dağılımları şekil 4.6'da yer alan grafikte verilmiştir.

Çalışma alanı eğim uzunluğu yönünden çalışma alanının % 38.04'ü 500 m'den daha kısa eğim uzunluğuna sahip alanlardan oluşmaktadır. Alanda yer alan toprakların % 22.66'sı ise orta uzun ve uzun eğim eğime sahip alanlardan oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Çalışma alanı eğim uzunluğu üniteleri ve poligon sayısı dağılımları

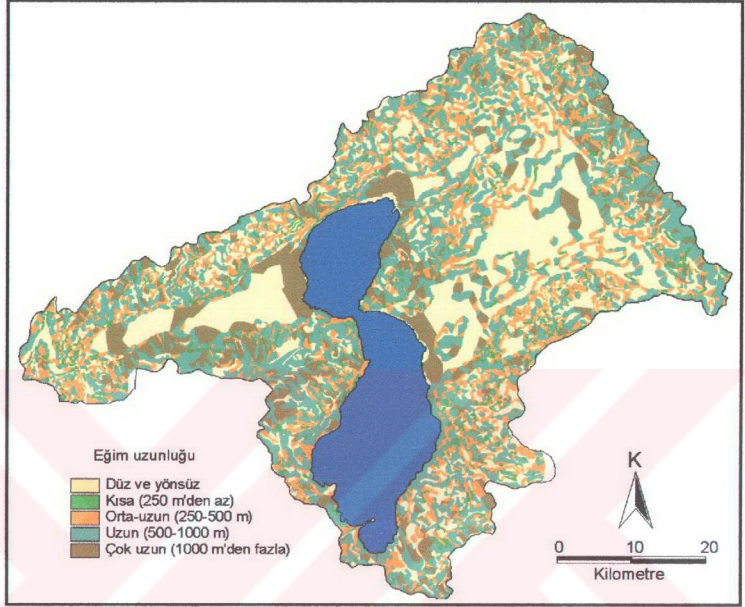
Çizelge 4.3’de çalışma alanı eğim uzunluklarına göre dağılımları yer almaktadır. Alan için oluşturulan eğim uzunluğu ünitelerinin ölçülen uzunluk değerlerine göre hazırlanan haritası şekil 4.7’de yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Çalışma alanı topraklarının eğim uzunluğu sınıfları ve dağılımı

Eğim uzunluğu	Tanımlama (m)	Alan (ha)	Alan (%)
Düz-yönsüz		110970.8	39.30
Kısa	0-500	107413.0	38.04
Orta Uzun	500-1500	52915.9	18.74
Uzun	1500- +	110688.8	3.92
Toplam		282368.5	100.00

4.1.7. Sayısal Toprak Haritası

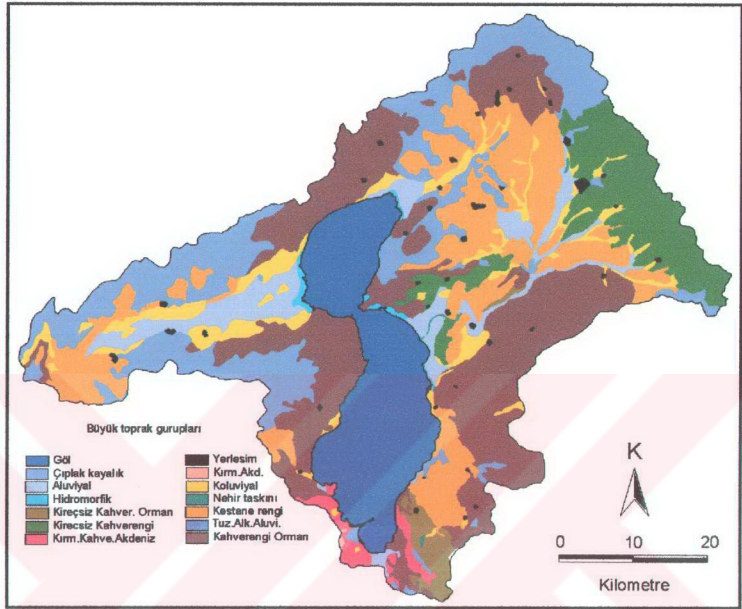
Topraksu Genel Müdürlüğü (1970) ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan toprak haritalarında yer alan her bir haritalama ünitesi poligon tanımlı olarak sayısallaştırılmış ve haritalama ünitelerinin gerçek alanlarının belirlendiği sayısal toprak haritası elde edilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. Çalışma alanının eğim uzunluğu haritası

Çalışma alanında yer alan en yaygın toprak gurubu kahverengi orman topraklarıdır. Kahverengi orman toprakları çalışma alanının % 33.03'ünü oluşturmaktadır. Kahverengi orman topraklarını kestane rengi topraklar izlemektedir. Bu toprakların oranı ise % 21.21 dir. Üçüncü sırada yer alan grup ise toprak haritasında çıplak kayalık olarak tanımlanan ve toprak derinliği birkaç cm ile sınırlanmış olan arazi tipleridir.

Bu arazi tipleri çalışma alanının % 20.07'sini oluşturmaktadır. Bu üç gurubun toplamı çalışma alanının % 74.31'ini kapsamaktadır. Çalışma alanında yer alan hidromorfik aluviyaller, nehir taşkınları, tuzlu alkali aluviyaller ve kırmızı akdeniz topraklarının oranı ise % 1.33'ünü oluşturmaktadır. Çizelge 4.4'de çalışma alanını oluşturan büyük toprak gurupları ve kapladıkları alanlar, şekil 4.9'da büyük toprak gurupları haritası yer almaktadır.



Şekil 4.9. Çalışma alanının büyük toprak grupları haritası

Ayrıca çalışma alanında I. sınıftan VIII. sınıfa kadar değişen, farklı derinlik, tekstür ve taşlılık özelliğine sahip topraklar yer almaktadır. Arazi kullanım kabiliyeti sınıfları yönünden göl havzasının % 37.18'i I., II., III. ve IV. sınıf arazilerden oluşmaktadır. Eğirdir gölü havzasında yer alan VII. ve VIII. sınıf arazilerin toplamı ise çalışma alanının % 49.8'ini oluşturmaktadır. Çizelge 4.5'de çalışma alanı arazi kullanım kabiliyet sınıfları ve kapladıkları alanlar verilmiştir.

KHGM (1994) tarafından hazırlanan toprak haritasında erozyon oluşumu üzerine etkili olan faktörlerden yalnızca toprak tekstürü, toprak derinliği ve yüzey taşlılığı özelliklerine ait bilgiler yer almaktadır. Bu nedenle hazırlanan sayısal toprak haritasından toprak tekstürü, toprak derinliği ve yüzey taşlılığı haritaları üretilmiştir.

Çizelge 4.5. Çalışma alanı topraklarının arazi kullanım kabiliyeti sınıflarına göre dağılımı

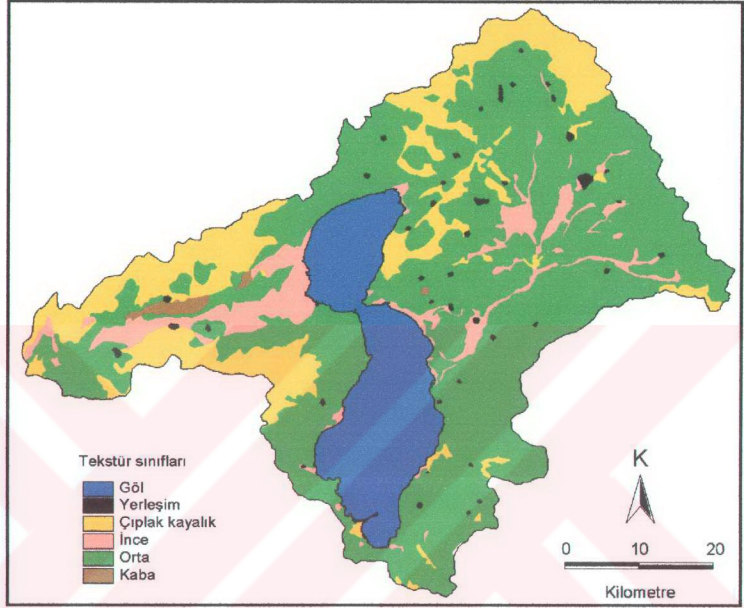
Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfları	Alan (ha)	Alan (%)
I	23238.9	8.23
II	29676.9	10.51
III	28039.1	9.93
IV	24029.6	8.51
V	1722.5	0.61
VI	34787.8	12.32
VII	87082.5	30.84
VIII	53791.2	19.05
Toplam	282368.5	100.00

4.1.8. Toprak Tekstürü Haritası

KHGM tarafından hazırlanan toprak haritasında tekstür sınıfları üç grup altında toplanmıştır. Bu gruplar kumlu kil (SC), siltli kil (SiC) ve kil (C) tekstürlü topraklardan oluşan ince, kumlu tın (SL), siltli tın (SiL), tın (L) ve silt (Si) tekstüre sahip topraklardan oluşan orta, kum (S), ve tınlı kum (LS) tekstüre sahip topraklardan oluşan kaba olarak tanımlanmıştır. Ayrıca toprak haritasında çıplak kayalık olarak tanımlanan haritalama üniteleri ayrı bir grup altında toplanmıştır (Şekil 4.10.). Buna göre çalışma alanının % 9.4'ü ince, % 69.31'i orta ve % 1.22'si kaba bünyeli topraklardan oluşmaktadır. Çalışma alanın % 20.07'sini ise çıplak kayalıklar oluşturmaktadır (Çizelge 4.6). İnce tekstürlü topraklar çalışma alanında yer alan derelerin taşıyarak biriktirdiği aluviyallerden oluşmuştur. Kaba tekstürlü topraklar ise özellikle dik yamaçların eteklerinde koluvial döküntülerle oluşan fizioğrafyalarda yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Çalışma alanı topraklarının tekstür sınıflarına göre dağılımı

Tekstür Sınıfı	Tanımlama	Alan (ha)	Alan (%)
Çıplak kayalık	Örneklenemeyecek kadar sığ alanlar	56671.4	20.07
İnce tekstür	Kil (C), siltli kil (SiC) ve kumlu kil (SC)	26524.6	9.40
Orta tekstür	Tın (L), siltli killi tın (SiCL), kumlu killi tın (SCL), silt (Si) ve kumlu tın (SL)	195709.6	69.31
Kaba tekstür	Kum (S) ve tınlı kum (SL)	3444.9	1.22
Toplam		282368.5	100.00

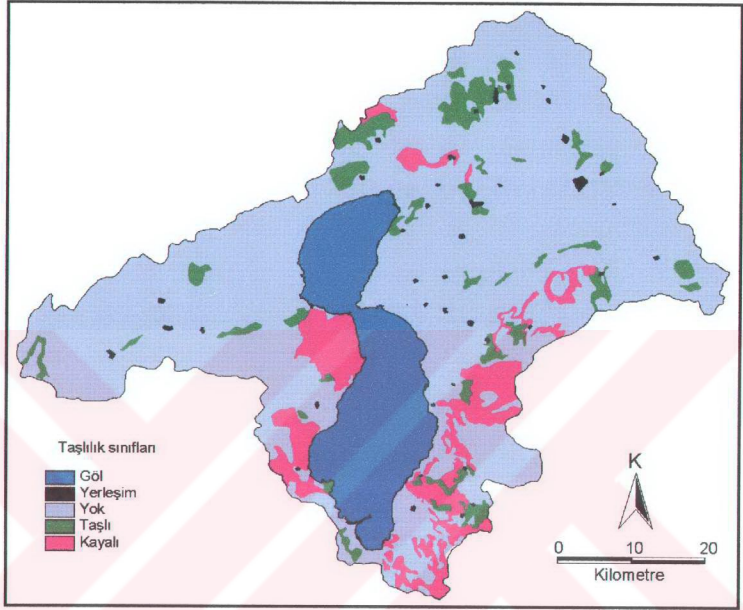


Şekil 4.10. Çalışma alanının tekstür haritası

Vektör/çizgi formatına çevrilen toprak tekstürü haritasında toplam 66 haritalama ünitesi oluşturulmuştur. Bunlardan 22'si ince tekstürlü, 30'u orta tekstürlü, 10'u kaba tekstürlü ve 4'ü ise çıplak kayalık içeren poligonlardan oluşmuştur.

4.1.9. Yüzey Taşlılığı Haritası

Toprak haritasında ye alan bilgileri doğrultusunda sayısal toprak haritası kullanılarak çalışma alanının taşlılık haritası oluşturulmuştur. Alanın taşlılık durumu taşlılık yok (% 2'den az), taşlı ve kayalı (% 2-10) olmak üzere üç grupta sınıflandırılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Çalışma alanının taşlılık haritası

Çalışma alanı için oluşturulan yüzey taşlılığı haritasına göre alanın % 83'ünde taş bulunmamıştır. Alanın % 6.4'ü taşlı ve % 10.6'sı kayalıdır. Çizelge 4.7'de çalışma alanının taşlılık ve kayalılık durumuna göre dağılımı yer almaktadır. Çalışma alanında taşlılık özellikle yüksek arazilerin eteklerinde yer bulunmaktadır. Kayalı alanların ise yoğun olarak bulunduğu yerler havzayı çevreleyen yüksek alanlarda bulunmaktadır.

Oluşturulan haritada toplam 75 poligon elde edilmiştir. Bu poligonlardan 20'si kayalı alanlara aittir. Yüzeyde taşların bulunduğu alanlar 36 farklı poligonal üniteyi oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisinde yüzey taşlılığı olmayan alanlar ise toplam 19 poligonda toplanmıştır.

Çizelge 4.7. Çalışma alanı topraklarının yüzey taşlılığına göre dağılımı

Taşlılık sınıfı	Alan (ha)	Alan (%)
Taşlılık yok	234309.4	82.98
Taşlı	18212.7	6.45
Kayalı	29846.4	10.57
Toplam	282368.5	100.00

4.1.10. Toprak Derinliği Haritası

Çalışma alanı toprakları derinlik yönünden beş guruba ayrılmıştır. Bunlardan birincisi derinlikleri 10 cm'den daha az olan topraklar ve toprak haritasında çıplak alanlar olarak tanımlanan guruptur. Toprak olan alanlarda derinlik çok sığ (10-20 cm), sığ (20-50 cm), orta derin (50-90 cm) ve çok derin (90 cm'den daha fazla) olmak üzere guruplandırılmıştır. Oluşturulan derinlik haritasına göre çalışma alanı topraklarının % 41.6'sı birkaç cm ile sınırlı topraklardan ve çıplak kayalardan oluşmaktadır. Alanın % 12.6'sı çok sığ, % 16.8'i sığ, % 11.8'i orta derin ve % 17.2'si derin topraklardan oluşmuştur. Çizelge 4.8'de derinliğine göre çalışma alanı topraklarının dağılımı yer almaktadır.

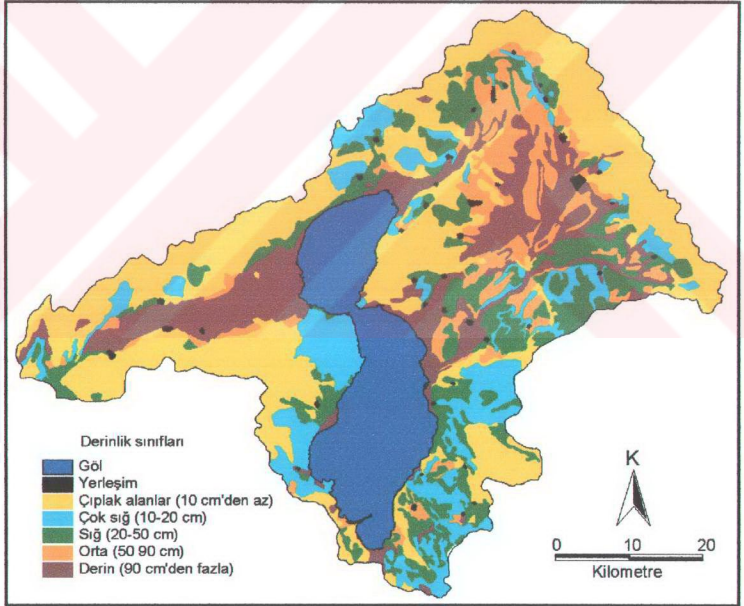
Çizelge 4.8. Çalışma alanı topraklarının derinlik sınıfları ve dağılımı

Derinlik Sınıfı	Tanımlama (cm)	Alan (ha)	Alan (%)
Çıplak alanlar	10 cm'den az	114895.7	40.69
Çok sığ	10-20	41649.4	14.75
Sığ	20-50	47352.2	16.77
Orta derin	50-90	30552.3	10.82
Derin	90 cm'den fazla	47917.9	16.97
Toplam		282368.5	100.00

Çalışma alanının en derin toprakları aluviyal birikintilerin yer aldığı ve derelerin eski ve yeni yatakları etrafında bulunmaktadır. Bu alanlar eğimin düz ve düze yakın olduğu kısımlardır. En sığ topraklar ise özellikle çalışma alanının sınırını oluşturan yükseltilerde bulunmaktadır.

Çalışma alanı tekstür haritasına göre alanın % 20.07'si çıplak kayalık olarak bulunmuştur. Derinlik haritasında ise çıplak kayalık ve birkaç cm derinliğe sahip toprakların oranı % 41.6 olarak bulunmuştur. İki haritada yer alan bu ikilemi ölemek amacıyla derinlik haritası lejantında çıplak alanlar olarak tanımlanmıştır.

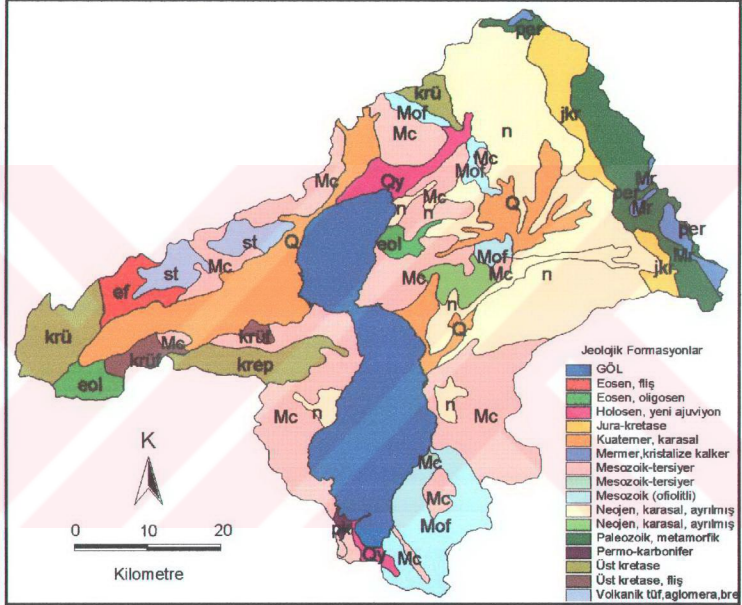
Çalışma alanı derinlik haritası toplam 197 farklı haritalama ünitesinden oluşmuştur. Bu ünitelerden 33'ü çok derin toprakları belirtmektedir. Orta derin toprakları gösteren poligonların sayısı 42, sığ toprakları belirten poligonların sayısı 65, çok sığ poligonları gösteren poligonların sayısı ise 37 dir. Çalışma alanında çıplak kayalıkların olduğu alanlar toplam 20 poligonla belirtilmiştir. Toprak derinliği için hazırlanan harita şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Çalışma alanının toprak derinliği haritası

4.1.11. Sayısal Jeolojik Harita

Çalışma alanına ait 1:500.000 ölçekli jeolojik harita sayısallaştırılarak sayısal jeolojik harita hazırlanmıştır. Jeolojik haritada yer alan her bir haritalama ünitesi poligon olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Çalışma alanının sayısal jeoloji haritası

Çalışma alanının büyük kısmı Mesozoik-Terziyer karasallar, Neojen, Kuaterner ve Ofiolitli Mesozoiklerden oluşmaktadır. Bu dört formasyonun toplamı çalışma alanının % 63,79'unu oluşturmaktadır. Bunların yanında Eosen filişleri, mermer, dolomit dizilimleri ve volkanik kökenli aglomera ve breşler gibi çeşitli birliklerde yer almaktadır. Çizelge 4.9'da çalışma alanı topraklarının oluştuğu jeolojik formasyonlar ve kapladıkları alanlar verilmiştir.

Çizelge 4.9. Çalışma alanının jeolojik formasyonları ve dağılımı

Zaman-Formasyon	Alan (ha)	Alan (%)
Mesozoik-terciyer	72258.1	25.59
Neojen, karasal, ayrılmamış	69519.1	24.62
Kuaterner, karasal, ayrılmamış	38345.6	13.58
Üst kretase	20782.3	7.36
Mesozoik (ofiolitli)	19991.6	7.08
Paleozoik, metamorfik	17619.8	6.24
Jura-kretase	10843.0	3.84
Volkanik tuf, aglomera, brej	7313.4	2.59
Eosen, oligosen	5958.0	2.11
Holosen, yeni ajuviyon	6663.9	2.36
Eosen, fliş	4941.5	1.75
Mermer, kristalize kalker, dolomit	3783.7	1.34
Üst kretase, fliş	3783.7	1.34
Permo-karbonifer	564.8	0.20
Toplam	282368.5	100.00

4.1.12. Ana Materyal Haritası

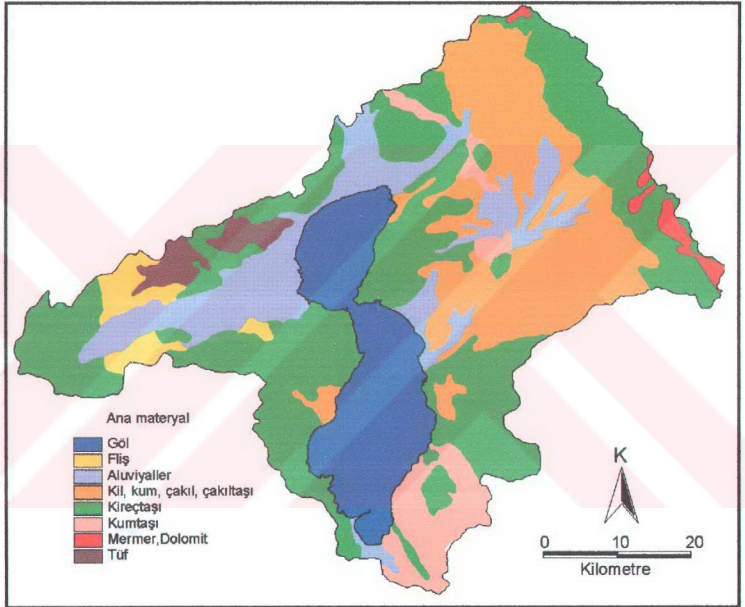
Çalışma alanı ana materyal çeşitliliği yönünden 9 farklı birimden oluşmaktadır. Ancak bu birimler erozyona duyarlılığına göre 7 grupta toplanmıştır.

Eğirdir göl havzasının büyük çoğunluğunu oluşturan kireçtaşı ana materyali alanın % 45.34'ünü kapsamaktadır. Çalışma alanının % 25.'si kil, kum, çakıl ve çakıl taşı, 15.94'ü aluviyal, % 7.08'i kumtaşı, % 2.59'u tuf, % 3.09'u fliş, ve, % 1.34'ü mermer ve dolomit ana materyalinden oluşmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Çalışma alanı topraklarının ana materyal sınıflarına göre dağılımı

Ana materyal	Alan (ha)	Alan (%)
Aluviyal	45009.5	15.94
Fliş	8725.2	3.09
Kil,kum,çakıl,çakıltaşı	69519.1	24.62
Kireçtaşı	128025.9	45.34
Kumtaşı	19991.7	7.08
Mermer,dolomit	3783.7	1.34
Tuf	7313.4	2.59
Toplam	282368.5	100.00

Oluşturulan ana materyal haritasında toplam 44 farklı poligon elde edilmiştir. Bu poligonlardan 5'i aluviyonlardan oluşmaktadır. Haritada yer alan poligonlardan 4'ü mermer ve dolomit, 20'si kireçtaşı, 13'ü kum taşı, çakıl taşı, kil taşı ve fliş, 2'si ise tüflerden oluşmaktadır. Şekil 4.14'de çalışma alanı ana materyal haritası yer almaktadır.

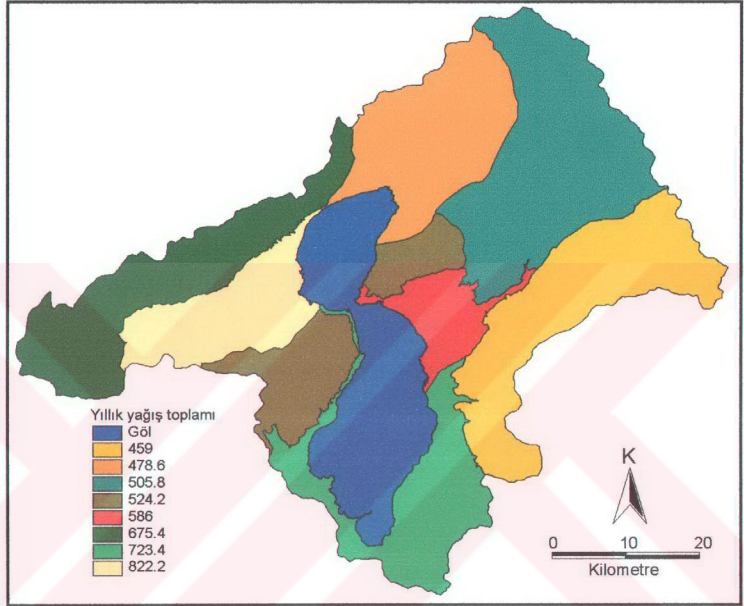


Şekil 4.14. Çalışma alanının ana materyal haritası

4.1.13. Yağış Yoğunluğu Haritası

Çalışma alanı içerisinde yer alan 8 farklı istasyondan Meteoroloji Genel Müdürlüğünce ölçülen yağış özelliklerine ait bilgiler sayısal yükseklik modeli ile oluşturulan yükseklik sınıfları ve doğal fizyografik yan havzalar ile birleştirilerek hazırlanan yıllık yağış ortalamaları ve yağışlı gün sayısı bilgilerini içeren yağış

haritasından yağış yoğunluğu haritası üretilmiştir. Şekil 4.15’de çalışma alanının yağış haritası yer almaktadır.



Şekil 4.15. Çalışma alanının yağış haritası

Yıllık yağış ortalamasına göre, çalışma alanının % 9.14’ü 800 mm’den fazla yağış almaktadır. Alanın % 11.46’sı 700-800 mm, % 14.25’i 600-700 mm, % 34.72’si 500-600 mm ve % 30.36’sı 500 mm’den daha az yağış almaktadır. Çalışma alanının ¼’ü 600 mm’den daha az yağış almaktadır. Bu değer çalışma alanı için verilen yıllık yağış ortalamasına uygun olarak bulunmuştur(Çizelge 4.11).

Yağışlı günler sayısı toplamı da alan içerisinde değişiklik göstermektedir. Çalışma alanının % 40.2’si 90 günden fazla yağış almaktadır. Yağışlı günler toplamı çalışma alanın % 20.6’sı 80-90 gün, % 25.6’sı 70-80 gün ve %13.7’sinde ise 70 günden daha az olmuştur. Çalışma alanının % 86.2’sinde yağışlı günler sayısı 70 gün

ve daha fazla bulunmuştur(Çizelge 4.12). Çalışmada derecelendirme metodunda kullanılmak üzere yağış yoğunluğu, yıllık yağış ortalamasının yağışlı günlerin sayısı toplamına bölümü ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Çalışma alanı yıllık yağış miktarı ve kapladığı alanlar

Yıllık yağış miktarı (mm)	Alan (ha)	Alan (%)
500'den az	85727.1	30.36
500-600	98038.3	34.72
600-700	40435.2	14.32
700-800	32359.4	11.46
800'den fazla	25808.5	9.14
Toplam	282368.5	100.00

Çizelge 4.12. Çalışma alanı yağışlı gün sayısı ve kapladığı alanlar

Yağışlı gün sayısı (gün)	Alan (ha)	Alan (%)
70'den az	38585.9	13.6
70-80	72329.0	25.6
80-90	58070.1	20.6
90'dan fazla	113383.5	40.2
Toplam	282368.5	100.00

Yapılan bu hesaplama ile çalışma alanı yağış yoğunluğuna göre dört guruba ayrılmıştır. Yağış yoğunluğu 6 (mm/gün)' dan daha az olan alanlar çok az, 6-7 (mm/gün) arasında olan alanlar az, 7-8 (mm/gün) arasında olan alanlar orta, 8 (mm/gün)'den fazla olan alanlar ise yüksek olarak tanımlanmıştır. Bu guruplar ve veri tabanına girilen kodlar aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.13).

Buna göre çalışma alanının % 16.70'i 1.gurup, % 43.59'u 2. gurup, % 14.32'si 3. gurup ve % 25.39'u 4. gurup içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının % 43.59'unda yağış indeksi 6-7 arasında bulunmuştur. Buna göre alanın % 16.70'inde yağış yoğunluğundan kaynaklanan erozyon riski düşük, % 57.91'inde orta derecede bulunmuştur. Çalışma alanının % 25.39'unda ise yağış yoğunluğundan kaynaklanan erozyon riski çok yüksek bulunmuştur. Oluşturulan yağış haritası toplam 9 poligondan oluşmaktadır. Bu poligonlardan 1'i 1.gurupta, 4'ü 2.gurupta, 1'i 3. gurupta ve 3'ü ise 4. gurupta yer almaktadır.

Çizelge 4.13. Çalışma alanı yağış indeksi ve kapladığı alanlar

Yağış indeksi (mm/gün)	Alan (ha)	Alan (%)
6'dan az	47155.5	16.70
6-7	123084.4	43.59
7-8	40435.2	14.32
8'den fazla	71693.4	25.39
Toplam	282368.5	100.00

4.1.14. Mera Kullanımı Haritası

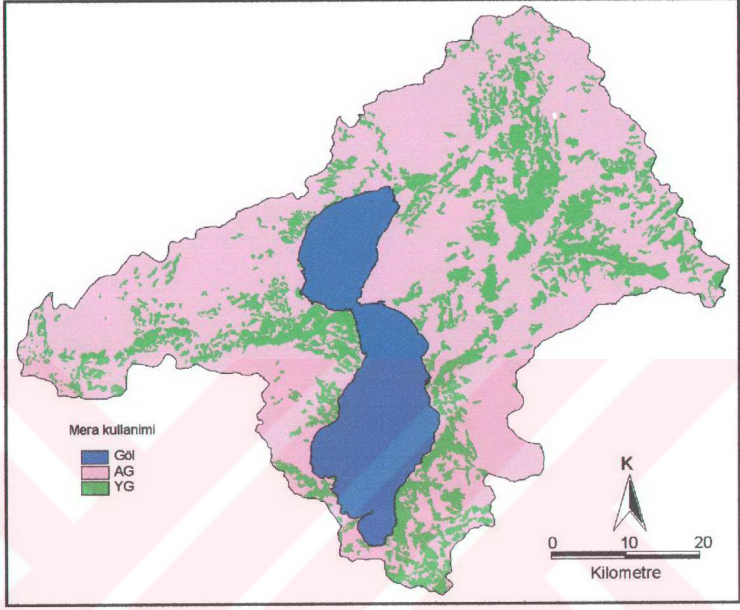
Mera kullanımı haritasının üretiminde tarım alanları dışında kalan bölgeler için değerlendirme yapılmıştır. Çalışma alanı mera kullanımı yönünden iki guruba ayrılmıştır. Bunlardan birincisi meralarda hayvan otlatılma süresinin Nisan ayında başladığı ve Eylül ayı sonuna kadar devam ettiği dönemi içeren yoğun olarak tanımlanan guruptur. İkincisi ise Mayıs ayı sonunda başlayan ve Ağustos ayında sona eren az yoğun olarak tanımlanan guruptur. Mera kullanımına ait veri haritalarının ve veri tabanının oluşturulmasında çalışma alanı içerisinde yer alan ilçe sınırları kullanılmıştır. Bu verilere göre üretilen mera kullanım haritası şekil 4.16'da verilmiştir. Çalışma alanının % 77.11'inde yoğun ve kontrolsüz mera kullanım yapılmaktadır. Az yoğun olarak mera kullanımı yapılan alanların oranı ise % 22.89 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Çalışma alanı mera kullanım yoğunluğu ve kapladığı alanlar

Mera Kullanımı	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Yoğun	YG	217734.4	77.11
Az yoğun	AG	64634.1	22.89
Toplam		282368.5	100.00

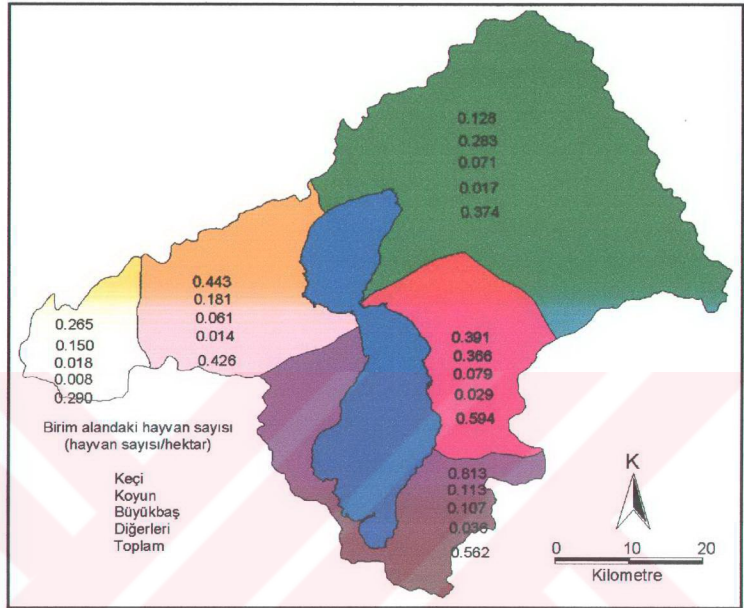
4.1.15. Hayvan Otlatma Riski Haritası

Çalışma alanının % 47.0'ında bir hektar alana düşen toplam hayvan sayısı 1 den fazladır. Bir hektara düşen toplam hayvan sayısı, alanın % 13.7'sinde 0.8-1.0, % 16.6'sında 0.6-0.8 ve % 22.7'sinde 0.4-0.6 bulunmuştur. Orman örtüsünün tahrip edilmesinde en fazla etkisi bulunan hayvan türü olan keçinin bir hektar alana düşen yoğunluğu ise, çalışma alanının % 71.1'inde 0.1-0.2, % 15.2'sinde 0.2-0.3 ve % 13.7'sinde ise 0.3-0.4 arasında bulunmuştur.



Şekil 4.16. Çalışma alanının mera kullanım haritası

Çalışma alanında yetiştirilen hayvan sayısı ve çalışma alanı içerisinde yer alan ilçe alanları kullanılarak birim alana düşen hayvan çeşidi-sayısı haritası hazırlanmıştır. Hayvan riski haritasının oluşturulmasında bölgede yetiştirilen hayvan çeşitlerinin doğal bitki örtüsü ve orman alanları için tehlike olma derecesi göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle keçi yetiştiriciliği en fazla tehlike içeren grup olarak değerlendirilmiş, bunu koyun, büyük baş ve diğerleri izlemiştir. Bu amaçla her bir hayvan çeşidi için bir katsayı verilmiş ve bu katsayıların toplamıyla risk derecesi elde edilmiştir. Hayvan çeşidine göre verilen katsayılarla, birim alana düşen keçi sayısı 1 ile, koyun sayısı 0.5 ile, büyükbaş hayvan sayısı 0.35 ile ve diğerleri için ise 0.15 ile çarpılmış bu sayıların toplamı o alanın hayvan riski olarak bulunmuştur. Hayvan risk derecesine göre çalışma alanı dört grupta toplanmıştır. Şekil 4.17'de oluşturulan hayvan riski haritası yer almaktadır.



Şekil 4.17. Çalışma alanının hayvancılık haritası

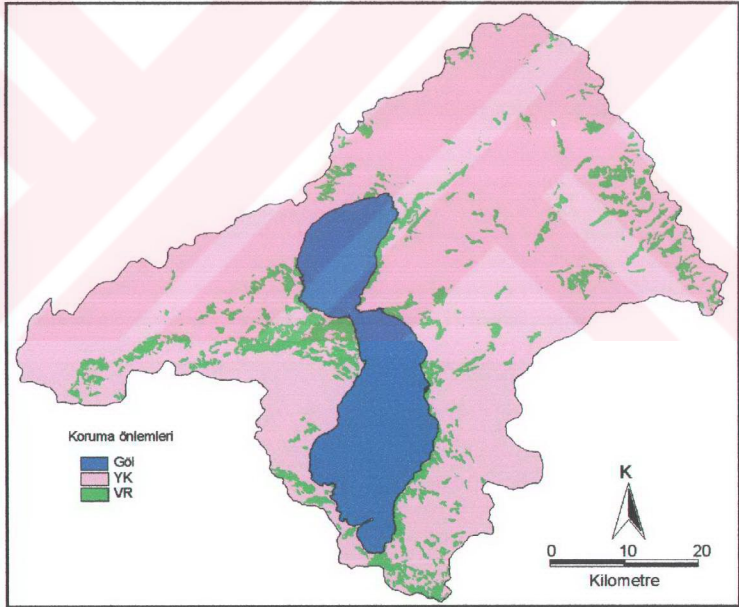
Çalışma alanının % 7.52'sinde hayvan riski düşük olarak belirlenmiştir. Alanın % 31.79'unda hayvan riski orta-yüksek, % 60.69'unda ise çok yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Çalışma alanı hayvan riski ve kapladığı alanlar

Hayvan Riski	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
0.3'den az	DS	21234.1	7.52
0.3-0.4	OR	42920.0	15.20
0.4-0.5	YK	46844.9	16.59
0.5'den fazla	CY	171369.5	60.69
Toplam		282368.5	100.00

4.1.16. Koruma Önlemleri Haritası

Çalışma alanı tarım yapılan alanlarda toprakla uğraşan kişilerin toprakların işleminde ve kullanılmasında koruma önlemlerine dikkat etmesi yada dikkat etmemesine göre iki guruba ayrılmıştır. Koruma önlemlerine dikkat edilen alanlar koruma önlemler var, dikkat edilmeyen alanlar ise koruma önlemleri yok olmak üzere değerlendirilmiştir. Koruma önlemlerinin uygulanmasında, veri haritalarının ve veri tabanının oluşturulmasında çalışma alanı içerisinde yer alan ilçe sınırları kullanılmıştır. Kullanılan bu verilere göre hazırlanan koruma önlemleri haritası şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Çalışma alanının koruma önlemleri haritası

Çalışma alanının % 90'ında koruma önlemlerinin hiç biri uygulanmamaktadır. Alanın % 10'unda ise eşyükselti eğrilerine paralel sürüm, teraslama veya sekileme uygulamaları yapılmaktadır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Çalışma alanı koruma önlemleri ve kapladığı alanlar

Koruma Önlemleri	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Yok	YK	254131.6	90.00
Var	VR	28236.9	10.00
Toplam		282368.5	100.00

4.1.17. Arazi Kullanım Haritası

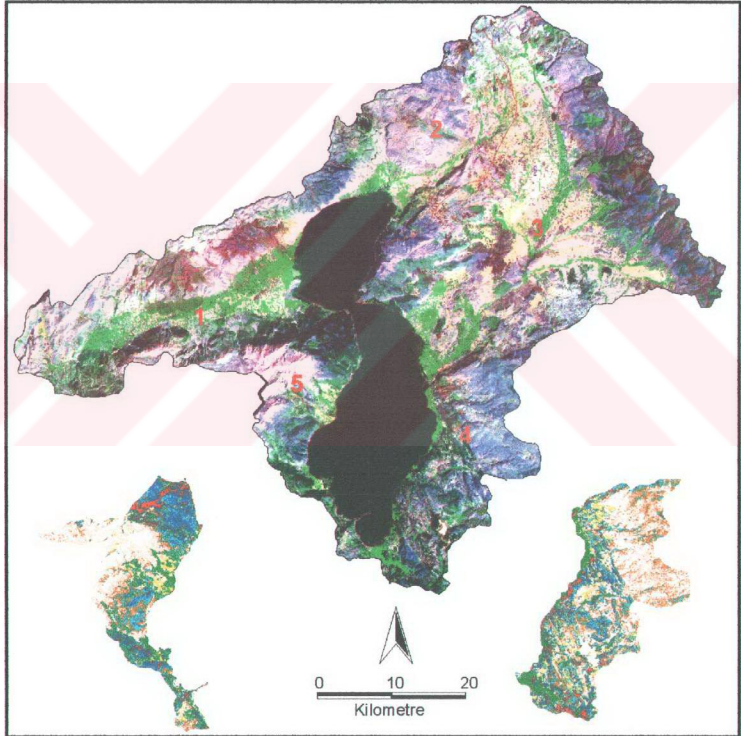
Arazi kullanım durumunu belirlemek üzere ilk olarak göl sınırları belirlenerek uydu verisi üzerinde göl alanı maskelenmiş ve görüntüden çıkarılmıştır. Daha sonra çalışma alanı uydu verisinden hazırlanan görüntü sayısal yükseklik modeli ve 3D görüntü ile belirlenen alt havzalara bölünmüştür. Şekil 4.19'da Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 3., 4. ve 7. bantlarının histogram equalization metoduna göre zenginleştirilmiş görüntüsü ve alt havza sınırları yer almaktadır.

Alt havzalardan en büyük alana sahip olanı 3 no'lu havzadır. Bu havza toplam 114477.7 dekar alana sahiptir. 3 no'lu havzayı 62666.5 dekar alanla 1 no'lu havza izlemektedir. En az alana sahip olan havza ise 5 no'lu havzadır. Çizelge 4.17'de alt havzaların büyüklükleri yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan üç büyük dere 1, 2 ve 3 nolu havzalarda yer almaktadır. 1 nolu havza Pupa çayını deresini, 2 nolu havza Aşağı dereyi ve 3 nolu havza Özdereyi beslemektedir. Çalışma alanı sınırları içerisinde kalan en önemli su yatakları bunlardır. 4 ve 5 nolu havzalar dere havzası olmamakla birlikte bu havzalarda yer alan su kanalları ile havzalara gelen yağış doğrudan göle ulaşmaktadır.

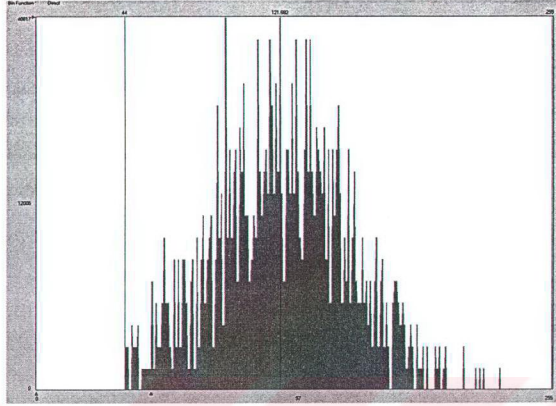
Görüntü zenginleştirme işlemi sonrası yapılan ve uydu verilerinin sınıflandırılmasında uygun sınıf sayısını belirlemek üzere hazırlanan histogramlardan alanın bir birinden en iyi şekilde ayırt edildiği ve alan olarak sınıflandırılabilecek büyüklükte olan 11 farklı pik yüksekliği belirlenmiştir. Şekil 4.20, 4.21 ve 4.22'de Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 3., 4. ve 7. bantlarının yansıma histogramları yer almaktadır.

Çizelge 4.17. Çalışma alanının alt havzalara göre dağılımı

Havza	Alan (ha)	Alan (%)
1 (Pupa çayı havzası)	62666.5	22.19
2 (Aşağı dere havzası)	42141.8	14.92
3 (Özdere havzası)	114477.7	40.54
4	37104.1	13.14
5	25978.4	9.20
Toplam	282368.5	100.00



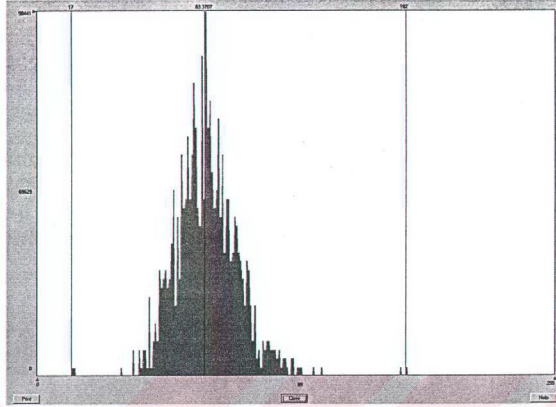
Şekil 4.19. Çalışma alanının zenginleştirilmiş görüntüsü ve alt havzaları (Landsat-7 ETM+ 3., 4. ve 7. bant kombinasyonları)



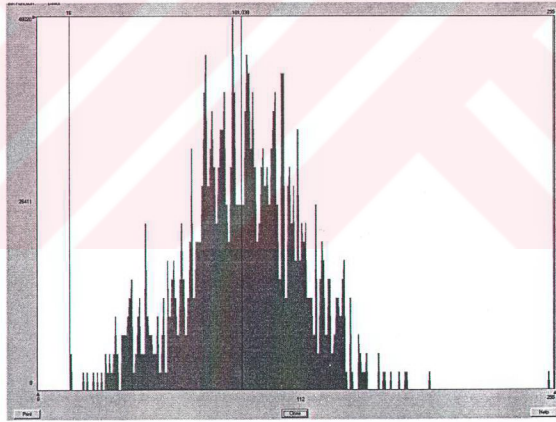
Şekil 4.20. Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 3. bantı yansımaya histogramı

Landsat 7 ETM+ uydusunun 3. bandında çalışma alanının yansımaya değerleri 44-230 arasında değişmektedir. Bu bantta 5 sınıf en iyi şekilde ayrılmaktadır. Bu sınıflar orman örtüsü (44-50), sulu tarım alanları (50-88), kuru tarım alanları (175-190), çıplak toprak (187-208) ve çıplak kayalıktır (208-230). Bant yansımaya değerlerine göre orman örtüsü ile sulu tarım alanlarının çok az bir kısmı kesişmiştir. Aynı şekilde kuru tarım ile çıplak toprak alanlarının da bir kısmında yansımaya değerleri ortak bulunmuştur. Bu bantta makilikler diğer arazi kullanım türlerinden ayrılmış fakat maki türleri kendi içinde ayrılmamıştır.

Landsat 7 ETM+ uydusunun 4. bandında çalışma alanının yansımaya değerleri 17-182 arasında değişmektedir. Bu bantta ise 6 sınıf en iyi şekilde ayrılmaktadır. Landsat 7 ETM+ uydusunun 4. bandında orman örtüsü (17-60), sulu tarım alanları (132-180) ve kuru tarım alanları (110-124) tamamen bir birinden ayrılmıştır. Ayrıca çıplak kayalık (120-142) ile çıplak toprak alanları (114-130) kısmen birbirinden ayrılmış ancak çıplak kayalık ile kuru tarım alanlarının gösterdiği yansımaya bir biriyle kesişmiştir. Bu bantta 3. ve 4. bantlarda kendi içerisinde sınıflandırlamayan M3, M4 ve M5 maki türleri bir birinden ayrılmıştır.



Şekil 4.21. Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 4. bantı yansımaya histogramı



Şekil 4.22. Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 7. bantı yansımaya histogramı

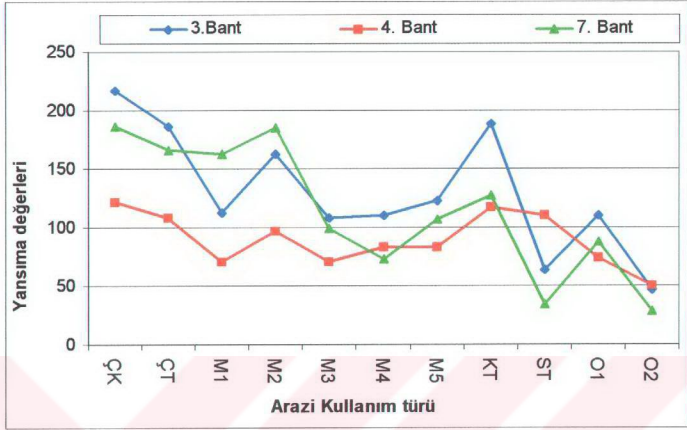
Landsat 7 ETM+ uydusunun 7. bandından sağlanan histogram ile çıplak kayalık (170-194), çıplak toprak (157-170), kuru tarım (122-138) ve sulu tarım (16-41) alanları tamamen bir birinden ayrılmıştır. Ayrıca bu bantta M1, M2 ve M4 maki türleri de bir birinden ayrılmıştır.

Çalışma alanında yer alan farklı arazi kullanımı türleri ve bu arazi kullanım türlerinde yer alan bitki örtüsünün Landsat 7 ETM+ uydu verisi 3., 4. ve 7. bantlarından belirlenen ortalama yansımaya değerleri çizelge 4.18’de verilmiştir. Bu değerlere göre Landsat 7 ETM+ uydu verisi 3., 4. ve 7. bantlarından olan yansımaya değerleri için hazırlanan grafik şekil 4.23’de yer almaktadır.

Çizelge 4.18. Farklı arazi kullanım türlerinin Landsat 7 ETM+ uydu verisi 3., 4. ve 7. bantlarından olan ortalama yansımaya değerleri

Arazi kullanım türü	Sembol	Bitki örtüsü	3.Bant	4.Bant	7.Bant
Çıplak alanlar	CK	Yüzey çıkmış kayalık	217	122	186
	CT	Çıplak toprak	186	108	166
Maki	M1	Yüzeyin % 70’ini kapsayan kayalar ve % 30’unu kapsayan 2 m boyunda maki türleri karışımı	113	70	162
	M2	Mera bitkileri ile karışık 1 m’den daha kısa boylu maki türleri	163	97	185
	M3	Yüzeyin % 50’sini kapsayan kayalar ve % 50’sini kapsayan 1.5 m boyunda maki türleri karışımı	108	70	99
	M4	Yüzeyin % 50’sini kapsayan kayalar, % 30’unu kapsayan 1 m boyunda maki türleri karışımı ve % 20’sini kapsayan 1 m’den daha kısa boyda maki türleri karışımı	110	83	123
	M5	Yüzeyin % 70’ini kapsayan kayalar ve % 30’unu kapsayan 1 m boyunda maki türleri karışımı	123	83	107
Kuru tarım	KT	Tahıl alanları	189	117	127
Sulu tarım	ST	Karışık meyve bahçesi ve bağ	64	110	34
Orman örtüsü	O1	1.5 m’den daha yüksek maki ağaçları ve bozulmuş orman	110	74	87
	O2	4-6 m yüksekliğinde yoğun meşe, ardıç ve sedir ağaçları	47	50	28

Çizelge 4.18’de yer alan bitki örtüsüne ait özellikler normalize edilmiş bitki indeksine göre oluşturulan sınıflar için temel olmuştur.

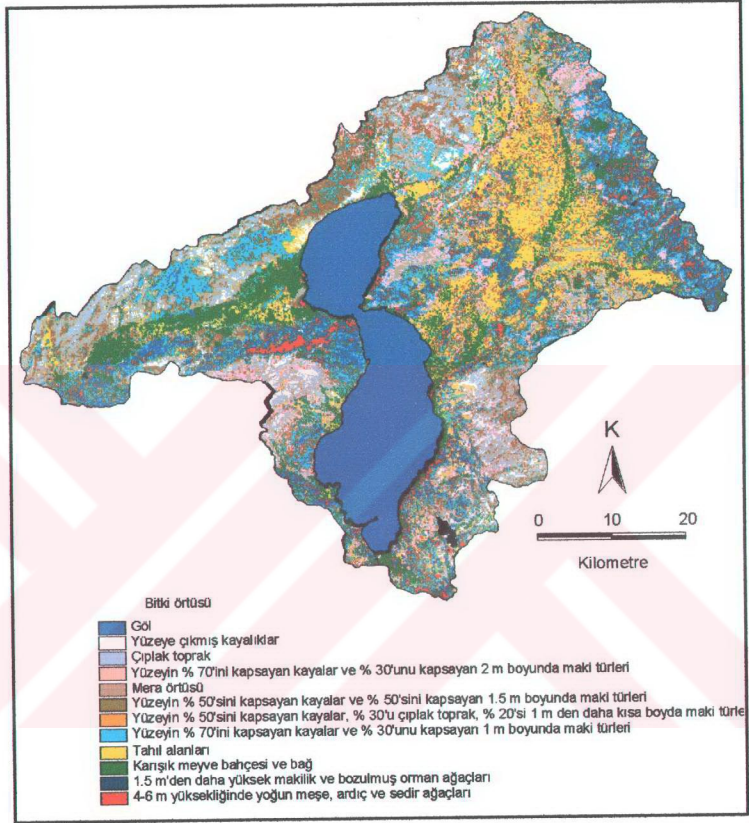


Şekil 4.23. Arazi kullanım türlerinin Landsat 7 ETM+ uydu verisinin 3., 4. ve 7. bantlarından olan ortalama yansıma değerleri

Daha sonra her bir havzaya ait uydu verisi unsupervised-isodata sınıflama metoduna göre aynı yazılım yardımıyla 11 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.24). Oluşturulan 11 sınıfın hangi arazi kullanım türünü gösterdiğini belirlemek üzere arazi çalışması yapılmıştır.

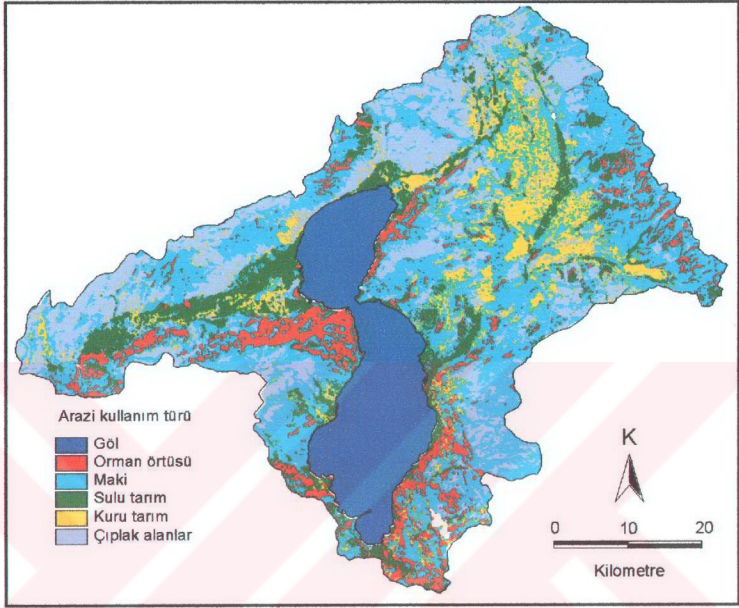
Arazi çalışmaları için yan havzaların her birinde tüm sınıfları içeren 5x5 km büyüklüğünde ikişer adet test alanları belirlenmiştir. Arazi kontrollerinde test alanları etüd edilmiş ve arazi kullanım türleri belirlenmiştir. Buna göre sınıflandırma sonucu bulunan 11 sınıfın 1 tanesi kuru tarım, 1 tanesi sulu tarım, 2 tanesi çıplak alanlar, 1 tanesi mera, 2 tanesi orman örtüsü ve yoğun maki, 4 tanesi ise bozulmuş orman ve yayıl makilerden oluşmaktadır (Şekil 4.25).

Belirlenen arazi kullanım türleri kuru tarım, sulu tarım, orman, maki ve çıplak alanlar olmak üzere 5 grupta birleştirilmiştir. Buna göre çalışma alanının % 9.73'ü karışık meyve bahçeleri ve bağların oluşturduğu sulu tarım alanları, % 11.50'sini arpa, buğday, yulaf, çavdar gibi ürün deseninin yer aldığı kuru tarım alanları oluşturmaktadır.



Şekil 4.24. Çalışma alanının arazi kullanım türü haritası (11 sınıf)

Çalışma alanının % 12.02'sini yüksek ağaçlar ve yoğun makiliklerin oluşturduğu orman örtü tipi, % 42.57'sini zayıf, çalılış tipi bozulmuş orman örtüsü ve makilikler ve % 24.18'ini ise örtü bulunmayan çıplak alanlar oluşturmaktadır. Çalışma alanı topraklarının arazi kullanımına göre dağılımı çizelge 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.25. Çalışma alanının arazi kullanım türü haritası (5 sınıf)

Uydu verileri işlenerek kontrolsüz/eğitimsiz (unsupervised) sınıflama metoduna göre belirlenen ve arazi kontrolleri ile elde edilen şimdiki arazi kullanım haritasının sayısallaştırılması ile oluşturulan veri haritasında toplam 1223 farklı poligon oluşturulmuştur. Çalışma alanını oluşturan 1223 poligondan 240'i orman örtüsünden oluşmaktadır. Zayıf çalı tipi orman örtüsünden ve makiliklerden oluşan alanlar 150 poligonu kapsamaktadır. Çalışma alanında yer alan meyve ve sebze bahçeleri ile bağlardan oluşan arazi kullanım türü 273 farklı poligonla belirlenmiştir. Kuru tarım alanları 306 poligondan, çıplak alanlar ise 254 poligondan oluşmaktadır.

Her ne kadar arazi kullanım türü 5 sınıfta toplanmış ise de aynı arazi kullanım türünde yer alan farklı yoğunluktaki bitki örtüsü bitki indeksinin belirlenmesiyle ayrılmıştır.

Çizelge 4.19. Çalışma alanı arazi kullanım türleri ve kapladığı alanlar

Arazi kullanım türü	Alan (ha)	Alan (%)
Orman örtüsü	33940.7	12.02
Bozulmuş orman ve maki	120204.3	42.57
Sulu tarım alanı	27474.5	9.73
Kuru tarım alanı	32472.4	11.50
Çıplak alanlar	68276.7	24.18
Toplam	282368.5	100.00

4.1.18. Bitki Yoğunluğu Haritası

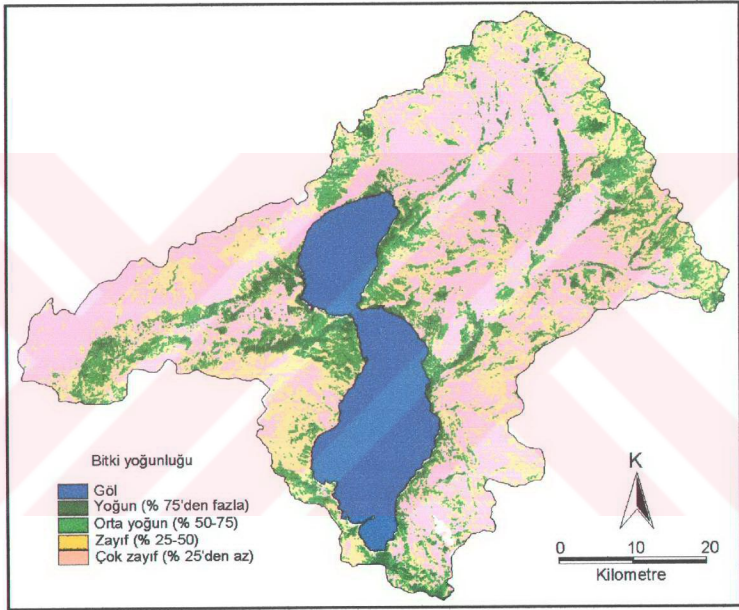
Bitki yoğunluğu yüzeyi kaplama oranına göre dört grupta toplanmıştır. Yapılan kontrollere göre, çalışma alanının bitki örtüsünün, çok zayıf (% 25'den az), zayıf (% 25-50), orta yoğun (% 50-75) ve yoğun (% 75'den fazla) olmak üzere ayrıldığı bulunmuştur. Çok zayıf bitki örtüsüne sahip alanların bitki indeksi 0.07'den daha az bulunmuştur. Zayıf bitki örtüsü için bu değer 0.07-0.1, orta yoğun bitki örtüsü için 0.1-0.17 ve yoğun bitki örtüsü için ise 0.17-0.27 arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.20). Bu alanlarda arazi kullanım türü aynı fakat bitkilerin toprak yüzeyini örtme dereceleri farklı olan alanlar belirlenmiştir. Başka bir deyişle arazi kullanım türü maki olarak belirlenen bir arazide maki örtüsü yoğunluğuna göre harita üretilmiştir.

Çizelge 4.20. Çalışma alanı bitki indeksi ve yansıma değerleri

Bitki yoğunluğu	Özellik	NDVI	Kod
Yoğun	Yüzeyin % 75'inden daha fazlası bitki örtüsü ile kaplanmış	0.07'den daha az	1
Orta	Yüzeyin % 50-75'i bitki örtüsü ile kaplanmış	0.07-0.10	2
Zayıf	Yüzeyin % 25-50'si bitki örtüsü ile kaplanmış	0.10-0.17	3
Çok zayıf	Yüzeyin % 25'inden daha azı bitki örtüsü ile kaplanmış	0.17-0.27	4

Üretilen bu harita yardımıyla farklı bitki yoğunluğuna sahip alanların birbirinden ayrılmıştır. Buna göre çalışma alanı topraklarının % 3.09'u yoğun, %

9.90'ı orta yoğun, % 57.78'i zayıf ve % 29.23'ü ise çok zayıf bitki örtüsü oluşturmaktadır. Çalışma alanında yer alan toprakların % 87.01'i bitki örtüsüyle korunamamaktadır. Bir başka deyişle çalışma alanının büyük bir kısmı hem yağmur damlasının hem de yüzey akışın parçalama etkisine açık durumdadır. Çalışma alanı için hazırlanan bitki yoğunluğu haritası şekil 4.26'de verilmiştir.



Şekil 4.26. Çalışma alanının bitki yoğunluğu haritası

Sayılaştırılması ile oluşturulan veri haritasında toplam 580 farklı poligon oluşturulmuştur. Çalışma alanını oluşturan 580 poligondan 88'i yoğun bitki örtüsünden oluşmaktadır. Orta yoğun bitki örtüsünden oluşan alanlar 246 poligonu kapsamaktadır. Çalışma alanında zayıf bitki örtüsünü kapsayan alanlar 142 farklı poligonla belirlenmiştir. Çok zayıf bitki örtüsünü oluşturan alanlar ise 104

poligondan oluşmaktadır. Çalışma alanına ait bitki yoğunluğunun dağılımı çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Çalışma alanı bitki yoğunluğu ve kapladığı alanlar

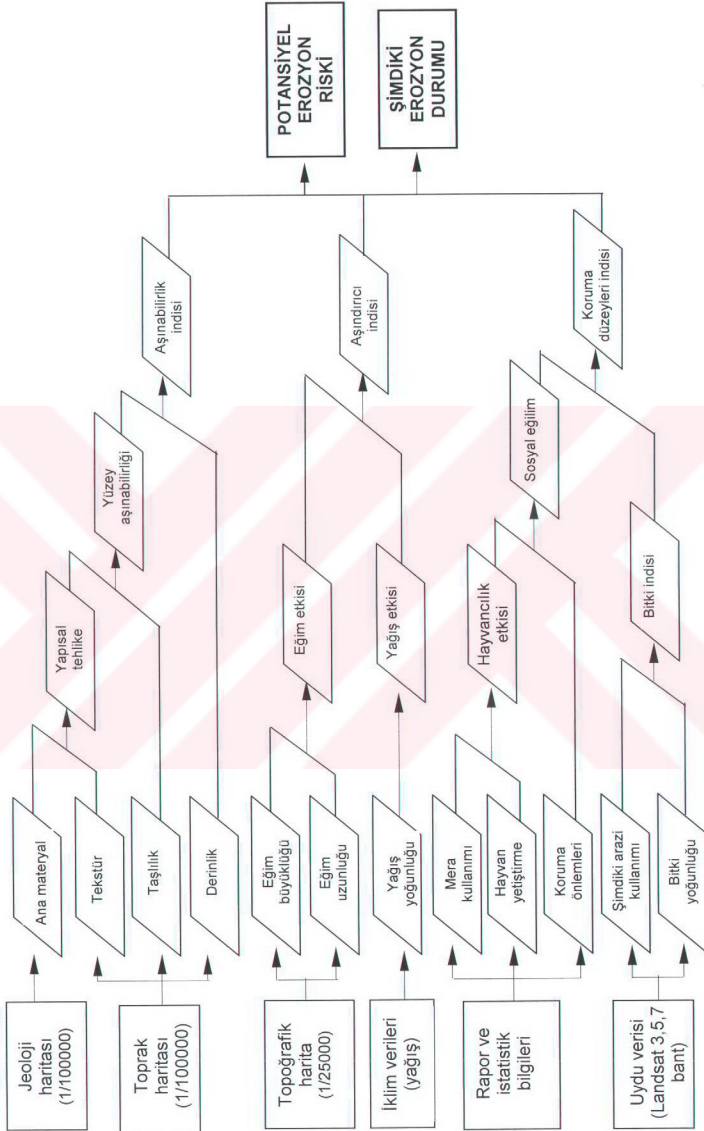
Bitki yoğunluğu	Kaplama oranı (%)	Alan (ha)	Alan (%)
Yoğun	% 75’den fazlası	8725.2	3.09
Az yoğun	% 50-75	27954.5	9.90
Zayıf	% 25-50	163152.5	57.78
Çok zayıf	25’den daha az	82536.3	29.23
Toplam		282368.5	100.00

4.2. Erozyon Derecelendirme Metodu

Üretilen veri haritaları kullanılarak potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumu derecelendirilmiştir. Bu amaçla haritaların veri tabanları kullanılarak tablolar oluşturulmuştur. Tabloların bir birleri ile ilişkilendirilmesinde en uygun sonuçları veren sıralama uygulanmıştır. Böylece potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumunu belirlemede ara indisler elde edilmiştir. Ara indislerin birleştirilmesiyle sonuç haritaları oluşturulmuştur. Derecelendirme metodunda ilk olarak potansiyel erozyon riski, daha sonrada şimdiki erozyon durumu belirlenmiştir. Şekil 4.27’de geliştirilen derecelendirme metodunun akış şeması yer almaktadır.

4.2.1. Potansiyel Erozyon Riski

Potansiyel erozyon riski, alanın yapısında var olan erozyona uğrayabilme riskinin ifadesidir. Başka bir deyişle bir alanın toprak, topoğrafik, jeolojik ve yağış özellikleri nedeniyle doğal olarak sahip olduğu erozyon riskidir. Bu risk insanların toprakları yönetimi ve arazileri değerlendirme durumuna göre değişmeyen, insan müdahalesi ile artmayan yada azalmayan riskleri içermektedir. Potansiyel olarak erozyon riskine sahip alanlar derin yada orta derin topraklara sahip, eğimli alanlarda ve erozyona karşı direnci zayıf ana materyaller üzerinde oluşmuştur. Potansiyel erozyon riski iki indisin birleştirilmesi ile belirlenmiştir. Bunlar aşınabilirlik ve aşındırıcı indisleridir.



Şekil 4.27. Derecelendirme metodunun akış şeması

4.2.1.1. Aşınabilirlik indisi

Aşınabilirlik indisi toprak tekstürü, toprak derinliği, ana materyal ve yüzey taşlılığının bileşenlerinden oluşmuştur. Aşınabilirlik indisinin belirlenmesinde yapısal tehlike ve yüzey aşınabilirliği olmak üzere iki ara katman oluşturulmuştur.

1) Yapısal tehlike

Aşınabilirlik indisinin belirlenmesinde ilk aşama olarak yapısal tehlike belirlenmiştir. Yapısal tehlike ana materyal ile toprak tekstürü ilişkilendirilmesinden elde edilmiştir. Erozyona karşı en az duyarlı olan yani en fazla direnç gösteren ana materyal türü aluviyallerdir. Aluviyalleri mermer ve dolomit, kireçtaşı, kumtaşı, çalıntaşı, kil taşı ve fliš izlemektedir. En fazla risk içeren gurup ise tüflerdir.

Toprak tekstürü ince olan toprakların erozyona olan duyarlılığı fazladır. Bu nedenle ince tekstürlü topraklar daha fazla risk taşımaktadır. Çıplak kayalıkların ise potansiyel olarak erozyona uğrama riskleri kalmamıştır. Toprak tekstürü ve ana materyal için veri tabanında girilen kodlar, kodlara karşılık verilen semboller ve karşılaştırılması çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Ana materyal sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
AD	1	Aluviyon
MD	2	Mermer, dolomit
KT	3	Kireçtaşı
KS	4	Kumtaşı, çalıntaşı, kilitaşı, fliš
TF	5	Tüf

Çizelge 4.23. Tekstür sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
CK	1	Çıplak kayalık
KT	2	Kaba tekstür
OT	3	Orta tekstür
IT	4	İnce tekstür

Çizelge 4.24. Yapısal tehlike karşılaştırma tablosu

		Toprak tekstürü			
		CK	IT	OT	KT
Ana materyal	AD	EZ	AZ	OR	OR
	MD	EZ	AZ	OR	FZ
	KT	EZ	OR	OR	FZ
	KS	EZ	OR	FZ	CF
	TF	EZ	OR	FZ	CF

Alanın tekstür ve ana materyal özelliği nedeniyle içerdiği erozyon riski yapısal tehlike sınıfları ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.25). Burada tanımlanan etkisiz sınıfı çıplak kayalık alanların ayrılması için kullanılmıştır.

Çizelge 4.25. Yapısal tehlike sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
EZ	Etkisiz
AZ	Az
OR	Orta
FZ	Fazla
CF	Çok fazla

2) Yüze aşınabilirliği

Aşınabilirlik indisinin belirlenmesinde ikinci aşama yüzeyin aşınabilme özelliğidir. Yüze aşınabilirliğinin belirlenmesinde toprak tekstürü ve ana materyalin aşınabilirliğine göre belirlenen yapısal tehlike ile yüzeydeki taşlılık karşılaştırılmış ve yüzey aşınabilirliği bulunmuştur. Toprak yüzeyinde var olan taşların ve kayaların varlığı toprağın yüzeyinden olan aşınmayı etkilemektedir. Yüzeydeki taşların artması yağışın çarpma etkisini ve yüzey suyunun aşındırma ve taşıma etkisini azaltmaktadır. Böylece erozyon oluşma riski azalmaktadır. Yüze aşınabilirliğinin bulunmasında belirlenen yüzey taşlılığı sınıfları, derecelendirme tabloları ve karşılaştırılması çizelge 4.26 ve 4.27’de verilmiştir.

Yüze aşınabilirliği yağışın aşındırıcı etkisine karşı toprağın duyarlılığının ifadesi olmuştur. Çalışma alanı toprakları yüzey aşınabilirliğine göre 5 sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 4.28). Bunlardan (OA) aşınamaz olarak tanımlanan sınıf toprak tekstüründe çıplak kaya olarak tanımlanan sınıfa karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.26. Toprak taşlılığı sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
KY	1	Kayalı
TS	2	Taşlı
TY	3	Taşlık yok

Çizelge 4.27. Yüze aşınabilirliği karşılaştırma tablosu

		Yapısal tehlike				
		EZ	AZ	OR	FZ	CF
Yüze taşlılığı	KY	OA	AA	AA	OR	AB
	TS	OA	AA	OR	AB	CF
	TY	OA	OR	AB	AB	CF

Çizelge 4.28. Yüze aşınabilirliği sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
OA	Aşınmaz
AA	Az aşınabilir
OR	Orta aşınabilir
AB	Aşınabilir
CF	Çok fazla aşınabilir

Aşınabilirlik indisinin belirlenmesinde son aşama yüze aşınabilirliği ile toprak derinliğinin karşılaştırılmasıdır. Toprak derinliği erozyona uğrama derecesinin en iyi belirteçlerinden birisidir. Toprak derinliği tek başına değerlendirildiğinde her hangi bir alanda toprak derinliği fazla ise o alanda erozyon oluşumu azdır. Yine aynı yaklaşımla o alan potansiyel olarak riski yüksektir. Bu nedenle toprak derinliği potansiyel erozyon riskinin belirlenmesinde bir faktör olarak kullanılmıştır. Toprak derinliğindeki azalma o alan için potansiyel bir riskin azaldığını işaret etmektedir. Çıplak kayalıklar ise potansiyel olarak bir risk taşımamaktadır. Beş farklı sınıfta yer alan beş farklı sınıfta yer alan yüze aşınabilirliği ile toprak derinliği (Çizelge 4.29) karşılaştırılarak aşınabilirlik indisi bulunmuştur. Karşılaştırma amacıyla belirlenen derecelendirme tablosu çizelge 4.30'da yer almaktadır.

Çizelge 4.29. Toprak derinliği sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
CK	1	Çıplak kayalık
CS	2	Çok sığ
SG	3	Sığ
OR	4	Orta
DR	5	Derin

Çalışma alanı aşınabilirlik indisine göre 7 farklı sınıftan oluşturmuştur (Çizelge 4.31). Bu sınıflardan (CT) toprak tekstürü ve derinliği özelliklerinden gelen çıplak kayalıkları belirtmektedir.

Çizelge 4.30. Aşınabilirlik indisi karşılaştırma tablosu

		Yüzey aşınabilirliği				
		OA	AA	OR	AB	CF
Toprak derinliği	CK	CT	CT	CT	CT	CT
	CS	HT	YK	YK	AZ	OR
	SG	HT	AZ	OR	OR	OR
	OD	HT	OR	OR	FZ	CF
	DR	HT	FZ	FZ	CF	CF

Hata (HT) olarak tanımlanan sınıf ise tekstür ve derinlik özelliklerinin birinde çıplak toprak olarak tanımlanan ancak diğerinde farklı bir özellik olarak gösterilen alanları belirtmektedir. Bu sınıf bir mantık hatasına karşı kontrol sınıfı olarak düşünülmüştür. Aşınabilirlik sınıfı yüksek olan topraklar tekstür, derinlik, taşlılık ve ana materyal özelliği yönünden erozyona karşı duyarlı topraklardan oluşmaktadır.

Çizelge 4.31. Aşınabilirlik indisi sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
CT	Çıplak toprak
YK	Yok
AZ	Az aşınabilir
OR	Orta aşınabilir
FZ	Fazla aşınabilir
CF	Çok fazla aşınabilir
HT	Hata

4.2.1.2. Aşındırıcı indisi

Aşındırıcı indisi, eğimin aşınma özelliği üzerine olan etkisi ile yağışın aşındırma etkisi ilişkilendirilerek bulunmuştur. Bu indis her hangi bir alanın belirli bir eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğunda o alana düşen yağışın yoğunluğunun toprakları aşındırma üzerine etkisi olarak düşünülmüştür. Eğim etkisi eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğunun derecelendirilmesi ile elde edilmiştir. Eğim etkisi, eğim özelliklerinin toprakları aşındırma üzerine olan etkinin belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır.

1) Eğim etkisi

Erozyon oluşumunda etkili faktörlerden olan eğim büyüklüğündeki bir artış erozyon oluşumunda da bir artışın oluşmasını gerektirmektedir. Bu özellik potansiyel erozyon riskinin derecelendirilmesinde 6 sınıf olarak tasarlanmış ve değerlendirilmiştir. Eğim uzunluğunun değerlendirilmesinde 4 farklı sınıf kullanılmıştır. Eğim uzunluğundaki artışla birlikte o alanda toplanan su miktarı artmakta buna paralel olarak toprakları taşıma gücü ve taşınan toprak miktarı da artmaktadır. Bu özellik derecelendirme metodunda eğim büyüklüğü ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu amaçla kullanılan değerler, sınıfları ve belirlenen karşılaştırma tabloları Çizelge 4.32, 4.33 ve 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Eğim büyüklüğü sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
DZ	1	Düz
HF	2	Hafif eğimli
OR	3	Orta eğimli
DK	4	Dik
CD	5	Çok dik
SP	6	Sarp

Eğim etkisi, eğimin aşındırıcı güç olan yağışa katkısı olarak sınıflandırılmıştır. Oluşturulan eğim etkisi sınıfları beş grupta toplanmıştır (Çizelge 4.35).

Çizelge 4.33. Eğitim uzunluğu sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
CK	1	Çok kısa
KS	2	Kısa
OR	3	Orta
UZ	4	Uzun

Eğitim etkisinde yer alan çok yüksek sınıfı, eğitim büyüklüğünde ve eğitim uzunluğundaki artışın aşındırıcı güç olan yağışın aşındırma derecesine çok yüksek oranda katkı sağladığının ifadesidir.

Çizelge 4.34. Eğitim etkisi karşılaştırma tablosu

		Eğitim uzunluğu			
		CK	KS	OR	UZ
Eğitim büyüklüğü	DZ	CA	CA	CA	CA
	HF	AZ	AZ	OR	OR
	OR	OR	OR	YK	YK
	DK	OR	YK	YK	CY
	CD	YK	CY	CY	CY

Çizelge 4.35. Eğitim etkisi sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
CA	Çok az
AZ	Az
OR	Orta
YK	Yüksek
CY	Çok yüksek

2) Yağış etkisi

Aşındırıcı indisinin en önemli kriterleri yağıştır. Burada yağış yoğunluğundaki artışla birlikte aşındırıcı indisi dolayısıyla aşındırıcının gücü artmaktadır. Bir başka deyişle erozyon oluşma riski artmaktadır. Yağış yoğunluğu olarak yıllık ortalama yağışın yağışlı günlere bölümü kullanılmıştır. Yağış etkisinin ilişkilendirilmesi için belirlenen yağış değerleri çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Yağış indeksi sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
CA	1	Çok az
AZ	2	Az
OR	3	Orta
YK	4	Yüksek

Yağış etkisi ile eğim etkisinin birlikte değerlendirilmesi sonucu aşınabilirlik indisi bulunmuştur. Bu iki özelliğin karşılaştırıldığı derecelendirme tabloları çizelge 4.37'de verilmiştir. Çalışma alanı için aşındırıcı indisine göre 5 farklı sınıf oluşturulmuştur (Çizelge 4.38). Aşındırıcı indisi sınıfının çok yüksek olması toprakları aşındırmak için uygulanan gücün yüksek olmasıdır. Başka bir değişle potansiyel erozyon riski artmaktadır.

Çizelge 4.37. Yağış etkisi karşılaştırma tablosu

		Yağış			
		CA	AZ	OR	YK
Eğim etkisi	CA	CA	CA	CA	AZ
	AZ	AZ	AZ	AZ	OR
	OR	OR	OR	OR	FZ
	YK	FZ	FZ	FZ	CF
	CY	CF	CF	CF	CF

Çizelge 4.38. Aşındırıcı indisi sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
CA	Çok az
AZ	Az
OR	Orta
YK	Yüksek
CY	Çok yüksek

Alanın sahip olduğu toprak, topoğrafik ve yağış özellikleri kullanılarak elde edilen aşındırıcı ve aşınabilirlik indisleri tablolarda verilen derecelendirme metoduna göre ilişkilendirilerek potansiyel erozyon riski belirlenmiştir. Potansiyel erozyon riski bir alanda yer alan toprağın aşınabilme özelliğinin aşındırıcı etkisine gösterdiği duyarlılık olarak düşünülmüştür. Sonuçta oluşturulan potansiyel erozyon riski

sınıfları sayısal değer olarak bulunmuştur. Bu amaçla belirlenen karşılaştırma tablosu çizelge 4.39’da, belirlenen risk sınıfları çizelge 4.40’da verilmiştir.

Çalışma alanı için 7 farklı sınıf oluşturulmuştur. Bunlardan 0 (sıfır) sembolü ile gösterilen sınıf toprak tekstüründe ve toprak derinliğinde yer alan ve çıplak kayalık olarak tanımlanan alanları ifade etmektedir. Bu sınıfa giren alanlar toprakların tamamı aşındığı için potansiyel olarak erozyon riskine sahip değildir.

Potansiyel erozyon riski sembolü 6 ile gösterilen alanlar ise bir kontrol sınıfıdır. Bir poligonun veri tabanında toprak tekstürü ve toprak derinliği çıplak kaya olarak birleşmemişse potansiyel erozyon riski 6 olarak belirlenmektedir. Böylece bu sınıfa giren poligonlar ve veri tabanları kontrol edilmekte ve mantıksal bir hatanın yapılması engellenmektedir.

Çizelge 4.39. Potansiyel erozyon riski karşılaştırma tablosu

		Aşındırıcı				
		CA	AZ	OR	FZ	CF
Aşınabilirlik	YK	1	2	3	4	4
	AZ	1	2	3	4	5
	OR	2	2	3	4	5
	FZ	2	3	4	5	5
	CF	3	4	5	5	5
	CT	0	0	0	0	0
	HT	6	6	6	6	6

Çizelge 4.40. Potansiyel erozyon riski sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
0	Yok (Tamamen Aşınmış Alanlar)
1	Yok
2	Hafif
3	Orta
4	Şiddetli
5	Çok şiddetli
6	Hata

4.2.2. Şimdiki Erozyon Durumu

Şimdiki erozyon durumu, alanın yapısında var olan erozyona olan duyarlılığa karşı toprakların ne derecede korunduğunu ifade etmektedir. Bu amaçla şimdiki erozyon durumu, aşındırıcı indisi, aşınabilirlik indisi, ile mevcut arazi kullanımı, bitki yoğunluğu ve insanlardan kaynaklanan diğer etkilerin birlikte değerlendirilmesinden elde edilmiştir. Şimdiki erozyon durumu insanların toprakları yönetimi ve arazileri kullanımı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bir alan için insanların toprakları korumaya yönelik eğilimleri ve o alanda toprak yüzeyini kaplayan bitki yoğunluğu arttıkça alanın özelliklerine bağlı olarak şimdiki erozyon sınıfı azalmaktadır. Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde ilk olarak koruma düzeyleri indisi belirlenmiştir. Koruma düzeyleri ile aşınabilirlik indisi ile birlikte değerlendirilmiştir. Mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı ve koruma önlemleri birer derecelendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Ancak bu özellikler erozyon oluşumunda dolaylı etkisi olan özelliklerdir. Bu nedenle kullanılan bu özellikler derecelendirme tablolarında sınıf değerlerini çok fazla etkileyen faktör olarak değerlendirilmemiştir. Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde asıl belirleyici faktörün arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.1. Sosyal eğilim indisi

Sosyal eğilim indisinin belirlenmesinde üç özellikten yararlanılmıştır. Bunlar mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı ve koruma önlemleridir. Sosyal eğilim indisinin belirlenmesinde hayvancılık etkisi ara katmanı oluşturulmuştur. Hayvancılık etkisi meraların kullanımı ile bölgede yetiştirilen hayvan çeşidi ve sayısının bileşeni olan hayvancılık riskinin birleştirilmesi ile belirlenmiştir. Burada meraların, maki ve orman örtüsünün hayvan yetiştirme alışkanlığı karşısında nasıl etkilendiğini belirleme amacıyla hazırlanmıştır. Bu amaçla kullanılan mera kullanımına ait veri özellikleri çizelge 4.41'de hayvancılık riskine ait veri özellikleri çizelge 4.42'de ve belirlenen derecelendirme tabloları çizelge 4.43'de yer almaktadır.

Çizelge 4.41. Mera kullanımı sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
AG	1	Az yoğun
YG	2	Yoğun

Çizelge 4.42. Hayvancılık riski sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
YK	1	Az riskli
AZ	2	Orta riskli
OR	3	Riskli
FZ	4	Çok riskli

Çizelge 4.43. Hayvancılık etkisi karşılaştırma tablosu

		Hayvan Riski			
		FZ	OR	AZ	YK
Mera Kullanımı	AG	AR	OR	RL	CR
	YG	OR	RL	CR	CR

Çalışma alanı hayvancılık etkisi özelliğine göre 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflarda hayvan yetiştiriciliğinin erozyon oluşumunu artırıcı etkisi derecelendirilmiştir. Özellikle hayvan yetiştiriciliğinin maki ve orman örtüsü üzerine olan zararlı etkisi değerlendirilmiştir. Çizelge 4.44'de belirlenen sınıflar ve kullanılan semboller verilmiştir.

Çizelge 4.44. Hayvancılık etkisi sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
AR	Az Riskli
OR	Orta Riskli
RL	Riskli
CR	Fazla Riskli

Mera kullanımı ile hayvan yetiştirme alışkanlığının ilişkilendirilmesi ile özellikle maki ve orman örtüsüne sahip toprakların değerlendirilmesi yapılmıştır. Oluşturulan hayvancılık etkisi katmanı ile koruma önlemlerinin ilişkilendirilmesiyle

de tarım yapılan alanlar değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmada kullanılan koruma önlemlerine ait sınıflar ve veri kodları çizelge 4.45’de, bu amaçla belirlenen karşılaştırma tabloları çizelge 4.46’da verilmiştir.

Çizelge 4.45. Koruma önlemleri sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
YK	1	Yok
VR	2	Var

Çizelge 4.46. Sosyal eğilim riski karşılaştırma tablosu

		Hayvancılık Etkisi			
		CR	RL	OR	AR
Koruma önlemleri	YK	CY	YK	OR	ZF
	VR	YK	OR	ZF	CZ

Sosyal eğilimin belirlenmesinde hayvancılık etkisi insanların toprakları korumaya yönelik davranışlarını belirten koruma önlemleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla oluşturulan sosyal eğilim sınıfları çizelge 4.47’de yer almaktadır.

Çizelge 4.47. Sosyal eğilim indisi sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
CY	Çok yüksek
YK	Yüksek
OR	Orta
ZF	Zayıf
CZ	Çok zayıf

4.2.2.2. Bitki indisi

Bitki indisi şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde temel kriterdir. Bu indis arazi kullanımı ve bitki yoğunluğunun birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu yağışın çarpma etkisi, yüzeyde yağış sularının birikmesi, toprakların aşınması ve yüzey suları ile taşınmasında belirleyici temel faktörlerdir. Ayrıca arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu insanlar tarafından kontrol edilen özelliklerdir.

Toprakların erozyona karşı korunmasında en uygun arazi kullanım türü orman örtüsü olarak düşünülmüştür. Bunu makilikler, sulu tarım ve kuru tarım izlemektedir. Çıplak alanlar ise erozyon oluşumunda toprakları en az koruyan yada hiç korumayan arazi kullanım türü olarak kabul edilmiştir. Çizelge 4.48'de bitki indisini belirlemede kullanılan arazi kullanım sınıfları ve veri tabanında yer alan kodları yer almaktadır.

Bitki yoğunluğu erozyon oluşumunda etkili faktörlerden birisidir. Bitki yoğunluğundaki bir artış toprakların korunabilirliğini de artırmaktadır. Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde derecelendirme tabloları, her hangi bir alanda bulunan bitki yoğunluğunun artması erozyon oluşumunun azalmasına neden olacağı gerçeğine göre tasarlanmıştır. Çizelge 4.49'da bitki yoğunluğu sınıfları ve veri tabanı kodları verilmiştir. Arazi kullanımı ve bitki yoğunluğunun karşılaştırıldığı derecelendirme tabloları çizelge 4.50'de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Arazi kullanım türü sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
OO	1	Orman örtüsü
MC	2	Mera, maki
MB	3	Sulu tarım
KT	4	Kuru tarım

Çizelge 4.49. Bitki yoğunluğu sınıfları, veri tabanında girilen kodlar ve semboller

Sembol	Veri Tabanındaki Kod	Sınıf
CY	1	Çok yoğun
YG	2	Yoğun
OR	3	Orta yoğun
AY	4	Az yoğun

Çizelge 4.50. Bitki indisi karşılaştırma tablosu

		Arazi kullanımı			
		OO	MC	MB	KT
Bitki yoğunluğu	CY	CI	CI	IY	OR
	YG	CI	IY	OR	ZF
	OR	IY	OR	ZF	CZ
	AY	OR	OR	ZF	CZ

Bitki indisi yağmur damlalarının ve yüzey akışın toprakları parçalama etkisine, yüzey akışın taşıma etkisine karşı toprakların korunabilirliğini göstermiştir. Çalışma alanı bitki indisine göre 5 sınıfa ayrılmıştır. Bitki indisinin çok iyi (CI) olduğu alanlar parçalanma ve taşınmaya karşı çok iyi korunan arazileri ifade etmektedir. Bitki indisinin çok zayıf olduğu alanlar ise korunmanın hiç olmadığı arazilerden oluşmuştur (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.51. Bitki indisi sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
CI	Çok iyi
IY	İyi
OR	Orta
ZF	Zayıf
CZ	Çok zayıf

4.2.2.3. Koruma düzeyleri

Koruma düzeyleri sosyal eğilim indisi ile bitki indisinin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Koruma düzeyleri toprakların erozyona karşı korunabilirliğinin belirteci olarak düşünülmüştür. Koruma düzeyleri tablolarının hazırlanmasında bitki indisinden gelen dereceler baskın faktör olarak kullanılmıştır. Koruma düzeylerinin belirlenmesinde sosyal eğilim indisinden gelen ve toprakları erozyona karşı direncini en fazla azaltan iki sınıf bitki indisini etkilemiştir. Bu iki sınıf sosyal eğilimde toprakları korumaya yönelik olarak en düşük derecelere sahip zayıf (ZF) ve çok zayıf (CZ) sınıflarıdır. Koruma düzeylerini değerlendirmek üzere belirlenen derecelendirme tabloları çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Koruma düzeyleri karşılaştırma tablosu

		Bitki İndisi				
		CI	IY	OR	ZF	CZ
Sosyal eğilim	CY	CY	YK	OR	DS	CD
	YK	CY	YK	OR	DS	CD
	OR	CY	YK	OR	DS	CD
	ZF	YK	YK	OR	DS	CD
	CZ	YK	OR	DS	CD	CD

Koruma düzeyleri insan faktörünün değerlendirildiği aşama olmuştur. Beş farklı koruma düzeyi sınıfı oluşturulmuştur. Koruma düzeyi çok yüksek olan alanlar, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu özellikleri yönünden iyi, topraklarda korumalı tarımın yapıldığı ve maki ve orman örtüsünün hayvanlar tarafından tahrip edilmediği arazilere karşılık gelmiştir. Çizelge 4.53'de koruma düzeyleri sınıfları yer almaktadır.

Çizelge 4.53. Koruma düzeyleri sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
CY	Çok yüksek
YK	Yüksek
OR	Orta
DS	Düşük
CD	Çok düşük

Şimdiki erozyon durumu aşınabilirlik indisinin koruma düzeyleri ile birleştirilmesi sonucu belirlenen net aşınma faktörünün aşındırıcı indisi ile birleştirilmesinden elde edilmiştir. Eğer bir alan sahip olduğu toprak özellikleri nedeniyle erozyona uğrama eğilimi var ise yani aşındırıcı indisi yüksek ise ve insanlar burada bulunan toprakları doğasına uygun olmayan biçimde yönetiyorlarsa ayrıca yağışın aşındırıcı etkisine karşı bitki örtüsü ile korunma yoksa bu alanda erozyon oluşumu fazladır. Ayrıca bu alanlarda halen erozyon oluşumu devam etmektedir. Oluşan erozyonun şiddeti ise erozyon oluşumunda etkili olan faktörlerin şiddetine bağlıdır. Bu yaklaşımla net aşınma faktörü aşınabilirlik indisi ile koruma düzeyleri ilişkilendirilerek belirlenmiştir. Net aşınma faktörünü belirlemek üzere hazırlanan tablolar çizelge 4.54'de yer almaktadır. Net aşınma faktörüne göre 5 farklı sınıf oluşturulmuştur. Bu sınıflar toprakların şimdiki aşınma durumunun ifadesidir.

Çizelge 4.54. Net aşınma faktörü karşılaştırma tablosu

		Aşınabilirlik İndisi						
		CT	YK	AZ	OR	FZ	CF	HT
Koruma Düzeyleri	CY	CK	YK	OR	HF	HF	YK	HT
	YK	CK	YK	OR	OR	HF	HF	HT
	OR	CK	YK	OR	OR	OR	HF	HT
	DS	CK	YK	FZ	FZ	OR	OR	HT
	CD	CK	YK	CF	FZ	FZ	OR	HT

Net aşınma faktörü sınıfının büyük olması o alanda oluşan parçalanmanın fazla olmasını ifade etmektedir (Çizelge 4.55). Şimdiki erozyon durumu net aşınma faktörü ile aşındırıcı indisinin birleştirilmesinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.55. Net aşınma faktörü sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
HT	Hata
YK	Yok
HF	Hafif
OR	Orta
FZ	Fazla
CF	Çok fazla
CK	Tamamen aşınmış alanlar

Eğer bir alanda net olarak aşınabilen toprak miktarı fazla, topoğrafik ve iklim özelliklerinden dolayı aşındırıcı etkisi de yüksek ise o alanda gerçekleşen erozyon ve toprak kayıpları miktarı fazla olacaktır. Bu yaklaşıma göre hazırlanan karşılaştırma tablosu 4.56'da, karşılaştırma sonucu oluşturulan şimdiki erozyon durumu sınıfları çizelge 4.57'de verilmiştir.

Çizelge 4.56. Şimdiki erozyon durumu karşılaştırma tablosu

		Net Aşınma Oranı						
		HT	YK	HF	OR	FZ	CF	CK
Aşındırıcı İndisi	CA	0	1	1	2	2	3	6
	AZ	0	1	1	2	3	4	6
	OR	0	1	2	3	4	4	6
	YK	0	1	3	4	4	5	6
	CY	0	2	3	5	5	5	6

Çizelge 4.57. Şimdiki erozyon durumu sınıfları ve sembolleri

Sembol	Sınıf
0	Hata
1	Yok
2	Hafif
3	Orta
4	Fazla
5	Çok fazla
6	Tamamen aşınmış alanlar

Çalışma alanı için şimdiki erozyon durumuna göre 7 farklı sınıf oluşturulmuştur. Bunlardan 0 (sıfır) sembolü ile gösterilen sınıf toprak tekstüründe ve toprak derinliğinde yer alan ve çıplak kayalık olarak tanımlanan, potansiyel erozyon riski olmayan ve tamamen aşınmış alanlar olarak tanımlanan alanları ifade etmektedir.

Şimdiki erozyon durumu sembolü 6 ile gösterilen alanlar ise bir kontrol sınıfıdır. Bir poligonun veri tabanında toprak tekstürü ve toprak derinliği çıplak kaya olarak birleşmemişse şimdiki erozyon riski 6 olarak belirlenmektedir. Böylece bu sınıfa giren poligonlar ve veri tabanları kontrol edilmekte ve mantıksal bir hatanın yapılması engellenmektedir.

Çalışma alanı için şimdiki erozyon durumuna göre 1 olarak tanımlanan alanlar erozyonun oluşmadığı alanları göstermektedir. Hafif erozyon oluşan alanlar ise 2 sembolü ile belirtilmiştir. Şimdiki erozyon durumu orta, şiddetli ve çok şiddetli olarak belirlenen alanlar ise 3, 4 ve 5 sembolleri ile tanımlanmıştır.

4.3. Toprak Kayıpları Denklemi

Toprak kayıplarının belirlenmesinde mMMF modeli kullanılmıştır. Model için gerekli parametreler çalışma alanı için hazırlanan haritalar kullanılarak Morgan, 1984;1991;2001'e uygun olarak belirlenmiştir. Çalışmada mMMF modelinde bir parametre olarak kullanılmayan toprak derinliği, yüzey taşlılığı, ana materyal ve eğim uzunluğu özellikleri model için gerekli olan parametrelerin belirlenmesinde etkili birer faktör olarak kullanılmıştır. Toprak kayıplarını belirlemede yağış enerjisi, yağmur damlaları etkisi ile parçalanma, yüzey akışla parçalanma ve yağışın taşıma kapasitesi ara ürünleri belirlenmiştir.

4.3.1. Çalışma Alanı Yağış Enerjisi Değerleri

Çalışma alanı toplam yıllık yağış miktarına göre (R ;mm) 8 farklı alandan oluştuğu bulunmuştur. Havzada yıllık yağış miktarı 469-822 mm arasında değişmektedir. Yağış sonrası yüzeyde kalan kısım (A ;0-1 arasında katsayı) arazi kullanımı bağlı olarak belirlenmiştir. Farklı arazi kullanım türleri için belirlenen A

değerleri çizelge 4.58'da verilmiştir. Buna göre toprak kayıplarını belirlemek üzere kullanılan modelde çalışma alanı için *A* değerleri 0.10 ile 0.45 arasında bulunmuştur.

Leaf drenajının belirlenmesinde ise kullanılan bitki örtüsü (*CC*) değerleri NDVI metoduna göre uydu verilerinde yapılan sınıflama sonucu hesaplanan örtü faktörüyle elde edilmiştir.

Çizelge 4.58. Toprak kayıpları modeli *A*, *C* ve *PH* değerleri

Arazi Kullanım Türü	<i>A</i> (%)	<i>C</i>	<i>PH</i>
Orman örtüsü	0.35	0.002	10
Maki	0.40	0.050	3
Sulu tarım	0.20	0.010	5
Kuru tarım	0.45	0.100	1
Çıplak alanlar	0.10	0.500	0.1

Buna göre çalışma alanında yer alan ve yoğun bitki örtüsüne sahip alanlar için 0,90, orta yoğun bitki örtüsüne sahip alanlar için 0.70, zayıf ve çok zayıf bitki örtüsü yoğunluğuna sahip alanlar için ise 0.50 ve 0.25 olarak bulunmuştur. Çalışma alanı için belirlenen bitki örtüsü yoğunluğu değerleri çizelge 4.59'da verilmiştir.

Çizelge 4.59. Toprak kayıpları modeli *CC* değerleri

Bitki Yoğunluğu	NDVI	<i>CC</i>
Yoğun	0.17-0.27	0.90
Orta	0.10-0.17	0.70
Zayıf	0.07-0.10	0.50
Çok zayıf	0.07'den daha az	0.25

Doğrudan yüzeye ulaşan yağışın kinetik enerjisinin ($KE(DT); J/m^2$) belirlenmesinde 8 ölçüm istasyonu için ortalama yağış yoğunluğu ($I; mm/h$) değeri 15 olarak kabul edilmiştir. Leaf drenajının kinetik enerjisinin ($KE(LD); J/m^2$) belirlenmesinde ise bitki örtüsü yüksekliği ($PH; m$) çalışma alanında yer alan arazi kullanım türlerine göre çizelge 4.58'de yer aldığı şekliyle belirlenmiştir. Çalışma alanı için bu verilere göre hesaplanan ($KE(DT)$) değeri 558.7-17834 J/m^2 arasında bulunmuştur. Alan için belirlenen ($KE(LD)$) değeri ise en az 9.93 en fazla 44.09 J/m^2 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin toplanması ile elde edilen ($KE(LD)$) değeri 9.93-17834 J/m^2 arasında hesaplanmıştır.

4.3.2. Çalışma Alanı Yüzeysel Akış Değerleri

Çalışma alanında yıllık ortalama yağış 469-822 mm arasında değişmekte, yıllık yağışlı günler sayısı ise 69.1-93.1 arasında değişmektedir. *EHD* terimi yüzeysel akışın oluşumu sırasında toprağın suyu depolayabildiği etkili derinlik olarak düşünülmektedir. Bu derinlik mMMF modelinde arazi kullanım türüne bağlı değerlendirilmektedir. Çalışmada *EHD* değerlerinin belirlenmesinde arazi kullanım türü ve toprak derinliği birlikte kullanılmıştır (Çizelge 4.60). Toprak derinliğinin artması ile *EHD* için kullanılan değer artırılmıştır.

Çizelge 4.60. Toprak kayıpları modeli *EHD* değerleri

Arazi Kullanım Türü	Derinlik (cm)				
	0-10	10-20	20-50	50-90	90 +
Orman örtüsü	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21
Maki	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
Sulu tarım	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
Kuru tarım	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
Çıplak alanlar	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06

Çizelge 4.61. Toprak kayıpları modeli MS, BD ve COH değerleri

Toprak Tekstürü	MS	BD	COH
İnce	0.40	1.10	9
Orta	0.25	1.30	4
Kaba	0.10	1.50	2

Toprak nemi depolama kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan, toprak tekstürüne bağlı olarak belirlenen MS ve BD değerleri çizelge 4.61'de, arazi kullanımına bağlı olarak belirlenen Et/Eo değerleri çizelge 4.62'de verilmiştir.

Çizelge 4.62. Toprak kayıpları modeli Et/Ec ve GC değerleri

Arazi Kullanım Türü	Et/Eo	GC
Orman örtüsü	0.95	0.400
Maki	0.85	0.300
Sulu tarım	0.60	0.200
Kuru tarım	0.75	0.125
Çıplak alanlar	0.05	0.025

Bu verilere göre çalışma alanının toprak nem depolama kapasitesi (R_c) 0.00022 ile 90.06 mm arasında hesaplanmıştır. Bu iki değer model için belirlenen eşitliğe göre hesaplandığında çalışma alanında oluşan yüzey akış miktarı (Q) en az 0.00027 mm en fazla 822 mm olarak bulunmuştur.

4.3.3 Yağmur Damlası Etkisiyle Toprak Zerelerinin Parçalanabilirliği

Çalışma alanı toprakları aşınabilirlik katsayısı (K ; gr/J) toprak tekstürü, toprağın oluştuğu ana materyal ve yüzey taşlılığına bağlı olarak belirlenmiştir. Toprak tekstürü için Morgan, 1991'de verilen ortalama K değerleri ana materyalin aşınabilirliğine ve yüzey taşlılığına göre hesaplanmıştır. Bu iki özelliğe göre hesaplanan K değerleri çizelge 4.63.'da verilmiştir. Toprak derinliği ve ana materyale göre belirlenen K değerleri yüzeyin taşı ve kayalı olduğu koşullarda 0,05 birim azaltılarak kullanılmıştır. Çalışma alanı topraklarının K değerleri 0.25-1.20 arasında hesaplanmıştır. K değerleri ince bünyeli topraklar için 0.25-0.45, orta bünyeli topraklar için 0.60-0.80 ve kaba bünyeli topraklar için ise 1.00-1.20 arasında değişmektedir.

Belirlenen K değerlerine göre çalışma alanı topraklarının yağmur damlası etkisi ile parçalanabilirliği en az 0.000099 kg/m² en fazla 11.67 kg/m² olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.63. mMMF modeli K değerleri

Toprak Tekstürü	Ana materyal Grubu				
	1	2	3	4	5
İnce	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
Orta	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
Kaba	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20

4.3.4. Yüzey Akışla Toprak Zerelerinin Parçalanabilirliği

Yüzey akışla oluşan parçalanabilirlik yüzey akışla oluşan parçalanmanın (Q), eğim büyüklüğü (S), ve toprağın direncinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Burada GC yüzeyin örtülme oranı arazi kullanım türüne bağlı olarak 0.025-0.400

arasında belirlenmiştir. Eğim özelliği ise eğim büyüklüğünün eğim uzunluğu ile ilişkilendirilmesi sonucu belirlenmiştir. Çizelge 4.64’de çalışma alanı topraklarının eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğuna bağlı olarak belirlenen *S* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.64. mMMF modeli *S* değerleri

Eğim Büyüklüğü	Eğim uzunluğu (m)			
	0-250	250-500	500-750	750-1000
Düz-düze yakın (% 0-3)	1	2	3	3
Hafif (% 3-6)	3	4	5	6
Orta (% 6-9)	6	7	8	9
Dik (% 9-12)	9	10	11	12
Çok dik (% 12-15)	12	13	14	15
Sarp (% 15-90)	15	17	19	21

Kayıplar için kohezif olmayan topraklarda $Z=1$ olarak alınmış, kohezif topraklarda ise erozyona karşı direnç *COH* değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma alanı için belirlenen *COH* çizelge 4.57’de yer almaktadır. *COH* değerlerinin belirlenmesinde çalışma alanı arazi kullanım türü göz önüne alınmıştır. Bu verilere göre hesaplanan yüzey akışla parçalanabilirlik en az 0.0001 kg/m^2 en fazla 95.81 kg/m^2 arasında bulunmuştur.

4.3.5. Yüzey Akış Taşıma Kapasitesi Değerleri

Yüzey akışın taşıma kapasitesi, yüzey akışla oluşan parçalanma (*Q*), eğim büyüklüğü (*S*) ve bitki örtü faktörü (*C*) kullanılarak hesaplanmıştır. Bitki örtü faktörü (*C*) arazi kullanım türüne bağlı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı için bitki örtü faktörü (*C*) orman örtüsü için 0.002, maki için 0.050, sulu tarım için 0.010, kuru tarım için 0.100 ve çıplak alanlar için ise 0.050 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.60). Bu verilerle mMMF modeline göre çalışma alanı için belirlenen yüzey akışın taşıma kapasitesi en az 0.0001 kg/m^2 en fazla ise 4034.92 kg/m^2 olarak bulunmuştur. Bir başka ifadeyle çalışma alanında diğer erozyon faktörlerine bağlı olarak yılda 1 m^2 lik alandan 4034.92 kg toprak taşıyabilecek güçte yüzey akış oluşmaktadır.

4.3.6. Erozyon Oranları

Yağmur damlası etkisiyle ve yüzey akışla oluşan parçalanma miktarlarının toplamı toplam yıllık parçalanma oranını vermektedir. Bu değer yıllık taşıma kapasitesi ile karşılaştırılır. İki değerden küçük olanı yıllık toprak kaybı olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanı için hazırlanan her bir haritalama ünitesi için bu değerler karşılaştırılarak toprak kayıpları belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanı topraklarında oluşan yıllık toprak kaybı en az 0.0001 kg/m² en fazla 10.89 kg/m² olarak bulunmuştur.

4.4. Erozyon Haritaları

Çalışmanın bu bölümünde potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumunu belirlemek üzere tablolarla derecelendirme yöntemine göre hazırlanan haritalar yer almaktadır. Ayrıca bu haritaların veri tabanlarından hesaplanan alanlar verilmiştir.

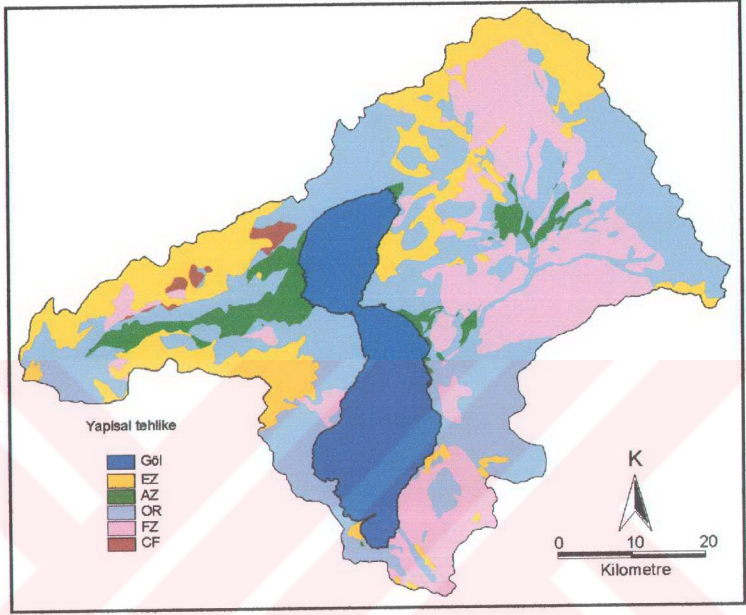
4.4.1. Potansiyel Erozyon Riski Haritası

Potansiyel erozyon riskinin belirlenmesinde 5 ara katman hazırlanmıştır. Bu ara katmanlar, yapısal tehlike, yüzey aşınabilirliği, aşınabilirlik indisi, eğim etkisi ve aşındırıcı indisi. Ara katmanlarda yer alan risk unsurlarının takibi ile erozyon riskinde baskın olan faktörlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

4.4.1.1. Yapısal tehlike haritası

Yapısal tehlike haritası çalışma alanında bulunan toprakların tekstürü ve bu toprakların oluştuğu ana materyali nedeniyle sahip olduğu yapısal tehlike sınıflarından oluşmaktadır. Bu sınıflara göre hazırlanan yapısal tehlike haritası şekil 4.28'de yer almaktadır.

Hazırlanan haritaya göre çalışma alanı topraklarının % 5.45'inde yapısal tehlike sınıfı az olarak bulunmuştur.



Şekil 4.28. Çalışma alanının yapısal tehlike haritası

Alanın % 45.29'unda ise orta derecede yapısal tehlikeye sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında yapısal tehlikesi fazla ve çok fazla olarak bulunan alanların oranı ise % 27.30 ve % 1.89 olarak bulunmuştur. Eğirdir gölü havzasının % 20.07'sinde ise toprak tekstürü ve ana materyal yönünden tehlike oluşturacak bir etkinin olmadığı belirlenmiştir. Etkisiz olarak sınıflandırılan alanlar tekstür haritasında çıplak kayalık olarak tanımlanan alanlara karşılık gelmektedir. Hazırlanan haritaya göre havza topraklarının yapısal tehlike sınıfları ve bu sınıfların kapladıkları alanlar çizelge 4.65'de verilmiştir.

Yapısal tehlike haritası toprak tekstürü ve ana materyal haritası ile karşılaştırıldığında, yapısal tehlikenin az olarak bulunduğu alanlar orta bünyeli aluviyallerden oluştuğu bulunmuştur. Çalışma alanında yapısal tehlikenin çok fazla olarak bulunduğu alanlar ise özellikle tuf ana materyali üzerinde oluşmuş kaba

bünyeli topraklardan oluşmaktadır. Orta ve fazla sınıfında yer alan topraklar ise tekstür yada ana materyal özelliklerinden bir tanesinin aşınabilme riskini içerdiği sınıflardan oluşmaktadır.

Çizelge 4.65. Yapısal tehlike sınıfları ve kapladığı alanlar

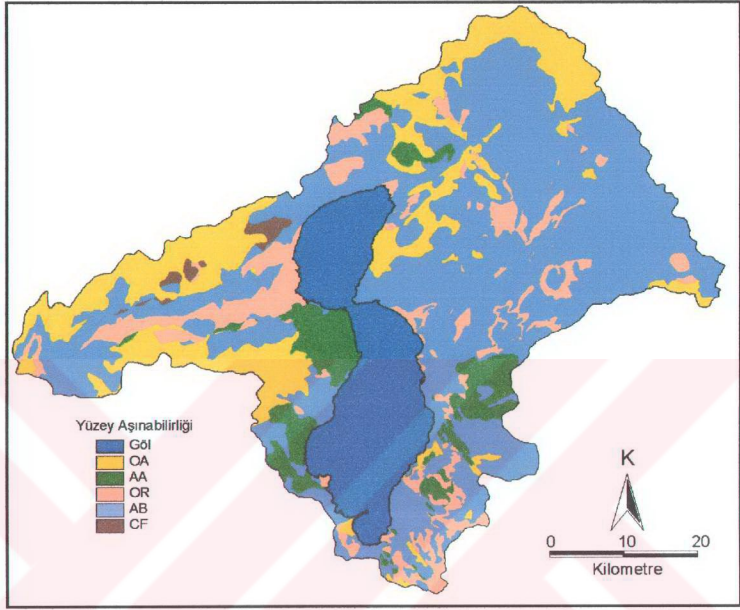
Yapısal Tehlike	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Etkisiz	EZ	56671.4	20.07
Az Etkili	AZ	15389.1	5.45
Orta Etkili	OR	127884.7	45.29
Fazla Etkili	FZ	77086.6	27.30
Çok Fazla Etkili	CF	5336.7	1.89
Toplam		282368.5	100.00

4.4.1.2. Yüzey aşınabilirliği haritası

Çalışma alanının yapısal tehlike sınıfları ve yüzey taşlılığına göre hazırlanan yüzey aşınabilirliği haritası şekil 4.29'da yer almaktadır. Çalışma alanı yüzey aşınabilirliği yönünden % 58.75'i aşınabilir özellikle bulunmuştur. Orta aşınabilir alanların oranı % 11.80, az aşınabilir alanların oranı % 7.50 ve çok fazla aşınabilir alanlar ise % 1.89'dır. Havza topraklarının % 20.07'si aşınamaz özelliktedir. Bu alanlar toprak tekstürü haritasında çıplak kayalık olarak tanımlanmış, ve yapısal tehlike sınıfı da etkisiz olarak belirlenmiş olan alanlardır. Çalışma alanında yüzey aşınabilirliği yönünden belirlenen alanlar çizelge 4.66'da verilmiştir.

Çizelge 4.66. Yüzey aşınabilirliği sınıfları ve kapladığı alanlar

Yüzey Aşınabilirliği	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Aşınamaz	OA	56671.4	20.07
Az Aşınabilir	AA	21177.6	7.50
Aşınabilir	AB	165863.3	58.74
Orta Aşınabilir	OR	33319.5	11.80
Fazla Aşınabilir	CF	5336.7	1.89
Toplam		282368.5	100.00

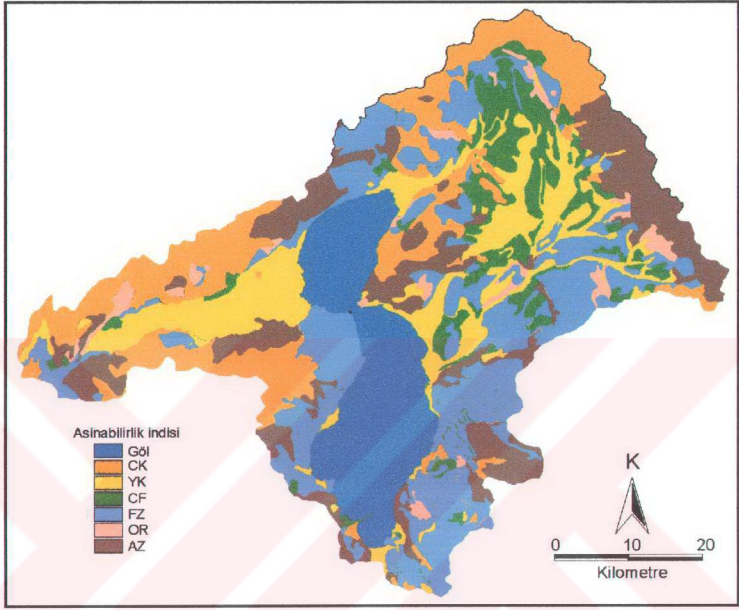


Şekil 4.29. Çalışma alanının yüzey aşınabilirliği haritası

4.4.1.3. Aşınabilirlik haritası

Yüzey aşınabilirliği ve toprak derinliğinin ilişkilendirilmesi ile belirlenen aşınabilirlik indisine göre hazırlanan aşınabilirlik haritası şekil 4.30'da yer almaktadır. Çalışma alanı topraklarının % 20.07'si aşınamaz sınıfında yer almaktadır. Bu sınıf çıplak kayalıklardan oluşan arazileri göstermektedir. Alanın % 35.16'ında orta derecede aşınabilirlik olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanının % 12'53'ü çok fazla aşınabilirlik tehlikesi altında bulunduğu belirlenmiştir. Aşınabilirlik sınıfının yok olarak tanımlandığı alanların oranı % 25.51, az olarak tanımlandığı alanların toplamı ise % 4.99 dur. Çalışma alanının % 1.74'ü fazla aşınabilir olarak bulunmuştur. Çizelge 4.67'de çalışma alanının aşınabilirlik özelliğine göre dağılımı yer almaktadır.



Şekil 4.30. Çalışma alanının aşınabilirlik haritası

Çizelge 4.67. Aşınabilirlik sınıfları ve kapladığı alanlar

Aşınabilirlik İndisi	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Çıplak Kayalık	CK	56671.4	20.07
Yok	YK	72032.2	25.51
Az	AZ	14090.2	4.99
Orta	OR	99280.8	35.16
Fazla	FZ	4913.2	1.74
Çok Fazla	CF	35380.7	12.53
Toplam		282368.5	100.00

Bu haritada belirtilen risk dereceleri bu haritada yer alan herhangi bir alanın toprak tekstürü, ana materyali, yüzey taşlılığı ve toprak derinliği özelliklerine göre erozyona karşı hassasiyeti olarak belirtilebilir.

Aşınabilirlik indisinin belirlenmesinde 1:100.000 ölçekli toprak haritası ve 1:500.000 ölçekli jeolojik haritada yer alan bilgiler temel materyal olarak kullanılmıştır. Bu nedenle oluşturulan aşınabilirlik indisi haritası temel materyal olarak kullanılan haritalarda yer aldığı gibi büyük haritalama ünitelerinden meydana gelmiştir. Başka bir deyişle aşınabilirlik indisi haritası en fazla 1:100.000 ölçekli harita detayına sahiptir.

4.4.1.4. Eğim etkisi haritası

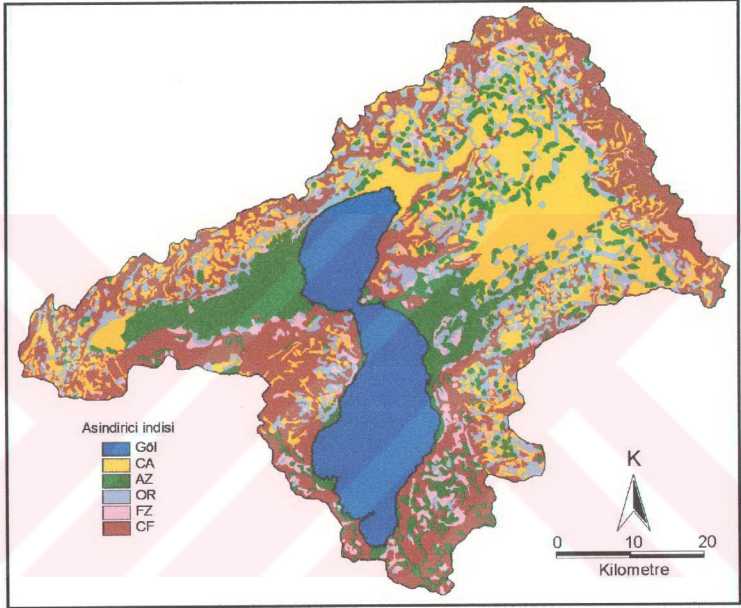
Eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu birlikte değerlendirilerek eğim etkisi belirlenmiştir. Çalışma alanı için hazırlanan eğim etkisi haritası şekil 4.31’de yer almaktadır. Eğim etkisine göre çalışma alanının % 39.28’inin çok az riske sahip olduğu bulunmuştur. Bu risk alanının % 6.12’sinde az, % 15.64’ünde orta, % 2.71’inde yüksek ve % 36.25’inde çok yüksektir. Çalışma alanının eğim etkisi dereceleri ve kapladıkları alanlar çizelge 4.68’de verilmiştir. Eğim etkisinin belirlenmesinde eğim büyüklüğü 6 sınıfa ayrılmıştır. Ancak eğim büyüklüğü sınıfları eşit aralıklı olarak dağıtılmamıştır.

Çizelge 4.68. Eğim etkisi sınıfları ve kapladığı alanlar

Eğim Etkisi	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Az	CA	110914.3	39.28
Az	AZ	17280.9	6.12
Orta	OR	44162.4	15.64
Yüksek	YK	7652.2	2.71
Çok Yüksek	CY	102358.7	36.25
Toplam		282368.5	100.00

Eğim etkisi haritasının hazırlanmasında, özellikle tarım arazilerinde yer alan erozyonun belirlenmesi amacıyla % 15’e kadar olan eğim 5 sınıfa ayrılmıştır. eğimi % 15’den fazla olan araziler tek grupta toplanmıştır. % 15’den fazla eğime sahip sarp arazilerin büyük kısmının çıplak kayalıklardan oluşması ve % 15’den az eğime sahip alanların 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmesi tarım alanları için detaylı erozyon bilgilerinin üretilmesine olanak sağlamıştır. Eğim uzunluğu en az 40 m en fazla 4445 m olarak bulunmuştur. Ayrıca eğim uzunluğu sınıfları 0-250, 250-750, 750-1500 ve 1500 m’den fazla olmak üzere 4 grupta değerlendirilmiştir.

etkisinin az ve orta olduğu alanlar ise % 17.17 ve % 13.91 olarak bulunmuştur. Aşındırıcı indisi fazla olan alanların toplamı ise % 5.04 olarak bulunmuştur. Çalışma alanının aşındırıcı özelliklerine göre dağılımı çizelge 4.69'da verilmiştir.



Şekil 4.32. Çalışma alanının aşındırıcı haritası

Aşındırıcı indisi eğim ve yağış özelliklerinin erozyon oluşumunda gösterdiği etkinin bileşeni olmuştur. Aşındırıcı indisi haritası toprak derinliği haritası ile karşılaştırıldığı zaman, aşındırıcı indisinin toprak derinliği fazla olan alanlarda çok az-az, çıplak kayalıkların oluşturduğu alanlarda çok fazla bulunması aşındırıcı etkisinin doğruluğunu desteklemektedir. Bu aşamada son olarak potansiyel erozyon riski haritası oluşturulmuştur. Potansiyel erozyon risk haritası, ana materyal, toprak tekstürü, yüzey taşlılığı, toprak derinliği, eğim büyüklüğü, eğim uzunluğu ve yağış yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.69. Aşındırıcı sınıfları ve kapladığı alanlar

Aşındırıcı İndisi	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Az	CA	76691.3	27.16
Az	AZ	48482.7	17.17
Orta	OR	39277.5	13.91
Fazla	FZ	14231.4	5.04
Çok Fazla	CF	103685.6	36.72
Toplam		282368.5	100.00

Bu çakıştırma sonucu toplam 43.072 farklı poligon oluşmuş ve çakıştırma ile birlikte her bir poligon için derecelendirme tablolarına göre sınıflar belirlenmiştir.

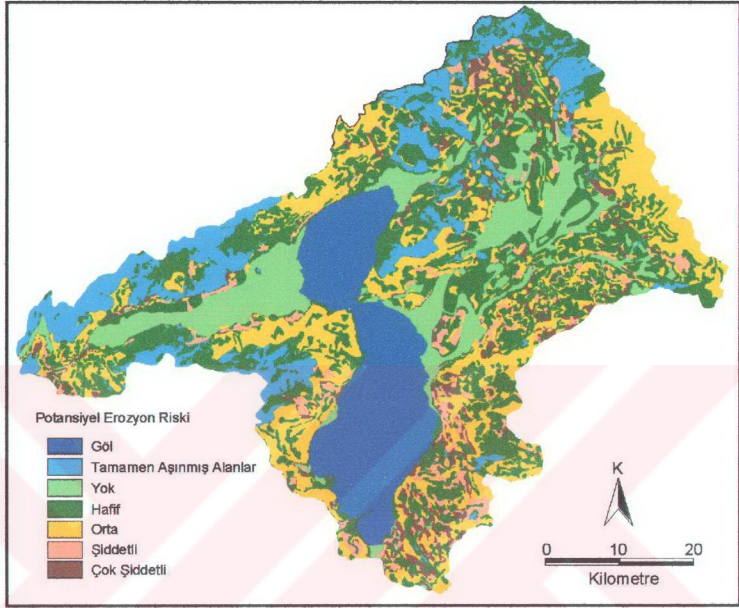
Çalışma alanı potansiyel erozyon riskine göre 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. Buna göre 1. sınıf alanlar risk taşımayan alanları göstermektedir. 2. sınıf alanlar az riskli, 3. sınıf alanlar orta riskli, 4. sınıf alanlar şiddetli ve 5. sınıf alanlar ise çok şiddetli erozyon riski gösteren alanlardır. Şekil 4.33'de Potansiyel erozyon risk haritası verilmiştir.

Potansiyel erozyon riski haritasına göre çalışma alanının % 19.93'ü 1.sınıf erozyon riski göstermeyen alanlardan oluşmaktadır. Çalışma alanında hafif riskli 2. sınıf alanların oranı % 23.19, orta riskli 3. sınıf alanların oranı % 24.55 ve şiddetli risk taşıyan 4. sınıf alanların oranı ise % 6.15 olarak bulunmuştur. Çalışma alanının % 6.11'i ise 5. dereceden risk taşıyan çok şiddetli erozyon riskine sahip alanlardan oluşmaktadır.

Çizelge 4.70. Potansiyel erozyon risk sınıfları ve kapladığı alanlar

Potansiyel Erozyon Riski	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Tamamen Aşınmış Alanlar	CK	56671.4	20.07
Yok	1	56276.0	19.93
Hafif	2	65481.3	23.19
Orta	3	69321.5	24.55
Şiddetli	4	17365.7	6.15
Çok Şiddetli	5	17252.6	6.11
Toplam		282368.5	100.00

Çalışma alanı topraklarının potansiyel erozyon riskleri ve kapladığı alanlar çizelge 4.70'de verilmiştir. Buna göre çalışma alanının % 12.26'sı şiddetli ve çok şiddetli erozyon riski taşıyan alanlardan oluşmaktadır.



Şekil 4.33. Çalışma alanının potansiyel erozyon riski haritası

Bu alanların tamamı dik, çok dik ve sarp eğimde derin ve orta derin topraklara sahiptir. Bu orana orta derecede risk gösteren orta derin veya sığ topraklara sahip alanlar da eklendiğinde çalışma alanında potansiyel olarak tehlikeli erozyon riskine sahip alanların oranı % 36.81 olarak bulunur. Potansiyel erozyon riski hafif olarak belirlenen alanların bir bölümü düz düze yakın arazilerde yer alan toprakları kapsamaktadır. Ancak diğer bölümü ise özellikle sarp, dik ve çok dik eğimli arazilerde bulunan ve şimdiki erozyon durumu şiddetli yada çok şiddetli olarak tanımlanan alanlardan oluşmaktadır.

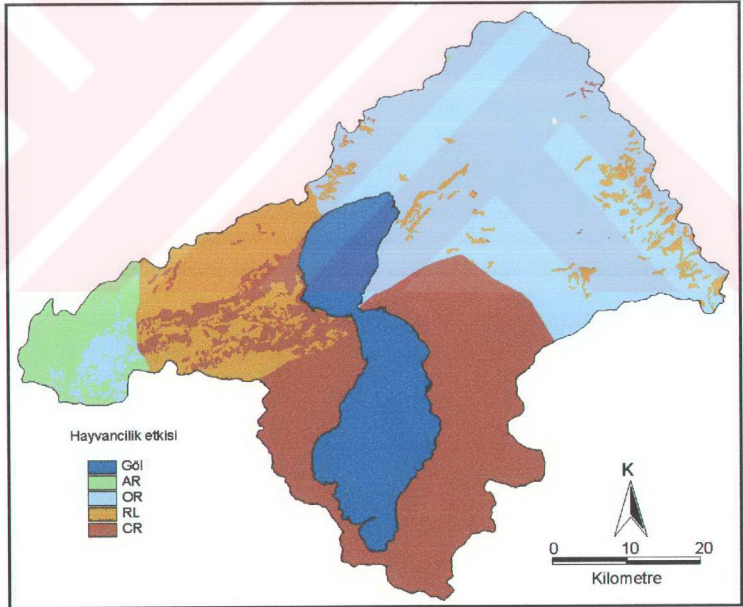
4.4.2. Şimdiki Erozyon Durumu Haritası

Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde 4 ara katman hazırlanmıştır. Bu katmanlar hayvancılık etkisi, sosyal eğilim, bitki indisi ve koruma düzeyleridir.

Oluşturulan bu haritalarda yer alan özelliklerin takibi ile erozyon riskine sahip alanlarda bitki örtüsü, arazi kullanımı, koruma önlemleri ve diğer sosyal etkenlerin izlenmesi mümkün olmuştur. Bu özelliklerin insanların etkisiyle değiştirilebilir olması erozyonla mücadelede önem taşımaktadır. Ara katmanlar sonuç haritaları ile karşılaştırılarak erozyonla mücadelede önceliklerin belirlenmesi ve gerekli önerilerin yapılmasında temel kaynak olmaktadır. Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde ilk olarak hayvancılık etkisi belirlenmiştir.

4.4.2.1. Hayvancılık etkisi haritası

Mera kullanımı ve hayvancılık alışkanlığının birlikte değerlendirilmesi ile oluşturulan hayvancılık etkisi haritası şekil 4.34'de yer almaktadır.



Şekil 4.34. Çalışma alanının hayvancılık etkisi haritası

Bu harita çalışma alanı sınırları içerisinde yaşayan insanların hayvancılık alışkanlığının orman ve maki örtüsü üzerine olan olumsuz etkisini belirtmektedir. Buna göre çalışma alanının % 47.53'ünün orta riskli sınıfında yer aldığı bulunmuştur. Alanın % 32.61'i çok riskli sınıfında yer almıştır. Hayvancılık etkisine göre riskli sınıfında yer alan alanların oranı % 14.17, az riskli alanların oranı % 5.69 olarak bulunmuştur. Eğirdir gölü havzasının hayvancılık etkisine göre belirlenen risk sınıfları ve kapladıkları alanlar çizelge 4.71'de verilmiştir.

Çizelge 4.71. Hayvancılık etkisi sınıfları ve kapladığı alanlar

Hayvancılık Etkisi	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Az Riskli	AR	16066.8	5.69
Orta Riskli	OR	134209.7	47.53
Riskli	RL	40011.6	14.17
Çok Riskli	CR	92080.1	32.61
Toplam		282368.5	100.00

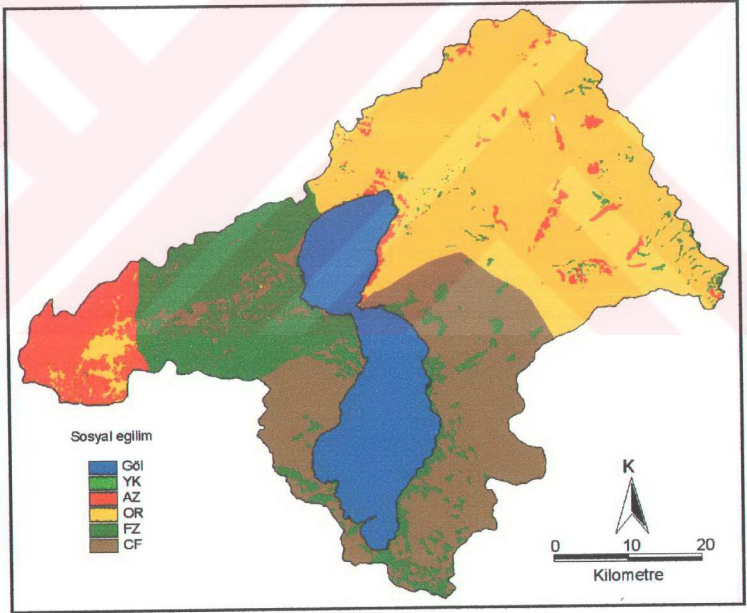
Hayvancılık etkisi erozyonun belirlenmesinde baskın bir faktör olarak değerlendirilmemiştir. Ayrıca hayvan yetiştiriciliği durumunun belirlenmesinde çalışma alanı içerisine giren ilçe sınırları ve ilçede yetiştirilen hayvan çeşidi ve sayısının kullanıldığı göz önüne alınırsa böyle bir bilginin sonuçları doğrudan etkilemesi çalışmanın doğruluğunu azaltacaktır. Ancak erozyon olayının insanların toprak ve bitki üzerine olan etkisine bağlı olarak yönlenebilir ve daha önceden yapılan modelleme çalışmalarında sosyal etkenlerin kullanımının gerekliliğinin belirtilmesi bu çalışmada sosyal etkenlerin kullanımının denenmesine neden olmuştur.

4.4.2.2. Sosyal eğilim haritası

Çalışma alanı sosyal eğilim haritasının hazırlanmasında hayvancılık etkisi ve koruma önlemleri ilişkilendirilmiştir. Hayvancılık etkisini oluşturan mera kullanımı, hayvancılık alışkanlığı ile koruma önlemleri istatistik bilgilerinden çıkarılan genelleştirilmiş verilerdir. Bu veriler göre çalışma alanını için hazırlanan sosyal eğilim haritası şekil 4.35'de yer almaktadır. Çalışma alanının yalnızca % 0.01'inde

sosyal eğilimin olumsuz bir etkisi olmadığı bulunmuştur. Alanın % 7.32'sinde bu etki az olarak belirlenmiştir. Ancak çalışma alanının % 92.67'sinde erozyon oluşumunu engelleyici bir yönetim yapılmadığı bulunmuştur. Çizelge 4.72'de sosyal eğilim sınıfları ve kapladığı alanlar yer almaktadır.

Sosyal eğilim haritasının hazırlanmasında kullanılan koruma önlemleri, mera kullanımı ve hayvancılık alışkanlığına ait verilerin istatistik bilgilerin yorumuyla oluşturulması sosyal eğilim haritasının erozyon haritalarına olan etkisinin bir düzeltme faktörü niteliğinde kullanılmasını gerektirmiştir. Ancak üretilen bu haritalar koruma çalışma alanına ait koruma önlemlerinin geliştirilmesinde yön verecek unsurlar olmaktadır.



Şekil 4.35. Çalışma alanının sosyal eğilim haritası

Çizelge 4.72. Sosyal eğilim sınıfları ve kapladığı alanlar

Sosyal Eğilim	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Yok	YK	28.2	0.01
Az	AZ	20669.4	7.32
Orta	OR	131724.9	46.65
Fazla	FZ	50769.9	17.98
Çok Fazla	CF	79176.1	28.04
Toplam		282368.5	100.00

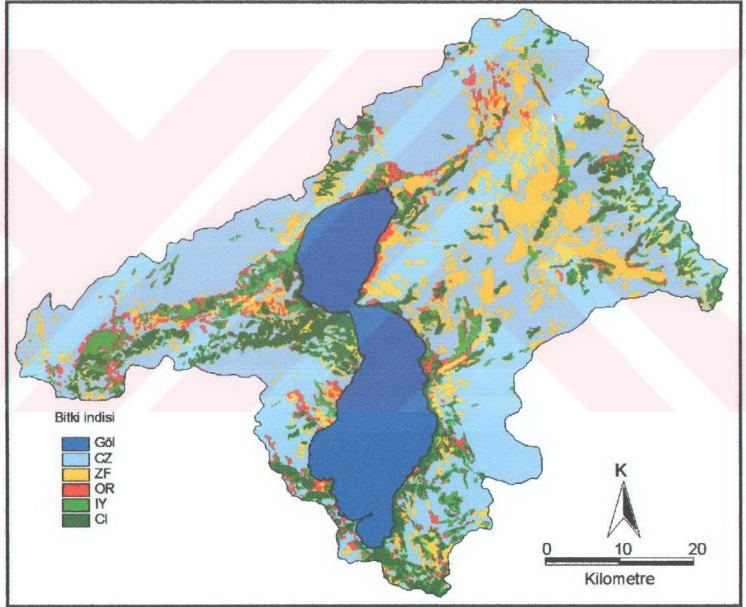
4.4.2.3. Bitki indisi haritası

Bitki indisi arazi kullanımı ve bitki yoğunluğunun birlikte değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Eğirdir gölü havzası için oluşturulan bitki indisi haritası şekil 4.36'da yer almaktadır. Çalışma alanının % 61.10'inde bitki indisi çok zayıf olarak belirlenmiştir. Bitki indisi çalışma alanının % 17.11'inde zayıf, % 5.01'inde ise orta olarak bulunmuştur. Çalışma alanının bitki indisi sınıflarına göre iyi ve çok iyi olduğu alanların toplamı ise % 7.44 ve 9.34 olarak bulunmuştur. Çalışma alanı için belirlenen bitki indisi sınıfları ve kapladığı alanlar çizelge 4.73'de yer almaktadır.

Çalışma alanında bitki indisi arazi kullanımı, bitki yoğunluğu dışında yalnızca yükseklikle ilişkili görünmektedir. Yüksekliği 1950 m'den fazla olan alanların tamamında bitki indisi çok zayıf bulunmuştur. Ancak geneli çıplak kayalık olarak nitelendirilen sarp alanlarda dahi bitki indisinin çok iyi olduğu topraklar yer almakta, bunun tersi olarak derin toprakların bulunduğu düz eğimlerde bitki indisi sınıfı çok zayıf olan topraklar bulunmaktadır. Bu saptamayla bitki indisi tamamen insanların kontrolü altında olan bir özellik olması nedeniyle erozyonla mücadelede en önemli faktör olarak düşünülmelidir. Bitki indisi, arazi kullanım türü ve toprak derinliği haritaları birlikte değerlendirilerek erozyonla mücadelede öncelikli alanların belirlenmesi mümkündür. Çalışma alanı için hazırlanan erozyon haritaları toprak derinliği, eğim ve bitki indisi özellikleriyle birlikte değerlendirilerek koruma önlemlerinin seçilmesinde temel harita olarak kullanılabilir. Ayrıca bitki indisi üzerine kurulacak olan senaryolarla şimdiki erozyon durumu ve toprak kayıplarındaki değişme modellenebilir.

Çizelge 4.73. Bitki indisi sınıfları ve kapladığı alanlar

Bitki İndisi	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Zayıf	CZ	172527.2	61.10
Zayıf	ZF	48313.3	17.11
Orta	OR	14146.6	5.01
İyi	IY	21008.2	7.44
Çok İyi	CI	26373.2	9.34
Toplam		282368.5	100.00



Şekil 4.36. Çalışma alanının bitki indisi haritası

Bitki indisinin çok zayıf ve zayıf bulunduğu alanlar yağmur damlasının çarpma etkisine karşı korunmasız alanlardır. Bu alanlarda eğim özelliğinden

kaynaklanan bir risk var ise yüzey akışla oluşan parçalanma ve taşınma etkisi ile erozyon oluşumu fazla olacaktır.

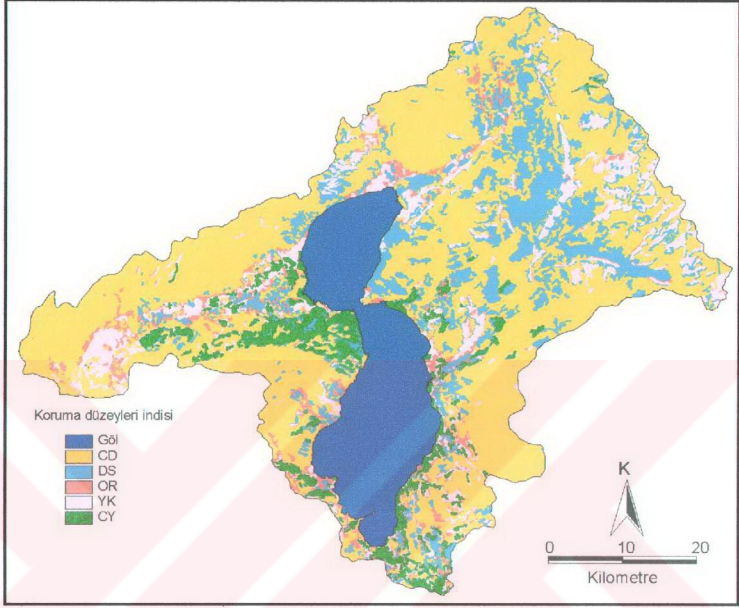
Bitki indisi şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde en etkili faktör olmuştur. Bitki indisi haritası potansiyel erozyon riski, toprak derinliği ve eğim haritaları ile birlikte değerlendirilerek erozyonla mücadelede uygulanabilecek arazi kullanım türünün belirlenmesinde kullanılabilir. Bitki indisi haritası arazi kullanım türü haritası ile birlikte yorumlanarak bitki gelişiminin artırılacağı alanların belirlenmesi mümkün olacaktır.

4.4.2.4. Koruma düzeyleri haritası

Koruma düzeyleri bitki indisi haritası ile sosyal eğilim haritasının birlikte kullanımıyla oluşturulmuştur. Alan için oluşturulan koruma düzeyleri haritası şekil 4.37'de yer almaktadır. Çalışma alanının % 61.62'sinde koruma düzeyleri çok düşük olarak belirlenmiştir. Alanın % 16.96'sında koruma düzeyleri sınıfı düşük, % 4.64'ünde ise orta olarak bulunmuştur. Çalışma alanının koruma düzeyleri yüksek ve çok yüksek olarak belirlenen alanların toplamı ise % 7.44 ve 9.34 olarak belirlenmiştir. Bu iki sınıfın toplamı havzanın % 16.78'ini oluşturmaktadır. Başka bir deyişle havzanın yalnızca 1/6'sı erozyona karşı korunabilmektedir. Çalışma alanı için belirlenen koruma düzeyleri sınıfı ve kapladıkları alanlar çizelge 4.74'de yer almaktadır.

Çizelge 4.74. Koruma düzeyleri sınıfları ve kapladığı alanlar

Koruma Düzeyleri	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Düşük	CD	173995.5	61.62
Düşük	DS	47889.7	16.96
Orta	OR	13101.9	4.64
Yüksek	YK	30608.7	10.84
Çok Yüksek	CY	16772.7	5.94
Toplam		282368.5	100.00



Şekil 4.37. Çalışma alanı koruma düzeyleri haritası

Koruma düzeyleri, bitki indisi haritasının çok küçük oranda değişmiş biçimi olmuştur. Eğer orman ve maki örtüsüne sahip bir alanda hayvancılık etkisi ve mera kullanımının en kötü derecede belirlenmiş ise koruma düzeyi düşürülmüş, arazi kullanım türü kuru ve sulu tarım olan alanlarda toprakları işleyen insanların konturlama, sekileme veya eş yükselti eğrilerine paralel sürüm gibi alışkanlıkları var ise bu alanlarda koruma düzeyleri yükseltilmiştir.

Koruma önlemleri haritası ile bitki indisi haritası ve bu iki haritada belirlenen alanlar karşılaştırıldığı zaman bitki indisi sınıfı yüksek ve çok yüksek olan alanlarda sosyal eğilimden kaynaklanan olumsuz etkilerin yansıması koruma düzeylerinde yer almıştır.

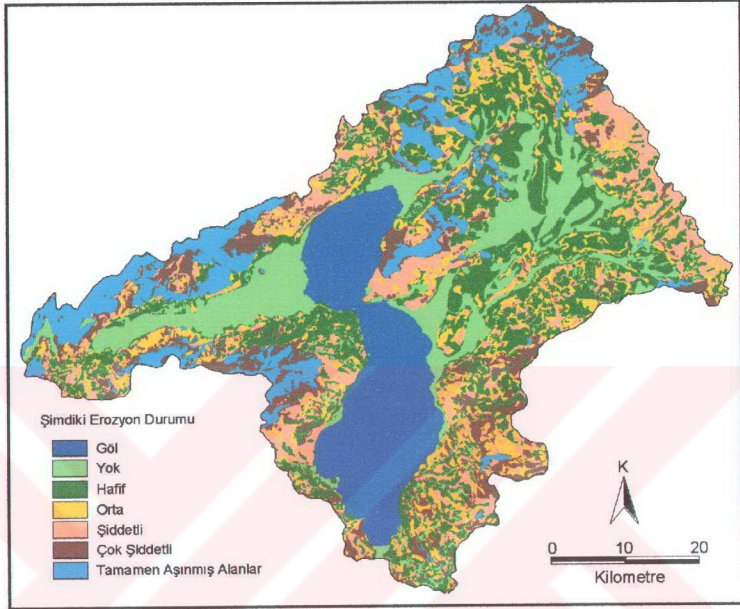
Derecelendirme ile erozyon haritalarının oluşturulmasında son olarak şimdiki erozyon durum haritası hazırlanmıştır. Şimdiki erozyon durum haritası buraya kadar verilen bilgilerin bir biriyle ilişkilendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Şimdiki erozyon durum haritası ve bu haritanın oluşturulmasında kullanılan katmanların birlikte yorumlanması koruma önlemleri hakkında bilgiler sağlamaktadır. Bu harita su erozyonu ile oluşan toprak kayıplarını niteleyen sınıflardan oluşmuştur.

Şimdiki erozyon durum haritası, net aşınma faktörünün mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı, koruma önlemleri, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu haritası ile birlikte değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. Bu harita ile her bir poligon için derecelendirme tablolarına uygun olarak veri tabanları hazırlanan haritalar karşılaştırılarak elde edilmiştir. Karşılaştırma sonucu toplam 87.496 farklı poligon oluşmuş ve karşılaştırma ile birlikte her bir poligon için derecelendirme tablolarına göre sınıflar belirlenmiştir.

Çalışma alanı şimdiki erozyon durumuna göre 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. Buna göre 1. sınıf alanlar erozyon oluşmayan alanları göstermektedir. Erozyon oluşumu az olan alanlar 2. sınıf olarak tanımlanmıştır. 3. sınıf alanlar orta derecede, 4 sınıf alanlar şiddetli ve 5 sınıf alanlar ise çok şiddetli erozyon oluşan alanları göstermektedir. Şekil 4.38'de şimdiki erozyon durum haritası yer almaktadır.

Şimdiki erozyon durumuna göre çalışma alanının % 21.93'ü 1.sınıf erozyon riski olmayan alanlardan oluşmaktadır. Bu alanlar potansiyel erozyon riski göstermeyen alanlar ve potansiyel erozyon riski hafif yada orta olmakla birlikte bitkilerce iyi korunan ve erozyon oluşmayan alanlardan oluşmaktadır. Buna göre eğer bir alanda erozyon oluşum faktörleri erozyon oluşturacak kadar şiddetli değil ise gerçekte de o alanda toprak kayıpları oluşmamakta ayrıca toprak yüzeyi korunduğu sürece potansiyel erozyon riski yüksek olsa bile erozyon oluşumu engellenebilmektedir.

Çalışma alanında hafif riskli 2. sınıf alanların oranı % 20.62 olarak bulunmuştur. Bu alanların büyük çoğunluğu tarım yapılan ve hafif eğimde yer alan topraklardan oluşmaktadır. Ancak dik ve sarp eğimde yer alan orman örtüsüne sahip ve bitki yoğunluğu yüksek olarak belirlenen araziler de hafif erozyon sınıfında belirlenmiştir.



Şekil 4.38. Çalışma alanının şimdiki erozyon durum haritası

Ayrıca bu alanların potansiyel olarak da çok şiddetli risk altında yer aldığı belirlenmiştir. Bu alanların bitki örtüsüyle korunduğu ve erozyonla toprak kayıplarının az olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında şimdiki erozyon durumuna göre 3. sınıf alanların oranı % 12.75 olarak bulunmuştur. Şiddetli erozyona sahip 4. sınıf alanlar ve çok şiddetli erozyon oluşan 5. derece alanların oranı ise % 14.25 ve % 10.38 olarak bulunmuştur. Şiddetli ve çok şiddetli erozyon riskine sahip alanların tamamı çıplak kayalıklar ile komşu olan topraklardır. Yani bu alanlar gerekli önlemlerin alınmaması durumunda yakın gelecekte aşınacak ve çıplak kayalık haline dönüşecek alanlardır. Çalışma alanında erozyon oluşmayan diğer bir sınıf ise alanın % 20.07'sini oluşturan tamamen aşınmış alanlardır. Bu alanların jeolojik ve topoğrafik özellikleri kendisine komşu alanların gelecekteki erozyon durumları

hakkında bilgi vermektedir. Çizelge 4.75’de şimdiki erozyon durumu sınıfları ve kapladıkları alanlar verilmiştir.

Çizelge 4.75. Şimdiki erozyon durum sınıfları ve kapladığı alanlar

Şimdiki Erozyon Riski	Sembol	Alan (ha)	Alan (%)
Tamamen Aşınmış Alanlar	CK	56671.4	20.07
Yok	1	61923.3	21.93
Hafif	2	58224.3	20.62
Orta	3	36002.0	12.75
Şiddetli	4	40237.5	14.25
Çok şiddetli	5	29310.0	10.38
Toplam		282368.5	100.00

4.4.3. Toprak Kayıpları Haritaları

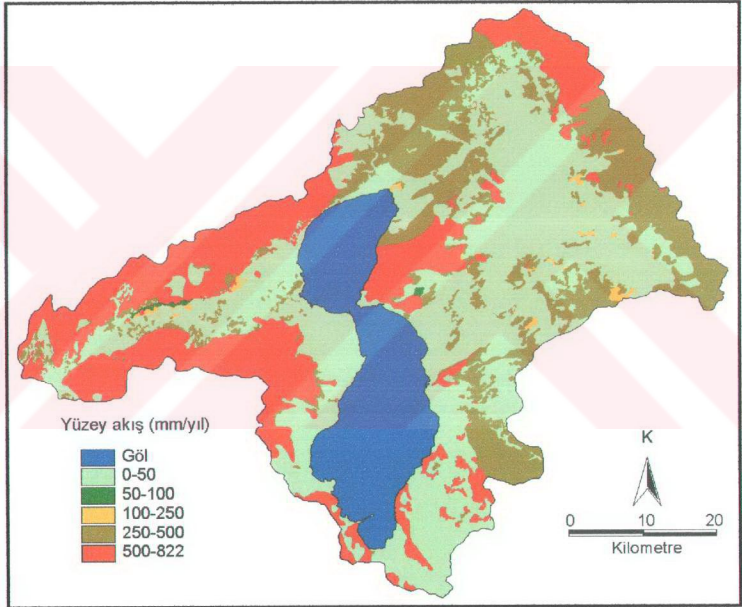
mMMF modelinde toprak kayıplarının tahmin edilmesinde 5 temel denklem kullanılmakta ve sonuç verileri bu denklemlere göre belirlenmektedir. Bu denklemler ile yüzey akış, yağmur etkisi ile toprakların parçalanabilirliği, yüzey akışla toprakların parçalanabilirliği, yüzey akışın taşıma kapasitesi ve toprak kayıpları elde edilmektedir. Çalışmanın bu aşamasında bu 5 denklem ile belirlenen değerler için haritalar hazırlanmıştır.

4.4.3.1. Yüzey akış haritası

Yüzey akış haritası arazi yüzeyine gelen yağışlardan depolanmayarak akışa geçen miktarlara göre belirlenmiştir. Çalışma alanı için hazırlanan 5 sınıflık yüzey akış haritası şekil 4.39’da yer almaktadır.

Haritaya göre çalışma alanı için belirlenen yüzey akış miktarı temelde üç sınıfa ayrılmıştır. Bunlar 0-250 mm, 250-500 mm ve 500-822 mm’dir. Çalışma alanının % 49.8’inde yüzey akış miktarı 0-250 mm arasında yer almaktadır. Bu miktar alan için yağışın erozyon oluşturma gücünün zayıf olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının % 23.0’ında yüzey akış miktarı yıllık 250-500 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu miktarda yağış diğer erozyon etkenlerine bağlı olarak erozyon oluşturma gücüne sahiptir. Çalışma alanının % 27.2’sinde ise yüzey akış miktarı 500-822 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanına düşen yıllık yağış miktarı en

fazla 822 mm'dir. Buna göre 500 mm'den daha fazla yüzey akışın olduğu alanlarda yağışın çok azının infiltrasyona uğradığı ve büyük kısmının yada tamamının yüzey akışa geçtiği belirlenmiştir. Yüzey akışın 500 mm'den fazla olan bu alanların büyük bir kısmı tamamen aşınmış alanlar olarak tanımlanmıştır. Bu bilgiler alanlarda yağışın depolanmasını sağlayacak toprağın bulunmaması nedeniyle yüzeye düşen yağışın tamamı yüzey akışa geçtiğini göstermektedir. Çalışma alanı için hesaplanan yüzey akış değerleri ve kapladıkları alanlar çizelge 4.76'da verilmiştir.



Şekil 4.39. Çalışma alanının yüzey akış haritası

Yüzey akışın yüksek bulunduğu alanlarda toprak zerrelere parçalanma miktarları fazla ve topoğrafik özelliklerinde bu toprakların taşınabilirliğini artırıcı etkisi var ise toprak kaybı yüksek olacaktır.

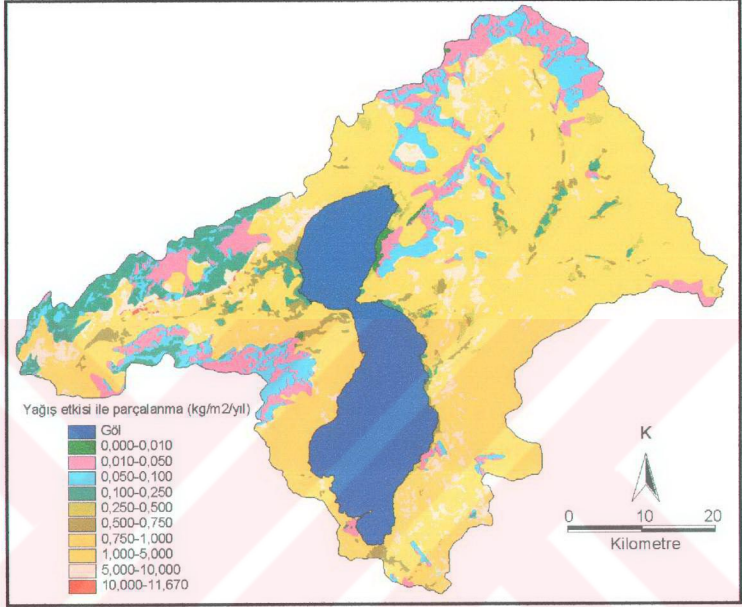
Çizelge 4.76. Yüzev akış sınıfları ve kapladığı alanlar

Yüzev Akış (mm/yıl)	Alan (ha)	Alan (%)
0-50	138925.3	49.2
50-100	282.4	0.1
100-250	1411.8	0.5
250-500	64944.8	23.0
500-822	76804.2	27.2
Toplam	282368.5	100.00

4.4.3.2. Yağış etkisiyle toprak zerrelerrinin parçalanabilirlik haritası

Çalışma alanı yağmur damllarının çarpma etkisi ile toprakların parçalanabilirliğine göre 10 sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanı için hazırlanan yağmur damlası etkisi ile toprakların parçalanabilirliği haritası şekil 4.40'da yer almaktadır. Çalışma alanının % 65.46'sında yağmur damllarının parçalama etkisi yüksek bulunmuştur. Bu alanlarda yıllık parçalananan toprak miktarı 1-5 kg/m² arasında değişmektedir. Bu alanlar bitki örtüsü yoğunluğunun zayıf olduğu arazilerden oluşmaktadır. Yağmur damlası etkisine karşı tam olarak korunan alanlar çalışma alanının % 0.25'ini oluşturmaktadır. Bu alanların doğal orman örtüsünden oluştuğu belirlenmiştir. Çalışma alanı için belirlenen yağmur damlası etkisi ile parçalanabilirlik çizelge 4.77'de verilmiştir.

Yağmur damlası etkisiyle parçalanabilirliği 0.100-0.250 kg/m² arasında bulunan alanların büyük bir kısmı bitki örtüsünce yoksundur. Özellikle yüksek eğimli ve sarp arazilerde parçalanma düşük olarak bulunmuştur. Ancak bu değerlerin düşük bulunması toprakların korunabilirliğinden kaynaklanmamaktadır. Buradaki asıl neden bu alanların aşınmış yüzeylerden oluşmasıdır. Yani, burada yağmur damlasının topraklar üzerine etkisi değil yüzeye çıkmış ana kaya üzerine etkisi söz konusudur. Bitki örtüsü ile korunan ve yağış etkisi ile parçalanabilirliği düşük olan alanlar havzanın ortasında yer alan, düz eğimlerdeki bitki indisi sınıfı yüksek olarak belirlenen topraklardır. Yağış etkisi ile parçalanabilirliği 10.0 kg/m² 'den fazla olarak belirlenen alanlar sarp arazilerin eteklerinde yer alan tuf ana materyalinden oluşmuş kaba bünyeli ve sığ toprakları göstermektedir. Bu alanlar çok kısa sürede aşınacak olan toprakları içermektedir.



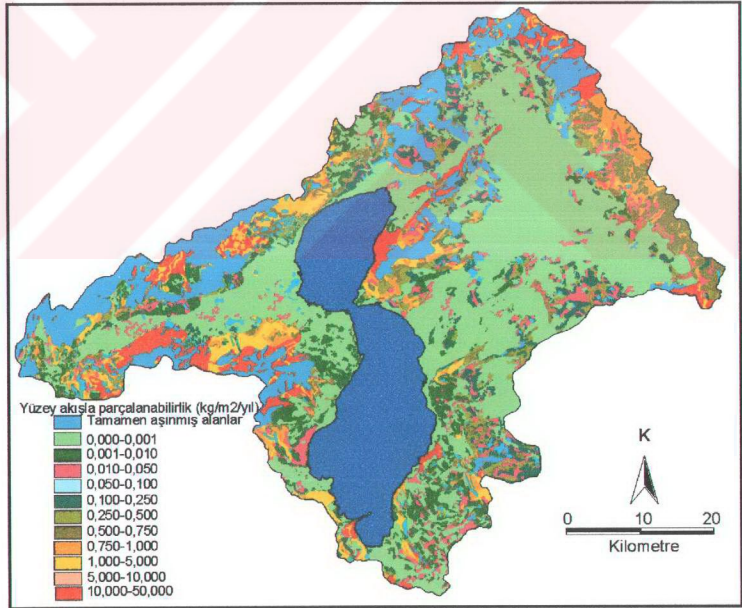
Şekil 4.40. Çalışma alanının yağmur damlası etkisi ile parçalanabilirlik haritası

Çizelge 4.77. Yağış etkisi ile parçalanma sınıfları ve kapladığı alanlar

Parçalanma Etkisi (kg/m ² /yıl)	Parçalanma Etkisi (ton/hektar/yıl)	Alan (ha)	Alan (%)
0.000-0.010	0.00-0.10	705.9	0.25
0.010-0.050	0.10-0.50	26119.1	9.25
0.050-0.100	0.50-1.00	21347.1	7.56
0.100-0.250	1.00-2.50	15022.0	5.32
0.250-0.500	2.50-5.00	3247.2	1.15
0.500-0.750	5.00-7.50	7539.2	2.67
0.750-1.000	7.50-10.0	3896.7	1.38
1.000-5.000	10.0-50.0	184697.2	65.41
5.000-10.00	50.0-100	19652.8	6.96
10.00-11.67	100.0-116.7	141.3	0.05
Toplam		282368.5	100.00

4.4.3.3. Yüzeş akışla toprak zerrelereşin parçalanabilirlik haritası

Çalışma alanı yüzeş akışla parçalanabilirliğine göre 10 sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanı için hazırlanan yüzeş akışla toprakların parçalanabilirliği haritası şekil 4.41'de yer almaktadır. Çalışma alanının % 37.1'inde yüzeş akışla parçalama etkisi çok düşük bulunmuştur. Bu alanlarda yıllık parçalanmış toprak miktarı 0-0.001 kg/m² arasındadır (Çizelge 4.78). Bu alanlar düz eğimlerde yer alan, derin topraklara sahip olan ve arazi kullanım türü kuru-sulu tarım olan alanlardır. Ayrıca bu alanlarda yüzeş akış miktarları da düşük bulunmuştur. Ancak bu alanlarda yağmur damlası etkisi ile parçalanabilirlik yüksektir. Bu alanlar havzanın ortasında yer almakta, dik yamaçlardan gelen dere yataklarının göle ulaşmadan eğimlerinin azaldığı boşaltma ağzlarından oluşmaktadır.



Şekil 4.41. Çalışma alanının yüzeş akışla parçalanabilirlik haritası

Çizelge 4.78. Yüzeysel akışla parçalanabilirlik sınıfları ve kapladığı alanlar

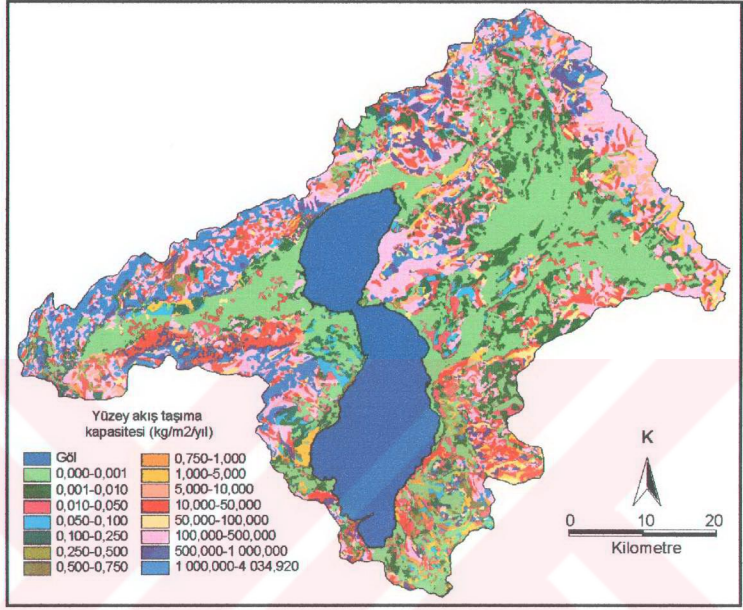
Parçalanma Etkisi (kg/m ² /yıl)	Parçalanma Etkisi (ton/hektar/yıl)	Alan (ha)	Alan (%)
0.000-0.001	0.00-0.01	104758.7	37.10
0.001-0.010	0.01-0.10	17535.1	6.21
0.010-0.050	0.10-0.50	19963.5	7.07
0.050-0.100	0.50-1.00	6353.3	2.25
0.100-0.250	1.00-2.50	11379.4	4.03
0.250-0.500	2.50-5.00	11125.3	3.94
0.500-0.750	5.00-7.50	13949.0	4.94
0.750-1.000	7.50-10.0	13243.1	4.69
1.000-5.000	10.0-50.0	14203.1	5.03
5.000-10.00	50.0-100	1355.4	0.48
10.00-50.00	100-500	11831.2	4.19
Tamamen Aşınmış Alanlar		56671.4	20.07
Toplam		282368.5	100.00

Haritada verilen tamamen aşınmış alanlar sınıfı, yüzeysel akışın en fazla olduğu, yağış etkisi ile parçalanabilirliğin ise en az olduğu alanlardır. Bu alanlarda mMMF modeline göre yüzeysel akışla parçalanabilirliğin yüksek olması gerekmektedir. Ancak alanın çıplak kayalıklardan oluşması ve havza için belirlenecek toplam toprak kayıpları miktarını etkileyerek sonuçların fazla çıkmasını engellemek amacıyla bu alanlar "tamamen aşınmış alanlar" olarak sınıflandırılmıştır.

4.4.3.4. Yüzeysel akışın taşıma kapasitesi haritası

Eğirdir gölü havzası için belirlenen yüzeysel akışın taşıma kapasitesi 15 farklı sınıfta toplanmıştır. Çalışma alanı için hazırlanan yüzeysel akış taşıma kapasitesi haritası şekil 4.42'de yer almaktadır.

Çalışma alanının % 29.4'ünde yüzeysel akışın taşıma kapasitesi en az olarak bulunmuştur. Bu alanlarda yıllık taşıma kapasitesi 0-0.001 kg/m² dir. Çalışma alanın düz ve düze yakın eğimli alanlarını oluşturan bu sınıf topraklarda baskın bitki örtüsü kuru ve sulu tarımdır. Çalışma alanının % 20.4'ünde ise yüzeysel akışın taşıma kapasitesi 100-500 kg/m² olarak bulunmuştur.



Şekil 4.42. Çalışma alanının yüzeş akış taşıma kapasitesi haritası

Bu alanlarda arazi kullanım türü maki ve bozulmuş ormanlardır. Çalışma alanının yüzeş akış taşıma kapasitesi ve kapladıkları alanlar çizelge 4.79'da verilmiştir.

4.4.3.5. Toprak kayıpları haritası

Eğirdir gölü havzası için belirlenen toprak kayıpları 11 sınıf altında toplanmıştır. Çalışma alanı için hazırlanan toprak kayıpları haritası şekil 4.43'de yer almaktadır. Çalışma alanının % 24,4'ünde toprak kaybı çok az olarak bulunmuştur. Bu alanlarda yıllık toprak kaybı 0-0,001 kg/m² arasındadır. Çalışma alanın düz ve düze yakın eğimde ve derin topraklardan oluştuğu bu alanlarda baskın bitki örtüsü kuru ve sulu tarımdır. Alanın % 8,2'sinde yıllık toprak kaybı 0,001-0,01 kg/m² % 4,4'ünde 0,01-0,05 kg/m² ve % 2,0'ünde 0,05-0,1 kg/m² arasındadır.

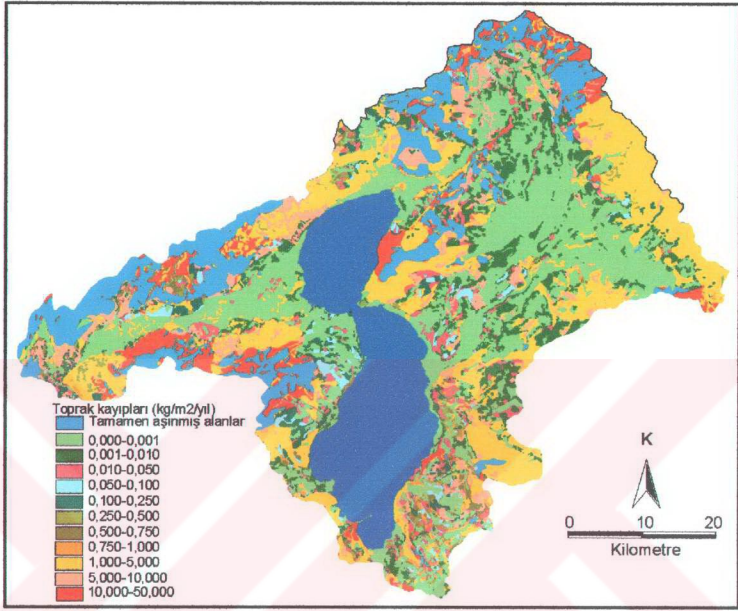
Çizelge 4.79. Yüzey akış taşıma kapasitesi sınıfları ve kapladığı alanlar

Taşıma Kapasitesi (kg/m ² /yıl)	Taşıma Kapasitesi (ton/hektar/yıl)	Alan (ha)	Alan (%)
0.000-0.001	0.00-0.01	83157.5	29.45
0.001-0.010	0.01-0.10	23125.9	8.19
0.010-0.050	0.10-0.50	12565.4	4.45
0.050-0.100	0.50-1.00	5760.4	2.04
0.100-0.250	1.00-2.50	5195.6	1.84
0.250-0.500	2.50-5.00	2964.9	1.05
0.500-0.750	5.00-7.50	3134.4	1.11
0.750-1.000	7.50-10.0	1778.9	0.63
1.000-5.000	10.0-50.0	8386.3	2.97
5.000-10.00	50.0-100	4659.2	1.65
10.00-50.00	100-500	28519.2	10.10
50.00-100.0	500-1000	10560.5	3.74
100.0-500.0	1000-5000	57716.1	20.44
500.0-1000	5000-10000	13271.3	4.70
1000-4034	10000-40340	21572.9	7.64
Toplam		282368.5	100.00

Yıllık toprak kaybı 0.1-1.0 kg/m² arasında olan alanların toplamı ise % 4.8 dir. Çalışma alanının % 21.2'sinde ise yıllık toprak kaybı 1-5 kg/m² arasında bulunmuştur. Alanının % 7.7'sinde ise yıllık toprak kaybı 5-10 kg/m² arasındadır. Çalışma alanının toprak kayıpları ve kapladıkları alanlar çizelge 4.80'de verilmiştir.

Çizelge 4.80. Toprak kayıpları sınıfları ve kapladığı alanlar

Toprak Kaybı (kg/m ² /yıl)	Toprak Kaybı (ton/hektar/yıl)	Alan (ha)	Alan (%)
0.000-0.001	0.00-0.01	68954.4	24.42
0.001-0.010	0.01-0.10	23182.5	8.21
0.010-0.050	0.10-0.50	12537.2	4.44
0.050-0.100	0.50-1.00	5760.3	2.04
0.100-0.250	1.00-2.50	5195.6	1.84
0.250-0.500	2.50-5.00	2964.9	1.05
0.500-0.750	5.00-7.50	3331.9	1.18
0.750-1.000	7.50-10.0	2004.8	0.71
1.000-5.000	10.0-50.0	59946.8	21.23
5.000-10.00	50.0-100	21742.4	7.70
10.00-50.00	100-500	20076.3	7.11
Tamamen Aşınmış alanlar		56671.4	20.07
Toplam		282368.5	100.00



Şekil 4.43. Çalışma alanının toprak kayıpları haritası

Toprak kayıplarının en düşük ve en yüksek olduğu alanlar tipik özelliktedir. Yani toprak kayıplarının en düşük belirlendiği alanlar, düz-düze yakın eğimde, kurusulu tarım yapılan ve havzanın ortasında yer alan derin topraklara sahip alanlardır.

En fazla toprak kayıplarının belirlendiği yerler ise dik, çok dik ve sarp eğimde yer alan, sık-çok sık topraklara sahip bitki örtüsü yoğunluğu çok az olan alanlardır. Bu iki sınıf dışında belirlenen toprak kayıplarına sahip alanlar için ise tipik özellikler bulunmamaktadır. Çalışma alanının ortasında hafif eğimde bulunan bazı alanlar için toprak kaybı miktarı yüksek bulunmuşken, çok dik arazilerde orman örtüsü altındaki topraklarında yıllık kayıpları az olması erozyon olayının doğasına uygun olarak genişleme sürecinin devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca toprak kayıplarının en az olarak belirlenen alanlardaki toprakların yağış etkisi ile parçalanabilirliğinin fazla olması, yüzey akışla parçalanabilirliğinin az olması ve yüzey akışla taşınabilirliğinin

düşük olması ve bu alanların dik arazilerden gelen toprakların biriktiği yerler olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı fizyografik özellikleri, topoğrafik yapısı ve su kanallarının dağılımı bu bulguyu desteklemektedir. Ancak erozyonla oluşan zararların hem aşınma hem de birikme nedeniyle oluşması toprak kayıpları az olan bu alanların birikme özelliğine göre değerlendirilmesini gerektirmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde çalışma alanı için oluşturulan potansiyel erozyon riski haritası, şimdiki erozyon durumu haritası ve toprak kayıpları haritası değerlendirilmiştir. Modellere göre üretilen haritalarda yer alan sınıflar arazi çalışmaları ile test alanlarında kontrol edilmiş ve test alanlarından sağlanan veriler doğrultusunda yorumlanmıştır. Hazırlanan erozyon haritalarına göre erozyonla mücadelede öncelikli alanlar belirlenmiş bu alanların sahip olduğu özelliklere göre öneri haritasının oluşturulmasında arazi kullanım türüne bağlı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Son olarak sonuç haritalarının doğruluğu ve detaylarından çalışmada kullanılan giriş verileri, kullanılan parametreler ve yöntemlerle ilgili önerilerde bulunulmuştur.

5.1. Potansiyel Erozyon Risk Haritasının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada geliştirilen ve Eğirdir göl havzası için uygulanan derecelendirme metoduna göre oluşturulan potansiyel erozyon risk haritasının yorumu göl havzasının potansiyelde büyük erozyon riski altında olduğunu göstermiştir. Potansiyel erozyon riskinin yüksek bulunduğu bölgeler havzayı çevreleyen eğimli alanlarda yer alan derin topraklardan oluşmaktadır. Potansiyel erozyon riski haritası ile eğim etkisi haritasının uyum göstermesi havzanın sahip olduğu bu riskin topoğrafik yapısından kaynaklandığının belirtisidir. Ancak doğal bitki örtüsünün korunduğu alanlarda şimdiki erozyon durumu sınıfı, potansiyel erozyon riski sınıfından daha düşük olmaktadır. Başka bir deyişle eğimli topoğrafyalarda yer alan, bitki örtüsü tarafından iyi korunmuş alanlarda şimdiki erozyon etkisi çok hafif veya hiç görülmezken, böyle alanlar gelecekte bitki örtüsünün kaldırılması sonucu eğime bağlı olarak şiddetli derecede erozyon potansiyeline sahip bulunmaktadır.

Potansiyel erozyon riskinin yüksek olduğu alanlarda yapılan harita kontrol çalışmalarının yürütüldüğü test alanına ait bir görünüm Şekil 5.1'de yer almaktadır. Test alanı eğim özelliğinin potansiyel erozyon riski üzerine olan etkisinin gözlemlendiği en tipik alanlardan birisidir.



Şekil 5.1. Potansiyel erozyon riski çok şiddetli ve şiddetli olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Fotoğrafta yer alan arazi potansiyel erozyon riski haritasında üç farklı sınıfta haritalanmıştır. Bu arazide en arka planda yer alan doğal bitki örtüsü ile iyi korunmuş yüksek ve dik arazilerin potansiyel erozyon riski çok şiddetli olarak belirlenmiştir. En önde bulunan terasın potansiyel erozyon riski orta ve bu iki alan arasında kalan orta planda yer alan arazilerin ise şiddetli olarak belirlenmiştir. Arazi çalışması sonucu potansiyel erozyon riski çok şiddetli olarak belirlenen bu arazilerde eğim % 12'nin üzerinde ve toprak derinliği 20 cm'nin üzerinde bulunmuştur. Potansiyel erozyon riski şiddetli olarak sınıflandırılan arazilerde toprak derinliği yaklaşık 50 cm'dir. Bu alanlarda eğim % 6-12 arasındadır. En ön planda yer alan arazilerde toprak derinliği 50 cm'den fazladır. Bu alanlarda eğim % 6'ya kadar düşmektedir. Tanımlanan bu araziye ait topraklar kireçtaşı ana materyali üzerinde oluşmuştur. Topraklar orta tekstüre sahiptir.

Şekil 5.2'de potansiyel erozyon riski şiddetli, orta şiddetli ve hafif şiddetli olarak haritalanan üç farklı sınıf şeklinde sıralanan bir araziye ait görünüm yer almaktadır.



Şekil 5.2. Potansiyel erozyon riski çok şiddetli, şiddetli ve orta şiddetli olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Kireçtaşı ana materyali üzerinde oluşan ve orta bünyeli, orta derin topraklara sahip bu arazide tepenin üst kısmına doğru artan eğimle potansiyel erozyon riski çok şiddetli olarak tanımlanmıştır. Tepenin yamaçlarına doğru azalan eğimli alanların potansiyel erozyon riski şiddetlidir. Diğer bir sınıf ise ön planda görülmektedir. Bu sınıf tepenin alt eteklerinde bulunan vadiye doğru ve tepe ile ters yönde eğime sahip araziler ise potansiyel erozyon riski hafif olarak tanımlanmıştır. Bu sınıfların tamamında toprak derinliği 50 cm'den daha fazladır. Bu arazilerin bir öncekinden farkı ise bitki örtüsü gelişimindeki yoğunluktan kaynaklanmaktadır. Bu farklılık şimdiki erozyon durumunda değerlendirilmiştir.

Potansiyel erozyon riski haritasında risk içermeyen sınıf olarak haritalanan bir araziye ait görünüm şekil 5.3'de yer almaktadır. Düz-düze yakın eğimde, aluviyal ana materyal üzerinde oluşmuş ve orta bünyeli toprakların bulunduğu bu arazide toprak derinliği 90 cm'den fazladır.



Şekil 5.3. Potansiyel erozyon riski yok olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Sulu tarım yapılan ve meyve bahçesi olarak değerlendirilen bu arazilerin potansiyel olarak erozyona uğrama ve toprakların aşınma riski yoktur. Potansiyel erozyon riski haritasında "erozyon yok" olarak tanımlanan bu alanda taşlılık olmamasına rağmen sahip olduğu toprak ve topoğrafik özellikleri bu sınıfta tanımlanmasını gerektirmiştir. Her ne kadar bu alanlarda aşınma riski olmamasına rağmen yamaçlardan gelebilecek olan taşkınlarla ve sedimentlerle örtülmeye karşı açıktır. Potansiyel erozyon riski yok olarak tanımlanan alanlar taşkına uğrama riski ayrıca değerlendirilmelidir.

Çalışmada bitki örtüsü ile birlikte yüzey taşlılığı da potansiyel erozyon riskini azaltan bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Arazi çalışmasında yüzeyde yer alan taşların yoğunluğu ile yüzeye çıkmış kayalıklar arasında ters ilişki belirlenmiştir. Ayrıca yüzeyde yer alan taşların varlığı ile toprak derinliğinin ve bitki örtüsünün arttığı belirlenmiştir. Bu alanlarda yer yer yüzeye çıkmış ana kayaya rastlanmasına rağmen arazinin genelinde toprak derinliği 50 cm'den daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5.4’de yüzey taşlılığı fazla olan bir alana ait görünüm yer almaktadır. Potansiyel erozyon riskinin orta olarak belirlendiği bu arazide gelecekte erozyona neden olacak en büyük neden yüzeyi örten taşların orman yönetimi uygulamalarında yatak hazırlama amacı ile toplanması olacaktır.

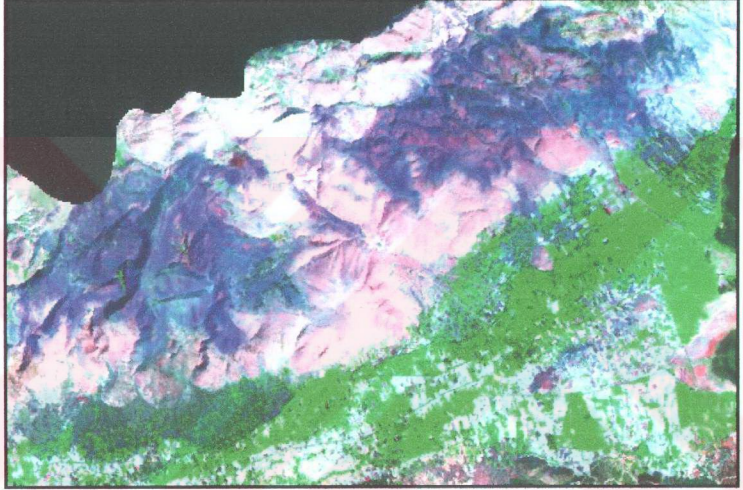


Şekil 5.4. Yüzey taşlılığının potansiyel erozyon riski üzerine etkisini gösteren bir görünüm

Ayrıca toprak tekstürü ve ana materyalinin her ikisinin de aşınmaya karşı duyarlı olduğu alanlar potansiyel erozyon riski haritasında şiddetli ve çok şiddetli sınıfları içerisinde yer almıştır. Toprak tekstürü ve ana materyale bağlı olarak yüksek sınıfta risk belirlenen alanların takibi yapısal tehlike haritasından yapılabilmektedir. Çalışma alanının kuzey batı yamaçlarında yer alan, tuf ana materyalinden oluşan topraklar erozyonla aşınmış ve Senirkent ovasına doğru akışa geçmiştir. Bu bilgiler zenginleştirilmiş uydu verisinden de elde edilebilmektedir. Bu alanlarda arazi yüzeyi yoğun meyve ağaçları ile örtülü olmasına rağmen ana materyali ile aynı yansımayı veren bu topraklar farklı renkte görülmektedir. Belirlenen bu olay potansiyel risk

haritasının oluşturulmasında yalnızca toprak tekstürü değil ana materyal özelliğinin de kullanılması gerekliliği tezini doğrulamaktadır.

Şekil 5.5'de çalışma alanının kuzeydoğu yükseltilerinde yer alan tuf ana materyali ve bu ana materyalin aşınması ve su etkisi ile ovaya taşınarak birikmesi sonucu oluşturduğu topraklar yer almaktadır.



Şekil 5.5. Tuf ana materyali üzerinde oluşan toprakların taşınmasını gösteren zenginleştirilmiş uydu görüntüsü (5., 4., 3. bant kombinasyonları)

Derecelendirme modeline göre oluşturulan potansiyel erozyon risk sınıfları ve risk haritası seçilen test alanlarında kontrol edilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları sonucu oluşturulan risk sınıflarının ve bu sınıfların sınırlarının başarıyla ayrıldığı belirlenmiştir. Derecelendirme modelinde potansiyel erozyon riskinin bileşenlerinden olan topoğrafik özelliklerin standart topoğrafik haritadan alınması potansiyel erozyon risk haritasının doğruluğunu artırmıştır. Uydu verilerinin yorumunda ve arazi çalışmalarında ana materyal ve yüzey taşlılığı özelliklerine ait gözlemler toprak ana materyali ve yüzey taşlılığının bu haritaların oluşturulmasında kullanımının ne derecede önemli olduğu ortaya koymuştur.

Yukarıda örneklerle yapılan değerlendirmede aynı fizyografya üzerinde oluşan arazilerin eğim büyüklüğüne bağlı olarak farklı sınıflarda haritalanmış olması çalışmanın detayını göstermektedir. Derecelendirme modeli ve modelde kullanılan giriş verileri ile üretilen potansiyel erozyon riski haritası test alanlarında yapılan kontroller sonucu uygulanabilir doğrulukta olduğu belirlenmiştir. Haritada oluşturulan haritalama ünitelerinin büyüklüğü potansiyel erozyon risk haritasının 1:50.000 ölçekte basılabilecek detaya sahip olduğunu göstermiştir. Havzanın potansiyel erozyon riskini gösteren 1:100.000 ölçekli haritası ek-1'de sunulmuştur. Potansiyel erozyon risk haritasının oluşturulmasında topoğrafik haritadan sağlanan verilerin en önemli unsur olduğu bulunmuştur.

Çalışma alanında yer alan 4 no'lu alt havza potansiyel erozyon riskinin en fazla görüldüğü alanları kapsamaktadır. Bu alt havzayı 3 no'lu (Gökdere) alt havza izlemektedir. Şiddetli ve çok şiddetli derecede potansiyel erozyon riski bulunan diğer alt havzalar 2., 5. ve 1. şekilde sıralanmıştır.

Potansiyel erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli olarak tanımlanan sınıflar özellikle 4 no'lu alt havzada yoğunlaşmaktadır. Bu alt havza Eğirdir gölü kıyısında yer alan birkaç yüz metrelik düz alanlardan sonra eğimi ani şekilde artan, kısa aralıklarla sık sık değişen ve topoğrafik özellikleri nedeniyle yerleşim ve toprak işleme için ağır şartlara sahip olan bir yapıdadır. Arazi kullanım türünün maki ve orman olarak tanımlandığı bu havza daha çok doğal koşullar altında kalmış ve insanların etkisinden uzak olmuştur. Havza içerisinde yerleşim alanı olarak yalnızca birkaç dağ köyünü içeren bu alt havzanın büyük kısmının 1500 m'den daha yüksekte olması tarım için kullanımını kısıtlayıcı etkenlerden birisi olmuştur.

Potansiyel erozyon riski yönünden en fazla tehlike altında olan 4 no'lu havzayı ikinci sırada 3 no'lu Özdere alt havzası izlemektedir. Özdere alt havzası 4 no'lu havzadan farklı yapıya sahiptir. Özdere alt havzasında arazi kullanım türü kuru tarımdır. Potansiyel erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli olarak tanımlanan sınıflar özellikle havza ortasında yer alan ve düz-düze yakın eğimdeki arazilerin kuzey ve kuzey doğuda yer alan yamaçlarla birleştiği alanlarda olduğu belirlenmiştir. Erozyon riski içeren bu alanlarda arazi kullanım türünün kuru tarım olması tehlikenin boyutlarını göstermektedir.

Topoğrafik özellikleri, fizyografik yapısı ve arazi kullanımına göre alt havzalar iki farklı tipte değerlendirmek mümkündür. Bunlardan birincisi 4 ve 5 no'lu alt havzalardan oluşmaktadır. İkincisi ise 1, 2 ve 3 no'lu havzalardır. Potansiyel erozyon riskinin değerlendirildiği 4 no'lu havza için genelleştirilen bilgilerin 5 no'lu havza içinde söylemek mümkündür. Aynı şekilde 3 no'lu havza için verilen bilgiler 1 ve 2 no'lu havzalar içinde geçerlidir.

5.2. Şimdiki Erozyon Durum Haritasının Değerlendirilmesi

Çalışma alanı için hazırlanan şimdiki erozyon durumu haritalarının arazi kontrolleri sonucu test alanlarında sınırların ve sınıfların doğruluğu değerlendirilmiştir. Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde arazi kullanım türünün ve bitki yoğunluğunun kullanımı ve bu özelliklerin güncel bilgileri taşıyan uydu verilerinden sağlanarak güncel bilgilerin üretimi haritanın doğruluğunu artırmıştır. Arazi çalışmaları ile şimdiki erozyon durum haritalarının doğruluğu kontrol edilmiştir. Bu amaçla yapılan arazi çalışmasında incelenen test alanında şimdiki erozyon durumu yüksek olarak belirlenen arazilere ait bir görünüm şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.6'da verilen fotoğrafta şimdiki erozyon durumu şiddetli, orta ve orta olarak tanımlanan üç farklı sınıf yer almaktadır. Bu şekilde arka planda yer alan dik ve çok dik alanlarda arazi kullanım türü maki olarak belirlenmiştir.

Ayrıca makilerin yoğunluğu zayıftır. Aynı şekilde orta planda yer alan, daha az eğime sahip olan bitki örtüsü maki olan ve bitki yoğunluğu orta olarak belirlenen bu arazide şimdiki erozyon durumu orta olarak belirlenmiştir. En ön planda yer alan ve eğimi % 6'dan daha az olmakla birlikte toprak yüzeyinin çıplak olduğu arazilerde ise şimdiki erozyon durumu yine orta olarak belirlenmiştir. Bu arazilerin toprak özellikleri topoğrafik durumu ve diğer şartlarına göre potansiyel erozyon riskleri çok şiddetli, şiddetli ve orta olarak belirlenmiş olmasına rağmen şimdiki erozyon durumunda arazi kullanım türü ve bitki yoğunluğunun etkisi açıkça görülmektedir.

Bölüm 5.1'de potansiyel erozyon risklerinin değerlendirildiği araziler şimdiki erozyon durumuna göre kontrol edilmiştir. Buna göre şekil 5.1'de verilen fotoğrafta potansiyel erozyon riski çok şiddetli olarak tanımlanan arazilerde şimdiki erozyon durumu hafiftir.



Şekil 5.6. Şimdiki erozyon durumu şiddetli ve orta olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Bu alanlarda zayıf maki türlerinin varlığı ve toprak yüzeyini kaplaması şimdiki erozyon durumuna göre bu sınıfta değerlendirilmesini gerektirmiştir. Aynı fotoğrafta potansiyel erozyon riski şiddetli ve orta olarak tanımlanan arazilerin şimdiki erozyon durumu orta olarak belirlenmiştir. Bu iki araziden potansiyel erozyon riski şiddetli olan alanlarda yer alan makiliklerin yoğunluğunun fazla olması ve toprak yüzeyini örtmesi şimdiki erozyon durumunun orta olmasını gerektirmiştir. Potansiyel erozyon riski orta olarak tanımlanan arazinin şimdiki erozyon durumunun da orta olmasındaki esas neden bitki örtüsüdür. Bu alanlarda bitki indisinin çok zayıf olması bu alanlarda orta şiddette erozyonun oluştuğunu göstermektedir.

Şimdiki erozyon durumunun hafif olarak haritalandığı diğer bir test alanına ait görünüm şekil 5.7'de yer almaktadır. Arka planda yer alan şimdiki erozyonla tamamen aşınmış alanların solunda yarım bir yelpaze görüntüsü veren çok dik alanlar şimdiki erozyon durumuna göre hafif olarak tanımlanmıştır. Bu alan çevresinden gelen erozyon ürünlerinin yığılması ile oluşmuştur.



Şekil 5.7. Şimdiki erozyon durumu hafif olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Bu alanlarda çok yoğun maki türü potansiyel erozyon riskinin çok şiddetli olduğu ve % 12'den fazla eğime sahip bu alanın mevcut bitki örtüsünün toprakları tamamen koruduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Ancak potansiyel erozyon riskini şiddetli düzeyde taşımaktadır.

Şimdiki erozyon durumunun hafif olarak tanımlandığı diğer bir arazi bölümü 5.1'de incelenmiş ve şekil 5.2'de yer almıştır. Bu arazinin tamamında şimdiki erozyon durumu hafif olarak belirlenmiştir. Arazi kullanım türünün maki-orman karışımı olduğu bu alanlarda bitki yoğunluğunun % 75'den fazla olması potansiyel erozyon riski yönünden farklı derecelerde sınıflandırılan bu alanların şimdiki erozyon durumunun daha düşük ve aynı sınıfta yer almasını gerektirmiştir. Bu durum bitki örtüsü yoğunluğunun toprakların erozyonla taşınmasını nasıl önlediğini gösteren açık bir kanıt olarak kabul edilmelidir.

Şekil 5.8'de şimdiki erozyon durumu çok şiddetli ve erozyon yok olarak tanımlanan bir birine komşu iki sınıfın yer aldığı bir araziye ait görünüm yer almaktadır.

Fotoğrafta arka planda yer alan sarp eğimli arazilerin şimdiki erozyon durumu çok şiddetli olarak belirlenmiştir. Bu arazilerde toprak derinliği 20 cm'den daha azdır.

Yer yer zayıf maki örtüsünün bulunduğu toprakların korunmadıkları takdirde yakın gelecekte tamamen aşınmış çıplak kayalık olması kaçınılmazdır. Bu arazinin altında yer alan ve düz eğimde bulunan arazilerin şimdiki erozyon tehlikesi yok olarak tanımlanmıştır. Sulu tarım yapılan ve meyve bahçesi olarak kullanılan bu arazide toprak derinliği 90 cm'den fazladır. Bu arazilerde potansiyel erozyon riski de şimdiki erozyon durumu ile aynı sınıfta belirlenmiştir.



Şekil 5.8. Şimdiki erozyon durumu çok şiddetli ve yok olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Şimdiki erozyon durumunun ve potansiyel erozyon riskinin erozyon "yok" olarak tanımlandığı ve haritalandığı diğer bir test alanı şekil 5.9'da verilmiştir. Arazi kullanım türünün kuru tarım olduğu bu arazi derin topraklara sahiptir. Düz eğimdeki bu arazide taşkın riski de görünmemektedir.



Şekil 5.9. Şimdiki erozyon durumu erozyon yok olarak belirlenen bir alana ait görünüm

Bu saptamayla potansiyel olarak erozyon riski içermeyen ve erozyonun oluşmadığı düz alanların fizyografik özelliklerine bağlı olarak her zaman için taşkın riskine sahip olamayacağı belirlenmiştir.

Şimdiki erozyon durumu haritasının da potansiyel erozyon riski haritasında olduğu gibi 1:50.000 ölçekli detaya sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Havzanın şimdiki erozyon durumunu gösteren 1:100.000 ölçekli haritası ek-2’de sunulmuştur. Şimdiki erozyon durumu haritasının oluşturulmasında aşınabilirlik indisi, aşındırıcı indisi, sosyal eğilim ve arazi yüzeyini örten bitkilerin varlığı etkili birer faktör olarak kullanılmıştır. Test alanlarında yapılan arazi kontrolleri sonucu potansiyel erozyon durumunun ve arazi kullanımı ile bitki yoğunluğunun büyük bir doğrulukla belirlendiği ortaya konulmuştur. Özellikle uydu verilerinde arazi kullanım türleri ve bitki yoğunluğunun model içerisinde değerlendirmeye alınması şimdiki ve potansiyel erozyon durumunun belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Ancak sosyal eğilimin etkisi tam olarak değerlendirilememiştir. Bunun esas nedeni sosyal eğilime

ait verilerin detayının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer koruma altına alınmış alanlar, teras yapılan araziler ve hayvan yetiştirme alışkanlığına ait bilgiler daha kesin olarak belirlenebilseydi ve bu özelliklerin havzada dağılımı daha detaylı olsaydı sosyal eğilimin erozyon üzerine olan etki derecesini belirlemek mümkün olacaktı.

Çalışma alanında şimdiki erozyon durumuna göre en fazla aşınma gösteren alanlar 5 no'lu alt havzada yer almaktadır. Bu havzayı 1 no'lu havza izlemektedir. Bu iki havzada şimdiki erozyon durumu çok şiddetli olarak tanımlanan alanlar yoğun olarak görünmektedir. 3 no'lu havzada şimdiki erozyon durumu çok şiddetli olarak tanımlanan alanların yoğunluğu azdır. Ancak bu alt havzada şiddetli sınıfına giren alanlar yoğun olarak görünmektedir. Şimdiki erozyon durumuna göre alt havzaların aşınma derecelerine göre 5., 1., 3., 2., 4 olarak sıralanmıştır. Çalışma alanında tamamen aşınmış alanlar olarak tanımlanan arazilerin 1 ve 2 no'lu yan havzada yer alması dikkat çekicidir. Ayrıca şiddetli ve çok şiddetli erozyon oluşmuş alanlar yoğun tarım yapılan alt havzaların yamaçlarında yer alan yükseltilerden oluşmakta ve yamaçlarda bozulmuş orman ve maki türleri yer almaktadır. Bu alt havzalar çalışma alanı içerisinde en fazla yerleşim bölgelerini içermesi ve arazi kullanımı bu alanların doğal örtüsünün insanlarla bozulmasının göstergesidir.

5.3. Toprak Kayıpları Haritasının Değerlendirilmesi

mMMF modeli kullanarak yapılan toprak kayıpları tahminlerini gösteren harita test alanlarında kontrol edilmiştir. Test alanlarının kontrolünde yıllık toprak kayıpları farklı bulunan alanların topoğrafik yapıları, fizyografik birimleri ve toprakların morfolojileri birbirleri ile karşılaştırılmış arazi yüzeyinde erozyon oluşumuna ait kanıtlar aranmıştır.

Yapılan arazi çalışmasında test alanına ait bir görünüm şekil 5.10'da yer almaktadır. Şekilde gösterilen arazide toprak kayıpları miktarı farklı tahmin edilen iki alan yer almaktadır. Arka planda yer alan yükseltiler için tahmin edilen yıllık toprak kaybı 10-50 kg/m² olarak hesaplanmıştır. Sarp eğimde yer alan bu arazilerde arazi kullanımı maki-çiplak alanlardan oluşmaktadır. Yeryer ana kayanın yüzeye çıktığı bu arazilerde sel oyuntuları gözlenmiştir. Şimdiki erozyon durumu çok şiddetli

olarak tanımlanan bu arazilerde ana kayaya kadar inen sel oyuntularının derinliği 1 m'yi geçmektedir. Bu arazilerde üst toprak tamamen aşınmıştır. Çok az bir alanda maki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde ancak bitki yeşil aksamının kapattığı yerlerde yüzey toprağı bulunmuştur. Şekilde yer alan ve toprağın dikine kesitinin görüldüğü arazilerde ise yıllık toprak kaybı $0.10-0.50 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu arazilerde hafif eğimde yer almakta ve derin topraklara sahiptir. Toprak profilinde A horizon kalınlığı 30 cm'den fazladır. Yüzeyde koyu renkli bitki artıklarınca zengin Ao horizonu yer almaktadır. Toprak yüzeyinde erozyon oluşumu ile ilgili herhangi bir belirti bulunmamıştır.



Şekil 5.10. Yıllık toprak kaybı $0.10-0.50 \text{ kg/m}^2$ ve $10-50 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm

Toprak kayıplarına göre farklı sınıflarda haritalanan iki sınıfa ait görünüm şekil 5.11'de verilmiştir. Bu sınıflardan arazi kullanım türü maki olan ve yoğun bitki örtüsüne sahip alanda yıllık toprak kaybı $0.25-0.50 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilmiştir. Şekilde yer alan ve arazi kullanım türü sulu tarım olan arazide ise bu oran $0.50-0.75 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.11. Yıllık toprak kaybı $0.25-0.50 \text{ kg/m}^2$ ve $0.50-0.75 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm

Ancak farklı sınıfta yer alan her iki arazinin toprak yüzeyinde morfolojik bir farklılık belirlenememiştir. Ayrıca üst toprağın oldukça kalın olması nedeniyle yüzey toprağında aşınmaya yönelik bir kanıt bulunamamıştır. Şekil 5.12’de verilen arazilerde mMMF modeline göre tahmin edilen toprak kayıpları bir birinden farklı hesaplanmıştır. Fotoğrafta yer alan tepeliklerden oluşan ve arazi kullanım türü maki olan arazilerde yıllık toprak kaybı $1-5 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu arazilerin eteklerinde düz eğimde yer alan ve arazi kullanım türü kuru tarım olan arazilerde ise yıllık toprak kaybı $0-0.0001 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Kuru tarım alanı olarak kullanılan ve toprak kaybı $0-0.0001 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen arazinin yüzey toprağında erozyonla ilgili hiçbir morfolojik kanıt bulunamazken arazi kullanımı maki olan ve toprak kaybı yüksek olarak hesaplanan arazide yer yer açık renkli yüzey altı B/C horizonunun yüzeye çıkmış olduğu belirlenmiş ve bitki yoğunluğunun az olduğu yerlerde parmak erozyonunun oluştuğu, yağışla oluşan yüzey akışım eğim doğrultusunda hareketini gösteren izler gözlenmiştir.



Şekil 5.12. Yıllık toprak kaybı $0-0.0001 \text{ kg/m}^2$ ve $1-5 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm

Şekil 5.13'de havza içerisinde toprak kayıplarının en fazla olduğu alanlara ait bir görünüm yer almaktadır. Bu alanlarda mMMF modeline göre yapılan tahminlere göre yıllık toprak kaybı $10-50 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmış olup yüzeye çıkmış kayalıkların oranı % 70'e ulaşmaktadır. Ayrıca bu alanlarda toprakların dikey yönde hareketi görülmektedir. Yani karstik özelliğe sahip bu alanlarda oluşan kaya çatlakları arasını toprakların doldurduğu belirlenmiştir. Toprakların biriktiği yerlerde maki gelişimi görülmektedir. Bu özellik karstik bölgelerin en tipik özelliği olarak gözlenmiştir.

Şekil 5.14'de tarım alanları içerisinde erozyon oluşumuna ait bir görünüm yer almaktadır. Hafif eğimde yer alan bu arazi Eğirdir gölüne 150 m uzaklıktadır. Göl havzasında, dik yamaçlara komşu olan bu gibi eğimli alanlarda yoğun olarak parmak erozyonu oluşmaktadır. Bu alanlarda yer yer oyuntu erozyonu da gözlenmiştir.



Şekil 5.13. Yıllık toprak kaybı $10-50 \text{ kg/m}^2$ olarak tahmin edilen araziye ait bir görünüm

Bunun nedeni toprak yüzeyinin korumasız olması ve intensif yağış rejiminin bölge için karakteristik bulunmasıdır. mMMF modeline göre yapılan tahminlerde bu alandan oluşan toprak kaybı yıllık ise $0.0001-0.0010 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasıyla belirlenen toprak kayıpları havzadan ayrılan toprak miktarını vermektedir. Havzadan ayrılan toprakların gidebileceği tek yer Eğirdir gölü rezervuarıdır. mMMF modeline göre havzanın yıllık toprak kaybı toplamı 6.112.500 ton olarak hesaplanmıştır. Eğirdir gölü rezervuarı 4.361 hm^3 olarak belirtilmektedir (Çakmak, 1998). Göl rezervuarını dolduracak miktarda göle gelecek toprak kaybı için tahmin edilen süre yaklaşık 700 yıldır. Toprak oluşum süreci göz önüne alındığında göl havzasının ve rezervuarının gelecekte büyük bir erozyon tehlikesi altında olduğu görülmektedir. Ayrıca göl suyunun faydalanılamayacak derecede oluşacak fiziksel kirlenme için gereken sürenin daha az olacağı kesindir. Oluşan erozyona tarımsal atık ve artıkların neden olduğu kimyasal ve biyolojik kirlenmenin etkisi de eklendiği zaman bu süre çok daha az olacaktır.



Şekil 5.14. Tarım alanlarında oluşan toprak kayıplarına ait bir görünüm

mMMF modeline göre tahmin edilen toprak kayıpları miktarları ve bu miktarlara göre hazırlanan toprak haritasının arazi kontrolleri sonucu dört temel sonuç ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi; toprak kayıpları haritasında yer alan haritalama üniteleri ile şimdiki erozyon durumu haritası arasında büyük bir benzerlik olduğudur. Bu benzerliğe bağlı olarak toprak kayıpları haritasında yer alan toprak kayıpları miktarının şimdiki erozyon durum haritası için belirlenen sınıflara uyarlanması mümkün görünmektedir. İkinci olarak çıkarılan sonuç; mMMF modeli ile havzada oluşan toprak kayıpları 11 ayrı sınıfa ayrılmıştır. Arazi çalışmalarında ise gözlem yoluyla ancak 4 farklı sınıfın ayrılabilirdiği belirlenmiştir. Buna göre arazi gözlemleri ile yıllık toprak kayıpları 0-1 kg/m², 1-5 kg/m², 5-10 kg/m² ve 10-50 kg/m² olan alanlarda bir ayırım yapılabilmektedir. Bu sonuca göre tahmin edilen toprak

kayıplarının doğruluğu ancak arazide sediment ölçümleri ile yapılabilecektir. Arazi kontrolleriyle ortaya çıkan üçüncü sonuç; karstik alanlarda dikey yönde erozyon oluşumudur. Bu alanlarda aşınma olayı su erozyonunun tipik özelliğinde olduğu gibidir. Ancak birikme olayı farklı gelişmektedir ve modellemede yüzey akış hesaplarında bu durum önem taşımaktadır. Bu nedenle karstik alanların farklı yaklaşımlarla değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir. Son olarak ortaya çıkan sonuç; karstik alanlarda oluşan çatlakların artmasıyla bu çatlaklarda gelişen maki örtüsü de arttığı gerçeğidir. Bunun sonucu olarak kayalık alanlar bitki örtüsüyle perdelenmektedir. Erozyon haritalarını oluşturmak amacıyla uydu verilerinin kullanıldığı çalışmalarda bitki örtüsü altında kalan kayalıkların gizlenmiş olması ve bu nedenle ortaya çıkacak yangıların giderilmesi için toprak haritasından sağlanacak verilerin daha detaylı ve doğru olması gerekmektedir. Böylece mMMF gibi bitkisel özelliklerin baskın faktör olarak kullanıldığı modellerde toprak kayıplarına yönelik tahminlerin daha doğru olması sağlanacaktır.

Arazi çalışmalarında yapılan gözlemlerle toprak kayıpları haritasının basılabileceği uygun ölçeğin tam olarak belirlenememiş olmasına rağmen haritalama ünitelerinin büyüklüğü ve giriş verilerinin detayına bağlı olarak haritanın 1:25.000-1:100.000 ölçeğe basılabileceği sonucuna varılmıştır. Toprak kayıpları için hazırlanan 1:100.000 ölçekli harita ek-3'de sunulmuştur.

5.4. Korumada Öncelikli Alanlar, Öneri Haritaları ve Senaryolar

Göl havzası korumada öncelikli alanlara göre 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıfların belirlenmesinde potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumu birlikte değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede potansiyel olarak risk içeren ancak aşınmanın oluşmadığı derin toprakları içeren alanlar korumada en öncelikli sınıflar olarak tanımlanmış ve 1. derecede öncelikli alanlar olarak belirlenmiştir. Potansiyel erozyon riski az olan alanlar ise aşınma derecesine yani şimdiki erozyon durumuna göre 2., 3. yada 4. derecede öncelikli sınıfları olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.1'de potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumuna göre oluşturulan korumada öncelik sınıfları yer almaktadır.

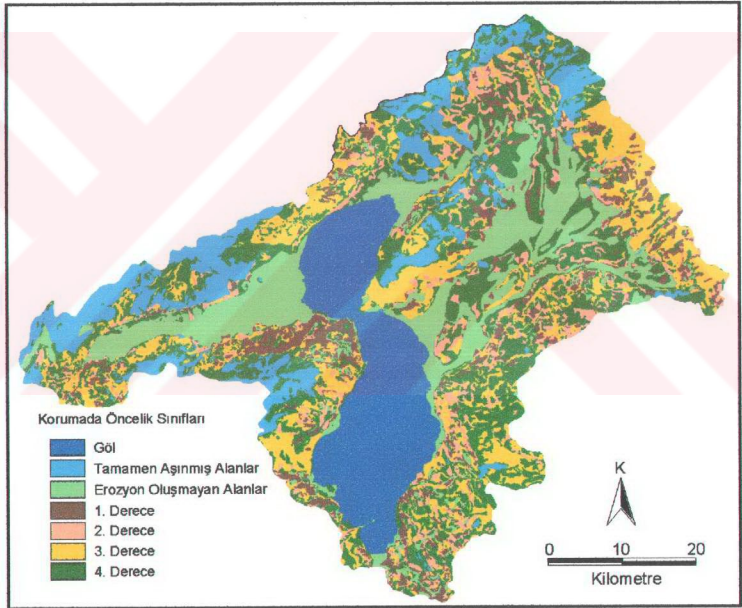
Çizelge 5.1. Potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumuna göre oluşturulan korumada öncelik sınıfları

Potansiyel Erozyon Riski Sınıfları	Şimdiki Erozyon Durumu Sınıfları	Korumada Öncelik Sınıfları
Çok Şiddetli	Hafif	1
Şiddetli	Hafif	1
Orta	Hafif	1
Çok Şiddetli	Orta	2
Şiddetli	Orta	2
Orta	Orta	2
Şiddetli	Şiddetli	3
Orta	Şiddetli	3
Hafif	Orta	3
Hafif	Şiddetli	3
Orta	Şiddetli	4
Hafif	Yok	4
Hafif	Hafif	4
Hafif	Çok Şiddetli	4

Korumada öncelikte 1. sınıf olarak tanımlanan alanlar, potansiyel erozyon riski orta, şiddetli yada çok şiddetli ancak şimdiki erozyon durumu hafif olarak tanımlanan alanları kapsamaktadır. Bu alanlar korunmadığı takdirde gelecekte aşınmanın en fazla ve en şiddetli derecede oluşması beklenen toprakları içermektedir. Korumada öncelikte 2. sınıf alanlar, potansiyel erozyon riski orta, şiddetli veya çok şiddetli şimdiki erozyon durumu ise orta olarak tanımlanan alanlardan oluşmaktadır. Potansiyel erozyon riski şiddetli ve şimdiki erozyon durumu orta, potansiyel erozyon durumu orta ve şimdiki erozyon durumu şiddetli, potansiyel erozyon durumu hafif ve şimdiki erozyon durumu orta veya şiddetli olan sınıflar korumada 3. derecede öncelikli sınıflar olarak tanımlanmıştır. Korumada öncelik sınıfı 4 olan alanlar, potansiyel erozyon riski hafif yada orta ancak şimdiki erozyon durumu şiddetli olan alanlar, potansiyel erozyon durumu hafif yada orta ve şimdiki erozyon durumu hafif yada erozyon yok olarak tanımlanan sınıfları içermektedir. Bu sınıfta iki farklı özelliğe sahip alanlardan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi topoğrafik özellikleri nedeniyle potansiyel erozyon riski hafif olan ve bu riske uygun olarak aşınmanın hafif olarak gerçekleştiği şimdiki erozyon durumu hafif olarak tanımlanan derin topraklardan oluşan alanlardır. İkincisi ise topoğrafik özellikleri nedeniyle erozyon

tehlikesinin çok yüksek olduğu ancak bu güne kadar oluşan erozyonla topraklarının büyük kısmının aşındığı ve bu sebeple artık potansiyel olarak erozyonun hafif derecede risk taşıdığı alanları içermektedir.

Potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumu erozyon "yok" olarak tanımlanan sınıflar korumada öncelikli alanlar içerisine alınmamıştır. Potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumuna göre oluşturulan korumada öncelikli alanları gösteren harita şekil 5.15'de verilmiştir. Korumada öncelikli alanlar için hazırlanan 1:100.000 ölçekli harita ek-4'de sunulmuştur.



Şekil 5.15. Korumada öncelikli alanları ve öncelik sınıfları

Bu değerlendirmeye göre hazırlanan korumada öncelik haritası koruma önlemleri haritasının oluşturulmasında altlık olarak kullanılmıştır. Korumada öncelik sınıfları kendi içerisinde sorgulanarak öneri haritası oluşturulmuştur. Öneri

haritasının oluşturulmasında korumada öncelik sınıfları dışında eğim büyüklüğü, arazi kullanım türü ve toprak derinliği özellikleri kullanılmıştır.

Bu özellikler korumada öncelik sınıfları için eğim % 9'dan büyük ve küçük olmak üzere iki grupta, toprak derinliği 20-50 cm, 50 cm'den az, 20 cm'den az 50 cm'den fazla olmak üzere dört grupta, arazi kullanım türü kuru-sulu tarım, mera-orman ve çıplak alanlar olmak üzere 3 grupta sorgulanmıştır.

Bu sorgulamaya göre korumada öncelik sınıfı 1 olan alanlar 11, korumada öncelik sınıfı 2 olan alanlar 12, korumada öncelik sınıfı 3 olan alanlar 10 ve korumada öncelik sınıfı 4 olan alanlar 8 sınıfta olmak üzere toplam 41 sınıf oluşturulmuştur. Çizelge 5.2'de korumada öncelik sınıfları, öneri sınıfları ve öneri sınıflarının eğim, arazi kullanımı ve derinliğine ait özellikleri verilmiştir. Bu sorgulamaya göre oluşturulan sınıflarla öneri haritası oluşturulmuştur. Şekil 5.16'da erozyonla mücadelede arazi kullanım türüne bağlı olarak oluşturulan öneri haritası yer almaktadır. Ek-5'de 1:100.000 ölçekli öneri haritası sunulmuştur. Öneri haritasını oluşturmak üzere kullanılan özelliklerden toprak derinliği ve eğim büyüklüğü potansiyel erozyon riskinin belirteçlerindedir ve insan müdahalesi ile değiştirilemeyecek özelliklerdir.

Arazi kullanım türü ise şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde kullanılan ve tamamen insanların kontrolünde olan özelliktir. Öneri haritası bu üç özellik dışında kalan diğer özelliklerin kullanımıyla da hazırlanabilir. Burada bu üç özelliğin seçilmesindeki temel neden yapılacak önerilerin daha çok arazi kullanım türüyle ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Arazi kullanım türünün erozyonu önlemede en etkili yöntem olması çalışmada önerilerin bu yönde yapılması gerekliliğini getirmiştir.

Korumada öncelikli alanlar için hazırlanan öneri haritalarındaki sınıflara göre yapılan genelleştirilmiş öneriler aşağıda yer almaktadır. Burada farklı öncelik sınıflarına ait alanlar için aynı öneriler getirilmişse de önerilerin uygulanmasında öncelikli alanlardan başlanması uygun görülmektedir. Bu nedenle öneri sınıflarının başına korumada öncelik dereceleri de eklenmiştir. Burada yapılan öneriler daha çok arazi kullanım türü üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Çizelge 5.2. Çalışma alanı için hazırlanan öneri sınıfları ve sınıfların özellikleri

Korumada Öncelik Sınıfı (K) ve Öneri Sınıfı (O)	Toprak Derinliği	Arazi Kullanım Türü	Eğim Büyüklüğü	Öncelik Sınıfı
K1-O1	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım	% 9'dan fazla	1
K1-O2	20-50 cm			
K1-O3	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
K1-O4	20-50 cm	Çıplak Alanlar		
K1-O5	50 cm'den fazla			
K1-O6	20-50 cm			
K1-O7	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım		
K1-O8	20-50 cm	Maki-Orman		
K1-O9	50 cm'den fazla			
K1-O10	20-50 cm			
K1-O11	50 cm'den fazla	Çıplak Alanlar		
	20-50 cm			
K2-O12	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım		
K2-O13	20-50 cm			
K2-O14	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
K2-O15	20-50 cm	Çıplak Alanlar		
K2-O16	50 cm'den fazla			
K2-O17	20-50 cm	Kuru-Sulu Tarım		
K2-O18	50 cm'den fazla			
K2-O19	20-50 cm			
K2-O20	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
K2-O21	20-50 cm	Çıplak Alanlar		
K2-O22	50 cm'den fazla			
K2-O23	20-50 cm			
-	50 cm'den fazla			
K3-O24	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım	% 9'dan fazla	3
K3-O25	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
K3-O26	50 cm'den fazla			
-	50 cm'den fazla	Çıplak Alanlar		
K3-O27	50 cm'den fazla			
K3-O28	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım		
K3-O29	50 cm'den fazla			
K3-O30	50 cm'den fazla			
K3-O31	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
K3-O32	50 cm'den fazla	Çıplak Alanlar		
K3-O33	50 cm'den fazla			
-	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım	% 9'dan az	
K4-O34	20 cm'den fazla			
-	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
K4-O35	20 cm'den fazla			
-	50 cm'den fazla	Çıplak Alanlar		
K4-O36	20 cm'den fazla			
K4-O37	50 cm'den fazla	Kuru-Sulu Tarım		
K4-O38	50 cm'den fazla			
-	50 cm'den fazla			
K4-O39	50 cm'den fazla	Maki-Orman		
-	50 cm'den fazla	Çıplak Alanlar		
K4-O40	50 cm'den fazla			
K4-O41	50 cm'den fazla			

- Verilen tanımlamaya uyan alanlar bulunmamaktadır.

az olan K1-O4, K2-O15 ve K3-O26 sınıflarında yer alan arazilerde ise orman örtüsünde gençleştirme uygulamalarından kaçınılması, toprak üstünde kalan artık materyallerin korunmasında yönelik uygulamaların yapılması ve bu alanlarda özellikle hayvan otlatmadan uzak durulması zorunlu görülmektedir. Eğimi % 9'dan fazla olan ve bitki örtüsü bulunmayan, arazi kullanım türü çıplak alanlar olarak tanımlanan alanlarda toprak derinliği 50 cm'den fazla olan K1-O5 ve K2-O16, sınıflarında ağaçlandırma çalışmalarının uygulanması, toprak derinliği 50 cm'den daha az olan K1-O6, K2-O17 ve K3-O27 sınıflarında ise kontrollü otlatma ile toprak yüzeyini kaplayan bitki örtüsünün güçlendirilmesi, mera bitkilerinin ekilerek bitki gelişimi için toprakların korunmasına destek sağlanması uygun görünmektedir. Eğimi % 9'dan az olan, arazi kullanım türü kuru tarım ve toprak derinliği 50 cm'den daha az olarak belirlenen K1-O8, K2-O19 ve K3-O29 sınıfında sıfır sürümle tarım yapılması, aynı eğimde ancak 50 cm'den daha fazla toprak derinliğine sahip K1-O7, K2-O18 ve K3-O28 sınıflarında yer alan arazilerin eşyükselti eğrilerine paralel sürümle toprakların işlenmesi uygun görünmektedir. Eğimi % 9'dan daha az olan, arazi kullanım türü maki-orman örtüsü olan ve toprak derinliği 50 cm'den fazla olan K1-9, K2-O20 ve K3-O30 sınıflarında ağaçlandırma çalışmalarının yoğunlaştırılması önerilmektedir. Arazi kullanım türü maki-orman olan, toprak derinliği 50 cm'den az olan ve eğimi 9'dan daha fazla bulunan K1-10, K2-O21 ve K3-O31 sınıfında bulunan arazilerde maki-orman örtüsünün korunması yanında özellikle sığ derinliklerde gelişebilen ve toprak yüzeyinde yoğun saçak kök oluşturan doğal bitkilerin yetiştirilmesine yönelik uygulamaların yapılması önerilebilir. Bu alanlarda otlatmadan tamamen kaçınılması uygun görünmektedir. Eğimi % 9'dan az olan, arazi kullanım türü çıplak alanlar olarak tanımlanan ancak toprak derinliği 50 cm'den fazla olan K1-O11, K2-O22 ve K3-O32 ağaçlandırma alanı olarak kullanılması, bununla birlikte kültür bitkilerinin yetiştirildiği agroforest sistemlerinin uygulanması, toprak derinliği 50 cm'den az olan K2-O23, K3-O33 ve K3-O40 sınıfların öncelikli olarak mera yetiştiriciliğinin yapılması ve eğer tarımsal üretim düşünülyorsa kekik gibi doğal tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi önerilebilir.

Korumada önceliği 4. sırada yer alan eğitim ve arazi kullanım türü yönünden az riskli olan ve K4-O37 ve K4-O38 sınıfında yer alan arazilerin eşyükselti eğrilerine

paralel sürüm, münavebe ve uygun sulama sistemlerinin kurulması, arazilerin yeteneklerine uygun yönetilmesiyle korunabilecektir. Maki ve orman örtüsüne sahip K4-O35 ve K4-O39 sınıfında yer alan arazilerde mevcut bitki örtüsünün korunması, gençleştirme uygulamaları önerilebilir. Korumada öncelik sınıfı 4 olan eğim yönünden çok riskli olan ancak topraklarının aşınması sonucu 20 cm'den daha az toprak derinliğine sahip olan K4-O34 ve K4-O36 sınıflarında her türlü işlemeli tarımdan uzak durulması, hayvan otlatılmasına karşı korunması ve topraklarda doğal bitki örtüsünün oluşmasına katkı sağlanması uygun görülmektedir. K4-O41 sınıfı iki farklı gurup öneride bulunulmuştur. Bunlardan birincisi potansiyel olarak risk içermeyen ve şimdiki erozyon durumu "erozyon yok olarak" tanımlanan alanların mevcut arazi kullanım türüne göre toprakların kullanımının devam edilmesidir. İkincisi ise çok şiddetli aşınma gösterdiği ve bu nedenle potansiyel olarak erozyon riskine sahip olmayan alanlardaki toprakların kendisini yenilemesi için doğal hayata terk edilmesidir.

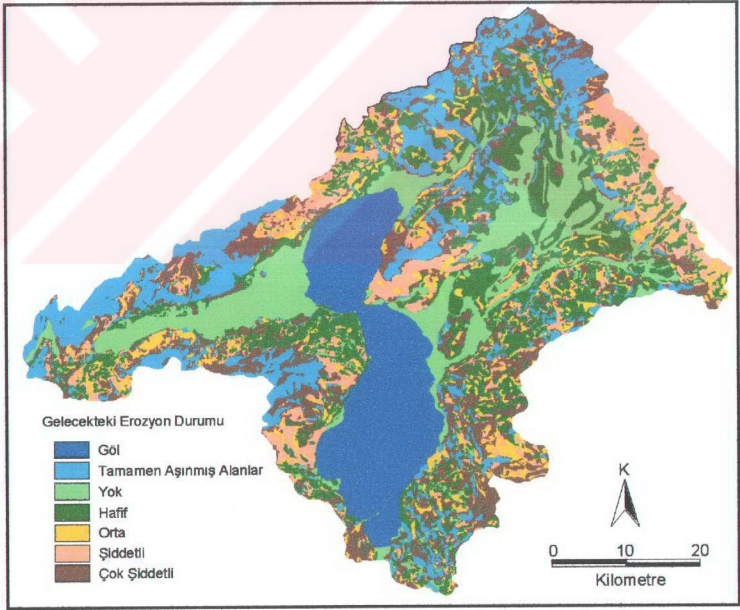
Erozyon oluşmayan alanlar için erozyonla mücadelede herhangi bir öneri getirilmemiştir. Bu araziler havzanın ortasında düz ve düze yakın eğimde yer almaktadır. Ayrıca yamaçlardan ve yüksek arazilerden uzanan derelerin boşaltma ağzlarını oluşturmaktadır. Korumada öncelik sınıfı 1, 2, 3 ve 4 olan araziler için korumaya yönelik yapılan önerilerle erozyon oluşmayan alanların taşkın ve sel basmalarından ve sediment akışı ve siltasyondan korunmuş olacaktır.

Tamamen aşınmış alanlar ise doğal hayata terk edilmesi, bu alanlardan gelen su hatlarının ve su yollarının çeşitli fiziksel önlemlerle kontrol edilmesi uygun görülmektedir. Ayrıca yüzey akış haritasına göre tahmin edilen su akışının tarım arazilerine zarar vermeden sulama amaçlı kullanımı yada bir tahliye kanalı ile toprak aşınmasına neden olmadan göl rezervuarına boşaltılması önerilebilir.

Burada getirilen öneriler erozyon modelini oluşturan arazi kullanım türleri üzerine temellendirilmiştir. Multidisipliner bir çalışma ile tarımsal üretim yada orman yönetimi konularında uygun bitki çeşitlerinin seçilmesi, erozyon planlayıcılarıyla kültürel yada fiziksel önlemlerin geliştirilmesi toprakların korunmasında daha uygun sonuçların üretilmesine katkı sağlayacaktır.

Yukarıda verilen korumada öncelikli alanlar için açıklanan önerilerin uygulanması yada öncelikli alanlarda arazi kullanım türlerinin iyileştirilmesi veya fiziksel önlemlerin getirilmesi halinde erozyon oluşumu azalacak ve tamamen aşınmış alanların artması önenebilecektir.

Koruma önlemlerinin uygulandığı varsayımı üzerine kurulan iyi senaryonun tersi olarak koruma önlemlerinin alınmayarak arazilerin kullanımındaki yanlışlıkların düzeltilmemesi, doğal bitki örtülerinin bozulması ve arazilerin yeteneklerine uygun olarak kullanılmaması halinde ise gelecekte göl havzası için bir felaket oluşacaktır. Bu senaryoya göre potansiyel erozyon riski haritasında yer alan çok şiddetli erozyon riski içeren alanların tamamen aşındığı ve şiddetli erozyon riski içeren sınıfların çok şiddetli derecede erozyona uğradığı varsayımının şimdiki erozyon durumu haritası ile birleştirilmesi sonucu oluşturulan taslak harita şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Arazi bozulmasındaki sürekliliğin devamı sonucu oluşabilecek erozyon durum haritası

Buna göre başladığı yerden yayılarak genişleyen erozyon sonucu tamamen aşınmış alanlarda büyük artış olacak, potansiyel erozyon riski şiddetli ve çok şiddetli olarak değerlendirilen alanlarda aşınmalar oluşacaktır. Bu senaryoda her ne kadar potansiyel erozyon riski olmayan alanlarda bir değişme olmayacak ve aşınma oluşmayacaksa da özellikle yüksek yamaçlarda ve dik/çok dik eğimlerde yüzey akışla taşınan topraklar erozyon oluşmayan alanlarda birikmeye başlayacak böylece erozyonun zararlarından biri olan verimli arazilerin siltasyonla kaplanması olayı gerçekleşecektir. Ayrıca yüzey akış haritasının yorumu ile düz arazilerin sık sık taşkınlarla uğraması kaçınılmaz olacaktır. Bu senaryo ile Eğirdir gölüne gelen toprak miktarında onlarca katlık bir artış olacak ve 100 yıldan daha az bir sürede göl havzasının tamamı topraklarla dolacaktır.

İki farklı senaryo üzerine kurulan haritalar karşılaştırıldığında koruma önlemlerine dikkat edilmemesi ve doğal örtünün bozulması halinde oluşabilecek bozulmanın koruma önlemlerinin alınması halinde olabilecek düzelmeye göre hayli fazla olması doğal kaynakların yönetimi ve korunması konusunda ne kadar fazla dikkat edilmesi gerektiğinin çarpıcı bir örneği olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.5. Çalışmada Kullanılan Parametrelerin Değerlendirilmesi

Çalışmada giriş verisi olarak 1:25.000 ölçekli standart topoğrafik harita, 1:500.000 ölçekli jeolojik harita, 1:100.000 ölçekli toprak haritası kullanılmıştır. İklim verileri meteoroloji istasyonlarından ölçülen değerlerin uzun yıllar ortalamalarından, hayvancılık durumu DİE istatistiklerinden, mera kullanımı ve koruma önlemlerine ait bilgiler Tarım il ve ilçe müdürlüklerinden sağlanmıştır. Giriş verisi olarak kullanılan haritaların ölçeği ve detayı çalışma sonunda oluşturulan sonuç haritalarının ölçeği ve detayını doğrudan etkilemiştir. Farklı ölçeğe sahip haritalar ve farklı detaya sahip noktasal verilerin aynı model içerisinde birbirleri ile ilişkilendirilmesinde metot olarak bazı zorluklar oluşmuştur.

Tez çalışmasında topoğrafik özelliklerden eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu kullanılmıştır. Eğim büyüklüğü ve eğim uzunluğu 1:25.000 ölçekli standart topoğrafik haritada yer alan eşyükselti eğrilerinden 50 m'de geçenler kullanılarak oluşturulan DEM'den sağlanmıştır. Her ne kadar bu haritada 10 m'den geçen

eşyükselti eğrileri bulunmaktaysa da çalışma alanı için kullanılan toprak haritası, jeolojik harita, iklim verileri ve diğer giriş bilgilerinin detay dereceleri göz önünde alındığında bir göl havzasına ait DEM oluşturulması için bu detay yeterli olmuştur. Potansiyel erozyon riskinin belirlenmesinde eğim uzunluğunun kullanılması bir yenilik olarak düşünülmüştür. Eğim uzunluğunun kullanımı ile aynı eğim büyüklüğüne sahip fakat yöneylerde bulunan ve birbirine komşu olan alanlar ayrılmış, bu alanların yüzey akış miktarları farklı değerlendirilmiştir.

Erozyonun derecelendirilmesinde ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde eğim en önemli faktördür. Doğal su yolu, dere yatağı yada su toplama havzasında yapılacak bir çalışmada eğim özelliklerinin belirlenmesinde DEM oluşturmak en doğru yöntemdir. Ancak bu çalışmada amaçlanan detay ve üretilmesi planlanan sonuç haritasının ölçeğine bağlı olarak DEM oluşturmak için kullanılacak eşyükselti eğrilerinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Bir genelleme ile 1:25.000 ölçekli sonuç haritası oluşturmak için 10 m'den geçen eşyükselti eğrileri, 1:50.000 ölçekli sonuç haritası oluşturmak için 50 m'den geçen eşyükselti eğrileri, 1:100.000 ölçekli sonuç haritası oluşturmak için 100.000 m'den geçen eşyükselti eğrilerini kullanmak yeterli olmaktadır.

Çalışmada giriş verisi olarak kullanılan toprak haritasının ölçeğinin küçük olması ve toprak haritasında yer alan bilgilerin detayının yetersiz olması derecelendirme metodunun geliştirilmesinde ve toprak kayıplarının hesaplanmasında bazı zorluklar oluşturmuştur. Çalışmada toprak özelliklerinden tekstür, derinlik ve taşlılık kullanılmıştır. Toprak haritasında tekstürün ince, orta ve kaba olarak yalnızca üç sınıfa ayrılmış olması ve çalışma için bu sınıfların kullanılması bir dezavantaj oluşturmuştur. Toprak tekstürünün daha detaylı olarak ayrılması derecelendirme metodunun geliştirilmesinde ve özellikle toprak kayıplarının tahmininde daha doğru ve detaylı sonuçlar verecektir. Sonuçların yalnızca bu üç toprak özelliği ile belirlenmesi oluşan erozyon miktarının tahmininde ve erozyon oluşum derecesinin belirlenmesinde bazı detayların gözden kaçırılmasına neden olmuştur. Toprağın içerdiği ince kum ve silt miktarı, organik madde miktarı ve toprak strüktürü erozyon olayında önemli faktörlerdendir. Ayrıca agregat stabilitesi, agregat büyüklüğü dağılımı ve suya dayanıklı agregatların miktarının bilinmesi toprak kayıplarının

tahmininde büyük yarar sağlayacaktır. Veri haritasında bu bilgilerin olmaması ve çalışmada bu verilerin kullanılmaması bir eksiklik olarak görülebilir. Ancak bu çalışma ülkemizin tamamı için hazırlanmış olan haritalar ve veriler ile erozyonun belirlenmesi amaçlamıştır. Bir başka deyişle bu güne kadar hazırlanmış haritalar, yağış verileri ve diğer rakamsal verileri kullanarak sonuç haritaları üretmek için bir metod geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan tez çalışmasında istenilen planlanan detayda sonuçlar elde edilmiş, hedeflenen ölçekte sonuç haritaları üretilmiştir.

Toprak kayıpları konusunda yapılan bir çok çalışmada toprak derinliği, yüzey taşlılığı ve ana materyali etkili birer faktör olarak kullanılmamıştır. Çalışmada bu üç özelliğin giriş verilerinde düzeltme faktörü olarak kullanılması erozyon oluşumunda etkili olan faktörlerin toprak kayıplarına olan etkisini ilişkilendirmede zenginlik sağlamıştır.

Giriş verisi olarak kullanılan toprak haritası ile ilgili olarak karşılaşılan en önemli sorun haritalama birimlerindeki eksiklikler yada yanlışlıklardan kaynaklanmıştır. Oluşturulan sayısal toprak haritasından tekstür ve derinlik haritaları üretildiği zaman derinlik haritasında yer alan ve çıplak kayalık olarak tanımlanan bazı haritalama üniteleri tekstür haritasında çıplak kayalık olarak görünmemiştir. Bu ikilemi çözmek amacıyla tekstür haritasında yer alan çıplak kayalıklar esas alınmıştır. Toprak haritalarının erozyonun belirlenmesi dışında tarımsal yönetimde temel unsur olması ve ülkemiz toprakları için hazırlanmış olan bu haritaların yeterli ölçek ve detaya sahip olmaması nedeniyle acil olarak detaylı temel toprak haritalarının hazırlanması gerekliliği bir kez daha ortaya konmuştur.

Çalışmada kullanılan diğer bir harita jeoloji haritasıdır. Jeoloji haritasından formasyonların çeşidi ve zamanına göre ana materyal haritası üretilmiştir. Jeoloji haritasında yer alan formasyonların çeşidi ve zamanına bağlı olarak ana materyal haritasının üretimi, üretilen bu haritanın modelde kullanımı erozyon derecelerinin belirlenmesinde ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde sonuçların doğruluğunu artırmıştır. Nitekim potansiyel erozyon riski haritasının tartışıldığı bölüm 5.1'de ve şekil 5.6'da ana materyal etkisi detaylarıyla açıklanmıştır.

Çalışmada giriş verisi olarak tartışılması gereken en önemli özelliklerden birisi yağış verileridir. Çalışma alanında 8 farklı yağış istasyonundan yıllık yağış yoğunluğu ve yağışlı gün sayısına ait bilgiler sağlanmıştır. Bu yağış istasyonlarından biri büyük diğerleri ise küçük istasyonlardır. Yağış istasyonlarından alınan noktasal veriler fizyografya ve yüksekliğe bağlı olarak alansal verilere dönüştürülmüştür. Yani her bir yağış istasyonundan ölçülen değerlerin kapladığı alanların sınırları çizilmiştir. Ancak gerçekte yağışa ait özelliklerin kesin sınırlarla ayrılması mümkün değildir. Dünyada yapılan bazı çalışmalarda çeşitli modeller yardımıyla iki yağış istasyonu arasında kalan alanlara ait bilgiler CBS ortamında modellenebilmektedir. Yağışın modellenmesi daha çok raster/hücre tabanlı çalışmalarda uygulanabilmektedir. Tez çalışmasında böyle bir yaklaşımla yağış haritasının oluşturulamamasının temel nedeni çalışmanın vektor/çizgi tabanlı olmasından kaynaklanmaktadır. Toprak kayıplarının belirlenmesinde kullanılan mMMF modelinin giriş verisi olan erozyon oluşturan yağış yoğunluğu (I) tüm yağış istasyonları için 15 mm/saat olarak kullanılmıştır. Yağış yoğunluğunun farklı yağış özelliklerine sahip alanlarda farklı olması gerekmektedir. Ancak istasyonların her biri için I değerlerinin belirlenmemiş olması bu çalışmada böyle bir varsayımı gerektirmiştir. Nitekim dünyada yapılan çeşitli çalışmalarda da bu yöntem uygulanmıştır (Jain ve ark., 2001). Ayrıca mMMF modelinde yağış yoğunluğunun logaritmik bir kriter olarak kullanılması diğer özellikler sabit kaldığında sonuçta hesaplanan toprak kayıplarına olan etkisi çok fazla olmamaktadır. Havza ölçekli çalışmalar için yapılan bu varsayım sonuç haritalarının doğruluğuna olan olumsuz etkisi göz ardı edilebilir.

Noktasal verilerin alansal verilere dönüştürüldüğü diğer bilgiler ise mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı ve koruma önlemleridir. Bu özellikleri ilişkilendirmek amacıyla hazırlanan haritalarda ilçe sınırları kullanılmıştır. Giriş verisini oluşturan diğer haritalar ile karşılaştırıldığında mera kullanımı, hayvan yetiştirme alışkanlığı ve koruma önlemleri için hazırlanan haritalar 1:1.000.000-1:5.000.000 ölçekte detaya sahiptir. Ayrıca bir yıl gibi kısa bir sürede değişebilen sosyal olguların 4-5 yıl önceki verilere göre hazırlanması bir eksiklik olarak görünebilir. Ancak dünyada yapılan bir çok çalışmada erozyon haritalarının

oluşturulmasında sosyal etkenlerin kullanılması gerekliliğinin belirtilmesi bu çalışmada yeni bir aşama olarak gerçekleştirilmiştir. Bölgenin kültüründe ve özellikle yüksek alanlarda yer alan yerleşim birimlerinde, orman içi köylerinde keçi yetiştiriciliğinin olması havza için yapılan bu çalışmada sosyal eğilimin değerlendirilmesinde geçerli bir neden olmuştur.

Günümüzde bir çok çalışma için uydu verileri ile arazi kullanımı ve bitki yoğunluğunun belirlenmesi alışılmışı uygulamalardandır. Arazi kullanım durumu ve bitki yoğunluğu kullanılan uydu verisinin çözünürlüğü, alınma zamanı ve kullanılan bantlara bağlı olarak başarı % 90'ın üzerinde olmaktadır (Dinç ve ark., 1994). Arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğu şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde en önemli kriterlerdir. Bu önemli kriterlerin uydu verilerinden sağlanması çalışmanın doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Erozyonun izlenmesi, senaryoların üretilmesi ve önerilerin getirilmesinde arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğunun kullanılması uydu verilerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Ayrıca günümüzde bir çok erozyon tahmini mevsimlere göre yapılmaktadır. Mevsime bağlı arazi kullanımı ve bitki yoğunluğunun belirlenmesinde pratikte uygulanabilir tek yöntem uydu verilerinin kullanımınıdır. Bunun nedeni bir yıl içerisinde aynı alana ait bilgilerin uydular tarafından bir çok kez algılanması dolayısıyla güncel verilerin kolaylıkla sağlanabilme olanaklarının varlığıdır.

Bu çalışmada kullanılan verilerden en güncel olanı arazi kullanımı türü ve bitki yoğunluğudur. Çalışmada 2000 yılına ait Landsat-7 ETM+ uydu verisi kullanılmıştır. Landsat uydu verisi kullanılarak hazırlanan arazi kullanım türleri ve bitki yoğunluğu haritaları 1:25.000 ölçekli detaya sahiptir. Landsat uydu verisinin çözünürlüğünün 30x30 m (900m²) olması bu detayda bilgilerin sağlanmasını olanaklı hale getirmiştir. Uydu verilerinin kullanımı ile ilgili daha detaylı tartışmalar ayrı bir başlıkta sunulmuştur.

5.6. CBS'nin Kullanımının Değerlendirilmesi

Coğrafi bilgi sistemleri genellikle, bir alan, durum yada olaylar hakkında verileri toplamaya, depolamaya, analiz etmeye, işlemeye, yaygınlaştırmaya ve

sunmaya yarayan yazılım ve donanım sistemleri bütünü olarak tanımlanmaktadır (Lillesand and Kiefer, 2000). Coğrafi bilgi sistemlerinde giriş verisinin kaynağını haritalar, fotoğraflar, uydu verileri, manyetik ölçümler, KKS ölçümleri ve diğer sayısal değerler oluşturmaktadır.

Verilerin coğrafi bilgi sistemlerine aktarılmasındaki metodlar ise, sayısallaştırma, tarayıcılar, manyetik ortam, tekst dosyaları ve rakamsal tablo verileridir. Bu veriler çizgisel, noktasal ve alansal formatta sisteme tanıtılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri bu verilerin birbirleri ile ilişkilendirilmesine olanak sağlayan, verileri ölçekli haritalar haline dönüştürebilen ve sorgulayabilen özellikler ile donatılmıştır. Ayrıca bu sistemlerde vektör/çizgi tabanlı harita katmanlarını raster/hücre tabanlı haritalara katmanları üzerine çakıştırmaya (overlay) ve birbirlerine dönüştürmeye (transform) olanak sağlayan yazılımlar bulunmaktadır (ESRI, 1994).

Tez çalışması CBS'nin tanımı ve kullanımında verilen bu özelliklerin tamamını kapsamıştır. Her şeyden önce haritalama amacıyla bir model çalışması CBS olmaksızın yapılması oldukça güçtür. Bu nedenle tez çalışmasında işlemler CBS ortamında yürütülmüştür. Çalışmada hücre, alan ve noktasal veri formatları kullanılmış, veri girişi olarak haritalar, uydu verileri, arazi kontrollerinde KKS ölçümleri kullanılmıştır. Veriler birbirleriyle ilişkilendirilmiş, farklı ölçek ve detayda haritalar çakıştırılmış, raster/hücre formatlı haritalar vektör/çizgi formatlı haritalara dönüştürülmüş sorgulama yapılmış ve matematiksel denklemler kurularak sonuç haritaları üretilmiştir.

Modelde 12 farklı veri haritası üst üste çakıştırılmış ve bu haritaların veri tabanları birleştirilmiştir. Toprak kayıplarının hesaplandığı son haritada toplam 87.496 poligon oluşturulmuştur. Ortalama poligon büyüklüğü 3-4 dekar olmuştur. Erozyon derecelerini ve toprak kayıplarını belirlemek üzere hazırlanan sonuç haritasının veri tabanı yaklaşık 7 milyon hücrelik bir tablo haline gelmiştir. Bu kadar fazla bilginin işlenmesi, sorgulanması, değerlendirilmesi ve haritalar halinde gösterilebilmesinde doğruluk ve zaman yönünden en faydalı metot CBS kullanımı olmaktadır. Erozyonun modellenmesinde CBS kullanımının getirdiği avantajlar bir çok çalışmada vurgulanmıştır (Oslin ve ark., 1988, Mitas ve ark., 1988, Fabri, 1991).

CBS yazılımları ile topoğrafik haritada yer alan eşyüksekti eğrilerinden her 50 m'de geçenler sayısallaştırılarak DEM oluşturulmuştur. DEM kullanılarak eğim büyüklüğü, eğim yönü, eğim uzunluğu, yükseklik haritaları ve kabartma görünüm üretilmiştir. Ayrıca bu haritaların üretiminde oluşturulmak istenilen sınıfların sayısı ve sınırlarının belirlenmesi mümkün olmaktadır. CBS ile bu haritaların üretimi için harcanan süre geleneksel metotlar kullanılarak harcanan süre ile karşılaştırılmayacak kadar az olmaktadır. Sharma ve Surendra'ya (1995) göre bu DEM oluşturularak haritaların üretilmesinin yanında suyun akışına ait modellerinde kısa sürede geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

Pentium III 800 işlemciye sahip bilgisayarların kullanıldığı bu çalışmada DEM oluşturmak için 12 saatlik bir sürede, haritaların oluşturulması ve veri tabanlarında matematiksel işlemlerin yapılmasında bazı işlemler için 30-60 dakikalık sürede yapılabilir. Ayrıca çalışmada oluşturulan sonuç haritalarının proje klasörleri 1-1.5 GB büyüklüğüne ulaşmaktadır. Bu sonuçlarla CBS'nin kullanıldığı çalışmalarda yazılımların yanında donanımlarında seçimi çalışmanın hızı için önem taşımaktadır. Donanım konusunda işlemlerin yapılma süresi vektör tabanlı bir model kullanılması ile ilişkili olmuştur. Bir çok modelleme çalışmasında raster tabanlı sistemler kullanılmaktadır. Özellikle havzalar için yapılan ve uydu verileri ile bilgi sağlanan erozyon modelleme çalışmalarında raster/hücre tabanlı modeller tercih edilmekte, çalışmanın detayına bağlı olarak gridler oluşturulmakta ve bu gridler kullanılarak modelleme yapılmaktadır. Bu çalışmada havza-ölçekli vektör/çizgi tabanlı sayısal bir erozyon modeli kullanılmıştır. Vektör tabanlı sistemlerin seçilmesindeki en büyük sebep küçük ölçekli haritalar kullanılarak daha büyük ölçekli erozyon haritasını üretmektir. Nitekim üretilen sonuç haritaları en az 1:50.000 ölçekte basılabilecek detayları içermektedir. Raster tabanlı modellerde sonuç haritasının ölçek ve detayını etkileyen nedenlerden biriside grid büyüklükleri olmaktadır. Vektör/çizgi tabanlı modellerde bu sorun aşılmaktadır. Vektör/çizgi tabanlı modellerin en büyük sorunu giriş verilerinin ve bu verilerden üretilen bilgilerin vektörlere dönüştürülmesidir. Her ne kadar bir çok CBS yazılımında raster/hücre ünitelerinin vektörlere dönüştüren modüller yer almaktaysa da detay

derecesi yüksek verilerde sayısallaştırma ile harita oluşturmak zorunlu olmaktadır. Bu sorun çalışmada sayısallaştırma için harcanan zamanı artırmaktadır.

Vektör/çizgi tabanlı modellerde farklı harita katmanlarının üst üste çakıştırılması ile yeni poligonal üniteler oluşmaktadır. Haritaların çalıştırması ile veri tabanı da yeniden oluşmaktadır. Bu özellik vektör/çizgi tabanlı modellerde detaylı sonuçlar üretilmesine olanak sağlamaktadır. CBS’inde veri tabanının oluşturulduğu tabloları içeren dosyalar (.dbf) veri işlemede kullanılan bir çok program tarafından işlenebilmekte, hatta Excel ve Access gibi Office programları kullanılabilmiştir. Ayrıca CBS yazılımlarında farklı tabloların veri tabanına linklerle bağlanabilmesi veri girişinde büyük kolaylık sağlamıştır.

Vektör/çizgi tabanlı modellerde veri girişi karmaşık ve zaman uzun zaman alan bir yöntemdir. Ancak bu modeller planlama amaçlı çalışmalar için çok uygundur. Planlama aşamasında model içerisinde kullanılmayan ancak planlama için gerekli olan özelliklerinde katmanlar halinde girilerek mevcut ünitelerin tekrar bölünebilmesi vektör/çizgi tabanlı modellerin avantajlarından olmaktadır. Çakıştırma ve sorgulama işlemleri vektör/çizgi tabanlı modellerde daha detaylı bilgiler vermektedir.

Vektör/çizgi tabanlı modellerin en büyük dezavantajı raster/hücre tabanlı haritalarda oluşturulan sınıfların değiştirilmesi gerektiğinde ortaya çıkmaktadır. Örneğin DEM’den hazırlanan % 0-3 eğime sahip alanlar sayısallaştırılarak vektör tabanlı bir harita haline dönüştürülmektedir. Çalışmada % 0-3 eğim yerine % 0-2 eğim kullanılması gerektiğinde eğim sınıfının tekrar oluşturularak sayısallaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle vektör/çizgi tabanlı modellerde veri girişi yapmadan önce modelin detayları ile belirlenmesi ve sınıfların sınırlarının tam olarak kesinleştirilmesi gerekmektedir.

Vektör/çizgi tabanlı modellerle yapılan sorgulama işlemlerinde bağımsız her bir poligon sorgulama bilgisine bağlı olarak ayrılabilir. Nitekim çalışma alanının potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumuna bağlı olarak hazırlanan korumada öncelikli alanlar ve bu alanlarda eğim, toprak derinliği ve arazi kullanım türüne bağlı olarak hazırlanan öneri haritalarının oluşturulmasında farklı özelliğe sahip en küçük haritalama birimi ayrırtedilebilmiştir.

Çalışmada erozyon oluşumunda etkili olan özelliklerin her biri için bir harita katmanı üretilmiş ve bu katmanlar kullanılarak derecelendirme metoduna göre sonuç haritaları üretilmiştir. CBS aynı veri katmanlarının kullanımıyla farklı modeller oluşturmaya olanak sağlamıştır. Girilen bu veri haritaları kullanılarak toprak kayıpları modeli uygulanmış ve çalışma alanında oluşan yıllık toprak kayıpları tahmin edilmiştir. Veri haritaları oluşturulduktan sonra yeni bir modelin kurulması için gerekli olan mevcut veri tabanına model için uygun değerlerin girilmesidir. Bu işlem ise çok fazla zaman almamaktadır. CBS'nin bu yönde kullanımı farklı modellerin karşılaştırılmasında zaman ve emek yönünden büyük kazanç sağlamaktadır.

5.7. Uydu Verilerinin Kullanımının Değerlendirilmesi

Çalışmada arazi kullanım türleri ve bitki yoğunluğunun haritalanması amacıyla 2000 yılı Ağustos ayında alınmış Landsat-7 ETM+ uydu verisi kullanılmıştır. Landsat uydusunun çözünürlüğünün 30x30 m olması ve ayırt edilebilen en küçük alanın yaklaşık 1 dekar (900 m²) olması bu çalışma için yeterli görülmüştür. Ayrıca Landsat verisinin bir görüntüsünün 185x185 km² alanı kapsamaması, çalışma alanı için gerekli verinin tek görüntü ile sağlanabilmesi bu uydunun seçilme nedenlerindedir. Verinin alındığı Ağustos ayı bölgede bitki örtüsünün en iyi ayırt edilebildiği zamanlardan biridir. Ağustos ayı kuru tarım alanlarında hasadın bitirildiği, sulu tarım alanlarının halen yeşil olduğu dönemi kapsamaktadır. Uydu verisinin sınıflandırılmasında 3., 4. ve 7. bantlar seçilmiştir. Bu bantların seçilme nedeni uydu verisinin alınma döneminde arazi kullanım türlerinin en iyi ayırt edilebildiği bantlar olmasıdır. Arazi kullanım türlerinden maki örtüsü genellikle kayalıklar üzerinde oluşmuş yapıdadır. Landsat uydusunun 7. bandı maki örtüsünün kayalıklarla karışım oranlarına göre ayırt edilebildiği bant olmuştur. Nitekim Wu ve Price (1997) USLE modeli için gerekli bitki örtüsü faktörünün belirlenmesinde Landsat TM görüntülerinin 3., 4., 5. ve 7. bantlarının en uygun sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Çalışmada arazi kullanımının belirlenmesi amacıyla ilk önce Eğirdir gölü maskelenmiştir. Daha sonra göl havzası 5 alt havzaya ayrılmış ve görüntü işleme

işleri her havza için uygulanmıştır. Seçilen bu yöntem ile gölden olan yansımının seçilen sınıflandırma metodunda sınıflara ait ortalamalar ve standart sapma üzerine etkisi engellenmiş, havzaların ayrı ayrı sınıflandırılmasıyla sınıf sayısına bağlı olarak istenen detayda üniteler oluşturulmuştur. Bu çalışmada arazi kullanım türünü belirlemek için en uygun sınıf sayısı 11 olarak belirlenmiştir. Daha az sınıflarla yapılan sınıflamada orman örtüsü ile sulu tarım alanlarının yansımaları, çıplak alanlar ile kuru tarım alanlarının yansımaları birbirine karışmış, daha fazla sınıf kullanıldığında ise sulu tarım alanlarındaki farklı meyve ağaçları ayrılmıştır. Arazi kontrollerinde her havzadan 2 farklı test alanı seçilmiştir. Test alanlarında yer alan sınıfların hangi arazi kullanım türüne karşılık geldiği belirlenmiş ayrıca her iki test alanında yer alan ortak sınıfların aynı arazi kullanım türünü temsil ettiği kontrol edilmiştir. Ayrıca test alanlarında bitki yoğunluğunu belirlemek amacıyla NDVI'ye (normalize edilmiş bitki indeksi) göre oluşturulan sınıflar da kontrol edilmiştir. Şekil 5.18'de 5 nolu havzadan seçilen test alanlarından biri örnek olarak verilmiştir. Arazi çalışmasında test alanını kontrol etmek üzere zenginleştirilmiş uydu verisi (5.19a), kontrolsüz/eğitimsiz (unsupervised) sınıflama metoduna göre oluşturulan 11 sınıflık görüntü (5.19b) ve NDVI'ye göre oluşturulan görüntü (5.19c) kullanılmıştır. Şekil 5.19d'de 11 sınıflık arazi kullanım türü görüntüsünün birleştirilmesi ile oluşturulan 5 sınıflık görüntü yer almaktadır.

Uydu verilerin işlenmesinde sınıflandırılmaya alınmayacak alanların maskelenmesi ve bitki yoğunluğunun NDVI metoduna göre bulunması geçerli bir yöntem olmuştur. Suri ve Hofierka, (2001) UA ve CBS kullanarak geniş alanlarda su erozyonunun tanımlanması amacıyla çıplak alanları maskeleyerek uydu verisinde NDVI ile bitki indeksi hesaplanmıştır.

Şekil 5.18'de yer alan zenginleştirilmiş uydu verisinin gözle yorumuyla üç farklı arazi kullanım türü belirlenebilmektedir. Bunlar sarı renkte görülen kuru tarım alanları, açık yeşil renkte görülen sulu tarım alanları ve koyu yeşil renkte görülen orman örtüsüdür. Bu görüntüde siyah renkli alanlar gölü temsil etmektedir. Aynı görüntünün daha küçük ölçekli görüntüsü şekil 5.19a'da yer almaktadır. Görüntünün sınıflandırılmasıyla alanda 8 farklı sınıf belirlenmiştir (Şekil 5.19b).

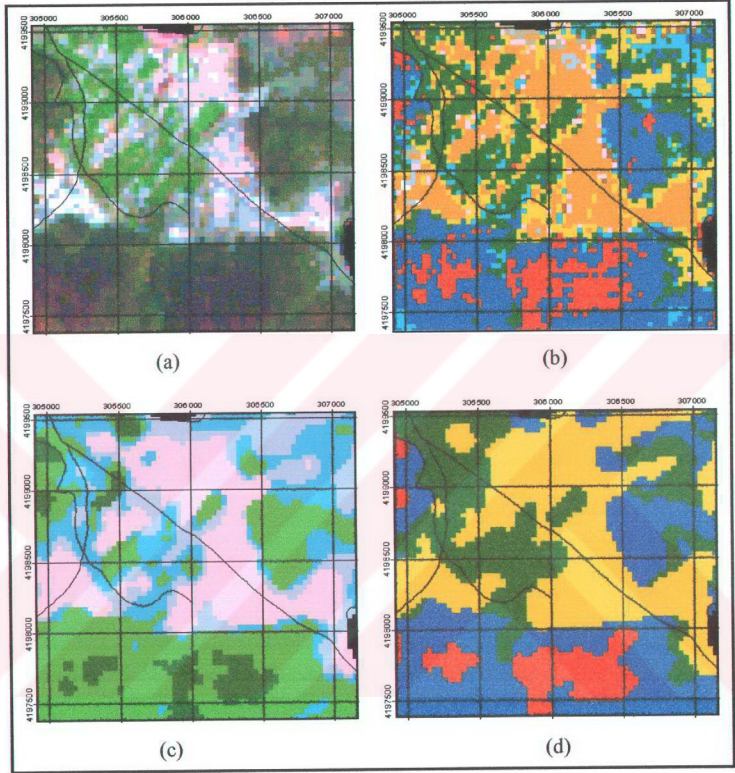


Şekil 5.18. 5 no'lu havzadan seçilen test alanlarından biri

Yapay renkli bu sınıflarda koyu yeşil renk sulu tarım alanlarını, kırmızı renk 4-6 m yüksekliğinde meşe, ardıç ve sedir karışımı orman örtüsünü, portakal rengi düz alanlarda yer alan sık bitkilerle dolu kuru tarım alanlarını, sarı renk hafif eğimli yamaçlarda seyrek bitki gelişiminin olduğu kuru tarım alanlarını, mavi renk 1.5 m'den daha yüksek makilik ve bozulmuş orman örtüsünü, kahverengi % 50'sinin kayalık ve % 50'sinin 1.5 m yüksekliğinde makilikleri, turkuvaz renk % 70 kayalık ve % 30 2 m boyunda maki türlerini, pembe renk nadas alanları, sütlü kahverengi ise mera örtüsünü göstermiştir.

Görüntünün işlenmesi ve sınıfların birleştirilmesiyle koyu yeşil sulu tarım alanları, kırmızı renk orman örtüsü, mavi renk (mavi+turkuaz+kahverengi+sütlü kahve) makilik, sarı renk (sarı+portakal rengi+pembe) kuru tarım alanları olarak arazi kullanımı belirlenmiştir.

Bitki yoğunluğuna göre ayrılan 4 sınıfın arazi kullanım türü içindeki dağılımı NDVI metodunun hassasiyetini göstermektedir. Aynı arazi kullanım türüne sahip alanlarda farklı NDVI değerleri belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Belirlenen bu sınıflar aynı kullanıma sahip alanlarda yetişen bitkilerin gelişim derecesini ifade etmiştir (5.19c).



Şekil 5.19. 5 no'lu havzada yer alan test alanında (şekil 5.18) uydu verilerinin kontrol görüntüleri

Landsat uydu verisinin kullanımı ile özellikle maki türünde bitkilerin çeşidi ve gelişimine göre ayırım yüksek olmuştur. Sonuç olarak yalnızca kontrolsüz/eğitimsiz (unsupervised) sınıflama metodu kullanılarak uygun bant ve uygun sınıf sayısını belirleyerek işlenen görüntülerle arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu büyük doğrulukla belirlenerek haritalanabilmektedir.

Bitki yoğunluğu haritasının arazi kullanım türü haritasından farklı çıkması ve erozyonun oluşumunun toprak yüzeyinin kapalılık oranına bağlı olması bu verinin kullanılması gerekliliğini tamamen açıklamaktadır. Bitki yoğunluğunun belirlenmesinde de en etkili yöntem sayısal uydu verileri olmaktadır. Uydu verilerinin farklı bantlarının kullanılmasıyla elde edilen bitki indeksi bu amaçla uygulanan en kolay ve geçerli metod olmuştur. Bunun nedeni her bir bantta 256 farklı yansıma aralığının bulunması ve bitki indeksi metodunda bantlardan olan yansıma değerleri farkının bu bantlardan olan yansıma değerleri toplamına bölümü bir birine yakın olan yansıma değerlerinin arasını açmaktadır.

Şekil 5.20'de 5 no'lu test alanının çekilen fotoğraf yer almaktadır. Şekil 5.20 $x=306500-307500$ ve $y=4198500-4198000$ UTM koordinatları arasında kalan alanları göstermektedir. Bu alan içerisinde arazi kullanım türü olarak kuru tarım alanları ve maki örtüsü bulunmaktadır. Bitki yoğunluğu olarak ise maki türünde üç farklı sınıf bulunmaktadır.



Şekil 5.20. 5 no'lu havzada yer alan test alanının (şekil 5.18) doğu kısmına ait bir görünüm

Arazi kullanım türüne göre uydu verisinin (şekil 5.19a) sınıflanmış görüntüsünün (5.19d) doğruluğu % 95 ve NDVI metoduna göre belirlenen bitki yoğunluğu haritasının doğruluğu % 98 olarak bulunmuştur. Arazi kullanım türünde doğruluğun daha düşük bulunmasındaki en önemli neden sınırları oluşturan ve 1 pikselden (30x30 m) daha küçük alana sahip alanların uydu verisinin çözünürlüğüne bağlı olarak belirlenememesidir. Ancak belirlenen doğruluk çalışma detayına göre yeterli bulunmuştur. Bitki yoğunluğunun haritalanmasında ise büyük başarı sağlanmıştır. Şekil 5.19c'de yer alan bitki yoğunluğuna ait görüntü ile arazi çalışmaları ile belirlenen sınırlar karşılaştırıldığında özellikle maki-orman örtüsü ile kuru-sulu tarım alanlarının sınırını oluşturan ve yamaç arazilerde bulunan seyrek bitki örtüsü NDVI metoduna göre çok iyi ayrılmış olduğu görülmektedir. NDVI'de kullanılan 3. ve 7. bantların kullanımının azalan bitki yoğunluğunu belirlemede büyük başarı gösterdiği belirlenmiştir. Erozyon oluşumunda, modellenmesinde ve toprak kayıplarının belirlenmesinde en etkili faktörlerden biri olan bitki yoğunluğu (NDVI) yada yaprak alan indeksi (LAI) için uydu verilerinin kullanımı çalışmalarda büyük öneme sahiptir.

Şekil 5.21'de havzada yere alan arazi kullanım türlerinden biri olan sulu tarım alanları yer almaktadır. Uydu verilerinin sınıflandırılması ile oluşturulan görüntülerin arazide kontrolü sonucu özellikle kuru tarım içerisinde yer alan sulu tarım alanlarının büyük bir doğrulukla ayrıldığı görülmektedir.

Bu alanlarda arazi kullanım türü sulu tarım olarak ayrılan ancak aynı alanların bitki yoğunluğuna göre farklı derecelerde haritalanmasında üç özelliğin etkili olduğu belirlenmiştir. Bunlardan birincisi, bu alanlarda yetiştirilen bitki çeşidinin farklı olmasıdır. Bu farklılığa göre bitki yoğunluğu en iyi bulunan topraklarda sebze tarımının yapıldığı bunu bağ tesisleri ve meyve bahçelerinin izlediği belirlenmiştir. İkinci olarak meyve bahçelerinde sıra aralıklarının genişliği azaldıkça NDVI metoduna göre belirlenen bitki yoğunluğunun arttığı bulunmuştur. Üçüncü olarak ise meyve bahçelerinin tesis edildiği toprağın gösterdiği yansımanın NDVI değerlerini etkilediğidir.



Şekil 5.21. Sulu tarım alanlarına ait bir görünüm

Çalışma alanının doğal bitki örtüsü olan pırnal meşesine ait bir fotoğraf şekil 5.22'de yer almaktadır. Bu bitki türü yüksek ve dik yamaçlarda arazi yüzeyini örten ve toprakları koruyan doğal örtüdür. Çalışma alanında yer alan bu örtü tipi 5 farklı sınıfa ayrılarak belirlenmiş ancak erozyon modellerinde tek bir sınıfta değerlendirilmiştir.

Derin topraklardan kayalık arazilere ve sıg topraklara kadar geniş bir yetiştirme ortamında yetişebilen bu türün bölge iklimine uyum göstermesi erozyonla mücadelede değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu bitki türü karstik alanlarda bile kayaların arasında biriken az miktarda toprak içerisinde yetişebilmektedir. Ayrıca yılın tüm mevsimlerinde yeşil kalması nedeniyle erozif yağışların oluştuğu sonbahar aylarında toprakları koruyabilme özelliğine sahiptir. Bölgenin koşullarında doğal seleksiyonla seçilmiş olması ve türünü devam ettirmesi bölge için pırnal meşesinin erozyonla mücadelede kullanılabileceğini göstermektedir. Şekil 5.23'de pırnal meşesinin dik bir yamaçta kökleri ile toprağı tutması ve yeşil aksamı ile yüzeyi kaplama özelliğini gösteren bir fotoğraf yer almaktadır.

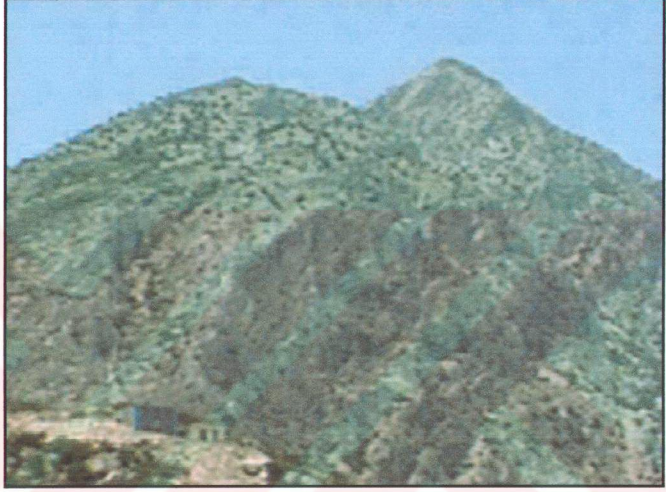


Şekil 5.22. Maki türlerine ait bir görünüm



Şekil 5.23. Pırmal meşesi ve köklerine ait bir görünüm

Şekil 5.24’de çalışma alanında toprak haritalarında çıplak kayalık olarak ve uydu verilerinin sınıflandırılması ile çıplak alanlar olarak tanımlanan arazi kullanım türüne ait bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 5.24. Çıplak alanlara ait bir görünüm

Çalışmada uydu verileri ile yapılan sınıflamalarda ve tüm bantlarda en belirgin olarak ayrılan arazi kullanım türü olmuştur. Şekil 5.25’de bu alanın Landsat-7 uydu verisinin 3., 4. ve 7. bant kombinasyonları kullanılarak elde edilen görüntüsü yer almaktadır. Şekilde fotoğrafta yer alan ve çıplak kayalık olarak tanımlanan alanlar mavi bir poligon ile gösterilmiştir. Fotoğrafın çekildiği yön ise okla işaretlenmiştir. Bu araziler çıplak kayalık ve çıplak alanlar olarak tanımlanmakta ise de yer yer pırnal meşesinin yetiştiği belirlenmiştir. Ancak bu ifadeden arazi yüzeyini örten toprağın var olduğu anlaşılmamalıdır. Çıplak alanlarda yetişen bitkilerin ortamı kayalar arasında zaman içerisinde biriken topraklardır.



Şekil 5.25. Landsat-7 ETM+ uydu verisinin 3., 4., 7. bant kombinasyonundan elde edilen görüntüdeki çıplak alanlara ait bir görünüm

5.8. Kullanılan Modellerin Değerlendirilmesi

Çalışmada erozyon haritalarını oluşturmak üzere bir model geliştirilmiştir. Bu amaçla çalışmanın yürütülmesinde geliştirilen modelin aşamalarının yer aldığı akış şeması şekil 3.5’de yer almaktadır. Erozyon haritalarını üretmek amacıyla yapılacak çalışmalarda bu model uygulanabilir özellikte bulunmuştur.

Potansiyel erozyon riski temelde eğim büyüklüğü, tekstür, toprak derinliği, yüzey taşlılığı ve ana materyal özelliğinin bileşeninden oluşmaktadır. Tez çalışmasında bu özelliklerden yararlanılmış bir yenilik olarak eğim uzunluğu da değerlendirilmeye alınmıştır. Şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde ise aşınabilirlik indisi, aşındırıcı indisi, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu ile birleştirilmektedir. Bu çalışmada alışlagelmiş metotlar dışında hayvancılık durumu, mera otlatma alışkanlığı ve koruma önlemlerinin uygulanmasına yönelik sosyal eğilimlerde değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sosyal etkenlere ait verilerin detaylarının düşük olması bu değerlendirmede şimdiki erozyon durumu üzerine etkisinin az

olmasını gerektirmiştir. Ancak bir erozyon modelinde sosyal eğilimlere ait daha detaylı bilgilerin kullanılabilceği sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışmada eğitim uzunluğunun kullanılması aynı eğim büyüklüğüne sahip ancak farklı eğim yönüne ait alanların ayrılarak eğim boyunca yüzey akışa geçen su miktarının değerlendirilmesinde yardımcı olmuştur.

Çalışma ile potansiyel erozyon riski ve şimdiki erozyon durumunu belirlemeye yönelik bir model oluşturulmuş ve bu modele göre haritalar üretilmiştir. Arazi çalışmaları ile üretilen sonuç haritaları kontrol edilmiş ve modelin geçerliliği ortaya konmuştur. Giriş verilerinin çeşidi ve detayına göre geliştirilen metod başarılı bulunmuştur. Derecelendirme modeli için hazırlanan ve bölüm 4.2'de verilen metodun uygulanabilir özellikte olduğu belirlenmiştir. Derecelendirme metodolojisini gösteren ve şekil 4.27'de verilen aşamalar bu amaçla kullanılabilir bulunmuştur. Tez çalışmasının metod bölümünde verilen ve modelin uygulanmasında kullanılan erozyon oluşumunda etkili olan özellikler, bu özelliklerin bir birleri ile karşılaştırılması ve ilişkilendirilmesi için kullanılan yöntemin uygulanabilir bulunmuştur.

Çalışmada toprak kayıplarının tahmin edilmesinde mMMF modeli kullanılmıştır. Model için gerekli parametrelerin belirlenmesinde yeni bir yaklaşımda bulunulmuştur. Bu yaklaşımla leaf drenaj indeksinin hesaplanmasında kullanılan bitki örtüsü faktörü (CC) NDVI'ye göre belirlenebileceği görülmüştür.

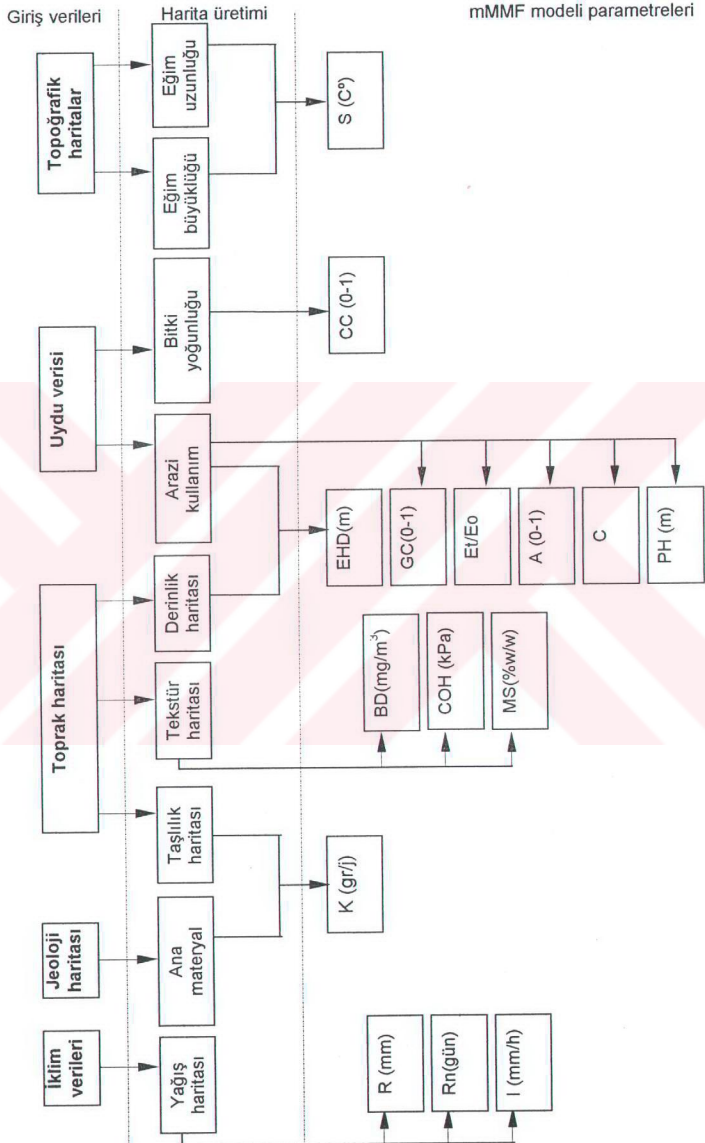
Orijinal metottan farklı olarak çalışma alanı yüzey akış değerinin hesaplanmasında kullanılan etkili hidrolojik derinliğin (EHD) belirlenmesinde arazi kullanımının yanında toprak derinliği, yağmur etkisiyle toprak zerrecilerinin parçalanabilirliğinin hesaplanmasında kullanılan toprak aşınabilirliğinin (K) belirlenmesinde toprak tekstürünün yanında ana materyal ve yüzey taşlılığı, yüzey akışla toprak zerrecilerinin parçalanabilirliğinin hesaplanmasında gerekli plan eğim büyüklüğünün (S) yanında eğim uzunluğu kullanılmıştır mMMF modelinde, parametreler için değerlerin belirlenmesinde orijinal metottan farklı olarak ana materyal, toprak derinliği, yüzey taşlılığı ve eğim uzunluğunun kullanılması erozyon oluşumunda etkili faktörlerin toprak kayıpları üzerine olan etkisinin bir yansıması olarak değerlendirilmiştir. mMMF modeli için gerekli verilerin sağlanması amacıyla

geliştirilen yöntemin akış şeması şekil 5.27'de yer almaktadır. Tez çalışmasında mMMF modeli için gerekli olan verilerin sağlanması amacıyla geliştirilen yöntem uygulanabilir özellikte bulunmuştur.

mMMF modeline göre havzada yer alan arazilerin yıllık toprak kayıpları 0.001-50 kg/m² arasında değişmektedir. Bu rakamların doğruluğunu arazi ölçümleri ile kontrol etmek hemen hemen imkansızdır. Ancak dünyanın çeşitli bölgelerinde test alanları için yapılan ölçümler, toprak kayıpları ve yüzey akış değerleri arasında ilişkiler incelenmiştir (Morgan, 2001).

Bu çalışmada belirlenen, toprak özellikleri ve arazi kullanım türü, hesaplanan yüzey akış değerleri ve tahmin edilen toprak kayıpları arasındaki ilişki verilen literatürlerle uyumlu bulunmuştur.

Kullanılan derecelendirme modeli ile çalışma alanının sahip olduğu şimdiki erozyon durumu belirlenmiştir. Bu yaklaşımların doğruluğu ve oluşturulan sınıfların geçerliliği arazi kontrolleri ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin yanında çalışma alanının şimdiki erozyon durumu haritası ile mMMF modeline göre hazırlanan toprak kayıpları haritası karşılaştırıldığında büyük benzerlik göstermesi şimdiki erozyon durumu haritasının geçerliliğinin bir ölçüsü olmuştur. Toprak kayıpları haritasında yer alan ve yıllık toprak kaybı 0.000-0.001 kg/m² olarak hesaplanan alanlar şimdiki erozyon durum haritasında 1. sınıf erozyon oluşmayan alanlara karşılık gelmektedir. Yıllık toprak kaybı 0.001-0.250 kg/m² olarak hesaplanan alanlar şimdiki erozyon durum haritasında 2. sınıf hafif erozyon oluşan alanlara, yıllık toprak kaybı 0.250-1.000 kg/m² olarak hesaplanan alanlar şimdiki erozyon durum haritasında 3. sınıf orta şiddetli erozyon oluşan alanlara, yıllık toprak kaybı 1.000-5.000 kg/m² olarak hesaplanan alanlar 4. sınıf şiddetli erozyon oluşan alanlara ve yıllık toprak kaybı 5.000-50.000 kg/m² olarak hesaplanan alanlar ise 5. sınıf çok şiddetli erozyon oluşan alanlara karşılık gelmektedir. Bu karşılaştırmayla toprak kayıpları tahmininde hesaplanan değerlerin derecelendirme metodu ile oluşturulan haritalara aktarılması mümkün olmaktadır.



Şekil 5.26. mMMF modeli için gerekli verilerin sağlanması amacıyla geliştirilen yöntemin akış şeması

5.9. Çalışmanın Genel Değerlendirilmesi ve Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Tez çalışmasında potansiyel erozyon riskinin, şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde, toprak kayıplarının tahmin edilmesinde ve haritaların oluşturulmasında bir model çalışması yapılmıştır. Bu model havza ölçekli ve vektör tabanlı olarak tasarlanmış, veri girişinde uydu verilerinden yararlanılmış ve model CBS ortamında çalıştırılmıştır. Ülkemizde mevcut bulunan haritalar, istatistik bilgileri ve ölçüm değerlerinin kullanıldığı bu çalışmada potansiyel erozyon riskinin belirlenmesi ve şimdiki erozyon durumunun bulunmasında geliştirilen bu yöntem başarıyla uygulanmıştır. Bu iki özelliğe ait haritaların kontrolleri arazi de test edilmiş yöntemin doğruluğu istenilen ölçek ve detay için yeterli bulunmuştur.

Eğirdir göl havzası doğal yapısıyla göller bölgesinde yer alan göl havzaları için tipik bir örnektir. Hatta fizyografik, topoğrafik ve iklim özellikleri yönünden diğer göl havzalarına göre daha fazla çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliğe sahip Eğirdir göl havzası için uygulanan modeller ile potansiyel erozyon riski, şimdiki erozyon durumu ve toprak kayıplarını belirlemek ve haritalamak mümkün olmuştur. Geliştirilen bu modeller yardımıyla aynı giriş verilerinin bulunduğu diğer göl havzaları içinde erozyon durumunun belirlenmesi ve haritalanması da mümkün olacaktır. Model göller bölgesinde yer alan diğer göl havzaları için uygulanabilir özelliktedir.

Model çalışma erozyon haritalarını hazırlamada geleneksel yöntemlere göre avantajlara sahiptir. Geleneksel metotlarda arazi çalışmaları ile potansiyel erozyon riskinin belirlenmesi, şimdiki erozyon durumunun bulunması ve haritalanması için 5 kişilik bir ekip günde ancak 1 km²'lik alan tarayabilmektedir. Çalışma alanının toplamı yaklaşık 2800 km²'dir. Çalışma alanının geleneksel metotlara göre erozyon haritalarının hazırlanması için gerekli süre 2800 iş günüdür. Bölgenin iklim koşulları ve alanın topoğrafik özellikleri yılın yalnızca 6 ayında arazi çalışması için uygundur. Bu hesaplara çalışma alanı için erozyon haritalarının hazırlanması amacıyla gerekli süre yaklaşık 20 yıl olmaktadır. Uzaktan algılama ve CBS kullanılarak, 5 kişilik bir ekip ve bu model yardımıyla erozyon haritalarının oluşturulması, test alanlarında

kontrolü ve sonuç haritalarının üretimi için harcanan süre yalnızca 1 yıl olacaktır. Ayrıca bu metod kullanılarak erozyon haritalarının oluşturulması için harcanan para miktarı uzaktan algılama ve CBS için yapılan ilk yatırım harcamaları dışında 4-5 milyon/km² (3-4 \$) olmuştur. Ayrıca geleneksel yöntemle arazi çalışmalarında özellikle araç yolu olmayan ve dağlar arasında kapalı kalan alanların bitkisel özelliklerinin ve erozyon durumunun belirlenmesi ancak topoğrafik haritalarla yada ulaşılamayan alanlara komşu olan araziler için belirlenen özelliklerin yorumlanmasıyla yapılabilmektedir. Bu uygulama haritalamada doğruluğu etkileyen en büyük faktörlerdir. Uydu verileri ile ulaşılamayan araziler için bitkisel özelliklerin belirlenmesi ve tekrarlı verilerin kullanılarak haritaların güncellenmesi modelin en büyük avantajlarından olmaktadır.

Hesaplanan toprak kayıplarının arazi ölçümleriyle kontrolü bu tip çalışmalarda olduğu gibi tez çalışmasında da yapılmamıştır. Bunun en önemli nedenleri arasında bu araştırmanın bir metod, bir model çalışması olmasıdır. Morgan tarafından geliştirilen modellerde yüzey akış ile toprak kayıpları karşılaştırılmakta ve sonuçların doğruluğu konusunda değerlendirme yapılmaktadır.

Çalışma alanında düz eğimde yer alan kaba tekstürlü topraklarda, kuru tarım alanları için hesaplanan yüzey akış değeri 6.13 mm ve yıllık toprak kaybı ise 0.001 kg/m² olarak tahmin edilmiştir. Çalışmada bitki örtüsünce yoksun, dik eğimde yer alan ince tekstürlü topraklarda yüzey akış değeri 259 mm, yıllık toprak kaybı 4.6 kg/m², aynı özellikte çok dik eğimde yer alan topraklarda ise yüzey akış değeri 515 mm, yıllık toprak kaybı 7.8 kg/m² olarak hesaplanmıştır. Maki örtüsü altında yer alan orta eğimli ince tekstürlü topraklar için yüzey akış değeri 27 mm, aynı arazi kullanım türü altında dik eğimli kaba tekstürlü topraklar için yüzey akış değeri 37 mm olarak hesaplanmıştır. Bu topraklar için tahmin edilen toprak kayıpları ise 0.8 ve 1.14 kg/m² olarak tahmin edilmiştir. Arazi kullanım türü sulu tarım, olan hafif eğimde yer alan topraklar için yüzey akış değeri 3.84 mm, yıllık toprak kaybı 0.007 kg/m² olarak hesaplanmıştır. Dik eğimde yer alan orman örtüsü altındaki topraklar için ise yüzey akış değeri 15 mm, yıllık toprak kaybı 0.25 kg/m² olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar literatürlere göre kabul edilebilir değerler vermiştir. Nitekim İtalya'nın Marchiazza havzasında tınlı kum tekstüre sahip çıplak topraklarda

201-262 mm'lik yüzey akış altında yıllık toprak kaybı 2.7-3.1 kg/m² olarak belirlenmiştir. Bu alan için mMMF modeli ile yapılan tahminlerde ise yüzey akış değeri 341.2 mm, toprak kaybı ise 3.25 kg/m² olarak hesaplanmıştır. İngiltere-Silsoe'de killi topraklar üzerinde buğday yetiştirilen alanlar için belirlenen yüzey akış değeri 6 mm ve yıllık toprak kaybı ise 0.05 kg/m² olarak bulunmuştur. mMMF modeline göre hesaplanan yüzey akış değeri 4.73 mm ve yıllık toprak kaybı 0.001 kg/m² olmuştur. Bu sonuçlarla hesaplanan toprak kayıpları ile yüzey akış karşılaştırıldığı zaman elde edilen sonuçlar belirtilen literatürlere göre uygun bulunmuştur. Bir göl havzasının tamamı için erozyon ölçümleri 40-50 yıllık bir süre ve büyük parasal kaynak gerektirmektedir. Tez çalışmasının temelinde de bu gereklilik yatmaktadır.

Matematiksel modellerle yapılan toprak kayıplarının tahmininde sediment ölçümleri olmaksızın çalışmalarının doğruluğunu belirlemek hayli zordur. Havza büyüklüğünde bir alan için bu işlem hemen hemen imkansızdır. Ancak test alanlarında yapılan ölçüm değerlerinin havzanın tamamına yaygınlaştırılması mümkündür. Sediment ölçümleri ile toprak kayıplarının belirlenmesi bir gölet-barajın projelendirilmesinde dere yada nehir havzaları için uygulanabilen bir yöntemdir. Arazi ölçümleriyle belirlenen toprak kayıpları esas alınarak fiziksel önlemler alınabilmektedir. Göl havzalarının tamamında ancak tez çalışmasında olduğu gibi bir yaklaşımla toprak kayıpları tahmin edilebilmektedir. Bu tahminlerin doğruluğu test alanlarında kontrol edilebilir.

Derecelendirme metotları ile oluşturulan erozyon haritaları ise her ne kadar toprak kayıplarının miktarı hakkında bilgi vermemekteyse de erozyonla mücadelede öncelikli alanların belirlenmesinde kesin bilgiler sağlamaktadır. Bu haritalar ile daha çok korumada kültürel tedbirler öne çıkmaktadır. Bunların başında arazi kullanım türünün belirlenmesi gelmektedir. Ülkemiz gibi şiddetli erozyon tehlikesi altında bulunan ancak erozyon ölçümlerine ait verilerin yeterli olmadığı hatta toprakların, arazilerin ve bitki deseninin bile yeterli detayda incelenmediği alanlarda derecelendirme metodu ile erozyon haritalarının hazırlanması, kültürel tedbirleri uygulamak üzere korumada öncelikli alanların belirlenerek öneri haritalarının oluşturulması erozyon konusunda öncelikli olarak yapılması gereken işlerin başında

gelmektedir. Büyük havzalar için yapılacak bu çalışmalar daha sonra yatırımların çeşidi ve yönüne göre alt havzalarda, su toplama kanalları veya hatlarında detaylandırılarak sediment ölçümleri sonrası fiziksel tedbirlerin uygulanmasına yönelik çalışmalarla devam edilebilecektir. Bu sayede derecelendirme metodları ile havza için yapılan çalışmalar ve parasal harcamalar atıl duruma geçmeyecektir.

Erozyon durum haritalarının üretilmesinde ve toprak kayıplarının tahmin edilmesinde materyal ve metod yönünden sonuçların detayını ve doğruluğunu artırmak amacıyla getirilen öneriler aşağıda verilmiştir.

-Oluşturulacak sonuç haritalarının ölçek ve detay derecelerinin önceden belirlenerek giriş verilerinin bu ölççeğe uygun olarak seçilmesi gerekmektedir.

-Giriş verilerini oluşturacak haritaların ölçek ve detaylarının bir birine yakın olması öneri haritalarının hazırlanmasında daha çeşitli öneriler getirilmesine yardımcı olacaktır.

-Giriş verisi olarak detaylı temel toprak haritasının kullanılması erozyon oluşumunda toprak özelliklerine ait bilgilerin çeşidini artıracak ve özellikle toprak kayıplarına yönelik değerlerin belirlenmesinde daha kesin sonuçlar verecektir.

-Toprak kayıplarının hesaplanmasında ince kum-silt miktarının ve organik madde miktarının kullanılması toprak kayıplarını tahmin etmeye yönelik modellerde uygun katsayıların belirlenmesini sağlayacaktır.

-Ayrıca agregat stabilitesi, agregat büyüklüğü dağılımı ve suya dayanıklı agregatların miktarının bilinmesi bu katsayıların daha başarılı belirlenmesine olanak sağlayacaktır.

-İki meteoroloji istasyonu arasında kalan alanlar için yağış verilerinin hesaplanması erozyon haritalarının doğruluğunu artıracak ve fiziksel önlemlerin planlanmasında yararlar sağlayacaktır.

-DEM oluşturmada eşyükselti eğrilerinin ölçek ve detaya bağlı olarak uygun aralıklarda seçilmesi modellemede zaman ve emek tasarrufu sağlayacaktır.

-Derecelendirme tablolarında harflerle yapılan kodlamalar yerine rakamların kullanılması işlem sayısını azaltacak ve özellikle veri tabanı işlemede kullanılan yazılımlarda sorgulamayı kolaylaştıracaktır.

-Bitkisel özelliklerin belirlenmesinde uydu verilerinin kullanımı haritaların oluşturulmasında ve izlenmesinde büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Özellikle NDVI metoduna göre bitki yoğunluğunun ve yüzeyi kapatma oranının belirlenmesi araçlarla ulaşılması mümkün olmayan alanlarda bitkisel özelliklere ait verilerin sağlanmasında ve toprak kayıplarını tahmin etmeye yönelik hesaplamalarda uygun katsayıların belirlenmesinde doğruluğu artıracaktır.

-Çıplak kayalıkların uydu verilerinden belirlenmesi küçük ölçekli toprak haritalarında karşılaşılan sorunları giderecektir.

-Test alanlarında yapılacak toprak kaybına yönelik ölçüm çalışmalarından belirlenen sonuçların havzaya yaygınlaştırılması toprak kayıpları tahmin modelinde yer alan eksikliği bir ölçüde giderecektir.

-Test alanlarında yapılan çalışmalarla ölçülen toprak kayıplarının farklı modeller ile tahmin edilen değerlerle karşılaştırılmasıyla havza için en uygun modelin belirlenmesi mümkün olacaktır.

-Belli başlı birkaç yan derenin göl havzalarına olan bağlantılarında orta ve uzun süreli sediment ölçümleri yapılarak matematiksel modellerle bulunan toprak kayıpları için belirli düzeltme katsayılarının ortaya konulması gereklidir.

-Erozyon haritalarının oluşturulmasında vektör/çizgi tabanlı modellerin kullanılması gelecekte yapılacak olan korumaya yönelik çalışmalar için temel kartografik materyalin hazırlanmasını sağlayacaktır.

-Erozyonla mücadelede öncelikli alanlar için planlanacak olan çalışmalarda her bir dere havzasının ayrı ayrı değerlendirilerek çözünürlüğü yüksek olan uydular yardımıyla arazi kullanım türünün daha detaylı olarak belirlenmesi ve mevsime bağlı erozyon haritalarının üretilmesi planlama çalışmalarında fiziksel önlemlerin uygulanmasında temel olacaktır.

KAYNAKLAR

- ADINARAYANA, J., RAO, K. G., KRISHNA, N. R., VENKATACHALAM, P., SURI, J. K., 1999. A Rule-Based Soil Erosion Model for a Hilly Catchment, *Catena* 37 p 309-318.
- AHAMED, T. R. N., RAO, K. G., MURTY, J. R. S., 2000. Fuzzy Clas Membership Approach to Soil Erosion Modelling, *Agricultural Systems* 63, p 97-110.
- AKALAN, İ, 1974. Toprak ve Su Muhafazası, Ankara Üniv., Ziraat Fak., Yayınları No:532, S 408, Ankara.
- ALTINBİLEK, D., 1998. Isparta İli Toprak ve Su Kaynaklarının Gelişiminin Dünü, Bugünü ve Yarınında DSI'nin Rolü, Isparta'nın Dünü, Bugünü, Yarını Sempozyumu, 16-17 Mayıs 1998, Cilt 1, S 141-151, Isparta.
- ASTON, A. R., 1979. Rainfall Interception by Eight Small Trees. *Journal of Hydrology* 42, 383-396.
- BHUYAN, S. J., KALITA, P. K., JANSEN, K. A., BARNES, P. L., 2002. Soil Loss Predictions with Three Erosion Simulation Models. *Environmental Modelling and Software* 17, p 137-146.
- BIOSSONNAIS, Y. L., MONTTIER, C., JAMAGNE, M., DAROUSSIN, J., KING, D., 2001. Mapping Erosion Risk for Cultivated Soil in France, *Catena* 46, p 207-220.
- BOARDMAN, J., MORTLOCK, D. F., 1998. Modelling Soil Erosion by Water, NATO ASI Series I: Global Environmental Change, Vol. 55, 531 P, Springer Press.
- BOCCO, G., PALACIO, J., VALENZUELA, CR., 1990. Gully Erosion Modelling Using GIS and Geomorphologic knowledge. *ITC Journal*, 1990, No:3, 253-261.
- BOCCO, G. and VALENZUELA G.R., 1991. Integration of GIS an Remote Sensing in Land use and Erosion Studies. In *Remote Sensing and Geographic Information System for Resource Management in Developing Countries*; ed. A. S. Belward and C. R. Valenzuela Kluwer Academic Publishers; Euro Courses. Vol.1, pp.477-490.
- BRANDT, C. J., 1990. Simulation of the Size Distribution and Erosivity of Raindrops and Throughfall Drops. *Earth Surface Processes and Landforms* 15, 687-698.
- BRAZIER, R. E., ROWAN, J. S., ANTONY, S. G., QUINN, S. G., 2001. MIRSED Towards an MIR Approach to Modelling Hillslope Soil Erosion at the National Scale, *Catena* 42, p 59-79.
- BRIGGS, D. J., BRINGALL, P., WILKES, A., 1989. Assessing Soil Erosion Risk in the Mediterranean region: the CORINE Programme of the European Communities.
- ÇAKAL, M. A., BİRHAN, H., ÖZLÜ, A., ÇOŞKUN, T., YILDIRIM, N. Z., BAKIR, H., 2001. CORINE Metoduyla Tortum Gölü Havzasında Erozyon Risk Alanlarının CBS ve UA Kullanılarak Belirlenmesi, Trakya Toprak ve Su Kaynakları Sempozyumu, p 12-18, KHGM, Atatürk Araştırma Enstitüsü 24-27 Mayıs, Kırklareli.

- ÇAKMAK, C., 1998. Eğirdir Gölü Entegre Su Yönetimi. Isparta'nın Dünü, Bugünü, Yarını Sempozyumu, 16-17 Mayıs 1998, Cilt 1, S 151-159, Isparta.
- CARSON, M. A., KIRKBY, M. J., 1972. Hillslope Form and Process, Cambridge University Press.
- CERDA, A, 1999. Parent Material and Vegetation Affect Soil Erosion in Eastern Spain, Soil Science Society of America Journal, Volume 63, Issue 2, p 362-368.
- COCHRANE, T.A., FLANAGAN, D.C., 1999. Assessing Water Erosion in Smart Watersheds Using WEPP with GIS and Digital Elevation Models, Journal of Soil and Water Conservation, Vol.54 Issue 4, p 678-686, 4th Quarter.
- CONESE, C., FFILIPS, T., MASELI, F., 1993. Estimation of Soil Through an Integrated Land Information System, Remote Sensing for Monitoring the Changing Environment of Europe, Winkler, Balkema, Rotterdam.
- COSTA, S. M. F., CINTRA, J. P., 1999. Environmental Analysis of Metropolitan Areas in Brasil, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, p 41-49.
- ÇULLU, M.A., 1993. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Yardımıyla Toprak Erozyonunun Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), Adana.
- De JONG, S. M. 1994. Vegetation Parameters Derived from Satellite Images for Erosion Modeling. Earth Surface Processes and Land Forms, Vol. 19, pp.1-14.
- De JONG, S. M., RIEZEBOS, H., 1996. SEMMED: A Distributed Approach to Soil Erosion Modelling, Remote Sensing'96, Spiden (ed), 1997 Balkema, Rotterdam.
- De ROO, A. P. J., HADHOFF, L., BURROUGH, P. A., 1989. Soil Erosion Modelling Using ANSWERS GIS. Earth Surface Processes Landforms, 14, 517-532.
- De ROO, A. P. J., Wesseling, C. G., and RITSEMA, C. J., 1996. LISEM A Single Event Physically-Based Hydrologic and Soil Erosion for Drainage Basins. I: Theory, Input and Output. Hydrological Process.
- De ROO, A. P. J., JETTEN, V., WESSELING, C and RISTEMA, C., 1998. LISEM:A Physically-Based Hydrologic and Soil Erosion Catchments Model, Modelling Soil Erosion by Water, NATO ASI Series I: Global Environmental Change, Vol. 55, p 429-440, Springer Press.
- DİE, 1999. Türkiye İstatistik Yıllığı, Devlet İstatistik Enstitüsü. Ankara.
- DİNÇ, U., YEĞİNGİL, İ., PEŞTEMALCI, V., 1994. Uzaktan Algılama Ders Notları. (Basılmamış), Adana.
- DOĞAN, O., 1987. Türkiye Yağışlarının Erozif Potansiyelleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, S 163.
- DOĞAN. O., SEVİNÇ, A. N., 1998. Soil Erosion Measurement in the Çayboğazi Watershed and its Micro Watershed. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil, p 261-266, International Agrohydrology research and Training Center, Menemen, İzmir.

- DOĞAN, O., ÖZEL, M. E., YILDIRIM, H., KÜÇÜKÇAKAR, N., 2000. Erosion Risk Mapping of Dalaman Basin Located in West Mediterranean Region Using CORINE Method. Proceedings of International Symposium on Desertification, 13-17 June Konya, p 125-128.
- DRAKE, N. A., WAINWRIGHT, J., ZHANG, X., 1995. Modelling Soil Erosion Using Remote Sensing and GIS Techniques, RSS95 Proceedings of the 21st. Annual Conference of the Remote Sensing Society, 11-14 September, University of Southampton, p 217-224.
- DUIKER, S. W., FLANAGAN, D. C., LAL, R., 2001. Erodibility and Infiltration Characteristics of Five Major Soils of Southwest Spain, *Catena* 45, p 103-121.
- EEA, 1995. The CORINE Project on Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern regions of the European Community, (http://reports.eea.eu.int/CORO_soil/en/soil_erosion.pdf)
- ERDAS, 1999. ERDAS Imagine Field Guide, 4 th. Ed., 2801 Buford Highway, N.E. Atlanta, Georgia, USA.
- ERMAPPER, 1998. Ermapper Tutorial 6.0.
- ESRI, 1994. Understanding GIS the ARC/INFO Method, ISBN 1-879102-01-3, California 92373-8100, USA.
- ESRI, 1998 a. ARCVIEW 3.2. PC 3D Analysize Users Guide, Redlands CA 92373-8100, USA.
- ESRI, 1998 b. ARCVIEW 3.2. PC Spatial Analysize Users Guide, Redlands CA 92373-8100, USA.
- EVANS, R., 1980. Mechanics of Water Erosion and Their Spatial and Temporal Controls: An Empirical Viewpoint, in Kirkby, M. J. and Morgan, R. P. C. (ed), *Soil Erosion*, Wiley Inc., 109.
- EVERAERT, W., 1991. Empirical relations for the Sediment Transport Capacity of Interrill Flows. *Earth Surface Processed and Land Forms* 16, 513-532.
- FABRI, K. P. 1991. Use of the Geographic Information System, and Remote Sensing Analysis for the Assessment of Soil Erosion Hazard. A Case Study in Central Bolivia. ITC, Enschede.
- FIGUEIREDO, T., POESEN, J., 1998. Effect of Surface Rock Fragment Characteristics on Interrill and Erosion of a Silt Loam Soil, *Soil and Tillage Research* 46, p 81-95.
- FITZHUGH, T. W., MACKAY, D. S., 2000. Impacts of Input Parameter Spatial Aggregation on Agricultural Nonpoint Source Pollution Model, *Journal of hydrology*, Volume 236, Iss 1-2, 35-53.
- FOX, D.M., BRYAN. R.B., 1999. The Relationship of Soil Loss by Interrill Erosion to Slope Gradient, *Catena* 38, p 211-222.
- FU, B., CHEN, L., MA, K., ZHOU, H., WANG, J., 2000. The Relationships Between Land Use and Soil Conditions in the Hilly Area of the Loess Plateau in Northern Shaanxi, China, *Catena* 39, p 69-78.
- GOVERS, G., EVERAERT, W., POESEN, J., RAUWS, G., De PLOEY, J., LAUTRIDOU, J. P., 1990. A Long-flume Study of the Dynamic Factors Affecting the Resistance of a Loamy Soil to Concentrated Flume Erosion. *Earth Surface Processed and Land Forms* 15, 313-328.

- JAIN, S. K., KUMAR, S., VARGHESE, J., 2001. Estimation of Soil Erosion for a Himalayan Watershed Using GIS Technique. *Water Resources Management* 15, p 41-54, Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- JENSEN, J.R., 2000. Remote Sensing of the Environment, Prentice-Hall Series in Geographic Information Science, Prentice Hall, New Jersey, P 544.
- JOSE. A. M. C., INES. S. B., 2000. Impact Assessment of Changes in Land Use/Conservation Practices on Soil Erosion in the Penedes-Anoia Vineyard Region (NE Spain), *Soil and Tillage Research*, p 101-106.
- KANG, S., ZHANG, L., SONG, X., ZHANG, S., LIU, X., LIANG, Y., ZHENG, S., 2001. Runoff and Sediment Loss Responses to Rainfall and Land Use in Two Agricultural Catchments on the Loess Plateau of China, *Hydrological Processes*, Volume 15, Issue 6, 30 April, p 977-988.
- KHGM, 1994. Isparta İli Arazi Varlığı.
- KIRKBY, M. J., 1972. Hillslope Process-Response Models Based on the Continuity Equation, in Brunsdon. D. (ed), *Slopes form and Process*, Geogr. Spec. Pub., 3.
- KIRKBY, M. J., 1976. Hydrological Slope Models: The Influence of Climate in Derybshire, E, (ed), *Geomorphology and Climate*, Wiley Inc., 247.
- KIRKBY, M. J., BISSONNAIS, Y. L., COULTHARD, T. J., DAROUSSIN, J., McMAHON, M. D., 2000. The Development of Land Indicators for Soil Degradation by Water Erosion, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81, p 125-135.
- KÖSE, C., TAYSUN, A., YAKAR, M., 2001. GAP Bölgesi ve Şanlıurfa Yöresi Eğimli Kuru Tarım Alanlarında Kontur Tarımının Önemi ve Çözüm Önerileri, *Trakya Toprak ve Su Kaynakları Sempozyumu*, p 52-58, KHGM, Atatürk Araştırma Enstitüsü 24-27 Mayıs, Kırklareli.
- KOSMAS. C., DANALATOS. N., CAMMERAAT. L. H., CHABART. M., DIAMANTOPOULOS. J., FARAND. R., GUTIERREZ. L., JACOB. A., MARQUES. H., MARTINEZ-FERNANDEZ. J., MIZARA. A., MOUSTAKAS. N., NICOLAU. J. M., OLIVEROS. C., PINNA. G., PUDDU. R., PUIGDEFABREGAS. J., ROXO. M., SIMAO. A., STAMOU. G., TOMASI. N., USAI. D., VACCA. A., 1997. The Effect of Land Use on Runoff and Soil Erosion Rates Under Mediterranean Conditions, *Catena* 29, p 45-59.
- KOSMAS, C., GERONTIDIS, S., MARATHIANOU, M., 2000. The Effect of Land Use Change on Soils and Vegetation Over Various Lithological Formation on Lesvos Greece, *Catena* 40, p 51-68.
- LAFLEN, J. M., COLVIN, T. S., 1981. Effect of Crop Residue on Soil Loss from Continuous Row Cropping, *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.*, 24, 605.
- LAL, R., 1994. *Soil Erosion Research Methods*, St. Luice Press, Florida.
- LEE, M.T., 1989. Soil Erosion, Sediment Yield, and Deposition in the Illinois River Basin. *Sediment Transport Modelling*, 718-722. In *Proceeding of the International Symposium Held at New Orleans, Louisiana, USA*. August 14-18, New York. USA. American Society of Civil Engineers.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, Wiley and Sons Inc., Newyork, P 724.

- LIU, B. Y., NEARING, M. A., SHI, P. J., JIA, Z. W., 2001. Slope Length Effect on Soil Loss for Steep Slopes, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 64, Issue 5, p 1759-1763.
- MERIAM, R. A., 1960. A Note on the Interception Loss Equation. *Journal of Geophysical Research* 65, 3850-3851.
- MUALEM, Y., 1976. A New Model for Predicting the Hydrologic Conductivity of Unsaturated Porous Media. *Water Resourch research* 12, 512-522.
- METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 1999. Isparta İli İklim Envanteri, Ankara.
- METTERNICHT, G. I., ZINCK, J. A., 1998. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53, p 143-153.
- MEYER, L. D., WISCHMEIER, W. H., 1969. Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water, *Trans. American Society Agricultural Engrns.* 12, 754-8.
- MEYER, L. D., 1981. Modelling Conservation Practices, in Morgan R. P. C. (ed), *Soil Conservation: Problems and Prospects*, Wiley, 31.
- MILLWARD, A. A, MERSEY, J. E., 1999. Adapting the RUSLE to Model Soil Erosion Potential in a Mountainous Tropical Watershed. *Catena* 38, p 109-129.
- MITAS, L., MITASOVA, H., SUMMER, W., KLAGHOFER, E., ZHANG, W., 1988. Multi-Scale Green's Function Monte Carlo Approach to Erosion Modeling and its Application to Land-Use Optimization. *Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hidrojogical Processes. Proceedings of An International Symposium, Vienna Austria 13-17 July 81-90 IAHS Pub. No:249.*
- MORGAN, R. P. C., MORGAN, D. D. V., FINNEY. H. J., 1984. A Predictive Model for the Assessment of Soil Erosion Risk. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30, p 245-253.
- MORGAN, R.P.C., 1991. *Soil Erosion and Conservation*. Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons Inc., New York, P 255.
- MORGAN, R. P. C., QUINTON, J. N., RICKSON, R. J., 1992. EUROSEM: Documentation Manual. Silsoe College, Silsoe, UK. (www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/erosion/eurosem/download.htm)
- MORGAN, R. P. C., QUINTON, J. N., SMITH, R. E., GOVERS, G., POESEN, J. W. A., CHISCI, G., and TORRI, D., 1998. The EUROSEM Model, *Modelling Soil Erosion by Water, NATO ASI Series I: Global Enviromental Change*, Vol. 55, p 389-398, Springer Press.
- MORGAN, R. P. C., QUINTON, J. N., SMITH, R. E., GOVERS, G., POESEN, J. W. A., CHISCI, G., and TORRI, D., 1998. The EUROSEM Documentation and User Guide Version 3.6, July 1998. Silsoe College, (www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/erosion/eurosem/download.htm).
- MORGAN, R. P. C. 2001, A Simple Approach to Soil Loss Prediction: A Revised Morgan-Morgan-Finney Model, *Catena* 44, p 305-322.
- NASA, 1999. The Earth Science Enterprise Home Page, (www.earth.nasa.gov)

- NEARING, M. A., FOSTER, G. R., LANE, L. J., FINKNER, S. J., 1989. A Process-based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 32, p 1587-1593.
- NEARING, M. A., 1997. A Single, Continuous Function for Slope Steepness Influence on Soil Loss. Soil Science Society of America Journal, 61 (3), 917-919.
- OĞUZ, İ., DURAK, A., 1998. The relationships Between Soil Erosion and Great Soil Groups, Some Properties of Çekerek Catchment and Analysis If Erodibility of Catchment Soil, Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil, p 313-318, International Agrohydrology research and Training Center, Menemen, İzmir.
- ONSTAND, C. A., 1980. Depressional Storage on Tilled Soil Surfaces. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 27, 729-732.
- OSLIN, A.J., WESTSMITH, R.A., MORGAN, D.S., 1988. STREAMS: A Basin and Soil Erosion Model Using CADD Remote Sensing and GIS to Facilitate Watershed Management. ASAE Publication, America Society of Agricultural Engineers. No: 07-88, 470-477.
- ÖZDEMİR, N., SÜRÜCÜ, A., IRMAK, S., AŞKIN, T., 1998. The Effect of Parent Material on Structural Satability and Erodibility of Soil, M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil, p 307-312, International Agrohydrology research and Training Center, Menemen, İzmir.
- OZDEN, D.M., DURSUN, H., and SEVINC, A.N., 2000. The Land Resources of Turkey and Activities of General Directorate of Rural Services, Proceedings of International Symposium on Desertification, 13-17 June 2000, S 22-26, Konya, Turkey.
- PARACCHINI, M. L., MINACAPILLI, M., BERTOLO, F., FOLVING, S., 1997. Soil Erosion Modelling and Coastal Dynamics: A Case Study From Sicily, Remote Sensing Society: Observations and Interactions. Remote Sensing Society, Nottingham.
- PRICE, J. C., 1993. Estimating Leaf Area Index from Satellite Data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 31 (3) 727-734.
- QUANSAH, C., 1981. The Effect of Soil Type, Slope, Rain Intensty and Their Interactions on Splash Detachment and Transport, Journal of Soil Science, 32.
- QUANSAH, C., 1982. Laboratory Experimentation for the Statistical Derivation of Equations for Soil Erosion Modelling and Soil Conservation Desing, Cranfield Ins. of Technology.
- RAFAELLI, S. G., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. M., 2001. A Comparison of Thematic Mapping of Erosion Intensity to GIS-Driven Process in an Andean Drainage Basin, Journal of Hydrology 244, p 33-42.
- RAUWS, G., GOVERS, G., 1988. Hydraulic and Soil Mechanical Aspects of Rill Generation on Agricultural Soils. Journal of Soil Sciences 39, 111-124.
- RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., McCOOL, D. K., YODER, D. C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the RUSLE. Handbook No:703. USDA, 404s.

- RICHTER, G., NEGENDANK, J. F. W., 1977. Soil Erosion Processes and Their Measurement in the German Area of the Moselle River, *Earth Surf. Proc.* 2, 261-278.
- RODE, M., FREDE, H. G., 1999. Testing AGNPS for Soil Erosion and Water Quality Modelling in Agricultural Catchments in Hesse (Germany). *Phys. Chem Earth (B)*, Vol. 24, No: 4 p 297-301.
- RÖMKENS, M. J. M., HELMING, K., PRASAD, S. N., 2001. *Catena* 46, p 103-123.
- RUNQUIST, S., ZHANG, N., TAYLOR, R. K., 2001. Development of a Field-Level Geographic Information System, *Computer and Electronics in Agriculture* 31, 201-209.
- RUNQUIST, S., ZHANG, N., TAYLOR, R. K., 2001. Development of Field-Level Geographic Information System. *Computer and Electronic in Agriculture* 31, p 201-209.
- SHARMA, K.D., SURENDRA, S., 1995. Satellite Remote Sensing for Soil Erosion Modelling Using the ANSWERS Model. *Hydrological Science Journal.* (14) 2, 259-272.
- SHERIDAN, G. J., SO, H. B., LOCH, R. J., WALKER, J. M., 2000. Estimation of Erosion Model Erodibility Parameters from Media Properties, *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 38, Issue 2, p 265-284.
- SMITH, R. E., GOODRICH, D., QUINTON, J.N., 1995. Dynamic Distributed Simulation of Watershed Erosion: The KINEROS2 and EUROSEM Models. *Jour. of Soil and Water Conservation* 50, 517-520.
- SOIL SURVEY STAF, 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.* Agric. Handb. USDA. Washington, USA.
- TAYSUN, A., UYSAL, H., KÖSE, C., MOLLENHAUER, K., FRITZ, E. M., 1998. The relationships Between Stone Cover, Runoff and Soil Losses in Arable Soils of Aegean Region. M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil, p 249-255, International Agrohydrology research and Training Center, Menemen, İzmir.
- THORNES, J. B., 1989. Erosion Equals under Grazing, Conceptual Issues in Environmental Archaeology, Edinburgh University Press, 193-210.
- TOPRAKSU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 1970. Antalya Havzası Raporu, Ankara.
- TORRI, D., SFALANGA, M., DEL SETTE, M., 1997. Splash Detachment: Runoff Depth and Soil Cohesion, *Catena* 14, 149-155.
- VAN GENUCHTEN, M. TH., 1983. A Closed-form Equation for Predicting the hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of Am. Jour.* 44, 892-898.
- VEIHE, A., QUINTON, J., POESEN, L., 2000. Sensitivity Analysis of EUROSEM Using Monte Carlo Simulation II: The Effect of Rill and Rock Fragments, *Hydrological Processes*, Vol. 14, Issue 5, p 972-939.
- VORONEY, R. P., van VENN, J. A., PAUL, E. A., 1981. Organic Carbon Dynamics in Crasland Soils II. Model Validation and Simulation of the Long-terms Effects of Cultivation and Rainfall Erosion, *Canada J., Soil Science* 61, 24, 211.

- WAINWRIGHT, J., 1994. Anthropogenic Factors in the Degradation of Semi-arid Regions: A Prehistoric Case Study in Southern France, Environmental Change in Drylands, John Wiley Inc.
- WANG, G., GERTNER, G., LIU, X., 2001. Uncertainty Assessment of Soil Erodibility Factor for Revised Universal Soil Loss Equation, *Catena* 46, 1-14.
- WANG, G., GERTNER, G., VIVEK, S., SHINKAREVA, S., 2002. Spatial and Temporal Prediction and Uncertainty Assessment of Soil Loss Using Revised Universal Soil Loss Equation: A Case Study of the Rainfall-Runoff Erosivity R Factor, *Ecological Modelling* (Article in press).
- WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D., 1958. Rainfall Energy and its Relation to Soil Loss. *Transaction of the American geophysical Union* 39, 285-291.
- WISCHMEIER, W. H., 1978. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation's, *J. Soil and Water Conservation*. 31, 5-9.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, *USDA Agr. Res. Serv. Handbook*, 537.
- WITHERS, B., VIPOND, S., 1974. *Irrigation: Design and Practice*, Bastford.
- WOOLHISER, D. A., SMITH, R. E., GOODRICH, D. C., 1990. *KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User manual*. USDA Pub. No: ARS-77.
- WU, J., PRICE, K.P., 1997. Evaluating Soil Properties of CRP Land Using Remote Sensing and GIS in Finney County, Kansas, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol.52 Issue 5, p352-359, Sep/Oct.
- YU, B., ROSEWELL, C. J., 2001. Evaluation of WEPP for Runoff and Soil Loss Prediction at Gunnedah, NSW, Australia, *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 39, Issue 5, p 1131-1145.

ÖZGEÇMİŞ

10.10.1971 tarihinde Kayseri’de doğdum. İlk ve orta öğretimini Kayseri’de tamamladım. Kayseri Aydınlikevler Lisesi Fen Bölümünden mezun olduktan sonra 1990 yılında Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde lisans eğitimine başladım. Lisans eğitimini 1994 yılında bitirdim. Aynı yıl Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladım. Toprak Etüd ve Haritalama konusunda yaptığım tez çalışmam ile 1996 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladım. 1996 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında doktora eğitimine başladım. Toprak etüd ve haritalama, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri konularında bir çok projede görev aldım. Halen Araştırma Görevlisi olarak 1995 yılında göreve başladığım Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde çalışmaya devam etmekteyim.

EKLER

EK-1: Eğirdir gölü havzası potansiyel erozyon risk haritası (1:100.000)

EK-2: Eğirdir gölü havzası şimdiki erozyon durumu haritası (1:100.000)

EK-3: Eğirdir gölü havzası toprak kayıpları haritası (1:100.000)

EK-4: Eğirdir gölü havzası korumada öncelikli alanlar haritası (1:100.000)

EK-5: Eğirdir gölü havzası öneri haritası (1:100.000)



EK-1

**EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASI POTANSİYEL
EROZYON RİSK HARİTASI**



EK-2

**EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASI ŞİMDİKİ
EROZYON DURUMU HARİTASI**



EK-3

**EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASI TOPRAK
KAYIPLARI HARİTASI**



EK-4

**EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASI KORUMADA
ÖNCELİKLİ ALANLAR HARİTASI**



EK-5

**EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASI KORUMA
ÖNERİLERİ HARİTASI**

