

**DEĞİRMEN DERESİ HAVZASI'NDA  
(BOLVADİN-AFYONKARAHİSAR)  
TOPRAK EROZYONU RİSK ANALİZİ**

Vedat ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Ünal YILDIRIM

Ocak, 2011

Afyonkarahisar

**T.C.**  
**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**COĞRAFYA ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEKLİSANS TEZİ**

**DEĞİRMEN DERESİ HAVZASI'NDA (BOLVADİN-  
AFYONKARAHİSAR)**  
**TOPRAK EROZYONU RİSK ANALİZİ**

**Hazırlayan**  
**Vedat ÇELİK**

**Danışman**  
**Yrd.Doç.Dr. Ünal YILDIRIM**

**AFYONKARAHİSAR 2011**

## **YEMİN METNİ**

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Değirmen Deresi Havzası’nda Toprak Erozyonu Risk Analizi ” adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilen eserlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

19/01/2011

Vedat ÇELİK

## TEZ JÜRİSİ KARARI VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAYI

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ünal YILDIRIM .....

Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Nusret KOCA .....

Yrd. Doç. Dr. Hasan KARA .....

Coğrafya anabilim dalı yüksek lisans öğrencisi Vedat ÇELİK'in "Değirmen Deresi Havzası'nda Toprak Erozyonu Risk Analizi" başlıklı tezi 19/01/2011 tarihinde, saat 10:00'da Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca , yukarıda isim ve imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Mehmet KARAKAŞ**

**MÜDÜR**

## ÖZET

### DEĞİRMEN DERESİ HAVZASI'NDA(BOLVADİN-AFYONKARAHİSAR)

#### TOPRAK EROZYONU RİSK ANALİZİ

Vedat ÇELİK

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

Ocak 2011

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ünal YILDIRIM**

Bu çalışmanın amacı Düzenlenmiş Ünlversal Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri kullanarak çalışma alanında toprak kaybının görüldüğü sahaları, miktarını ve şiddetini ortaya koymaktır. Bu amaçla Afyonkarahisar İli'nde yer alan, yaklaşık 330 km<sup>2</sup> lik bir alan kaplayan Değirmen Dere Havzası, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Söz konusu sahanın tarım alanı olmasının yanı sıra erozyondan önemli derecede etkilenmesi çalışma alanı olarak seçiminde etkili olmuştur.

RUSLE yöntemi yıllık toprak kaybını saptama çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan etken (faktör) temelli bir yöntemdir ve her bir faktör ayrı harita katman olarak elde edilmiştir. Yağışın erozyon oluşturma gücü olan R faktörü Modified Fournier Index (MFI) yardımı ile yıllık yağış verilerinden, toprağın aşınabilirlik gücü olan K faktörü çalışma alanından elde edilen toprak örneklerinden, topografyayı temsil eden eğim ve eğim uzunluğu faktörü olan LS 10 m çözünürlükteki sayısal yükselti modelinden (SYM), arazi kullanımı ve bitki örtüsü faktörü olan C ise Landsat-5 TM görüntüsünden elde edilmiştir. Bütün veriler CBS ortamında bir araya getirilmiş ve CBS nin veri girişi, veri işleme, analiz ve sunu hazırlama araçlarından faydalanılmıştır.

Sonuç olarak, potansiyel toprak kaybı değerlerine göre, beş sınıfa bölünerek, havza için potansiyel risk sınıfları haritası oluşturulmuştur. Özellikle LS faktörünün, diğer faktörlere göre erozyon üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Havzada yüksek eğime sahip alanlar yüksek erozyon riskine sahip yerlerdir. Çalışma sahasından elde edilen araştırma sonuçları çevrecilere ve bölgedeki yöneticilere yol gösterici olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Değirmen Dere, Afyonkarahisar, RUSLE, CBS, Toprak Erozyonu.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF SOIL EROSION RISK ON DEĞİRMEN CREEK BASIN (BOLVADİN, AFYONKARAHİSAR)**

**Vedat ÇELİK**

**AFYON KOCATEPE UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF SOCIAL SCINCE**

**DEPARTMENT OF GEOGRAPHY**

**January 2011**

**Advisor: Assist. Prof. Ünal YILDIRIM**

The purpose of this study is to assess annual soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) with Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques. The study area is located in (Afyonkarahisar Province) Değirmen Dere basin an area of about 330 km<sup>2</sup>. The reasons are why the Değirmen Dere basin chosen the facts that these plains are a typical agricultural region and heavily damaged by soil erosion.

RUSLE is widely used to predict annual soil loss. The RUSLE is factor-based model and each factor was produced as map layer. The R-factor (rainfall) was developed from annual precipitation data using Modified Fournier Index (MFI), K-factor (soil erodibility) was calculated from soil samples collected from study areas, LS factors (topography) were developed from a 10 m digital elevation model (DEM), and C-factor (land use/cover) data was generated from Landsat-5 TM images. All data were integrated GIS environment and data input, processing, analysis, display and output tools of GIS were used.

Finally potential soil erosion risk maps were obtained from potential soil erosion risk values of each basin. Particularly, LS-factor, rather than other factors, had a greater influence on the magnitude of soil loss in the both basins. The highest soil loss values are associated with the steepest slopes on basin. Generated soil loss maps are able to indicate high risk areas soil conservationist and decision maker.

**Keywords:** Değirmen Dere, Afyonkarahisar, RUSLE, GIS, Soil Erosion.

## ÖNSÖZ

Toprak erozyonu şüphesiz günümüz dünyasında insanların geleceğini tehdit eden çok önemli bir sorundur. Topraklarımızı erozyona karşı savunmasız bırakmak büyük bir insanlık suçuyla eşdeğerdir.

Erozyonla mücadele için günümüzde bir çok vakıf , dernek gibi sivil toplum kuruluşları çalışmalar yapmakta, fakat meselenin ciddiyeti açısından devletler ve hükümetlerinde bizzat devreye girerek daha gerçekçi ve erozyonu önleyici tedbirler almalıdırlar.

Bu çalışma, erozyon konusunda Türkiye’de henüz yeni sayılan fakat Avrupa ve Amerika’da yıllardan beri uygulanan bir yöntemi (RUSLE) yerel ölçekte uygulamıştır. Özellikle ülkemiz şartlarını göz önüne aldığımızda erozyon sonucu her yıl milyonlarca ton toprağımız akıp gitmektedir. Uyguladığımız bu yöntem herhangi bir bölgedeki toprak kaybını ton/ha/yıl olarak hesaplamaktadır. Temennimiz bu tür çalışmaların ülke geneline yayılması ve gerçekçi sonuçlar alınmasıdır. Yapılan çalışmanın bu konudaki önemli bir boşluğu doldurduğunu umuyoruz.

Bu tezin hazırlanması sırasında elbetteki birtakım zorluklarla ve sıkıntılarda karşılaşılmıştır. Özellikle hazırlık sürecinde her türlü desteğini aldığım çok değerli hocam Yrd. Dç. Dr. Ünal YILDIRIM’a teşekkürü bir borç biliyorum. Ayrıca çalışma esnasında özellikle manevi desteğini aldığım kıymetli eşim Fatma ÇELİK’e, yine çalışmalarım sırasında kendilerine çok fazla zaman ayıramadığım kızım Zeynep ve oğlum Salih’e sabırlarından dolayı ve bu tezin tamamlanmasında emeği geçen herkese teşekkür ediyorum.

Vedat ÇELİK

2011

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YEMİN METNİ .....	1
TEZ JÜRİSİ KARARI VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAYI .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
GİRİŞ .....	1

### BİRİNCİ BÖLÜM

#### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1. RUSLE YÖNTEMİNE İLİŞKİN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	9
1.1. DÜNYADA RUSLE YÖNTEMİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR .....	9
1.2. TÜRKİYE'DE RUSLE YÖNTEMİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR .....	11
2. ÇALIŞMA ALANINI KAPSAYAN ESKİ ÇALIŞMALAR .....	15

### İKİNCİ BÖLÜM

#### ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

1. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL FİZİKİ ÖZELLİKLERİ .....	21
1.1. LİTOLOJİK ÖZELLİKLER .....	21
1.2. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER .....	25
1.3. İKLİM ÖZELLİKLERİ .....	29
1.4. TOPRAK ÖZELLİKLERİ .....	32
1.5. ARAZİ KULLANIMI .....	35
2. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL BEŞERİ VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ .....	37
2.1. BEŞERİ ÖZELLİKLER .....	37
2.2. EKONOMİK ÖZELLİKLER .....	39



**ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**  
**YÖNTEM VE MALZEME**

<b>1. ÇALIŞMANIN GERÇEKLEŞTİRİLME SÜRECİ</b> .....	41
<b>2. RUSLE YÖNTEMİ</b> .....	43
2.1. YAĞIŞIN EROZYON OLUŞTURMA FAKTÖRÜ (R) .....	45
2.2. TOPRAĞIN EROZYONA DUYARLILIK FAKTÖRÜ (K).....	49
2.3. EĞİM VE EĞİM UZUNLUĞU FAKTÖRÜ (LS).....	52
2.4. ARAZİ KULLANIMI VE BİTKİ ÖRTÜSÜ FAKTÖRÜ (C).....	55
2.5. TOPRAK KORUMA ÖNLEMLERİ FAKTÖRÜ (P) .....	59

**DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

**DEĞİRMEN DERE HAVZASI ARAŞTIRMA BULGULARI**

<b>1. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA YAĞIŞIN EROZYON OLUŞTURMA FAKTÖRÜ (R)</b> .....	60
<b>2. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA TOPRAĞIN EROZYONA DUYARLILIK FAKTÖRÜ (K)</b> .....	62
<b>3. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA EĞİM VE EĞİM UZUNLUĞU FAKTÖRÜ (LS)</b> .....	65
<b>4. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA ARAZİ KULLANIMI VE BİTKİ ÖRTÜSÜ FAKTÖRÜ (C)</b> .....	67
<b>5. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA TOPRAK KORUMA ÖNLEMLERİ FAKTÖRÜ (P)</b> .....	68
<b>6. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA POTANSİYEL TOPRAK KAYBI DAĞILIMI</b> .....	69
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	72
<b>KAYNAKÇA</b> .....	74

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 1.</b> Değirmen Dere Havzası'ndaki Kayaç Türleri.....	24
<b>Tablo 2.</b> Çalışma Sahası Yükselti Basamakları.....	26
<b>Tablo 3.</b> Değirmen Dere Havzası'ndaki Eğim Dereceleri.....	28
<b>Tablo 4.</b> Bolvadin Aylık ve Yıllık Ortalama Sıcaklıkları .....	30
<b>Tablo 5.</b> Bolvadin Aylık ve Yıllık Ortalama Yağış Değerleri .....	30
<b>Tablo 6.</b> Çalışma Sahası Büyük Toprak Grupları .....	32
<b>Tablo 7.</b> Değirmen Dere Havzası'ndaki Yerleşmelerin Nüfusları .....	38
<b>Tablo 8.</b> R Değeri İçin Farklı Çalışmacılar Tarafından Kullanılan Denklemler .....	46
<b>Tablo 9.</b> Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntülerine İlişkin Bilgiler. ....	56
<b>Tablo 10.</b> Değirmen Dere Havzası R Değerleri .....	60
<b>Tablo 11.</b> Değirmen Dere Havzası K Değerleri .....	63
<b>Tablo 12.</b> Değirmen Dere Havzası LS Değerleri .....	65
<b>Tablo 13.</b> Değirmen Dere Havzası C Değerleri .....	67
<b>Tablo 14.</b> Değirmen Dere Havzası Potansiyel Erozyon Risk Sınıfları .....	70

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Dünya'da Su Erozyonunun Görüldüğü Sahalar .....	4
Şekil 2. Türkiye'de Erozyondan Etkilenen Sahalar .....	5
Şekil 3. Değirmen Dere Havzası Yer Bulduru Haritası .....	18
Şekil 4. Değirmen Dere Havzası Hidroloji Haritası .....	19
Şekil 5. Dere Yatağında Kurulmuş Olan Çamlı Dere Mahallesi .....	20
Şekil 6. DSİ'nin Taşlı Dere Üzerinde İnşa Ettiği Setler .....	20
Şekil 7. Afyon ve Dolayının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti .....	22
Şekil 8. Taşlıdere Köyü'nün KD Yönündeki Şistli Araziden Bir Kesit.....	23
Şekil 9. Değirmen Deresi Havzası Litolojik Birimleri Grafiği.....	24
Şekil 10. Değirmen Dere Havzası Litoloji Haritası .....	25
Şekil 11. Değirmen Dere Havzası Yükselti Basamakları Haritası .....	27
Şekil 12. Değirmen Dere Havzası Eğim Grupları Grafiği.....	28
Şekil 13. Değirmen Dere Havzası Eğim Haritası .....	29
Şekil 14. Bolvadin İstasyonuna Göre Sıcaklık ve Yağış Değerleri .....	31
Şekil 15. Bolvadin İstasyonuna Göre Yağışın Mevsimlere Dağılışı .....	31
Şekil 16. Değirmen Dere Havzasının Toprak Grupları Grafiği.....	32
Şekil 17. Kutlu Köyü Güneyinde Görülen Kahverengi Topraklar .....	33
Şekil 18. Emirdağlarının Güney Batı Eteklerinde Görülen Ormanlar .....	34
Şekil 19. Değirmen Dere Havzası Toprak Haritası .....	35
Şekil 20. Değirmen Dere Vadisinde Yer Alan Bir Tarım Arazisi .....	36
Şekil 21. Hasat Sonrası Anız Yakılan Tarlalar .....	37
Şekil 22. Değirmen Dere Havzası 1990-2010 Yılları Arası Nüfus Değişim Grafiği	39
Şekil 23. Havzadaki Tarım Alanları İçin Büyük Önem Taşıyan Özburun Göleti'nden Bir Görünüm .....	40
Şekil 24. Çalışmanın Gerçekleştirilme Aşamalarını Gösteren Akış Diyagramı.....	43
Şekil 25. R Faktörünün Elde Edilme Aşamaları .....	48
Şekil 26. K Değerinin Elde Edilme Aşamaları .....	50
Şekil 27. LS Faktörünün Elde Edilme Aşamaları .....	54
Şekil 28. C Faktörünün Elde Edilme Aşamaları .....	57
Şekil 29. Değirmen Dere Havzası R Değerleri Grafiği .....	61
Şekil 30. Değirmen Dere Havzası R Faktörü Haritası .....	62

<b>Şekil 31.</b> Değirmen Dere Havzası K Faktörü Haritası.....	64
<b>Şekil 32.</b> Değirmen Dere Havzası LS Faktörü Grafiği .....	65
<b>Şekil 33.</b> Değirmen Dere Havzası LS Faktörü Haritası.....	66
<b>Şekil 34.</b> Değirmen Dere Havzası C Değeri Grafiği.....	67
<b>Şekil 35.</b> Değirmen Dere Havzası Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Haritası .....	69
<b>Şekil 36.</b> Değirmen Dere Havzası Potansiyel Erozyon Risk Sınıfları Grafiği .....	70
<b>Şekil 37.</b> Değirmen Dere Havzası Potansiyel Erozyon Risk Sınıfları Haritası .....	71

## KISALTMALAR DİZİNİ

RUSLE	Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği
A	Birim Alandan Gerçekleşen Ortalama Yıllık Toprak Kaybı Miktarı
R	Yağış-akış aşındırıcı faktörü (ton/ha/yıl).
K	Toprağın erozyona duyarlılık faktörü (ton/ha/yıl).
L	Eğim uzunluğu faktörü (birimsiz).
S	Eğim dikliği faktörü (birimsiz).
C	Bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü.
P	Toprak ve su koruma önlemleri faktörü,
E	Toplam Şiddetli Yağış Enerjisi
I30	Maksimum 30 dakikalık yağış şiddeti
KB	Kuzey batı
GD	Güney doğu
bkz.	bakınız
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
m	Metre
cm	santimetre
D-B	Doğu-Batı
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
diğ.	diğerleri
ERDAS	Uzaktan Algılama Görüntü İşleme Yazılımı
ETM	Zenginleştirilmiş Konulu Haritalayıcı
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

G	Güney
GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi
HGK	Harita Genel Komutanlığı
ha	hektar
ICONA	İspanya Çevre Araştırmaları Genel Müdürlüğü
IRS	Hintli Uzaktan Algılama Uydusu
IKONOS	Amerikalı Uzaktan Algılama Uydusu
km <sup>2</sup>	kilometre kare
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MFI	Modifiye Fournier İndeksi
m <sup>3</sup>	metreküp
mm	milimetre
SPOT	Fransız Uzaktan Algılama Uydusu
SYM	Sayısal Yükselti Modeli
TM	Konulu Haritalayıcı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UA	Uzaktan Algılama
USLE	Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği
UTM	Evrensel Transversal Merkatör Projeksiyonu
Tema	Türkiye Erozyonla Mücadele Vakfı
KHGM	Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü

## GİRİŞ

Toprak; insanlığın var olduğu andan itibaren insanlar için çok önemli bir doğal kaynak olmuştur. Topraklar; insan bitki ve birçok hayvanın üzerinde durdukları, insanların yaşamlarını devam ettirebilecekleri tek yerdir. Toprak, hem bitkiler, hem hayvanlar, hem de insanlar için doğal yaşam kaynaklarının başında yer almıştır. Buna karşılık yeryüzünün sadece 1/3'ü karalarla kaplı olup bu alanların dağlık, çöl, çoraklık vb birçok doğal kısıtlılık nedeniyle çok az bir miktarı tarımsal üretime başka bir deyişle insanların kullanımına uygundur. Bugün toprak alanları, bir yandan kentleşme ve altyapı (endüstriyel yapılar, yollar, havaalanları vb) alanları olarak kullanılarak daralırken diğer yandan kirlilik, erozyon gibi çok ciddi bir çevre sorunu tehdidi altındadır.

Geçmişten beri verimli topraklara sahip milletler dünya üzerinde köklü ve gelişmiş medeniyetler kurmuşlardır. Bugün ilk medeniyetlerin ortaya çıktığı yerlere bakılırsa verimli toprakların payının büyük olduğu görülür. Mezopotamya, Çin, Hint, Mısır gibi uygarlıklar gelişimlerini su kaynakları ve iklim olanaklarının yanı sıra verimli topraklara borçludur.

Genel olarak toprak; iç kuvvetlerin etkisi ile yüzeye çıkan kayaların atmosferik olayların, biyolojik faktörlerin ve akarsular, rüzgarlar, buzullar, sel suları gibi dış kuvvetlerin etkisi altında kalarak ayrışması ve parçalanması sonucu oluşan örtünün adıdır.

Toprak oluşumunda birçok faktör etkilidir. İklimin, yer şekillerinin, bitki örtüsünün ve ana kayanın yanında zaman faktörü de çok önemli bir rol oynamaktadır. Birkaç cm.lik toprak tabakasının oluşması için yüzlerce hatta bazen binlerce yıl gerektiği düşünülürse toprak oluşumunun nasıl zor şartlarda gerçekleştiği anlaşılır. Kıymetini çok geç fark ettiğimiz toprak büyük bir hızla gözlerimizin önünde akıp gitmektedir. Toprak oluşumu ile oluşan toprağın taşınması ve süpürülmesi olayı zaman açısından paralellik göstermez. Toprağın oluşumu yüzlerce

yıl sürerken toprağın taşınması olayı daha kısa sürede gerçekleşerek büyük bir hızla yok olmaktadır.

Erozyon; latince kökenli bir kelime olup kemirme, aşınma anlamlarına gelmektedir. Toprak erozyonu ise toprağın bulunduğu yerden su ve rüzgarlarla harekete geçirilerek taşınması olayıdır (Mater 1998).

Erozyon jeolojik açıdan düşünüldüğünde süreklilik gösteren bir olaydır. Yani toprak oluşumundan itibaren erozyondan söz etmek mümkündür. Eğimli bir yamaçta su veya rüzgar tarafından harekete geçirilen toprak eğimin ve yerçekiminin de etkisiyle aşağılara doğru sürüklenir. Buna normal erozyon denir. Bu erozyon yavaştır ve doğaldır. Doğal sistem içinde düşündüğümüzde ise erozyonun yeryüzünü şekillendirmedeki etkisi yadsınamaz. Bazı durumlarda ise toprak taşınması olayı normalden daha hızlı gerçekleşerek daha fazla toprak tabakası taşınmaktadır. Bu taşınma olayında zarar biraz daha fazla olur.

Özellikle doğanın beşeri faaliyetler sonucu daha fazla müdahaleye maruz kalması erozyonu çok şiddetlendirmiş ve günümüz insanlığını tehdit eden bir olgu olarak ortaya çıkmıştır.

Artan dünya nüfusunun topraktan yararlanması hızlanmış fakat toprak özellikle de verimli toprak miktarı da hızla azalmış ve azalmaya da devam etmektedir. Bu durum gelecek adına ürkütücü sonuçlar çıkarabilecektir. Özellikle sanayi devriminden sonra makineleşmenin hızlanması, teknolojinin akıl almaz bir şekilde gelişmesi toprağa müdahaleyi artırmıştır. Tüm bu gelişmeler sonucunda ise toprak erozyonunun artacağı aşıkardır. Fakat işin manidar tarafı ise insanların sanki hiç tükenmeyecek şekilde toprağı kullanması ve sonuna kadar ondan yararlanma isteğı olmuştur. Nihayet günümüze gelindiğinde bazı insanlar tehlikenin boyutlarının farkına varmış, fakat dünyanın birçok yerinde maalesef telafi edilemeyecek toprak kayıpları yaşanmıştır.

Yapılan tahminlere göre insanların yoğun bir şekilde tarım ve hayvancılık faaliyetlerine geçmeden önce taşınan toprak miktarı yılda 10 milyon ton iken bu rakamın bugün 25-50 milyon ton arasında olduğu tahmin edilmektedir (Judson 1981).

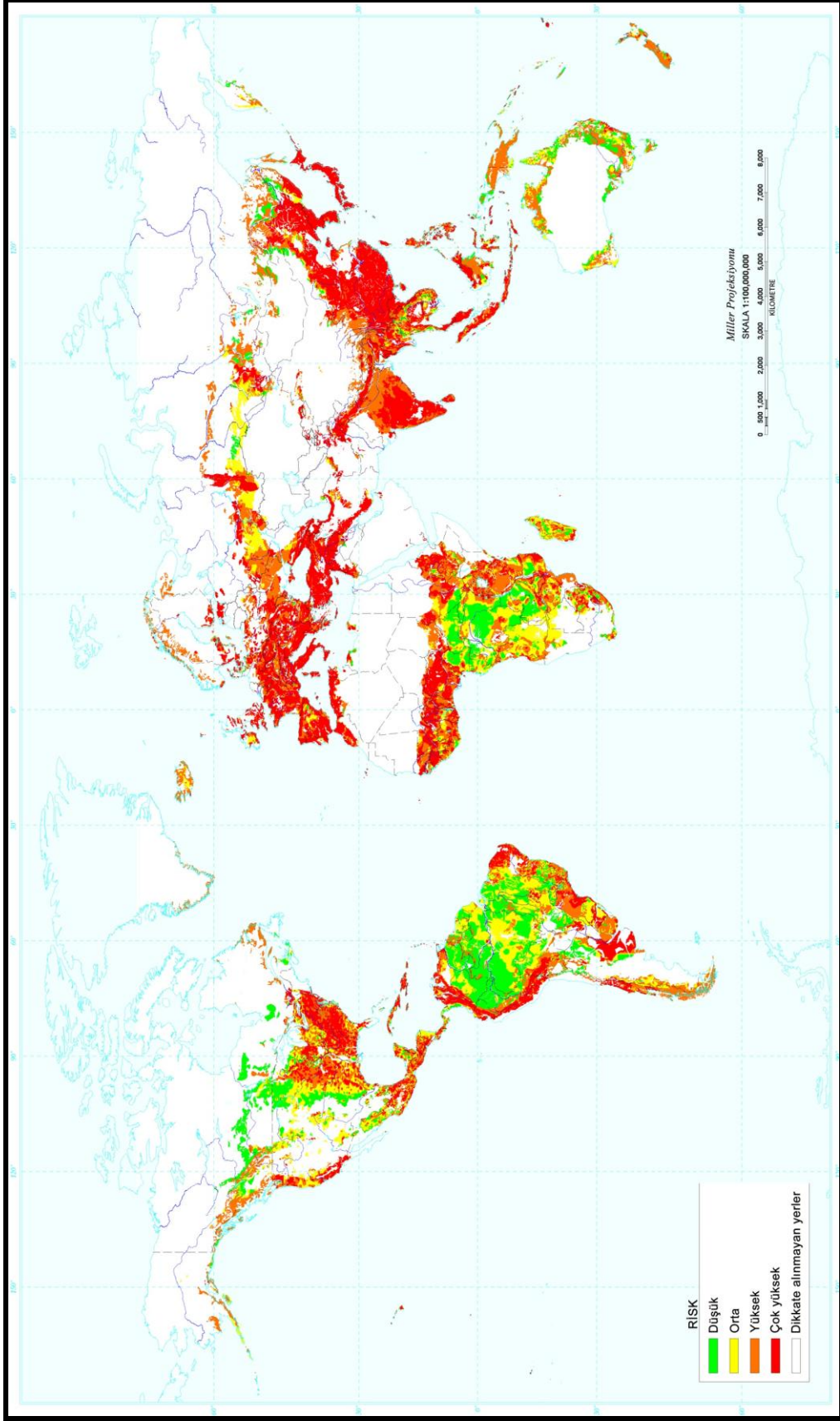


Erozyonun dünyayı tehdit eden bir tehlike olduğunu anlamak için birkaç veri bize yeterince bilgi vermektedir. Dünya genelindeki toprak erozyonu ve diğer faktörlerle oluşan tarımsal toprakların bozulması ile yılda 6 milyon hektar verimli alanın üretkenliği geri dönülmeyecek şekilde kaybedilmektedir. Dünyada sadece toprak erozyonu ile bir yılda 3 milyon hektar ve çölleşme ile 2 milyon hektar tarım toprağı kaybedilmektedir.

İnsan kaynaklı su erozyon risk haritasına bakıldığında (Şekil 1) Dünya'da özellikle insanların yoğun olarak yaşadıkları orta kuşakta riskin çok yüksek olduğu görülecektir. Türkiye ve diğer Akdeniz ülkelerinde erozyon riski maksimum düzeye çıkmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri yazların çok kurak geçmesidir. Haritada dikkate alınmayan bölgeler kutuplar (buzullar), soğuk iklim bölgeleri ve çöllere karşılık gelmektedir.

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

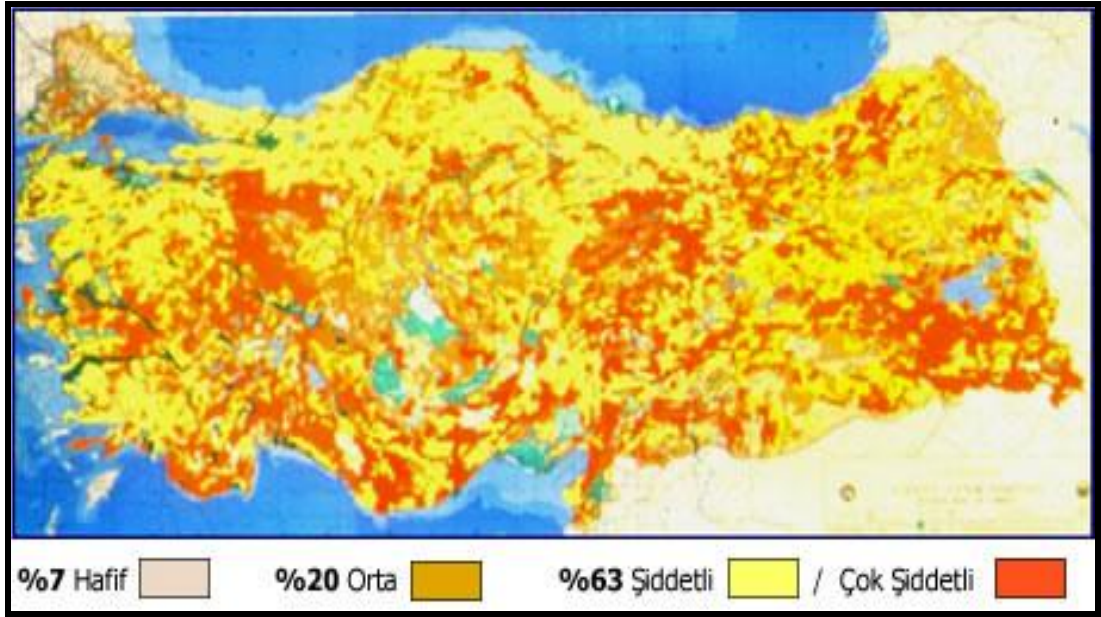
Kurallara uyulmadan kullanıldığı için dünyadaki tarım topraklarının yüzde 80'i aşırı yük altındadır. Son yüzyılda çöller gittikçe büyümektedir. Bugün yeryüzündeki çöllerin yüzölçümü 30 milyon kilometrekareye ulaşmıştır. Birleşmiş Milletler'ce yapılan araştırmalar, bunun dışında 45 milyon kilometrekare toprağın daha çölleşme tehlikesiyle karşı karşıya olduğunu ortaya koymuştur (<http://www.tema.org.tr>).



**Şekil 1.** Dünyada Su Erozyonunun Görüldüğü Sahalar ([www. tr.wikipedia.org](http://www.tr.wikipedia.org))'dan alınmıştır.

Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de toprak kaybı sürecinin en önemli etkeni erozyondur. Arazi eğimi, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin etkileşimi sonucu oluşan doğal erozyonun yanı sıra insanın doğaya müdahalesi temeline dayanan bir dizi yapay etken erozyonu bir afet niteliğine dönüştürmektedir.

Türkiye kara yüzeyinin %90’ında çeşitli şiddetlerde erozyon cereyan etmektedir. Şekil 2’de de görüldüğü gibi arazinin %63’ü çok şiddetli ve şiddetli, %20’si ise orta şiddetli erozyonla karşı karşıyadır. Ülke genelinde yaklaşık 67 milyon hektarlık bir arazide toprak giderek yok olmaktadır. Erozyon büyük ölçüde tarım alanlarında yaşanmaktadır. Türkiye’de akarsularla birlikte birim alandan taşınan toprak ABD’nin 7, Avrupa’nın 17 ve Afrika’nın 22 katı daha fazla düzeydedir.



**Şekil 2.** Türkiye'de Erozyondan Etkilenen Sahalar <http://www.leenglish.com>'dan alınmıştır.

Toprak erozyonunda rol oynayan iki önemli faktör su ve rüzgardır. Her iki faktörün toprağı aşındırma ve taşıma etkileri farklı ise de iki faktörün de toprağı zararı büyük olmaktadır.

Su erozyonu toprağı yağmur suları tarafından hareket ettirilmesi ile gerçekleşir. Eğim, bitki örtüsü, yağış miktarı ve şiddetinin etkilediğı su erozyonu;

damla, yüzeysel, oluk ve oyuntu erozyonu olmak üzere birkaç şekilde meydana gelmektedir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

**I. Damla Erozyonu (Raindrop erosion):** Yağmur damlalarının bitki örtüsünden yoksun olan toprak yüzeyine şiddetli bir şekilde düşmesi sonucu ihtiva ettikleri kinetik enerji ile toprak agregatlarını parçalamaları ve yerlerinden oynatmaları olayıdır.

İlk yağmur damlaları kuru toprak tarafından emilirler. Bu esnada çok ince yapılı zerreler darbe tesiriyle havaya sıçrarlar. Yaz sağanakları başlangıcında hissedilen toprak kokusu bu olayın sonucudur.

Daha sonraki yağmur damlaları toprak içerisine sızarlar ve toprağın kohezyon kabiliyetini artırırılar. Daha sonrada toprak parçacıkları aşınmaya ve kopmaya başlar. Yağmur damlalarının çarpması ile sıçrayan toprak zerreleri 100-150 cm'lik bir daire içerisinde ve 60-90 cm'lik yükselti değerine ulaşırlar.

**II. Yüzeysel Erozyon (Sheet erosion):** Bitki örtüsünden yoksun ve meyilli arazilerde toprak zerrelerinin yağmur veya yüzeysel akışla parçalanarak taşınması olayına satih veya tabaka yahut da yüzeysel erozyon adı verilir.

Dalgalı arazilerde, tepelerde ve dik meyilli arazilerde topraklar, hafif meyilli arazilere nazaran daha hızlı taşınır ve genellikle alt toprağın yüzeye çıkmasına neden olurlar. Su ve toprak karışımı, eğim aşağı bir tabaka şeklinde akarak toprak üst horizonlarını taşırlar.

**III. Oluk Erozyonu (Rill erosion):** Yüzeysel erozyon ile oyuntu erozyon arasında bir geçiş meydana getiren bu erozyon şekli, yüzeysel erozyona karşı gerekli tedbirlerin alınmaması nedeniyle oluşur. Eğimli arazilerde yüzeysel akışa geçen sular, erozyona karşı hassas toprakları aşındırır ve kendilerine 3-5 cm. derinlik ve genişlikte küçük kanalcıklar oluştururlar. Bu kanalcıklar sürüm aletleri ile düzeltilebilir. İhmal edilmeleri, bu kanalcıkların derinlik ve genişliğine büyüyerek derin oyuntular meydana getirmelerine sebep olular. Arazi üzerinde eğim istikametinde meydana gelen bu kanalcıkların derinlik ve genişliği toprağın fiziksel özelliklerine, eğimin uzunluğuna ve derecesine bağlıdır.

**IV. Oyuntu Erozyonu (Gully erosion):** Oluk erozyonunun ihmal edilmesi nedeniyle kanalcıkların giderek derinleşmesi suretiyle oluşan oyuntular, 60-90 cm. derinlik ve 3-5 m. Genişlikte olabilecekleri gibi bazı hallerde evleri bile içlerinde saklayabilecek büyüklüklere ulaşırlar. Açıkta kalan doğal drenaj kanallarından, muntazam olmayan çöküntü alanlarından, sürüm karıklarından hayvan ve araba tekerlek izlerinden, altları oyulmuş teraslardan oluşabilen oyuntular yağışın şiddeti, miktarı ve dağılımı, eğimin uzunluğuna ve derecesine ve toprak kalınlığına bağlı olarak meydana gelirler.

Başlangıçta pek önemsiz gibi görülen toprak kaybının, gereken tedbirler alınmadığı takdirde ne kadar tehlikeli boyutlara ulaştığını görmekteyiz. Topraklar doğal süreç içerisinde, bizler ne kadar da uğraşsak taşınmaktadır. Bu taşınma işlemi beşeri faaliyetler sonucu normalden birkaç kat fazla miktarlara ulaştıkça doğal süreç içerisinde aslında faydalı olan erozyon olayı, oldukça tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır.

Bugün, toprak ve su kaynaklarımızın israf edilmeden, kendi kapasiteleri dahilinde maksimum ürün verecek şekilde kullanılması ve artan nüfusun beslenmesinin güven altına alınması zorunlu hale gelmiştir. Ülke topraklarının büyük bir kısmı, iklim, topografya ve uygulanan yanlış arazi kullanma yöntemlerinin etkisiyle erozyona çok duyarlı bir hale gelmiştir. Yaklaşık olarak 26 milyon hektarı bulan tarım arazisinin 6 milyon hektarında orta, 4 milyon hektarında şiddetli ve 8 milyon hektarında ise çok şiddetli erozyonun hüküm sürdüğü ülkemizde, universal toprak kaybı eşitliğinin uygulanması (RUSLE) ile tarımsal alanlarda meydana gelecek toprak kaybı kantitatif olarak bulunacağından, alınacak toprak ve su muhafaza tedbirlerinden en uygun olanının seçilmesi için güvenilir bir rehber elde edilecektir. Toprak kaybının bilinmesi, etkili erozyon kontrol tedbirlerinin alınması için önemlidir.

Dünyada ve Türkiye’de hem bölgesel hem de yerel bazda farklı amaçlara yönelik çok değişik erozyon tahmin modelleri vardır. Erozyon tahminlerinin başarılı olabilmesi hem verilerin sağlıklı toplanabilmesine hem de tahmin modelinin gerektirdiği fiziksel parametrelerin ölçümlere dayalı olarak elde edilmesine bağlıdır.

Bu çalışma, erozyon tahminlerinde kullanılan yeni bir yöntem olan RUSLE (Düzenlenmiş Universal Toprak Kaybı Denklemi) yönteminin uygulanmasıyla Değirmen Deresi havzasının çevresinde görülen toprak kaybının miktarını ve şiddetini ortaya koymaya yönelik bir çalışmadır.

KB-GD yönlü uzanan Emirdağları (2281 m.) ile yine aynı yönde uzanan Sultan Dağları (2519 m.) arasında kalan ve yaklaşık 330 km<sup>2</sup>'lik yer kaplayan bölgenin tarım alanı olması ve bu tarım alanlarının erozyondan önemli oranda etkilenmesi bölgenin seçiminde rol oynayan etkenlerin başında gelmektedir.

Çalışma RUSLE (Düzenlenmiş Universal Toprak Kaybı Denklemi) yöntemi kullanılarak, ayrıca CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ve UA (Uzaktan Algılama) tekniklerinden de faydalanılarak;

Bölgedeki tarım alanlarını etkileyen erozyonun nedenlerini ve süreçlerini belirlemek,

RUSLE yöntemini seçilen alanda denemek,

RUSLE yöntemi ile elde edilecek verilerin bölgesel verilerle geçerliliğini denetlemek,

Modern teknikleri (CBS-UA) kullanarak erozyon konusundaki bilgi birikimini arttırmak,

Arazi çalışmaları ile elde edilecek erozyonun şiddeti ve miktarı hakkındaki bilgileri güncelleştirmek olarak amaçları sıralayabiliriz.

## **BİRİNCİ BÖLÜM**

### **ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Önceki çalışmalar, Dünya’da ve Türkiye’de Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalardan, çalışma alanın da ise daha önce araştırmacıların yaptıkları genel çalışmalardan bahsedilecektir.

#### **1. RUSLE YÖNTEMİNE İLİŞKİN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar henüz yeni sayılır. Yeni olmasına rağmen hem Dünya’da hem de Türkiye’de bir çok araştırmacının ilgisini çekmiş ve bu yöntem değişik bölgelerde denenmiştir.

##### **1.1. DÜNYADA RUSLE YÖNTEMİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR**

Darcy ve diğ. (1998) Amerika’daki Mississippi Nehri Havzası’nda yer alan iki küçük alt havzada USLE modelini uygulamaya çalışmışlardır. Büyüklükleri birbirinden farklı olan bu alt havzalarda kullanılan haritalarda farklı çözünürlükler kullanılmış; Goodwin deresi havzasında yıllık ortalama potansiyel toprak kaybı 10.5 ton/ha ve Hickahale deresi havzasında ise 12.9 ton/ha olarak bulunmuştur.

Millward ve Mersey (1999) ise RUSLE modelini Meksika’nın dağlık bir bölgesine uygulamaya çalışmışlardır. Uygulama alanı tropikal bölge olduğu için toprak kayıpları hem yağışlı hem de yağışın olmadığı kurak dönem için ayrı ayrı

hesaplanmıştır. Yağışlı dönemdeki potansiyel erozyon riski kurak döneme göre daha yüksek çıkmıştır.

Lufafa ve diğ. (2003) Uganda'nın merkezi kısmında yer alan ve yükseltileri 1150 ile 1400 m arasında değişen, yıllık ortalama yağış miktarı 1218 mm olan bir alanda RUSLE modeli ile erozyon riskini hesaplamaya çalışmıştır. Çalışma sonucunda mera ve eğimi fazla olan alanlarda toprak erozyonu riski diğer alanlara göre fazla olarak bulunmuştur.

Wang ve diğ. (2001) RUSLE modelini Amerika Birleşik Devletleri'nin Texas Eyaleti güneyindeki 90 km<sup>2</sup> lik alanda uygulamaya çalışmışlardır. Çalışma alanında 25 farklı toprak türü bulunmaktadır. Bu çok farklı toprak gruplarına göre özellikle K faktörü (toprak aşınabilirliği) tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Lee (2003) Kore'nin Boun bölgesinde 68.5 km<sup>2</sup> alanda USLE modelini CBS teknolojisi yardımı ile uygulamaya çalışmış ve bu sahanın yıllık ortalama toprak kayıplarının 0.33 ton/ha ile 3.91 ton/ha arasında değiştiği ortaya konmuştur.

Shi ve diğ. (2003)'nin çalışması da Asya kıtasında yapılan bir çalışma olup Güney Çin'de küçük bir havzada RUSLE modelinin CBS ve UA teknikleri yardımıyla uygulanmasına ilişkindir. Bu çalışmada İDRİSİ programı yardımı ile her bir faktöre ait haritalar elde edilmiş, daha sonra bu haritalar karşılaştırılarak ve yeniden sınıflama yapılarak yıllık ortalama potansiyel toprak kaybı hesaplanmaya çalışılmıştır. Eğimli yamaçlarda yıllık ortalama toprak kaybı 52 ton/ha iken ovalık alanlarda 26 ton/ha olarak elde edilmiştir.

Diadota (2005)'nin araştırmasında diğer çalışmalarda yapılan yıllık potansiyel erozyon tahminlerinin aksine, tek bir sağanak yağışının erosif gücü hesaplanmaya çalışılmıştır. Güney İtalya'da yer alan çalışma alanında 13 Kasım 1997 tarihindeki sağanak yağışın erosif gücü jeostatiksel yöntemlerle hesaplanmıştır.

Fu ve diğ. (2005) RUSLE modeli ve CBS tekniklerini dünyada erozyon riskinin en fazla yaşandığı Çin'deki Sarı Irmak Havzası'nda yer alan Yanhe bölgesinde aşınmaya karşı az dirençli lölşlerden meydana gelen bir platoda su erozyonunun meydana getirdiği toprak kayıplarını tahmin etmek için kullanmıştır. Fu ve ekibinin çalışmasında RUSLE modelinde kullanılan tüm faktörler yerel veriler ile



hesaplanarak faktör haritaları hazırlanmış ve yıllık ortalama toprak kaybı belirlenmiştir.

RUSLE modelinin Sicilya Adası'nın güney kesimindeki Comunelli Havzası'na ait 108 km<sup>2</sup> lik bir alanda uygulanması Onori ve diğ. (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Akdeniz ikliminin görüldüğü bu bölgede yıllık potansiyel toprak kaybı 94.76 ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur.

CBS ve UA teknikleri birlikte USLE modelinin güncel bir uygulaması ise kuzey Tayland'da bulunan Yukarı Nam Wa Havzası'ndaki toprak kayıplarını tahmin etmek amacıyla Bahadur (2008) tarafından yapılmıştır. Uygulama alanında yükselti 477 m ile 2065 m arasında değişmektedir ve arazi çoğunlukla ormanlarla kaplıdır. Bahadur'un bu çalışmasında söz konusu alanın %46 sında yıllık ortalama erozyonun 3 ton/ha'6n altında olduğu hesaplanmış, erozyon oranlarının düşük olmasında orman örtüsünün büyük rol oynadığı ortaya konmuştur.

## 1.2. TÜRKİYE'DE RUSLE YÖNTEMİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Ülkemizdeki toprak erozyonu haritalama çalışmaları son 30 yıl içinde başlamış olup bu çalışmalar günümüzde artarak devam etmektedir. Deneysel çalışmaların yanısıra USLE, RUSLE, ICONA ve diğer yöntemlere ilişkin model ve haritalama çalışmaları da giderek artmaktadır. Bu çalışmalar Toprak ve Su Araştırma Enstitüleri, Ankara Üniv., Çukurova Üniv., Uludağ Üniv. ve diğer bazı üniversitelerin Ziraat Fakülteleri Toprak Bölümleri ile bazı üniversitelerin Coğrafya bölümleri tarafından yapılmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde de toprak erozyonuna olan duyarlılığın artması CBS ve UA teknolojilerinin gelişimi, bunların ülkemiz genelinde yaygın kullanımı yanı sıra kamu kesimine ve üniversitelerimizde araştırmaya verilen teşviklerin artması gibi nedenlere de başlanabilir. Bu bağlamda, ülkemizde özellikle son yıllarda yapılan toprak erozyonuna ilişkin model uygulama ve erozyon haritalama çalışmalarına aşağıda değinilmiştir.

Doğan ve Küçükçakır (1996) USLE faktörlerini Ankara şartlarında belirlemek amacıyla 1967-1978 yılları arasında yaptığı çalışmada R faktörünü 36.42,

K faktörünü 0.18, L faktörünü 22 m için 1.1, 44 m için 1.2, 66 m için 1.5, 88 m için 0.6; S faktörünü %8 eğim için 0.9 ve C faktörünü buğday-nadas için 0.24, P faktörünü düzeç eğrilerine paralel işlem için 0.55 olarak bulmuştur.

Doğan ve Denli (1999) uzun yıllara ait aylık ve yıllık toplam yağış miktarlarını kullanarak Arnoldus'un (1977) önerdiği yöntemle 247 meteoroloji istasyonunun Geliştirilmiş Fournier Yağış indisi değerlerini hesaplamışlardır. Ulaşılan sonuçlara göre Afyon 40.49 ile en düşük, Rize 212.73 ile en yüksek değerlere sahiptir.

Doğan ve diğ. (2000) Türkiye geneline ilişkin yaptıkları bir çalışmada, büyük toprak gruplarını dikkate alarak toprak örnekleri üzerinde yaptıkları analizlerden elde ettikleri bulguları bu amaç için geliştirilmiş abaklara uygulayarak büyük toprak grupları için K faktörünü belirlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda Türkiye toprakları aşınabilirlik yönünden 5 sınıfa ayrılmıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan toprak örneklerinin coğrafi koordinatlarının bilinmemesi nedeniyle bu veriler CBS ortamına aktarılamamaktadır.

Başayığit (2002) Eğirdir Gölü Havzası'nda CBS ve Landsat-7 ETM+ uydu verisi ve havza için hazırlanmış diğer haritaları kullanmıştır. Çalışmada potansiyel erozyon riski, mevcut erozyon durumu ve toprak kayıpları haritaları oluşturulmuş ve arazi çalışmaları ile kontrolleri yapılmıştır. Bu haritalar kullanılarak havzada yer alan korumada öncelikli alanlar haritalanmış ve ayrıca bu alanlar için öneri haritalar da üretilmiştir.

Doğan (2002) bir başka çalışmasında ülke genelinde uzun yıllara ait 96 istasyonun verilerini inceleyerek bu istasyonların R değerlerini hesaplamıştır. Bu hesaplamalardan Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz kıyı şeritlerinin yağışlarının oldukça yüksek aşındırıcı güce sahip olmasına karşın, yüksek dağ, sıradağ ve yaylalarda erosif gücü düşük kar yağışlarının düştüğü görülmektedir. R değerinin yüksek (erosif potansiyel) olduğu yerler genellikle yağış miktarının fazla ve yağışın yağmur şeklinde olduğu yerlerdir. Rize 481.385 ton/ha, Marmaris 522.178 ton/ha ile en yüksek R değerine sahip olan yerler olmasına karşın, Aksaray 13.693 ton/ha ve Van 17.625 ton/ha R değeri ile en düşük R değerine sahip yerler arasında yer almaktadır.

Çankırı ili Ilgaz Dağı yakınlarındaki İndağı Geçidi olarak bilinen bölgede, arazi kullanımında oluşan değişimlerden dolayı toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelebilecek farklılıklar ve toprakların özellikle erozyona duyarlılık faktörü (K) Başaran (2005) tarafından irdelenmiştir. Bu araştırmada elde edilen veriler klasik istatistik yöntemlerle değerlendirilmesi yanı sıra, son yıllarda toprak biliminde de kullanılmaya başlanan jeostatistiksel yöntemlerle de irdelenmiştir.

Karakaş (2005) ise Sakarya Nehri Havzası'nda bulunan Küçük Elmalı ve Güvenç havzalarının su ve sediment verilerini SWAT ve USLE modelleri kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. Küçük Elmalı Havzası'nda potansiyel toprak kaybı miktarı ortalama 4,9 ton/ha/yıl, Güvenç Havzası'nda ise 15.98 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış ve sürdürülebilir havza yönetimi için bu miktarların daha aşağı düşürülmesi önerilmiştir.

Ekinci (2005) kalitatif bir yaklaşımla Kozlu deresi havzasında CBS tabanlı uyarlanmış RUSLE yöntemi ile erozyon analizi yapmıştır. Çalışmada Usle ve Rusle yöntemleri sadeleştirilerek çalışma alanının potansiyel erozyon risk alanları ve duyarlılık sınıfları tesbit edilmiştir.

Yılmaz (2006) Ankara'nın su ihtiyacının karşılandığı, 722 km<sup>2</sup> bir alana sahip Çamlıdere Baraj Havzası'nda USLE erozyon modelini uygulamıştır. Havzanın yıllık ortalama toprak kaybı 7,3 ton/ha olarak hesaplanmış; havzada toprak erozyonunu etkileyen iki ana etkenin bitki örtüsü ve topoğrafya olduğu saptanmıştır.

İrvem ve diğ. (2007), Seyhan Nehri Havzası'nda yıllık toprak kaybını CBS teknikleri kullanarak USLE yöntemi ile hesapladıkları bir çalışmada R faktörünü Arnoldus'un (1977) önerdiği Modifiye Fournier indeksi (MFI) eşitliğini kullanmışlardır. Çalışmacılar hesapladıkları değerleri, plüviograf kayıtları olan bazı meteoroloji istasyonlarının verileri ve hesapladıkları R faktörü değerleri ile regresyona ( $R^2=0,94$ ) tabi tutmuşlar ve aylık yağış miktarı kullanılarak elde edilen MFI verileri ile hesaplanabilecek bir R faktörü ( $R=0,1215 \times F^{2,2421}$ ) eşitliği önermişlerdir. Böylece çalışma sonucunda Seyhan Havzası'nın yıllık ortalama toprak kaybını 16,38 ton ha<sup>-1</sup>/y<sup>-1</sup> olarak hesaplamışlar; havzanın yarıdan fazlasının düşük erozyona sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

RUSLE erozyon modeli ile toprak erozyon riskinin değerlendirilmesinde CBS ve UA tekniklerinin Mustafakemalpaşa Havzası'na uygulanması Özsoy (2007) tarafından yapılmıştır. Çalışmada RUSLE modeline ait her bir faktör için önce temel haritalar elde edilmiş daha sonra bu haritalar çakıştırılarak (*overlay*) sahanın erozyon risk haritası üretilmiştir. Buna göre havzanın yıllık ortalama toprak kaybı 11,18 ton ha<sup>-1</sup> / yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Bayramin ve diğ. (2008) yarı kurak iklim şartlarına sahip Çankırı bölgesinde beş farklı arazi kullanımına sahip 289 toprak örneğinin analiz sonuçlarını organik madde, hidrolik iletkenlik, kil, silt ve kum oranlarına göre irdeleyerek jeostatistiksel yöntemler kullanmışlardır.

Yıldırım ve Erkal (2008) "Kumalar Dağı (Afyonkarahisar) Doğu ve Batısındaki Alanlarda Toprak Erozyonunun Değerlendirilmesi" adlı proje çalışmalarında Akarçay'ın iki alt havzası olan Şuhut ve Sincanlı havzalarında CBS ve UA tekniklerini kullanarak Rusle yöntemini uygulamışlar. Yapılan çalışma sonucu yıllık potansiyel toprak kaybı olarak Sincanlı havzasında 0 ile 14 ton/ha/yıl ve Şuhut havzasında ise 0 ile 24 ton/ha/yıl bulunmuştur.

Özcan ve diğ. (2008)'nin çalışması da jeostatistiksel yöntemlere ve Çankırı bölgesine ilişkindir. Bu çalışmada CBS ve jeostatistiksel yöntemler kullanılarak USLE modeli ile Çankırı bölgesinin beş farklı arazi kullanımı koşulları altındaki toprak erozyonu risk çalışması yapılmıştır. Semi-variogram oluşturmak için nugget değeri olarak 0.0023, sill 0.0036 değeri kullanılmış ve mekansal korelasyon değeri 800 m olarak bulunmuştur. Buna göre farklı arazi kullanımlarında farklı sonuçlara ulaşılmıştır.

Kaya (2008), "Türkiye'de Uzun Dönem Yağış Verileri Kullanılarak Ulusal Ölçekte RUSLE-R Faktörünün Belirlenmesi" adlı tez çalışmasında Türkiye'deki 252 adet meteoroloji istasyonunun yağış verileri YETKE-R modelinden faydalanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Karaburun ve diğ. (2009) Büyük Çekmece Havzası'nda CBS tabanlı RUSLE yöntemini kullanarak erozyon tahmini yapılmış ve havzanın erozyon risk haritası üretilmiştir. Üretilen sonuç haritasına göre havzanın yaklaşık % 54 lük bir bölümü yıllık 0 ile 1 ton/ha/yıl arası toprak kaybı ile düşük erozyon, % 30 luk bir bölümü

yıllık 1 ile 5 ton/ha/yıl arası toprak kaybı ile orta erozyon ve % 16'lık bir bölümü ise yıllık 5 ton/ha/yıl ve üzeri toprak kaybı ile yüksek erozyon riski altında olduğu görülmüştür.

Yılman (2009), Eldivan Sarayköy-II Sulama Göleti su toplama havzasında, Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (ETKE) ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE) ile birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve jeo-istatistiksel yöntemleri kullanarak, ilgili su toplama havzasına gelmesi olası ortalama toprak miktarı ton ha-1 yıl-1, ton yıl-1, m<sup>3</sup> yıl-1 ve m yıl-1 olarak belirlemiştir.

## **2. ÇALIŞMA ALANINI KAPSAYAN ESKİ ÇALIŞMALAR**

RUSLE Yöntemine ilişkin çalışmalar biryana bırakılırsa, proje alanını kapsayan ve ulaşılabilen ilk çalışma Tolun (1952)'a aittir. Bu çalışmada Afyon İli'nin jeolojisi ve maden potansiyeli üzerinde durulmuştur.

Colin (1955) ise Afyonkarahisar bölgesinin 1/100.000 ölçeğinde jeolojik etüdünü yapmıştır.

Nazik ve diğ. (1967a, b) Akarçay Havzası'nın bütününe ait ilk çalışmayı yapmış, Afyon, Bolvadin, Sultandağı ve Sincanlı yörelerinin güvenli yer altı suyunu, belirlemişlerdir.

Projeye altyapı oluşturabilecek nitelikte ilk çalışma ise Ardos'a ait olup 1972 tarihli bu raporda Ardos çalışma alanını da kapsayan geniş bir sahanın jeomorfolojisini, Afyonkarahisar bölgesinin yapısal elemanlarını, Sinanpaşa, Şuhut, Sandıklı ve Dombayova yörelerinin jeomorfolojik özelliklerini ayrıntılı olarak ele almış ve tüm Afyonkarahisar bölgesinin jeomorfolojik gelişimini açıklamıştır.

Atalay, (1977) Sultandağları ile Akşehir ve Eber Gölleri Havzalarının Strüktürel, Jeomorfolojik ve Toprak Erozyon Etüdü adlı doktora tezinde bölgeyi ayrıntılı bir şekilde incelemiştir.

Ardos, (1978) "Afyonkarahisar Bölgesinin Jeomorfolojisi" adlı kitabında Afyonkarahisar bölgesinin jeomorfolojisini yeni bulgular ışığında ayrıntılarıyla vermiştir.

MTA'lı yerbilimciler 1987 tarihli çalışmasında Afyonkarahisar ili sınırları içinde kalan K24 ve K25 paftalarının 1/25.000 ölçekli jeolojik çalışmasını rapor etmişlerdir. Bu raporda bölgesel stratigrafi kurulmuş, jeolojik özellikler, metamorfizma, yapısal jeoloji, jeomorfoloji, jeolojik evrim ve ekonomik jeoloji özellikleri üzerinde durulmuştur.

Ertesi yıl (1988) eleman desteğiyle güçlenen MTA ekibi bir önceki yıl çalışmasını gerçekleştirdiği alanın doğusunda kalan K26 ve K27 paftalarının 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeolojik çalışmasını yaparak yukarıda verilen konularda geniş bir bölgenin jeolojik araştırmasını tamamlamışlardır.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM), Afyonkarahisar İli'nin fizyografik, hidrografik, jeolojik, iklimik, bitki örtüsü ve su kaynaklarına değindiği 1994 tarihli çalışmasında bölgenin toprak türlerine ilişkin bilgilerin yanı sıra arazi sınıfları, kullanım şekilleri ve arazi sınıflarının tarımsal potansiyellerini de irdelemiştir.

Kibici ve diğ. (2001) İscehisar (Afyon) ilçesi ve B. Karabağ (Afyon) kasabası arasında kalan alanın genel jeolojisinin ortaya çıkarılması ve bölgede ekonomik olarak bulunan mermer yatakları hakkında ön bilgi edinilmesi amacıyla bölgede araştırma yapmışlardır. Bu amaçla, İscehisar (Afyon) ilçesi ve B Karabağ (Afyon) kasabası arasında kalan yaklaşık 1000 km<sup>2</sup> 'lik alanda önceden yapılmış çalışmalar derlenmiş ve bölgede faaliyet gösteren mermer ocaklarının jeolojik özellikleri ve kapasiteleri hakkında veriler toplanmış ve değerlendirilmiştir.

Hacettepe Üniversitesi'nden Tezcan ve diğ. (2002) Akarçay Havzası'nın hidrolojisi ve yer altı suyu akım modelini konu alan çalışmasında havzanın jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik özelliklerini irdelemiş, bölgenin su kaynaklarının kullanımı ve yönetimi konusunu ayrıntılı olarak araştırmıştır.

Alcı (2007) ise "Bolvadin İlçesinde Araziden Yararlanma" adlı yüksek lisans tezinde, Bolvadin ilçesinin arazi kullanım durumu, potansiyeli ve bu potansiyelin en iyi şekilde nasıl kullanılabilceği ele alınmıştır. Çalışmada köy ve kent idari alanları ele alınmıştır. Yapılan çalışmada idari üniteler birleştirilerek, Bolvadin ilçesinin arazi kullanımını ortaya çıkarılmıştır.

## İKİNCİ BÖLÜM

### ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Araştırma alanı olan Değirmen Dere havzası Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nün doğu kesiminde, Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde yer alır (Şekil 3).

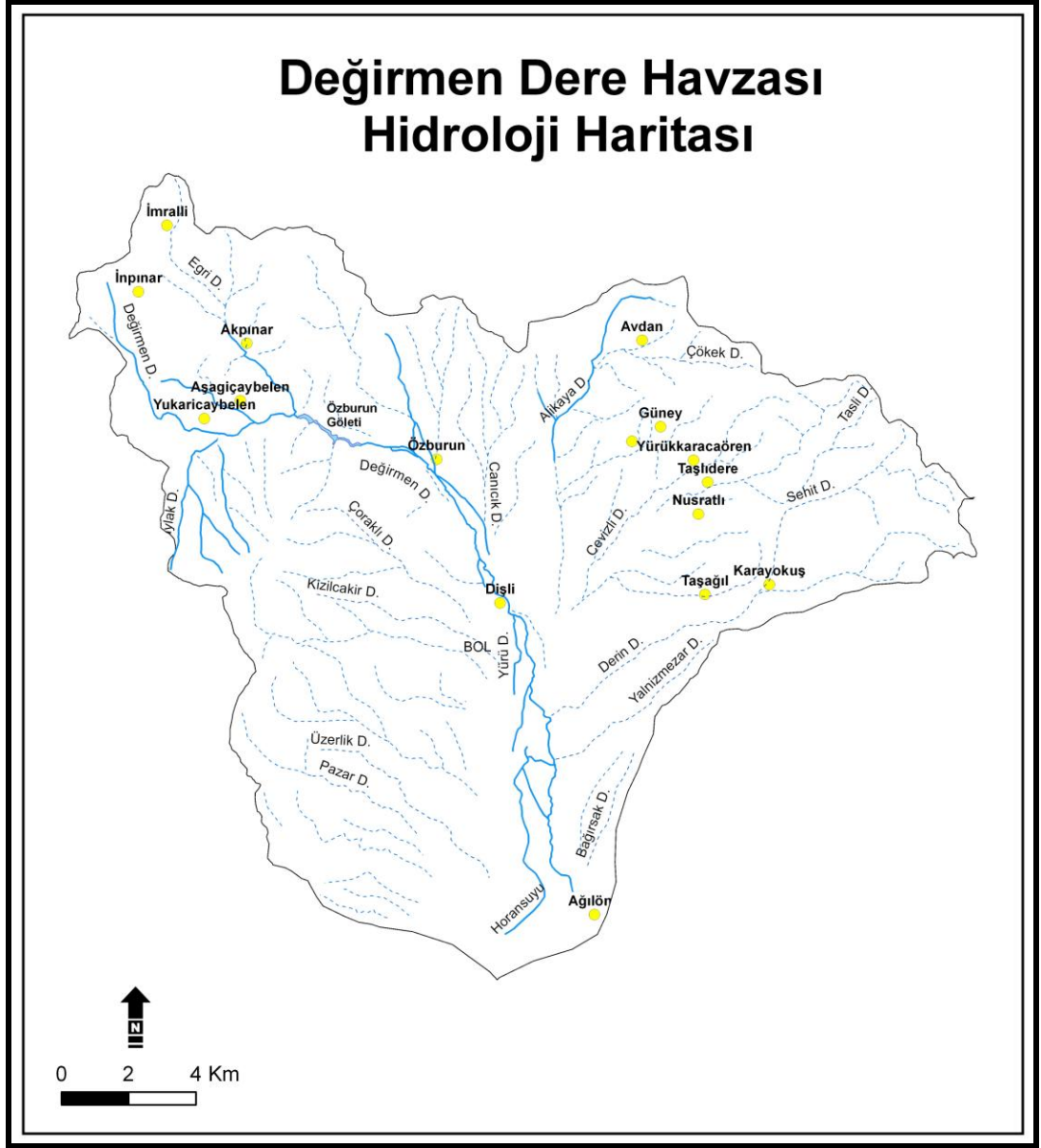
Havzanın önemli bir kısmını kaplayan Bolvadin ovası (965– 1070 m), genel olarak yüksekliği yer yer 2000 metreyi geçen, güneyden Sultan Dağları (2519 m.), kuzey doğudan Emirdağları (2307 m.), kuzeybatıda ise, Pasa Dağları (2000 m.) ile çevrilidir (Özdemir 2005).

Değirmen Dere, Akarçay'ın alt havzalarından biri olup yaklaşık 330 km<sup>2</sup> lik bir alana sahiptir. Bayat İlçesinin İnpınar köyü yakınlarından kaynağını alır ve Bolvadin İlçesi yakınlarında Akarçay'a karışarak Eber gölüne dökülür (Şekil 4).

Değirmen Dere'ye karışan suların bir çoğu mevsimlik dereler olup en önemli kolları Paşa Dağı'nın doğusundan doğan Aylak D., kuzeyde Avdan'ın kuzeyinden kaynağını alan Alikaya Deresi ve havzanın güneyinden kendisine karışan Horansuyu'dur. Bölgenin iklim şartlarından dolayı özellikle yaz aylarında derelerin bir çoğunun suları çok azalır hatta kurur. Bundan dolayı bu derelerden tarımsal açıdan çok verimli bir şekilde faydalanılmaz.







**Şekil 4.** Değirmen Dere Havzası Hidroloji Haritası

Kuzeyde Emirdağlarından kaynaklanan dereler eğimli yamaçlardan taşıdıkları alüvyonları eğimin azaldığı yerlerde biriktirirler. Özellikle ilkbahar aylarında yağışların artmasına ve kar erimelerine paralel olarak derelerin debileri artmakta, dolayısı ile taşınan topraklarda da artış görülmektedir. Hatta bu dereler bazen yerleşim alanlarını da tehdit etmektedir. Nitekim Karayokuş köyü sel baskınından dolayı 1967 tarihinde Bakanlar Kurulu kararıyla afet bölgesi ilan edilmiş ve selden korunmak için 1980 yılında yaklaşık üç km. güneye, Toprak İskan Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu evlere taşınmıştır. Fakat Çamlı Dere denilen eski

mevkide sel tehlikesine rağmen hala insanlar yaşamaktadır (Şekil 5) . Devlet Su İşleri (DSİ) ise Taşlıdere Köyünde Taşlı Dere Çayının üzerinde su kontrolü amaçlı setler yapmıştır (Şekil 6 ).



**Şekil 5.** Dere Yatağında Kurulmuş Olan Çamlı Dere Mahallesi



**Şekil 6.** DSİ'nin Taşlı Dere Üzerinde İnşa Ettiği Setler

## 1. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL FİZİKİ ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde çalışma alanına ait jeolojik, jeomorfolojik, iklim, toprak ve bitki örtüsü gibi özelliklerinden bahsedilecektir. Özellikle litolojik yapı önemlidir. Çünkü toprak kayaçların parçalanması ile oluşur. Kayaçların türleri, kalınlıkları, yaşları, sertlikleri vb. gibi özellikler toprak türü üzerinde önemli rol oynamaktadır.

### 1.1. LİTOLOJİK ÖZELLİKLER

İnceleme alanı olan Değirmendere Havzasında Paleozoikten günümüze kadar uzanan farklı litolojik ve tektonik özelliklere sahip kuşaklar yer almaktadır. Bölge genelde Paleozoik'e ait metamorfik seriler üzerinde yer almaktadır. Bu seriler metamorfik şist, kireçtaşı, mermer ve konglomeradan oluşmaktadır (Şekil 7).

Havzanın batısında yer alan Çobanlar şisti, inceleme alanının temelinin oluşturur. Bu birim genellikle kahve, boz, yeşil renkli ve çok kıvrımlı bir yapıya sahiptir. Paleozoik yaşlı olan birim düşük dereceli yeşil şist fasiyesine ait mineral parajenezleri kapsarlar. Granoblastik dokuya sahiptir. Genel olarak albit- klorit- muskovit- biyotit- kuvarşistlerden oluşmuştur. Kayaç, yeşilşist fasiyesi, kuvars- albit- muskovit- klorit subfasiyesinde (klorit zonunda) metamorfizma geçirmiştir.

Bölgenin batı ve kuzey batısında yine Paleozoik yaşlı olan meta konglomeralar geniş yayılım sunarlar. Genellikle boz , kahve renkli, kalın, çok kalın kaim tabakalanmalıdır. Konglomeralar 2-10 cm. çapında çakıllardan oluşurlar. Çakılları kuvars, kuvarsit, mermer ve şist kayaçlarına ait parçalar oluşturur. Birimin kalınlığı 150-300 m. arasında değişiklik gösterir. Birim K.B.'da üste doğru Paşadağ kireçtaşına geçiş gösterir.

Paşadağ kireçtaşı beyaz, kirli beyaz, gri, koyu gri renkli, taze yüzeyi beyaz ve gri renkli, sert kristalize ve yer yer mermer görünümündedir. Genellikle kalın tabakalanmalı ve düzgün kıvrımlanmalar sunar. Birimin alt dokanağı bayat ilçesinin G.B.'sında metakonglomeralar ile geçişlidir. Paşadağ'nda ise kireçtaşları yeşil ve kırmızı renkli şistlerden aralanmalı olarak izlenir. Birimin üst dokanağı Tersiyer yaşlı çökeller ile örtülür. Birimin kalınlığı değişken olup 100-250 m. arasında değişir.

Üst Sistem	Sistem	Seri	Simge	Kalınlık (m)	Kesit	Litoloji	
SENOZOYİK	Q	NEOJEN	Pliyosen	Pl-Mrn2	50		Alüvyon
				Pl-Kgm	50		Alüvyon Yelpazesi
				Pl-Kçt	220		Marn Belirsiz tabakalı, gevşek tutturulmuş çamurtaşı ve marn
				Pl-Mrn	100		Konglomera Kalın tabakalanmalı, karbonat çakıllı karasal konglomera
				Pl-Mrn	100		Kireçtaşı Mikritik, sert, kırılğan, silis-marn arabantılı killi kireçtaşı
			Miyosen	Mi23-Mm	250		Bazalt
				Mi23-Kgm	300		Marn Orta tabakalanmalı kum, çakıl, tüf, tüfit ara katkılı
				Mi23-Mm	250		Miltaşı, Çamurtaşı, Marn Gösel, orta-ince tabakalı miltaşı, çamurtaşı ve marn ardalanması
				Mi23-Mm	250		Tüf-aglomera, trakit, andezit volkanizması
				Mi23-Kgm	300		Konglomera Kalın ve kötü katmanlanmalı, konglomera-kumtaşı-silttaşı ve kilitaşı ardalanması
MESOZOYİK	Jura-Kretase	Triyas	Jk1-Kçt	300-350	Kireçtaşı Orta-kalın tabakalanmalı, bol eklemli, erime gösteren, yer yer kumtaşı ardalanmalı kireçtaşı		
			Tr3J1-Mrn	100	Marn, Kumtaşı, Şeyl Kırılı-sarı kumtaşı, marn, şeyl ardalanması		
			Tr3J1-Dtr	50	Konglomera, kumtaşı, silttaşı		
	Triyas	Triyas	Triyas	Tr23-Kçt	1500	Kireçtaşı Orta-kalın tabakalanmalı, yer yer karışma gösteren, eklem sistemleri gelişmiş, yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş kristalize kireçtaşları - dolomitik kireçtaşları	
				Pz-MVI	200	Metavolkanik Kuvars, serisit-kuvars, alkali-feldispat-kuvars şist	
				Pz-Kuv	200	Kuvarsit Kalın tabakalanmalı, sert, eklemli kuvarsit, Matriksi mikrokristalen kuvars, klorit ve serisit şist	
				Pz-Kçt	250	Kireçtaşı Sert, kristalize, mermer görünümlü, kalın tabakalanmalı, kıvrımlı kireçtaşı, kalkşist, kuvars-serisit şistler ile ardalanmalı	
				Pz-Mkg	150-300	Metakonglomera Kalın tabakalanmalı, yuvarlak kuvarsit çakılları Matriks kuvars-biotit, muskovit şist	
				Pz-Mrm	300	İscehisar Mermerleri Kalın-çok kalın tabakalı, büyük bloklar verebilen, ince kristalli beyaz-bej mermer	
				Pz-Sst	300	Şist Kuvars-muskovit-serisit şist, kuvars-albit-klorit şist, metakumtaşı, metakonglomera ve kalkşist ardalanması	

**Şekil 7.** Afyon ve Dolayının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Tezcan ve diğ. 2002’den alınmıştır).

Bölgenin kuzeyi mesozoik yaşlı kayalardan oluşur. Emirdağlarının güney eteklerinde yayılım gösteren birim genellikle ince taneli, meta konglomera, meta

kumtaşı gibi şisti kırıntılı katmanlardan oluşur (Şekil 8). Yörük Karacaören formasyonu olarak ta bilinen bu bölgedeki kayaçlar sarı, kirli sarı renkli, orta ve kalın katmanlıdır. Üste doğru kireçtaşı mercekleri kapsar. Formasyonun yüzeylendiği alan, sadece Yörük karacaören köyüdür. Birim burada Afyon metamorfiteği üzerinde diskordan olarak bulunur. Birimin üst dokanağı karaçaltepe kireçtaşları ile düşey geçişlidir. Birimin yaklaşık kalınlığı 10-50 m. arasındadır. birimin yaşı ise alt-orta triyas'tır.

Bölgenin K.B.'sında Özburun dolaylarında Üst Miyosen ve Üst Pliyosen yaşlı marnlardan oluşan birim kireçtaşlarının altında yer alır. Beyaz, beyazımsı gri renkli, orta tabakalı ve yumuşak volkanosedimanter kayaç arakatlıdır. Altta temel ve Yeniköy formasyonu üzerine diskordans olarak gelen birim, üstten Akpınar kireçtaşı üyesi ile uyumludur. Birimin kalınlığı 25-100 m. arasında değişmektedir (Kibici ve diğ. 2000).

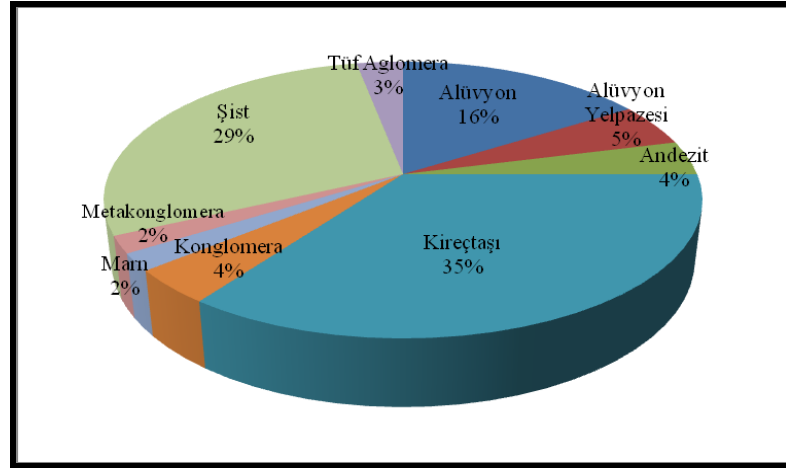


**Şekil 8.** Taşlıdere Köyü'nün KD Yönündeki Şistli Araziden Bir Kesit

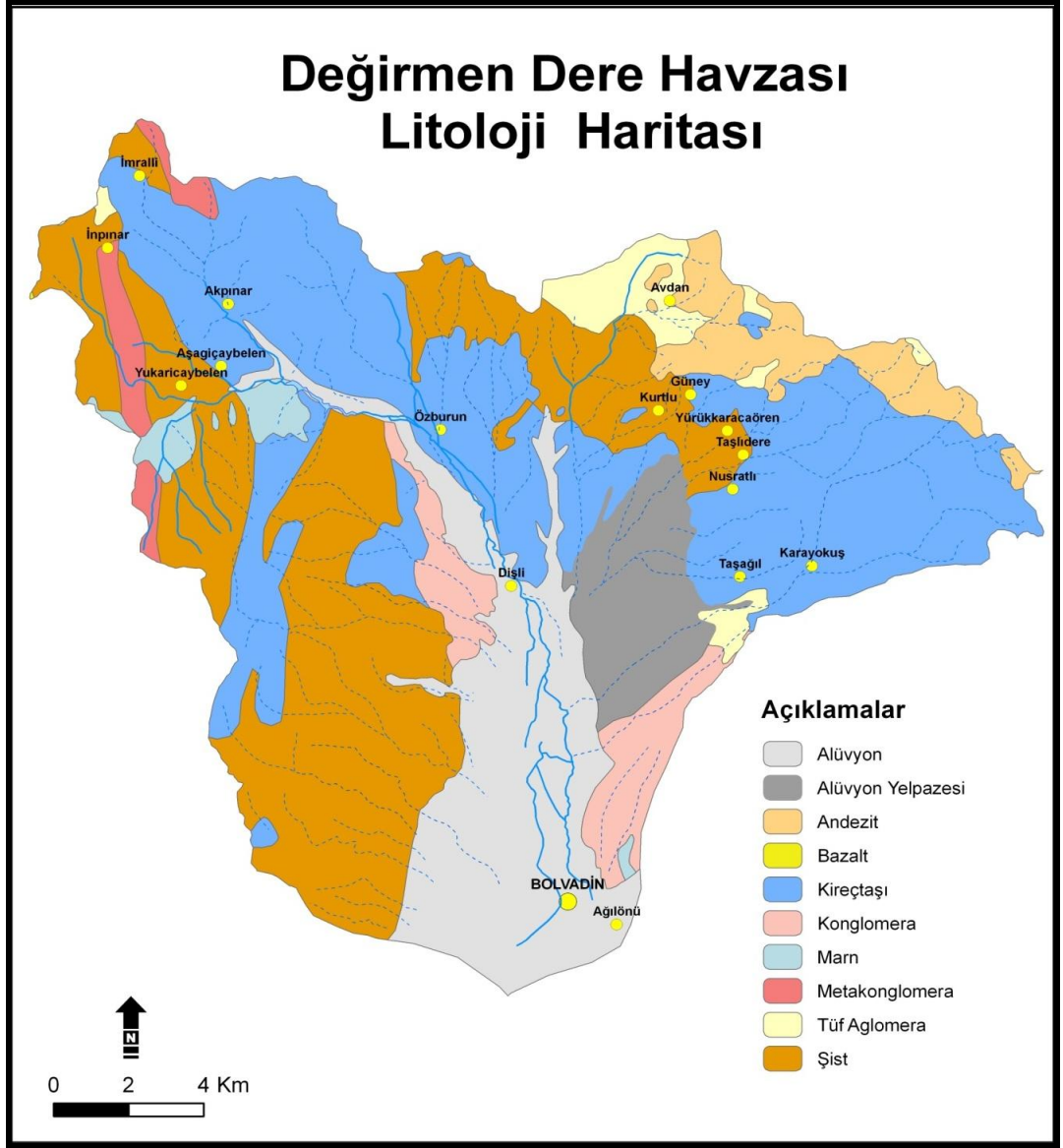
Havzada en fazla yer kaplayan kayaçlar ise kireçtaşları ve şistlerdir (Tablo 1, Şekil 9). Jeolojik yaş sıralamasında en genç birimler kuvaterner yaşında olup Değirmendere vadisinde çökelmiş olan alüvyonlar güneye doğru geniş alanlara yayılmıştır. Emirdağlarının güney eteklerinde, havzanın K.D.'sunda yamaç molozları ve biraz daha aşağılarda ise alüvyon yelpazesi göze çarpmaktadır ( Şekil 10).

**Tablo 1.** Değirmen Dere Havzası'ndaki Kayaç Türleri

KAYAÇ TÜRÜ	KAPLADIĞI ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
Alüvyon	52,5	16
Alüvyon Yelpazesi	18	5
Andezit	14,8	4
Bazalt	2	0
Kireçtaşı	112,2	35
Konglomera	14	4
Marn	5,2	2
Metakonglomera	6	2
Şist	96	29
Tüf Aglomera	9,8	3
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>



**Şekil 9.** Değirmen Deresi Havzası Litolojik Birimleri Grafiği



**Şekil 10.** Değirmen Dere Havzası Litoloji Haritası

### 1.2. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER

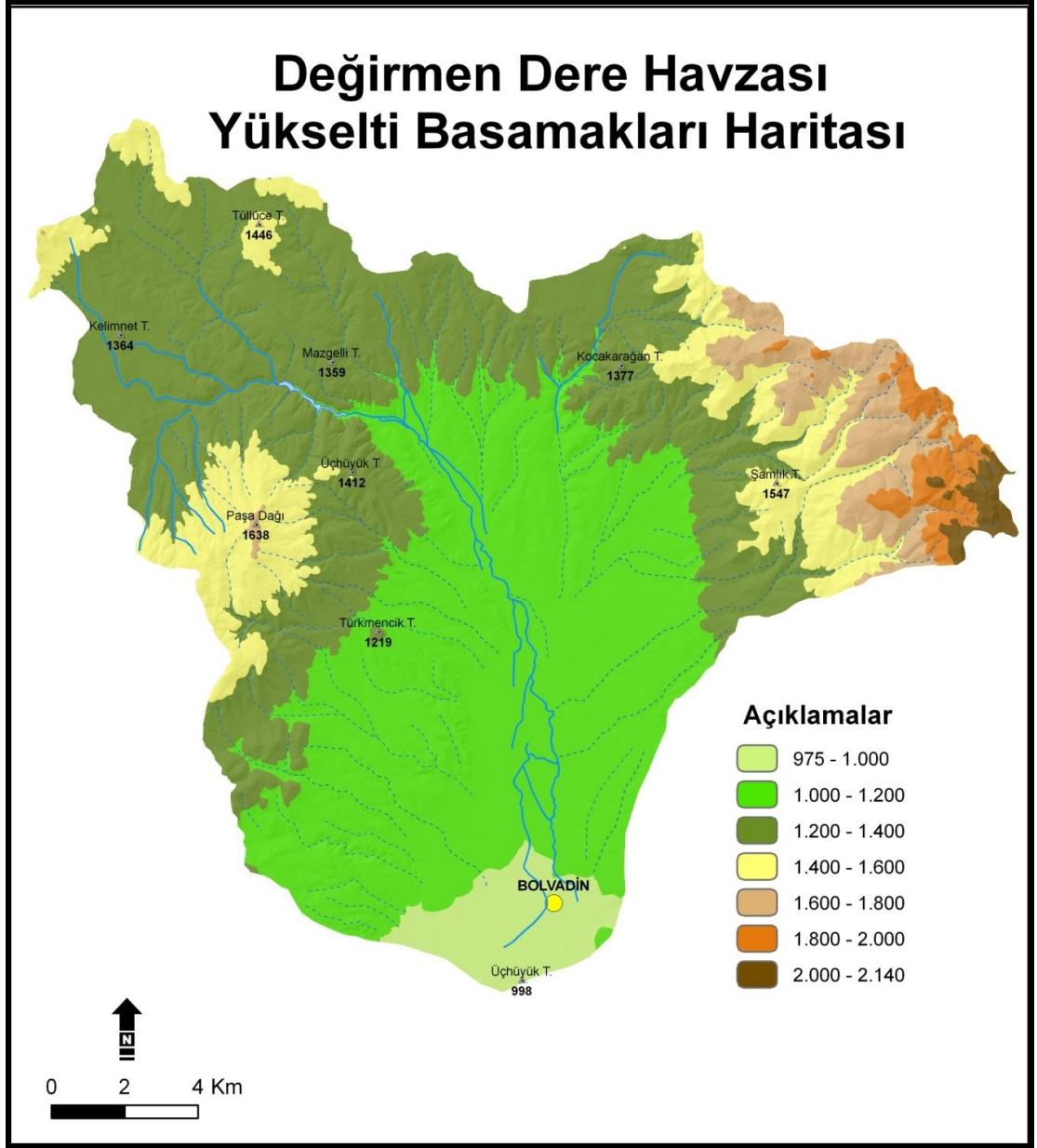
Değirmen Dere havzası genel hatları ile kuzeyde KB-GD yönlü uzanan Emirdağları (2307 m.) ile güneyde yine aynı yönde (KB-GD) uzanan Sultan Dağları (2519 m) arasında kalır. Havzanın batı sınırını 1638 m. yükselti ile Paşa Dağı belirler. Batı sınırında güneyden kuzeye doğru Türkmencik tepe (1219 m), Üç hüyük tepe (1412 m.), Mazgelli tepe (1359 m.), Kelimnet tepe (1364 m. ) ve Tüllüce tepe (1446 m.) bulunur. Doğu da ise Kocakarağan tepe (1377 m.) ve hemen güneyinde Şamlık tepe (1547 m.) önemli yükseltilerendir (Şekil 11).

Yükselti ve eğimin azaldığı güneydeki Bolvadin ovası ise III. Jeolojik zamanda oluşmuş Eber-Akşehir depresyonunun içerisinde bulunur. Havzanın yükseltisi 975m. ile 2140 m. arasında değişmektedir. Alan olarak en fazla yeri 1000 m. ile 1400 m. arasındaki yükselti kaplamaktadır (Tablo 2). Yükselti genel olarak KD ve BKB taraflarında artarken, Güneydeki depresyon tabanında bulunan Bolvadin ovasında 1000 m. nin altına inmektedir.

**Tablo 2.** Çalışma Sahası Yükselti Basamakları

<b>YÜKSELTİ BASAMAKLARI</b>	<b>KAPLADIKLARI ALAN ( km<sup>2</sup> )</b>	<b>ORAN%</b>
975-1000	13,7	4
1000-1200	126,9	38
1200-1400	123,5	37
1400-1600	40,8	13
1600-1800	16,2	5
1800-2000	6,5	2
2000-2140	2,7	1
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>



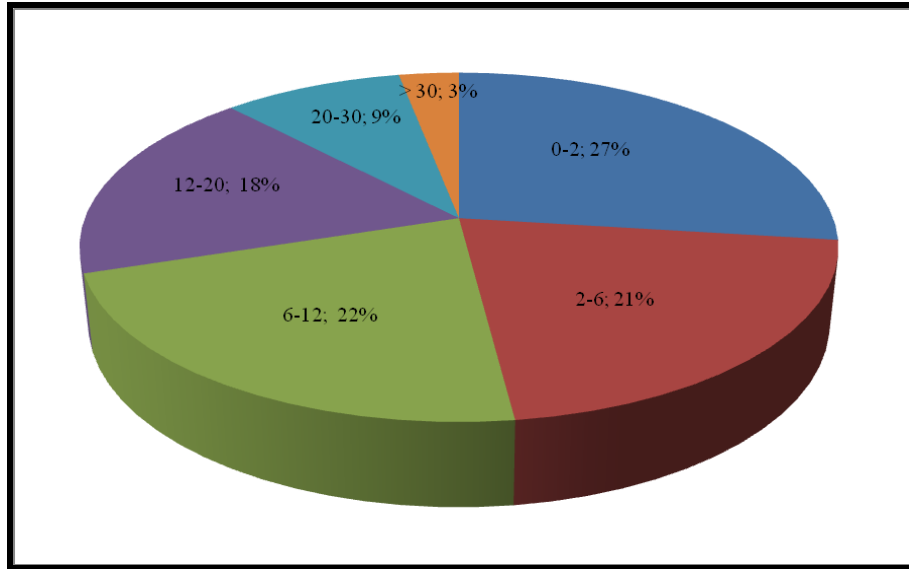


**Şekil 11.** Değirmen Dere Havzası Yükselti Basamakları Haritası

Değirmen Dere havzasında eğim gruplarına bakıldığında, yükseltiye bağlı olarak KD ve BKB yönlerinde arttığını görürüz. Emirdağlarının güney eteklerinde eğim %30'dan fazladır. Fakat bu oran havzanın eğim grupları içerisinde ancak % 3'lük bir orana karşılık gelmektedir (Tablo 3, Şekil 12). Havzanın Değirmen Dere vadisine yakın yerlerinde eğim azalmakta, buna karşılık dağlık sahalara karşılık gelen yerlerde ise artmaktadır (Şekil 13).

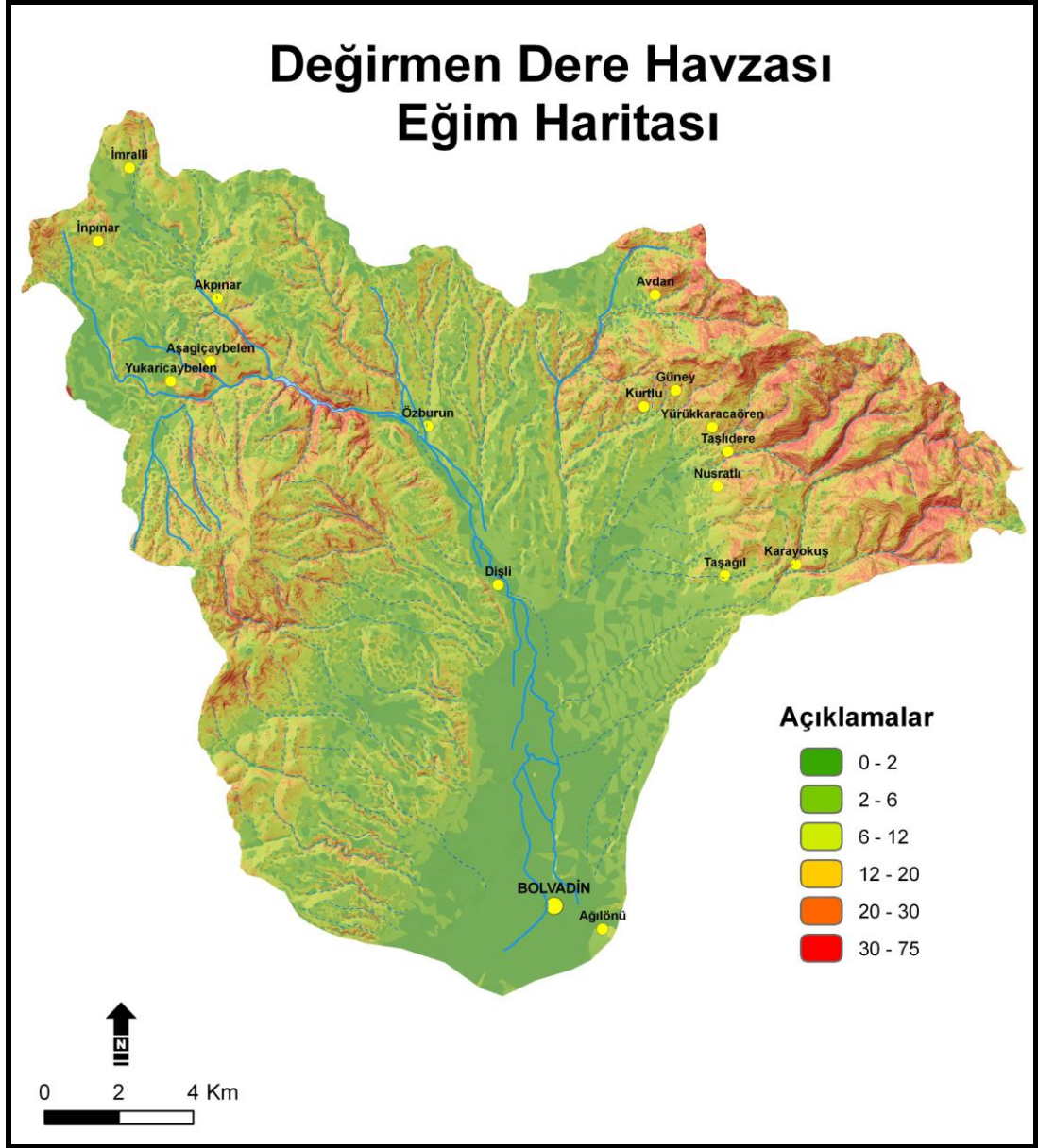
**Tablo 3.** Değirmen Dere Havzası'ndaki Eğim Dereceleri

EĞİM ( DERECE )	KAPLADIKLARI ALAN ( km <sup>2</sup> )	ORAN ( % )
0-2	89,8	27
2-6	69,8	21
6-12	72,7	22
12-20	59,2	18
20-30	30,7	9
>30	8,3	3
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>



**Şekil 12.** Değirmen Dere Havzası Eğim Grupları Grafiği

Depresyon alanının güney kesiminde özellikle Sultan Dağları'nın kuzey etekleri boyunca kuzeybatı – güneydoğu yönlü uzanan Sultandağı fayı üzerinde dönem dönem hareketlenmeler (deprem) yaşanmaktadır. Bu alan üzerinde en son deprem 03.02.2002 tarihinde 6.0 şiddetinde meydana gelmiştir (Alcı 2007) .



Şekil 13. Değirmen Dere Havzası Eğim Haritası

### 1.3. İKLİM ÖZELLİKLERİ

Afyonkarahisar ili sınırları içinde kalan Değirmen Dere Havzasını kapsayan çalışma alanı coğrafi açıdan Ege Bölgesi'nin sınırları kapsamında, İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer almaktadır. Bu konumuyla çalışma alanının iklimik özellikleri Akdeniz – İç Anadolu geçiş tipinde, karasal iklim karakteri göstermektedir. Karasallık nedeniyle gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkı da fazladır. Bu

özellikler kışların soğuk ve kar yağışlı, yazların sıcak ve kurak geçmesi şeklinde görülmektedir (Köy Hizmetleri, 1994; Yılmaz, 1999).

Meteorolojik verilere göre Afyonkarahisar ve yakın dolayının yıllık ortalama sıcaklığı 11.3°C, en soğuk ay olan Ocak ayının ortalama değeri 0.2°C, en sıcak ay kabul edilen Temmuz ayının ortalaması ise 21.9°C dir (Yılmaz, 1999).

Çalışma alanını oluşturan Bolvadin (Değirmen Dere Havzası'nı karakterize eden) meteoroloji istasyonunun verilerine göre en soğuk ayı Ocak ortalaması 0°C, en sıcak ay Temmuz ortalaması 22,3°C, yıllık ortalama sıcaklık ise 11°C dir. Yağışın en fazla düştüğü ay Mayıs, en az düştüğü ay ise Eylül olup yıllık yağış tutarı 392.4 mm dir. (Tablo 4-5).

**Tablo 4.** Bolvadin Aylık ve Yıllık Ortalama Sıcaklıkları (1975-2006)

Meteoroloji istasyonu	Aylar												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Bolvadin	0.0	1.1	5.0	10.1	14.8	18.9	22.3	22.0	17.6	12.0	6.0	1.8	11.0

**Kaynak:** Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

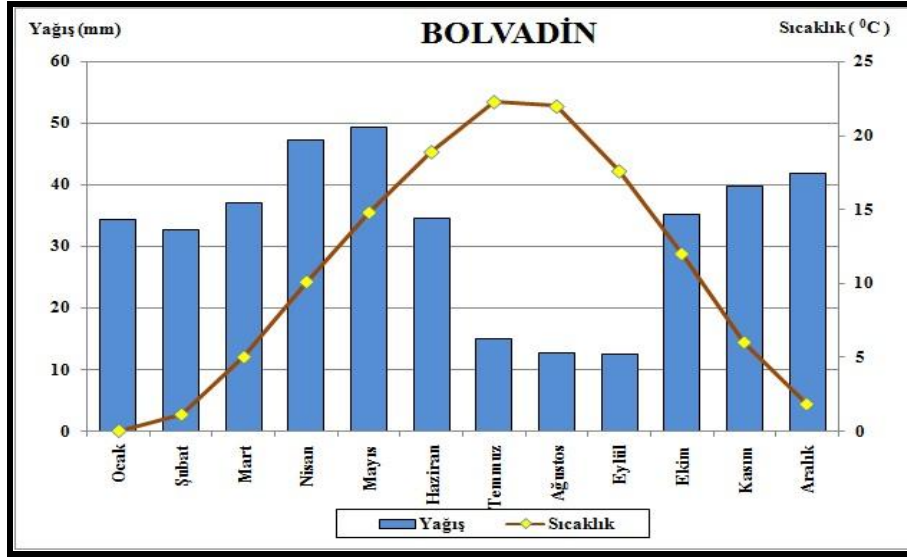
**Tablo 5.** Bolvadin Aylık ve Yıllık Ortalama Yağış Değerleri (1975-2006)

Meteoroloji istasyonu	Aylar												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Bolvadin	34.3	32.7	37.1	47.2	49.4	34.6	15.1	12.7	12.5	35.2	39.8	41.8	392.4

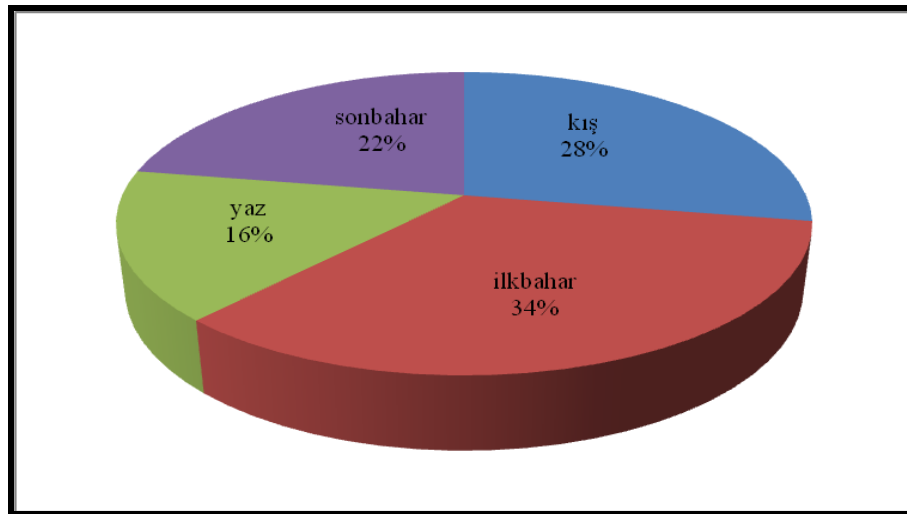
**Kaynak:** Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

Karasallığın etkisiyle yağışlar yazın çok azalmakta olup ilkbahar ve kış aylarında ise artmaktadır (Şekil 14-15). En fazla yağışı ilkbaharda alan Bolvadin ve

çevresinde kış ayları soğuk ve kar yağışlı geçmekte ve sık sık don olayları yaşanmaktadır. Merkezde hakim rüzgar yönü ise kuzeybatıdır. İklimin etkisiyle bitki örtüsü zayıf olan merkezde hakim bitki türünü bozkır oluşturmaktadır. Emirdağlarının eteklerinde çalılıklara ve daha yukarılarda ise yer yer ağaç topluluklarına rastlamak mümkündür.



Şekil 14. Bolvadin İstasyonuna Göre Sıcaklık ve Yağış Değerleri



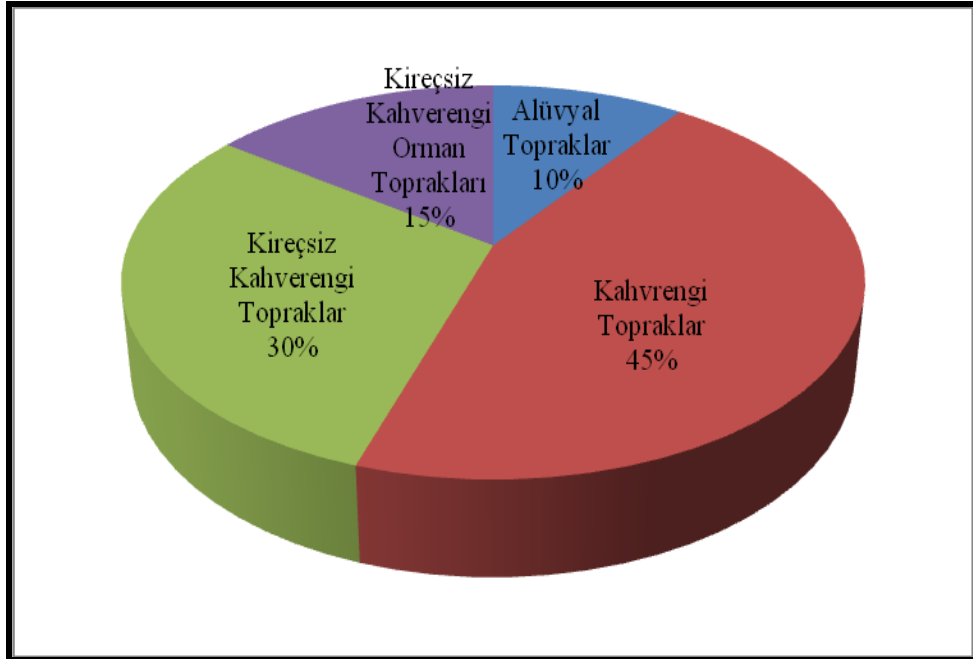
Şekil 15. Bolvadin İstasyonuna Göre Yağışın Mevsimlere Dağılışı

#### 1.4. TOPRAK ÖZELLİKLERİ

Değirmen Dere Havzasında dört büyük toprak grubu karşımıza çıkmaktadır. Bunlar; kahverengi topraklar, kireçsiz kahverengi topraklar , kireçsiz kahverengi orman toprakları ve alüvyal topraklardır (Tablo 6, Şekil 16 ). Bunlar dışında havzanın güney kesimlerinde az da olsa kolivyal ve hidromorfik topraklara da rastlanmaktadır.

**Tablo 6.** Çalışma Sahası Büyük Toprak Grupları

BÜYÜK TOPRAK GRUPLARI	KAPLADIKLARI ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
Alüvyal Topraklar	32,5	10
Kahverengi Topraklar	151	45
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	97,6	30
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	49,4	15
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>



**Şekil 16.** Değirmen Dere Havzası'nın Toprak Grupları Grafiği

Değirmen Dere Havzası'ndaki yerleşmelerin temel geçim kaynaklarının başında tarım yer aldığı için topraklar, özellikle de tarım yapılabilen topraklar büyük bölge halkı için büyük önem arz etmektedir. Burada kısaca havzada görülen büyük toprak gruplarından bahsedilecektir.

**Alüvyal Topraklar**, Değirmen Dere Havzası'nda akarsu ve mevsimlik dereler tarafından eğimli yamaçlardan kopartılan malzemelerin taşınarak vadi tabanı ya da ova tabanında biriktirilmesiyle meydana gelen topraklardır. Mineral bakımından zengin olan bu topraklar tarımsal faaliyetler ve birim alandan elde edilen verim açısından önemlidir. IV. Zaman arazisi üzerinde meydana gelen alüvyal topraklar havzanın güneyinde daha geniş alan kaplamaktadır. .

**Kahverengi Topraklar**, kalın, koyu renkli organik maddece zengin topraklardır. Bu toprakları jeoloji haritasıyla karşılaştırdığımızda Neojen ve Kuaterner'e ait araziler üzerinde geliştiği gözlenmektedir. A - B ve C horizonlarının geliştiği kahverengi topraklar sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleriyle tarım yapmaya elverişli topraklardır. Orta derinlikte olan bu topraklara Emirdağlarının güney eteklerinde ortalama 1000 - 1400 metre yükseltileri arasında yaygın olarak alan kaplamaktadır (Şekil 17) .



**Şekil 17.** Kutlu Köyü Güneyinde Görülen Kahverengi Topraklar

**Kireçsiz Kahverengi Topraklar**, havzanın daha çok kuzey ve kuzey batısında yayılış gösterir. A-B ve C horizonlu topraklardır. A horizonu iyi gelişmiş kırmızımsı kahverengi renkte ve biraz sıktır. Sulama sorunuyla karşı karşıya olan bu topraklar birim alandan elde edilen verimin düşük olduğu topraklardır. Bu topraklar üzerinde otlak alanları geniş yer kaplasa da yer yer kuru tarım alanları da bulunmaktadır. Buradaki tarım alanlarında daha çok arpa ve buğday tarımı yapılır.

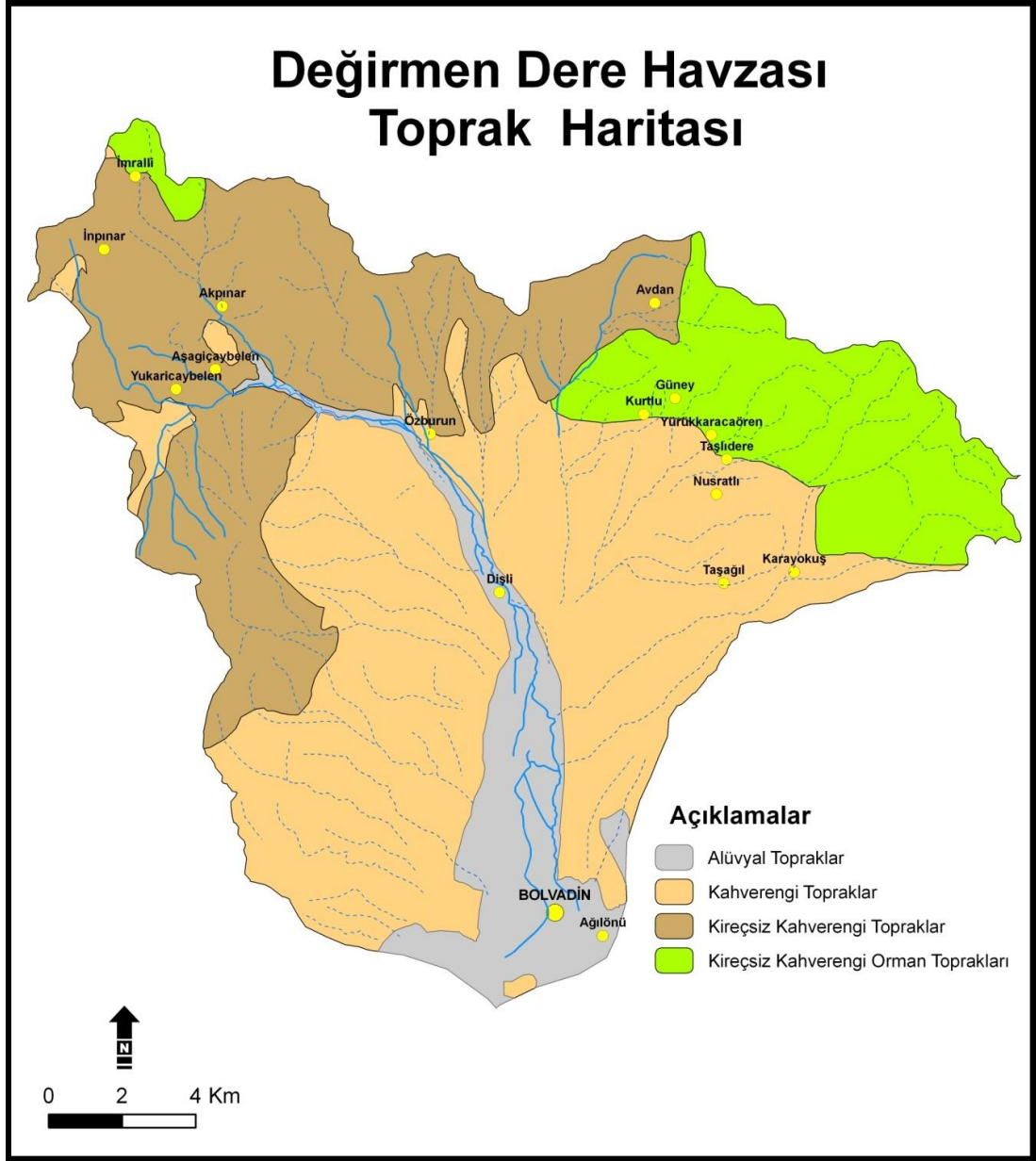
Alandaki toprak guruplarından alüvyal topraklar üzerinde birim alandan elde edilen verim daha yüksektir. Bundan dolayı da bu topraklar üzerinde yer alan idari ünitelerin temel geçim kaynağı tarımsal faaliyetlerdir.

**Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları** ise havzanın kuzey doğu kesiminde Emirdağlarının üzerinde yer almaktadır. Emirdağlarında yer yer orman topluluklarına rastladığımız alanlarda bulunur( Şekil 18–19 ).



**Şekil 18.** Emirdağlarının Güney Batı Eteklerinde Görülen Ormanlar





**Şekil 19.** Değirmen Dere Havzası Toprak Haritası

### 1.5. ARAZİ KULLANIMI

Afyonkarahisar ili genel hatlarıyla Yazılıkaya Platosunda ve Neojen dolgu alanlarında, aşınmayla oluşan orta derecede engebeli bir arazi yapısı üzerinde bulunmaktadır. Bundan dolayı da ilde tarım ve otlak alanları geniş yer kaplamaktadır. Tarım ve otlak alanlarının geniş olması ilde tarım ve hayvancılığı ön plana çıkarmıştır.

Değirmen Dere Havzası'nda, tarım alanlarının daha çok güneyde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumun nedeni ise havzanın kuzeyinde yer şekillerinin dağlık ve engebeli olmasıdır. Güneydeki Akarçay ve yakın çevresi (depresyon tabanı) eğimin az, yer şekillerinin sade ve su kaynaklarının fazlalığından dolayı tarım alanları ve tarımsal faaliyetlere daha çok elverişlidir. Dişli kasabası ve Özbek kasabalarının da içerisinde bulunduğu Değirmen Dere vadisi içerisinde daha çok bağ - bahçe alanları bulunmaktadır (Alcı 2007) (Şekil 20).



**Şekil 20.** Değirmen Dere Vadisinde Yer Alan Bir Tarım Arazisi

Değirmen Dere vadisinin dışında kalan tarım alanlarında sulama problemi olduğu için kuru tarım yapılır. Toprakların nadasa bırakılması ve anız yakılması gibi arazinin yanlış kullanımının da yer yer görüldüğü bölgede topraklar erozyona karşı korunmasız bırakılmaktadır (Şekil 21).

Değirmen Dere Havzası'nda otlak alanlarının daha çok dağlık kesimlerde ve bu dağların güneye bakan yamaçlarında yoğunlaştığı görülür. Emirdağları'nın ve Paşa Dağı'nın büyük bir kısmı otlak alanı olarak kullanılmaktadır. Bölgede ki orman arazisi oldukça azdır. Orman alanları da tam anlamıyla orman örtüsü şeklinde değil

fundalık şeklindedir. Havza içerisinde Özburun ve Dişli kasabalarının yüksek kesimlerinde fundalık alanlar karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 21.** Hasat Sonrası Anız Yakılan Tarlalar

## **2. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL BEŞERİ VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ**

### **2.1. BEŞERİ ÖZELLİKLER**

Çalışma alanı olan Değirmen Dere Havzası'nda 1 ilçe merkezi, 2 belde ve 12 köy olmak üzere toplam 15 yerleşim merkezi bulunmaktadır (Tablo 7).

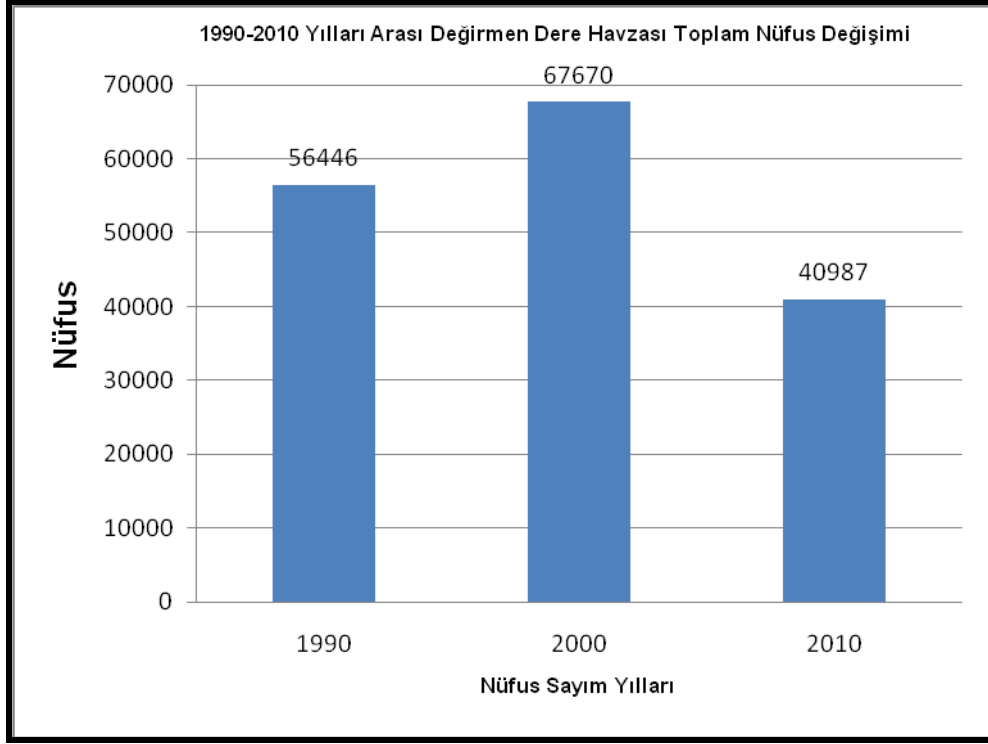
Değirmen Dere Havzası'nın nüfusu, 2010 nüfus sayımına göre 40987'dir. Bunun 31387'si ilçe merkezinde yaşarken geriye kalan kısmı ise kasaba ve köylerde yaşamaktadır. 2010 sayımına göre havzanın nüfusunun büyük oranda azaldığını, hatta 1990 yılının bile altına indiğini görmekteyiz (Şekil 22). Buna sebep olarak bölgenin hala büyük bir hızla göç vermesinin yanında, asıl etken olarak 2007 yılından itibaren uygulanan adrese dayalı nüfus kayıt sistemine geçilmesi olarak gösterebiliriz. Bu uygulama ile ikamet edilen yerde sayıma katılma esas alındığından

ülke genelinde özellikle kırsal kesimde büyük nüfus kayıpları yaşanmıştır. Daha doğrusu başka bir yerde yaşayıp kendi köyü veya kasabasında sayılmanın önüne geçilmesiyle bu köy veya beldelerin nüfusları azalmıştır.

**Tablo 7.** Değirmen Dere Havzası'ndaki Yerleşmelerin Nüfusları (1990-2010)

<b>YERLEŞİM</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
Bolvadin İlçe Merkezi	44949	52398	31387
Güney	337	303	267
Kutlu		155	137
Yörük Karacaören	655	439	384
Taşlıdere	400	197	171
Nusratlı		143	85
Karayokuş	815	923	989
Taşagıl	88	163	65
Özburun Belediyesi	3516	4948	2233
Dişli Belediyesi	5686	8001	3415
Yukarı Çaybelen (Bayat)	328	162	350
Aşağı Çaybelen (Bayat)	456	408	436
İmrallı (Bayat)	789	723	747
İnpınar (Bayat)	185	167	151
Akpınar (Bayat)	167	162	170
<b>Toplam</b>	<b>56446</b>	<b>67670</b>	<b>40987</b>

**Kaynak:** (<http://www.tuik.gov.tr>)



Şekil 22. Değirmen Dere Havzası 1990-2010 Yılları Arası Nüfus Değişim Grafiği

## 2.2. EKONOMİK ÖZELLİKLER

İlçenin ekonomisinin temelini tarım oluşturur. İlçedeki tarım alanlarının depresyon tabanında ve depresyona doğru alçalan Emirdağları'nın güney yamaçlarında yoğunlaştığı görülmektedir.

İlçedeki en fazla tarım alanının Bolvadin kentsel idare alanı içerisinde olduğunu görmekteyiz. En az tarım alanı ise Kutlu köy idari alanında yer almaktadır. Değirmen Dere vadisinde sulanabilen alanların varlığı ve alüvyal toprakların bulunması sebze ve meyve tarımının gelişmesine yol açmıştır. Özellikle Değirmen Dere Baraj Göletinin yapılması burada sebze ve meyve üretimini önemli oranda artıracığı tahmin edilmektedir.

Değirmen Dere üzerindeki Özburun Göleti'nin yapımına 2007 yılının ocak ayında başlanmış ve 2008'in sonlarına doğru bitirilmiştir. Havzanın kuzey batısında bulunan gölet Yukarı Çaybelen ve Aşağı Çaybelen köyleri ile Özburun kasabası arasında kalmaktadır (Şekil 23).



**Şekil 23.** Havzadaki Tarım Alanları İçin Büyük Önem Taşıyan Özburun Göleti'nden Bir Görünüm

Yetiştirilen başlıca tarım ürünleri buğday, arpa, haşhaş, şeker pancarı, mercimek, fasulye, patates ve soğan gibi tarla bitkileridir. Özburun, Dişli ve Bolvadin gibi sulama yapılan alanlarda ve taban suyu seviyesinin yüksek olduğu Değirmen Dere vadisi boyunca dikili alanlarda kayısı, vişne, zerdali, ahududu ve elma ağaçları göze çarpmaktadır.

Havzada otlak ve meralarda hayvancılık faaliyetleri yapılmaktadır. Mera alanları ilçede orman örtüsünün yetişmediği ve tarım yapılmayan eğimli alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Hayvanlardan elde edilen et, süt, yün, yapağı gibi ürünler hem gıda hem de birçok sanayi koluna hammadde teşkil etmektedir. Özellikle sucuk ve kaymak yapımı ilçede önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır.

Kümes hayvancılığı ise yapılan bir diğer hayvancılık faaliyetidir. Özellikle Bolvadin ilçe merkezinin çevresinde kurulmuş tavuk çiftliklerinde yumurta ve tavuk eti üretimi yapılmaktadır.

Bolvadin ilçesinde tuğla ve kiremit sanayi, un fabrikası, emaye fabrikası ve alkoloit fabrikası yöre insanı için önemli oranda istihdam yaratmaktadır (Alcı 2007).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### YÖNTEM VE MALZEME

#### 1. ÇALIŞMANIN GERÇEKLEŞTİRİLME SÜRECİ

İlk aşamada Akarçay Havzası'nda yer alan Bolvadin (Değirmen Dere Havzası) ile ilgili literatür ve verilerin toplanmasına başlanmış, bu bağlamda yapılmış coğrafya, jeoloji, iklim, toprak, hidrografya konularında yayımlanmış ve yayımlanmamış her türlü eski çalışma derlenmeye çalışılmıştır. İklimle ilgili sağlıklı verilerin elde edilmesi için çalışma alanı kapsamında yer alan meteoroloji istasyonlarının sıcaklık, yağış gibi erozyonu etkileyen verileri toplanmıştır. Ayrıca bu aşamada 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafya haritaları Harita Genel Komutanlığı (HGK)'ndan, sayısal toprak haritaları Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'ndan, sayısal jeoloji haritaları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nden, yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ)'nden ve uydu görüntüleri ise Landsat Türkiye dağıtıcısı Nik İnşaat Ltd. Şti.'nden sağlanmıştır.

Elde edilen bu verilerin ve malzemenin yanı sıra Değirmen Dere Havzası'nda arazi çalışması yapılmıştır. Arazi çalışmasında söz konusu havzanın litolojik jeomorfolojik özellikleri, toprak türleri saptanmış ve ilgili havzadaki topraklardan karakteristik toprak örnekleri alınmıştır.

Örnek alımında projenin kısa bir zaman aralığında gerçekleştirilmesi zorunluluğuna koşut olarak analiz sonuçlarına ulaşılabilme amaçlanmıştır. Bu amaçla belli aralıklı ve birbirine dik doğrultularda, belirlenen sıklıkta örnek alımı (sistemik örnek alımı) yerine, olabildiğince sık aralıklarla ve uygun yerlerden karakteristik olabilecek örneklerin alınması yolu tercih edilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında jeolojik-jeomorfolojik ve pedolojik özelliklerin belirlenmesine ilişkin gözlemler ile arazinin ve örnek alınan yerlerin fotoğraflanması da yapılmıştır.

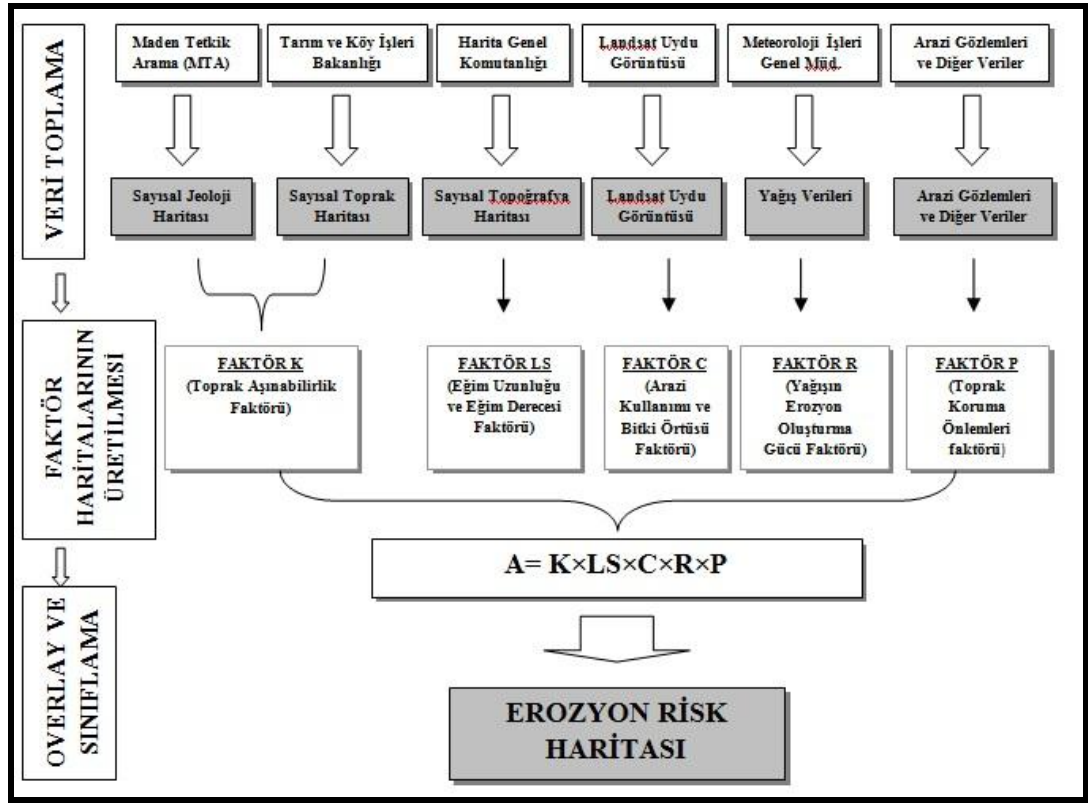
Araziden örnek almayı izleyen aşamada arazi gözlemlerinin yapılması, sahaya ilişkin verilerin derlenmesi, toprak örneklerinin analizinden elde edilen değerlerin RUSLE yönteminde uygulamasına geçilmiştir. RUSLE Yöntemi yıllık toprak kaybını saptama çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan, faktör (etmen) temelli bir yöntemdir. Şimdiye dek erozyonu meydana getiren nedenler, süreçler ve etkileri konusunda çok çeşitli araştırmalar yapılmış olup bu çalışmalarda erozyona neden olan faktörler bir model olarak ele alınmış ve çeşitli erozyon risk tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerden biri ve yaygın olarak kullanılanı RUSLE yöntemi olup yöntemin esasını USLE yöntemi oluşturmaktadır. Söz konusu yöntem 1957’de Wischmeier ve arkadaşları tarafından tarım arazilerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda inşaat sahalarında, mera ve orman sahalarında kullanılmalarına ilişkin çeşitli düzenlemeler yapılmış, yapılan araştırma sonuçları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak 1987 den itibaren gözden geçirilerek (revize edilerek) oluşturulan yeni model, RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation* = Düzenlenmiş Üniversal Toprak Kaybı Denklemi) olarak adlandırılmıştır (Renard ve diğ. 1991, 1994, 1997).

RUSLE yönteminde “Düzenlenmiş Üniversal Toprak Kaybı Denklemi”ni oluşturan etmenler topluluğu ele alınmış ve gözden geçirilmiştir. Söz konusu bu etmenler; yağış etmeni (R Faktörü), toprak etmeni (K Faktörü), eğim ve yamaç uzunluğu etmeni (LS Faktörü), vejetasyon / bitki örtüsü etmeni (C Faktörü) ve toprak koruma etmeni (P Faktörü) dir. Bu etmenlerin her biri için çeşitli kaynaklardan ve arazi çalışmalarından veriler derlenmiştir. Veriler CBS ortamında bir araya getirilmiş ve CBS nin veri girişi, veri işleme, analiz ve sunu hazırlama araçlarından faydalanılmıştır. Bu çalışmalara temel oluşturacak RUSLE etmenlerinin her biri CBS ortamında sayısal (dijital) olarak sağlanmış, UA ve arazi çalışmalarından sağlanan verilerle beş ayrı tematik katman elde edilmiştir. Bu beş katman daha sonraki analizler için raster veri formatına dönüştürülmüştür. Son aşamada ise her bir etmeni temsil eden katmanların bindirilmesi (*overlay*) ile sonuç haritası elde edilmiştir (Şekil 24).

Çalışmanın en son aşamasında ise analizi yapılan örneklerin laboratuvar sonuçlarıyla birlikte tüm katmanların hem teker teker, hem de kompozit olarak



değerlendirmeleri ve ilgili literatürle karşılaştırılmaları yapılmış, sonuçlarının yazımına geçilmiştir



Şekil 24. Çalışmanın Gerçekleştirilme Aşamalarını Gösteren Akış Diyagramı

## 2. RUSLE YÖNTEMİ

Üniversal toprak kayıpları tahmin denklemi (USLE) erozyonla kaybolan toprak miktarının tahmin edilebilmesi amacıyla en çok kullanılan modellerden birisidir. USLE yöntemi 1957'de Wischmeier ve arkadaşları tarafından tarım arazilerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş ve daha sonra 1971 de inşaat sahaları ve 1972'de de mera ve orman alanları için kullanımları da eklenmiştir. Ancak bu konudaki çalışmalara devam edilmiş (Wischmeier ve Smith, 1978) ve 1985 yılında Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'nın ve erozyon ile ilgili araştırmacıların da katılımıyla gerçekleştirilen toplantı sonucunda USLE nin ilave araştırma sonuçları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak yeniden gözden geçirilmesine (revize edilmesine) karar verilmiştir. Revizyon çalışmaları 1987 de başlamış ve yeni model RUSLE

olarak adlandırılmıştır. RUSLE yöntemi USLE modelinin temel yapısını korumaktadır ve yıllık toprak kaybını ton/ha/yıl olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplamaktadır.

$$\text{Denklem: } A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Burada:

A : Birim alandan gerçekleşen ortalama yıllık toprak kaybı miktarı (ton/ha/yıl).

R : Yağış-akış aşındırıcı faktörü (ton/ha/yıl).

K : Toprağın erozyona duyarlılık faktörü (ton/ha/yıl).

L : Eğim uzunluğu faktörü (birimsiz).

S : Eğim dikliği faktörü (birimsiz).

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

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

Yukarıda verilen eşitlikte R faktörü erozyon üzerine etki eden iklim faktörünü, LS faktörü topoğrafik özelliklere bağlı olan eğim uzunluğu ve dikliğini, K faktörü toprağın erozyona duyarlılık faktörünü, C ve P faktörleri ise arazi kullanımı ile ilgili süreçleri temsil etmektedir. Bu nedenle bu eşitlik hem fiziki hem de beşeri coğrafya nedenlerinden dolayı oluşacak potansiyel erozyon miktarının tahmin edilmesini sağlamaktadır. Söz konusu eşitlik ile belirlenen değer, seçilen herhangi bir alanda çoğunlukla oluk ve oluklar arası erozyon nedeni ile oluşacak potansiyel toprak kaybı miktarını ifade etmektedir. Ancak erozyona uğrayan toprağın taşınması ve depolanması ile ilgili süreçleri, yatak ve oyuntu erozyonunun sonuçlarını kapsamamaktadır.

## 2.1. YAĞIŞIN EROZYON OLUŞTURMA FAKTÖRÜ (R)

Su erozyonun görüldüğü her yerde, yağışlar erozyonun başlıca nedeni ve ana faktörüdür. R Faktörü yağmurun veya hareket halindeki suyun erozyon yapabilme potansiyeli olarak kabul edilir. R Faktörü yağışın şiddeti, süresi, yağmur damlasının çapı, kütlesi ve damlaların düşme hızının bir fonksiyonudur. Yağışın aşındırıcı etkisi olan faktör (R) bir yıl içinde gerçekleşen tüm fırtınalı yağışların fırtına kinetik enerjisi (E) ve maksimum 30 dakikalık fırtına süresi-yağış yoğunluğu (I30) işleme alınarak hesaplanır. Bu ilişki yağmur damlalarının çarpma ve sıçratma miktarını ve olası yüzey akış oranının etkisini ölçer (Wischmeier ve Smith,1978).

R değerleri model için belirlenecek havzaya ait yağış yoğunluğu (cm) ve yağış süresi (dak) biliniyorsa , aşağıdaki denklem’de görülen formül yardımıyla hesaplanır.

Denklem:  $R = E \times I30 / 100$

Burada:

R : Yağışın erozyon yaratma faktörü.

E : Toplam şiddetli yağış enerjisi.

I30 : Maksimum 30 dakikalık yağış şiddeti’dir.

RUSLE Yöntemini uygulanmasında R faktörünün elde edilebilmesi için ayrıntılı yağış verilerine gereksinim vardır. Bunlar yağış miktarı, yağış yoğunluğu, yağmurlu gün sayısı ve yağış süresi gibi verilerdir. Fakat ülkemizde her meteoroloji istasyonunda bu verilerin ölçümleri yapılmamaktadır. Ülkemizin belirli istasyonlarına ait R değerleri Kaya (2008) tarafından hesaplanmıştır. Türkiye genelinde 252 adet meteoroloji istasyonunun uzun yıllara ait yağış diyagramları incelenerek bu istasyonların aylık ve yıllık R değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler hesaplanmanın yapıldığı istasyona ait noktasal bir değerdir.

Ülkemiz ve (Amerika ve Batı Avrupa hariç) dünyanın çoğu bölgeleri için R faktörünün hesaplanmasında karşılaşılan zorluk, bu faktörün hesaplanabilmesi için gerekli verinin elde edileceği istasyon ağı sıklığının yetersiz olmasıdır. Ölçümlerin

yapılabileceği teknolojik imkanlar ya yoktur ya da henüz veri toplanmaya yeni başlanmıştır. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada yağış faktörünün hesaplanmasında düşen yağış miktarının kullanıldığı yaklaşımlar kabul edilmiştir.

Arnoldus (1977) Fas'ta FAO adına yaptığı erozyon çalışmasında, aylık yağışların karesinin toplam yağışa bölünmesi ile elde edilen Fournier değeri (F) ile R değeri arasında çok güçlü bir linear (çizgisel, doğrusal) ilişki olduğunu ortaya koymuş ve bu ilişkiyi istatistiki olarak regresyon denklemi ile ifade etmiştir. Elde edilen regresyon denkleminde R değerini tahmin etmek kolay olmaktadır. Bu nedenle regresyon denklemi önemlidir. Arnoldus, R değerini hesaplamak için kullandığı  $R = 0.264F + 1.50$  denklemine 1977 tarihli çalışmaları sonucu ulaşmıştır. Arnoldus'un 1977'deki bu öncü çalışması, daha sonrasında yapılan ve plüviyometre olmayan yerler için bir öncü çalışma olmuştur.

Araştırmacılar dünyanın çeşitli bölgelerinde R değerinin hesaplanması ile ilgili olarak, F değeri ile R değeri arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve bu ilişkinin sonucunu çeşitli regresyon modelleri ile ifade etmişlerdir. Lo ve diğ. (1985) Hawaii adaları, Morgan (1986) Malezya, Renard ve Freimund (1994) Amerika Birleşik Devletleri, Yu ve Rosewell (1996) güney Avustralya, Silva (2004) Brezilya için çalışmalar yapmışlardır.

Aşağıdaki tabloda (Tablo 8) bu araştırmacıların R değerini tahmin etmek için kullandıkları regresyon denklemleri verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi her bölge için aylık ve yıllık yağış toplamlarına göre ayrı bir değerlendirme yapılmalı ve buna göre o bölge için regresyon denklemi geliştirmek gerekmektedir.

**Tablo 8.** R Değeri İçin Farklı Çalışmacılar Tarafından Kullanılan Denklemler.

ARASTIRMACILAR	REGRESYON DENKLEMİ
Lo ve diğ. (1985)	$R = 38.46 + F3.48$
Morgan (1986)	$R = 8838 - F9.28$
Renard ve Freimund(1994)	$R = 0.739 - F1.847$
Yu ve Rosewell (1996)	$R = 3.82 - F1.41$
Silva (2004)	$R = 42.77 + F3.76$

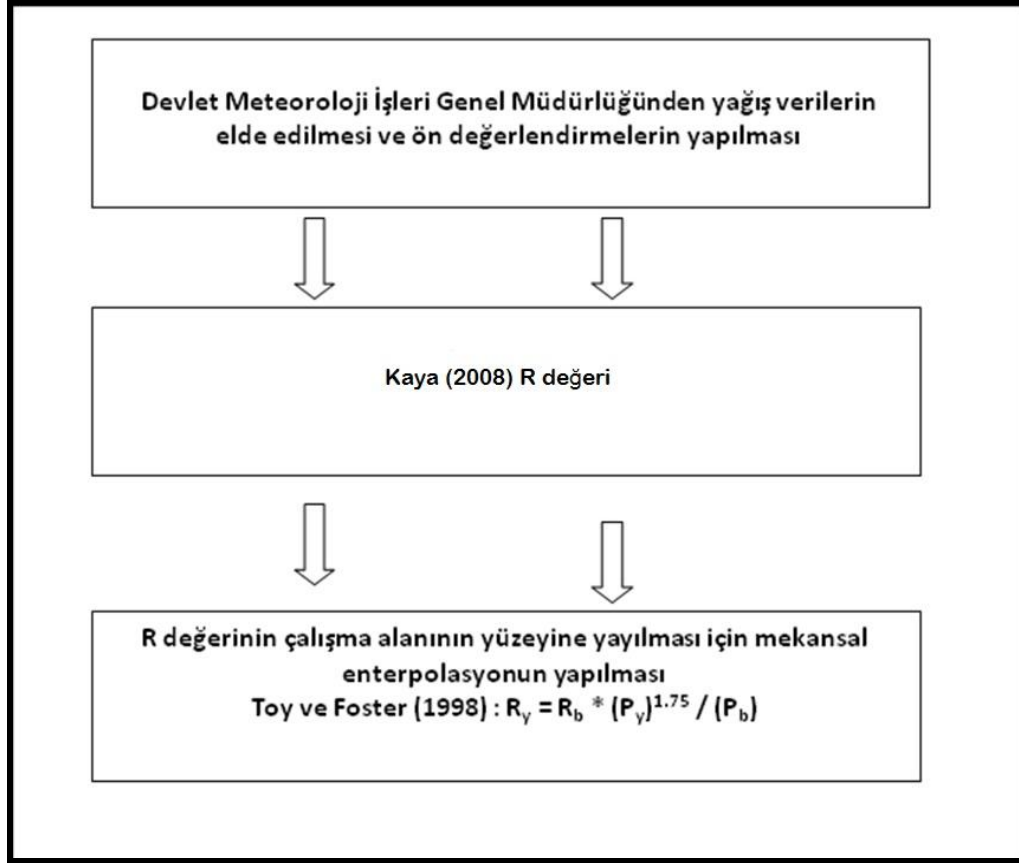
Literatürden anlaşıldığı gibi F değerine bağlı olarak R değerinin tahmin edilmesi ile ilgili ülkemizde iki tane çalışma vardır. İrvem ve diğ. (2007) Seyhan Havzası'nda düzenli veri toplanan 15 meteoroloji istasyonundan çok yıllık günlük yağış verileri kullanılarak, plüviograf okumaları olan istasyonların R faktörlerini Wischmeier ve Smith (1978)'e göre hesaplayarak aylık yağış verileri olan istasyonların MFI değerleriyle regresyon analizine ( $R^2=0,94$ ) tabi tutmuşlardır. Sonuçta çalışma alanı için  $R=0,1215+F2,242$  regresyon denkleminde ulaşılmış ve bu denklem havzadaki diğer 15 istasyonun R değerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Yılmaz (2006) Çamlıdere Baraj Havzası'nda ve çevresinde bulunan istasyonlar için R değerini hesaplayabilmek amacıyla ülke genelinde F ve R değerleri bilinen istasyonlarda (30 tane) bir ilişki aramış ve sonuçta bu iki değer arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu anlayarak hesaplanmış ( $R^2=0,91$ ) ve  $R= 77,845 - F2,5084$  eşitliğine ulaşmıştır. Bu eşitlik çalışma sahasındaki istasyonların R değerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Çalışmada CBS ortamında R değerinin hesaplanması için akış şemasında gösterilen yöntem izlenmiştir (Şekil 25).

I. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden çalışma alanı olan Bolvadin ile çevresinde bulunan istasyonlar için uzun yıllara ait meteorolojik veriler elde edilmiştir. Bu verilerin ön incelemesi yapılmış ve sahanın iklimi hakkında bilgi edinilmiştir (Bu konuda sahanın iklim bölümünde detaylı bilgi verilmiştir).

II. Çalışma alanı olan Değirmen Dere Havzası için önceden hesaplanmış ve kullanılabilir durumda bir R değeri bulunmamaktadır. Bu nedenle bu sahanın R değerinin hesaplanmasında Kaya (2008) 'nın yapmış olduğu "Türkiye'de Uzun Dönem Yağış Verileri Kullanılarak Ulusal Ölçekte Rusle-R Faktörünün Belirlenmesi" çalışmasından faydalanılmıştır. Buna göre Afyonkarahisar için hesaplanan R değeri 163 tür. Çalışmada bu değer kullanılmıştır.



**Şekil 25.** R Faktörünün Elde Edilme Aşamaları

III. Yukarıda detaylı olarak anlatılan Bolvadin istasyonuna ait R değeri sadece o istasyona ait nokta değeridir. Elde edilen bu değerlerin çalışma sahalarının yüzeyine yayılması gerekir, başka bir deyişle mekansal enterpolasyonun yapılması gerekmektedir. Bunun içinse Toy ve Foster (1998) tarafından önerilen bir yöntem belirlenmiştir. Bu yöntemde;

$$\text{Denklem : } R_y = R_b * (P_y)^{1.75} / (P_b)$$

Burada;

R<sub>y</sub> : Değeri bilinmeyen nokta içi hesaplanan R değeri

R<sub>b</sub> : Değeri bilinen referans istasyonun R değeri

P<sub>y</sub> : Değeri bilinmeyen noktanın ortalama yıllık yağış miktarı (mm)

P<sub>b</sub> : Değeri bilinen referans istasyonun ortalama yıllık yağış miktarı (mm)

## 2.2. TOPRAĞIN EROZYONA DUYARLILIK FAKTÖRÜ (K)

Erodibilite (toprağın erozyon eğilimi), toprakların tamamen kendi bünyelerindeki çeşitli özelliklerden kaynaklanan ve erosif (aşındırıcı) kuvvetlere karşı direncini ve erozyona uğrama eğilimini gösterir. Toprakların erodibilitesi büyük ölçüde toprağın iç yapısını oluşturan fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Başka bir ifadeyle toprağın tekstür ve strüktürüne bağlıdır. Aynı erosif kuvvetler karşısında bazı topraklar dirençli oldukları halde, diğer bazı topraklar kolayca çözünür ve dağılarak erozyona uğrar (Balcı, 1996).

K Faktörü içersinde %9 eğim ve 22.1 m eğim uzunluğundaki bir arazide birim erozyon indisi ile hektardan kaybolan toprağın ton olarak ifadesidir. Erozyona etkili diğer faktörlerin sabit olması halinde farklı özelliklere sahip topraklar farklı derecede aşınırlar.

Toprakların aşınmaya karşı duyarlılıkları arasındaki farklılıklar, aşınmaya karşı sahip oldukları özelliklerinin farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Toprakların erodobilitesi başka bir deyişle toprakların aşınım özellikleri, toprağın tekstürü, strüktürü, hidrolik geçirgenliği ve organik madde özellikleridir.

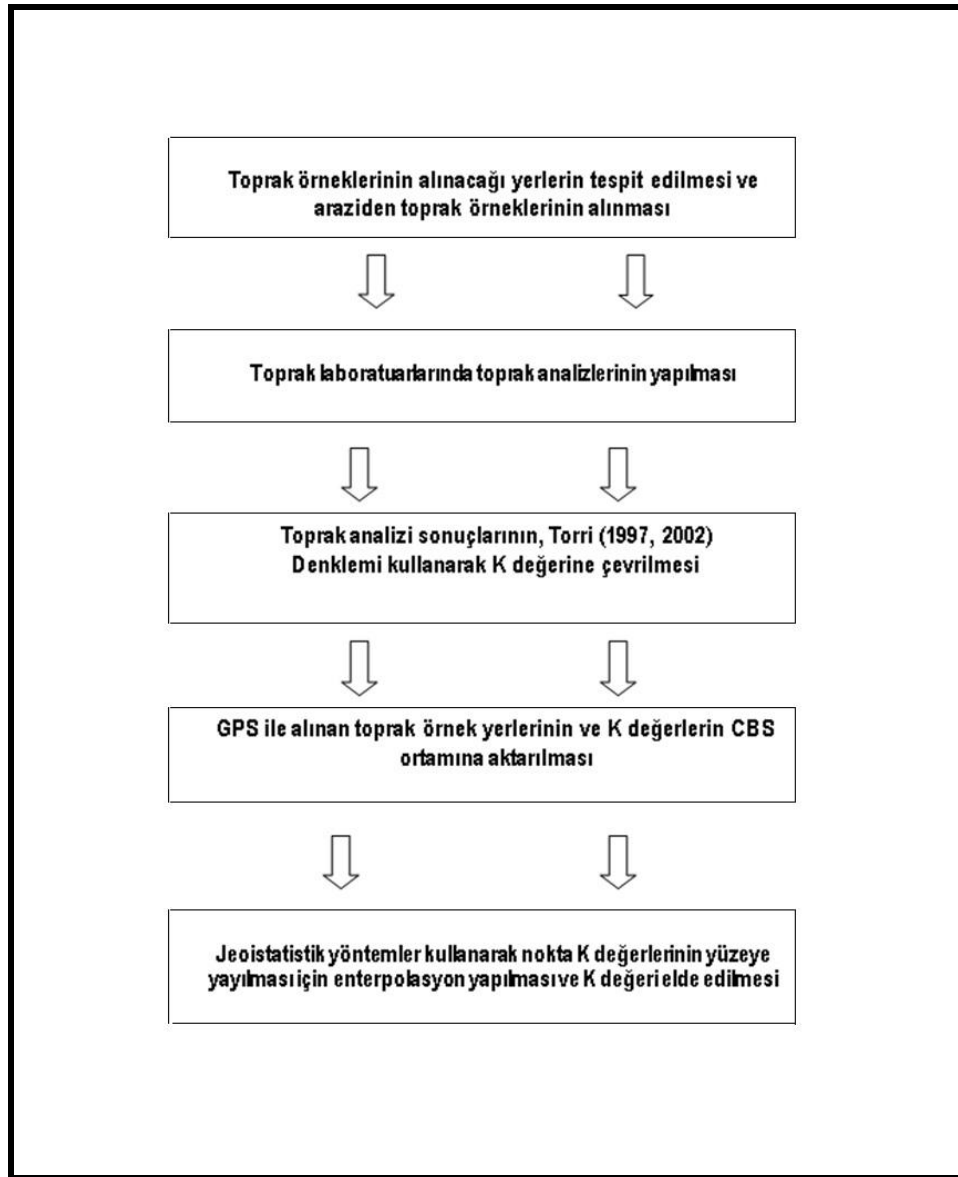
Wischmeier ve diğ. (1971) tarafından bu beş toprak parametresinden yararlanarak K değerinin bulunmasına yarayan bir nomograf geliştirilmiştir. Bu toprak parametreleri; silt ve çok ince kum (%), kum (%), organik madde (%), strüktür ve geçirgenliktir.

Çalışmada toprağın erozyona duyarlılık faktörü olan K değerinin hesaplanması için akış şemasında gösterilen yöntem izlenmiştir (Şekil 26).

I. K Faktörünün doğru hesaplanabilmesi amacıyla, alınacak toprak örneklerinin çalışma sahasını elden geldiğince doğru bir şekilde temsil etmesi için havzaya ait büyük toprak gruplarını gösteren toprak haritası ile litoloji haritasının CBS ortamında çakıştırılmasıyla (*overlay*) yeni bir harita üretilmiştir. Bu üretilen harita ve sahanın jeomorfolojik özellikleri de dikkate alınarak örnek yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Böylelikle toprakların ana kayaya bağlı farklılıklarını ortaya koyacak biçimde, büyük toprak gruplarının yaygınlıklarına ve jeomorfolojik özelliklerine göre toprak örneklerinin havzaları daha iyi ve daha doğru bir biçimde

temsil ettiği yerlerden toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri istatistiksel anlamda rastgele (*random sampling*) olarak alınmıştır.

Araziden toprak örneği alımında pratik bir yol izlenmiş, karakteristik olması için seçilen lokasyonlarda, yüzeyden maksimum 50 cm derinlikten örselenmemiş örnek alınmıştır. Bu süreçte galvanize sacdan özel olarak yaptırılan 15 cm çapında, 35 cm boyunda, bir ağzı açık silindirik kap kullanılmış; toprak strüktürünün bozulmamış olduğuna karar verilen alanlardan yaklaşık 1 kg ağırlığında örnek alınmıştır.



**Şekil 26.** K Değerinin Elde Edilme Aşamaları



Araziden elden geldiğince fazla toprak örneği alınmaya çalışılmıştır, fakat bu konuda en büyük engel proje bütçesinde arazi çalışmaları ve toprak analizleri için tahsis edilen rakamın sınırlı olmasıdır. Bu nedenle eldeki olanaklar zorlanarak çalışma sahası için azami sayıda örnek alınma yoluna gidilmiştir. Havza için 16 tane örnek alınmıştır. Arazi gözlemleri ve örnek alımı havza için 25 Mayıs – 1 Temmuz 2010 tarihleri arasındaki bir zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Alınan toprak örneklerinin arazide yerlerinin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi ve bu noktaların harita üzerine doğru bir şekilde yerleştirilmesi için Magellan marka Explorist 500 tipi el GPS i kullanılmıştır. GPS ölçümlerinden elde edilen toprak örneklerine ait koordinat değerleri daha sonra sayısal toprak haritası üzerine taşınmıştır.

II. Toprak örneklerinin yerlerinin tespiti ve toprak örneklerin alınması sonrasında, Kayseri Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Toprak laboratuvarlarında bünye analizi ve organik madde analizleri yapılmıştır.

III. Kayseri Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Toprak laboratuvarlarında yapılan bünye analizi ve organik madde analizleri sonuçlarını K faktörü değerine çevirebilmek için Torri (1997 ve 2002)'nin bu konuda geliştirdiği denklem kullanılmıştır.

Torri son elli yıl içinde literatürde yayınlanan dünyanın çeşitli bölgelerine ait 200 den fazla çalışmaya K değerinin doğrudan hesaplanmasında kullanılan organik madde miktarı ile toprak tekstür parametrelerini (kum, kil ve %) kullanarak bir denklem geliştirmiştir.

$$K = 0.0293(0.65 - D_G + 0.24D_G^2) \times \exp \left\{ -0.0021 \frac{OM}{f_{clay}} - 0.00037 \left( \frac{OM}{f_{clay}} \right)^2 - 4.02C + 1.72f_{clay}^2 \right\}$$

Bu denklemdeki DG faktörü ise aşağıda verilen başka bir denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$D_G = -3.5f_{sand} - 2.0f_{silt} - 0.5f_{clay}$$

IV. Bu aşamada araziden alınan ve laboratuvarlarda analizi yapılan daha sonra Torri (1997 ve 2002) denklemi yardımı ile K değerine çevrilen değerlerin CBS ortamına taşınması yapılmıştır. Bunun için, arazide toprak örneklerinin alındığı noktalarda örnek alım sırasında kaydedilen GPS verileri (alınan noktaya ait

koordinatlar, x, y ve z değerleri) sayısal harita üzerine taşınmış; böylelikle toprak örneklerinin koordinatları doğru bir şekilde CBS ortamındaki sayısal haritasına atılmıştır. Bundan sonra her noktaya ait K değeri o noktanın öznelik tablosuna girilmiştir. Böylelikle her bir noktanın K değeri o noktaya bağlanmıştır.

V. Elde edilen K değerleri nokta değerleridir ve toprak örneklerinin alındığı noktaları temsil etmektedir. Bu nokta K değerlerinin çalışma sahasının yüzeyine yayılması gereklidir. Bunun için jeoistatistiksel yöntemler olan enterpolasyon (*interpolation*) yöntemleri kullanılmış ve sahanın K faktörü haritası (katmanı) elde edilmiştir.

Jeoistatistik yöntemini temel istatistikten ayıran özellik, analiz edilmek üzere örneklenen her nokta için konum belirlenmiş olmasıdır. Temel istatistikte yapılan hesaplamada örneğin hangi konumda olduğunun önemi yoktur. Fakat jeoistatistikte iki örneğin konumu ve uzaklığı önemli olup bu örnekler “Bölgesel Değişken” olarak ifade edilmektedir. Bölgesel değişken bir bölgeye özgü olmalı ve bir koordinatla ifade edilmelidir. Bölgesel değişkenler teorisinin uygulanması ise jeoistatistik olarak isimlendirilir (Başaran, 2005).

Temel olarak bir değişkenin uzaklığa bağlı değişimini modelleyen fonksiyona “variogram fonksiyonu” denir. Variogram fonksiyonu, birbirinden h uzaklığı ile ayrılmış iki rastlantı değişken arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir (Tercan ve Saraç, 1998).

### 2.3. EĞİM VE EĞİM UZUNLUĞU FAKTÖRÜ (LS)

RUSLE modelinde LS faktörü eğim derecesi ve eğim uzunluğu gibi topoğrafik etkiyi temsil etmektedir. Eğim uzunluğu (L), yüzeysel akışın olduğu noktadan itibaren eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı veya yüzeysel akışın bir kanala (bu, drenaj şebekesinin bir parçası olabilir) veya çevirme terası kanalı olarak inşa edilmiş bir kanala kadar olan yatay mesafe olarak tanımlanır. S ise eğim derecesidir.

LS faktörü, diğer koşulların aynı olduğu, 22,13 m uzunluğunda ve %9 eğimi olan bir arazideki toprak kaybı oranını temsil etmektedir. LS değerleri mutlak

değerler değildir, fakat 22,13 m uzunluğunda ve %9 eğime sahip bir arazideki LS değeri 1 dir (Wischmeier ve Smith, 1978).

LS faktörünü doğrudan araziden hesaplamak çok zordur. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar tarafından LS değerinin CBS ortamında hesaplanması ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin McCool ve diğ. (1987, 1989, 1997), Nearing ve diğ. (1989, 1994), Moore ve Wilson (1992), Hickey ve diğ. (1994), Desmet ve Grovers (1996), Nearing (1997), Hickey (2000), Van Remotel ve diğ. (2001, 2004), Kinnell (2005).

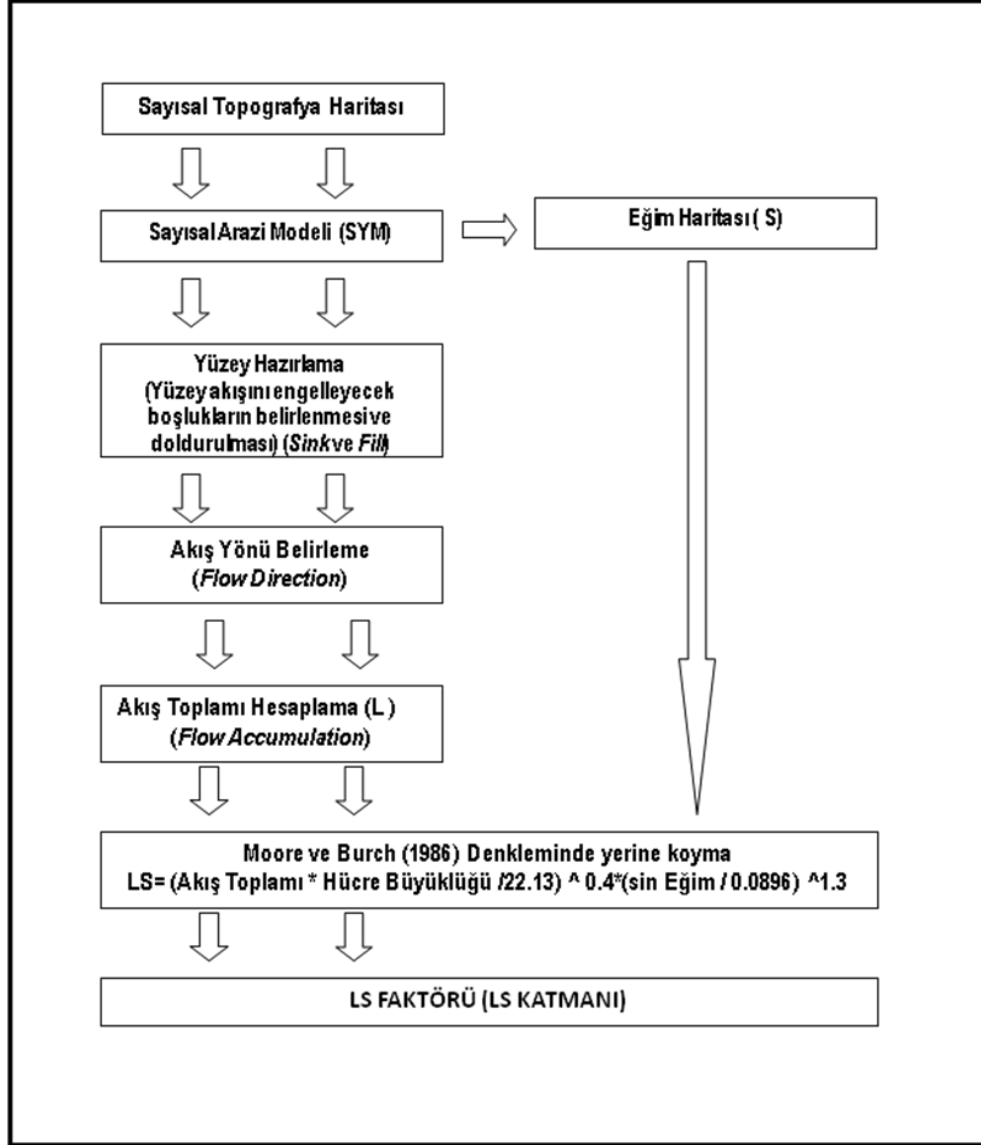
Yukarıda isimleri geçen araştırmacılar LS değerinin elde edilmesiyle değişik denklemler önermiş olmalarına karşılık, eğim derecesi ve akış toplamı hepsinde ortaktır; sadece kullandıkları sabit sayılar ve algoritmaları farklıdır. Çalışmalar tüm araştırmacılar tarafından kabul edilen tek bir denklemin olmadığını göstermektedir. Literatüre göre LS faktörünü hesaplamadaki en büyük sıkıntı, yükseltinin fazla olduğu dağlık bölgelerdeki yamaç uzunluğunun fazla ve yamaç şeklinin (içbükey, dışbükey, basamaklı, düz / lineer ve diğerleri gibi) çok farklı olmasıdır. Wang ve diğ. (2001), Lee (2003), Başaran (2005), Onori ve diğ. (2006), Bahadır (2008), Bayramin ve diğ. (2008) ve Özcan ve diğ. (2008) gibi araştırmacılar, kendi çalışmalarında, LS faktörünü hesaplamak için Moore ve Burch (1986) önerdikleri denklemi kullanılmışlardır. Bu çalışmada da Moore ve Burch (1986)'un tavsiye ettiği denklem kullanılmıştır.

Bu projede LS değerinin CBS ortamında hesaplanması için aşağıda anlatılan akış şemasında gösterilen yöntem izlenmiştir (Şekil 27).

I. Harita Genel Komutanlığı'ndan satın alınan, çalışma alanına ilişkin sayısal topoğrafya paftaları CBS ortamında birleştirilmiş ve birleştirilmiş bu sayısal topoğrafya haritasından 10x10 m çözünürlükte sayısal yükseklik modeli (SYM) üretilmiştir.

II. Üretilen SYM den ilk önce eğim haritası (S) elde edilmiş, bunu takiben SYM sonraki işlemlere hazırlanmak üzere (yüzey hazırlama için) yüzeydeki akışı engelleyecek küçük boşlukların belirlenmesi ve doldurulması (*Sink and Fill*) işlemleri yapılmıştır.

III. Maddede işlemin yapıldığı SYM den akış yönü elde edilmiştir. Akış yönü (*Flow Direction*) yüzeye düşen yağmur veya suyun topografyada hangi yöne gideceğini belirler.



Şekil 27. LS Faktörünün Elde Edilme Aşamaları

IV. Akış yönü haritasından (katmanından) akış toplamı (*Flow Accumulation*) elde edilmiştir. Aynı akış yönüne sahip yerler akış toplamını meydana getirir. Akış toplamı, toprak erozyonunu hesaplamada eğim uzunluğuna (L) karşılık gelir.

V. Moore ve Burch (1986) önerdikleri denklemde akış toplamı ve eğim yerlerine konmuş ve raster calculator'de işlem yapılmıştır. Hücre (*Cell*) büyüklüğü

ise 10 olarak alınmıştır; bunun nedeni diğer bütün katmanların çözünürlüğünün 10 metre olmasıdır. Sonuçta sahaya ait LS faktörü elde edilmiştir.

VI. Yukarıda adı geçen işlemlerin yapılabilmesi için, ArcGIS 9.2 yazılımının Spatial Analyst uzantısı, hidrolik modelleme, harita hesaplama (*raster calculator*) araçları (*tools*) kullanılmıştır. LS faktörünün hesaplanmasında Moore ve Burch (1986) tarafından önerilen denklem aşağıda sunulmuştur.

$$LS=(\text{Akış Toplamı}*\text{Hücre Büyüklüğü} /22.13)^{0.4}*(\sin \text{Eğim} / 0.0896)^{1.3}$$

#### 2.4. ARAZİ KULLANIMI VE BİTKİ ÖRTÜSÜ FAKTÖRÜ (C)

Arazi kullanımı ve bitki örtüsü faktörü (C), bitki örtüsü, ürün yetiştirme ve amenajman uygulamalarının erozyon üzerindeki etkilerini açıklamak için kullanılır. Birçok durumda bu faktör yıl boyunca sabit kalmaz. Özellikle son 30 yıldır, uydu görüntüleri ve uzaktan algılama teknik ve yazılımları toprak erozyonu çalışmalarında yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bugün çeşitli uydular aracılığı ile elde edilen görüntüler uzaktan algılama yazılımlarında işlenerek geniş alanlar için hızlı, doğru ve daha ucuz bir şekilde bilgiye ulaşmayı sağlamaktadır.

Çeşitli çalışmalarda uydu görüntüleri ve UA teknikleri kullanılmıştır (Dwivedi ve diğ., 1997; Mathieu ve diğ., 1997; Metternicht ve Fermont, 1998; Reusing ve diğ. 2000; Hill ve Schutt, 2000; Baban ve Yusuf, 2001; Haboudane ve diğ., 2002; Parıngit ve Nadaoka, 2003; Singh ve diğ., 2004; Symeonakis ve Drake, 2004; Tateishi ve diğ., 2004).

Landsat (Landsat-1 MSS, Landsat-2 MSS, Landsat-3 MSS, Landsat-4 TM, Landsat-5 TM ve Landsat-7 ETM) uydu görüntüleri hem zaman olarak uzun bir arşive sahip olmalarından hem de radyometrik ve yersel çözünürlüklerinin geniş alanlardaki arazi kullanımı ve bitki örtüsünü saptamadaki elverişliliğinden dolayı en yaygın olarak kullanılan uydu görüntüleridir. Landsat uydu görüntülerinin yanı sıra SPOT, IRS, IKONOS uydularına ait görüntüler de erozyon çalışmalarında kullanılmaktadır.

Uydu görüntüleri toprak erozyonu çalışmalarında genellikle belli bir sahaya ait arazi kullanımı ve bitki örtüsünü ortaya koymak (tespit etmek) için ve diğer bazı

toprak erozyonu çalışmalarında olduğu gibi bitki örtüsü kapalılığını belirlemek için kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri bu konuların yanı sıra, özellikle bitki örtüsünün seyrek olduğu alanlarda toprak özelliklerini saptamak için de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada araştırma alanının arazi kullanımı ve bitki örtüsünü ortaya koymak için 16 Mayıs 2007 tarihli Landsat 5-TM uydu görüntüsü kullanılmıştır. Seçilen uydu görüntüsünde bulut örtüsü kapalılığının %10 dan daha az olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca bitki örtüsünün rahatlıkla ayırt edilebilmesi için bölgede bitki örtüsünün en gür olduğu Mayıs ayı seçilmiştir. Çalışmada kullanılan uydu görüntüsüne ait diğer bilgiler aşağıda verilmiştir (Tablo 9).

**Tablo 9.** Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntülerine İlişkin Bilgiler.

Algılama Tarihi	Uydu/Sensör	Yol/Sütun ( <i>Path/Row</i> )	Çözünürlük ( <i>Resolution</i> )			
			Yersel	Zamansal	Radyometrik	Spektral
16.05.2007	Landsat/TM	178/033	30×30	16 Gün	8 Bit	7 Bant

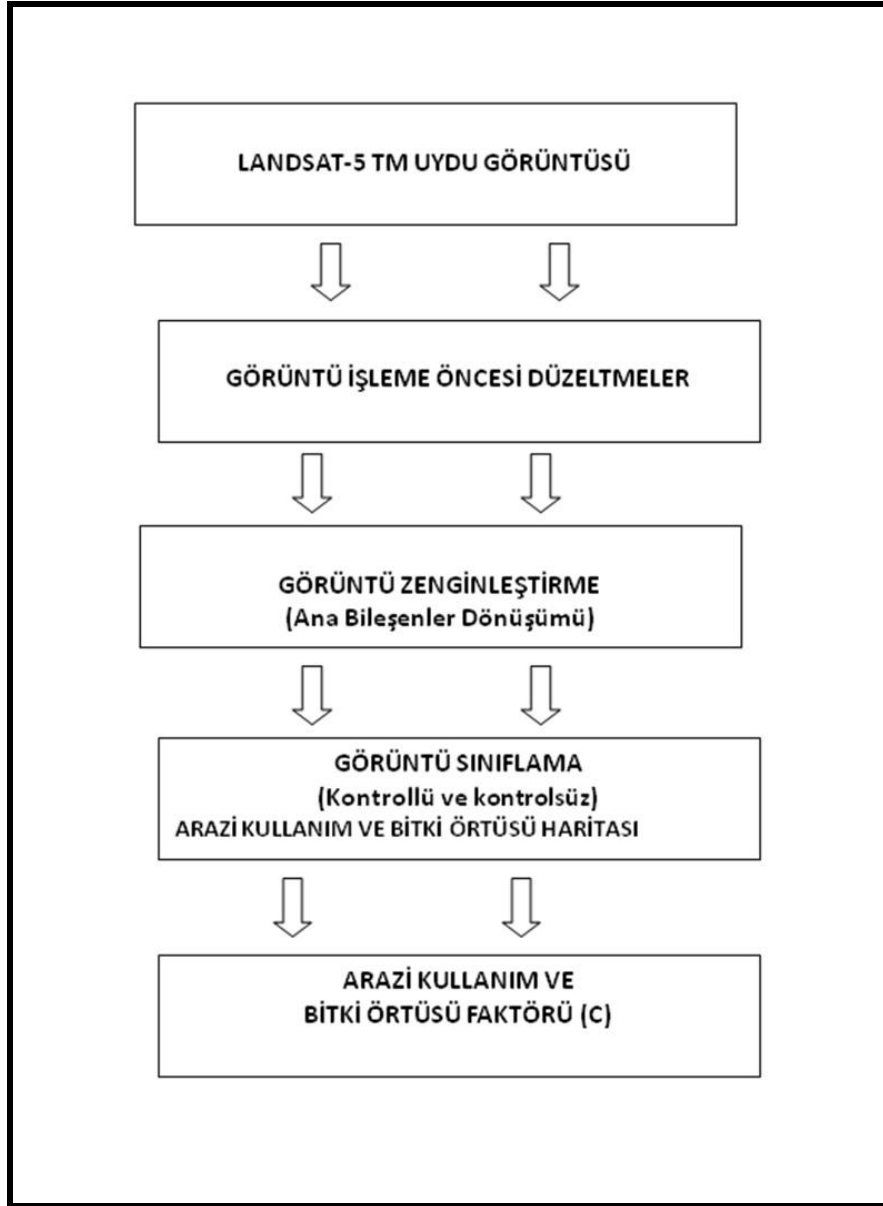
**Kaynak:** Nik inşaat Ltd. Şti.

Bu çalışmada UA ortamında C değerinin hesaplanması için Şekil 28' de verilen akış şemasındaki yöntem izlenmiştir.

I. Çalışmada kullanılan uydu görüntüsü, Landsat uydusunun web sayfası incelenerek hangi tarih, hangi yol / sütun ERDAS 8.7 (*Path/Row*) ve bulut örtüsünün kapalılık derecesine olduğuna karar verilmiş, daha sonra Landsat Türkiye dağıtıcısı Nik inşaat Ltd. şirketine sipariş edilmiştir.

II. Elde edilen uydu görüntüsü, görüntü işleme yazılı olan ERDAS 8.7 açılmış ve daha önce sahaya ait CBS ortamındaki verilerle tam tutarlı olmadığı görülmüş ve görüntünün coğrafi düzeltmeleri yapılmış ve UTM projeksiyon, zon 36 ve ED50

datum sistemine uyarlanmıştır. Uydu görüntüsünün CBS ortamındaki diğer coğrafi verilerle aynı coğrafi koordinatlarda olması sağlanmıştır.



**Şekil 28.** C Faktörünün Elde Edilme Aşamaları

III. Sınıflama öncesi “görüntü zenginleştirme” işlemi yapılmıştır. Görüntü zenginleştirme, uydu görüntülerindeki özellikler arasındaki ayırt edilebilirliğin, çeşitli algoritmalar kullanılarak artırılmasına ve daha iyi yorumlanılabilir şekle getirilmesidir (Alparslan ve diğ., 2004). Arazi kullanımının ve bitki örtüsündeki

değişimlerin belirlenebilmesi amacıyla, ana bileşenler dönüşümü görüntü zenginleştirme tekniği kullanılmıştır.

IV. Uydu görüntüsünün sınıflaması yapılmıştır. Görüntü sınıflama, bir görüntü veri setinden anlamlı sayısal konu haritaları üretme işlemidir. Bir başka deyişle uydu görüntülerindeki her pikseli spektral özelliklerine göre farklı gruplara ayırmak ve pikseli yansıtma değerlerine göre yeryüzünde karşılık geldiği kümeye atmakdır. Sınıflandırma sonucu elde edilen görüntü “tematik harita” olarak adlandırılmaktadır. Sınıflandırma için yaygın olarak kullanılan “kontrollü (*supervised*) ve kontrolsüz (*unsupervised*) sınıflandırma” adı altında iki metod bulunmaktadır (Jensen, 1996; Erdas Field Guide, 2003).

Bu çalışmada da kontrollü ve kontrolsüz sınıflama yöntemleri denenmiş, iki farklı yöntemle sınıflandırılmış görüntüler incelendiğinde, kontrollü sınıflamanın diğer yöntemle göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Çalışma alanının arazi örtüsünün kaç sınıfa ayrılması gerektiği, bu sınıfların neler olduğu daha önceki toprak erozyonu çalışmasına ilişkin bilgiler kullanılarak arazi gözlemlerine göre belirlenmiştir. Sonuçta çalışma alanının arazi kullanımı ve bitki örtüsü haritası (katmanı) elde edilmiştir. Buna göre arazi kullanım ve bitki örtüsü sınıfları orman, fundalık, çayır-mera, tarım arazileri, su yüzeyleri ve çıplak arazilerdir.

Sınıflamanın doğruluğu da test edilmiş ve %78 gibi yüksek bir doğruluk oranına ulaştığı görülmüştür. Bu aşamadan sonra veriler ERDAS 8.7 yazılımından ArcGIS 9.2 yazılımına alınmış ve son aşama burada yapılmıştır.

V. Son aşamada ise sınıflama sonucu elde edilen arazi kullanımı ve bitki örtüsü haritası RUSLE yöntemindeki her arazi kullanımı ve bitki örtüsü için tavsiye edilen sayısal değerleri kullanılarak C faktörüne dönüştürülmüştür. Buna göre en düşük değer 0,001 ve en yüksek değer ise 1,00 dır.

VI. Yukarıda sözü edilen işlemler, uzaktan algılamada görüntü işleme (*image processing*) yazılımı olan ERDAS 8.7 yazılımının araçları kullanılarak yapılmıştır.



## 2.5. TOPRAK KORUMA ÖNLEMLERİ FAKTÖRÜ (P)

RUSLE modelindeki toprak koruma önlemleri faktörü (P), özel bir destek uygulaması ile eğim doğrultusundaki toprak kaybının toprak işleme ile oluşan toprak kaybına oranıdır. İlke olarak bu uygulamalar yüzeysel akışın akış şeklini, derecesini veya yönünü değiştirerek veya yüzeysel akışın miktarını ve hızını azaltarak erozyonu etkiler (Renard ve Foster, 1983). Ekili araziler için düşünülen destek uygulamaları içinde kontur sürüm (tesviye eğrileri / izohipsler doğrultusunda veya dik sürüm ve dikim), şeritsel ekim, teraslama ve yüzey altı drenajı yer alır. Bu uygulamalar kuru alanlar veya meralarda topoğrafik konturlara (izohipslere) dik yapılan toprak bozma uygulamaları sonucunda toprakta nemi depolaması ve yüzey akışı azaltması nedeniyle koruma önlemleri olarak kullanılır (Çanga, 1985; Foster ve diğ., 1996).

Sıfır toprak işleme ve diğer toprak işleme sistemleri, çim temelli ürün rotasyonu, gübreleme ve malç uygulamaları gibi geliştirilmiş toprak koruma uygulamaları P faktöründe hesaba katılmaz. Bu tip erozyon kontrol uygulamaları C faktöründe değerlendirilir (Foster ve diğ., 1996). Arazide toprak koruma önlemleri alınmıyorsa  $P = 1,0$  alınır (Wischmeier ve Smith, 1978; Çanga, 1985).

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

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

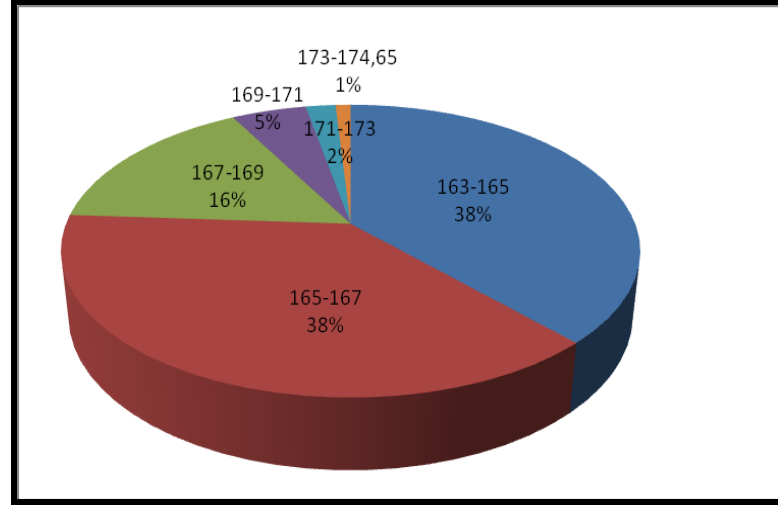
### DEĞİRMEN DERESİ HAVZASI ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 1. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA YAĞIŞIN EROZYON OLUŞTURMA FAKTÖRÜ (R)

Değirmen Dere Havzası'nda R değerinin hesaplanmasında Kaya (2008) 'nın çalışmasından yararlanılmıştır. Kaya (2008) Türkiye'de 252 adet meteoroloji istasyonuna ait R değerlerini hesaplamış ve Afyonkarahisar için 163 değerini bulmuştur. Değirmen Dere Havzası'nda elde edilen R değerinin sonuçları tablo 10 ve şekil 29'da oransal ve alansal olarak verilmiştir.

**Tablo 10.** Değirmen Dere Havzası R Değerleri

R SINIFI	KAPLADIKLARI ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
163-165	125,4	38
165-167	125,3	38
167-169	51,6	16
169-171	17,3	5
171-173	7,5	2
173-174,65	3,4	1
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>

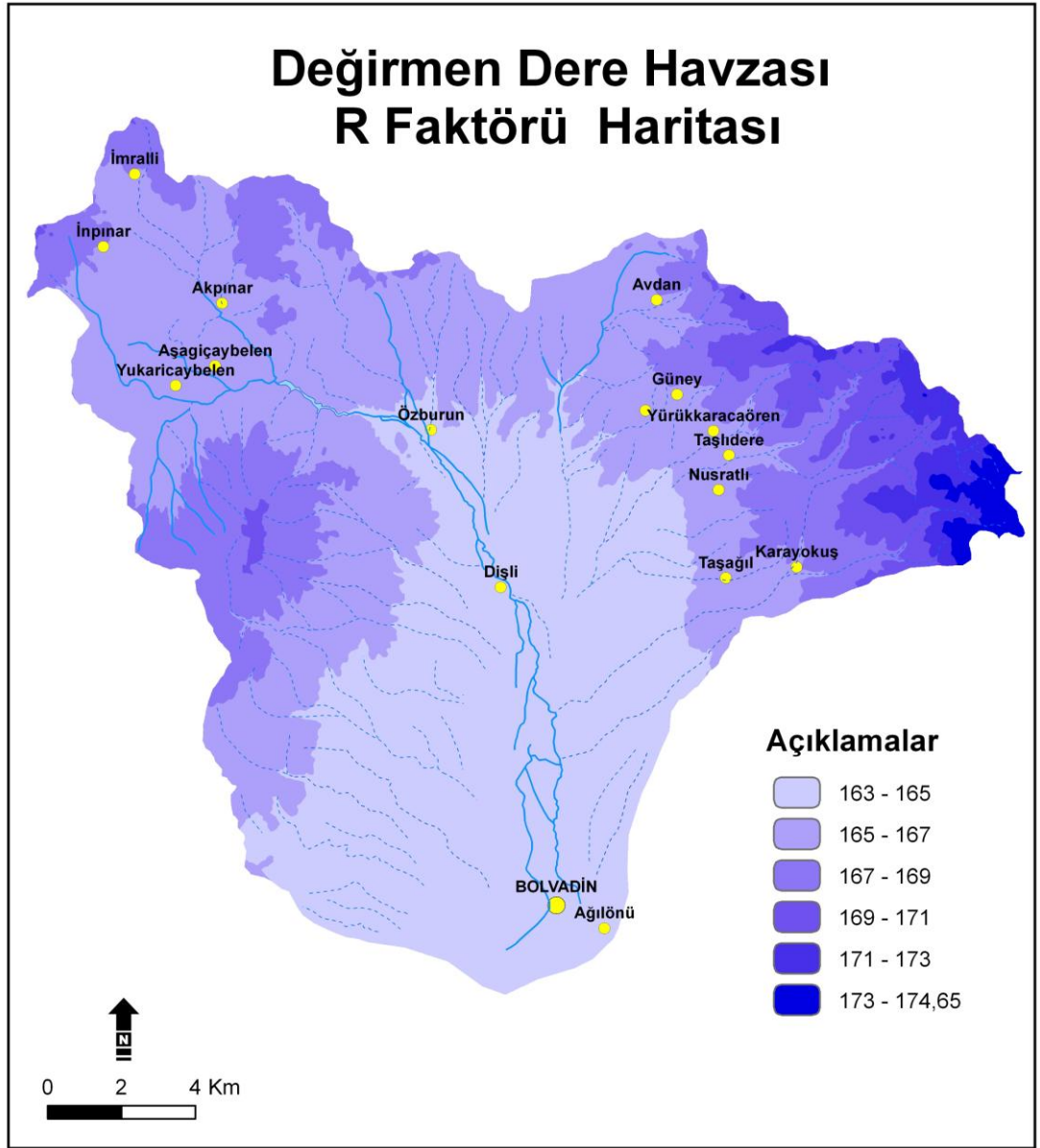


**Şekil 29.** Değirmen Dere Havzası R Değerleri Grafiği

Buna göre Değirmen Dere Havzası için R değerlerini altı sınıfa ayırabiliriz. Havzada R değerleri 163 ile 174,65 arasında değişmektedir. Alan olarak en fazla yeri 163 -165 ve 165 - 167 R değerine sahip yerler kaplamaktadır (Toplam 250,8 km<sup>2</sup> - %76). 173-174,65 R değerine sahip alanlar ise en az yer ( 3,4 km<sup>2</sup>) kaplamaktadır. Diğer sınıflar ise 167 -169 R değerine sahip alanlar 51,6 km<sup>2</sup> (%16), 169 – 171 R değerine sahip alanlar 17,3 (%5) ve 171 – 173 R değerine sahip alanlar ise 7,5 km<sup>2</sup> (%2) alan kaplamaktadır.

R faktörü haritası (Şekil 30) incelendiğinde genel olarak R değerlerinin güneyden kuzeye ve batıdan doğuya doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. En yüksek R değerine sahip alanlar havzanın doğu tarafında Emirdağlarının yüksek kesimlerinde karşımıza çıkmaktadır. Yine havzanın batı tarafındaki Paşa Dağı civarında R değerleri artış göstermektedir. Havzanın güneyinde Bolvadin ovasına doğru değerlerde düşme göze çarpmaktadır. Değirmen Dere vadisinde ve dağların eteklerinde ise değerler düşmektedir.

R faktörü haritasından da anlaşılacağı üzere R değerleri üzerinde yükseltinin çok büyük bir rolü vardır. Havzanın yükselti haritası ile r faktörü haritasını karşılaştırdığımızda R değerlerinin yüksek olduğu kısımlar havzadaki yüksek yerlere karşılık geldiği görülecektir. Yükseltinin artmasına bağlı olarak yağışın da arttığı var sayılırsa bu ilişkinin normal olduğu görülecektir.



Şekil 30. Değirmen Dere Havzası R Faktörü Haritası

## 2. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA TOPRAĞIN EROZYONA DUYARLILIK FAKTÖRÜ (K)

Değirmen Dere Havzası'nda K değerini elde etmek için çalışma alanından derlenen toprak örneklerinin Erciyes Üniversitesi Seyrani Ziraat Fakültesi laboratuvarlarında analizleri yapılmış ve Torri (1997, 2002) denklemi kullanılmıştır. Elde edilen nokta K değerlerinin çalışma sahasının yüzeyine yayılması için

jeoistatistiksel yöntem olarak enterpolasyon (*interpolation*) yöntemi kullanılmış ve sahanın K faktörü haritası (*layer*) elde edilmiştir . Söz konusu bu katman toprakların erozyona uğrama derecelerine göre oluşturulmuş, K faktör sınıflarına göre yeniden sınıflandırılarak K faktör sınıflarının alansal ve oransal dağılımları hesaplanmıştır. Değirmen Dere Havzası için elde edilen K değerinin oransal ve alansal sonuçları ise aşağıda verilmiştir (Tablo 11).

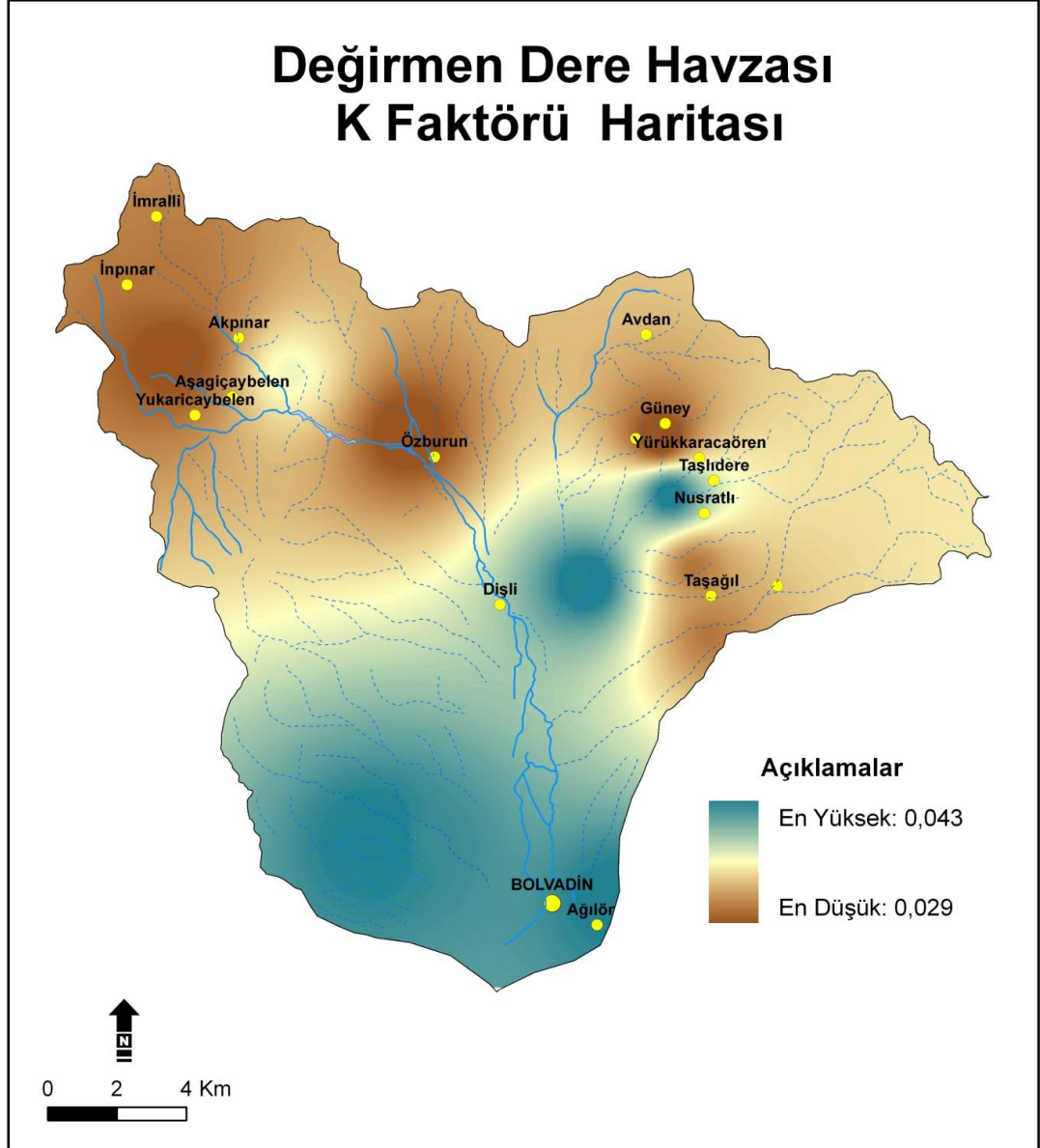
**Tablo 11. Değirmen Dere Havzası K Değerleri**

SINIF	METRİK SİSTEMDE	TANIM	ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
<0,05	<0,0066	Çok Az Aşınabilir		
0,1	0,0132	Az Aşınabilir		
0,2	0,0264	Orta Derecede Aşınabilir	330,5	100
0,4	0,0527	Kuvvetli Derecede Aşınabilir		
0,6	0,0791	Çok Kuvvetli Derecede Aşınabilir		

Çalışma alanının tamamında K Faktörü, sadece orta derecede aşınabilir (3. Sınıf) olarak saptanmıştır. Erozyona uğrama açısından havzada çok az aşınabilir (1. Sınıf), az aşınabilir (2. Sınıf), kuvvetli derecede aşınabilir (4. Sınıf) ve çok kuvvetli aşınabilir (5. sınıf) topraklar hiç bulunmamaktadır. Bu değerler, Doğan ve diğ. (2000)'nin "Türkiye Büyük Toprak Gruplarının Erozyona Duyarlılık K Faktörleri" adlı çalışmasında yer alan, Afyon ili (K) faktörleri değerleri ile uyumludur.

Değirmen Dere Havzası'nda K Faktörü değerlerinin birbirine çok yakın bulunmasında ve elde edilen değerlerin orta derecede aşınabilir (3. Sınıf) olmasında en büyük etken olarak litoloji (ana kaya) ve buna bağlı olarak oluşan topraklar olduğu söylenebilir. Litoloji haritasında görüleceği gibi (Bkz. Şekil 11), havzanın tamamına yakınında aynı kökenden gelen kayalar yüzeylenmektedir. Havzanın tamamına yakını volkanik kökenli kayalardan (andezit, kireçtaşı, şist, konglomera, tuf) ve bu kayalardan türemiş alüvyon topraklardan oluşmaktadır. Öte yandan toprak örnekleri almak ve havzanın genel özelliklerini tanımak için yapılan arazi çalışmaları sırasındaki gözlemler de bu durumu desteklemektedir.

K Faktörü dağılım haritası (Şekil 31) incelendiğinde, havza toprakları 3. Sınıfa girmesine rağmen, bu sınıf içindeki dağılımda havza genelinde farklılıklar göze çarpmaktadır. Yüksek ve orta değerdeki K değerlerine havzanın güneyinde Bolvadin Ovası'nda rastlanmaktadır. Buna karşılık düşük K değerleri ise eğimin ve yükseltinin arttığı havzanın kuzey kesiminde Emirdağlarının bulunduğu dağlık sahada görülmektedir.



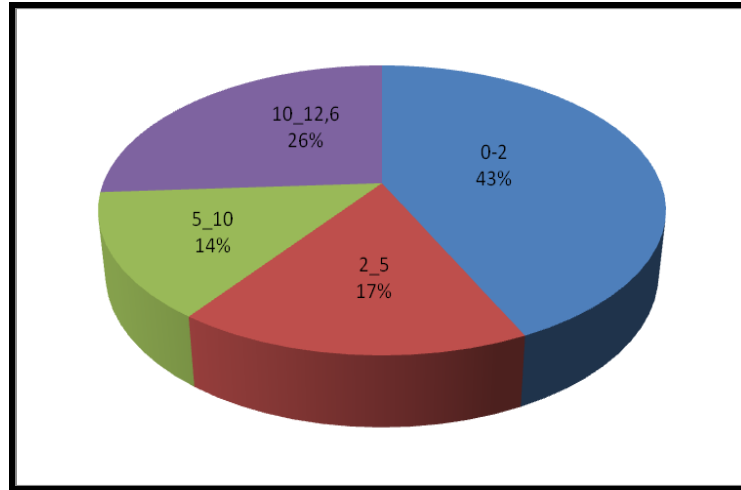
Şekil 31. Değirmen Dere Havzası K Faktörü Haritası

### 3. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA EĞİM VE EĞİM UZUNLUĞU FAKTÖRÜ (LS)

Değirmen Dere Havzası'nda LS değerini elde etmek için önce havzaya ilişkin sayısal arazi modelinden eğim haritası (S) oluşturulmuş; daha sonra sırasıyla yüzey hazırlama, akış yönü belirleme, akış toplamı hesaplama (L) işlemleri yapılmıştır. Moore ve Burch (1986)'un önerdikleri denklemde elde edilmiş olan eğim (S) ve eğim uzunluğu (L) yerine konularak sahaya ait LS Faktörü elde edilmiştir. Bu bağlamda Değirmen Dere Havzası'nda elde edilen LS değerlerinin oranları ve alansal sonuçları aşağıda verilmiştir (Tablo 12 ve Şekil 32).

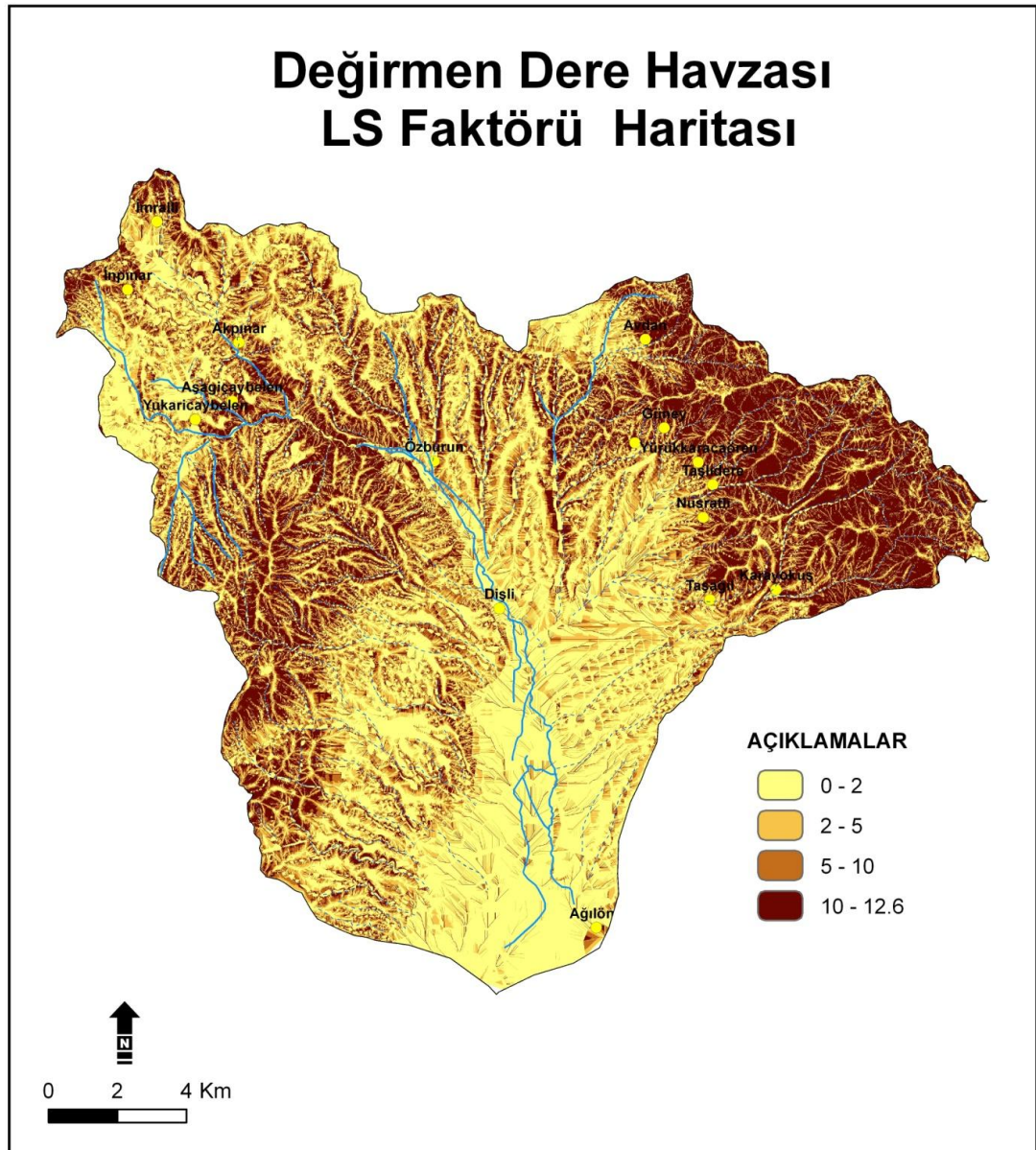
**Tablo 12.** Değirmen Dere Havzası LS Değerleri

LS SINIFI	KAPLADIKLARI ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
0-2	142,7	43
2-5	56,5	17
5-10	45,9	14
10-12,6	85,4	16
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>



**Şekil 32.** Değirmen Dere Havzası LS Faktörü Grafiği

Değirmen Dere Havzası'nda LS değerleri 4 sınıfta ve 0 ile 12,6 arasında değişmektedir. Tablodan anlaşılacağı üzere 0-2 arasında LS değerine sahip alanlar çalışma alanında en fazla alan kaplamaktadır (142,7 km<sup>2</sup> ve %43). 2-5 arasındaki LS değerli alanlar %17 (56,5 km<sup>2</sup>), 5-10 arasında LS değerine sahip alanlar %14 (45,9 km<sup>2</sup>) ve 10 ile 12,6 arasında LS değerine sahip alanlar %26 (85,4 km<sup>2</sup>) bir yayılım göstermektedir. LS Faktörü dağılım haritası (Şekil 33) incelendiğinde, genel olarak havzanın KB tarafı ve orta kesiminden güneye kadar olan kesiminde düşük LS değerleri, havzanın kenarlarında ise yüksek LS değerleri görülür.



Şekil 33. Değirmen Dere Havzası LS Faktörü Haritası



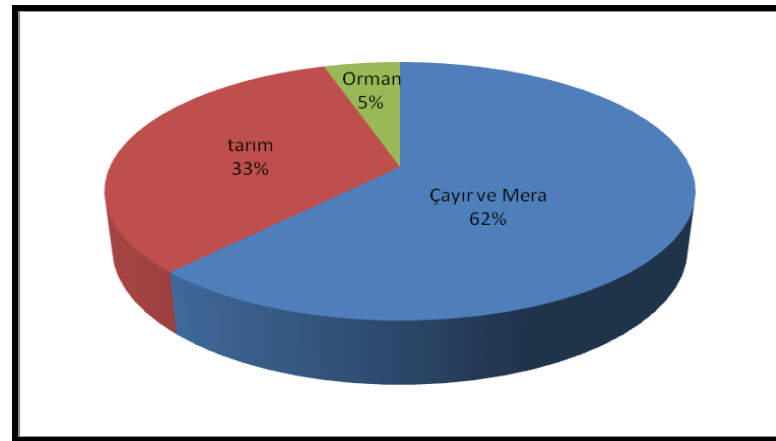
#### 4. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA ARAZİ KULLANIMI VE BİTKİ ÖRTÜSÜ FAKTÖRÜ (C)

Değirmen Dere Havzası'nda C değerini elde etmek için daha önce yöntem başlığı altında anlatıldığı gibi 16.05.2007 tarihli Landsat TM uydu görüntüsü kullanılmıştır. Havzanın C değeri için önce görüntü işleme öncesi düzeltmeler yapılmış, bunu takiben görüntü zenginleştirme ve görüntü sınıflama işlemleri yapılarak arazi kullanım ve bitki örtüsü haritası elde edilmiştir. Son aşamada her bir arazi kullanımı ve bitki örtüsü sınıfı için tavsiye edilen sayısal değerler kullanılarak C faktörüne dönüşüm yapılmıştır.

Değirmen Dere Havzası'nda elde edilen C değerlerine ilişkin oranlar ve alansal sonuçlar ise aşağıdadır (Tablo 13 ve Şekil 34).

**Tablo 13.** Değirmen Dere Havzası C Değerleri

ARAZİ KULLANIMI	KAPLADIKLARI ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
Çayır ve Mera	203,5	62
Tarım	109	33
Orman	18	5
<b>Toplam</b>	<b>330,5</b>	<b>100</b>



**Şekil 34.** Değirmen Dere Havzası C Değeri Grafiği

Değirmen Dere Havzası'nda C değerleri 3 sınıfta gruplandırılabilir ve 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu gruplar içinde çayır-mera %62 lik bir oranla en geniş alanı kaplamaktadır. Tarım arazileri %33, orman alanı ise %5 lik alan kaplamaktadır.

Çayır-mera sahalarına çalışma alanının her yerinde rastlanırken arazi gözlemleri sırasında bu tür alanların havzanın özellikle yüksek kenar kesimlerde yer aldıkları dikkati çekmiştir. Bu alanlar çeşitli nedenlerden dolayı tarıma açılmayan yerler olup daha çok hayvancılık faaliyetleri için otlak alanları olarak kullanılmaktadır. Arazi kullanımı bakımından ikinci sırada tarım alanları yer almaktadır. Bu alanlar eğimin az olduğu Emirdağlarının etekleri ile Bolvadin Ovası'nda ve bu ovanın çevresinde yer alan hafif dalgalı yüzeylerdir.

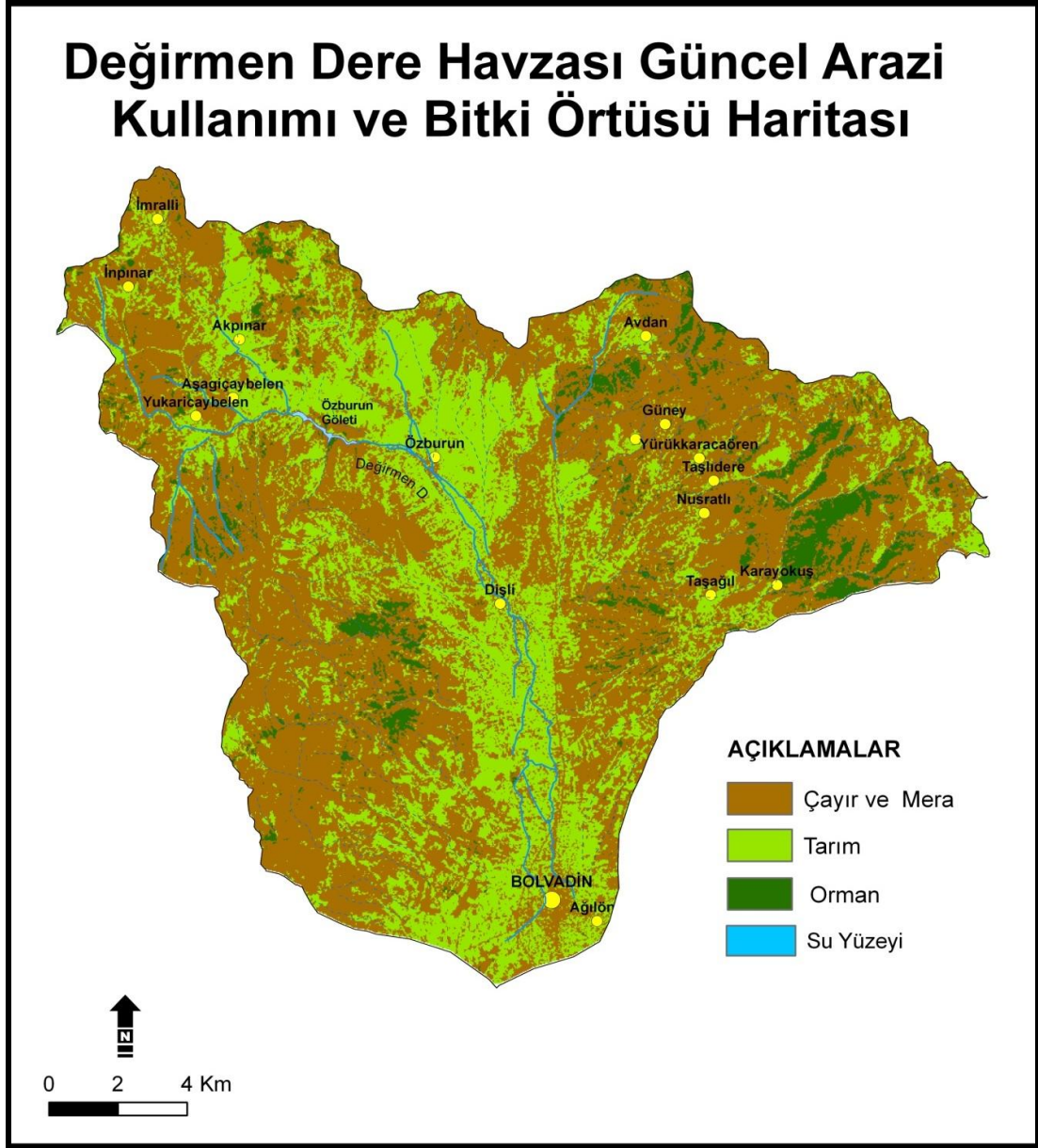
En az alan kaplayan arazi sınıfı ise %5 lik bir oran ile ormanlık alanlardır. Ormanlık alanlara havzanın kuzeyinde yükseltinin arttığı Emirdağlarında rastlanmaktadır. Ayrıca Kutlu köyü civarında fundalıklara da rastlamak mümkündür ( Şekil 35).

## **5. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA TOPRAK KORUMA ÖNLEMLERİ FAKTÖRÜ (P)**

Toprak koruma önlemleri faktörü (P) toprak yönetim aktivitelerini temsil etmektedir. Toprağın eğim yönünde veya eğime dik yönde ya da dönerek işlenmesine bağlı olarak erozyon süreçleri hızlanabilir veya yavaşlayabilir. P Faktörünün büyük havzalardaki alansal dağılımının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım bulunmamasıyla beraber Wischmeier ve Smith (1978) eğim derecesine bağlı olarak en yaygın toprağın işleme yöntemlerini sınıflandırmışlardır.

Bu çalışma kapsamındaki arazi çalışmaları sırasında Değirmen Dere Havzası sınırları içinde tarım yapılan alanlarda herhangi bir toprak koruma önlemine ve tekniğine saptanamamıştır. Bu nedenle ilgili erozyon modelinde toprak koruma önlemleri faktörü değeri 1,0 olarak değerlendirilmiştir. Bu 1,0 değeri RUSLE modelinde, çalışılan alanda herhangi bir toprak koruma önlemi uygulamasının bulunmaması durumunda alınması gereken P faktörü değeridir (Wischmeier ve Smith, 1978).

## Değirmen Dere Havzası Güncel Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Haritası



Şekil 35. Değirmen Dere Havzası Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Haritası

### 6. DEĞİRMEN DERE HAVZASI'NDA POTANSİYEL TOPRAK KAYBI DAĞILIMI

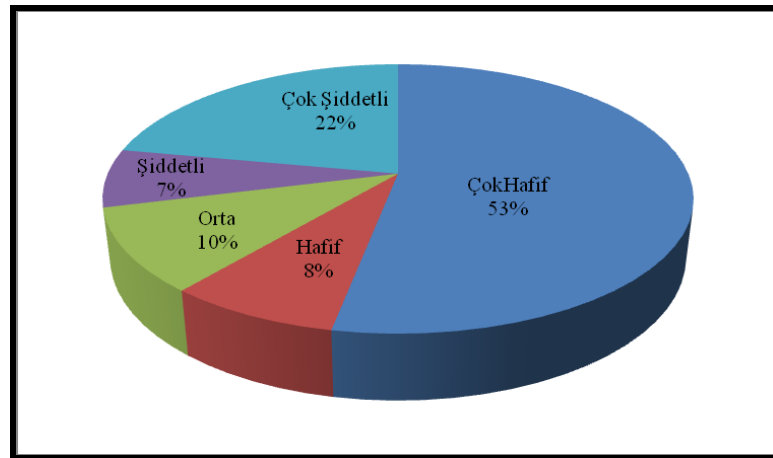
Yöntem ve sonuçlar bölümünde ayrıntılı olarak verilen yağışın erozyon oluşturma faktörü (R), toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K), eğim ve eğim uzunluğu faktörü (LS), bitki örtüsü faktörü (C) ve toprak koruma önlemleri faktörü (P) CBS ortamında birer katman olarak elde edilmiştir. Elde edilen her bir faktöre ait

katman RUSLE modeli gereği havzanın potansiyel toprak kaybını ( $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$ ) belirlemek için CBS ortamında yerine koyularak çarpılmış ve sonuç olarak Değirmen Dere Havzası'nın potansiyel toprak kaybı (ton/ha/yıl) olarak belirlenmiştir. Morgan (1995)'a göre tarımsal üretim için kabul edilebilir toprak kaybı 10 ton/ha/yıl dır. Bu tolere edilebilir limit, toprak kaybı oranları sınıflarının oluşturulmasında dikkate alınmıştır.

Değirmen Dere Havzası'nın oluşturulan erozyon risk haritasından hesaplanan erozyon risk sınıflarına ait alansal ve oransal dağılımlar Tablo 14 ve şekil 36 de verilmiştir. Değirmen Dere Havzası'nda potansiyel erozyon riski 5 sınıfta ve 0-67 ton/ha/yıl arasında değişmektedir. Havzanın %53 ünde çok hafif, %8 inde hafif, %10'unda orta %7'sinde şiddetli ve %22'sinde çok şiddetli erozyon görülmektedir.

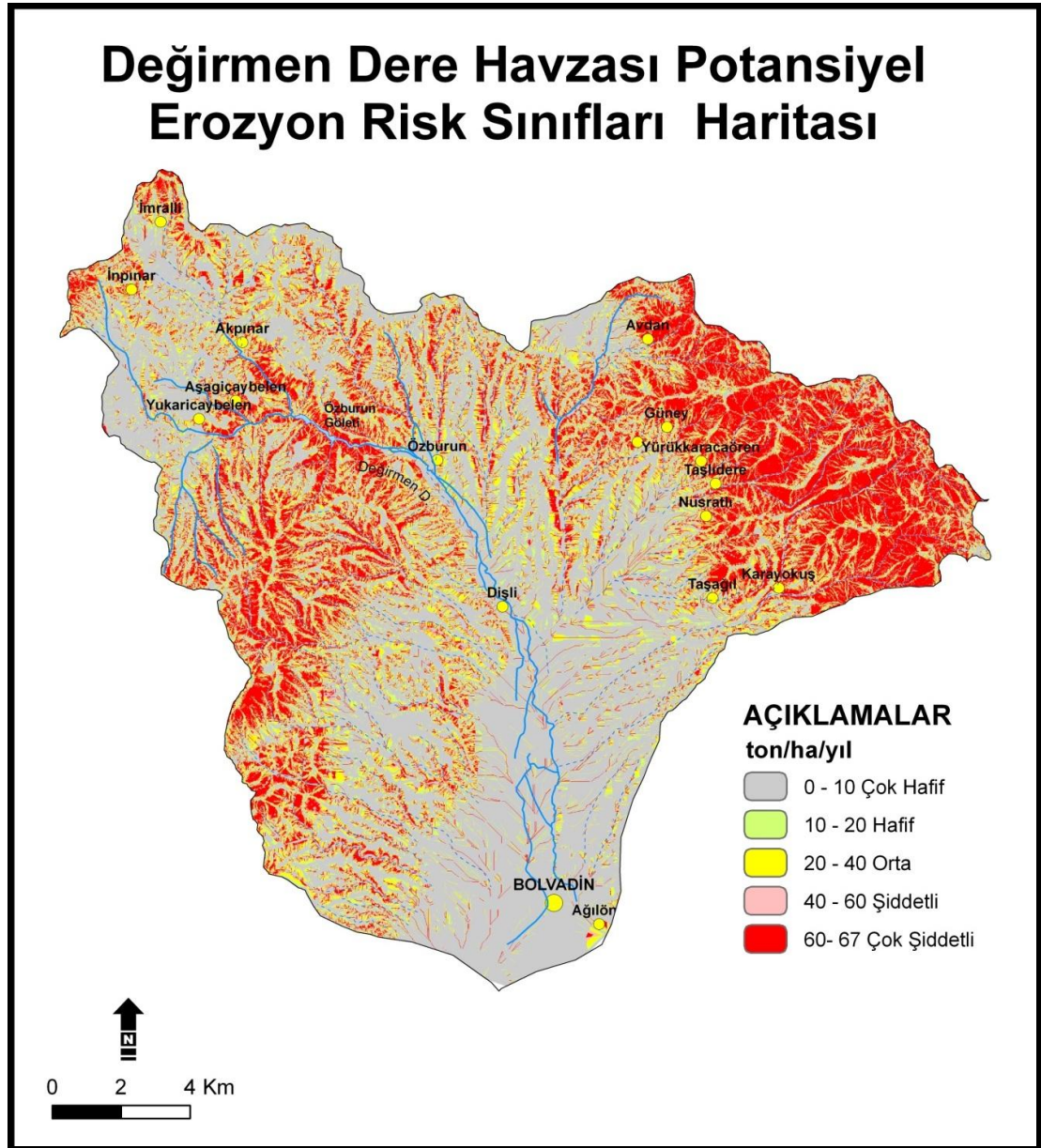
**Tablo 14.** Değirmen Dere Havzası Potansiyel Erozyon Risk Sınıfları

EROZYON SINIFI		KAPLADIKLARI ALAN (km <sup>2</sup> )	ORAN (%)
Çok Hafif	0-10	173,8	53
Hafif	10-20	26,7	8
Orta	20-40	34,3	10
Şiddetli	40-60	22	7
Çok Şiddetli	60-67	73,7	22
<b>Toplam</b>		<b>330,5</b>	<b>100</b>



**Şekil 36.** Değirmen Dere Havzası Potansiyel Erozyon Risk Sınıfları Grafiği

Potansiyel erozyon risk sınıfları dağılım haritası (Şekil 37) incelendiğinde bir genelleme yapılırsa düz ve düze yakın olan ova kesimleri ve bunların civarındaki yerlerde potansiyel erozyon riskinin düşük olduğu görülmektedir. Buna karşılık eğim ve yükselti değerlerinin yüksek olduğu kuzey ve kuzey doğuda Emirdağları ile batıdaki Paşadağ çevresinde yüksek kesimlerde ise potansiyel erozyon riski yüksek olarak saptanmıştır.



Şekil 37. Değirmen Dere Havzası Potansiyel Erozyon Risk Sınıfları Haritası

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, erozyon riskini belirlemede kullanılan ve ülkemiz için yeni sayılabilecek bir model olan RUSLE yöntemini kullanarak Afyonkarahisar bölgesinde Akarçay'ın alt havzası olan Değirmen Dere Havzası'nda uygulanmıştır.

Daha önce Akarçay'ın alt havzaları olan Şuhut ve Sincanlı havzalarında Yıldırım ve Erkal (2008) tarafından uygulanmıştır. Bu çalışma yöntem ve teknik olarak daha önce yapılan bu çalışma ile bir çok açıdan benzerlik göstermektedir.

Aslında RUSLE yöntemi Akdeniz çevresindeki ülkelerde yağın bir şekilde uygulanan erozyon risk saptama yöntemidir. Özellikle insan kaynaklı su erozyonu haritasına baktığımızda Akdeniz çevresindeki ülkelerde su erozyonunun maksimuma ulaştığını görmekteyiz.

Çalışmanın sonuçları ülkemizin başka yerlerinde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında benzerliklere ulaşıldığı görülmektedir. Bu bağlamda projenin sonuçları ile Başaran (2005)'in Çankırı İli Ilgaz Dağı yakınlarındaki İndağı Geçidi olarak bilinen bölge için bulduğu 0-15 ton/ha/yıl, Karakaş'ın (2005)'in Sakarya Nehri Havzası'nda bulunan Küçükelmali havzası için 0-5 ton/ha/yıl ve Güvenç havzası için ulaştığı 0-15 ton/ha/yıl, Yılmaz (2006)'in Çamlıdere Baraj Havzası için 0-30 ton/ha/yıl, İrvem ve diğ. (2007)'nin Seyhan Nehri Havzası'ndan elde ettiği 0-200 ton/ha/yıl ,Özsoy (2007) Mustafakemalpaşa Havzası'ndan ulaştığı 0-20 ton/ha/yıl , Yıldırım ve Erkal (2008)'in Sincanlı havzasından elde ettiği 14 ton/ha/yıl ve Şuhut havzasından elde ettiği 24 ton/ha/yıl değerleriyle benzerlik bulunmaktadır.

Bu çalışma ile Değirmen Dere Havzası'nda faktör analizleri yapılmış ve sonuçta bir erozyon risk haritası üretilmiştir. Buna göre havzanın %53 (173,83 km<sup>2</sup>)'ünde 0-10 arası değerlerle erozyon riskinin çok hafif olduğunu görmekteyiz. Bu alanlar havzada düz, az eğimli ve çevresine göre alçakta olan yerlere karşılık gelmektedir. Yükselti ve eğime paralel olarak erozyon riski artmaktadır. Havzada 60-67 arası değerlerle çok şiddetli erozyon riskinin görüldüğü yerler %22 (73,68 km<sup>2</sup>)

ile önemli bir yer işgal etmektedir. Şiddetli ve çok şiddetli erozyon riski görülen alanlar havzanın yaklaşık %30'unu oluşturur ki bu oran temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılık olan ve toprağa sürekli bağımlı olan bölge insanı için çok tehlikeli boyutlardadır.

Toprağın oluşması çok uzun bir zaman süreci gerektiriyor. Fakat kaybedilmesi o kadar da uzun sürmüyor. İşte pek te değerini bilmediğimiz topraklarımız günden güne bizler farkına varmadan elimizden çıkıp gidiyor. Dünya nüfusunun son elli yıl içinde iki kattan fazla artış göstermesi hem gıda sıkıntısını giderek arttırmakta, hem de toprakların üzerindeki yükleri arttırmaktadır.

Sürdürülebilir tarım kapsamında tarıma uygun toprakların korunması veya erozyonun en aza indirilebilmesi için yapılması gerekenlerin başında bölgenin bitki örtüsünün korunması ve eğimli yamaçların mutlaka ağaçlandırılması gerekmektedir. Ot kalitesi ve verimi düşük olan havzanın çayır ve mera alanları korunmalı, erken otlatma ve aşırı otlatmanın önüne geçilmelidir. Tarım topraklarının kullanımı konusunda halk bilinçlendirilmeli, anız yakma ve nadas uygulamasından vazgeçilmelidir. Tarım topraklarının gelecek nesillere ulaştırılması için herkes gayret etmelidir. Bütün bu önlemler alındıktan sonra bölgedeki erozyon riskinin biraz daha azaldığını görürüz.

## KAYNAKÇA

- Alcı, S. (2007), Bolvadin İlçesinde Araziden Yararlanma, (Yüksek Lisans Tezi) Ankara Üniv. Sosyal Bilimler Ent.
- Alparslan, E., Dönertas, A. ve Yüce, H. (2004), Yalova ili Kıyı Yerleşmelerindeki Değişimin Uydu Görüntülerinden incelenmesi, 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildiriler Kitabı, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- Ardos, M. (1972), Afyonkarahisar Bölgesinin Morfolojik Özellikleri. MTA Raporu, Ankara (Yayımlanmamıştır).
- Ardos, M. (1978), Afyonkarahisar Bölgesinin Jeomorfolojisi. İst. Üniv. Yay. No.2418, İstanbul.
- Arnoldus, H. M. J. (1977), Methodology Used To Determine The Maximum Potential Average Soil Loss Due To Sheet And Rill Erosion in Morocco, Assessing Soil Degradation, FAO Soils Bulletin, 34, 8-9.
- Atalay, İ. (1977), Sultan Dağları ile Akşehir ve Eber Gölleri Havzalarının Strüktürel, Jeomorfolojik ve Toprak Erozyonu Etüdü, ( Doktora Tezi), Atatürk Üniv. Edebiyat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 91.
- Baban, S. M. and Yusuf, K. W. (2001), Modelling Soil Erosion İn Tropical Environments Using Remote Sensing and Geographical Information Systems. Hydrological Sciences, 46(2), 191-198.
- Bahadur, K. C. K. (2008), Mapping Soil Erosion Susceptibility Using Remote Sensing and GIS: A Case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand, Environmental Geology, DOI 10.1007/s00254-008-1348-3.
- Balcı, N. (1996), Toprak Koruması. Üniversite Yayın No. 3947, Orman Fakültesi Yayın No. 439, İstanbul.
- Başaran, M. (2005), Arazi Kullanımındaki Değişmelerin Toprak Erozyonu Üzerine Etkisi: Çankırı İli İndağı Bölgesi Örnek Çalışması, (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Başayığit, L. (2002), Eğirdir Gölü Havzasında Erozyon Riskinin Saptanması Üzerine Araştırmalar, (Doktora Tezi) Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



- Bayramin, İ., Başaran, M., Erpul, G. and Canga, R. M. (2008), Assessing the Effect of Land Use Changes on Soil Sensitivity to Erosion in a Highland Ecosystem of Semi-Arid Turkey. Environmental Monitoring Assessment.
- Colin, H. (1955), Afyonkarahisar 1:100.000 72/4 ve 72/2 No.lu paftaları. MTA Rap. (Yayımlanmamıştır).
- Çanga, M. R. (1985), Toprak ve Su Koruma. Ank. Üniv. Ziraat Fak. Yay. No.1386, Ders Kitabı No.400, Ankara.
- Darcy, K., Molnar, K. and Julien, P. Y. (1998), Estimation of Upland Erosion Using GIS. Computers and Geosciences, 2.
- Desmet, P. J. J. and Govers, G. (1996), A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5).
- Diodato, N. (2005), Geostatistical Uncertainty Modeling for the Environmental Hazard Assessment During Single Erosive Rainstorm Events. Environmental Monitoring and Assessment, 105.
- Doğan, O. (2002), Türkiye Yağışlarının Erozyon Oluşturma Gücü ve Üiversal Toprak Kaybı Eşitliğinin Yağış Erozyon indeks Değerleri. KHGM, Ankara Araş. Enst. Müd. Yay., Genel Yay. No.220, Rapor Yay. No.R-120, Ankara.
- Doğan, O. ve Küçükçakır, N. (1996), Ankara Şartlarında Üiversal Toprak Kaybı Parametreleri (1967-1988), KHGM, Ankara Araşt. Enst. Müd., Genel Yayın No.203, Rapor Seri No.R-109, Ankara.
- Doğan, O. ve Denli, Ö. (1999), Türkiye'nin Yağış-Kuraklık-Erozyon indisleri ve Kurak Dönemleri. KHGM, Ankara Araşt. Enst. Müd., Genel Yayın No.215, Teknik Yayın No.60, Ankara.
- Doğan, O., Cebel, H., Küçükçakır, N. ve Akgül, S. (2000), Türkiye Büyük Toprak Gruplarının Erozyona Duyarlılık "K" Faktörleri. KHGM, APK Dairesi Başk., Toprak ve Su Kaynakları Araşt. Şube Müd. Yay. No.111, Rehber No.17, Ankara.

- Dwivedi, R. S., Kumar, A. B. and Tewari, K. N. (1997), The utility of multi-sensor data for mapping eroded lands. *International Journal of Remote Sensing*, 18(11).
- Erdas Field Guide, (2003), Second Edition Erdas Inc., Atlanta, USA.
- Foster, G.R., Renard, K. G., Yoder, D. C., McCool, D. K. and Weesies, G. A. (1996), *RUSLE User's Guide*. Soil and Water Cons. Soc.
- Fu, B.J., Zhao, W. W., Chen, L. D., Zhang, Q. J., Lu, Y. H., Gulinck, H. and Poesen. J. (2005), Assessment of Soil Erosion at Large Watershed Scale Using RUSLE and GIS: a Case Study in the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, 16.
- Haboudane, D., Bonn, F., Royer, A., Sommer, S. and Mehl, W. (2002), Land Degradation and Erosion Risk Mapping By Fusion Of Spectrally Based Information and Digital Geomorphometric Attributes. *International Journal of Remote Sensing*, 18.
- Hickey, R. (2000), Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, 29(1).
- Hickey, R., Smith, A. and Jankowski, P. (1994), Slope Length Calculations from a DEM within ArcInfo GRID. *Computing, Environment and Urban Systems*, 18(5).
- Hill, J. and Schütt, B. (2000), Mapping Complex Patterns Of Erosion and Stability in Dry Mediterranean Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 74.
- İrvem, A., Topaloğlu, F. and Uygur, V. (2007), Estimating Spatial Distribution of Soil Loss Over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336.
- Jensen, J. R. (1996), *Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Judson, S. (1981), What's happening to our continents, Use and Misuse of Earth's Surface, ed: B. J. Skinner, William Kaufman Inc., Los Altos, California, 12.

- Karaburun, A., Demirci, A., Karakuyu, M. (2009), Erozyon Tahmininde CBS Tabanlı Rusle Metodunun Kullanılması: Büyükçekmece Örneği, Fatih Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul.
- Karakaş, E. (2005), Küçükelmalı ve Güvenç Havzalarının Su ve Sediment Verimlerine Göre Sürdürülebilir Yönetimi, (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, P. (2008), Türkiye’de Uzun Dönem Yağış Verileri Kullanılarak Ulusal Ölçekte RUSLE-R Faktörünün Belirlenmesi, (Yüksek lisans Tezi), Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kinnell, P. I. A. (2005), Alternative Approaches for Determining the USLE-M Slope Length Factor for Grid Cells. Soil Science Society of America Journal, 69.
- Kibici, Y., Yıldız, A., Bağcı, M. (2001), Afyon Kuzeyinin Jeolojisi ve Mermer Potansiyelinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu(Mersem '2001) Bildiriler Kitabı.
- Köy Hizmetleri, (1994), Afyon İli Arazi Varlığı. KHGM Yay. İl Rap. No.03, Ankara.
- Lee, S. (2003), Soil Erosion Assessment and its Verification Using the Universal Loss Equation and Geographic Information System: a Case Study at Boun, Korea. Environmental Geology, 45.
- Lo, A., El-Swaify, S.A., Dangler E.W. and Shinshiro, L. (1985), Effectiveness of EI30 as an Erosivity index in Hawaii, Soil Erosion and Conservation, ed: A. El-Swaify, W. C. Moldenhauer and A. Lo, Soil Conservation Society of America, Ankeny.
- Lufafa, A., Tenywa, M. M., Isabirye, M., Majaliwa, M. J. G. and Woomer, P. L. (2003), Prediction of Soil Erosion in a Lake Victoria Basin Catchment Using a GIS-Based Universal Soil Loss Model. Agricultural Systems, 79.
- Mater, B. (1998), Toprak Coğrafyası. Çantay Kitabevi, İstanbul.

- Mathieu, R., King, C. and Bissonnais, Y. (1997), Contribution of Multi-Temporal SPOT Data to the Mapping of a Soil Erosion Index: The Case of the Loamy Plateaux of Northern France. *Soil Technology*, 10(2).
- McCool, D. K., Brown, L. C. and Foster, G. R. (1987), Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30.
- McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K. and Meyer, L. D. (1989), Revised Slope Length Factor For The Universal Soil Loss Equation. *Transactions Of The ASAE*, 32.
- McCool, D. K., Foster, G. R. and Weesies, G. A. (1997), Slope Length And Steepness Factors (LS), Prediction Of Soil Erosion By Water: A Guide To Conservation Planning With The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), eds: K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool and D. C. Yoder, *Agriculture Handbook 703*. USDA, Washington D.C.
- Metternicht, G. I. and Fermont, A. (1998), Estimating Erosion Surface Features By Linear Mixture Modelling. *Remote Sensing of Environment*, 64.
- Millward, A. A. and Mersey, J. E. (1999), Adapting the RUSLE to Model Soil Erosion Potential in a Mountainous Tropical Watershed, *Catena*, 38.
- Moore, I. and Wilson, P. (1992), Length Slope Factors For The Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified Method Of Estimation. *Journal Of Soil And Water Conservation*, 47(5).
- Moore, I. and Burch, G. (1986), Physical Basis Of The Length-Slope Factor In The Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal* 50.
- Morgan, R. P. C. (1986), *Soil Erosion and Conservation*. Longman Group, Essex, UK.
- Nazik, M., Boytaş, T. ve Altuğ, A. (1967a), Büyük Sincanlı Ovası Hidrojeolojisi Hakkında Not, Rapor No.1104/2-PR, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yer altı suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Nearing, M. A. (1997), A Single, Continuous Function for Slope Steepness Influence on Soil Loss. *Soil Science Society of America Journal* , 61(3).

- Nearing, M. A, Foster, G. R., Lane, L. J. and Finkner, S. C. (1989), A Process-based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. Transactions of the ASAE, 32.
- Nearing, M. A., Lane, L. J. and Lopes, V. L. (1994), Modelling Soil Erosion, Soil Erosion Research Methods (2nd Edition), ed: R. Lal, St. Lucie Press, Ankeny.
- Oldeman, L. R. (1991-1992), Global Extent Of Soil Degradation. Bi-annual report. International Soil Reference and Information Center, Wageningen, The Netherlands.
- Onorí, F., Bonis, D. P. and Grauso, S. (2006), Soil Erosion Prediction at the Basin Scale Using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a Catchment of Sicily (Southern Italy), Environmental Geology, 50.
- Özcan, A. U., Erpul, G., Başaran, M. and Erdoğan, H. E. (2008), Use of USLE / GIS Technology Integrated with Geostatistics to Assess Soil Erosion Risk in Different Land Uses of İndağı Mountain Pass-Çankırı, Turkey, Environmental Geology, 53.
- Özdemir, M.,A., ve Günay, M. (2005), Bolvadin Kenti'nin Gelişiminde Coğrafi Koşulların Rolü, Afyon Kocatepe Üniv., Sosyal Bilimler Enst. Dergisi Cilt VII Sayı:2.
- Özsoy, G. (2007), Uzaktan Algılama (UA) ve Coırafi Bilgi Sistemi Kullanarak (CBS) Erozyon Riskinin Belirlenmesi, (Doktora Tezi), Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Parıngıt, E. and Nadaoka, K. (2003), Sediment Yield Modelling For Small Agricultural Catchments: Landcover Parameterization Based On Remote Sensing Data Analysis. Hydrological Processes, 17.
- Renard, K. G. ve FOSTER, G. R. (1983), Soil Conservation: Principles of Erosion by Water. Dryland Agriculture, eds. H.E. Dregne and W.O. Willis, Agronomy Monogr. 23, Am. Soc. Argon., Crop Sci. Soc. Am. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A. and Porter, J. P. (1991), RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, *Journal Of Soil and Water Conservation*, 46(1).
- Renard, K. G., Foster, G. R., Yoder, D. C. and McCool, D. K. (1994), RUSLE Revisited: Status, Questions, Answers And The Future. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. and Yoder, D. C. (1997), Predicting Soil Erosion By Water: A Guide To Conservation Planning With The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook No.703, USDA, Washington, DC.
- Reusing, M., Schneider, T. and Ammer, U. (2000), Modelling Soil Loss Rates In The Ethiopian Highlands By Integration Of High Resolution MOMS-02/D2-Stereo-Data In A GIS. *International Journal Of Remote Sensing*, 21(9).
- Renard, K. G. and Freimund, J. R. (1994), Using Monthly Precipitation Data To Estimate The R-Factor In The Revised USLE. *Journal Of Hydrology*, 157.
- Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Wang, T. W. and Chow, T. L. (2003), Soil Conservation Planning at the Small Watershed Level Using RUSLE with GIS: a Case Study in the Three Gorge Area of China. *Catena*, 55.
- Silva, da A. M. (2004) , Rainfall Erosivity Map Of Brazil, *Catena*, 57.
- Singh, D., Herlin, I., Berroir, J. P., Silva, E. F. and Simoes-Meirelles, P. (2004), An Approach To Correlate NDVI With Soil Colour For Erosion Process Using NOAA/AVHRR Data, *Advances in Space Research*, 33(3).
- Symeonakis, E. and Drake, N. (2004), Monitoring Desertification And Land Degradation Over Sub- Saharan Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 25(3).
- Tateishi, R., Shimazaki, Y. and Gunin, P. D. (2004), Spectral And Temporal Linear Mixing Model For Vegetation Classification. *International Journal Of Remote Sensing*, 25(20).

- Tercan, A. E. ve Saraç, C. (1998), Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No.48.
- Tezcan, L., Meriç, T., Doğdu, N., Akan, B., Atilla, Ö. ve Kurttaş, T. (2002), Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yer Altı Suyu Akım Modeli Cilt 1: Akarçay Havzası Hidrojeolojisi. DSİ Raporu, Ankara (Yayımlanmamıştır).
- Tolun, N. (1952), Afyon İlinin Jeolojik Ve Maden Durumu. MTA Rap. No.1985, Ankara.
- Torri, D., Poesen, J., Borselli, L. (1997), Predictability And Uncertainty Of The Soil Erodibility Factor Using A Global Dataset. *Catena*, 31.
- Torri, D., Poesen, J. and Borselli, L. (2002), Corrigendum to “Predictability and Uncertainty Of The Soil Erodibility Factor Using A Global Dataset” [*Catena* 31 (1997)] and to “Erratum to Predictability and Uncertainty of the Soil Erodibility Factor Using a Global Dataset” [*Catena* 32 (1998)], *Catena*, 46.
- Toy, T. J., Foster, G. R. (1998), Introduction, Guidelines for the Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Version 1.06 on Mined Lands, Construction Sites, and Reclaimed Lands, ed: J. R. Galetovic.
- van Remortel, R. D., Hamilton, M. E. and Hickey. R.J. (2001), Estimating the LS Factor for RUSLE Through Iterative Slope Length Processing of Digital Elevation Data Within ArcInfo Grid. *Cartography*, 30(1).
- van Remortel, R. D., Maichle, R. W. and Hickey, R. J. (2004), Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation Through Array-based Slope Processing of Digital Elevation Data Using C++ Executable. *Computers and Geosciences*, 30.
- Wang, G., Gertner, G., Liu, X. and Anderson, A. (2001), Uncertainty Assessment of Soil Erodibility Factor for Revised Universal Soil Loss Equation. *Catena*, 46.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978), Predicting rainfall erosion losses. A Guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook, No.537. United States Government Printing Office, Washington, DC.

- Wischmeier, W. H., Johnson, C. B. and Cross, B. W. (1971), A Soil Erodibility Nomograph For Farmland and Construction Sites, Journal of Soil and Water Conservation, 26(5).
- Yıldırım, Ü. ve Erkal, T. (2008), Kumalar Dağı (Afyonkarahisar) Doğu ve Batısındaki Sahalarda Toprak Erozyonunun Değerlendirilmesi, Proje No: Tovag 107 O 648.
- Yılman, F.E. (2009), Eldivan Sarayköy-II Göleti (Çankırı) Su Toplama Havzasında Rusle Yöntemi ile Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi, (Yüksek lisans Tezi), Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, E. (2006), Çamlıdere Baraj Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi, (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yılmaz, Ö. (1999), Afyon ve Çevresinin İklim Özellikleri. Afyon Kocatepe Üniv. Yay. Afyonkarahisar.
- Yu, B. and Rosewell, C. J. (1996), A robust estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation. Transaction of the Society of Agricultural Engineers American ASAE 2.

#### İnternet Adresleri

<http://www.tr.wikipedia.org> Erişim tarihi 22 12 2010

<http://www.leenglish.com> Erişim tarihi 22 12 2010

<http://www.tema.org.tr> Erişim tarihi 14 12 2010

<http://www.tuik.gov.tr> Erişim tarihi 28 01 2011