

**T.C.  
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOPRAK EROZYONU RİSK ANALİZİNDE BİTKİ ÖRTÜSÜ VE ÜRÜN  
YÖNETİMİ FAKTÖRÜNÜN (C-FAKTÖR) UZAKTAN ALGILAMA  
YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Can VATANDAŞLAR**

**Artvin-2015**

**T.C.  
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOPRAK EROZYONU RİSK ANALİZİNDE BİTKİ ÖRTÜSÜ VE ÜRÜN  
YÖNETİMİ FAKTÖRÜNÜN (C-FAKTÖR) UZAKTAN ALGILAMA  
YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Can VATANDAŞLAR**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAVUZ**

**Artvin-2015**

**T.C.**  
**ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOPRAK EROZYONU RİSK ANALİZİNDE BİTKİ ÖRTÜSÜ VE ÜRÜN**  
**YÖNETİMİ FAKTÖRÜNÜN (C-FAKTÖR) UZAKTAN ALGILAMA**  
**YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ**

Can VATANDAŞLAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26/12/2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 13/01/2015

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAVUZ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Turan SÖNMEZ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Aydın KAHRİMAN

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Halil AKINCI

ONAY:

Bu Yüksek Lisans Tezi, AÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 13/01/2015 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../.....

Doç. Dr. Turan SÖNMEZ

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

*'Toprak Erozyonu Risk Analizinde Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi Faktörünün (C-faktör) Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Tahmini'* adlı bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılan uydu görüntüsü '*Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2012-2019)*' kapsamında temin edilmiştir. Söz konusu materyalin bilimsel amaçlı kullanımına izin veren proje yönetimi ve danışman öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma sürecinde yorum, katkı ve ilgilerini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAVUZ'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca Artvin Çoruh Üniversitesi'nde birlikte olduğumuz süre içerisinde bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan kıymetli hocalarım Sn. Doç. Dr. Turan SÖNMEZ, Sn. Doç. Dr. Hacı Ahmet YOLASIĞMAZ, Sn. Yrd. Doç. Dr. Aydın KAHRİMAN, Sn. Yrd. Doç. Dr. Halil AKINCI'ya, mesai arkadaşlarım Sn. Arş. Gör. Abdurrahman ŞAHİN ve Sn. Arş. Gör. Burak ÇAVDAR'a ve arazi çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan Sn. Arş. Gör. Ahmet DUMAN ve Sn. Arş. Gör. Musa DİNÇ'e sonsuz teşekkür ederim.

Can VATANDAŞLAR

Artvin - 2015

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>I</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>4</b>
2.1. Toprak Erozyonu.....	4
2.2. Erozyon Tipleri .....	5
2.3. Toprak Erozyonu Risk Analizleri ve Tahmin Modelleri .....	6
2.3.1. Universal Soil Loss Equation (USLE) Modeli .....	8
2.3.2. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Modeli .....	8
2.3.2.1 Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi Faktörü (C-faktör) .....	10
2.3.3. Erozyon Risk Analizlerinde UA Teknikleri ve CBS ile Entegrasyonu .....	14
2.4. Sediment İletim Oranı (SİO).....	16
2.5. Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi (NDVI) .....	16
2.6. NDVI ile C-faktörü Tahmini Konusunda Yapılmış Çalışmalar .....	19
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>24</b>
3.1. Araştırma Alanı .....	24
3.2. Materyal .....	30
3.2.1. Uydu Görüntüsü .....	30
3.2.2. Yazılım ve Diğer Materyaller .....	32
3.3. Yöntem.....	32
3.3.1. Uydu Görüntüsü Üzerinde Gerçekleştirilen Ön İşlemler ve NDVI Yüzeyinin Üretilmesi.....	32
3.3.2. Deneme Alanlarının Belirlenmesi, Deneme Alanlarına Ait Ortalama NDVI'nin Hesaplanması ve C-faktör Değerlerinin Atanması .....	33

3.3.3.	İstatistik Analizler .....	39
<b>4.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>41</b>
4.1.	NDVI Yüzeyi ve Deneme Alanlarının C-faktör Değerleri .....	41
4.2.	Doğruluk Analizi ve Cohen'in Kappa İstatistikleri .....	44
4.3.	NDVI ile C-faktör Arasındaki İlişkinin Regresyon Analizi ile Tahmini ...	46
4.4.	C-faktör Haritalarının Üretilmesi .....	50
4.5.	C-faktör Haritalarının Karşılaştırılması .....	61
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>66</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
	<b>EKLER.....</b>	<b>76</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>95</b>

## ÖZET

Bitki örtüsü; toprak erozyonunun kontrol altına alınması ve su kaynaklarının kalitesinin artırılmasında en önemli koruma önlemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Potansiyel yüzey erozyonunun tahmininde günümüzde en yaygın kullanılan model olan Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği'ndeki (YETKE/RUSLE) “bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünün (C-faktör)” hesaplanması aşamasında, uzaktan algılama ürünlerinden Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi (NDVI) ile daha hassas, pratik ve güvenilir tahminlerde bulunulabileceği konusunda sayısız makale yayınlanmıştır.

Bu çalışmada, Erzurum ili Tortum ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait C-faktör haritaları, 50 cm çözünürlüklü WorldView2 uydu görüntüsünden elde edilen NDVI yüzeyi yardımıyla ve literatürdeki çeşitli C-faktör eşitlikleri kullanılarak CBS ortamında üretilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda arazi kullanım tipleri açısından en iyi tahminleme merada *linear*, ziraatte *exponential*, taşlık alanlarda ise *Durigon ve arkadaşları'nın (2014)* regresyon modeliyle yapılmıştır. Çalışma alanındaki tüm arazi kullanım ve bitki örtüsü tiplerini bir arada en iyi temsil eden C-faktörü haritası ise “*linear regresyon model*” ile üretilmiştir ( $R^2=0.798$ ). Çalışmada kullanılan modellerle üretilen tüm haritaların kendi aralarında istatistiki olarak anlamlı farklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların yüksek eğimli ve heterojen karakterli arazi yapısı ile farklı yükseklik kademelerinde bulunan vejetasyon tiplerinin değişik gelişim trendlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** YETKE, C-faktörü, NDVI, Uzaktan Algılama, Tortum-Kuzey

## SUMMARY

Vegetation cover is regarded as one of the most important protection precautions for controlling soil erosion and increasing quality of water reserves. Numerous articles have been published about the fact that more delicate, practical, and reliable estimations can be made through Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a tool of remote sensing, at the stage of calculating “*cover and crop management factor (C-factor)*” in Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), the most widely used model in the world in the estimation of potential surface erosion.

In this study, the C-factor map that belongs to the Tortum-North watershed within the district of Tortum in the province of Erzurum was attempted to be produced in GIS with the help of NDVI profile obtained from the WorldView2 satellite imagery with a spatial resolution of 50 cm and by using various C-factor equations in the literature.

At the end of the study, equations with the best estimation in terms of land use types were produced with the regression models of *linear* for pasture, *exponential* for agriculture and *Durigon et al. (2014)* for rocky areas. The C-factor map that represents all land use/land cover types together was produced by “*linear regression model*” ( $R^2=0.798$ ). It was observed that all models used displayed statistically significant differences among themselves. These differences are attributed to steepy and heterogeneous topography and the different growth trends of the vegetation types at different elevation levels.

**Key Words:** RUSLE, C-factor, NDVI, Remote Sensing, Tortum-North



## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Farklı arazi kullanımları için C-faktör değerleri (Shi ve ark., 2002).....	12
Tablo 2. Farklı arazi kullanımları için C-faktör değerleri (Renard ve ark., 1997)...	13
Tablo 3. Farklı kapalıltaki ormanlar için C-faktör değerleri (Arnoldus, 1977)....	13
Tablo 4. CORINE arazi örtüsü tiplerine göre C-faktör değerleri (SOILPRO, 2008) .....	22
Tablo 5. Çalışma alanının arazi kullanım tipleri ve alansal dağılımları .....	26
Tablo 6. WorldView2 uydusu teknik özellikleri (Digital Globe, 2010) .....	31
Tablo 7. Deneme alanlarının NDVI değerleri ve arazide ölçülen C-faktör katsayıları .....	43
Tablo 8. Arazi kullanım tiplerine göre NDVI ve C-faktör ortalamaları .....	44
Tablo 9. Arazi kullanım tipleri için hata matrisi .....	45
Tablo 10. Arazi kullanım haritası doğruluk analizi sonuçları.....	46
Tablo 11. SPSS ile gerçekleştirilen One-Sample Kolmogorov-Smirnov test sonuçları .....	47
Tablo 12. SPSS ile gerçekleştirilen korelasyon analizi sonuçları .....	47
Tablo 13. SPSS ile gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları.....	48
Tablo 14. Farklı eğri tiplerine ait regresyon eşitlikleri .....	49
Tablo 15. Farklı eşitliklerle üretilen C-faktör haritalarına ait istatistikler .....	61
Tablo 16. Farklı arazi kullanım tiplerinde hesaplanan ortalama C-faktör değerleri ..	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 2.1. Avrupa kıtası erozyon risk haritası (Knijff ve ark., 2000).....	7
Şekil 2.2. Yeşil vejetasyonun yakın kızılötesi ve görünür elektromanyetik enerjyi yansıtma oranları (NASA, 2009) .....	17
Şekil 2.3. Dünyanın Terra/MODIS uydu görüntüsünden üretilmiş NDVI yüzeyi (NASA, 2013).....	18
Şekil 2.4. RGB ve NDVI görüntü farkı (Fastie, 2013) .....	19
Şekil 2.5. NDVI ve C-faktör arasındaki hipotetik ilişki (Knijff ve ark., 1999) .....	20
Şekil 3.1. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'nın konumu ve sınırları .....	25
Şekil 3.2. Sarıçam meşcerelerinin hakim tepeden görünüşü (Çekim tarihi: 21.08.2014).....	27
Şekil 3.3. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'ndaki doğal mera alanından görünüm (Çekim tarihi: 21.08.2014) .....	28
Şekil 3.4. Yamaçlarda oyuntu erozyonu oluşumu (Çekim tarihi: 21.08.2014).....	29
Şekil 3.5. Kaçak kesim sonucu alanda kalan dip kütükleri (Çekim tarihi: 21.08.2014).....	30
Şekil 3.6. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait WorldView2 uydu görüntüsü.....	31
Şekil 3.7. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait deneme alanlarının konumu .....	35
Şekil 3.8. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait 400 m <sup>2</sup> 'lik deneme alanlarının oluşturulması .....	36
Şekil 3.9. Deneme alanı içerisinde yapılan kapalılık tespiti (Çekim tarihi 21.08.2014).....	37
Şekil 3.10. 1,30 m yükseklikten çap ölçer ile çap ölçümü (Çekim tarihi: 21.08.2014).....	38
Şekil 4.1. Çalışma alanının NDVI yüzeyi .....	42
Şekil 4.2. Regresyon analizi sonucunda oluşturulan modellerin grafiği.....	48
Şekil 4.3. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'nın arazi kullanım haritası baz alınarak üretilen C-faktör haritası .....	50
Şekil 4.4. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait De Jong (1994)'un eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası .....	51

Şekil 4.5. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Smith ve ark. (2007)'nin eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası.....	52
Şekil 4.6. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Demirci ve Karaburun (2012)'un eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası.....	53
Şekil 4.7. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Knijff ve ark. (1999)'nin eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası.....	54
Şekil 4.8. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Durigon ve ark. (2014)'nin eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası.....	55
Şekil 4.9. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait linear (doğrusal) modelle üretilen C-faktör haritası.....	56
Şekil 4.10. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait inverse (ters) modelle üretilen C-faktör haritası.....	57
Şekil 4.11. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait cubic (3. dereceden polinom) modelle üretilen C-faktör haritası .....	58
Şekil 4.12. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait growth (büyüme) modeliyle üretilen C-faktör haritası .....	59
Şekil 4.13. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait exponential (üssel) modelle üretilen C-faktör haritası .....	60

## KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇÜ	Artvin Çoruh Üniversitesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İdaresi Etüt İşleri Genel Müdürlüğü
GPS	Global Positioning System (Küresel Yer Belirleme Sistemi)
HGK	Harita Genel Komutanlığı
LAI	Leaf Area Index (Yaprak Alanı İndisi)
LULC	Land Use Land Cover (Arazi kullanımı ve arazi örtüsü)
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MS	MultiSpektral (çok bantlı) uydu görüntüsü
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi)
NIR	Near Infrared (Yakın kızılötesi)
OBM	Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OİM	Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	Orman İşletme Şefliği
PAN	Pankromatik (Siyah-Beyaz) uydu görüntüsü
PS	Pan-sharpened (keskinleştirilmiş renkli) uydu görüntüsü
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)
SİO	Sediment İletim Oranı (Sediment Delivery Rate-SDR)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Yazılım Paketi)
TM	Thematic Mapper (Tematik Tarayıcı)
UA	Uzaktan Algılama
USLE	Universal Soil Loss Equation (Evrensel Toprak Kaybı Denklemi)
WV2	WorldView 2 uydusu

## 1. GİRİŞ

Toprak; insanlar, hayvanlar ve bitkiler alemi için vazgeçilmez bir hayat kaynağıdır. Toplumların gelecekteki refah düzeyi göz önünde bulundurulduğunda, yeryüzü toprak ve su kaynaklarından verimli ve sürdürülebilir bir şekilde faydalanmanın önemi gün geçtikçe artmaktadır. Toprak oluşumunu hızlandırmak ya da toprak varlığını yapay yöntemlerle arttırmak mümkün olmadığı için, erozyon; toprak ve su kaynaklarımızı tehlike altına sokan sorunlardan belki de en büyüğü olarak karşımıza çıkmaktadır. Erozyon sonucunda yalnızca toprak kaybı meydana gelmemekte, aynı zamanda su kaynaklarının kalitesi de belirgin şekilde bozulup, baraj ve göletler ekonomik ömürlerinden önce dolarak işlevlerini yitirmektedirler. Erozyon oluşumunda etkili olan faktörler başlıca; toprak, topoğrafya, iklim, vejetasyon ve insan olarak sınıflandırılmaktadır (Balcı ve Ökten, 1987). Erozyonun günümüzde bu kadar yaygın olarak görülmesi ise dünyada giderek artan nüfus hızı ve amaç dışı (yanlış) arazi kullanımına bağlanmaktadır (Tağıl, 2007; Kiassari ve ark., 2012).

Ülkemizin % 56'sı dağlık arazilerden oluşmaktadır (Görcelioğlu, 1997). Bu yönüyle Türkiye'nin topografyası ve iklimsel dinamikleri, erozyon oluşumuna oldukça müsaittir. Erozyonla mücadelede önemli bir yer tutan kontrol önlemlerinin alınabilmesi için erozyonun etkili olduğu alanların hızla belirlenmesi gerekmektedir. Geniş arazilerde, geleneksel arazi etütlerine dayalı yöntemlerle gerçekleştirilen erozyon çalışmaları emek-yoğun ve maliyetli olduğu gibi oldukça uzun zaman almaktadır (Pan ve Wen, 2014). Ayrıca bu çalışmalar sonucunda hesaplanan toprak kaybı miktarı ve üretilen erozyon risk haritaları her zaman hassas ve güvenilir olamamaktadır (Yılmaz, 2006).

Görsel verinin, sözel verilere nazaran insan nezdindeki anlamlılığı ve akılda kalıcılığı düşünüldüğünde, bu verileri sağlayan ve onları organize edip analizini gerçekleştirebilen Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi'nin (CBS) gücü ortaya çıkmaktadır. CBS teknolojisi, farklı kaynaklardan elde edilmiş verileri bütünleştirebilme ve UA teknikleriyle beraber kullanıldığında, yetersiz veriye sahip alanlara ait çevresel veri üretebilme özelliği ile erozyon modellemesinde mükemmel

bir araçtır (Özsoy, 2007). Toprak erozyonu tahmini için geliştirilen çeşitli modeller, UA teknikleri ve CBS ile entegre edilerek geniş alanlarda erozyona sebep olan faktörlerin şiddeti/derecesi, hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlenebilmekte ve erozyona duyarlı alanların konumsal yayılışı haritalanabilmektedir. Ancak, Türkiye'nin kendine özgü arazi kullanım özellikleri ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nin engebeli topografik yapısı dolayısıyla arazi sınıflandırmaları hassas ve pratik bir şekilde yapılamamaktadır. Ayrıca bu bölgedeki arazi kullanım tipleri çok parçalı, dağınık veya iç içe geçmiş vaziyette olup, zaman zaman aynı bitki örtüsü (meşcere) tipi içinde bile kapalılık yönünden homojen bir yapı görülmemektedir (Sümerkan, 1990). Dolayısıyla spesifik bitki örtüsü, zirai ürün ve arazi kullanım tipi için hesaplanan toprak koruma etkisinin (bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörü), karışık ve homojen olmayan vejetasyona sahip geniş alanlara uyarlanması zor olmaktadır. Farklı tür ve kapalılıkta vejetasyon tipleri için çok sayıda ayrı ölçüm ihtiyacı doğmakta ve bu da oldukça fazla zaman, emek, maliyet gerektirmektedir. Yukarıda sıralanan durumların doğal bir sonucu olarak erozif sahalardaki toprak kaybı miktarı kesin olarak hesaplanamamakta ve erozyon risk haritaları sağlıklı şekilde üretilmemektedir.

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak UA'da en önemli veri kaynaklarından olan uydu görüntülerinin de kalitesi artmaktadır. Günümüzde çok yüksek mekansal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerine erişmek ve bunlar üzerinde ileri analiz ve yorumlama işlemleri gerçekleştirmek eskiden olduğu kadar maliyetli ve zahmetli değildir. Örneğin 50 cm çözünürlüğe sahip 5 bantlı (yakın kızılötesi dahil) bir uydu görüntüsünün  $\text{km}^2$ 'si, ortorektifiye edilmiş olarak 17 Euro'ya temin edilebilmektedir. Bu çözünürlükteki görüntüler ile piksel hassasiyetinde çalışılarak arazi parçaları üzerindeki ince ayrıntıları izlemek ve onları çeşitli amaçlar için haritalayabilmek mümkündür.

Bu çalışma ile dünyada yaygın olarak kullanılan Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (RUSLE) modeliyle (Renard ve ark., 1997) yapılan erozyon risk analizi aşamalarından "*bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünün (C-faktör)*" hesaplanmasında farklı UA teknikleri kullanarak arazi kullanım haritası gerekmeksizin, güvenilir ve piksel hassasiyetinde C-faktör yüzeyi üretilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak; DSİ ve EİE'nin sediment istasyonu ölçümlerine

göre Türkiye'nin en şiddetli erozyona maruz kalan havzalarından Çoruh Havzası içinde bulunan ve "Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü" tarafından erozyon kontrol projelerine konu edilen (Çoruh Projesi, 2012) Erzurum ili Tortum ilçesi sınırları içerisindeki Tortum-Kuzey Mikrohavzası seçilmiştir.

Beş ana bölümden oluşan bu çalışmada genel bilgiler ve çalışma amacının açıklandığı giriş bölümünden sonra ikinci bölümde güncel makale, kitap, konferans bildirisi vb. kaynak araştırmaları ve konuyla ilgili temel kavramların açıklamaları yapılmaktadır. Üçüncü bölümde çalışma alanı ve kullanılan materyaller tanıtılmış, uygulanan yöntemler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde çalışma sonucu elde edilen bulgulara yer verilmiş ve ortaya çıkan sonuçların birbirleriyle karşılaştırılması yanı sıra konuyla ilgili diğer araştırmacıların ulaştığı sonuçlarla uyumluluğu tartışılmıştır. Son bölümde ise elde edilen bulgular ve yapılan tartışma ışığında ortaya çıkan önemli sonuçlar vurgulanmış, çalışma boyunca karşılaşılan sorunlar ve ileride yapılacak araştırmalara rehber olması amacıyla öneriler sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde, çalışma kapsamında geçen temel konu başlıkları hakkında ayrıntılı teknik bilgilere ve konuyla ilgili yapılmış diğer çalışmalara yer verilmiştir.

### 2.1. Toprak Erozyonu

Anakayanın zamanla ayrışması sonucu oluşan toprak tabakasının özellikle verimli üst kısmı, yağış, akarsu, rüzgar, dalga vb. dış etkenler nedeniyle aşınarak taşınmaktadır. Aslında bu süreç doğal bir süreçtir ve Görçelioğlu (2003) tarafından jeolojik erozyon veya normal erozyon olarak tanımlanır. Bu süreç içerisinde kaybolan toprak miktarı belli bir sınıra kadar telafi edilebilmekte, ancak bu miktar yükseldikçe taşınan toprak, yeni oluşan toprakla ikame edilememekte ve böylece sorun başlamaktadır. İşte bu soruna toprak erozyonu denir.

Toprak erozyonu oluşumunda su etkin rol oynamaktadır. Petermann (1993), suyla meydana gelen toprak erozyonunu, suyun toprak parçacıklarını sökmesi ve daha sonra taşınması biçiminde özetlemekte ve bu süreci; *“Yerlerinden sökülen parçacıklar, arazinin eğimi yeterli ise, suyun etkisiyle askıda sediment biçiminde taşınmaktadır. Genellikle uygulanan su miktarı ve yağış şiddetinin toprağın infiltrasyon hızından fazla olduğu alanlarda erozyon meydana gelmektedir”* (s. 125) şeklinde açıklamaktadır.

Ekinci (2005), erozyon üzerinde etkili olan faktörleri; topografya, arazi örtüsü, toprak, iklim koşulları ve insan olarak sıralamakta ve şu görüşleri dile getirmektedir; *“...bu heterojen faktörlerin farklı orandaki etkileri sonucu taşınan toprak miktarı da değişmektedir. Bu bakımdan erozyonun etkisi inceleme alanının tümünde aynı olmamaktadır”* (s. 110). Bu nedenle havzayı çeşitli amaçlar için planlarken çalışma sahamızın hangi kesimlerinde erozyonun daha şiddetli olduğunu, erosif faktörleri ayrı ayrı analiz ederek bilmemiz gerekmektedir.

Erozyon, yeryüzü ve insanoğlunun geleceğini tehdit eden en önemli sorunlardandır. Son yıllarda araştırmacılar, erozyon sonucu gerçekleşen toprak aşınmasını dünyadaki



hızlı nüfus artışından sonra en büyük ikinci çevre problemi olarak kabul etmektedirler (Pimentel, 2006; Pradhan ve ark., 2011; Nikkami, 2012). Erozyonun bu kadar ciddi bir sorun olarak görülmesinin nedeni toprağın en önemli doğal kaynaklarımızdan biri olmasından ileri gelir. Ekosistemin sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi için toprak ve su kaynaklarının öncelikli olarak korunması gerekir. Nitekim sürdürülebilir orman işletmeciliğinin temel kriterlerinden biri de budur (BM, 1992).

Erozyonla gerçekleşen toprak aşınması ile su kaynakları arasında oldukça güçlü bir ilişki vardır. Çünkü aşınım sonucu bulunduğu yerden taşınan toprak, havza içerisinde mevcut su rezervleri ve baraj göletlerini doldurarak bu alanları kullanılamaz hale getirir. Bir başka ifadeyle, erozyon sadece toprak kayıplarına neden olmamakta aynı zamanda baraj ve göletlerin ekonomik ömründen önce dolmalarına da sebep olmaktadır (Özsoy, 2007).

Erozyon tarımsal faaliyetlerle de yakından ilgilidir. Nitekim verimli üst toprağın aşınması topraktaki bitki besin maddelerini, kök gelişim derinliğini ve su depolanmasını azaltır (Petter, 1992). Erozyonun toprak işlemeyi zorlaştırması, tarımsal üretimi düşürmesi gibi sonuçlarının yanı sıra sulamanın da erozyona sebebiyet verecek etkileri olabileceği ve orman/mera alanlarının erozyona uğrama riskinin tarımsal alanlara oranla daha az olduğu düşünülmektedir (Bucks ve ark., 1990; Trout, 2000).

Erozyonu en düşük düzeyde tutabilmek için yukarıda sıralanan etken ve ilişkileri iyi etüt etmek ve havza amenajmanını bilimsel ölçütlere dayanarak rasyonel bir şekilde yapmak gerekmektedir.

## **2.2. Erozyon Tipleri**

Erozyon, oluşumunda etkili olan özneler bakımından ele alındığında iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar; Doğal (Jeolojik) ve Hızlandırılmış (Anormal) Erozyon'dur (Görcelioğlu, 2003). Arazi parçalarının kendilerini yenilemesi ve gençleşmesine sebebiyet veren jeolojik erozyon son derece yavaş oluşur ve verimli tarım arazilerinin oluşmasına neden olması yönüyle de olumlu ve arzu edilen bir süreçtir (Sarı, 1997). Sürecin içine insan faktörünün girmesiyle oluşan hızlandırılmış erozyon

ise toprak kaybı miktarını aşırı şekilde yükselterek jeolojik dengeyi bozar ve doğanın kendini yenileme gücünü zorlar. Hızlandırılmış (antropojenik) erozyonun oluşmasındaki temel faktörler; yanlış arazi kullanımı, düzensiz veya aşırı otlatma, bilinçsiz tarımsal faaliyetler gibi daha çok insan kaynaklıdır. Asıl tehlikeli olan erozyon şekli de budur çünkü toprak derinliği gittikçe azalmakta ve topraksız bir ortamda doğal otsu bitkiler bile yetişememektedir (Sarı, 1997).

Toprağın erozyona uğramasına neden olan güçler bakımından ise; su erozyonu, rüzgâr erozyonu, yerçekimi erozyonu, buzul erozyonu, dalga erozyonu ve çığ erozyonu gibi erozyon tipleri vardır. Bunlardan en tehlikeli ve en yoğun görüleni su erozyonudur. Su erozyonu, suyun toprağı aşındırıp taşması açısından damla (splash), tabaka (sheet), oluk (rill), oyuntu/yarıntı (gully) ve kanal (stream bank) erozyonu olarak 5 alt gruba ayrılmaktadır (Kirtiş, 2014).

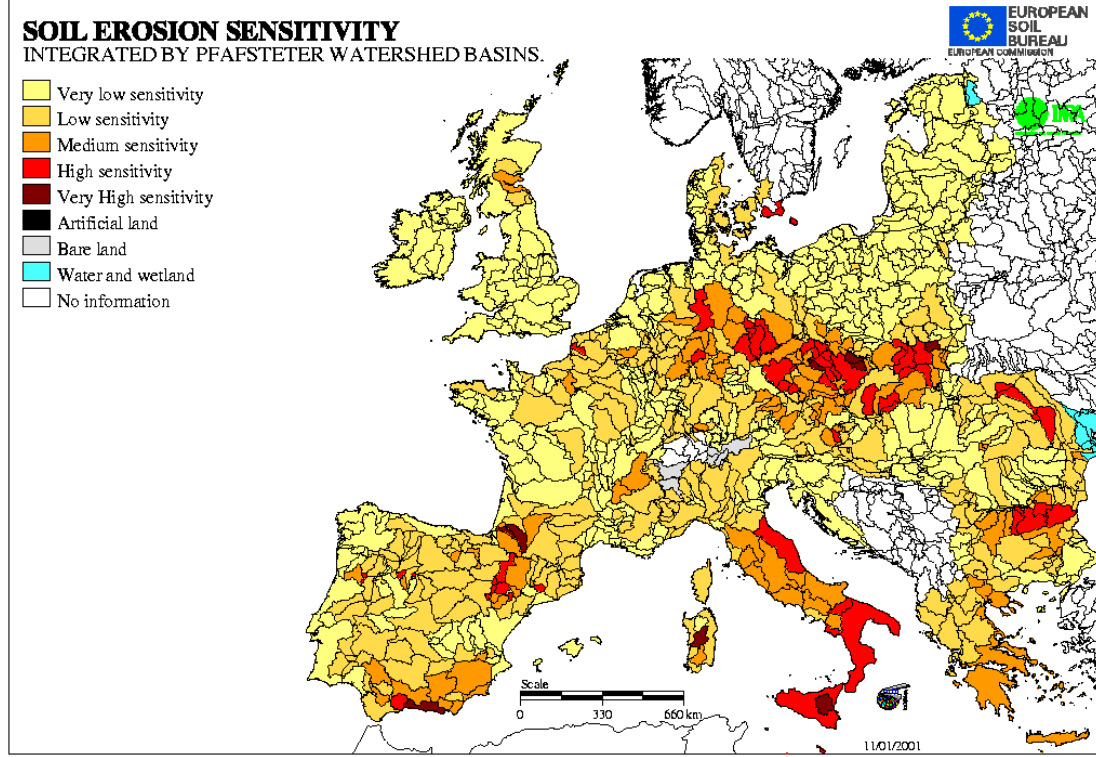
Bu çalışmaya konu olan erozyon türü; suyla gerçekleşen toprak erozyonudur.

### **2.3. Toprak Erozyonu Risk Analizleri ve Tahmin Modelleri**

Erozyon risk analizlerindeki ana amaç; belli bir arazi parçasının üzerinde meydana gelen erozyonu niceliksel olarak tahmin etmek ve bu değerin tolere edilebilir olup olmadığını tespit etmektir. Bunun için ilgili alandaki toprak kaybı miktarının ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak bilinmesi gerekir. Bu amaçla geliştirilen ve CBS programlarıyla entegre edilerek erozyonun şiddetini ve konumsal dağılışını tahmin etmede kullanılan çeşitli erozyon modelleme yöntemleri bulunmaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard ve ark., 1997). Bu yöntemler sayesinde arazi parçalarının erozyona duyarlılık oranı (erodibilite) ve teras, örme çit, eşyükselti tarımı gibi yapılması gereken erozyon kontrol çalışmalarının yerleri belirlenmektedir (Demirci ve Karaburun, 2012; Saygın ve ark., 2014).

Toprak erozyonu ölçümü için dünya genelinde birçok yöntem uygulanmaktadır (Bhattarai ve Dutta, 2007). Geleneksel yöntemler, deneme parselleri üzerinde yapılan çalışmalar yardımıyla toprak kaybı ve yüzeysel akışı hesaplamaktadır. Ancak bu yöntemler, ekonomik ve pratik olmadıkları gibi yalnızca uygulandıkları alana ait noktasal veri sağlamaktadırlar (Harmsen, 1996). Bu yüzden matematiksel modeller, toprak erozyonu tehlikesini ülkesel, bölgesel ve havza düzeyinde niteliksel veya

niceliksel olarak değerlendirmede daha çok tercih edilmektedirler (Desmet ve Govers, 1996) (Şekil 2.1). Bu modellerden en yaygın kullanılanları; WEPP (Nearing ve ark., 1994), SEDD (Ferro ve Minacapilli, 1995), CORINE (Anonim, 1992), USLE (Wischmeier ve Smith, 1978) ve RUSLE (Renard ve ark., 1997)'dir.



Şekil 2.1. Avrupa kıtası erozyon risk haritası (Knijff ve ark., 2000)

WEPP modeli (Nearing ve ark., 1994); “*Water Erosion Prediction Project (Su Erozyonu Tahmin Projesi)*” kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmekte olup fiziksel temelli bir modeldir (Özsoy, 2007). ABD Tarımsal Araştırmalar Kurumu tarafından geliştirilmiş olan model infiltrasyon, yüzeysel akış, damla etkisi gibi birçok fiziksel süreci canlandırabilme özelliğine sahiptir (Flanagan ve ark., 2007). Bu modelin dezavantajı ise sürekli veri gereksinimi nedeniyle modelin yürütülmesinde gerekli olan verilerin kısa zamanda elde edilmesinin zor olmasıdır (Yazidhi, 2003).

SEDD modeli (Ferro ve Minacapilli, 1995); “*Sediment Delivery Distributed (Dağıtılmış Sediment İletimi)*” kelimelerinin baş harflerinden meydana gelir ve havzayı morfolojik birimlere bölerek bu birimlerin eğim, bakı, yamaç uzunluğu gibi karakteristiklerinden yola çıkıp her birim için sediment iletim oranı hesaplama

esasına dayanır. Havzadan toprak kaybı miktarının hesaplanmasında sediment iletim oranı önemli bir kavramdır ve 2.4 numaralı bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

CORINE (Anonim, 1992); “*Coordination of Information on the Environment (Çevre Üzerine Bilgi Koordinasyonu)*” kelimelerinin baş harflerinden meydana gelen ampirik bir modeldir. CBS ortamında birçok tematik haritayı üst üste çakıştırarak toprak erozyon riskinin konumsal çeşitliliğini vermekte olup daha çok Avrupa ve Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bayramin ve ark., 2006; Husnjak ve ark., 2008).

### **2.3.1. Universal Soil Loss Equation (USLE) Modeli**

“*Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (ETKE)*” olarak Türkçeye çevrilen bu model, su erozyonu ile toprak kaybı potansiyelini, iklim, toprak, topografya, arazi kullanımı ve örtüsünün ölçülebilir ve hesaplanabilir parametrelerinden hareketle niceliksel olarak ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ) değerlendirmektedir (Wischmeier ve Smith, 1978). USLE; anlaşılır olması, nispeten az/kolay ulaşılabilir veri ihtiyacı ve CBS ile kullanım uygunluğu nedenleriyle RUSLE ile birlikte dünyada en yaygın kullanılan erozyon tahmin modelidir (Zhang ve ark., 2009). Wischmeier ve Smith (1978) tarafından ilk kez 1957 yılında ortaya atılmış, 1978 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde Doğu Rocky Dağları’ndaki bir çalışma için geliştirilmiştir. 1972 yılına kadar yalnızca tarım alanları için kullanılmakta olan USLE modeli, bu yıldan sonra orman ve mera alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır (Balcı, 1996). USLE modeli arazi profillerinde erozyonun görüldüğü fakat depolanmanın oluşmadığı yerlerdeki yüzey ve parmak erozyonuyla kaybolan ortalama yıllık toprak kaybını değerlendirir.

USLE, ABD’den farklı iklim koşullarına sahip bölgelere uygulandığında daha sağlıklı sonuçlar verebilmesi amacıyla birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde modifiye edilmiş ve yeni modeller oluşturulmuştur.

### **2.3.2. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Modeli**

“*Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE)*” olarak Türkçeye çevrilen bu model, Renard ve arkadaşları (1997) tarafından USLE’nin (Wischmeier ve Smith, 1978) revize edilmesi ile oluşturulmuştur. USLE ile aynı faktörlere sahip olmasına

rağmen bu faktörlere ait tüm eşitlikler revize edilmiştir. Temel düzeltmeler C (bitki örtüsü ve ürün yönetimi), P (toprak koruma önlemleri) ve LS (yamaç uzunluğu ve eğim) faktörlerinde yapılmıştır. RUSLE, USLE'ye göre daha fazla deneysel sonuç kullanır, veri boşluklarını doldurur ve daha esnek bir kabiliyete sahiptir (Pan ve Wen, 2014). Bu nedenlerle USLE'ye göre daha kesin erozyon tahminleri sağlamaktadır.

RUSLE modeli, oluk (parmak) ve tabaka (parmaklar arası, yüzey) erozyonuyla meydana gelen toprak kaybı miktarını tahmin etmektedir. RUSLE modeli ve içerdiği parametreler Denklem 1'de gösterilmektedir (Renard ve ark., 1997);

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Denklem 1'de;

*A (Yıllık Ortalama Toprak Kaybı):* 1 ha'lık sahada, 1 yılda meydana gelen ortalama toprak kaybı miktarının ton ağırlık birimiyle ifadesidir (ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>).

*R (Yağmur ve Yüzey Akış) Faktörü:* Hesaplama yapılan dönem için yağmur erozivite indeksidir (EI30). Belirli yağışların eroziv kuvvetleri sonucu oluşan kinetik enerjilerinin bir ölçüsüdür. Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonundan temin edilir ve ihtiyaç halinde enterpolasyon yöntemi yardımıyla tüm alana yayılabilir.

*K (Toprak Erodibilite) Faktörü:* Toprağın erozyona duyarlılık faktörüdür. 22,1 m uzunluğunda ve % 9 eğimli nadas halindeki arazide, erozyon indeksine karşılık gelen erozyon oranıdır. Hesaplama için öncelikle her bir toprak profilindeki toz+ince kum, kum ve organik madde analiz edilir. Devamında, 15-20 cm'lik üst toprağa ait özelliklere bakılarak toprak strüktürünün tanımı ve ilgili tabloya göre kodlaması yapılır. Son olarak, permeabilitenin tanımı ve kodlanması yapılarak ilgili tablo ve nomograflar yardımıyla K faktörü değeri bulunur.

*L (Yamaç Uzunluğu) Faktörü:* Çalışma alanında belli bir uzunluktaki yamaçta oluşan toprak kaybı miktarının, aynı toprak tipi, %9 eğim ve 22,1 m uzunluğuna sahip yamaçta oluşan toprak kaybı miktarına oranıdır.

*S (Eğim) Faktörü:* Çalışma alanında belli bir eğim dikliğine sahip yamaçta oluşan toprak kaybı miktarının, aynı toprak tipi, %9 eğim ve 22,1 m uzunluğuna sahip yamaçta oluşan toprak kaybı miktarına oranıdır.

*C (Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi) Faktörü:* Belirli bir bitki örtüsü ve ürün yönetimine sahip araziden oluşan toprak kaybı miktarının, K faktörünün saptandığı koşullardaki nadasa bırakılmış (çıplak) arazide oluşan toprak kaybı miktarına oranıdır (bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır).

*P (Toprak Koruma Önlemleri) Faktörü:* Eşyükselti tarımı, şerit ekimi veya teraslama yapılan bir araziden oluşan toprak kaybı miktarının, hiçbir toprak koruma önlemi alınmamış ve eğim yönünde sürüm yapılan arazide meydana gelen toprak kaybı miktarına oranıdır. Şeritler halinde ölü örtü artıklarına bakılarak bulunabilir.

RUSLE modelinin uygulanmasındaki temel amaç; erozyon miktarını tahmin etmenin yanı sıra belli bir arazi parçası üzerinde tolere edilebilir maksimum toprak kaybı sınırı kabul edildikten sonra C, P, S gibi değiştirilebilir faktörleri yöneterek erozyonu öngörülen sınırlar içinde tutabilmektir. Nitekim bunlardan C-faktörü; R ile birlikte en dinamik faktör olup insan etkisiyle ya da mevsimsel olarak sürekli değişebilmektedir. Dolayısıyla iyi bir havza ve amenajman planlaması ile C-faktörünü optimal bir şekilde kontrol altında tutmak mümkündür. Bu çalışmayı amenajman pratiği açısından önemli kılan yönü de budur. Bu yüzden bir sonraki bölümde C-faktörü hakkında daha geniş bilgilere yer verilmiştir.

### **2.3.2.1 Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi Faktörü (C-faktör)**

Bitki örtüsü, yağmur damlalarının enerjisini toprağa ulaşmadan önce emerek, toprak partiküllerinin parçalanıp başka yerlere taşınmasını önlemenin yanı sıra düşen yağışın bir kısmını kendi dal, yaprak, gövde gibi organları üzerinde tutarak toprak yüzeyine ulaşan yağmur suyu miktarını ve yüzeysel akışı azaltmaktadır. Bu bağlamda, bir arazi parçası üzerinde bulunan bitki örtüsü o arazi için bir nevi çatı işlevi görerek toprağı korumakta ve erozyonun şiddetini azaltmaktadır (Demirci ve Karaburun, 2012). Knijff ve arkadaşları (2000)'na göre; “...bitki örtüsü, topografyadan sonra toprak erozyon riskini kontrol eden ikinci en önemli faktördür.” (s.17). Folly ve arkadaşları (1996) ise birbiriyle ilişkili bitki örtüsü ve yönetim

değişkenlerinin bir kombinasyonu olması ve insan etkisiyle kolaylıkla değişebilmesi bakımından C-faktörünü model içindeki en önemli faktörlerden biri olarak görmektedirler. Çünkü C-faktörü; yağmur damlasının çıplak toprağa düştüğünde gerçekleştirdiği erosif faaliyetlere karşı arazi örtüsünün (orman tepe tacı, tarım ürünleri, çayır vb.) koruyucu etkisine vurgu yapmaktadır (Durigon ve ark., 2014). Bir başka deyişle C-faktörü; arazi üzerindeki bitki örtüsü ve ürün yönetimi (tarlayı eşyükselti eğrilerine paralel sürme, baltalık işletme, seçme ormanı vb.) tipinin toprak erozyonu oranına etkisini yansıtmaktadır. Böylece koruma planlarının ortalama toprak kaybı miktarını nasıl etkileyeceği öngörülerek uygun vejetasyon tipi, bitki atıkları ve toprak işleme metotlarının seçilmesi suretiyle erozyon sınırlandırılabilir (Lee, 2004).

Renard ve arkadaşları (1997), C-faktörünü; “*belli bir bitkisel ürüne ve amenajmana tabi olan bir arazi parçasından oluşan erozyon miktarının, K faktörünün saptandığı koşullardaki (22,1 m uzunluğunda, %9 eğime sahip, nadasa bırakılmış yamaç) araziden oluşan erozyon miktarına oranı*” şeklinde tanımlamaktadırlar. Öyleyse C-faktörü (ya da toprak kayıp oranı) Denklem 2’deki gibi formülize edilebilir (Erpul, 2005; Yılman, 2009);

$$C - \text{faktör} = \frac{A_c}{A_n} \quad (2)$$

Denklem 2’de;

$A_c$ : Herhangi bir bitki örtüsü/arazi kullanımı tipine sahip arazideki toprak kayıp miktarı (ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>),

$A_n$ : Aynı koşullarda ancak devamlı nadasa bırakılmış (çıplak) arazideki toprak kayıp miktarı (ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) olmaktadır.

C-faktörü; önceki arazi kullanımı (PLU), kapalılık (CC), yer örtüsü (SC), pürüzlülük (SR) ve önceki toprak nemi (SM) olmak üzere 5 alt faktörden oluşmaktadır (Toy ve Foster, 1998). Örnekleme alanlarında yapılan çeşitli etüt ve vejetasyon ölçümleri ile bulunan 5 alt faktör değerinin ortalamasının alınması sonucu nihai C-faktör değeri Denklem 3’deki gibi ampirik olarak hesaplanmaktadır;

$$C - faktör = \frac{PLU+CC+SC+SR+SM}{5} \quad (3)$$

Örnekleme alanlarına girmeyen yerlerin değerleri ise konumsal enterpolasyon yolu ile tahmin edilir (Wang ve ark., 2002). Hesaplanan C-faktör değerinin değişiminde bitki örtüsü tipinin yanı sıra; ürün rotasyonu, toprak işleme şekli, orman işletme türü, otlak gibi amenajman metotları da etkili olmaktadır.

RUSLE eşitliği içindeki en hassas ve belirleyici parametrelerden biri olan C-faktörü, 0 ile 1 arasında değer almakta ve standart sapma kavramına dayanmaktadır. Sürekli nadas halindeki çıplak arazi parçasının C-faktör değeri “1” olarak kabul edilirse, aynı koşullar altında bulunan ancak çeşitli bitki örtüsü türlerine sahip olan arazi parçası, bitki örtüsünün koruma etkisi arttıkça “1” değerinden uzaklaşarak “0” değerine doğru yaklaşmaktadır. “0” değerine sahip bir arazi parçasının, yağmur damlalarına karşı % 100 korunaklı olduğu ve onun olumsuz aşındırıcı etkisinden etkilenmediği varsayılmaktadır (Erencin, 2000). Dünyada ve özellikle ABD’de yapılan geniş çaplı çalışmalar sonucunda farklı arazi kullanımı/bitki örtüsü tipleri için ortalama C-faktör değerleri araştırmacılar tarafından hesaplanmış (Arnoldus, 1977; Renard ve ark., 1997; Shi ve ark., 2002) ve en yaygın kullanılan 3 tanesi Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Farklı arazi kullanımları için C-faktör değerleri (Shi ve ark., 2002)

<b>Arazi kullanım tipi</b>	<b>Ort. C-faktör değerleri</b>
Orman (>%40 kapalılıkta)	0,002
Orman (% 10-%40 kapalılıkta)	0,006
Çalı/fundalık	0,014
Çeltik tarlası (Ziraat)	0,10
Meyve bahçesi	0,11
Yayla	0,377
Otlak	0,11



Tablo 2. Farklı arazi kullanımları için C-faktör değerleri (Renard ve ark., 1997)

<b>Arazi kullanım tipi</b>	<b>Ort. C-faktör değerleri</b>
Geniş yapraklı orman	0,003
İğne yapraklı orman	0,001
Karışık orman	0,002
Sulanmayan ekilebilir alan	0,4
Sürekli sulanan alan	0,2
Sulanmayan meyve ağaçları	0,296
Mera	0,04

Tablo 3. Farklı kapalılıktaki ormanlar için C-faktör değerleri (Arnoldus, 1977)

<b>Tepe kapalılığı (%)</b>	<b>Ölü örtü ile kaplı alan (en az 5 cm kalınlığında)</b>	<b>Büyüme aşamasında</b>	<b>C-faktör değerleri</b>
100-75	100-90	Otlatma ve yangına karşı korundu	0,001
100-75	100-90	Aşırı otlatma ve yangın görmüş olabilir	0,003-0,011
70-40	80-75	Otlatma ve yangına karşı korundu	0,002-0,004
70-40	80-75	Aşırı otlatma ve yangın görmüş olabilir	0,01-0,04
35-20	70-40	Otlatma ve yangına karşı korundu	0,003-0,009
35-20	70-40	Aşırı otlatma ve yangın görmüş olabilir	0,02-0,09
<20	Çayır veya ziraat alanı olarak değerlendirildi		

Belli koşullar altında yetişen ürünler için ölçülen C-faktörü değerinin, karışık ve homojen olmayan vejetasyona sahip geniş alanlara uyarlanması zor olmaktadır. Farklı tür ve kapalılıkta vejetasyon tipleri için çok sayıda ayrı ölçüm ihtiyacı doğmakta ve bu da oldukça fazla zaman, emek, maliyet gerektirmektedir. Bu yüzden birçok araştırımcı C-faktörünü arazi ölçümlerine ve arazi kullanım haritasına gerek kalmadan NDVI gibi spektral indisler yoluyla UA verileri üzerinden tahmin etmeyi sağlayan yöntemler geliştirmişlerdir (De Jong, 1994; Wang ve ark., 2002; Lin ve ark., 2002). Günümüzde hızla gelişip ilerleyen UA teknikleri ile C-faktör haritalaması toprak erozyonunun konumsal olarak modellenmesinde birçok önemli bilgi sağlamakta ve oldukça popüler bir hale gelmektedir (Meusburger ve ark., 2010). Bunun da ötesinde, UA teknikleri CBS ile entegre edilerek arazi kullanımındaki değişimler ve toprak erozyonu izlenip değerlendirilebilmektedir (Wang, 2002; Wu ve ark., 2006). Bu yöntemlerin ayrıntılarına çalışmanın ilerideki bölümlerinde yer verilmiştir.

### **2.3.3. Erozyon Risk Analizlerinde UA Teknikleri ve CBS ile Entegrasyonu**

Bilindiği üzere UA; Uzaktan Algılama'nın kısaltması olup; yeryüzünün ve yer kaynaklarının incelenmesinde onlarla fiziksel bağlantı kurmadan kaydetme ve inceleme tekniğidir (URL-1). UA teknikleri ile üretilen veriler CBS uygulamaları için coğrafi konumları ile birleştirilebilir (Mkhonta, 2000). Toprak erozyonu konumsal bir olaydır, bu nedenle coğrafi bilgi teknikleri erozyon modellemesinde önemli bir rol oynamaktadır. UA verileri ve elde mevcut olan haritalar, model girdileri için birçok veri sağlar (Petter, 1992).

Dünyada ve ülkemizde, uydu görüntüleri gibi UA verilerinin CBS ile beraber kullanılmasıyla gerçekleştirilen birçok başarılı erozyon risk analizi çalışmaları bulunmaktadır (Kinnell, 2000; Erdoğan ve ark., 2005; Saygın ve ark., 2014). Toprak erozyonu konusunda sayısal uydu verileri çoğunlukla oyuntu erozyonu gerçekleşen alanların tespiti, bitki örtüsü türlerinin belirlenmesi ve arazi kullanımındaki zamana bağlı değişimin izlenmesinde altlık olarak kullanılır. CBS ise geçmişte üretilmiş veya üretilecek harita ve raporların bilgisayar ortamında paylaşılabılır, yeniden sınıflandırılabilir, sayısal veya basılı olarak çıktıları alınabilir formatta saklanmasına izin veren veri tabanı ortamı olarak kullanılmaktadır (Özsoy, 2007). UA ve CBS

teknikleri ile yapılan çalışmaların, klasik çalışmalara nazaran doğruluk, hız, maliyet ve daha az enstrüman gerektirmesi bakımından birçok avantajları vardır (Durigon ve ark., 2014).

Toprak erozyonuna duyarlılık, belirli büyüklükteki bir arazi parçasının her yerinde aynı olmamaktadır (Ekinci, 2005). Diğer bir deyişle, erozyon şiddeti bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu bağlamda toprak kaybı miktarının konumsal dağılışını belirlemek önem teşkil eder. Ayrıca, erozyon kontrol faaliyetlerinin (teras, canlı çit, ağaçlandırma vb.) arazinin neresinde gerçekleştirileceğini tayin edebilmek için erozyonun konumsal dağılışını harita üzerinde görmek gerekmektedir. Çalışma yapılacak sahanın topografik özelliklerini yansıtan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi örtüsü bilgilerini veren meşcere haritası, toprak türlerini gösteren Büyük Toprak Grupları (BTG) haritası gibi katmanların üst üste çakıştırılması ile oluşturulan ve hangi alanların erozyona karşı daha duyarlı olduğunun yanı sıra o arazi parçalarındaki toprak kaybını niceliksel olarak gösteren kartografik materyallere “*Erozyon Risk Haritaları*” denir.

USLE/RUSLE modeli, UA/Jeostatistik ve CBS teknikleri ile birleştirildiğinde; toprak kaybı miktarını hesaplamının yanı sıra bu miktarın farklı arazi kullanım sınıfları için izin verilebilir toprak kaybı oranlarıyla karşılaştırılmasını da sağlayarak planlama ve yönetimin, toprak verimliliğinin sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına izin verir (Yılman, 2009).

Çağımızdaki hızı baş döndüren teknolojik gelişmeler, bilgisayar ve uydu sistemlerinin ciddi ilerlemeler kaydetmesine neden olmuş ve buna paralel olarak USLE/RUSLE gibi birçok tahmin modelinin CBS ve UA teknikleri kullanılarak uygulanmasını mümkün kılmıştır. Bu sayede yorucu, maliyetli ve zaman alıcı arazi çalışmalarına gerek kalmadan çok geniş alanların potansiyel toprak kayıpları eskisinden çok daha kolay, hızlı ve objektif verilere dayalı olarak çıkartılabilmektedir. CBS ve UA teknikleri erozyon modelleri için önemli olan faktörlerin hesaplanmasında ve belirlenmesinde çok önemli rol oynamakta ve günümüzün vazgeçilmez araçları haline gelmiş bulunmaktadır (Özsoy, 2007).

#### 2.4. Sediment İletim Oranı (SİO)

Erozyonla aşınma sonucu bulunduğu yerden hareket eden toprak kütlesi, eğimin yeterli olmadığı kısımlarda durarak birikir. Dolayısıyla erozyonla yerinden taşınan toprak miktarının tamamen derelere ya da mansaba ulaşması söz konusu değildir. Transfer halindeki toprak miktarının ne kadarının havza çıkışına ulaşabildiğini hesaplayabilmek için havzanın SİO'nun bilinmesi gerekmektedir. Bu noktada SİO'nı; "havzadaki toplam toprak kaybının mansaba ulaşan miktara oranı" şeklinde tanımlayabiliriz.

Oğuz ve arkadaşları (2002)'na göre; SİO üzerinde etkili olan faktörler; havza büyüklüğü, havza yüksekliği, topografya, akarsu ağı yoğunluğu, akarsu ortalama eğimi, iklim, sediment zerrecilerinin büyüklüğüdür ve ülkemizde SİO ile ilgili çalışmalar yaygın olmadığından yurtdışındaki araştırmalarda değişik havzalar için belirlenmiş SİO verilerinden yararlanmak bir zorunluluktur.

Denklem 4'de, SİO hesaplanışında dünya çapında yaygın olarak kullanılan eşitlik verilmektedir (Boyce, 1975);

$$SIO = 0,5656 \times A^{-0,11} \quad (4)$$

Denklem 4'de;

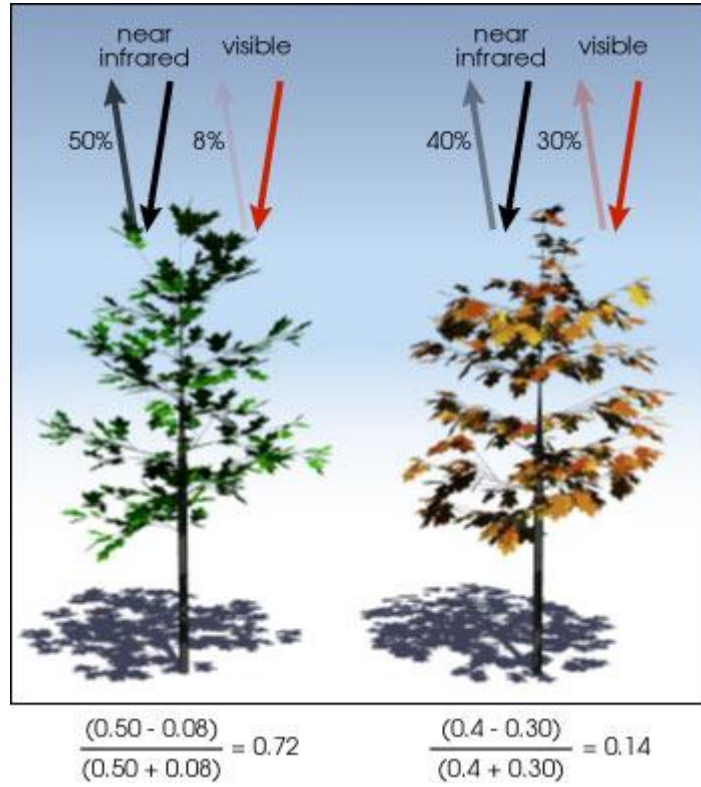
A: Havzanın km<sup>2</sup> cinsinden büyüklüğünü ifade etmektedir.

Bu eşitlik uyarınca; küçük alana sahip havzalarda meydana gelen toprak kaybının havza çıkış noktasına kadar taşınan miktarı (SİO), büyük havzalara göre daha fazla olmaktadır.

#### 2.5. Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi (NDVI)

Bilindiği üzere yeşil bitkiler yapraklarındaki klorofiller aracılığıyla fotosentez yapmaktadırlar. Fotosentez işlemi esnasında, güneşten gelen elektromanyetik enerjinin 0,63 µm– 0,69 µm dalga boyları arasında kalan ve kırmızı ışığa denk gelen kısmı kullanılmaktadır (Kandemir, 2010). Bu yüzden canlı bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda, kırmızı ışığın yansımını (*reflection*) ölçen bir uydu görüntüsü düşük sayısal değerlere sahip olmaktadır. Bununla beraber 0,7 µm – 2,5 µm dalga

boyu aralığına sahip ve yakın kızılötesine (Near-infrared) denk gelen elektromanyetik enerji, bitkiler tarafından bünyeye alınmayıp geri yansıtılmaktadır. Dolayısıyla Şekil 2.2’de şematize edildiği gibi; bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda, kızılötesi elektromanyetik enerjinin yansımalarını ölçen bir uydu görüntüsü yüksek sayısal değerlere sahip olmaktadır (NASA, 2009).



Şekil 2.2. Yeşil ve sarımsı yeşil bitki örtüsünün yakın kızılötesi ve görünür elektromanyetik enerjiyi yansıtma oranları (NASA, 2009)

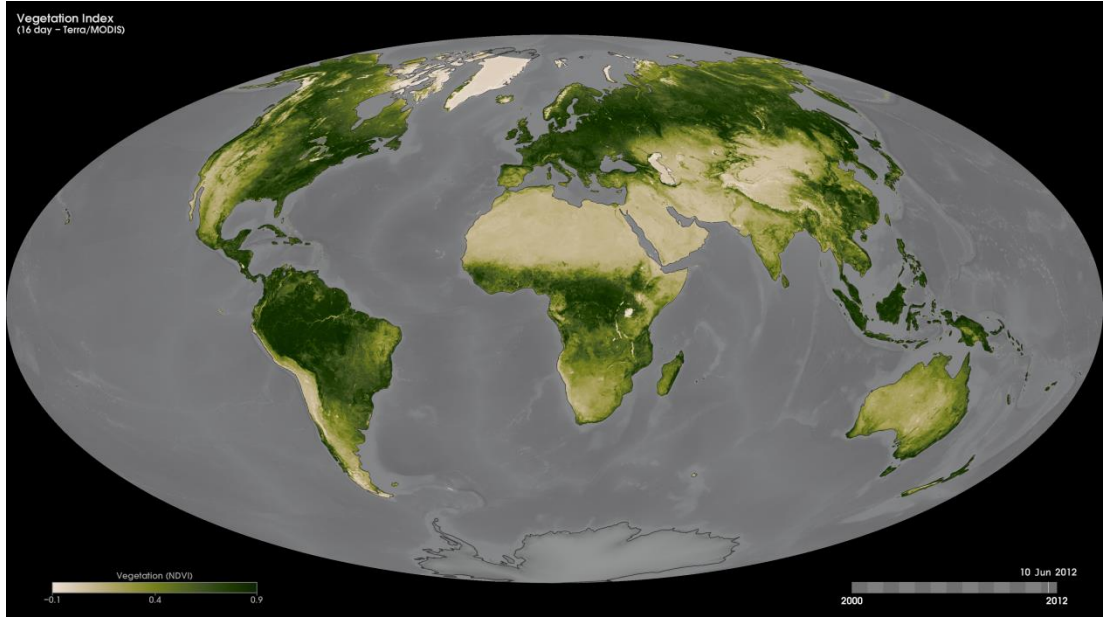
Türkçeye “*Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndisi*” olarak geçen NDVI, kırmızı (Red) ve yakın kızılötesi (NIR) bant görüntüleri kullanılarak Denklem 5 yardımıyla üretilmektedir (Rouse, 1973);

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (5)$$

Bunun için her piksele ait yakın kızılötesi bant sayısal değerinden, aynı piksele ait kırmızı bant sayısal değeri çıkartılmaktadır. Bu fark, bitki örtüsü yoğun alanlar için bitki örtüsü seyrek alanlara göre daha fazla olmaktadır. Farkları alınan bu iki sayının toplanması ve farkın toplama bölünmesi ile -1 ila +1 aralığında bir değer elde

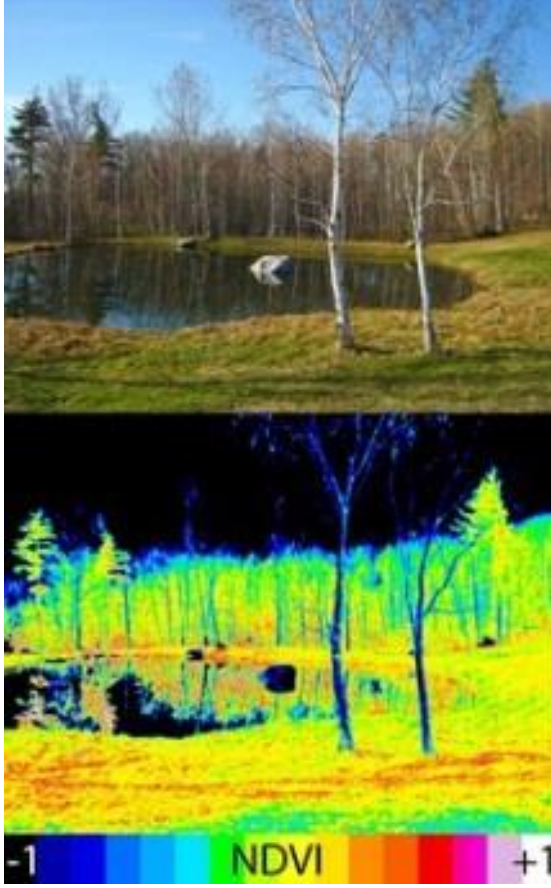
edilmektedir. Yeni bir 8-bitlik görüntü oluşturmak amacıyla, bu aralığın 0-255 aralığına genişletilmesi işlemine ise normalize etme denmektedir (Tucker, 1979).

NDVI sayesinde, belli bir alandaki klorofil ihtiva eden yeşil vejetasyonun yoğunluğu, canlılığı ve yayılışı görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, geniş alanlar üzerindeki orman varlığı ve bunun zaman içerisindeki değişimi de izlenebilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Dünyanın Terra/MODIS uydu görüntüsünden üretilmiş NDVI yüzeyi (NASA, 2013)

NDVI yüzeyinde, yoğun bitki örtüsüne sahip alanlara ait piksellerin sayısal değeri yüksek (+1'e yakın), seyrek bitki örtüsüne sahip veya çıplak alanlara ait piksellerin sayısal değeri düşük (0'a yakın) çıkmaktadır. Alanda bulunan göl, gölet, akarsu gibi su kütlelerine ait piksellerin sayısal değeri ise -1'e doğru yaklaşmaktadır (Şekil 2.4). Buradan hareketle söz konusu alanları pratik bir şekilde birbirinden ayırmak mümkündür. Ayrıca NDVI ile erozyon, toprak nemi, biyokütle, yaprak alan indisi (LAI), yetişme ortamı, iklim değişkenleri gibi birçok parametre arasında çeşitli düzeylerde ilişkiler saptamıştır (Ichii ve ark., 2002; Myneni ve Williams, 1994; Günlü, 2009; De Jong, 1994).



Şekil 2.4. RGB ve NDVI görüntü farkı (Fastie, 2013)

## 2.6. NDVI ile C-faktörü Tahmini Konusunda Yapılmış Çalışmalar

De Jong (1994); Yaprak alan indisi (LAI), kapalılık yüzdesi ve USLE C-faktör gibi vejetasyon özelliklerini LANDSAT TM görüntüleri üzerinden türetmiştir. Bunun için, Fransa'nın Ardeche bölgesinden alınan 33 deneme noktasının NDVI değerlerini kullanmıştır. Bu değerlerin regresyon eşitliğinde doğrusal model olarak kullanılmasıyla NDVI ve C-faktör arasında aşağıdaki eşitlik bulunmuştur (De Jong ve ark. tarafından 1998'de revize edildi);

$$C=0,431-0,805 \times NDVI \quad (6)$$

Denklem 6'da NDVI ile C-faktörü arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı -0,64'dür. Bazı alanların düşük korelasyon göstermesi, vejetasyonun su stresi yüzünden canlılığını yitirip düşük NDVI değeri vermesine bağlanmıştır. Ancak erozyon için vejetasyonun canlılık durumundan çok kapalılık derecesinin önemli olduğu vurgulanmıştır (De Jong, 1994).

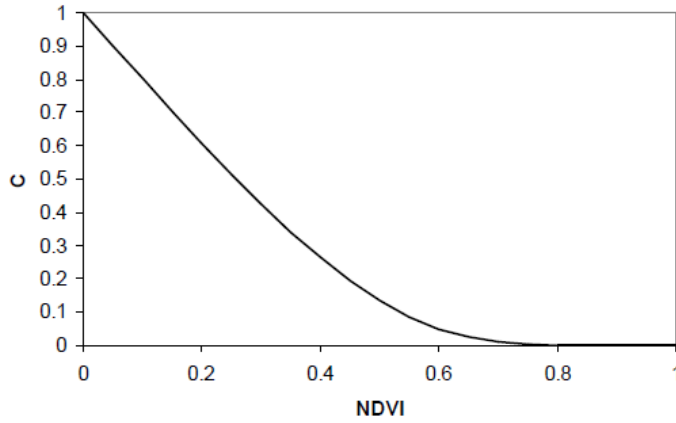
Knijff ve arkadaşları (1999), De Jong'un eşitliğini çeşitli NDVI profillerinde test etmiş ve çıkan C-faktör değerlerini oldukça düşük bulmuştur. Ayrıca bu eşitlik 0,431'in üzerindeki C-faktör değerlerini tahmin edememektedir. Diğer taraftan LANDSAT TM görüntüleri için üretilen bu eşitlik, spektral ve geometrik özellikleri oldukça farklı olan NOAA görüntüleri için pek uygun sonuç vermemektedir. Bu tip problemlerden dolayı yeni bir eşitlik üretme ihtiyacı doğmuş ve Knijff ve arkadaşları (1999) bazı denemeler sonucunda Denklem 7'yi önermişlerdir;

$$C = \exp \left[ -\alpha \times \frac{\text{NDVI}}{(\beta - \text{NDVI})} \right] \quad (7)$$

Denlem 7'de;

$\alpha$  ve  $\beta$ ; NDVI-C eğrisinin şeklini belirlemektedir.  $\alpha$  değeri için 2 ve  $\beta$  değeri için 1 verilmesi halinde Avrupa Kıtası için oldukça tutarlı sonuçlar elde edilmiştir (Knijff ve ark., 2000).

NDVI ve C-faktörün ilişkisini gösteren grafik ise aşağıdaki gibidir;



Şekil 2.5. NDVI ve C-faktör arasındaki hipotetik ilişki (Knijff ve ark., 1999)

Knijff ve arkadaşları (1999), Denklem 7'yi kullanarak İtalya'nın toprak erozyon risk değerlendirilmesini yaptıklarında çayır alanları için bulunan C-faktör değerlerinin literatürdeki değerlerden daha yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir. Orman alanlarının C-faktör değerleri ise yaz mevsiminin büyük bir bölümünde 0'a yakın bulunarak



oldukça gerçekçi bir sonuç elde edilmiştir. Ancak özellikle kış mevsimindeki değerler oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun açıklaması ise NDVI'nin yalnızca sağlıklı ve fotosentetik açıdan aktif vejetasyona karşı hassas olması şeklinde yapılmıştır (Knijff ve ark., 1999). Genellikle kalın ölü örtü tabakasına sahip olan ormanlar, bu tabaka sayesinde toprak erozyonuna karşı mükemmel bir koruma sağlarlar. Fakat ölü örtü tabakası içinde klorofil pigmentleri bulunmadığı için bu tabaka NDVI görüntülerinde tespit edilememektedir.

Ziraat alanlarının C-faktör değerlerini tahmin etmek daha zordur. Çünkü buralardaki C-faktör değerleri esas olarak ürün tipi ve yönetim pratiklerine bağlıdır ve bunların UA teknikleri ile bilinmesi kolay değildir. Yine de İtalya'nın ziraat alanlarında kış değerlerinin biraz düşük olmasına rağmen yıl genelinde oldukça gerçekçi değerler bulunmuş ve kış değerlerindeki düşüklük, piksel genişliğinin büyüklüğü ve geometrik doğruluğun kabalığı sonucu ortalamanın dışında çıkan aşırı NDVI değerlerine bağlanmıştır (Knijff ve ark., 1999).

Knijff ve arkadaşları (2000), 1999'da İtalya'da başlattıkları toprak erozyonu risk analizini tüm Avrupa kıtasına yaymışlardır. İtalya'da yapılan çalışmalarda özellikle ormanlık ve çayırılık alanlar için yüksek çıkan C-faktör değerlerinin yeni çalışmada da tekrarlanmaması için CORINE arazi örtüsü veri setindeki (Tablo 4) ilgili sınıflara maksimum C-faktör değerleri atanmıştır. Maksimum değerler; ormanlık alan için 0,01 ve doğal çayırılık alan için 0,05'dir. Onun dışında İtalya'daki çalışmada kullanılan yöntem ve eşitliğin aynısı uygulanmıştır. "European Soil Bureau" halen bu eşitliği kullanmaktadır (Knijff ve ark., 2000).

Smith ve arkadaşları (2007), California'da yapmış oldukları çalışmada 9 Mayıs 2005 tarihli LANDSAT TM uydu görüntüsünü kullanmışlar ve işlenmemiş araziler için nominal maksimum C-faktörü değerine uyum sağlaması açısından Denklem 6'yı modifiye ederek aşağıdaki eşitliği önermişlerdir;

$$C=0,45 - 0,805 \times NDVI \quad (8)$$

Çalışma alanının %0,8'ini kaplayan negatif NDVI değerine sahip alanlar Denklem 8'e sokulmadan önce 0 olarak ayarlanmıştır. Denklem 8'den çıkan negatif C-faktör değerleri ise alanın %0,3'ünü kaplamaktadır ve bu alanlar da 0 olarak ayarlanmıştır.

Sonuç olarak tüm havzanın ortalama C-faktör değeri 0,27 olarak bulunmuştur (Smith ve ark., 2007).

Tablo 4. CORINE arazi örtüsü tiplerine göre C-faktör değerleri (SOILPRO, 2008)

Ürün Çeşidi	C-faktör
Tahıl (mısır)	0,4
Hayvan yemi (mısır) ve fasulye	0,5
Hububat (Yaz & Kış)	0,35
Mevsimsel bahçe ekinleri	0,5
Meyve ağaçları	0,1
Saman ve çayırılık	0,02
Orman (%75-100 kapalılıkta)	0,0006
Orman (%45-70 kapalılıkta)	0,003
Orman (%20-40 kapalılıkta)	0,007
Sürülmüş üzüm bağı	0,65
Sürülmüş üzüm bağı (Kışın doğal çim)	0,35
%20 kapalılıkta sıralar arası çimli üzüm bağı	0,2
%40 kapalılıkta sıralar arası çimli üzüm bağı	0,1
%60 kapalılıkta sıralar arası çimli üzüm bağı	0,042
%80 kapalılıkta sıralar arası çimli üzüm bağı	0,013
Zeytinlik (Çıplak toprak)	0,1
Zeytinlik (Örtülü toprak)	0,02
1 yıl mısır, 1 yıl tahıl ve 1 yıl ot ekilmiş tarla	0,16
2 yıl mısır, 4 yıl ot ekilmiş tarla	0,12

Demirci ve Karaburun (2012), İstanbul Büyükçekmece Gölü Havzası'nda yaptıkları çalışmada doğrusal regresyon analizini kullanarak buldukları eşitlik Denklem 9'daki gibidir;

$$C=1,02 - 1,21 \times NDVI \quad (9)$$

Bu amaçla, 2007 yılının Nisan, Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında temin edilen LANDSAT 5 TM uydu görüntülerinden sağlanan NDVI değerlerinin ortalaması alınarak havzanın ortalama NDVI değeri bulunmuştur. C-faktör ve NDVI

değerlerinin birbirleriyle korelasyon göstereceği varsayılarak iki değer arasında bir regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çıplak toprak ve orman arazi tiplerinin ortalama NDVI değerleri referans olarak kullanılarak, bunların C-faktör değerleri regresyon analizinde 1 ve 0 olarak ayarlanmıştır. Denklem 9'un korelasyon katsayısı R=%99,7'dir (Demirci ve Karaburun, 2012).

Durigon ve arkadaşları (2014), Brezilya'da yapmış oldukları çalışmada Denklem 7'yi tropikal bölgelere uyarlayarak yeniden ölçeklendirmişlerdir. Böylelikle C-faktörün bol yağış alan tropik bölgelerde 0 veya 0'a çok yakın bir değer almasının önüne geçilmiştir. NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişki Denklem 10'daki gibi olmuştur (Durigon ve ark., 2014);

$$C_r = \left( \frac{-NDVI + 1}{2} \right) \quad (10)$$

Yukarıda sunulan çalışmalar dışında, dağlık ve yüksek rakımlı bölgelere ait NDVI ile C-faktörü tahminiyle ilgili araştırmaya rastlanılmamıştır. Tortum-Kuzey Mikrohavzası ise iklim ve vejetasyon bakımından yukarıda verilen çalışma alanlarıyla benzerlik göstermemektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

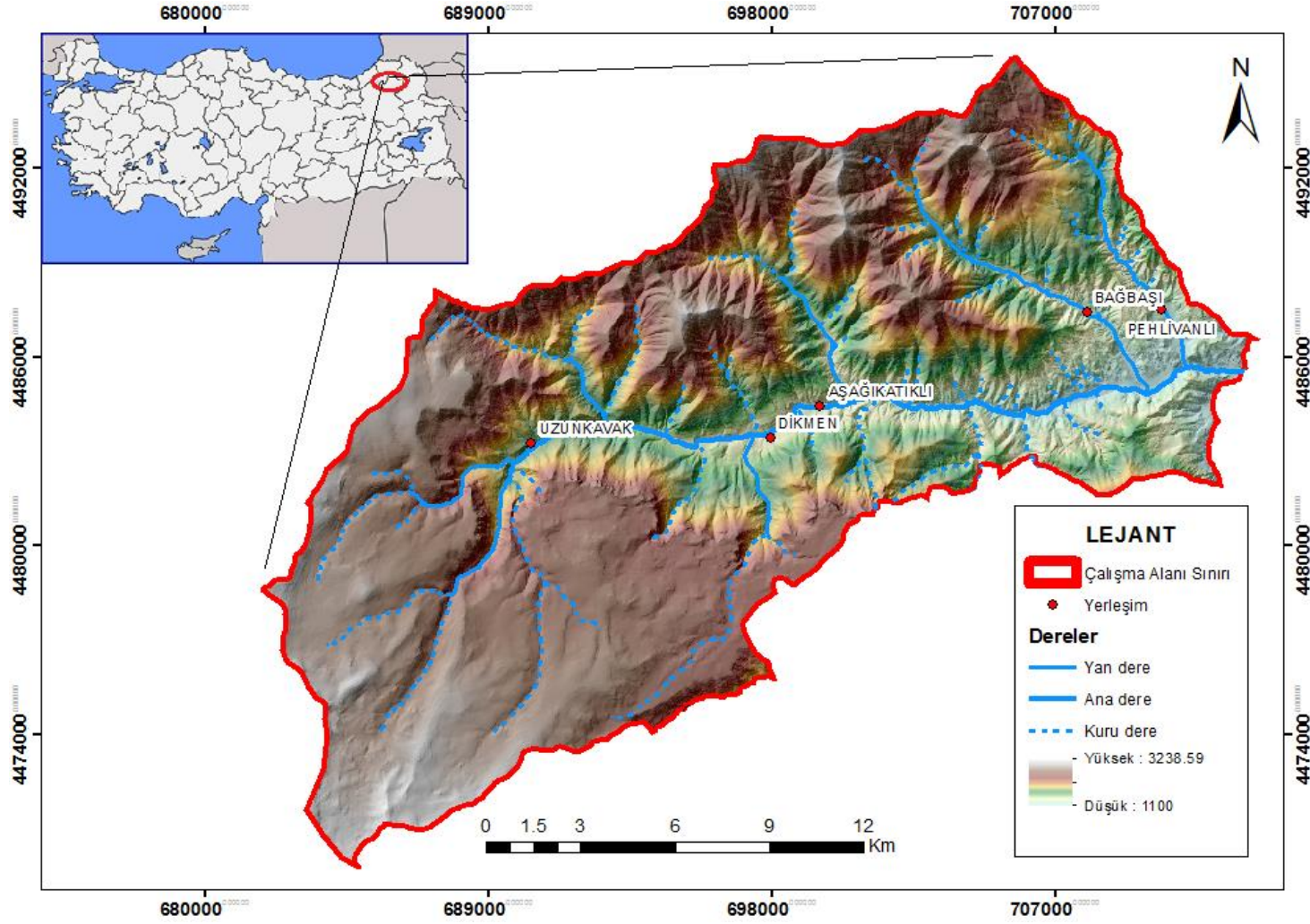
Çalışmanın bu bölümünde; araştırma alanı tanıtılmış ve uydu görüntüsü, bilgisayar yazılımları gibi çalışma esnasında kullanılan çeşitli materyallere yer verilmiştir. Yöntem kısmında ise uydu görüntüsü üzerindeki ön işlemler, örnekleme metodolojisi ve gerçekleştirilen istatistik analizler anlatılmıştır.

#### 3.1. Araştırma Alanı

Araştırma alanı olarak Tortum-Kuzey Mikrohavzası seçilmiştir. Bu mikrohavzanın araştırma alanı olarak seçilmesinde; '*Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2012-2019)*' kapsamında erozyon izleme çalışması yapılan mikrohavzalardan biri olması, değişik yükselti kademelerinde mera, orman, ziraat gibi farklı arazi kullanım tiplerini içinde barındırması, havza çıkışında ve yakın çevresinde sediment ve meteoroloji istasyonları bulunması, alana ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünün mevcudiyeti, nispeten kolay ulaşılabilirliği ve bölge halkıyla geliştirilmesi kolay sosyal ilişkiler etkili olmuştur.

Tortum-Kuzey Mikrohavzası, Erzurum ilinin 70 km kuzeyindeki Tortum ilçesinin kuzeyinde yer almakta olup Doğu Karadeniz Bölgesi sınırları içine girmektedir. Artvin'in güney il sınırına bitişik konumda olan mikrohavza; kuzeyinde Yusufeli, doğusunda Uzundere, güneyinde Tortum ve batısında İspir ilçeleri ile komşudur (Şekil 3.1).

Erzurum kent merkezine 75 km, Artvin kent merkezine ise 115 km uzaklıkta bulunan Tortum-Kuzey Mikrohavzası; 41°30'52" - 41°46'19" doğu boylamları ve 40°26'46" - 40°46'37" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 38866 ha olan mikrohavza; siyasi bakımdan Erzurum iline, OGM idari yapılanması bakımından ise Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Erzurum Orman İşletme Müdürlüğü, Tortum Orman İşletme Şefliği'ne bağlıdır.



Şekil 3.1. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'nın konumu ve sınırları

Erzurum ilinde genel olarak karasal iklim özellikleri egemendir. Ancak Tortum gibi kuzeyde yer alan ilçelerde, yüksekliği yaklaşık 1000 – 1500 m’ye inen vadi içleriyle çukur sahalardaki iklim, sertliğini yitirir (URL-2). 1576 m rakımda bulunan 17688 No’lu Tortum meteoroloji istasyonunun 1970-2011 yılları arasında topladığı verilere göre; alanın yıllık yağış ortalaması 476 mm olup en az yağış kış evresinde düşer. Ancak en düşük yağış değerine sahip ay Eylül’dür (ort. 21,3 mm). Yıllık ortalama sıcaklık 6 C° iken (en düşük -30,1 C°, en yüksek 30,4 C°), en soğuk aylar ortalaması -8,6 C°, en sıcak aylar ortalaması ise 19,6 C°’dir (MGM, 2011).

Tortum Orman İşletme Şefliği amenajman planından alınan verilere göre mikrohavzanın 7808 ha’ı ormanlık, 31058 ha’ı ise ormansız alandır (Tablo 5). Yaklaşık %20’si ormanlık alan olan mikrohavzanın ortalama eğimi % 43 olup, rakımı 1100 ila 3239 m arasında değişmektedir. Tortum-Kuzey Mikrohavzası, 33 farklı meşcere tipi ve 161 bölmeden oluşmakta ve verimli ormanlarının büyük çoğunluğu farklı kapalılık ve çağlarda saf sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) meşcerelerinden meydana gelmektedir (Şekil 3.2). Bunların yanı sıra öncü ağaç türü olarak titrek kavak (*Populus tremula*), baltalık işletmesi olarak meşe (*Quercus sp.*) ve yüksek, sarp arazilerde ardıç (*Juniperus sp.*) türlerinin bozuk meşcerelerine de rastlanmaktadır. Arazide yapılan gözlemler sonucunda, üretken orman sahalarının genellikle 1900 m üzeri yüksek rakımlarda başladığı ve 2400 m’ye kadar tırmandığı görülmüştür. Ayrıca akarsu yataklarına yakın yerlerde dere vejetasyonu olarak münferit ve kümeler halinde ağaç toplulukları bulunmaktadır.

Tablo 5. Çalışma alanının arazi kullanım tipleri ve alansal dağılımları

Arazi kullanım tipi	Alan (ha)	Alan (%)
Verimli Orman	1.509	3,9
Bozuk Orman	3.601	9,3
Ağaçlandırma S.	218	0,5
OT	2.698	7
Mera	26.145	67,2
Tarım alanı	4.357	11,2
Yerleşim	124	0,3
Taşlık	213,5	0,5
Su	0,5	0,003
Toplam	38.866	100,0



Şekil 3.2. Sarıçam meşcerelerinin hakim tepeden görünüşü (Çekim tarihi: 21.08.2014)

Orman ve tarım alanları dışında kalan yerlerin büyük çoğunluğunu doğal meralar oluşturmaktadır (Şekil 3.3). Meralarda doğal bitki örtüsü, yer yer geven topluluklarıyla verimsiz hale gelse de geniş alanlarda hayvancılığa uygun verimli çayırliklar bulunmaktadır (URL-2). Bu alanlar genellikle bölgedeki orman üst sınırı olan 2300 m'den daha yükseklerde yer almaktadırlar (Anonim, 1998).



Şekil 3.3. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'ndaki doğal mera alanından görünüm (Çekim tarihi: 21.08.2014)

Çalışma alanındaki en önemli sorunlar; erozyon, hayvan otlatma, aşırı ot biçme ve kaçak kesimdir (Anonim, 1998). Mikrohavzanın arazi yapısı yüksek eğimli ve yer yer kayalık olduğu için şiddetli yağışlar esnasında ormansız alanlarda toprak aşınımı sonucu derin oyuntular görülmektedir (Şekil 3.4). Orman İşletmesi yetkilileriyle yapılan görüşmelerde; *“Hayvanların yaylacılık yapılan alanlar başta olmak üzere orman ve meralarda düzensiz olarak otlatılması nedeniyle gençlik sahalarının ezilme, koparılma vb. nedenlerle olumsuz etkilendiğinin yanı sıra orman içi, meşcere altı ve meralarda köylüler tarafından gerçekleştirilen ot biçme faaliyetleri esnasında doğal yolla gelen gençliğin kesilmek suretiyle zarar gördüğü ve ormanın kendini yenileme kabiliyetinin sekteye uğradığı”* bildirilmiştir.





Şekil 3.4. Yamaçlarda oyuntu erozyonu oluşumu (Çekim tarihi: 21.08.2014)

Deneme alanlarında yapılan çalışmalar sırasında, meşcere haritasında normal (3) kapalı olarak gözüken bazı sarıçam meşcereleri içinde yer yer kaçak kesimlerin olduğu ve bu nedenle kapalılığın gereğinden fazla kırıldığı görülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kaçak kesim sonucu alanda kalan dip kütükleri (Çekim tarihi: 21.08.2014)

### **3.2. Materyal**

Araştırma, arazide gözlem/ölçüm çalışmaları yapılarak ve bilgisayar ortamında veriler değerlendirilerek yürütülmüştür. Uydu görüntüsü, CBS ve istatistik yazılımlar, memleket ve meşcere haritaları, Tortum Orman İşletme Şefliği amenajman planı ve GPS aleti araştırmanın materyalleri olarak kullanılmıştır.

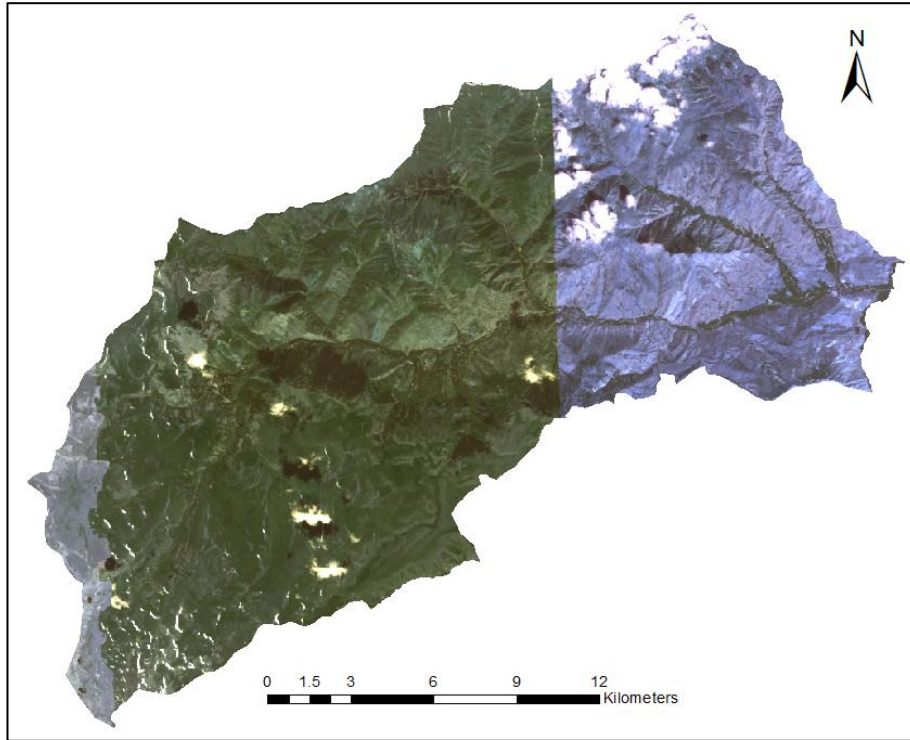
#### **3.2.1. Uydu Görüntüsü**

Araştırmada, '*Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2012-2019)*'nden bilimsel amaçlı kullanım için temin edilen 0,5 m mekansal çözünürlükteki WorldView2 uydusuna ait mozaik görüntü kullanılmıştır. Mozaik görüntüyü oluşturan 3 çerçevenin çekim tarihleri sırasıyla; 29 Haziran, 20 Ağustos ve 8 Eylül 2011 olup, uydu teknik özellikleri Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. WorldView2 uydusu teknik özellikleri (Digital Globe, 2010)

Spesifikasyon	Açıklama
Fırlatma Bilgileri	8 Ekim 2009, Kaliforniya, ABD
Yörünge	770 km yükseklik, güneş senkronizasyonlu
Boyut ve Ağırlık	4.3 m uzunluk×2.5 m boy, 2800 kg
Yersel Çözünürlük	Pan: 0.46 m GSD (nadir), 0.52 m GSD 20° off-nadir MS: 1.84 m GSD (nadir), 2.08 m GSD 20° off-nadir
Radyometrik Çözünürlük	11-bit dinamik aralığı
Çerçeve (Swath) Genişliği	16.4 km (nadir)
Yeniden Geçiş Sıklığı	1.1 gün- 1 m GSD, 3.7 gün 20° off-nadir (0.52 m)
Spektral Bantlar	Coastal: 400-450 nm, Blue: 450-510 nm, Green: 510-580 nm, Yellow: 585-625 nm, Red: 630-690 nm, Red-edge: 705-745 nm, NIR1: 770-895 nm, NIR2: 860-1040 nm

Pankromatik ve multispektral çekim yapabilen WorldView2 uydusu; kırmızı, yeşil, mavi ve kızılötesi standart banda ilave olarak kırmızı kenarı (Red-edge), kıyı (coastal), sarı ve yakın kızılötesi-2 (NIR2) bantlara da sahiptir. Ancak bu çalışmada, daha yüksek çözünürlüklü siyah-beyaz bandın daha düşük çözünürlüklü renkli bantlarla karşılaştırılarak yüksek çözünürlüklü renkli görüntü elde etmeyi sağlayan 4 bantlı (R, G, B, NIR) keskinleştirilmiş (PS) görüntü kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait WorldView2 uydu görüntüsü

### **3.2.2. Yazılım ve Diğer Materyaller**

Araştırma kapsamında CBS yazılımı olarak ArcGIS 10 (ESRI, 2010) bileşenlerinden ArcMap ve ArcToolbox modülleri kullanılmıştır. İstatistik değerlendirmeler için SPSS 15.0 paket programı (SPSS, 2006), UA ve yorumlamaya yardımcı olarak Google Earth görüntüleri (Google, 2013) ve diğer işlemler için Microsoft Office 2007'den yararlanılmıştır.

Arazi ölçüm, gözlem ve yersel kontrol çalışmaları boyunca 2 adet 20 m'lik şerit metre, kumpas (çap ölçer), halat, 1 m'lik transekt çubuğu, Magellan Explorist GPS cihazı, iPhone 5S entegre 8 MP çözünürlüklü fotoğraf makinesi, dijital pusula ve navigasyon/harita uygulamaları kullanılmıştır.

Harita Genel Komutanlığı web sitesi, Artvin Orman Bölge Müdürlüğü ve Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Amenajmanı Anabilim Dalı'ndan sağlanan 1/25000 ölçekli G46c3, G46c4, G46d3, H46a2, H46b1, H46b2, H47a1 pafta numaralı memleket haritaları ve Tortum OİŞ Amenajman Planı ise elimizdeki temel veri kaynakları ile konumsal/zamansal karşılaştırmada rol oynamıştır.

### **3.3. Yöntem**

Bu alt bölümde; uydu görüntüsü üzerindeki işlemler, örnekleme tasarımı, deneme alanlarının belirlenmesi, deneme alanlarında yapılan ölçümler ve gerçekleştirilen istatistik analizlere yer verilmiştir.

#### **3.3.1. Uydu Görüntüsü Üzerinde Gerçekleştirilen Ön İşlemler ve NDVI Yüzeyinin Üretilmesi**

Uydu görüntüsünün radyometrik/atmosferik düzeltmeleri, ortorektifikasyonu ve mozaikleme aşamasındaki renk farklılıklarının dengelenmesi '*Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi*' ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Topografik hataların düzeltilmesinde altlık olarak 5 m hassasiyetinde Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılmıştır. Renk tonu farklılıklarının dengelenmesi esnasında bulut, bulut gölgesi ve karla kaplı kesimler altında kalan bitki örtüsü için herhangi bir işlem yapılmamıştır. Çünkü bu kesimler, genel çalışma sahası içerisinde nispeten küçük bir alan kaplamaktadırlar.

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli memleket haritaları ve ArcGIS Basemap katmanı altlık olarak kullanılarak, uydu görüntüsünün geometrik düzeltmesi kontrol edilmiş ve tam çakışma sağlandığı görülmüştür.

CBS’de gerçekleştirilecek analizleri hızlandırmak ve bellekte daha az yer kaplamasını sağlamak amacıyla uydu görüntüsü mikrohavza sınırlarından kesilerek sınır dışında kalan alanlar elimine edilmiştir. Bu işlem için ArcGIS 10 yazılımındaki ArcToolbox>Data Management Tools>Raster>Raster Processing>Clip aracı kullanılmıştır.

Tortum-Kuzey Mikrohavzası’nın NDVI yüzeyi, ArcMap 10 yazılımının ‘*Image Analysis*’ modülü içerisindeki NDVI komutu ile üretilmiştir. Bu işlem esnasında “*Literatür Özeti*” bölümünde açıklanan Denklem 5 kullanılmış ve üretilen NDVI yüzeyi “*Bulgular ve Tartışma*” bölümü altında sunulmuştur.

### **3.3.2. Deneme Alanlarının Belirlenmesi, Deneme Alanlarına Ait Ortalama NDVI’nin Hesaplanması ve C-faktör Değerlerinin Atanması**

Deneme alanlarının belirlenmesi ve arazi kullanım haritasının istatistiksel olarak doğruluk analizinin (*accuracy assessment*) yapılabilmesi için öncelikle çalışmanın amacına en uygun örnekleme yöntemi tasarlanmış ve olasılık örnekleme kriterlerini karşılayan “*basit rastgele örnekleme*” yönteminde karar kılınmıştır. Bu amaçla, öncelikle 1x1 km aralık mesafeli bir karelej şebekesi (grid ağı) oluşturulmuştur. Karelej şebekesinin oluşturulmasında ArcGIS 10 yazılımındaki ArcToolbox>Data Management Tools>Feature Class>Create Fishnet aracı kullanılmıştır. Aralık mesafesinin 1x1 km olarak tercih edilmesinin nedeni; olabildiğince farklı arazi kullanım/meşcere tiplerinden örnekleme yapılmak istenmesi ve bu tiplere ancak 1 km<sup>2</sup>’lik çerçevede bir arada rastlanılmasıdır.

Örnekleme hacminin (deneme alanı sayısı) belirlenmesinde; toplum büyüklüğü (N) bilinen popülasyonlar için tercih edilen Denklem 11 kullanılmıştır (Prodan, 1965);

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot C_v^2}{(N-1) \cdot d^2 + t^2 \cdot C_v^2} \quad (11)$$

Denklem 11’de;

$n$ ; örnek alan sayısı,

$N$ ; toplumdaki tüm bireylerin sayısı,

$t$ ; güvenlik katsayısı (t tablosunda %5 güven düzeyi için  $t=1,96$ ),

$Cv$ ; varyasyon katsayısı

$d$ ; hata yüzdesidir.

Ormancılıkta genellikle %95 güven düzeyi ile çalışıldığından hareketle (t~2) Denklem 11, ormancılık uygulamaları için sadeleştirilerek Denklem 12’deki gibi sunulmuştur (Batu, 1995);

$$n = \frac{4.N.Cv^2}{N.m^2+4.Cv^2} \quad (12)$$

Denklem 12’de;

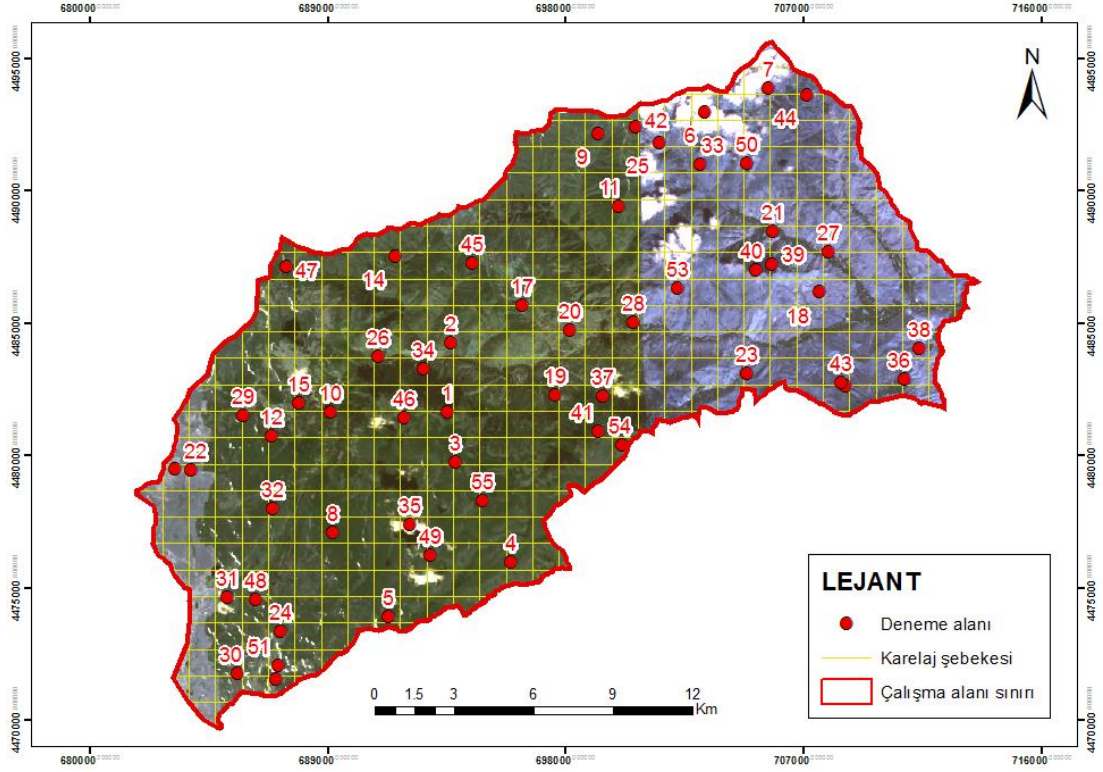
$m$ ; hata yüzdesi (d)’dir.

Çalışma alanına 389 adet grid düşmesi ( $1 \times 1$  km) ve NDVI yüzeyi istatistiklerinde standart sapmanın 0,2 olması dolayısıyla, toplam deneme alanı sayısı (örnekleme hacmi) Denklem 12 ile;

$$n = \frac{389.4.(0,2)^2}{389.(0,05)^2 + 4.(0,2)^2} = 55$$

olarak hesaplanmıştır.

Örnekleme yapılacak 55 noktanın alana rastgele dağıtılması; ArcToolbox>Data Management Tools>Feature Class>Create Random Points aracı ile yapılmıştır. Noktaların alanda konumsal olarak dengeli bir dağılım göstermesi için noktalar arası mesafe minimum 500 m olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma alanına rastgele dağıtılan örnek noktaların konumu Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait deneme alanlarının konumu

Şekil 3.7'de konumları görülen örnek noktaları  $20 \times 20 = 400 \text{ m}^2$ 'lik deneme alanlarına dönüştürmek için öncelikle, ArcGIS 10 yazılımı ArcToolbox>Analysis Tools>Proximity>Buffer aracıyla bu noktalar merkez olacak şekilde 10 m yarıçapa sahip daireler (tampon bölge) oluşturulmuştur. Devamında, oluşturulan bu daireler ArcToolbox>Data Management Tools>Features>Feature Envelope to Polygon aracıyla kareye dönüştürülmüştür. Kare şeklindeki deneme alanlarının kenar uzunluğu 20 m olup, alanı  $400 \text{ m}^2$ 'dir (Şekil 3.8). Bu ebatlarda ve kare şeklinde deneme alanlarının tercih edilmesinin nedeni ise; arazideki örnekleme çalışmalarının  $20 \times 20 = 400 \text{ m}^2$ 'de gerçekleştiriliyor olmasıdır.



Şekil 3.8. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait 400 m<sup>2</sup>'lik deneme alanlarının oluşturulması

Daha sonra, 400 m<sup>2</sup>'lik deneme alanlarının içine giren 1600 pikselin (1 piksel 0,5 m kenar uzunluğuna sahip) ortalama NDVI değerleri bulunmuş ve bu değerler o deneme alanının NDVI değeri olarak kabul edilmiştir. Ortalama NDVI değerlerini bulmada ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Zonal>Zonal Statistics as Table aracı kullanılmış ve bulunan değerler “*Bulgular ve Tartışma*” bölümünde tablo halinde sunulmuştur.

Yersel kontrol ve C alt faktörlerinin ölçümü amacıyla, deneme alanlarının koordinatları alınmış ve 20 - 21 Ağustos 2014'de 4 kişilik ekip ile çalışma alanına gidilmiştir. Çalışma alanındaki 55 deneme alanı ziyaret edilerek aktüel arazi kullanım tipi, önceki arazi kullanımı, kapalılık ve ölü örtü kalınlığı tespit edilmiştir. Kapalılığın tespitinde; ormanlık alanlarda 20'lik şerit metre ile 400 m<sup>2</sup>'de, mera alanlarında ise 1 m'lik transekt çubuğu yardımıyla türlerin toprağı kapladığı oran yüzde cinsinden belirlenerek ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).





Şekil 3.9. Deneme alanı içerisinde yapılan kapalılık tespiti (Çekim tarihi 21.08.2014)

Şimdiki ve önceki arazi kullanımlarının belirlenmesi, arazide detaylı gözlem ve yöredeki vatandaşlarla görüşme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölü örtü kalınlığı ise yalnızca verimli orman alanlarında cetvelle ölçülmüştür.

Deneme alanlarında ölçümü gerçekleştirilen tüm C alt faktörlerinin değerleri karneye not edilerek o alana ait C-faktör katsayısı Denklem 3 ve Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 yardımıyla hesaplanmıştır.

Orman bitki örtüsüne sahip örnek alanlar içinde bulunan ve meşcereyi temsil kabiliyeti yüksek ağaç bireylerinin 1,30 m yükseklikten çapları ölçülerek meşcerenin gelişme çağı ayrıca tespit edilmiştir (Şekil 3.10). Böylelikle meşcere haritasındaki rumuzlar ile karşılaştırma ve kontrol imkanı sağlanarak gerekli güncellemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. 1,30 m yükseklikten çap ölçer ile çap ölçümü (Çekim tarihi: 21.08.2014)

### 3.3.3. İstatistik Analizler

Bu çalışmada örneklerimizin normal bir toplumdaki gelip gelmediğini test etmek için öncelikle One-Sample Kolmogorov-Smirnov testi gerçekleştirilmiş ve devamında sırasıyla korelasyon analizi, regresyon analizi, ANOVA (varyans analizi) ve Tukey B testi yapılmıştır. Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkiyi test etmek, eğer herhangi bir ilişki mevcut ise bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Mevcut ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanır ve bu katsayı ( $r$ ); -1 ile +1 arasında değer alır (Kalaycı, 2009). “ $r$ ” değeri +1’e yaklaştığında; iki değişken arasında kuvvetli bir pozitif ilişki, -1’e yaklaştığında ise; kuvvetli bir negatif ilişki olduğu anlaşılmaktadır.

Korelasyon analizi sadece ilişkinin gücü ile alakalıdır, nedensellik hakkında bir şey ifade etmez. Regresyon analizi ise bir bağımlı değişkenin bir ya da birden fazla açıklayıcı değişkene istatistiksel bağımlılığını belirler. Amacı; açıklayıcı değişkenlerin bilinen ya da değişmeyen değerlerine dayanarak bağımlı değişkenin ortalama değerini tahmin etmektir (URL-3). Bir başka ifade ile regresyon analizi sayesinde bağımlı değişkenin (C-faktör) değeri, bağımsız değişkenin (NDVI) değerine bağlı olarak tahmin edilebilmektedir.

Öncelikle uydu görüntüleri üzerinde belirlenen deneme alanlarının ortalama NDVI değerleri, o deneme alanının arazide ölçülmüş C-faktör değerleri ile birlikte SPSS paket programına girilmiştir. Girilen verilerle regresyon analizi gerçekleştirilmeden önce Analyze>Nonparametric Tests>1-Sample K-S menüsünden NDVI değerlerinin normal dağılım gösterip göstermediği test edilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterdiği görüldükten sonra iki değişken arasında belli bir ilişki olup olmadığı ve şayet bir ilişki var ise bu ilişkinin şiddeti saptanmıştır. Bu amaçla, Analyze>Correlate>Bivariate Correlations menüsünden korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak regresyon analizini gerçekleştirmek üzere, Analyze>Regression>Curve Estimation menüsünde NDVI değerleri “*bağımsız değişken*”, C-faktör değerleri ise “*bağımlı değişken*” olarak seçilerek bu yolla üretilen doğrusal, polinomik, üssel vd. eğri eşitlikleri yani regresyon modelleri saptanmış ve elde edilen tüm çıktılar “*Bulgular ve Tartışma*” bölümünde sunulmuştur.

Gerçekleştirilen regresyon analizi ile NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişki, deneme alanları baz alınarak modellenmiş ve bu sayede C-faktör değeri bilinmeyen her bir pikselin NDVI değeri üzerinden C-faktör katsayısı hesaplanarak 0,5 m hassasiyette haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalar, farklı regresyon denklemlerinin ArcGIS 10 yazılımındaki ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Map Algebra>Raster Calculator aracına ayrı ayrı girilerek, NDVI yüzeyini oluşturan her bir pikselin C-faktör değerlerinin yeniden hesaplanması suretiyle üretilmiştir.

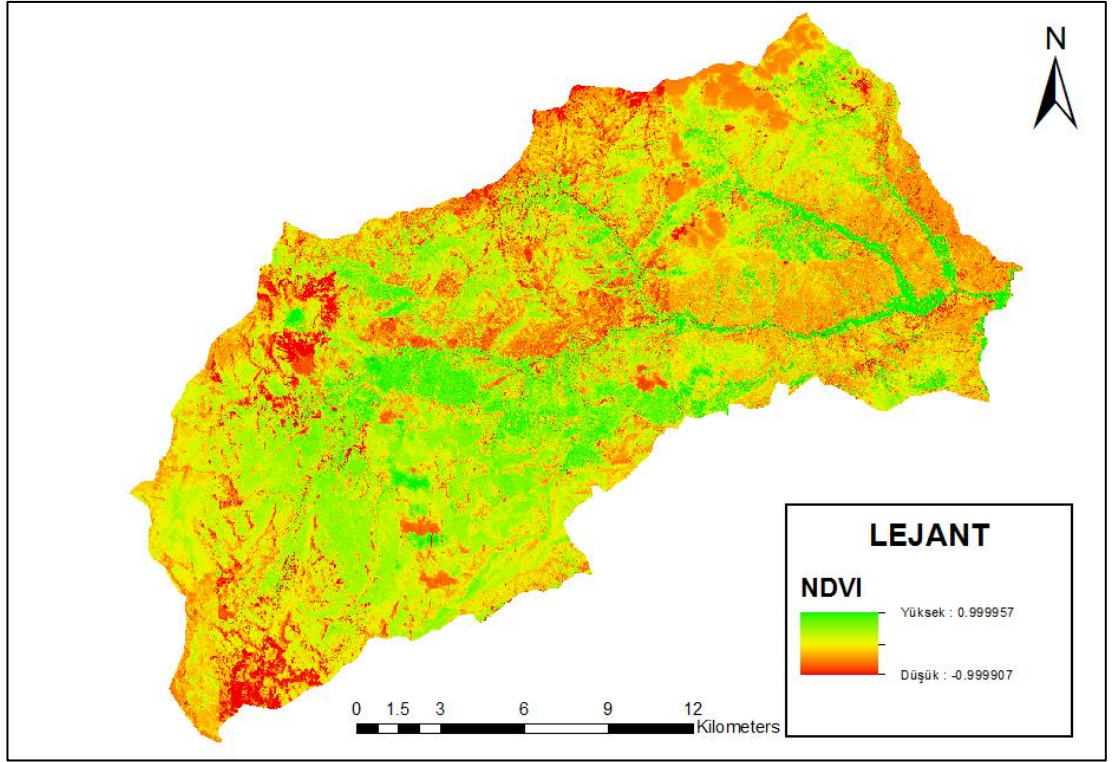
Son olarak, farklı regresyon modelleriyle üretilen C-faktör haritalarındaki deneme alanları içerisine giren pikseller arasında anlamlı bir fark olup olmadığı, hangi haritaların birbirine benzerlik ya da farklılık gösterdikleri varyans analizi (ANOVA) ve Tukey B testi ile bulunup “*Bulgular ve Tartışma*” bölümünde sunulmuştur.

#### **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Bu bölümde, arazi çalışmalarından elde edilen bulgular ile UA yöntemleri yardımıyla uydu görüntülerinden sağlanan veriler değerlendirilmiştir. Arazi kullanım tipi bilinen deneme alanları içindeki piksellerin ortalama NDVI değerleri ve literatürde önerilen formüllere göre C-faktör katsayıları hesaplanmıştır. Bulunan katsayıların bölgeye uygunluklarını görmek amacıyla her bir formül esas alınarak çeşitli C-faktör yüzeyleri üretilmiştir. Ayrıca klasik yöntemle (arazi kullanım haritası baz alınarak) ve regresyon analizi sonucu bulunan modellerle üretilen C-faktör yüzeyleri de bu bölümde yer almaktadır. Son olarak deneme alanlarına ait pikseller için hesaplanan C-faktör değerleri karşılaştırılmış, aralarındaki farklar tartışılmış ve her bir arazi kullanım tipi için en iyi temsili sağlayan yüzey tespit edilmeye çalışılmıştır.

##### **4.1. NDVI Yüzeyi ve Deneme Alanlarının C-faktör Değerleri**

Öncelikle uydu görüntüsünün kırmızı (*Red*) ve yakın kızılötesi (*NIR*) bantları üzerinden, Denklem 5 kullanılarak NDVI yüzeyi oluşturulmuştur. Şekil 4.1’de; yoğun bitki örtüsüne sahip alanlar yeşil, bitki örtüsü seyrek ve çıplak alanlar ise sarı-kırmızı tonlarla temsil edilmektedir. Çalışma alanının NDVI değerleri -0,9999 ila 0,9999 arasında değişmektedir. Yüzeyi oluşturan piksellerin ortalama NDVI değeri 0,3304 iken, standart sapma 0,2007’dir.



Şekil 4.1. Çalışma alanının NDVI yüzeyi

Daha sonra deneme alanlarının ait olduğu aktüel arazi kullanım tipleri yersel kontrol ve uydu görüntülerinden yorumlama ile tespit edilmiştir. 55 adet deneme alanının ortalama NDVI değeri, aktüel arazi kullanım tipleri ve arazide ölçülen C-faktör katsayıları Tablo 7’de gösterilmektedir.

Oluşturulan NDVI yüzeyi ve Tablo 7 incelendiğinde, genel olarak farklı arazi kullanım sınıflarının farklı NDVI değerlerine sahip oldukları gözlenmiştir. Ancak bazı alanların üzerine bulut denk gelmesi ya da alpin zondaki küçük arazi parçaları üzerinde kar örtüsü bulunması nedenleriyle, arazi kullanım sınıflarıyla uyumsuz NDVI değerleri elde edilmiştir. Fakat bu alanlar, genel çalışma alanının çok küçük bir yüzdesini teşkil ettikleri için herhangi bir eleme işlemi yapılmamıştır.

Tablo 7. Deneme alanlarının NDVI değerleri ve arazide ölçülen C-faktör katsayıları

Deneme Alanı No	Arazi Kullanım Tipi	Ort. NDVI	C-faktör	Deneme Alanı No	Arazi Kullanım Tipi	Ort. NDVI	C-faktör
1	Verimli Orman	0,525	0,009	28	İskan	-0,188	0,3
2	Bozuk Orman	0,135	0,2	29	Mera	0,513	0,04
3	İskan	0,174	0,25	30	Mera	-0,218	0,36
4	Mera	0,395	0,04	31	Mera	0,211	0,25
5	Mera	0,481	0,005	32	Mera	0,017	0,36
6	Mera	0,108	0,26	33	Verimli Orman	0,482	0,009
7	Mera	-0,611	0,53	34	Verimli Orman	0,655	0,001
8	Mera	0,350	0,1	35	Mera	0,065	0,26
9	Mera	0,348	0,1	36	Verimli Orman	0,636	0,005
10	Verimli Orman	0,624	0,003	37	Verimli Orman	0,637	0,003
11	Mera	0,381	0,04	38	Bozuk Orman	0,289	0,15
12	Mera	0,018	0,38	39	Verimli Orman	0,742	0,002
13	Verimli Orman	0,730	0,005	40	Verimli Orman	0,660	0,001
14	Verimli Orman	0,454	0,009	41	Taşlık	0,282	0,3
15	Verimli Orman	0,615	0,005	42	Mera	0,107	0,36
16	Mera	0,125	0,36	43	Verimli Orman	0,785	0,005
17	Bozuk Orman	0,563	0,05	44	Verimli Orman	0,673	0,003
18	Ziraat	0,257	0,3	45	Mera	-0,145	0,36
19	Ziraat	0,519	0,1	46	Mera	0,080	0,36
20	Ziraat	0,389	0,2	47	Mera	0,170	0,36
21	Ziraat	0,912	0,001	48	Mera	-0,151	0,36
22	Mera	0,112	0,36	49	Mera	0,446	0,005
23	Verimli Orman	0,615	0,009	50	Bozuk Orman	0,454	0,15
24	Mera	0,005	0,38	51	Mera	0,345	0,05
25	Bozuk Orman	0,547	0,12	52	Mera	0,290	0,09
26	Bozuk Orman	0,321	0,15	53	Mera	0,178	0,36
27	Ziraat	0,261	0,25	54	Mera	0,467	0,005
				55	Ziraat	0,567	0,1

Tablo 7’de 55 deneme alanı için ayrı ayrı hesaplanan NDVI ve C-faktör değerleri, daha kolay değerlendirme yapılabilmesi için arazi kullanım tiplerine göre gruplandırılmıştır. Her bir arazi kullanım tipi için hesaplanan ortalama NDVI ve C-faktör değerleri Tablo 8’de sunulmaktadır.

Tablo 8. Arazi kullanım tiplerine göre NDVI ve C-faktör ortalamaları

Arazi Kullanım Tipi	Adet	NDVI Ortalaması	C-faktör Ortalaması
Verimli Orman	14	0,631	0,005
Bozuk Orman	6	0,385	0,140
Mera	26	0,157	0,235
Ziraat	6	0,484	0,159
İskan	2	-0,014	0,275
Taşlık	1	0,282	0,3

Tablo 8 incelendiğinde, literatür ile uyumlu olarak verimli orman, ziraat ve bozuk orman alanları, sırasıyla en yüksek NDVI değer ortalamasına sahip alanlar olarak öne çıkmaktadırlar. Mera alanlarının nispeten düşük NDVI değeri vermesinin nedeni; bu kesimlerin önemli bir bölümünün verimsizleşerek çıplak kalması şeklinde yorumlanabilir.

#### 4.2. Doğruluk Analizi ve Cohen’in Kappa İstatistikleri

Çalışmada altlık olarak kullandığımız arazi kullanım haritasının doğruluk oranını bulmak amacıyla, deneme alanlarının şimdiki (aktüel) ve arazi kullanım haritasındaki arazi kullanım tiplerinin çetelesi tutulmuştur (EK-1).

Çetele tutulduktan sonra hata matrisi oluşturulmuş (Tablo 9) ve haritanın genel doğruluk oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

**Genel doğruluk oranı (Total accuracy):**  $(6+3+6+26+2+1)/55=\%80$



Tablo 9. Arazi kullanım tipleri için hata matrisi

Harita	Arazi						Satır
	Verimli O.	Bozuk O.	Ziraat	Mera	İskan	Taşlık	Toplamı
Verimli Orman	6	-	-	-	-	-	6
Bozuk Orman	5	3	-	-	-	-	8
Ziraat	1	-	6	-	-	-	7
Mera	2	3	-	26	-	-	31
İskan	-	-	-	-	2	-	2
Taşlık	-	-	-	-	-	1	1
<b>Sütun Top.</b>	14	6	6	26	2	1	55

Her bir arazi kullanım tipi için hesaplanan kullanıcı doğruluğu (*User's accuracy*), üretici doğruluğu (*Producer's accuracy*) ve *Cohen'in kappa katsayısı* (Cohen, 1960) ise Tablo 10'da gösterilmektedir. *Cohen'in kappa katsayısı (Khat)*, sınıflandırma doğruluk analizinin değerlendirilmesini sağlamak ve Denklem 13'deki gibi hesaplanmaktadır (Jensen, 1996);

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (13)$$

Denklem 13'de;

$N$ ; matristeki toplam alan sayısı,

$r$ ; toplam satır sayısı,

$x_{ii}$ ; satır  $i$  ve sütun  $i$ 'deki sayı,

$x_{+i}$ ; satır  $i$ 'nin toplamı,

$x_{i+}$ ; sütun  $i$ 'nin toplamını sembolize etmektedir. Hesaplanan *Khat* katsayısının yorumlanmasında; 0,61 ile 0,81 değer aralığı önemli derecede uyuma; 0,81 ile 1

değer aralığı ise mükemmel uyuşma olarak genel kabul görmektedir (Landis ve Koch, 1977). Tablo 9'daki değerler Denklem 13'de yerlerine konulduğunda;

$$K = \frac{[55(6 + 3 + 6 + 26 + 2 + 1)] - [(14.6) + (8.6) + (7.6) + (31.26) + (2.2) + (1.1)]}{55^2 - (84 + 48 + 42 + 806 + 4 + 1)} = 0,703$$

olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 10. Arazi kullanım haritası doğruluk analizi sonuçları

Arazi kullanım tipi	Kullanıcı doğruluğu (%)	Üretici doğruluğu (%)	Cohen'in kappa katsayısı (Khat)
Verimli Orman	6/6=100,0	6/14=42,8	1,000
Bozuk Orman	3/8=37,5	3/6=50,0	0,298
Ziraat	6/7=85,7	6/6=100,0	0,839
Mera	26/31=83,8	26/26=100,0	0,694
İskan	2/2=100,0	2/2=100,0	1,000
Taşlık	1/1=100,0	1/1=100,0	1,000

#### 4.3. NDVI ile C-faktör Arasındaki İlişkinin Regresyon Analizi ile Tahmini

Deneme alanı içindeki piksellerin ortalama NDVI değerleri ile o deneme alanının arazide ölçülmüş C-faktör değerleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda ortaya çıkan farklı R<sup>2</sup> değerlerine sahip eğrilerin eşitlikleri ile CBS ortamında C-faktör haritaları üretilmiş ve çalışma sahasını en iyi temsil eden harita eşitliği bulunmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla, öncelikle deneme alanlarına ait ortalama NDVI değerlerinin kendi içinde normal dağılım gösterip göstermediğini araştırmak üzere One-Sample Kolmogorov-Smirnov testi yapılmış ve verilerin %5 önem ve %95 güven düzeyinde normal dağılım gösterdiği görülmüştür (p=0.832>0.05). Test sonuçları Tablo 11'de sunulmaktadır.

Tablo 11. SPSS ile gerçekleştirilen One-Sample Kolmogorov-Smirnov test sonuçları

		NDVI
N		55
Normal Parameters(a,b)	Mean	.33503
	Std. Deviation	.295305
Most Extreme Differences	Absolute	.084
	Positive	.053
	Negative	-.084
Kolmogorov-Smirnov Z		.623
Asymp. Sig. (2-tailed)		.832

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Daha sonra, NDVI ve C-faktör değerleri arasında bir ilişkinin olup olmadığını tespit etmek ve eğer bir ilişki var ise bu ilişkinin şiddetini ölçmek amacıyla korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 12). Gerçekleştirilen analiz sonucunda Pearson's korelasyon katsayısı  $r = -0.893$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçtan, NDVI ve C-faktörü arasında kuvvetli bir ters ilişki olduğu yani NDVI değeri arttıkça, C-faktörü değerinin anlamlı bir şekilde azaldığı anlaşılmaktadır.

Tablo 12. SPSS ile gerçekleştirilen korelasyon analizi sonuçları

**Correlations**

		NDVI	C_factor
NDVI	Pearson Correlation	1	-.893(**)
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	55	55
C_factor	Pearson Correlation	-.893(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	55	55

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Son olarak, NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişkiyi modellemek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucu ortaya çıkan model özeti Tablo 13'de, grafiği ise Şekil 4.2'de sunulmaktadır.

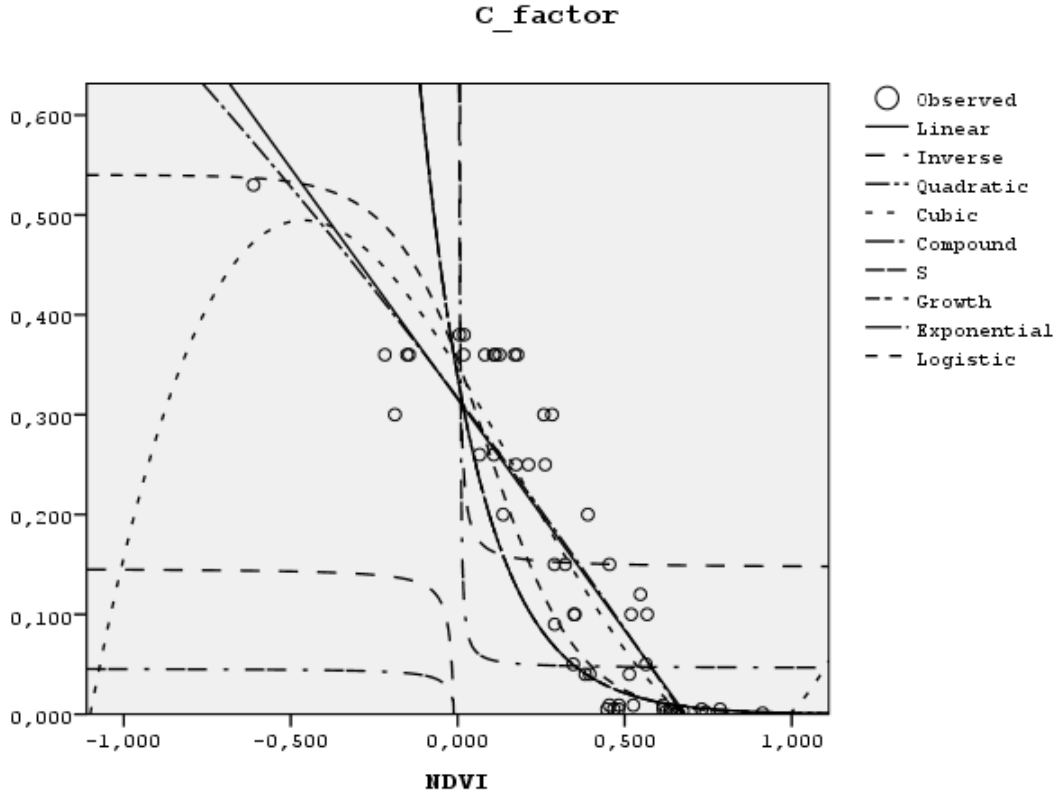
Tablo 13. SPSS ile gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları

Dependent Variable: C\_factor

Eşitlik	Model Özeti					Parametre kestirimleri			
	R <sup>2</sup>	F	df1	df2	Sig.	Sabit	b1	b2	b3
Linear	.798	208.859	1	53	.000	.315	-.462		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.		
Inverse	.092	5.391	1	53	.024	.146	.002		
Quadratic	.799	103.174	2	52	.000	.317	-.443	-.041	
Cubic	.830	82.900	3	51	.000	.345	-.546	-.265	.468
Compound	.672	108.398	1	53	.000	.337	.004		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.		
S	.052	2.913	1	53	.094	-3.080	.017		
Growth	.672	108.398	1	53	.000	-1.087	-5.537		
Exponential	.672	108.398	1	53	.000	.337	-5.537		
Logistic	.780	187.969	1	53	.000	.972	1661.385		

The independent variable is NDVI.

a The independent variable (NDVI) contains non-positive values. The minimum value is -.612. The Logarithmic and Power models cannot be calculated.



Şekil 4.2. Regresyon analizi sonucunda oluşturulan modellerin grafiği

Model özetinden çıkan bulgular değerlendirildiğinde; bazı deneme alanlarındaki NDVI değerleri negatif katsayıya sahip oldukları için *'logarithmic'* ve *'power'* eğri tiplerinin oluşturulmadıkları görülmektedir. Dolayısıyla bu modeller hesaplanamamıştır. Buradan NDVI ve C-faktörünün *'logarithmic'* ve *'power'* tipi bir ilişkilerinin olmadığı anlaşılmaktadır.

Çalışmanın sonundaki EK-4'de her bir model için ayrıca oluşturulan ANOVA tabloları incelendiğinde ise *'quadratic'*, *'compound'*, *'S'* ve *'logistic'* model katsayılarının istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmüştür ( $p>0.05$ ). Dolayısıyla bu modellerle hesaplanan C-faktör katsayıları EK-3'de sunulmuş ancak haritaları oluşturulmamıştır.

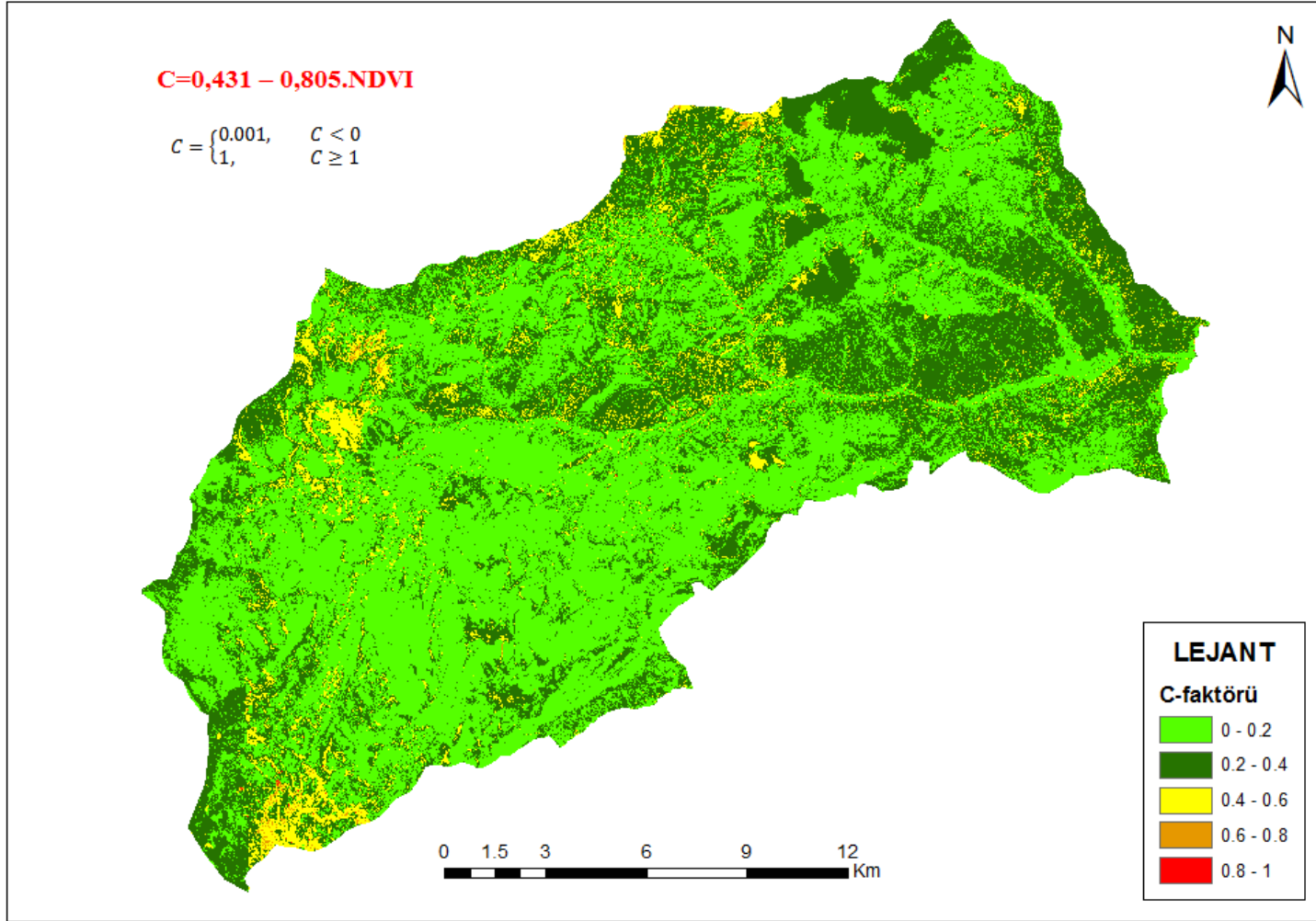
Gerçekleştirilen regresyon analizi sonucu en yüksek belirtme katsayısına ( $R^2$ ) sahip eğri tipi olarak "*cubic (3. dereceden polinom)*" bulunmuştur ( $R^2=0,83$ ). Bu eğriye ait eşitlik Tablo 14 içinde bulunan Denklem 16'da verilmektedir. Ancak  $R^2$  değeri en yüksek olan eşitlik her zaman en tutarlı sonucu vermeyebilmektedir. Çünkü ileriki bölümlerde sunmuş olduğumuz Tablo 16 ve EK-3'de; cubic eğriye ait eşitlik ile üretilen haritanın farklı arazi kullanım tipleri için hesapladığı C-faktör değerlerinin literatürle en çok uyuşan değerler olmadığı görülmüştür. Bu nedenle farklı  $R^2$  değerlerine sahip diğer anlamlı eğrilerin eşitlikleri de Tablo 14'de gösterilmiş ve her biriyle ayrı C-faktör haritaları üretilmiştir.

Tablo 14. Farklı eğri tiplerine ait regresyon eşitlikleri

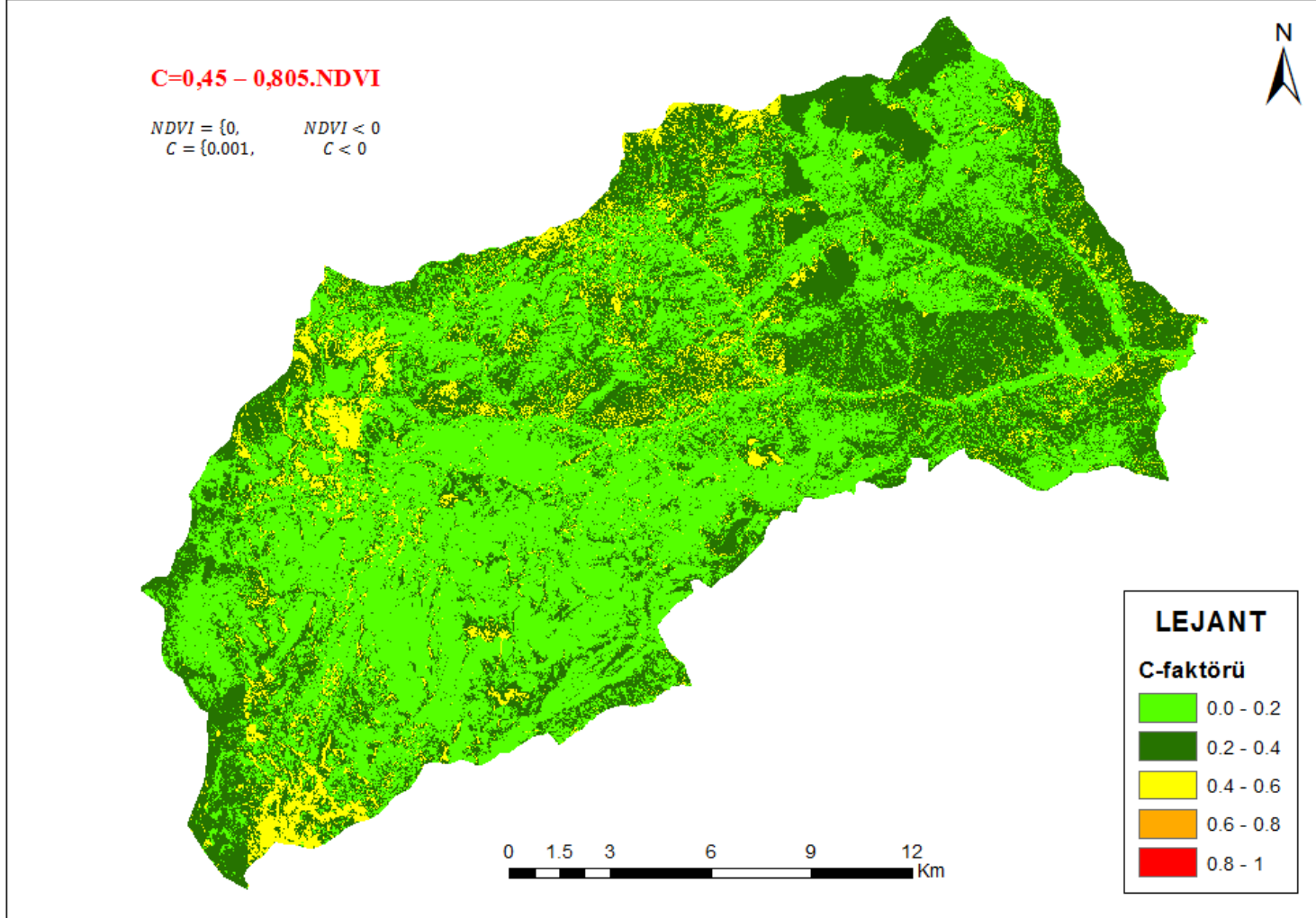
Model Adı	Eşitlik	$R^2$	Denklem No.
Linear	$C = 0,315 - 0,462 * NDVI$	.798	14
Inverse	$C = 0,146 - 0,002/NDVI$	.092	15
Cubic	$C = 0,345 - 0,546 * NDVI - 0,265 * NDVI^2 + 0,468 * NDVI^3$	.830	16
Growth	$C = \exp[-1,087 - 5,537 * NDVI]$	.672	17
Exponential	$C = \exp[0,337 - 5,537 * NDVI]$	.672	18

De Jong (1994), Smith ve arkadaşları (2007), Demirci ve Karaburun (2012), Knijff ve arkadaşları (1999) ve Durigon ve arkadaşları (2014)'nın önerdiği eşitlikler ve yukarıda gerçekleştirilen regresyon analizi sonucu ortaya çıkan eşitlikler ile her bir deneme alanı için hesaplanan C-faktör katsayıları EK-2 ve EK-3'de sunulmaktadır.



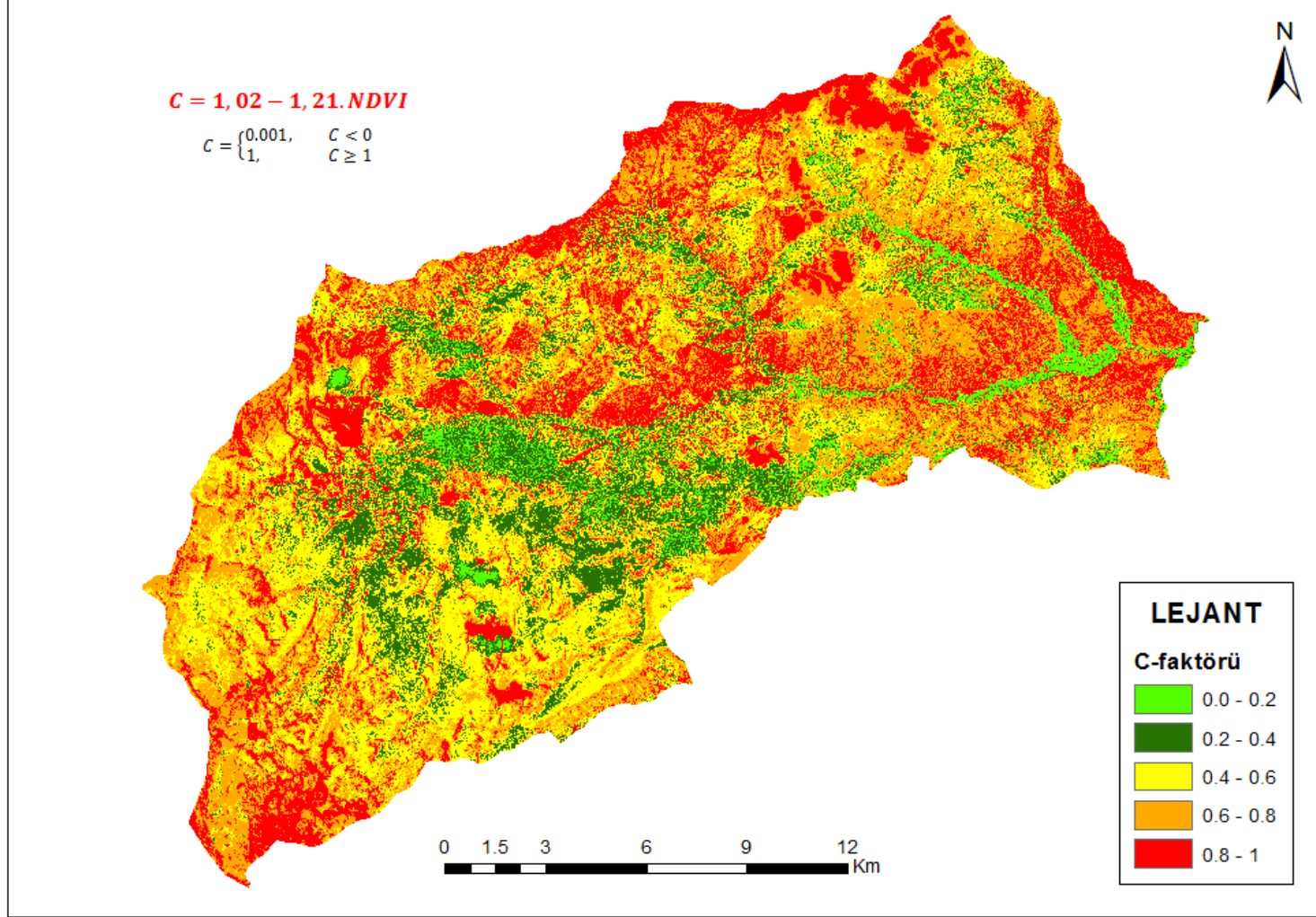


Şekil 4.4. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait De Jong (1994)'un eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası

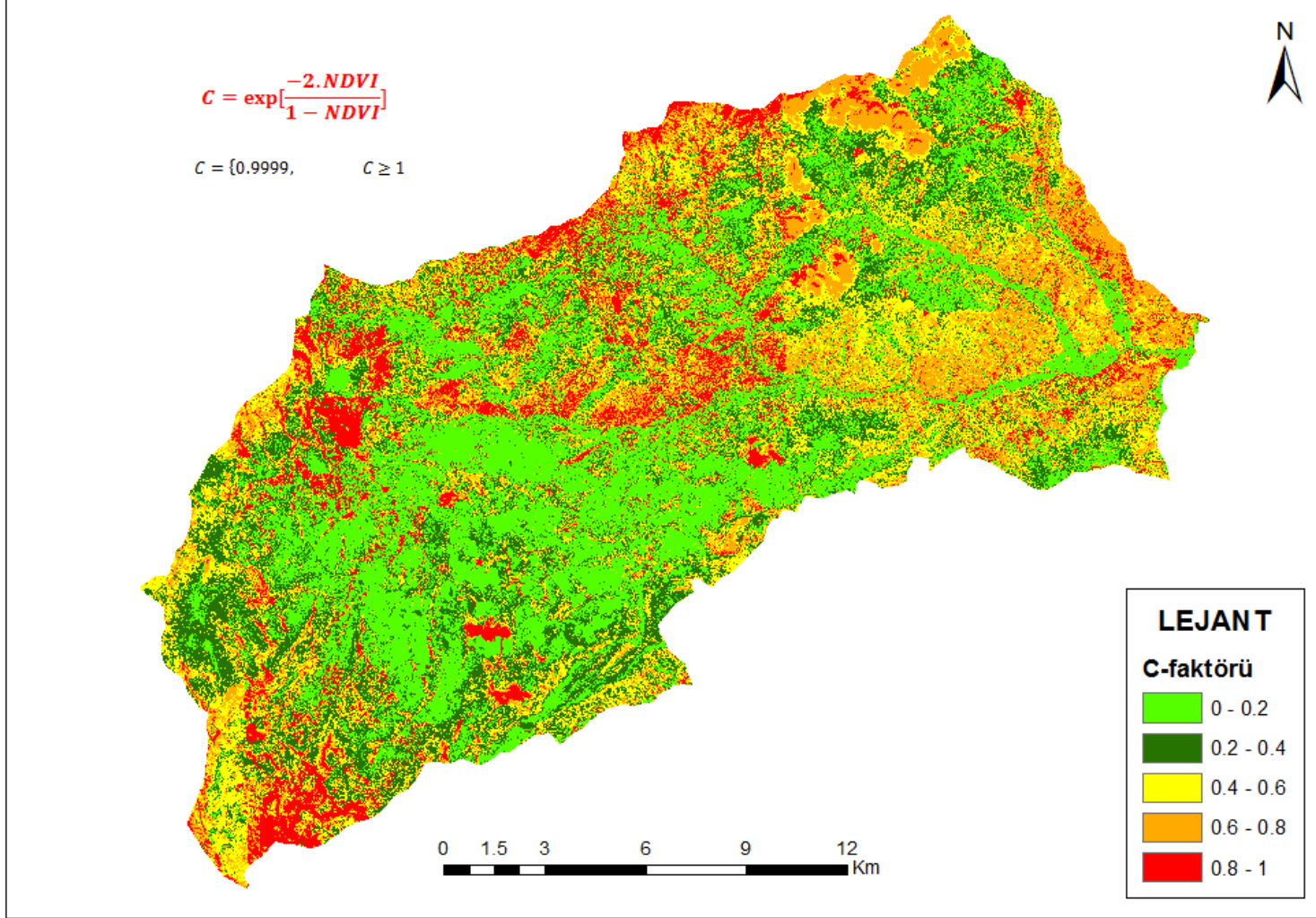


Şekil 4.5. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Smith ve ark. (2007)'nin eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası

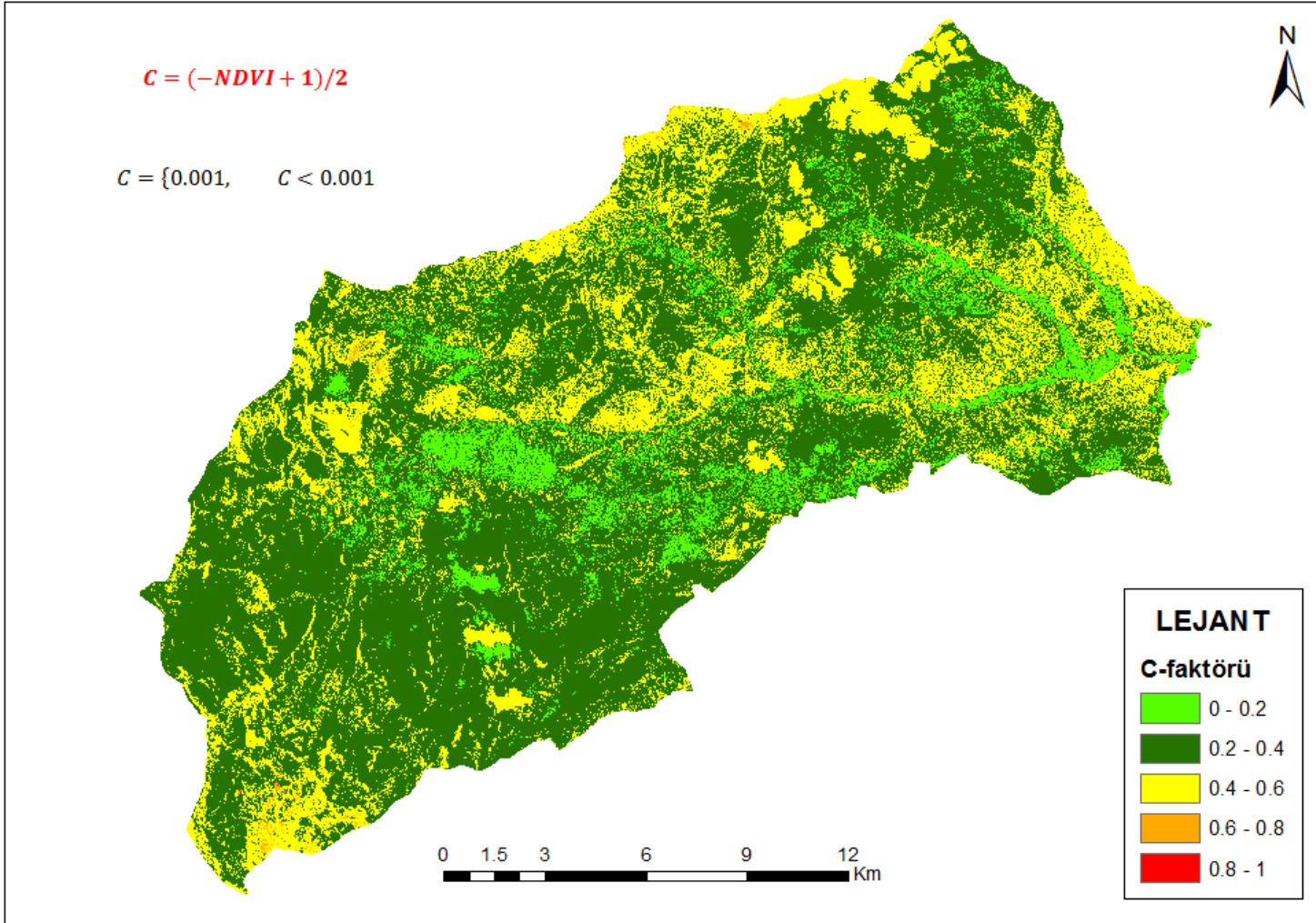




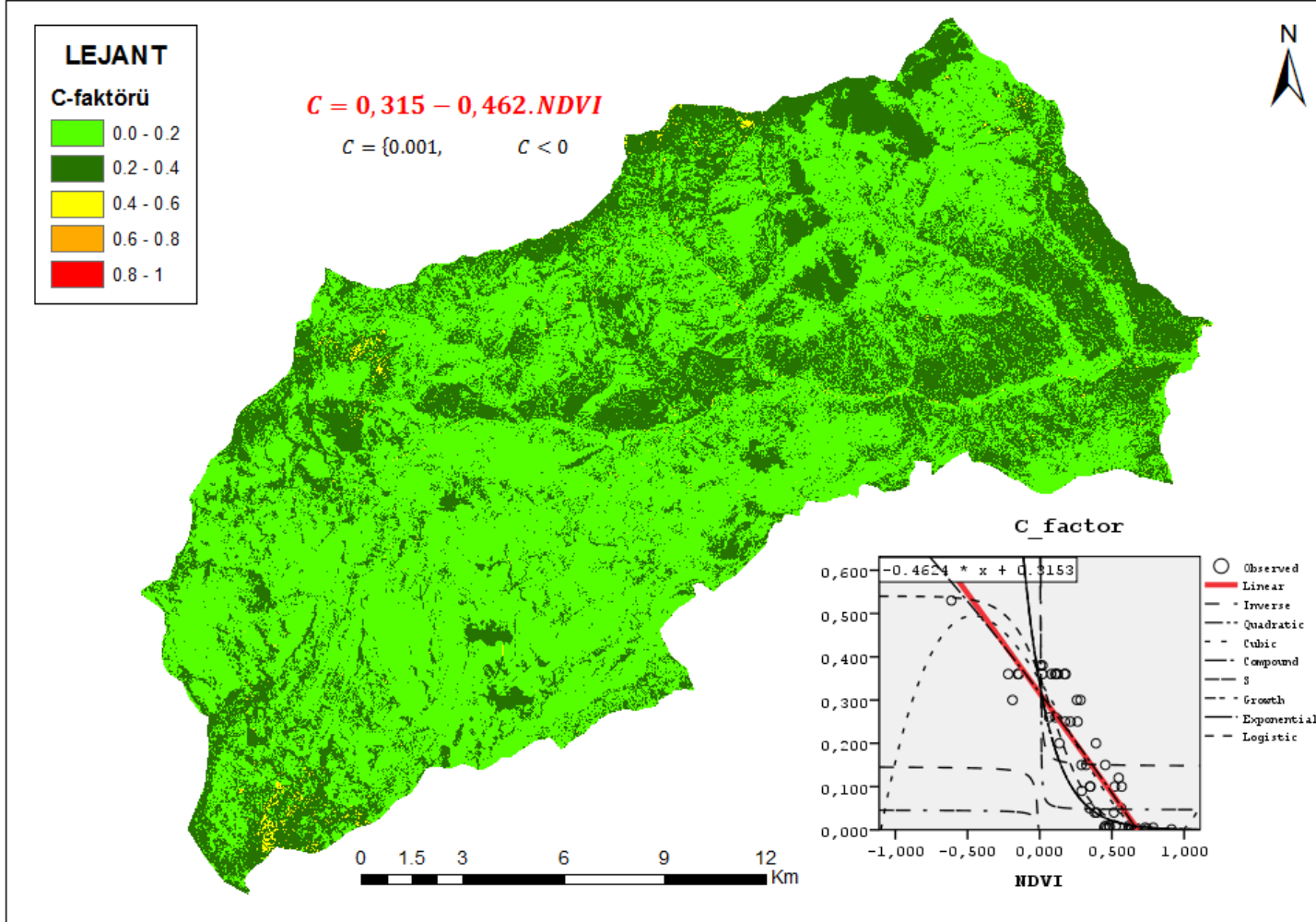
Şekil 4.6. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Demirçi ve Karaburun (2012)'un eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası



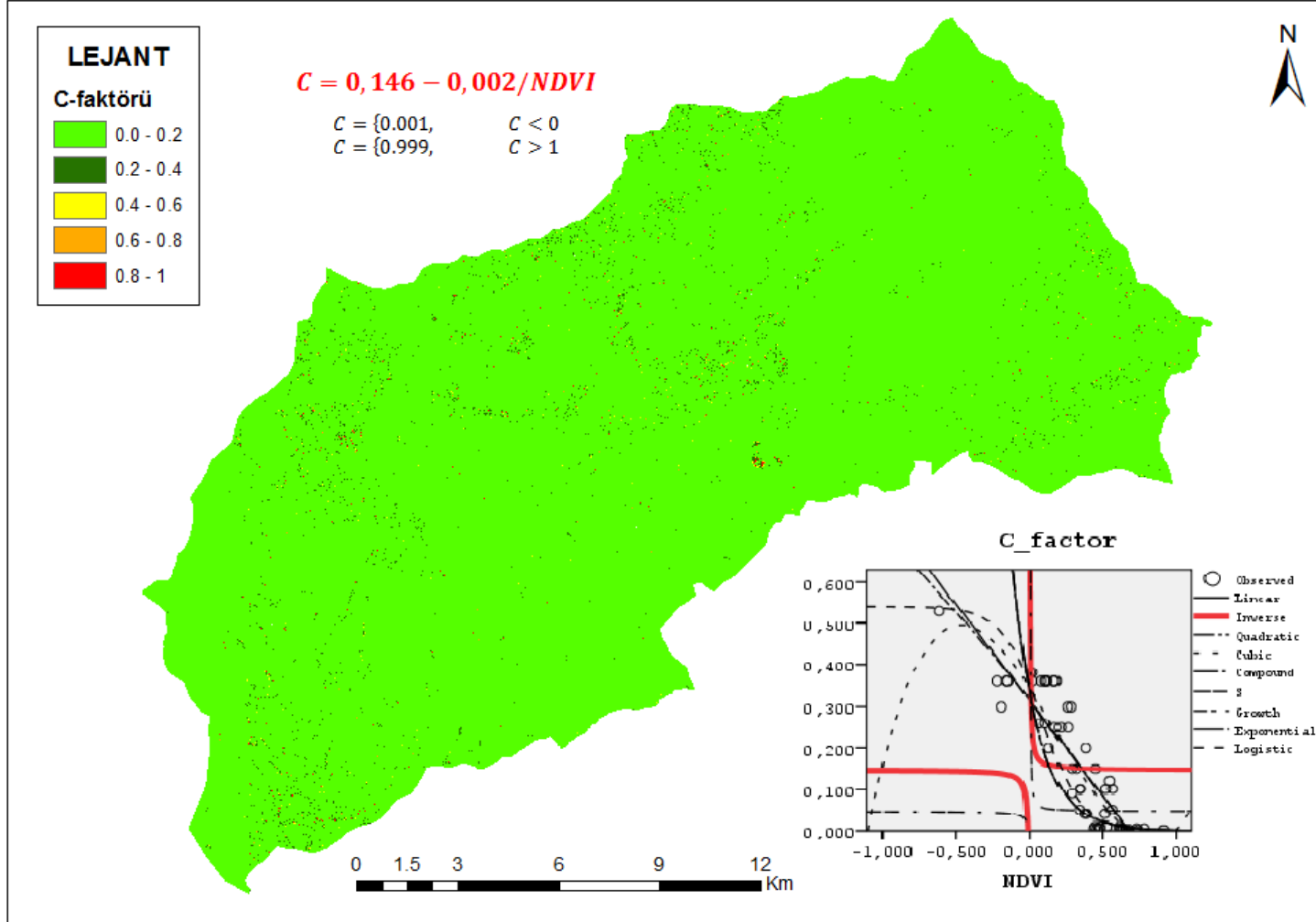
Şekil 4.7. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Knijff ve ark. (1999)'nin eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası



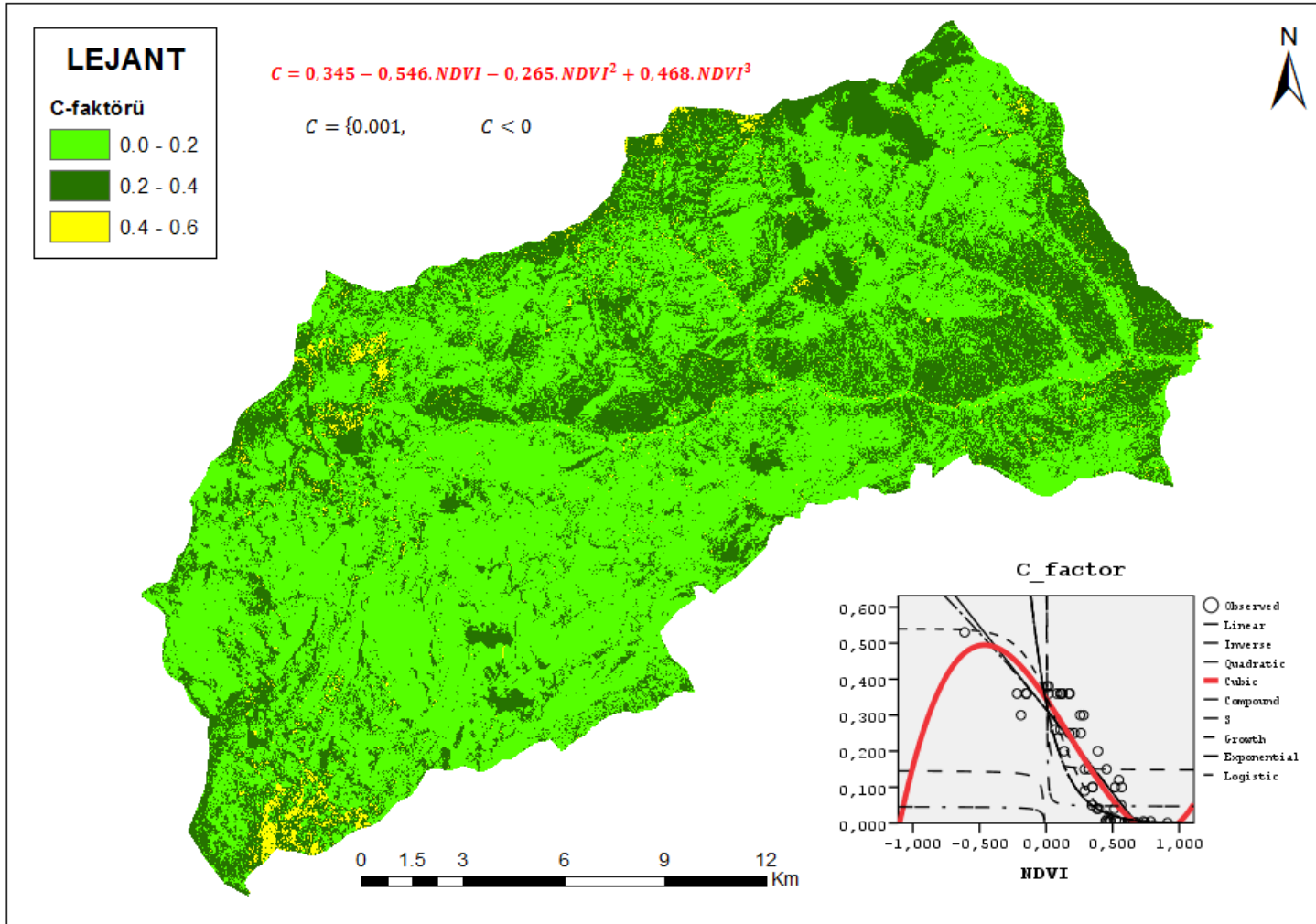
Şekil 4.8. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait Durigon ve ark. (2014)'nin eşitliğiyle üretilen C-faktör haritası



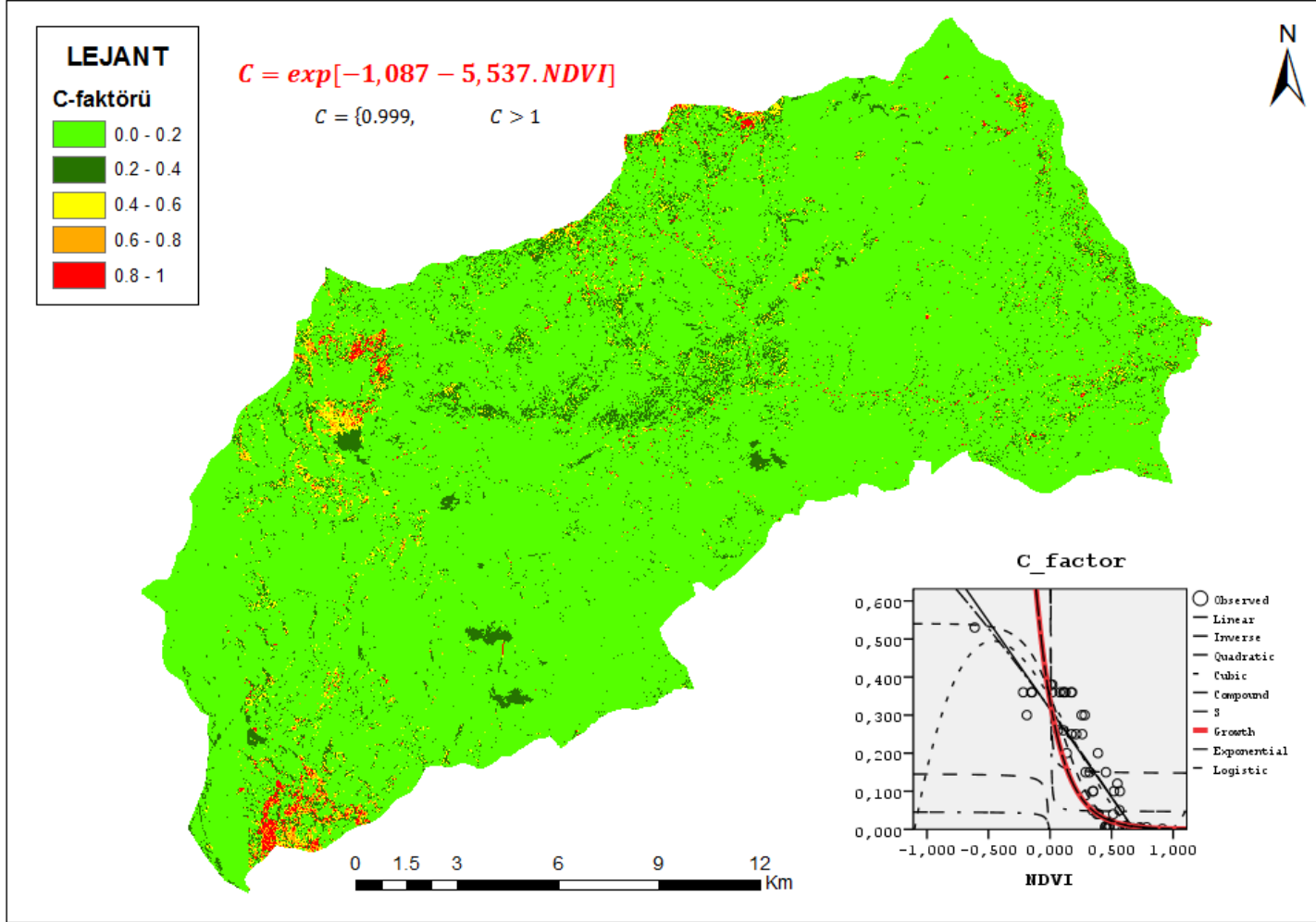
Şekil 4.9. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait linear (doğrusal) modelle üretilen C-faktör haritası



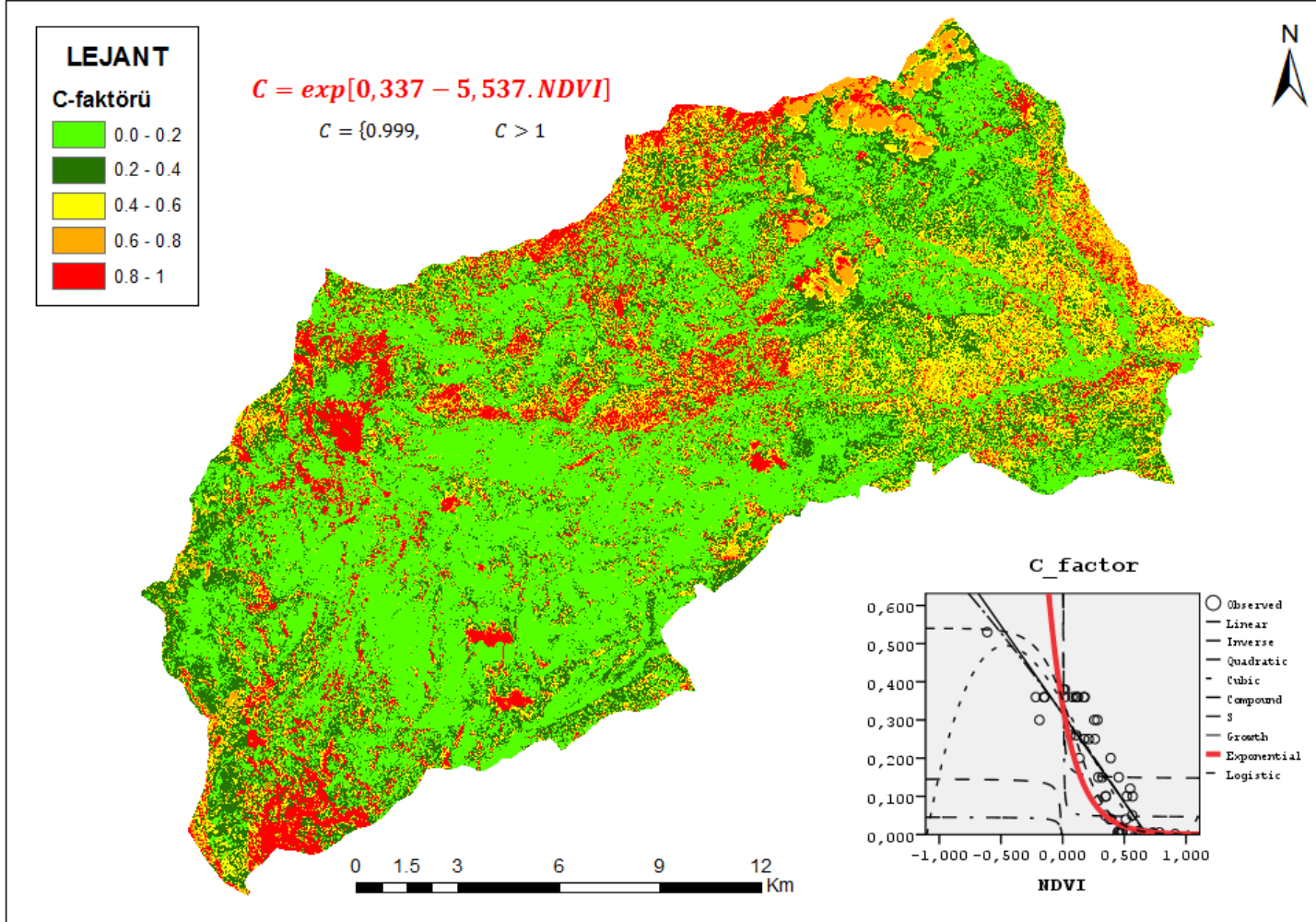
Şekil 4.10. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait inverse (ters) modelle üretilen C-faktör haritası



Şekil 4.11. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait cubic (3. dereceden polinom) modelle üretilen C-faktör haritası



Şekil 4.12. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait growth (büyüme) modeliyle üretilen C-faktör haritası



Şekil 4.13. Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na ait exponential (üssel) modelle üretilen C-faktör haritası



#### 4.5. C-faktör Haritalarının Karşılaştırılması

Renard ve arkadaşları (1997)'nin önerdiği C-faktör değerleriyle arazi kullanım haritası baz alınarak (klasik yöntem), literatürde önerilen regresyon eşitlikleriyle ve kendi ürettiğimiz *linear*, *inverse*, *cubic*, *growth*, *exponential* modellerin regresyon eşitlikleriyle üretilen C-faktör haritalarının karşılaştırılabilmesi için tüm haritalara ait özet istatistik veriler Tablo 15'de sunulmaktadır.

Tablo 15. Farklı yöntem ve eşitliklerle üretilen C-faktör haritalarına ait istatistikler

Haritalar	C-faktör			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
<i>Renard ve ark. (1997)</i>	0,001	0,360	0,077	0,074
<i>De Jong (1994)</i>	0	1	0,178	0,139
<i>Smith ve ark. (2007)</i>	0	0,450	0,191	0,135
<i>Demirci ve ark. (2012)</i>	0	1	0,614	0,228
<i>Knijff ve ark. (1999)</i>	0	0,999	0,414	0,282
<i>Durigon ve ark. (2014)</i>	0,001	0,999	0,334	0,100
<i>Linear</i>	0,001	0,776	0,164	0,088
<i>Inverse</i>	0,001	0,999	0,140	0,040
<i>Cubic</i>	0,001	0,494	0,144	0,091
<i>Growth</i>	0,001	0,999	0,097	0,130
<i>Exponential</i>	0,005	0,999	0,334	0,290

Tablo 15 incelendiğinde; C-faktör ortalamalarının 0,077 ile 0,614 arasında değiştiği görülmektedir. En düşük ortalamaya sahip harita; Renard ve arkadaşları (1997)'nin önerdiği C-faktörü değerlerinin arazi kullanım haritasındaki tiplere direkt atanması

(klasik yöntem) yoluyla üretilen harita olmaktadır. Bunun nedeni; arazi kullanım haritasında çalışma alanının büyük bir kısmının (%68) kabaca mera olarak sınıflandırılması sonucunda önemli ölçüde verimsizleşmiş hatta dik doğal yamaçlarda çıplak kalmış kesimlerin de verimli mera olarak değerlendirilerek, bu alanlara blok halde 0,04 gibi oldukça düşük bir C-faktör değerinin verilmesidir. Bu yöntemle yapılan nihai toprak kaybı haritalarının da aktüel durumdan daha düşük toprak kaybı miktarları hesaplayacağı açıktır. Dolayısıyla klasik yöntemle yapılan erozyon risk analizlerinin, mevcut erozyon riskini olduğundan daha düşük gösterdiği değerlendirilmektedir.

En yüksek ortalamaya sahip haritanın ise Demirci ve Karaburun (2012)'un önerdiği eşitlik ve UA yöntemiyle üretilen harita olduğu görülmektedir. Bu haritanın ortalama C-faktör değeri 0,614 gibi oldukça yüksek bir değerdir. Söz konusu eşitlik, 0,6 ila 0,8 NDVI değer aralığında tutarlı sonuçlar vermektedir. Ancak Tortum-Kuzey Mikrohavzası, olumsuz topografya ve iklim karakteristiği gereği genellikle vejetasyon örtüsünden mahrum, çıplak arazi parçalarından oluştuğu için yukarıda bahsedilen NDVI aralığının oldukça altında bir ortalamaya sahiptir. Bu yüzden düşük NDVI değerine sahip piksellerin C-faktör değerleri oldukça yüksek ve hatta yer yer 1'in üzerinde çıkmaktadır. Bu pikseller daha sonra araştırmacının çalışmasında belirttiği şekilde düzeltildiyse de (*adjusting*), ortalama C-faktör değeri yine de yüksek olmaktadır. Bu durum, çalışma alanımızdaki toprak kaybı miktarının bölge ortalamasının çok üzerinde hesaplanmasına neden olacaktır. Demirci ve Karaburun (2012)'un çalışması Büyükçekmece Gölü Havzası'nda yapıldığı için, bu eşitliğin su noksanlığı olmayan, nispeten yüksek NDVI değerlerine sahip, küçük alanlara uygulanmasının daha rasyonel sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir.

De Jong (1994) ve Smith ve arkadaşları (2007)'nin önerdikleri eşitliklerle üretilen haritaların ortalama değerleri, regresyon analizi sonucu çıkan modellerle üretilen haritaların ortalama değerleri ile genel olarak uyumludur. Bu iki eşitliğin, Tortum-Kuzey Mikrohavzası'na uygulandığında aşırıya kaçmayan ılımlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle, Çoruh Havzası içerisinde bulunan ve olumsuz topografik koşullar dolayısıyla vejetasyon örtüsü seyrek diğer mikrohavzalara uygulandığında da tutarlı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Farklı modellere ait C-faktör haritalarında her bir arazi kullanım tipi için hesaplanmış olan ortalama C-faktör değerleri ise Tablo 16’da sunulmaktadır.

Tablo 16. Farklı arazi kullanım tipleri için hesaplanan ortalama C-faktör değerleri

Haritalar	Ortalama C-faktör					
	Verimli Orman	Bozuk Orman	Mera	Ziraat	İskan	Taşlık
<i>Renard ve ark. (1997)</i>	0,003	0,090	0,040	0,200	0,250	0,360
<i>De Jong (1994)</i>	0,044	0,150	0,200	0,080	0,197	0,184
<i>Smith ve ark. (2007)</i>	0,050	0,162	0,213	0,090	0,189	0,198
<i>Demirci ve ark. (2012)</i>	0,334	0,549	0,660	0,425	0,594	0,625
<i>Knijff ve ark. (1999)</i>	0,128	0,355	0,460	0,211	0,419	0,428
<i>Durigon ve ark. (2014)</i>	0,217	0,306	0,354	0,253	0,340	0,338
<i>Linear</i>	0,060	0,141	0,181	0,096	0,169	0,168
<i>Inverse</i>	0,142	0,141	0,140	0,142	0,143	0,140
<i>Cubic</i>	0,051	0,138	0,179	0,087	0,167	0,166
<i>Growth</i>	0,028	0,081	0,110	0,044	0,160	0,095
<i>Exponential</i>	0,107	0,289	0,373	0,159	0,372	0,343

Tablo 16 incelendiğinde; Uzaktan Algılama yöntemiyle üretilen tüm haritalarda “mera” ve “taşlık” tipleri için birbirine yakın C-faktör değerleri hesaplandığı görülmüştür. Bu durum; mikrohavzada oldukça büyük bir alan kaplayan meraların (%68) yarısından fazlasının verimsiz veya tamamen çıplak olmasından ileri gelmektedir. Bir başka ifadeyle; arazi kullanım haritasında “mera” olarak sınıflandırılmış alanların neredeyse yarısı taşlık-kayalık araziler ve çıplak kalmış yamaçlardan ibarettir. Bu yönüyle yorumlandığında hesaplanan C-faktör değerleri

mikrohavzadaki realiteyi yansıtmaktadır. Nitekim; Renard ve arkadaşları (1997)'nın C-faktör değerleri kullanılarak klasik yöntemle üretilen haritada, “mera” ve “taşlık” için hesaplanan C-faktör değerleri arasında 9 kat fark vardır.

Tablo 16’da “verimli orman” arazi kullanım tipi için hesaplanan ortalama C-faktör değerlerine bakıldığında ise; ampirik değerlerden daha yüksek rakamlarla karşılaşılmaktadır. Bunun nedeni; literatürde ölçüme dayalı olarak hesaplanan C-faktör değerlerinin genellikle %75-%100 kapalıdaki ormanlar için verilmesidir. Ülkemizde ise verimli ormanların kapalılık derecesi; %10 ila %100 arasında geniş bir skalada değişmektedir. Dolayısıyla gevşek kapalı (%10-%40) bir orman ile normal kapalı (%70-%100) ormanın NDVI değer farklılığı sebebiyle C-faktör değerleri de farklı hesaplanmaktadır. Bu durum esasen; UA yöntemiyle üretilen haritaların hassasiyet ve güvenilirliğine işaret etmektedir.

Deneme alanlarına ait 11 adet modelle üretilen C-faktör haritalarındaki piksel değerleri SPSS’e girilerek 6 arazi kullanım tipi (verimli orman, bozuk orman, mera, taşlık, iskan ve ziraat) altında gruplandırılmış ve One-Way ANOVA testi ile karşılaştırılmıştır (EK-5). Kullanılan tüm modellerin birbirleriyle istatistiki olarak anlamlı farklılıklar gösterdikleri görülmüştür ( $p=0.00<0.05$ ). Farklılıkların hangi arazi kullanım tipinde hangi gruptan kaynaklandığını anlamak ve modellerin kontrol olarak kullanılan, deneme alanlarında ölçülmüş C-faktör değerlerine yakınlıklarını saptamak için Tukey B *post hoc* testi uygulanmıştır. EK-5’deki tablolar incelendiğinde; en iyi tahminlemenin mera alanlarında “*linear*”, ziraat alanlarında “*exponential*”, taşlık alanlarda “*Durigon ve ark. (2014)*”nın modeliyle yapıldığı görülmüştür. Verimli orman, bozuk orman ve iskan alanlarında ise tüm modellerin kontrol modelinden (Renard ve ark., 1997) istatistiksel olarak farklılık gösterdikleri görülmüştür.

Çalışma alanının tümünü haritalamak için “*cubic (3. dereceden polinom)*” modelle üretilen C-faktör haritası en yüksek belirtme katsayısına sahip olmasına rağmen ( $R^2=0.83$ ) tercih edilmemiştir. Çünkü *cubic* eğri -0,5 NDVI değerinin altına indikçe daha yüksek C-faktör değeri vermesi gerekirken 0’a yaklaşmaktadır (Şekil 4.2). Bu durum NDVI ve C-faktör arasındaki negatif korelasyon ile çelişkilidir. Ayrıca *cubic* model, hiçbir arazi kullanım tipi açısından en iyi tahminlemeyi yapamamıştır. Bu

sebeplerden dolayı çalışma alanının C-faktör haritasının bu modelle üretilmesi uygun görülmemektedir.

Tortum-Kuzey Mikrohavzası'nı en iyi temsil eden C-faktör haritasının "*linear*" modelle üretilen harita olduğu değerlendirilmiştir. Bunun nedeni; cubic modelden sonra belirtme katsayısı en yüksek model olması ( $R^2=0.798$ ) yanı sıra, çalışma alanının %68'ini kapsayan meralarda en iyi tahminlemeyi yapan C-faktör haritasının bu modelle üretilmesidir.

Yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı nihai toprak kaybı haritası ve erozyon risk sınıfları haritasının üretilmesinde altlık olarak "*linear*" modelle üretilen C-faktör haritasının kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Ancak unutulmamalıdır ki; nihai toprak kaybı haritası üretilirken C-faktörü tek etken değildir. Dolayısıyla bu haritanın sonuçlarının bölgede yapılan diğer ölçüm ve tahminlerle uyumluluğu ya da uyumsuzluğunun sebepleri arasında R (yağmur), K (toprak) ve LS (yamaç uzunluğu ve eğim) faktörleri de vardır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, çalışmanın asli konusu olan C-faktörünün nihai harita sonuçlarını hangi oranda etkilediğini belirlemek kolay olmamakta, planlamacıya yalnızca bir ön yaklaşım sunmaktadır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi” ile “bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörü” arasında kuvvetli negatif bir ilişki olduğu görülmüştür ( $r=-.893$ ). Bu ilişkiden yararlanarak, regresyon modellerle çeşitli C-faktör yüzeyleri üretilmiştir. Bu yüzeyler arasında çalışma alanını bir bütün olarak en iyi temsil eden yüzeyin; “linear regresyon model ( $R^2=0.798$ )” ile üretildiği gösterilmiştir.

UA yöntemiyle C-faktör haritası üretilirken, OGM'nin meşcere haritası kullanılmamıştır. Bu sayede arazi kullanım/meşcere haritasındaki olası yanlış sınıflandırmalardan bağımsız ve farklı verimlilik/kapalılıktaki bitki örtüsünün farklı toprak koruma derecelerini dikkate alan bir C-faktör haritası üretmek mümkün olmuştur. Ayrıca üretilen bu harita piksel (50 cm) hassasiyetinde olup, klasik yöntemle üretilen C-faktör haritalarından daha ayrıntılıdır.

Tortum-Kuzey Mikrohavzası'nın arazi kullanım ve amenajman meşcere haritaları doğruluk analizine (*accuracy assessment*) tabi tutulduğunda genel doğruluk oranlarının çok yüksek olmadığı ve Doğu Karadeniz'in dağlık bölgelerindeki haritaların sahaya aplikasyonu sağlandığında sınır uyumsuzlukları yaşandığı görülmüştür. Bu durum, erozyon risk analizlerinde arazi kullanım haritalarına bağlı kalmanın bir diğer sakıncasıdır.

Arazi kullanım tipleri bakımından en iyi tahminleme; mera için “linear”, ziraat için “exponential”, taşlık için “Durigon ve ark. (2014)”nın modelleriyle gerçekleştirilmiştir. Verimli orman, bozuk orman ve iskan alanlarında ise tüm modeller arazi ölçümlerine dayanan kontrol modeliyle istatistiki olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir.

Arazi kullanım haritasındaki farklı sınıflara (mera, orman, ziraat vb.), o sınıfa ait literatürde önerilen (Renard ve ark., 1997) C-faktör değerlerinin alansal olarak direkt atanması suretiyle (klasik yöntem) üretilen C-faktör haritası, UA yöntemiyle üretilen haritaların hepsinden daha düşük ortalama C-faktör değerine sahiptir. Bu durum; arazi kullanım haritasında tek bir arazi kullanım sınıfı olarak tanımlanan geniş

alanların farklı NDVI değerlerine sahip olmasından kaynaklanmakta ve çalışma alanındaki potansiyel toprak kaybının olduğundan daha düşük hesaplanmasına sebep olmaktadır.

Tortum-Kuzey Mikrohavzası arazi kullanım haritasında çalışma alanının büyük bir kısmı (%68) kabaca “*Mera*” olarak sınıflandırılmıştır. Ancak arazide yapılan gözlemler ve uydu görüntüsü/NDVI yüzeyi incelemeleri sonucunda “*Mera*” adı altında sınıflandırılan alanların önemli bir kısmının bitki örtüsünden yoksun, verimsiz ya da çıplak yamaçlar ile şiddetli erozyon sonucu oluşan derin oyuntulardan ibaret olduğu görülmüştür. Bu alanların, yoğun otsu bitki örtüsüne sahip verimli meralarmış gibi değerlendirilerek C-faktör yüzeyi üretilmesi toprak kaybı miktarının olduğundan az hesaplanmasına yol açmaktadır. Bu sakıncalı durumu engellemek için arazi kullanım/meşcere haritalarındaki “*Mera*” alanları, verimli ve verimsiz olarak alt sınıflara ayrılabilir. Böylelikle bu sınıflara aynı C-faktör değeri atanmayacaktır.

Farklı iklim kuşaklarında bulunmaları nedeniyle farklı dinamiklere sahip araştırma alanlarında UA yöntemiyle yapılan çalışmalardan elde edilen eşitlikler yalnızca kendine yakın özellik gösteren bölgelerde iyi sonuç vermekte dolayısıyla yöresel kalmaktadırlar. Aynı şekilde başka havzalara uygulanmaları tutarlı sonuçlar vermemekte bu yüzden her havza/bölge için revize edilmeleri ya da bu çalışmadaki gibi yeni modellerin oluşturulması gerekmektedir.

Uydu görüntüsünde kar örtüsü ve bulutla kaplı arazi parçaları, UA yöntemiyle üretilen haritalarda yüksek C-faktör değerleri hesaplanmasına neden olmaktadır. Bu yanıltıcı durumu engellemek için kullanılacak uydu görüntüsünün tarihi özenle seçilmeli ya da bu tip alanların değerlendirmesinde meşcere haritalarından yararlanılmalıdır.

Ekili ziraat bahçeleri ve meyve ağaçlarını yalnızca NDVI değeri yardımıyla verimli orman ve mera alanlarından ayırmak güçtür. Dolayısıyla bu alanların erozyona karşı benzer toprak koruma işlevi gördüğünü varsaymak, UA yönteminin bir diğer dezavantajıdır. Bunun için ayrımı kolaylaştıran ek spektral indislere ihtiyaç duyulmaktadır.

Orman altı ölü örtü tabakası, çayır ve bazı ziraat alanlarında ot biçme/ürün hasadı sonrasında yerde kalan kuru ot ve ekin artıkları, malç tabakası gibi yağmur damlalarının aşındırıcı etkisini (splash erosion) dindiren, yüzeysel akışı azaltan ve bu yönleriyle önemli toprak koruma işlevi gören cansız katmanlar klorofil ihtiva etmedikleri için NDVI yüzeyinde yüksek piksel değerleriyle yansıtılmamaktadırlar. Bu yüzden çalışma alanında böyle alanlar söz konusu ise bu kesimlere C-faktör değeri atanırken daha dikkatli olunmalı, gerektiği takdirde yersel kontrollere dayalı ekstra bir değerlendirmeye gidilmelidir.

Özellikle ziraat alanlarının UA veri ve yöntemleriyle izlenmesinde uydu görüntüsünün çekim tarihi ile sınırlı kalınmaktadır. Bu durum, NDVI yüzeyinin oluşturulduğu dönem dışında kalan zaman dilimleri hakkında bilgi eksikliği yaratmaktadır. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek için yıl içerisinde farklı dönemlerde çekilmiş uydu görüntülerine ihtiyaç vardır (örneğin her ay bir adet olmak üzere toplam 12 uydu görüntüsü). Bu görüntülerden elde edilen NDVI yüzeylerinin ortalaması alınarak, ziraat alanlarının ekili ve çıplak kaldığı dönemlerde oldukça değişken olan spektral yapısı hakkında daha bilimsel yorumlarda bulunulabilir.

Ortaya çıkan sonuçlar, geçmişte ölçüme dayalı olarak yapılmış olan çalışmaların sonuçlarıyla genel olarak uyumludur. Bu sayede “*linear regresyon model*” ile üretilen C-faktör yüzeyinin diğer faktörlerle beraber RUSLE modeli içine sokulmasıyla, Tortum Mikrohavzası’nda erozyon ile taşınan sediment yükünün miktarı ve bunun konumsal/alansal dağılışı belirlenebilir. Ayrıca alanın erozyon risk haritası 50 cm hassasiyette, güvenilir ve pratik bir şekilde oluşturulabilir.

Son yıllarda ülkemizde de yaygınlaşan “*Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı (Fonksiyonel) Planlama*” yaklaşımıyla yenilenen amenajman planlarında “*Toprak Koruma*” fonksiyonu görece alanlar belirlenirken UA yöntemiyle üretilen toprak kaybı ve erozyon risk haritalarından yararlanılmasının, planlamacılara daha objektif ve bilimsel kriterlere dayalı karar verme imkanı sağlayacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Anonim, 1992. CORINE: Soil erosion risk and important land resources in the Southeastern regions of the European community. EUR 13233, Luxembourg, Belgium, 32–48.
- Anonim, 1998. Tortum Orman İşletme Şefliği Amenajman Planı (1998-2007), OGM, 427 s.
- Arnoldus, H.M.J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. FAO Soil Bulletin, 34, 39-48.
- Balcı, N., Ökten, Y., 1987. Sel Kontrolü. KTÜ Basımevi, Trabzon, 398 s.
- Balcı, N., 1996. Toprak Koruma. İÜ Orman Fakültesi Yayınları, No: 439, İstanbul, 564 s.
- Batu, F., 1995. Uygulamalı İstatistik Yöntemler. KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, No: 179, Trabzon, 490 s.
- Bayramın, I., Gunay, E., Erdogan, H.E., 2006. Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazarı, Ankara. Turk J Agric For, 30, 81–100.
- Bhattarai, R. and Dutta D., 2007. Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS at catchment scale. Water Resour Manag, 21, 1635–1647.
- BM, 1992. Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri. Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, Rio De Jenerio.
- Boyce, R.C., 1975. Sediment routing with sediment delivery ratios. Present and Prospective Tech. For Predicting Sediment Yields and Sources, US Department of Agriculture Publication, 40, 61-65.
- Bucks, D.A., Sammis, T.W. and Dickey, G.L., 1990. Irrigation for Arid Areas. In: G. J. Hoffman (Editor), Management of Farm Irrigation Systems, ASAE Monograph, St. Joseph, Michigan, 499-548.
- Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement, 20 (1), 37–46.
- Çilek, A., Berberoğlu, S., Erdoğan, M.A., Dönmez, C., 2014. PESERA ve RUSLE erozyon modellerinin Akdeniz ve Ege Havzaları'ndaki sonuçlarının karşılaştırılması. V. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 14-17 Ekim 2014, İstanbul, 9 s.

- Çoruh Projesi, 2012. Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2012-2019). Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara. Web: [www.coruhhavzasi.com](http://www.coruhhavzasi.com)
- De Jong, S.M., 1994. Derivation of Vegetative Variable from a Landsat TM Image for Modeling Soil-Erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 19(2), 165-178.
- Demirci, A. and Karaburun A., 2012. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. Environmental Earth Sciences, 66(3), 903-913.
- 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), 427-435.
- Digital Globe, 2010. WorldView 2 satellite specifications. Data sheet, Web: [https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG\\_WorldView2\\_DS\\_PRO\\_D.pdf](https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PRO_D.pdf), (29 Nisan 2014).
- Durigon V.L., Carvalho D.F., Antunes M.A.H., Oliveira P.T.S. and Fernandes M.M., 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. International Journal of Remote Sensing, 35(2), 441-453.
- Ekinci, D., 2005. CBS tabanlı uyarlanmış RUSLE yöntemi ile Kozlu Deresi Havzası'nda erozyon analizi. Coğrafya Dergisi, 13, 109-119.
- Erpul, G., Bilinmiyor. USLE C-faktörü. Sunum, 29 s. Web: [www.agri.ankara.edu.tr/soil\\_sciences/1248\\_TO422\\_ETKE\\_C.ppt](http://www.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1248_TO422_ETKE_C.ppt) (12 Aralık 2014).
- Erdoğan, E.H., Erpul, G., Bayramin, İ., 2005. Use of USLE for Predicting Soil Loss and Determining Conservation Practices in an Agricultural Watershed. International Conference on Water, Land and Food Security in Arid and Semi-Arid Regions, 6-11 September 2005, CIHEAM/Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy.
- Erencin, 2000. C-factor mapping using remote sensing and GIS: A case study of Lom Sak, Thailand. MSc Thesis, Geographisches Institut der Justus-Liebig-Universität Giessen and Soil Science Division International Institute For Aerospace Survey and Earth Sciences Enschede, The Netherlands, 28 p.
- ESRI, 2010. ArcGIS for Desktop. Environmental Systems Research Institute, Inc. California, USA.
- Fastie, C., 2013. Normal color photo and NDVI image. Web: <https://plus.google.com/photos/116103622078305917397/albums/5878196749239180465/5878198341400814034?pid=5878198341400814034&oid=116103622078305917397> (15 Haziran 2014).

- Ferro, V., Minacapilli, M., 1995. Sediment delivery processes at basin scale. Hydrol. Sci. J., 40, 703–718.
- Folly, A., Bronsveld, M.C. and Clavaux, M., 1996. A knowledge-based approach for C-factor mapping in Spain using Landsat TM and GIS. International Journal of Remote Sensing, 12, 2401-2415.
- Flanagan, D.C., Gilley, J.E., Franti, T.G., 2007. WEPP: Development History, Model Capabilities and Future Enhancements. ASABE, 50(5), 1603-1612.
- Google, 2013. Google Earth 7.1.2.2041. Google Inc., Kaliforniya, ABD.
- Gottschalk, L.C., 1964. Reservoir Sedimentation Handbook of Applied Hydrology (Edt. V.T. Chow), Sect. 17-1. McGraw-Hill Book Company, New York-London-Sydney-Toronto.
- Görcelioğlu, E., 1997. Dağlık Arazi Kullanımında Yayla ve Ormanlar. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri: B, Cilt: 47, Sayı: 1-2-3-4, 29-38.
- Görcelioğlu, E., 1997. Ormanların Erozyon ve Sedimentasyona Etkileri. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt: 47, Sayı:1-2-3-4, 1-12.
- Görcelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü. İÜ Yayınları No: 4415, İstanbul, s 14.
- Günlü, A., 2009. Yetiştirme Ortamı Envanterinin Doğrudan, Dolaylı ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi ve Karşılaştırılması. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 160 s.
- Harmsen, K., 1996. Assessment of Current Erosion Damage Land Druck, Liebfefeld. 111 p.
- Husnjak, S., Simunic, I. and Tursic, I., 2008. Soil erosion risk in Croatia. Cereal Res Commun, 36, 939–942.
- Ichii, K., Kawabata, A. and Yamaguchi, Y., 2002. Global Correlation Analysis for NDVI and Climatic Variables and NDVI Trends: 1982–1990. International Journal of Remote Sensing, 23, 3873–3878.
- Jensen, J.R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective (Second edition). Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA, 780 p.
- Kalaycı, Ş., 2009. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayınevi, 9. Baskı, Ankara, 426 s.
- Kandemir, E., 2010. Uzaktan Algılama Tekniğinde NDVI Değerleri ile Doğal Bitki Örtüsü Tür Dağılımı Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 60 s.

- Kiassari, E.M., Nikkami, D., Mahdian, M.H., Pazira, E., 2012. Investigating rainfall erosivity indices in arid and semiarid climates of Iran. Turk J Agric For, 36, 365-378.
- Kinnell, P.I.A., 2000. AGNPS-UM: Applying the USLE-M within the agricultural nonpoint source pollution model. Environmental Modelling & Software, 15, 331-341.
- Kirtiş, F., 2014. Rüzgar Erozyonuyla Mücadele ve Şeritvari Tarım. Konya Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, Toprak Su Dergisi, Sayı 2, s. 35.
- Knijff, V.D., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 1999. Soil Erosion Risk Assessment in Italy. European Commission, European Soil Bureau Joint Research Centre Space Applications Institute, 54 p.
- Knijff, V.D., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Europe. European Commission, European Soil Bureau Joint Research Centre Space Applications Institute, 32 p.
- Landis, J.R., and Koch, G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33, 159-174.
- Lee, S., 2004. Soil erosion assessment and its verification using the universal soil loss equation and geographic information system: a case study at Boun, Korea. Environ Geol, 45, 457-465.
- Lin, C.Y., Lin, W.T., Chou, W.C., 2002. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. Soil Tillage Res., 68(2), 143-152.
- MGM, 2011. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstatistiki Veriler. Web: <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx#sfU> (13 Mart 2014).
- Mkhonta, M.M., 2000. Use of Remote Sensing and Geographic Information System (GIS) in the Assessment of Soil Erosion in the Gwayimane and Mahhuku Catchment Areas with Special Attention on Soil Erodibility K-Factor. Msc Thesis, Int. Inst. For Geo-inform. Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, 88 p.
- Myneni, R.B. and Williams, D.L., 1994. On the Relationship Between FAPAR and NDVI. Remote Sensing of Environment, 49, 200-211.
- NASA, 2009. NDVI: Satellites Could Help Keep Hungry Populations Fed as Climate Changes. Credit: Robert Simmon, web: [http://www.nasa.gov/topics/earth/features/obscure\\_data\\_prt.htm](http://www.nasa.gov/topics/earth/features/obscure_data_prt.htm) (19 Haziran 2014).
- NASA, 2013. Goddard Space Flight Center. Web: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030300/a030375> (2 Haziran 2014).

- Nearing, M.A., Lane, L.J. and Lopes, V.L., 1994. Modelling Soil Erosion, In: R. Lal (Editor), Soil Erosion Research Methods, Second edit. St. Lucie Press, Ankeny, 340 p.
- Nikkami, D., 2012. Investigating sampling accuracy to estimate sediment concentrations in erosion plot tanks. Turk J Agric For, 36, 583–590.
- Oğuz, İ., Cebel, H., Özden Ş., Ayday, E., Demiryürek, M., 2002. Türkiye Üiversal Denklem Toprak Kaybı Eşitliği Rehberi. KHGM, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü, Ankara, 325 s.
- Özsoy, G., 2007. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 154 s.
- Pan, J.H. and Wen, Y., 2014. Estimation of soil erosion using RUSLE in Caijiamiao watershed China. Natural Hazards, 71(3), 2187-2205.
- Perovic, V., Zivotic, L., Kadovic, R., Dordevic, A., Jaramaz, D., Mrvic, V., Todorovic, M., 2013. Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia. Environ Earth Sci, 68, 115-128.
- Petermann, T., 1993. Irrigation and the Environment: A Review of Environmental Issues, Part I, Influence of Irrigation on the Environment and vice-versa. Internal Working Document, deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Germany, 125 p.
- Petter, P., 1992. GIS and Remote Sensing for Soil Erosion Studies in Semi-arid Environments. PhD Thesis, University of Lund, Lund, 112 p.
- Pimentel, D., 2006. Food and environmental threat of soil erosion. J Env Dev and Sustain, 8, 119–137.
- Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., Buchroithner, M.F., 2011. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. Environ Model Asses, 184, 80–85.
- Prodan, M., 1965. Ormançılar İçin Biyometri (Çeviren: Kalıpsız, A.). İÜ Orman Fakültesi Yayını, İstanbul, 282 s.
- 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 RUSLE. Agricultural Handbook No:703, US Department of Agriculture, Washington DC, 64 p.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

- Sarı, M., 1997. Türkiye'deki Hatalı ve Yanlış Arazi Kullanımının Boyutları ve Erozyonla Olan İlişkileri. TEMA Vakfı Eğitim Kursları, 25 s.
- Saygın, S.D., Özcan, A.U., Başaran, M., Timur, O.B., Dolarslan, M., Yılman, F.E. and Erpul, G., 2014. The Combined RUSLE/SDR Approach Integrated with GIS and Geostatistics to Estimate Annual Sediment Flux Rates in the Semi-arid Catchment, Turkey. Environmental Earth Sciences, 71, 1605-1618.
- Shi, Z.H., Cai, C.F., Ding, S.W., Li, Z.X., Wang, T.W. and Sun, Z.C., 2002. Assessment of Erosion Risk with the RUSLE and GIS in the Middle and Lower Reaches of Hanjiang River. 12th ISCO Conference, Beijing.
- Smith S.V., Bullock, S.H., Hinojosa-Corona, A., Franco-Vizcaino, E., Escoto-Rodriguez, M., Kretzschmar, T.G., Farfan, L.M. and Salazar-Cesena, J.M., 2007. Soil erosion and significance for carbon fluxes in a mountainous Mediterranean-climate watershed. Ecological Applications, 17(5), 1379-1387.
- SOILPRO, 2008. Explanation of the Use of SMS Models. Life+ Programme, European Commission, LIFE08ENV/IT/000428, Belgium, 6 p.
- SPSS, 2006. SPSS 15.0 for Windows. Statistical Package for the Social Sciences, Inc., New York.
- Sümerkan, M.R., 1990. Biçimlendiren Etkenler Açısından Doğu Karadeniz Kırsal Kesiminde Geleneksel Evlerin Yapı Özellikleri. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 112 s.
- Tağıl, Ş., 2007. Land degradation risk assessment for Tuzla Creek basin (Biga Peninsula) using a GIS-based RUSLE model. Ecology, 17, 11-20 (in Turkish).
- Toy, T.J., and Foster, G.R., 1998. Guidelines for the Use of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Version 1.06 (Chapter 5). Web: faculty.cveg.uark.edu (19 Aralık 2014).
- Trout, T.J., 2000. The Environmental Impacts of Irrigation. Irrigation Journal, Sept/Oct., 8-12.
- Tucker, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, Remote Sensing of Environment, 8(2),127-150.
- URL-1. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Uzaktan\\_algilama](http://tr.wikipedia.org/wiki/Uzaktan_algilama) (5 Haziran 2014, 15:10).
- URL-2. <http://www.erzurum.gov.tr/cografi.asp> (28 Ağustos 2014, 10:57).
- URL-3. [http://fbe.beun.edu.tr/fbe/images/ins729/sunu\\_6ci\\_hafta.pdf](http://fbe.beun.edu.tr/fbe/images/ins729/sunu_6ci_hafta.pdf) (15 Eylül 2014, 11:17).

- Wang, G., Wentz, S., Gertner G.Z. and Anderson, A., 2002. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images. Int J Remote Sensing, 23 (18), 3649-3667.
- Weng, Q., 2002. Land Use Change Analysis in the Zhujiang Delta of China Using Satellite Remote Sensing, GIS and Stochastic Modeling. Journal of Environmental Management, 64, 273–284.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation. Agricultural Handbook, No:537, US Dep. of Agriculture, Washington DC, 58 p.
- Wu, Q., H., Li, Wang, R., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B. and Wang, Z., 2006. Monitoring and Predicting Land Use Change in Beijing Using Remote Sensing and GIS. Landscape and Urban Planning, 78, 322–333.
- Yazidi, B., 2003. A Comparative Study of Soil Erosion Modelling in Lom Kao-Phetchabun, Thailand. MSc. Thesis, Geo-information Science and Earth Observation. Int. Inst. For Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, 92 p.
- Yılman, E.F., 2009. Eldivan Sarayköy-II Göleti (Çankırı) Su Toplama Havzası'nda RUSLE Yöntemi ile Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 142 s.
- Yılmaz, E., 2006. Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi, AÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 98 s.
- Zhang, Y., Degroote, J., Wolter, C., Sugumaran, R., 2009. Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. Land Degrad Dev, 20, 84–91.

## EKLER

EK-1. Arazi kullanım haritası hata matrisi

DENEME ALANI NO	HARİTADAKİ ARAZİ KULLANIM TİPİ	AKTÜEL ARAZİ KULLANIM TİPİ	AĞAÇ TÜRÜ	KAPALILIK (%)	ÖLÜ ÖRTÜ KALINLIĞI (cm)	ÖNCEKİ ARAZİ KULLANIMI	C-faktör
1	Verimli Orman	Verimli Orman	İbrelî	30	5	Orman	0.009
2	Bozuk Orman	Bozuk Orman	İbrelî	-	-	Orman	0.200
3	İskan	İskan	-	-	-	İskan	0.250
4	Mera	Mera	-	70	-	Mera	0.040
5	Mera	Mera	-	80	-	Mera	0.005
6	Mera	Mera	-	30	-	Mera	0.260
7	Mera	Mera	-	0	-	Mera	0.530
8	Mera	Mera	-	60	-	Mera	0.100
9	Mera	Mera	-	50	-	Mera	0.100
10	Verimli Orman	Verimli Orman	İbrelî	90	10	Orman	0.003
11	Mera	Mera	-	40	-	Mera	0.040
12	Mera	Mera	-	0	-	Mera	0.380
13	Bozuk Orman	Verimli Orman	Yapraklı	60	5	Orman	0.005
14	Bozuk Orman	Verimli Orman	Yapraklı	30	2	Orman	0.009
15	Mera	Verimli Orman	İbrelî	60	5	Mera	0.005
16	Mera	Mera	-	0	-	Mera	0.360
17	Mera	Bozuk Orman	Yapraklı	-	-	Mera	0.050
18	Ziraat	Ziraat	-	-	-	Orman	0.300
19	Ziraat	Ziraat	-	-	-	Ziraat	0.100
20	Ziraat	Ziraat	-	-	-	Ziraat	0.200
21	Ziraat	Ziraat	-	-	-	Ziraat	0.001
22	Mera	Mera	-	0	-	Mera	0.360
23	Bozuk Orman	Verimli Orman	İbrelî	30	2	Orman	0.009
24	Mera	Mera	-	0	-	Mera	0.380
25	Bozuk Orman	Bozuk Orman	İbrelî	-	-	Orman	0.120
26	Bozuk Orman	Bozuk Orman	İbrelî	-	-	Orman	0.150
27	Ziraat	Ziraat	-	-	-	Ziraat	0.250
28	İskan	İskan	-	-	-	İskan	0.300
29	Mera	Mera	-	80	-	Mera	0.040
30	Mera	Mera	-	20	-	Mera	0.360
31	Mera	Mera	-	80	-	Mera	0.250
32	Mera	Mera	-	10	-	Mera	0.360
33	Mera	Verimli Orman	İbrelî	30	2	Mera	0.009
34	Verimli Orman	Verimli Orman	İbrelî	90	10	Orman	0.001



EK-1 (Devam). Arazi kullanım haritası hata matrisi

DENEME ALANI NO	HARITADAKİ ARAZİ KULLANIM TİPİ	AKTÜEL ARAZİ KULLANIM TİPİ	AĞAÇ TÜRÜ	KAPALILIK DERECESESİ	ÖLÜ ÖRTÜ KALINLIĞI (cm)	ÖNCEKİ ARAZİ KULLANIMI	C-faktör
35	Mera	Mera	-	50	-	Mera	0.260
36	Bozuk Orman	Verimli Orman	Yapraklı	50	5	Orman	0.005
37	Ziraat	Verimli Orman	İbrelili	90	5	Ziraat	0.003
38	Mera	Bozuk Orman	Yapraklı	-	-	Orman	0.150
39	Verimli Orman	Verimli Orman	İbrelili	60	5	Orman	0.002
40	Verimli Orman	Verimli Orman	İbrelili	60	5	Orman	0.001
41	Taşlık	Taşlık	-	-	-	Taşlık	0.300
42	Mera	Mera	-	30	-	Mera	0.360
43	Bozuk Orman	Verimli Orman	Yapraklı	50	3	Orman	0.005
44	Verimli Orman	Verimli Orman	İbrelili	60	5	Orman	0.003
45	Mera	Mera	-	0	-	Mera	0.360
46	Mera	Mera	-	20	-	Mera	0.360
47	Mera	Mera	-	40	-	Mera	0.360
48	Mera	Mera	-	10	-	Mera	0.360
49	Mera	Mera	-	90	-	Mera	0.005
50	Mera	Bozuk Orman	Yapraklı	-	-	Mera	0.150
51	Mera	Mera	-	80	-	Mera	0.050
52	Mera	Mera	-	70	-	Mera	0.090
53	Mera	Mera	-	10	-	Mera	0.360
54	Mera	Mera	-	90	-	Mera	0.005
55	Ziraat	Ziraat	-	-	-	Mera	0.100

EK-2. Deneme alanlarının literatürde önerilen eşitliklerle hesaplanan C-faktör katsayıları

Deneme Alan No	Arazi Kullanım Tipi	Ortalama NDVI	C-faktör				
			<i>De Jong (1994)</i> $0,431-0,805.NDVI$	<i>Smith (2007)</i> $0,45-0,805.NDVI$	<i>Demirci (2012)</i> $1,02-1,21.NDVI$	<i>Knijff (1999)</i> $\exp \left[ -\alpha \frac{NDVI}{f-NDVI} \right]$	<i>Durigon (2014)</i> $\left( \frac{-NDVI+1}{2} \right)$
1	İbrelî Orman	0.525	0.046	0.057	0.384	0.142	0.237
2	Bozuk Orman	0.135	0.322	0.340	0.854	0.732	0.432
3	İskan	0.174	0.298	0.263	0.726	0.585	0.413
4	Mera	0.395	0.113	0.132	0.542	0.271	0.302
5	Mera	0.481	0.043	0.062	0.437	0.157	0.259
6	Mera (bulut)	0.108	0.344	0.363	0.889	0.785	0.446
7	Mera (göl)	-0.611	0.923	0.45	1	0.999	0.806
8	Mera (erozyon)	0.350	0.149	0.168	0.596	0.344	0.325
9	Doğal Yamaç(taş)	0.348	0.151	0.170	0.599	0.345	0.326
10	Yapraklı Orman	0.624	0.001	0.001	0.265	0.040	0.188
11	Mera	0.381	0.124	0.143	0.558	0.295	0.309
12	Mera (kar)	0.018	0.416	0.435	0.991	0.960	0.491
13	Yapraklı Orman	0.730	0.009	0.011	0.149	0.032	0.135
14	Yapraklı Orman	0.454	0.076	0.091	0.470	0.207	0.273
15	Yapraklı Orman	0.615	0.007	0.011	0.275	0.056	0.192
16	Doğal Yamaç(taş)	0.125	0.330	0.349	0.868	0.751	0.437
17	Bozuk Orman	0.563	0.012	0.020	0.338	0.088	0.218
18	Ziraat (susuz)	0.257	0.223	0.242	0.708	0.500	0.371

19	Ziraat (sulu)	0.519	0.033	0.041	0.392	0.135	0.240
20	Ziraat (susuz)	0.389	0.117	0.136	0.549	0.300	0.305
21	Ziraat (sulu)	0.912	0.001	0.001	0.002	0	0.044
22	Mera (alpin)	0.112	0.340	0.359	0.883	0.775	0.444
23	Yapraklı Orman	0.615	0.047	0.054	0.284	0.126	0.192
24	Mera (kar)	0.005	0.427	0.443	0.997	0.982	0.497
25	Bozuk Orman	0.547	0.039	0.049	0.358	0.125	0.226
26	Bozuk Orman	0.321	0.175	0.193	0.631	0.403	0.339
27	İskan	0.261	0.259	0.249	0.664	0.546	0.369
28	İskan	-0.188	0.578	0.400	0.930	0.883	0.594
29	Mera (alpin)	0.513	0.023	0.038	0.398	0.124	0.243
30	Mera (alpin)	-0.218	0.607	0.450	1	0.999	0.609
31	İskan	0.211	0.261	0.272	0.750	0.579	0.394
32	Mera (alpin)	0.017	0.417	0.435	0.992	0.963	0.491
33	İbrelî Orman	0.482	0.090	0.101	0.436	0.228	0.259
34	İbrelî Orman	0.655	0.001	0.002	0.227	0.027	0.172
35	Mera (bulut)	0.065	0.378	0.397	0.941	0.870	0.467
36	Yapraklı Orman	0.636	0.022	0.027	0.255	0.074	0.182
37	Yapraklı Orman	0.637	0.001	0.001	0.248	0.033	0.181
38	Bozuk Orman	0.289	0.204	0.218	0.663	0.467	0.355
39	İbrelî Orman	0.742	0.006	0.007	0.135	0.024	0.129
40	İbrelî Orman	0.660	0.013	0.016	0.227	0.052	0.170
41	Taşlık-kayalık	0.282	0.204	0.223	0.678	0.466	0.359

---

<b>42</b>	Taşlık-kayalık	0.107	0.344	0.363	0.888	0.786	0.446
<b>43</b>	Yapraklı Orman	0.785	0.001	0.001	0.081	0.005	0.107
<b>44</b>	İbrelî Orman	0.673	0.013	0.016	0.206	0.046	0.163
<b>45</b>	Mera (taşlık)	-0.145	0.548	0.449	0.999	0.998	0.573
<b>46</b>	Mera (taşlık)	0.080	0.366	0.383	0.915	0.834	0.460
<b>47</b>	Mera (taşlık)	0.170	0.294	0.313	0.814	0.668	0.415
<b>48</b>	Mera (taşlık)	-0.151	0.553	0.450	1	0.999	0.576
<b>49</b>	Mera	0.446	0.071	0.090	0.479	0.199	0.277
<b>50</b>	Bozuk Orman	0.454	0.079	0.093	0.470	0.217	0.273
<b>51</b>	Mera (alpin)	0.345	0.153	0.172	0.601	0.348	0.327
<b>52</b>	Mera (alpin)	0.290	0.197	0.216	0.669	0.444	0.355
<b>53</b>	Doğal Yamaç(taş)	0.178	0.287	0.306	0.804	0.648	0.411
<b>54</b>	Mera	0.467	0.055	0.074	0.455	0.174	0.266
<b>55</b>	Ziraat (sulu)	0.567	0.005	0.008	0.334	0.076	0.216

---

EK-3. Deneme alanlarının farklı regresyon modelleriyle hesaplanan C-faktör katsayıları

Deneme Alan No.	Ortalama NDVI	C-faktör								
		<i>Lineer</i>	<i>Inverse</i>	<i>Quadratic</i>	<i>Cubic</i>	<i>Compound</i>	<i>S</i>	<i>Growth</i>	<i>Exponential</i>	<i>Logistic</i>
1	0.526	0.073	0.142	0.095	0.061	0.018	0.047	0.024	0.098	0.020
2	0.136	0.252	0.135	0.258	0.267	0.159	0.052	0.171	0.682	0.222
3	0.175	0.234	0.145	0.241	0.235	0.129	0.051	0.274	0.552	0.185
4	0.395	0.132	0.141	0.148	0.117	0.038	0.048	0.038	0.158	0.050
5	0.482	0.092	0.142	0.113	0.073	0.024	0.048	0.024	0.097	0.027
6	0.108	0.265	0.127	0.270	0.283	0.186	0.054	0.185	0.770	0.249
7	-0.612	0.598	0.149	0.603	0.469	9.876	0.045	0.999	0.999	0.537
8	0.351	0.153	0.140	0.167	0.142	0.049	0.048	0.051	0.211	0.067
9	0.348	0.154	0.140	0.168	0.143	0.049	0.048	0.049	0.207	0.068
10	0.624	0.028	0.143	0.056	0.017	0.011	0.047	0.011	0.045	0.010
11	0.382	0.139	0.141	0.154	0.125	0.041	0.048	0.041	0.176	0.055
12	0.019	0.306	0.098	0.309	0.335	0.304	0.113	0.304	0.999	0.337
13	0.730	0.017	0.143	0.015	0.014	0.006	0.047	0.009	0.036	0.005
14	0.454	0.105	0.142	0.124	0.090	0.027	0.048	0.031	0.129	0.033
15	0.615	0.036	0.143	0.060	0.025	0.011	0.047	0.013	0.052	0.011
16	0.125	0.257	0.130	0.262	0.273	0.169	0.053	0.169	0.701	0.232
17	0.563	0.055	0.142	0.080	0.040	0.015	0.047	0.017	0.070	0.015
18	0.258	0.196	0.138	0.206	0.195	0.081	0.049	0.081	0.338	0.119

---

<b>19</b>	0.519	0.075	0.142	0.098	0.060	0.019	0.047	0.024	0.100	0.021
<b>20</b>	0.390	0.135	0.141	0.151	0.120	0.039	0.048	0.039	0.164	0.052
<b>21</b>	0.913	0.001	0.144	-0.053	0.001	0.002	0.047	0.002	0.009	0.001
<b>22</b>	0.113	0.263	0.128	0.267	0.281	0.181	0.053	0.180	0.750	0.244
<b>23</b>	0.615	0.057	0.142	0.060	0.051	0.011	0.047	0.025	0.101	0.011
<b>24</b>	0.005	0.313	0.201	0.315	0.342	0.327	1.119	0.329	0.999	0.349
<b>25</b>	0.547	0.067	0.142	0.087	0.055	0.016	0.047	0.021	0.088	0.017
<b>26</b>	0.322	0.166	0.139	0.179	0.160	0.057	0.048	0.065	0.270	0.081
<b>27</b>	0.262	0.204	0.147	0.204	0.213	0.079	0.049	0.240	0.513	0.116
<b>28</b>	-0.188	0.402	0.152	0.402	0.390	0.953	0.042	0.708	0.862	0.478
<b>29</b>	0.514	0.078	0.142	0.100	0.058	0.020	0.048	0.020	0.083	0.022
<b>30</b>	-0.218	0.416	0.155	0.416	0.446	1.123	0.043	0.971	0.999	0.489
<b>31</b>	0.212	0.217	0.139	0.225	0.220	0.105	0.050	0.150	0.493	0.153
<b>32</b>	0.018	0.307	0.104	0.309	0.335	0.306	0.121	0.307	0.999	0.338
<b>33</b>	0.483	0.097	0.142	0.113	0.090	0.023	0.048	0.044	0.176	0.027
<b>34</b>	0.655	0.016	0.143	0.044	0.009	0.009	0.047	0.009	0.039	0.008
<b>35</b>	0.065	0.285	0.114	0.288	0.308	0.235	0.060	0.235	0.963	0.292
<b>36</b>	0.637	0.040	0.143	0.052	0.032	0.010	0.047	0.014	0.060	0.009
<b>37</b>	0.638	0.022	0.143	0.051	0.013	0.010	0.047	0.010	0.042	0.009
<b>38</b>	0.290	0.182	0.143	0.192	0.181	0.068	0.049	0.110	0.374	0.098
<b>39</b>	0.743	0.013	0.143	0.010	0.010	0.006	0.047	0.008	0.031	0.004
<b>40</b>	0.660	0.028	0.143	0.042	0.021	0.009	0.047	0.012	0.050	0.008
<b>41</b>	0.282	0.185	0.138	0.195	0.182	0.071	0.049	0.082	0.336	0.103

---

---

<b>42</b>	0.107	0.265	0.126	0.270	0.283	0.186	0.054	0.199	0.771	0.249
<b>43</b>	0.786	0.003	0.143	-0.006	0.002	0.004	0.047	0.005	0.020	0.003
<b>44</b>	0.674	0.022	0.143	0.037	0.017	0.008	0.047	0.012	0.049	0.007
<b>45</b>	-0.145	0.382	0.166	0.382	0.415	0.752	0.041	0.738	0.998	0.458
<b>46</b>	0.081	0.278	0.144	0.281	0.299	0.216	0.057	0.233	0.843	0.276
<b>47</b>	0.170	0.236	0.131	0.243	0.247	0.132	0.051	0.144	0.595	0.189
<b>48</b>	-0.152	0.385	0.160	0.385	0.420	0.780	0.041	0.790	0.999	0.462
<b>49</b>	0.447	0.109	0.142	0.127	0.090	0.029	0.048	0.029	0.119	0.035
<b>50</b>	0.454	0.105	0.142	0.124	0.092	0.027	0.048	0.040	0.145	0.033
<b>51</b>	0.346	0.155	0.140	0.169	0.144	0.050	0.048	0.050	0.210	0.069
<b>52</b>	0.290	0.181	0.139	0.192	0.176	0.068	0.049	0.070	0.294	0.098
<b>53</b>	0.178	0.233	0.135	0.239	0.242	0.126	0.051	0.128	0.530	0.182
<b>54</b>	0.467	0.099	0.142	0.119	0.080	0.026	0.048	0.026	0.106	0.030
<b>55</b>	0.567	0.053	0.142	0.079	0.036	0.015	0.047	0.015	0.061	0.015

---

EK-4. Regresyon modellerine ait ANOVA tabloları

**C\_factor**

**Linear**

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.893	.798	.794	.069

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.007	1	1.007	208.859	.000
Residual	.256	53	.005		
Total	1.263	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
NDVI	-.462	.032	-.893	-14.452	.000
(Constant)	.315	.014		22.157	.000

**Inverse**

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.304	.092	.075	.147

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.117	1	.117	5.391	.024
Residual	1.146	53	.022		
Total	1.263	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
1 / NDVI	.002	.001	.304	2.322	.024
(Constant)	.146	.021		7.068	.000



## Quadratic

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.894	.799	.791	.070

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.009	2	.504	103.174	.000
Residual	.254	52	.005		
Total	1.263	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t		Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error	
NDVI	-.443	.049	-.855	-9.099		.000
NDVI ** 2	-.041	.075	-.051	-.538		.593
(Constant)	.317	.015		21.724		.000

## Cubic

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.911	.830	.820	.065

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.048	3	.349	82.900	.000
Residual	.215	51	.004		
Total	1.263	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t		Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error	
NDVI	-.546	.056	-1.054	-9.683		.000
NDVI ** 2	-.265	.102	-.330	-2.611		.012
NDVI ** 3	.468	.153	.482	3.053		.004
(Constant)	.345	.016		20.994		.000

## Compound

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.820	.672	.665	1.154

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	144.395	1	144.395	108.398	.000
Residual	70.600	53	1.332		
Total	214.995	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t		Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error	
NDVI	.004	.002	.441	1.880		.066
(Constant)	.337	.080		4.227		.000

The dependent variable is ln(C\_factor).

## S

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.228	.052	.034	1.961

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	11.202	1	11.202	2.913	.094
Residual	203.794	53	3.845		
Total	214.995	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t		Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error	
1 / NDVI	.017	.010	.228	1.707		.094
(Constant)	-3.080	.276		-11.145		.000

The dependent variable is ln(C\_factor).

## Growth

**Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.820	.672	.665	1.154

The independent variable is NDVI.

### ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	144.395	1	144.395	108.398	.000
Residual	70.600	53	1.332		
Total	214.995	54			

The independent variable is NDVI.

### Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
NDVI	-5.537	.532	-.820	-10.411	.000
(Constant)	-1.087	.237		-4.596	.000

The dependent variable is ln(C\_factor).

## Exponential

### Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.820	.672	.665	1.154

The independent variable is NDVI.

### ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	144.395	1	144.395	108.398	.000
Residual	70.600	53	1.332		
Total	214.995	54			

The independent variable is NDVI.

### Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
NDVI	-5.537	.532	-.820	-10.411	.000
(Constant)	.337	.080		4.227	.000

The dependent variable is ln(C\_factor).

## Logistic

### Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.883	.780	.776	1.174

The independent variable is NDVI.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	258.944	1	258.944	187.969	.000
Residual	73.012	53	1.378		
Total	331.956	54			

The independent variable is NDVI.

**Coefficients**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
NDVI	1661.385	898.591	2.419	1.849	.070
(Constant)	.972	.234		4.156	.000

The dependent variable is  $\ln(1 / C\_factor - 1 / .540)$ .

EK-5. Farklı arazi kullanım tipleri için varyans analizi ve Tukey B testi sonuçları

• **Verimli Orman**

**Test of Homogeneity of Variances**

C\_factor

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
9732.674	10	246389	.000

**ANOVA**

C\_factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1504.541	10	150.454	21132.069	.000
Within Groups	1754.217	246389	.007		
Total	3258.758	246399			

**C\_factor**

Tukey B

grup	N	Subset for alpha = .05											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Kontrol</b>	<b>22400</b>	<b>.003000</b>											
Growth	22400		.016111										
De Jong	22400			.023775									
Smith vd.	22400				.028107								
Cubic	22400					.032309							
Linear	22400						.039856						
Exponential	22400							.066134					
Knijff vd.	22400								.077680				
Inverse	22400									.142565			
Durigon vd.	22400										.184240		
Demirci vd.	22400											.260115	

- Bozuk Orman**

**Test of Homogeneity of Variances**

C\_factor

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
8724.613	10	105589	.000

**ANOVA**

C\_factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1980.091	10	198.009	7913.249	.000
Within Groups	2642.099	105589	.025		
Total	4622.190	105599			

**C\_factor**

Tukey B

Grup	N	Subset for alpha = .05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Growth	9600	.070128								
<b>Kontrol</b>	<b>9600</b>		<b>.090000</b>							
Cubic	9600			.132718						
Linear	9600			.138214	.138214					
De Jong	9600				.139151					
Inverse	9600				.140490					
Smith vd	9600					.152814				
Exponential	9600						.272912			
Durigon vd.	9600							.307613		
Knijff vd	9600								.339855	
Demirci vd.	9600									.553171

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9600.000.

- Mera

**Test of Homogeneity of Variances**

C\_factor

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.403	10	457589	.000

**ANOVA**

C\_factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	37821.769	10	3782.177	8.654	.000
Within Groups	199976207.843	457589	437.021		
Total	200014029.612	457599			

**C\_factor**

Tukey B

Grup	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
Inverse	41600	-.341542			
<b>Kontrol</b>	<b>41600</b>		<b>.040000</b>		
<b>Linear</b>	<b>41600</b>		<b>.242210</b>	.242210	
Cubic	41600		.246458	.246458	
Growth	41600		.248593	.248593	
Smith vd.	41600		.287705	.287705	
De Jong	41600		.304314	.304314	
Durigon vd.	41600		.421223	.421223	.421223
Exponential	41600			.579684	.579684
Knijff vd.	41600			.627042	.627042
Demirci vd.	41600				.771789

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- **Ziraat**

**Test of Homogeneity of Variances**

C\_factor

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4876.644	10	105589	.000

**ANOVA**

C\_factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1109.060	10	110.906	3939.346	.000
Within Groups	2972.690	105589	.028		
Total	4081.750	105599			

**C\_factor**

Tukey B

Grup	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
Growth	9600	.067037						
Cubic	9600		.104074					
De Jong	9600		.106459	.106459				
Linear	9600		.110713	.110713				
Smith vd	9600			.113048				
Inverse	9600				.142319			
<b>Exponential</b>	<b>9600</b>					<b>.197872</b>		
<b>Kontrol</b>	<b>9600</b>					<b>.200000</b>		
Knijff vd.	9600						.256321	
Durigon vd.	9600						.257699	
Demirci vd.	9600							.441410

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9600.000.



- **İskan**

**Test of Homogeneity of Variances**

C\_factor

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3914.020	10	35189	.000

**ANOVA**

C\_factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1517.996	10	151.800	2383.332	.000
Within Groups	2241.265	35189	.064		
Total	3759.261	35199			

**C\_factor**

Tukey B

Grup	N	Subset for alpha = .05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inverse	3200	.148068								
<b>Kontrol</b>	<b>3200</b>		<b>.250000</b>							
Cubic	3200			.312787						
Linear	3200			.318228	.318228					
Smith vd.	3200				.331457					
De Jong	3200					.438457				
Growth	3200						.490995			
Durigon vd	3200						.503443			
Exponential	3200							.706833		
Knijff vd	3200								.734086	
Demirci vd.	3200									.827854

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3200.000.

- **Taşlık**

**Test of Homogeneity of Variances**

C\_factor

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
935.421	10	17589	.000

**ANOVA**

C\_factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	479.914	10	47.991	5595.690	.000
Within Groups	150.852	17589	.009		
Total	630.766	17599			

**C\_factor**

Tukey B

Grup	N	Subset for alpha = .05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Growth	1600	.083197								
Inverse	1600		.137574							
Cubic	1600			.184354						
Linear	1600			.186729						
De Jong	1600				.207963					
Smith vd	1600					.226722				
Exponential	1600						.342973			
<b>Kontrol</b>	<b>1600</b>							<b>.360000</b>		
<b>Durigon vd</b>	<b>1600</b>							<b>.361179</b>		
Knijff vd.	1600								.473456	
Demirci vd	1600									.684035

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 1600.000.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : VATANDAŞLAR, Can  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve Yeri : 04/10/1985 – İSTANBUL  
Medeni Hali : Bekar  
Telefon : 0 (466) 215 1000 (4117)  
e-mail : canvatandas@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Başlangıç-Bitiş
Yüksek Lisans	Artvin Çoruh Ünv. FBE/Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	2013 – ...
Yüksek Lisans	İstanbul Ünv. FBE/Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	2009 – 2012
Lisans	İstanbul Ünv./Orman Mühendisliği Bölümü	2003 – 2009
Lise	Haydarpaşa Anadolu Lisesi/İSTANBUL	1999 – 2003

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009 – 2012	Altaş Yapı San. ve Temizlik Hizm. A.Ş.	Şantiye Mühendisi
2012-...	Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi	Araştırma Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce (KPDS: 72,5)