

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ  
SİSTEMLERİ KULLANILARAK EROZYON RİSK  
BELİRLEMESİNE YENİ BİR YAKLAŞIM, ÇORUM  
İLİ ÖRNEĞİ**

**Fazlı Engin TOMBUŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı**

**Ağustos-2005**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK EROZYON RİSK BELİRLEMESİNE YENİ BİR YAKLAŞIM, ÇORUM İLİ ÖRNEĞİ

FAZLI ENGİN TOMBUŞ

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Can AYDAY  
2005, 77 sayfa

Bu çalışmada, erozyon risk belirleme yöntemlerinden CORINE ve ICONA incelenmiş, çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan analitik hiyerarşik süreç (AHP) ile yeni bir erozyon risk değerlendirme yöntemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Analitik hiyerarşik süreç ile belirlenen erozyon değişkenlerinin ağırlıkları ve yeni erozyon risk formülü, erozyon risk haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak Çorum ili seçilmiştir. Yeni yöntemin çalışma alanına uygulanmasında, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinden yararlanılmıştır.

Sonuç erozyon risk haritası ArcGIS 9.0 ve Erdas Imagine 8.5 yazılımları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma alanının %7'sinde çok az, %13'ünde az, %20'sinde orta, %27'sinde yüksek, %33'ünde çok yüksek düzeyde erozyon riski belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP), Coğrafi Bilgi Sistemleri, Erozyon, Uzaktan Algılama

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **A NEW APPROACH IN DETERMINING OF EROSION RISK WITH USE OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: CASE OF ÇORUM PROVINCE**

**FAZLI ENGİN TOMBUŞ**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Remote Sensing and Geographic Information Systems Program**

**Supervisor: Prof. Can AYDAY  
2005, 77 pages**

**In this study, the techniques of soil erosion risk determination CORINE and ICONA had been examined and made efforts to display a new erosion risk assesment technique with the analytic hierarchical process (AHP) use in solution of multiple measure of value adjudication problems.**

**The weight of soil variants that is determined with AHP and new erosion risk formula used to make up of erosion risk map. Province of Çorum had been selected for workspace. Remote Sensing and Geographical Information Systems techniques had been made use of new technique to be applied to workspace.**

**Result erosion risk map had been gained with using the ArcGIS 9.0 and Erdas Imagine 8.5 softwares. Level of erosion risk lowest at 7%, low at 13%, average at 20%, high at 27% , highest at 33% had been determined in workspace.**

**Keywords: Analytic Hierarchical Process (AHP), Geographic Information Systems, Erosion, Remote Sensing**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarıma değerli bilgi ve eleőtirileriyle yön veren danıőmanım Prof. Dr. Can AYDAY'a, tez çalıőmamdan önce derslerini aldığım değerli öğretim üyelerine, çalıőmamın yazım aőamasındaki katkılarından dolayı Alper ARAS'a, tüm yaőamım boyunca desteklerini esirgemeyen anne ve babama, yüksek lisans süresince gösterdiği anlayıő ve destek nedeniyle niőanlım Ayőe KIRIMKER'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

Fazlı Engin TOMBUŞ

Ağustos - 2005

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>x</b>
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÇALIŞMANIN AMACI.....</b>	<b>3</b>
<b>3. ÇALIŞMA ALANI HAKKINDA BİLGİ.....</b>	<b>5</b>
3.1. Çalışma Alanının Yeri.....	5
3.2. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	6
3.3. Çalışma Alanının Bitki Örtüsü.....	6
3.4. Çalışma Alanının İklim Özellikleri.....	7
3.5. Çalışma Alanının Toprak Durumu .....	7
<b>4. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>8</b>
<b>5. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER.....</b>	<b>11</b>
<b>6. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....</b>	<b>12</b>
6.1. Uzaktan Algılama.....	12
6.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	13
6.3. Erozyon Risk Değerlendirmesinde CORINE Yöntemi.....	15
6.3.1. Toprak Aşınabilirliği (Erodibilite).....	16
6.3.1.1. Toprak bünyesi.....	17
6.3.1.2. Toprak derinliği.....	18
6.3.1.3. Toprak taşlılığı.....	18
6.3.2. Aşındırıcı Güç (Erosivite).....	19
6.3.2.1. Fournier yağış indeksi.....	20

6.3.2.2. Bagnouls - Gausson kuraklık indeksi.....	20
6.3.3. Topografya (Eğim).....	22
6.3.4. Bitki Örtüsü.....	22
6.3.5. Potansiyel Erozyon Riski.....	23
6.3.6. Gerçek Erozyon Riski.....	23
6.4. Erozyon Risk Değerlendirmesinde ICONA Yöntemi.....	24
6.4.1. Arazi Kullanımı.....	25
6.4.2. Bitki Örtüsü Yoğunluğu.....	25
6.4.3. Toprak Koruma Düzeyi.....	26
6.4.4. Topografya (Eğim).....	26
6.4.5. Jeoloji (Litopedoloji - Toprak yapısı).....	27
6.4.6. Aşınabilirlik.....	27
6.5. Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP) Yöntemi.....	29
6.5.1. Hiyerarşik Model.....	30
6.5.2. İkili Karşılaştırmalar.....	32
6.5.3. Ağırlıkların (Önceliklerin) Belirlenmesi.....	32
6.5.4. Tutarlılık Değerlendirmesi.....	34
<b>7. YENİ BİR EROZYON RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ İÇİN AHP ANALİZİNİN CORINE VE ICONA YÖNTEMLERİNE UYGULANMASI.....</b>	<b>37</b>
<b>8. YENİ EROZYON RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİNDE AHP'NİN SAYISAL UYGULAMASI.....</b>	<b>44</b>
<b>9. YENİ EROZYON RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİNİN ÇORUM İLİNE UYGULANMASI.....</b>	<b>52</b>
9.1. Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması.....	52
9.2. Eğim Haritasının Oluşturulması.....	57
9.3. Bakı Haritasının Oluşturulması.....	59
9.4. Aşındırıcı Güç Haritasının Oluşturulması.....	59
9.5. Arazi Kullanım Haritasının Oluşturulması.....	61
9.6. Jeoloji Haritasının Oluşturulması.....	64

9.7. Bitki Örtüsü Yoğunluk Haritasının Oluşturulması.....	65
9.8. Sonuç Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması.....	67
<b>10. SONUÇ VE TARTIŞMALAR.....</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>74</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>77</b>
<b>Ek-1. Ulusal Toprak Veri Tabanı Şimdiki Arazi Kullanım Sınıf Tablosu</b>	<b>77</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

3.1. Çalışma alanı bulduru haritası.....	5
6.1. Uzaktan algılamanın yapısı.....	12
6.2. Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan elemanlar.....	14
6.3. Raster ve vektör veri modeli yapısı.....	14
6.4. CORINE yöntemi akış şeması.....	16
6.5. USDA Toprak bünye sınıflandırma çizelgesi.....	17
6.6. ICONA yöntemi akış şeması.....	24
6.7. Hiyerarşik Yapı.....	30
6.8. Üç ölçütten oluşan bir AHP uygulamasındaki işlem adımları.....	36
7.1. Kullanılan erozyon yöntemleri, a) CORINE b) ICONA.....	38
7.2. Yeni oluşturulan sistemin düzey düzeni yapısı.....	43
8.1. Erozyon risk durumu ve birinci düzey ölçütlerin ağırlıkları.....	46
8.2. Aşınabilirlik ölçütü ve ikinci düzey ölçütlerin ağırlıkları.....	48
8.3. Erozyon risk durumu birinci ve ikinci düzey ölçüt ağırlıkları.....	49
9.1. Yeni yöntemin uygulanma akış şeması.....	53
9.2. TIN veri modeli.....	54
9.3. Raster (Grid) yapıda yükseklik modeli.....	54
9.4. Çorum ili sayısal yükseklik modeli.....	55
9.5. Çorum ili yükseklik haritası.....	56
9.6. Çorum ili eğim haritası (Yeniden puanlandırılmış).....	58
9.7. Çorum ili bakı haritası (Yeniden puanlandırılmış).....	60
9.8. Çorum ili aşındırıcı güç haritası (Yeniden puanlandırılmış).....	62
9.9. Çorum ili arazi kullanım haritası (Yeniden puanlandırılmış).....	63
9.10. Çorum ili jeoloji haritası (Yeniden puanlandırılmış).....	66
9.11. Çorum ili bitki örtüsü yoğunluk haritası (Yeniden puanlandırılmış).....	68
9.12. Çorum ili uydu görüntüsü (Landsat7 ETM / RGB 321).....	69
9.13. Yeni yöntemle elde edilen erozyon risk haritası.....	70
9.14. Çorum ili erozyon risk sınıfları ve yüzdeleri.....	71
10.1. Yeni ve klasik yöntemlerle belirlenen erozyon sınıfları ve yüzde değerleri.....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Çorum İli büyük toprak grupları.....	7
6.1. Toprak bünye sınıflandırması.....	18
6.2. Toprak derinlik sınıflandırması.....	18
6.3. Toprak taşlılık sınıflandırması.....	19
6.4. Toprak aşınabilirliği.....	19
6.5. Fournier yağış indeksi sınıflandırması.....	20
6.6. Bagnouls - Gaussen kuraklık indeksi.....	21
6.7. Aşındırıcı güç indeksi sınıflandırması.....	21
6.8. Eğim sınıflandırması.....	22
6.9. Bitki örtüsü sınıflandırması.....	22
6.10. Potansiyel erozyon risk sınıflandırması.....	23
6.11. Gerçek erozyon risk sınıflandırması.....	23
6.12. Bitki örtüsü yoğunluğu.....	25
6.13. Toprak koruma düzeyi karar matrisi.....	26
6.14. Toprak koruma düzeyleri (Simgeler ve anlamları).....	26
6.15. Eğim sınıflandırması.....	26
6.16. Jeoloji (Litopedoloji – Toprak Yapısı) sınıflandırması.....	27
6.17. Aşınabilirlik karar matrisi.....	27
6.18. Aşınabilirlik durumu (Simgeler ve Anlamları).....	28
6.19. Erozyon risk durumu karar matrisi.....	28
6.20. Erozyon risk durumu karar matrisi anlamları.....	28
6.21. AHP değerlendirme ölçeği .....	31
6.22. Rastgele indeks değerleri.....	35
7.1. Büyük toprak grupları.....	40
7.2. Toprak drenaj – bünye kombinasyonu.....	41
7.3. Toprak eğim – derinlik kombinasyonu.....	41

7.4. Toprak eğim – derinlik kombinasyonu.....	42
8.1. Birinci düzey ölçütler arası ikili karşılaştırma matrisi.....	44
8.2. Birinci düzey ölçütler için, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve birinci düzey ölçütlerin ağırlıkları.....	45
8.3. Aşınabilirlik ölçütü için, ikinci düzey ölçütler ikili karşılaştırma matrisi.....	47
8.4. Aşınabilirlik ölçütü için, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar.....	47
8.5. Koruma düzeyi ikili karşılaştırma matrisi.....	48
8.6. Koruma düzeyi ölçütü için, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar.....	48
8.7. Erozyon risk formülündeki ölçütler ve kısaltmaları.....	49
8.8. Tek düzey çözüm ikili karşılaştırmalar matrisi.....	50
8.9. Tek düzey çözüm, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar.....	50
9.1. Eğim değişkeninin yeniden sınıflandırma ve puanlaması.....	57
9.2. Bakı değişkeninin yeniden sınıflandırma ve puanlaması.....	59
9.3. Aşındırıcı güç yeniden sınıflandırma ve puanlaması.....	61
9.4. Arazi kullanım durumu yeniden sınıflandırma ve puanlaması.....	61
9.5. Çorum İli'nde bulunan jeolojik özellikler ve ICONA yöntemine göre jeoloji sınıflandırması.....	64
9.6. Jeolojik özelliklerine göre oluşturulmuş sınıflar ve yeniden puanlama değerleri.....	65
9.7. Bitki örtüsü yoğunluk sınıflandırması ve yeniden puanlaması.....	67
9.8. Erozyon risk sınıflandırması ve alansal dağılımları .....	67

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AB</b>	: Aşınabilirlik
<b>AHP</b>	: Analitik Hiyerarşik Süreç
<b>AG</b>	: Aşındırıcı güç
<b>AK</b>	: Arazi kullanımı
<b>BK</b>	: Bakı
<b>BY</b>	: Bitki yoğunluğu
<b>CORINE</b>	: Coordination of Information on the Environment
<b>DGCONA</b>	: General Directorate for the Conservation of the Nature
<b>EG</b>	: Eğitim
<b>ER</b>	: Erozyon risk durumu
<b>ICONA</b>	: Institut National pour la Conservation de la Nature
<b>JE</b>	: Jeoloji
<b>KD</b>	: Koruma düzeyi
<b>KHGM</b>	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama Kurumu
<b>NDVI</b>	: Normalized Difference Vegetation Index
<b>R.İ.</b>	: Rastgele indeks
<b>SAKS</b>	: Şimdiki arazi kullanım sınıfı
<b>TIN</b>	: Triangulated Irregular Network
<b>T.İ.</b>	: Tutarlılık indeksi
<b>T.O.</b>	: Tutarlılık oranı
<b>TVI</b>	: Transform Vegetation Index
<b>UNEP</b>	: United Nations Environment Programme
<b>USDA</b>	: United States Department of Agriculture
<b>USLE</b>	: Universal Soil Loss Equation

## Alt ve Üst İndisler

<b>a</b>	: Özvektör
<b>i</b>	: Değerlendirmedeki 1. Ölçüt
<b>j</b>	: Değerlendirmedeki 2. Ölçüt
<b>max</b>	: Maksimum
<b>P</b>	: Yağış miktarı
<b>t</b>	: Sıcaklık
<b>w</b>	: Ağırlık
<b><math>\lambda</math></b>	: Özdeğer

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz dünyada tarımsal üretim açısından kendi gereksinimlerini karşılayabilen ender ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizin karşı karşıya olduğu temel sorunlardan olan hızlı nüfus artışı nedeniyle tarımsal üretime ihtiyacı her geçen gün artmaktadır.

Yaşamın ve tarımsal üretimin temelini oluşturan topraklarımızın büyüklüğünün artmadığı, aksine, hızlı nüfus artışı ve bir ülkenin gelişmişliğinin göstergesi olan sanayileşme gibi etkenler nedeniyle, topraklarımızda kayıplar ve bozulmalar olduğu bilinmektedir.

Sanayileşme ve yapılaşma sebebiyle yapılan orman tahribatları, bilinçsiz tarım politikaları ve tarımsal üretim teknikleri, toprağın verimli üst yapısının zarar görmesine kısaca erozyona yol açmaktadır.

Erozyon dünyanın oluşumundan günümüze kadar devam eden, doğanın sistemi içerisinde yer alan, çok yavaş hızda gelişen ve göze çok fazla görünmeyen zararsız bir aşınım olayıdır. Erozyon çalışmalarına konu olan erozyon ise, sanayileşme vb. nedenlerle şekil ve hız değiştirmiş hızlandırılmış erozyondur.

Ekolojik dengedeki bozulmalar ve küresel ısınma sonucunda çölleşme tehlikesi ile karşı karşıya olan dünya ülkelerinde, güncel verimli tarım toprakları daha da önem kazanmış, bu nedenle verimli tarım topraklarını korumak için önlemler almışlardır.

Sanayileşmesini tam anlamıyla tamamlayamamış, gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde, erozyon çalışmaları ve önlemleri gelişmiş ülkelere göre yeni sayılmaktadır. Erozyon durumunu gösteren haritalar ülkemizde ilk defa 1960 yılların sonlarında hazırlanmaya başlanılmıştır.

1960'lı yıllardan günümüze kadar geçen sürede, bilimdeki ve teknolojiadaki gelişmeler, erozyon riski belirleme çalışmalarında da etkisini göstermiştir. Erozyon çalışmalarına etki eden bu gelişmelerden bilgisayar sektöründeki gelişmeler, yazılım ve donanım yönü ile ön plana çıkmıştır. Bu gelişmeler, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin ortaya çıkmasını ve çeşitli meslek disiplinlerinde yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmasını hızlandırmıştır. Uydu sistemleri, optik ve algılayıcı sistemlerdeki gelişmeler ise, Uzaktan Algılama yönteminin klasik yöntemlere göre daha fazla tercih edilmesine neden olmuştur.

Erozyon çalışmalarında; çalışma alanının büyüklüğü nedeniyle veri (yağış, iklim, toprak, topografya vb.) toplamada önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu aşamada geniş bir alana ait verilerin elde edilmesi ve işlenmesinde Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri önem kazanmaktadır. Uzaktan Algılama yardımıyla, çalışma alanının halihazır durumuna bağlı bilgiler, klasik yöntemlere göre oldukça kolay ve hızlı olarak elde edilebilmektedir [1].

Topraklarının büyük bölümü yüksek derecede erozyona uğramakta olan gelişmiş bazı ülkeler, kendi bölgelerinin özelliklerini dikkate alarak, çeşitli erozyon risk belirleme yöntemlerini ortaya koymuşlardır. Avrupa Birliği ülkeleri tarafından ortak bir erozyon risk belirleme yöntemi olarak kabul edilen CORINE ve İspanya'da geliştirilen ICONA bu çalışmalara örnek verilebilir.

Erozyon risk değerlendirilmesinde, farklı değişkenlerin farklı derecede değerlendirildiği bu iki yöntemden başka geliştirilmiş olan USLE, LEAM, MOSES, GLEAMS vb. gibi yöntemlerde bulunmaktadır.

Erozyon çalışmalarında kullanılan yöntemlerin sonuçlarını etkileyen en önemli faktör kullanılan değişkenlerdir. Ülkemizde var olan toprak haritalarının güncel olmaması sebebiyle bu yöntemlerden birkaçı, sadece pilot havzalarda uygulanabilmiştir.

Çalışmada, CORINE ve ICONA erozyon risk belirleme yöntemlerinin temel veri değişkenleri değerlendirilmiş, bir tahmin ve karar verme tekniği olarak geliştirilen, "Analytic Hierarchical Process" (AHP) yardımıyla bu iki yönteme alternatif olabilecek bir erozyon risk belirleme yöntemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma içerisinde, yeni erozyon değerlendirme yönteminin uygulaması, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla Çorum'da gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Çorum bölgesine uygulanan yeni erozyon belirleme yöntemi ile, erozyon çalışmalarına Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin sağladığı yararlar ve yeni erozyon değerlendirme yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN AMACI

Ülkemizde orta ve küçük ölçekli (1/25.000, 1/50.000, 1/500.000 vb.) haritalar Harita Genel Komutanlığı'na üretilmektedir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin savunma, stratejik planlama vb. faaliyetlerini yerine getirebilmesi için hazırlanan bu haritaları, diğer devlet kurumları da kendi kullanım alanlarına uygun özel amaçlı haritaları hazırlamakta altlık olarak kullanmaktadır.

Erozyon çalışmalarında kullanılacak ayrıntılı toprak haritalarının hazırlanabilmesi için yoğun bir arazi ve laboratuvar çalışması gerekmektedir. Ülkemizin gerek ekonomik gerekse istihdam sorunlarından dolayı, gerekli parasal kaynak ve personel bu çalışmalara aktarılamamıştır. Ülkemizde kullanılmakta olan toprak haritalarının, toprağın bünye, taşlılık vb. gibi bilgilerinde eksiklikler bulunmaktadır. Dünyada yaygın biçimde kullanılmakta olan, CORINE, USLE vb. gibi yöntemler haritalarımızın özellikleri nedeniyle, ülkemizde küçük pilot bölgelerde uygulanabilmektedir.

ICONA yöntemi ise, iklim bilgilerini içermemektedir. Ülkemizdeki erozyona yağışın etkisinin yüksek olduğu bilindiğinden, ICONA yönteminin uygulanması durumunda elde edilen sonuçların sağlıklı bilgiler olmayacağı düşünülmektedir.

1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından çok ölçütlü problemlere çözüm bulmak amacı ile Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi geliştirilmiştir. Analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile probleme etkisi olan nitel ve nicel ölçütler rahatlıkla değerlendirilebilmekte ve çözümlenebilmektedir.

AHP yönteminin ilk bölümünde problem, hiyerarşik bir yapıda yeniden düzenlenmekte, sonuç bölümünde ise alternatif kararlar en iyiden en kötüye doğru sıralanmaktadır.

AHP yöntemi işletme, mühendislik, eğitim vb. gibi birçok meslek disiplinde problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Erozyon gibi çok fazla ölçütten etkilenen bir problemin çözümlenmesinde de AHP 'sin kullanılabilceği düşünülmüştür.

Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada; CORINE ve ICONA yöntemlerinin değişkenleri yeniden değerlendirilmiş, ülkemizde var olan toprak bilgilerine uygun yeni bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yeni yöntemde,

değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerin belirlenmesinde AHP tekniğinden yararlanılmıştır. Çorum iline uygulanmaya çalışılan yeni yöntem için verilerin bir kısmının toplanmasında Uzaktan Algılama, bölgeye ait bilgilerin analizinde ise coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinden yararlanılmıştır.

Uzaktan Algılamanın erozyon çalışmalarında kullanılması nedenleri arasında, erozyon değerlendirmesinde kullanılan değişken özellikteki bitki örtüsü, arazi kullanım durumu vb. bilgilerin hızlı, doğru ve ekonomik biçimde belirlenmesi sayılabilir.

Erozyon konusunda çalışan yerbilimciler, erozyon değerlendirmesinin doğruluğu için çalışma alanına ait bilgilerin güncel özellikte olmasının önemine işaret etmişlerdir.

Çalışmada uydu görüntülerinden yararlanılarak çalışma alanına ait güncel bitki örtüsü yapısı Uzaktan Algılama yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu bilgilerin, erozyonda etkili diğer mekansal verilerle birlikte, coğrafi bilgi sistemi yardımı ile analiz edilmesi amaçlanmıştır.

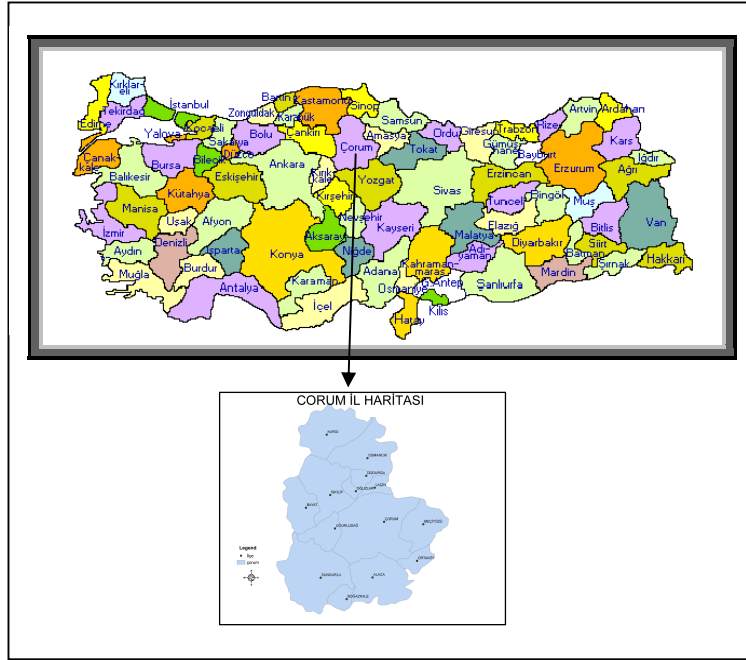
Yaklaşık olarak 13.000 km<sup>2</sup>'lik bir alanın verilerinin değerlendirildiği uygulama bölümünde, Uzaktan Algılama ve coğrafi bilgi sistemi çok önemli bir yer tutmuştur. Erozyonla ilgili sonuçların elde edilmesinde, bu iki tekniğin zaman, doğruluk ve ekonomiklik açısından önemli katkılar sağladığı kanısına varılmıştır.

### 3. ÇALIŞMA ALANI HAKKINDA BİLGİ

#### 3.1. Çalışma Alanının Yeri

Çorum ili Orta Karadeniz Bölgesinin güneyinde yer almakta, doğudan Amasya ve Tokat, batıdan Çankırı, güneyden Yozgat, kuzeyden Sinop, kuzeydoğudan Samsun, kuzeybatıdan Kastamonu ve güneybatıdan Kırıkkale illeri ile sınırlanmıştır.

Çorum ili toprakları yaklaşık olarak 12820 km<sup>2</sup> alana sahip, en güney noktası Alaca İlçesi Baltasarılar köyü güneyinden geçen 39° 54' kuzey enlemi ile en kuzey noktası Kargı İlçesi Vahşili köyü kuzeyinden geçen 41° 20' kuzey enlemleri arasındadır. En batı noktası Kargı İlçesinin Bayat köyü batı sınırı olan 34° 04' doğu boylamı ile en doğusu Mecitözü İlçesinin Kalecik Köyü doğusundan geçen 35° 28' doğu boylamıdır. Çorum merkez ilçesi 40° 33' kuzey enlemi ile, 34° 58' doğu boylamları üzerindedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı bulduru haritası

### **3.2. Çalışma Alanının Jeolojisi**

Çorum ili Mecitözü ilçesi güneyinde başkalaşım serileri bulunmaktadır. Yeşil ve kloritli şistler, kuvarslı fillatlar, mermerler ve yarı mermerler yaygın durumdaki litolojik birimlerdir. Çorum ili doğusunda ise, kalın ve sürekli seriler biçiminde Permian jeolojik birimlerine rastlanılmaktadır. Bölgesinin doğusunda Mezozoik birimler de yer almaktadır. Alaca ilçesinin bulunduğu bölgede Jura-Kretase kalkerleri, başkalaşım serileriyle Ofiyolitik Kretase yaşlı birimleri arasında yer almaktadır. Osmancık ilçesi kuzeyinde Eosen flişi arasında Üst Kretase volkanit serisi bulunmaktadır.

Bölgenin batı ve güney batı bölümlerinde Oligo-Miyosen alçıtaşlı seriler bulunmaktadır. Bu yapı kalın ve kırmızı renkli bir taban oluşumuyla başlamakta, açık renkli ve aralarında alçıtaşı yatakları bulunan kil ve marnlarla devam etmektedir. Bölgede doğu batı yönünde uzanan Neojen birimlere de rastlanılmaktadır.

Alaca ve Osmancık Havzalarında bulunan Kuvaterner yaşta çakıl, kum, silt ve mil gibi oluşuklar akarsu tortulları ile örtülüdür.

Çorum ovasındaki tabakalar, kumlu, killi ve siltli yeni alüvyonlardır. Kargı, Osmancık ve Sungurlu ilçelerinin yer aldığı bölgelerde eski alüvyonlara da rastlanılmaktadır [2].

### **3.3. Çalışma Alanının Bitki Örtüsü**

Çorum ilinin İç Anadolu'da kalan bölümlerinde kıyı dağlarının yağış miktarına olumsuz etkisi nedeniyle doğal bitki örtüsü steptir. Akarsu boylarında çayır bitkileri ile söğüt ve kavak gibi ağaç türlerine rastlanılmaktadır. Merkez ilçe ile Alaca, Sungurlu, Ortaköy ve Mecitözü'nün bazı kesimlerinde meşelikler, ardıç ve karaçam ağaçlarından oluşan orman toplulukları bulunmaktadır. İlin kuzey kesimlerinde Karadeniz ikliminin etkisi ile ağaç toplulukları daha çok çeşitlenmektedir. Yüksekliğin 800-1000m. olduğu yerlerde meşe ormanları, 1000-1200m. arasında karışık ormanlar, 1200m.'den sonra ise iğne yapraklı ormanlar bulunmaktadır.

### 3.4. Çalışma Alanının İklim Özellikleri

Çorum ili Karadeniz ile İç Anadolu arasında geçiş bölgesi olmasına rağmen iklimi tümüyle İç Anadolu Bölgesindeki gibi, yazlar sıcak ve kurak; kışlar ise soğuk ve yağışlıdır. Çorum il merkezinde yıllık ortalama yağış 401,1mm. dir. Yıllık ortalama sıcaklık Çorum’da 10.9 °C dir [2].

### 3.5. Çalışma Alanının Toprak Durumu

İklim, topografya ve ana madde farklılıkları nedeniyle Çorum’da çeşitli büyük toprak grupları oluşmuştur. Köy Hizmetleri kurumu tarafından yapılan etütler sonucunda belirlenen 12 büyük toprak grubu aşağıda Çizelge 3.1.’de sıralanmıştır [2].

Çizelge 3.1. Çorum İli büyük toprak grupları

Büyük Toprak Grubu	
1	Alüvyal topraklar
2	Hidromorfik alüvyal topraklar
3	Kolüvyal topraklar
4	Kahverengi orman toprakları
5	Kireçsiz kahverengi orman toprakları
6	Gri kahverengi podzolit topraklar
7	Kırmızı sarı podzolit topraklar
8	Kestane rengi topraklar
9	Kırmızı kestane rengi topraklar
10	Kahverengi topraklar
11	Kireçsiz kahverengi topraklar
12	Kırmızı Kahverengi topraklar

#### 4. BU KONUDA ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

BAYRAMİN ve diğ. (2002), Ankara Beypazarı bölgesinde yaklaşık 170 hektarlık bir alana sahip bir bölgede Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama tekniklerini kullanarak, ICONA yöntemi yardımıyla erozyon risk belirleme çalışması yapmıştır. 7 aşamada tamamladıkları çalışmalarında Landsat TM5 uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. Bitki yapısının belirlenmesinde NDVI formülünü kullanılmış ve çalışma alanının % 45.9'lık bölümde yüksek erozyon riski belirlenmiştir [3].

ŞAHİN (2002), Göksu nehri üzerine kurulduğu varsayılan Seyhan Köprü barajına çevresel etkiyi değerlendirmek için, ICONA erozyon risk belirleme yöntemini kullanmışlardır. Çalışma bölgesinin % 82.26 'sında çok yüksek derecede erozyon riski belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonuç bölümünde, barajların ömürlerinde erozyonla taşınan toprak miktarlarının boyutlarına ve zararlarına değinmişlerdir [4].

AYDAY ve diğ. (1997), Küçükemalı – Bilecik Gölet Havzası'nda CORINE yöntemini kullanarak erozyon risk haritası hazırlamışlardır. Elde edilen erozyon risk haritası ve klasik yöntemlerle hazırlanmış haritalar karşılaştırılmıştır. Arazinin toprak yapısını ve jeolojisini belirlemek amacıyla 5 noktada profil, 22 noktada toprak örneği almışlardır. Bitki örtüsünü belirlemede TVI (Transform Vegetation Index) formülünden yararlanmışlardır. Yaptıkları bu çalışma sonucunda, bir bölgede kullanılan yöntemin verilerinin değerlendirilmesinde, uygulama bölgesinin özelliklerinin önemle dikkate alınması gerektiği sonucuna varmışlardır [5].

AYDAY ve diğ. (1999), çalışmalarında CORINE yöntemini ele almışlar ve Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile belirtilen yöntemi çalışma alanına uygulamışlardır. Çalışma alanı, Sakarya Nehri'nin oluşturduğu Sakarya Havzası'ni içeren 3000 Km<sup>2</sup> 'lik bir alanı kapsamaktadır. Son teknikler yardımıyla çalışılan alanın toprak erozyon risk haritalarının hazırlanması ve sonucunda havzadaki sosyo-ekonomik yapıyı iyileştirici önlemlerin alınması konusunda önceliklerin belirlenmesini amaçlamışlardır. Elde edilen haritalar ile çalışılan sahanın toprak erozyonuna uğrama olasılığı yüksek yerleri saptanmış, proje sonuçlarını yorumlayacak planlayıcılara erozyon önlemede öncelikli

önlemlerin belirlenmesi konularında yararlı olacak sonuçlar tespit edilmiştir. Yanlış arazi kullanımı ve bölge barajlarının hizmet sürelerinin arttırılması konuları dikkate sunulmuştur [6].

ESMALI (2002), heyelan tehlikesi altında bulunan Germichay bölgesinde, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullandığı çalışmada heyelan risk sınıflaması yapmıştır. Sınıflandırma çalışmada AHP tekniği yardımıyla heyelana etkisi olan 7 etkenin (jeoloji, eğim, vb.) ağırlıklarını belirlemiştir. Elde edilen ağırlıklar yardımıyla, etkenlere (0–100) değerleri arasında puanlama yaparak, heyelan risk haritasını oluşturmuştur. Yapılan bu çalışma sonucunda, Germichay bölgesinin % 60'lık bölümünün yüksek heyelan riski altında olduğu ortaya konulmuştur [7].

ZENGXIANG ve diğ. (1996), 1995 yılında Tibet bölgesinde 67.000 km<sup>2</sup> 'lık bir alanda toprak erozyonunu belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve analitik hiyerarşi süreci yöntemlerini kullanmışlardır. Erozyonu belirlemek için su drenajı, eğim, jeoloji, bitki yoğunluğu ve arazi kullanım değişkenlerini kullanmışlardır. Bitki yoğunluğunun belirlenmesinde NDVI formülünden yararlanmışlardır. Erozyona etki eden değişkenlerin ağırlıkları analitik hiyerarşi süreci yardımıyla belirlenmişler ve Tibet bölgesindeki erozyon altı sınıfta değerlendirmişlerdir [8].

MARINONI (2004), ArcGIS yazılımı için, arazi kullanım vb. değerlendirmelerde analitik hiyerarşi süreci yönteminin kullanılmasına yönelik visual basic ortamında bir makro geliştirmeye çalışmıştır. Örnek bir uygulama ile hazırladığı makroyu test etmiş ve arazi kullanım analizi dışında başka karar analizlerinde de kullanılabileceği kanısına varmıştır [9].

APAYDIN (2002), yaptıkları çalışmada, Ankara Yenimahalle Güvenç Havzasında yüzey akışını belirlemek için AGNPS, SWRRB ve GLEAMS erozyon modellerinin coğrafi bilgisi sistemlerini kullanarak bir uygulamasını yapmıştır Coğrafi Bilgi Sistemlerinin bu modellere sağlayacağı yararı ve modellerin geçerliliğini araştırmıştır [1].

ÖZEL ve diğ. (1998), Çalışma alanı olarak belirledikleri Dalaman Havzasında erozyon risk belirlemede kullanılan USLE, CORINE ve ICONA yöntemlerinin bir uygulamasını yapmışlardır. Her bir yöntemle göre elde edilen

erozyon risk sonuçlarını karşılaştırmışlar. Bitki örtüsünü belirlemek için 1993 yılına ait Landsat TM uydu görüntülerinden yararlanmışlardır [10].

EROL (2000), Eskişehir ili Mihalıççık ilçesinde CORINE erozyon risk belirleme yöntemi ile gerçek ve potansiyel erozyon riskini ortaya koymaya çalışmıştır. Çalışma sonucunda, çalışma alanının % 49'luk bölümünde yüksek erozyon riski belirlenmiş ve gerçek erozyon riskine etki eden en önemli değişkenlerin arazi kullanımı ve bitki örtüsü olduğu sonucuna varmıştır [11].

## 5. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER

Bu çalışmada; CORINE ve ICONA erozyon risk belirleme yöntemleri yardımıyla ortaya konulan yeni yöntemin uygulanmasında; “Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü” (KHGM) tarafından hazırlanan Çorum İli Arazi Varlığı ve Yeşilirmak Havzası toprak raporlarının içerdiği bilgi ve haritalar kullanılmıştır [2].

Kullanılan bu raporların içerdiği toprak haritaları 1/100.000 ölçektedir. Çalışma alanının eğim ve baki haritalarının oluşturulabilmesi için çalışma sahasını örten, 1/25.000 ölçeğe sahip 43 adet topografik harita kullanılmıştır.

Çalışma alanının jeolojik özelliklerinin belirlenmesinde Maden Tetkik Arama (MTA) Kurumu tarafından üretilmiş, 1/500.000 ölçekli sayısal jeoloji haritaları kullanılmıştır.

Bölgenin bitki örtüsü özelliklerinin belirlenmesi için 2000 yılına ait Landsat 7 ETM uydu görüntülerinden faydalanılmıştır.

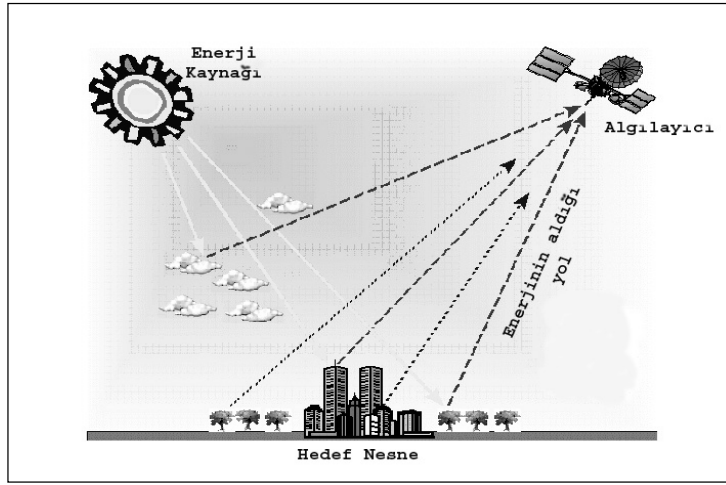
Bu çalışma kapsamında yapılan Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri çalışmalarında kullanılan raster ve vektör özellikteki veriler, Erdas Imagine 8.5 ve Arc GIS 9.0 yazılımları ile değerlendirilmiştir.

## 6. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

### 6.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan Algılama, bir cisim, bir arazi yapısı veya bir doğal olayın fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında arada herhangi bir fiziksel ilişki olmaksızın, çeşitli algılayıcı sistemler tarafından toplanan veriler yardımı ile bilgi edinme bilim ve sanatı olarak tanımlanmaktadır [12].

Uzaktan Algılama Şekil 6.1.'deki gibi dört adet bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, enerji kaynağı, enerjinin aldığı yol, hedef nesne ve algılayıcı sistemdir.



Şekil 6.1. Uzaktan Algılamanın yapısı

Uzaktan Algılama biliminde nesnelere hakkındaki bilgiler, elektromanyetik enerji kullanılarak elde edilmektedir. Uzaktan Algılamada en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi elektromanyetik dalgalar şeklinde yeryüzüne gelmekte ve yeryüzündeki cisimlerden yansımaktadır. Uzaktan Algılamada yeryüzü nesnelere yansıyan elektromanyetik enerjinin şiddeti ölçülmekte ve cisimler hakkında bilgi sahibi olunmaktadır.

Uzaktan Algılama, kullanılan enerji kaynağına göre iki bölüme ayrılmaktadır. Güneş gibi doğal enerji kaynağı kullanılıyorsa pasif, yapay olarak üretilen enerji (radar) kullanılıyorsa aktif Uzaktan Algılama olarak isimlendirilmektedir.

Uzaktan Algılamanın en yaygın kullanılan biçimi, pasif Uzaktan Algılamadır. Bu sistemde, dünya çevresinde belirli bir yörüngede hareket eden uydular üzerindeki algılayıcılar kullanılmaktadır. En önemli Uzaktan Algılama uydularına Landsat, Spot ve Ers örnek verilebilir.

Uydu üzerinde bulunan algılayıcı sistemde elektromanyetik tayfin belirli bölümleri kullanılmaktadır. Uydu üzerindeki algılayıcılarda band olarak isimlendirilen bu bölümlerle, elektromanyetik tayfin belirli dalga boyu aralığındaki bilgiler toplamakta ve sayısal özellikte saklanmaktadır. Yer istasyonları tarafından elde edilen bu sayısal verilere, çeşitli veri işleme ve analiz teknikleri uygulanması sonucunda bilgi elde edilmektedir. Landsat TM5 uydusunda yedi adet band bulunmaktadır. Bu bandların her biri farklı özellikteki nesnelere karşı duyarlılığa sahiptir. Örneğin, Landsat TM5 uydusunun 1. bandı, mavi renge, su yüzeylerine karşı daha duyarlıdır. Bu nedenle, su yüzeyi hakkındaki araştırmalarda Landsat TM5 uydusunun 1. bandı kullanılmaktadır.

Uzaktan Algılama yönteminde çok band kullanılarak da yeryüzü hakkında bilgiler elde edilebilmektedir. Bu çalışmalara, bitki örtüsünün belirlenmesi, arazi kullanım durumunu vb. gibi araştırmalar örnek verilebilir.

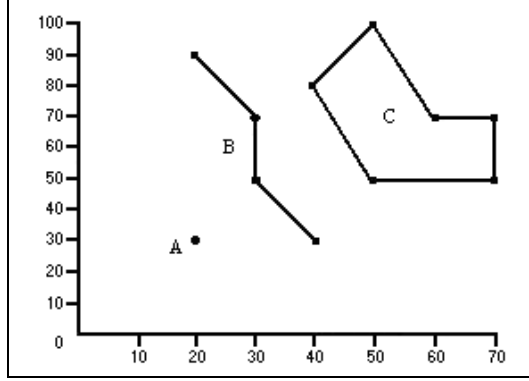
Uzaktan Algılama yöntemleri kullanılarak bir bölgeye ait bilgiler klasik ölçme yöntemlerine göre, hızlı, ekonomik ve istenen doğrulukta belirlenebilmektedir. Bu nedenle Uzaktan Algılama yöntemi, tarımsal uygulamalar, erozyon vb. gibi projelerde etkin bir biçimde kullanılmaktadır.

## **6.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri**

Coğrafi bilgi sistemi, belirli bir amaç ile yeryüzüne ait verilerin toplanması, saklanması, sorgulanması, görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren araçların tümü olarak tanımlanmaktadır [13].

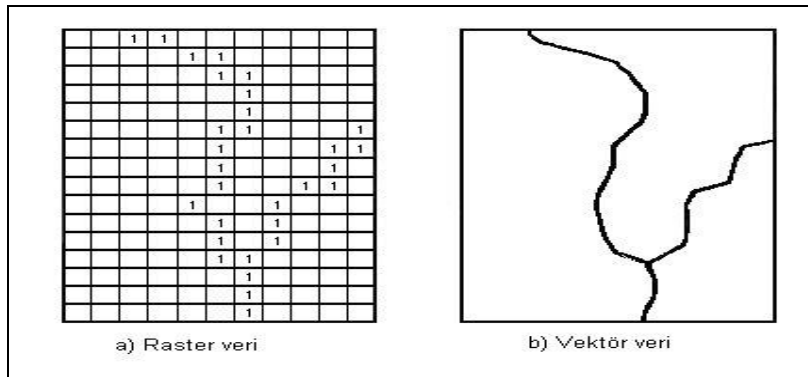
Coğrafi bilgi sistemi; yazılım, donanım, veri, yöntem ve insan olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır. Gerçek dünyadaki coğrafi özelliklere sahip verilerin hızlı ve doğru bir biçimde analiz edilebilmesi için bilgisayar ortamında modellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle Coğrafi Bilgi Sistemlerinde gerçek dünyaya ait veriler, grafik ve grafik olmayan veri olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır.

Grafik özelliğe sahip coğrafi veri elemanları, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde aşağıdaki Şekil 6.2.'deki gibi nokta, çizgi ve alan olmak üzere üç biçimde gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan elemanlar

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde grafik olmayan veriler ise, öznitelik tabloları biçiminde bilgisayar ortamında oluşturulmaktadır. Coğrafi verilerin bilgisayar ortamında analiz edilmesi, sorgulanması ve görüntülenebilmesi için bir veri modeline dönüştürülmesi gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde iki tip konumsal veri modeli kullanılmaktadır. Raster ve vektör olarak adlandırılan veri modelleri yardımı ile gerçek dünyaya ait veriler rahatlıkla bilgisayar ortamında oluşturulabilmektedir. İki veri modelinin yapısı Şekil 6.3.'deki gibidir.



Şekil 6.3. Raster ve vektör veri modeli yapısı

Gerçek dünyaya ait nokta özellikteki coğrafi verinin konum bilgileri, vektör veri modelinde bir koordinat çifti (x,y) ile raster veri modelinde ise, satır ve sütun numarası ile belirlenmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan veriler çeşitli şekillerde elde edilmektedir. Veriler;

Arazide doğrudan yapılan yersel ölçmeler ile,

Fotogrametrik yöntemle,

Uzaktan Algılama ile,

Klasik haritaların sayısallaştırılması veya taranması vb.

yöntemlerle elde edilebilmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerine veri sağlamada en önemli yeri Uzaktan Algılama tutmaktadır. Uzaktan Algılama ile raster veri modelinde elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemi ortamında hızlı, doğru biçimde analiz edilebilmekte ve amaca uygun haritalar üretilebilmektedir.

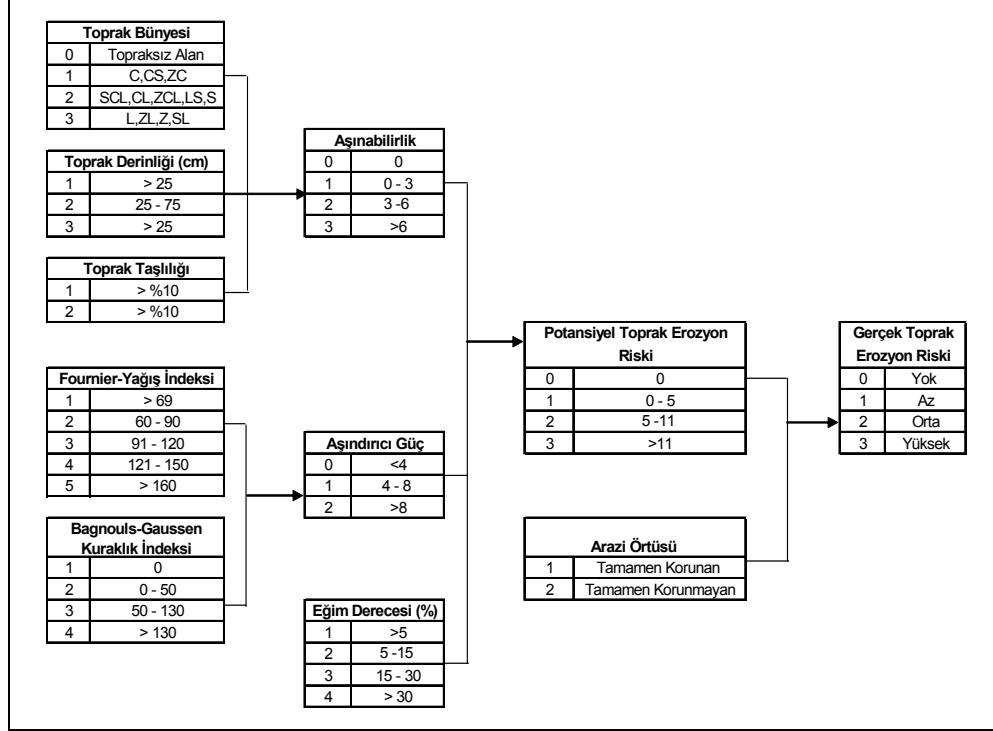
Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama bilimi arasındaki bu veri ilişkisinden dolayı iki yöntemin birbirini tamamladığı düşünülmektedir.

### **6.3. Erozyon Risk Değerlendirmesinde CORINE Yöntemi**

1973 yılında Avrupa Topluluğu Çevre Programı'nın oluşturulması sonucunda, çevre sorunları ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Topluluk içerisinde yer alan ülkelerin topraklarındaki çevresel değişimleri belirlemek, doğal kaynakları uygun biçimde yönetmek vb. amaçlar için 27 Haziran 1985 tarihinde Avrupa Topluluğu meclisinde CORİNE Programı kabul edilmiştir.

CORINE programı içerisinde yer alan çevre politikaları arasında toprak erozyonu değerlendirilmesi ve arazi kalite sınıflandırması gibi iki konuya özellikle önem verilmiştir [14].

CORINE yöntemi yardımıyla erozyon risk değerlendirmesinde, toprağın aşınabilirliği (erodibilite), toprak için aşındırıcı güç (erosivite), arazinin topografyası (eğim) ve arazi örtüsü gibi dört değişken kullanılmaktadır.



Şekil 6.4. CORINE yöntemi akış şeması

### 6.3.1. Toprak aşınabilirliği (Erodibilite)

Toprak aşınabilirliği, toprağın yağış, rüzgar vb. gibi erozyona neden olan etkilere karşı durağanlığının bir ölçütüdür. Erozyona karşı toprağın sahip olduğu durağanlık, toprağın filtreleme kapasitesi, toprağın geçirgenliği vb. gibi niteliklerine bağlıdır. Aşınabilirliğin aynı zamanda toprağın, bünye durumu, taşlılığı, derinliği, içerisindeki organik madde miktarı, tuzluluğu ve PH. değeri gibi özellikleriyle ilişkili olduğu bilinmektedir [15].

CORINE yönteminde toprak aşınabilirliği; toprak bünyesi, toprak taşlılığı ve toprak derinliği ile ilişkilendirilmiştir. Aşınabilirlik seviyesinin belirlenmesinde kullanılan bu üç özellik için, kendi içerisinde ayrı bir sınıflandırma ve puanlama şekli uygulanmaktadır.

### 6.3.1.1. Toprak bünyesi

Toprak bünyesi veya tekstürü denildiğinde, topraktaki kum, silt ve kil tane boyutu sınıflarının katışma oranlarına göre bileşimi anlaşılmaktadır. Toprağı oluşturan taneciklerinin büyüklüğü ve tanelerin dayanıklılığı, yüzeysel akış sularıyla toprağın taşınması üzerine etkili olmaktadır. Yağmur sularının toprağa girmeleri ve toprak içerisinde derinlere sızmaları, toprak taneciklerinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Bu nedenle örneğin, kum oranı yüksek topraklarda yüzeysel akışla giden su miktarı az, dolayısıyla erozyon enerjisi düşük seviyededir [16].

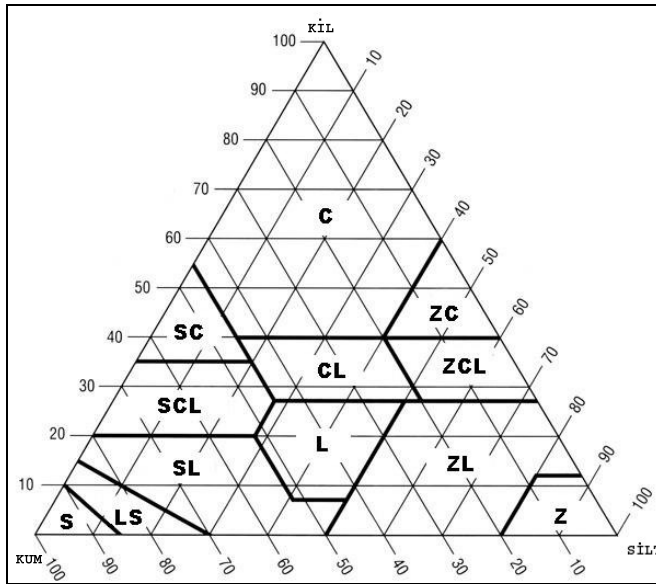
CORINE yönteminde toprak bünye durumu, Şekil 6.5. yardımıyla USDA (United States Department of Agriculture) bünye sınıflandırmasına göre yapılmakta ve aşağıda Çizelge 6.1.'deki biçimde değerlendirilmektedir. CORINE yönteminde toprak bünye yapısına göre tane boyutu sınıflandırması;

Kum (S) : 0,05 – 2,00 mm.

Silt (Z) : 0,002 – 0,05 mm.

Kil (C) : < 0,002 mm.

şeklindedir.



Şekil 6.5. USDA Toprak bünye sınıflandırma çizelgesi

Toprak bünye çeşitliliğine göre bünye kısaltmaları; SC; Kumlu kil, ZC; Siltli kil, SCL; Kumlu killi tın, CL; Killi tın, L; Tın, ZCL; Siltli killi tın, LS; Tınlı kum, ZL; Siltli tın, SL; Kumlu tın şeklinde yapılmaktadır.

**Çizelge 6.1.** Toprak bünye sınıflandırması

Toprak Bünyesi		
Kod	Kod Tanımı	Bünye
0	Aşırırlık Yok	Topraksız Alan
1	Düşük Aşırırlık	C , SC , ZC
2	Orta Aşırırlık	SCL , CL , ZCL , LS , S
3	Yüksek Aşırırlık	L , ZL , Z , SL

### 6.3.1.2. Toprak derinliği

Toprak derinliği, toprakla hava, bitki kökü ve suyun etkileştiği, toprağın üst kısmı ile altındaki kayalık zeminin arasındaki uzunluk olarak tanımlanabilmektedir. Toprağın su tutma kapasitesi ile derinliği doğru orantılıdır. Bu nedenle yağmur ile yüzeye temas eden su, derin topraklarda sığ topraklara göre daha fazla oranda tutulabilmekte, böylelikle erozyon seviyesi düşük seviyelerde kalmaktadır.

CORINE yönteminde toprak derinliği, aşağıda Çizelge 6.2.'deki gibi üç kategoride değerlendirilmiştir.

**Çizelge 6.2.** Toprak derinlik sınıflandırması

Toprak Derinliği		
Kod	Kod Tanımı	Derinlik ( mm. )
1	Az Aşırırlık	> 750
2	Orta Aşırırlık	250 - 750
3	Yüksek Aşırırlık	< 250

### 6.3.1.3. Toprak taşlılığı

Toprak içerisinde, çapları 20 mm.' den büyük olan kaya parçaları (taş parçaları ve çakıllar) toprağın iskeleti olarak adlandırılmaktadır. Bu danelerin topraktaki miktarı ne kadar çok olursa, erozyonla toprak kaybı o derecede az olmaktadır. Toprak yüzeyi üzerindeki taşlar ve çakıllar, altındaki toprağı yağmur damlalarının çarpma etkisinden ve sıçrayarak dağılmalarından korur. [16].

CORINE yönteminde toprak taşlılığı, arazide çapı 20 mm.'den büyük taşların % 10'dan fazla oranda olması yada olmaması şeklinde değerlendirilmekte ve Çizelge 6.3.'deki gibi dikkate alınmaktadır.

**Çizelge 6.3.** Toprak taşlılık sınıflandırması

Toprak Taşlılığı		
Kod	Kod Tanımı	Arazide Taşla Kaplı Alan Oranı
1	Tamamen Korunan	> % 10
2	Tamamen Korunmayan	≤ % 10

Aşınabilirliği hesaplamak amacı ile CORINE yönteminde bünye, derinlik ve taşlılık sınıflandırma çizelgelerinde yer alan kod değerleri matematiksel olarak birbirleri ile çarpılmakta, elde edilen sonuçlar, Çizelge 6.4.'deki şekilde kendi içersinde yeniden sınıflandırılmaktadır.

$$\text{Toprak Aşınabilirlik Değeri} = \text{Bünye Sınıf Kod Değeri} \times \text{Derinlik Sınıf Kod Değeri} \times \text{Taşlılık Sınıf Kod Değeri} \quad (6.1)$$

**Çizelge 6.4.** Toprak aşınabilirliği

Toprak Aşınabilirliği		
Kod	Kod Tanımı	Değer
0	Aşınırlık Yok	0
1	Aşınırlık Düşük	> 0 - 3
2	Aşınırlık Orta	> 3 - 6
3	Aşınırlık Yüksek	> 6

### 6.3.2. Aşındırıcı güç (Erosivite)

Yağış, sıcaklık ve rüzgar gibi iklimle ilgili etkiler, erozyon derecesini etkileyen nedenler arasında yer almakta, özellikle uzun süren bol ve kısa süreli sağanak şeklinde yağışların erozyonla taşınan toprak miktarını artırdığı düşünülmektedir.

CORINE yönteminde erozyon derecesine aşındırıcı güç etkisini belirlemek amacı ile, bölgenin yağış bilgilerinden hesaplanan Fournier yağış indeksi ve hava sıcaklığı bilgilerinden hesaplanan Bagnouls – Gaussen kuraklık indeksi birlikte değerlendirilmektedir.

### 6.3.2.1. Fournier yağış indeksi

Erozyon konusunda çalışan model geliştiriciler yağışla ilgili olarak, yağışın yoğunluğu ve miktarı gibi bilgileri de modellerine dahil etmektedirler. Örneğin, erozyon ile kaybedilen toprak miktarını belirlemek amacı ile geliştirilen USLE (Universal Soil Loss Equation) modelinde, yağışın toplam kinetik enerjisi ve yağışın 30 dakikalık en yüksek şiddeti dikkate alınmaktadır [15].

CORINE yönteminde yağışın erozyona olan etkileri Fournier yağış indeksi ile sağlanmakta ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Fournier yağış indeksi} = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \quad (6.2)$$

Formülde;

$P_i$  : (i) ayındaki toplam yağış miktarı (mm.)

$P$  : yıllık ortalama toplam yağış (mm.) dir.

Fournier yağış indeksinden çıkan sonuçlar Çizelge 6.5.'de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır.

**Çizelge 6.5.** Fournier yağış indeksi sınıflandırması

Fournier Yağış İndeksi Sınıflandırması		
Kod	Kod Tanımı	Değer
1	Çok Düşük	< 60
2	Düşük	60 – 90
3	Orta	91 – 120
4	Yüksek	121 – 160
5	Çok Yüksek	> 160

### 6.3.2.2. Bagnouls - Gaussen kuraklık indeksi

Erozyon riski altındaki bölgelerde erozyon seviyesini, yağış etkisi yanında; yaz-kış, gece gündüz arasındaki sıcaklık farkları ve ani ısı değişimleri de önemli derecede etkilemektedir.

Sıcaklığın düşmesi ile toprak donabilmekte, böylece suyun toprağa nüfuzu azalmakta, yüzey akışı artmakta dolayısıyla erozyon miktarı da artmaktadır [17].

CORINE yönteminde kuraklığı belirlemek için sıcaklık ve yağış bilgilerinin birlikte değerlendirildiği Bagnouls - Gaussen kuraklık indeksi, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Bagnouls - Gaussen kuraklık indeksi} = \sum_{i=1}^{12} (2t_i - P_i)k_i \quad (6.3)$$

Formülde;

$t_i$  : ( i ) ayı için ortalama sıcaklık değeri  $C^0$

$P_i$  : ( i ) ayı için toplam yağış miktarı (mm.)

$k_i$  : (  $2t_i - P_i > 0$  ) olduğu ayların oranıdır.

CORINE yönteminde, Bagnouls – Gaussen kuraklık indeksi hesaplaması sonucunda çıkan değerler, aşağıda Çizelge 6.6.'daki gibi sınıflandırılmaktadır.

**Çizelge 6.6.** Bagnouls - Gaussen kuraklık indeksi

Bagnouls - Gaussen Kuraklık İndeksi		
Kod	Kod Tanımı	Değer
1	Islak	0
2	Nemli	0 – 50
3	Kuru	50 – 130
4	Çok Kuru	> 130

Bu parametreler birlikte kullanılarak aşındırıcı güç değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Aşındırıcı Güç} = \text{Fournier Yağış İnd.} \times \text{Bagnouls-Gaussen Kuraklık İnd.} \quad (6.4)$$

Hesaplama sonucunda elde edilen aşındırıcı güç değerleri, kendi içerisinde aşağıda Çizelge 6.7.'deki gibi sınıflandırılmaktadır.

**Çizelge 6.7.** Aşındırıcı güç indeksi sınıflandırması

Aşındırıcı Güç Sınıflandırması		
Kod	Kod Tanımı	Değer
1	Düşük	< 4
2	Orta	4 - 8
3	Yüksek	> 8

### 6.3.3. Topografya (Eğim)

Topografya yeryüzünün dış görünümüyle ilgili özelliklerin tanımlanması ile ilgili bir kavram olarak bilinmektedir. Bu özellikler düz, girintili çıkıntılı, eğimli, yüksek veya alçak gibi terimlerle tanıtılmaktadır. Söz konusu arazi özellikleri, bir bölgenin iklim koşulları (yağış, sıcaklık, hava hareketleri vb.), dolayısıyla bitki örtüsü ve hayvanlar dünyası üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bütün bu sebeplerden dolayı da erozyon seviyesi üzerinde topografik özellikler çok önemlidir [16].

CORINE yönteminde eğim bilgileri, oluşturulan sayısal yükseklik modelinde her bir birim hücre için eğim açısı değeri ayrı ayrı % olarak hesaplanmaktadır. CORINE yönteminde arazinin eğim durumunun sınıflandırması Çizelge 6.8.'deki şekilde yapılmaktadır.

Çizelge 6.8. Eğim sınıflandırması

Eğim Sınıflandırması		
Kod	Kod Tanımı	Değer (%)
1	Cok Hafif-Düz	< 5
2	Hafif Eğimli	5 - 15
3	Dik	15 - 30
4	Çok Dik	> 30

### 6.3.4. Bitki örtüsü

Toprak üzerinde yer alan bitki örtüsü, erozyon derecesi üzerinde etkili en önemli etken olarak bilinmektedir. Gerek yağın yağmur sularının doğrudan toprağa temasını önleyerek toprağın dağılmasını önlemesi, gerekse bitki tipine bağlı olarak, bitki köklerinin toprağı tutabilme özelliklerinden ötürü bitkiler erozyonu önleyici özelliğe sahiptir.

CORINE yönteminde bitki örtüsü, bitki örtüsünün tipine göre aşağıda Çizelge 6.9.'de gösterildiğı gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 6.9. Bitki örtüsü sınıflandırması

Bitki Örtüsü Sınıflandırması		
Kod	Kod Tanımı	Bitki Örtüsü Tipi
1	Tamamen Korunmalı	Orman, Çalılık, Mera
2	Tamamen Korumasız	Tarım Alanı, Cıplak Alan

### 6.3.5. Potansiyel erozyon riski

Potansiyel erozyon riski, arazi kullanımı ve bitki örtüsü durumu dikkate alınmaksızın toprağın erozyon hassasiyeti olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel erozyon riskinin yüksek olması, olabilecek en kötü durumdur [15].

CORINE yönteminde potansiyel erozyon riski; aşağıdaki formül yardımıyla elde edilmekte ve Çizelge 6.10.'daki gibi sınıflandırılmaktadır.

$$\text{Potansiyel Erozyon Riski} = \text{Aşınabilirlik} \times \text{Aşındırıcı Güç} \times \text{Eğim} \quad (6.5)$$

Çizelge 6.10. Potansiyel erozyon risk sınıflandırması

Potansiyel Erozyon Risk Sınıflandırması		
Kod	Kod Tanımı	Değer
0	Yok	0
1	Az	0 – 5
2	Orta	5 – 11
3	Yüksek	>11

### 6.3.6. Gerçek erozyon riski

Potansiyel erozyon riski yanında, bitki örtüsü ve arazi kullanım durumunun da incelenmesi ve bunların birlikte değerlendirilmesi sonucunda gerçek erozyon riski elde edilmektedir. CORINE yönteminde, gerçek erozyon riskinin belirlenmesinde potansiyel erozyon risk bilgileri ile bitki örtüsü bilgileri kullanılmakta ve aşağıda Çizelge 6.11.'deki şekilde elde edilmektedir [15].

Çizelge 6.11. Gerçek erozyon risk sınıflandırması

	Gerçek Erozyon Risk Değeri			
	Potansiyel Erozyon Risk Değeri			
	Yok(0)	Az (1)	Orta (2)	Yüksek (3)
Bitki Örtüsü	1	0	1	2
	2	0	1	2

#### 6.4. Erozyon Risk Değerlendirmesinde ICONA Yöntemi

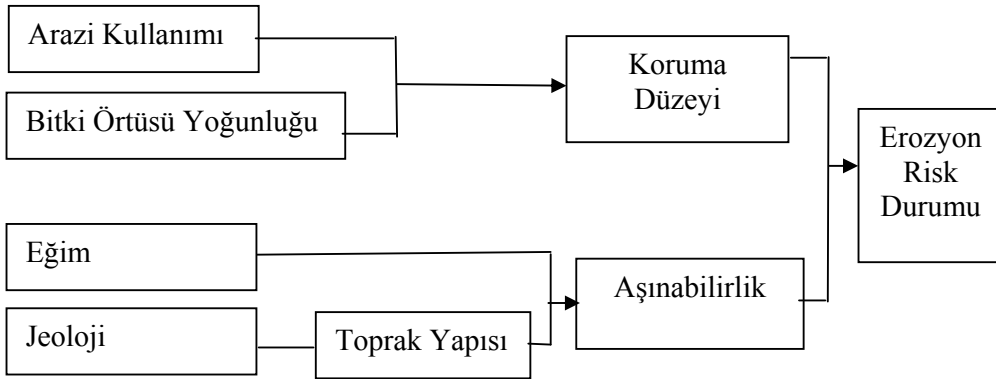
ICONA (Institut National pour la Conservation de la Nature) yöntemi, İspanya Doğal Kaynakları Koruma Genel Müdürlüğü (DGCONA) tarafından geliştirilmiş ve halen kullanılmakta olan erozyon risk belirleme yöntemidir.

ICONA yöntemi geliştirildikten sonra, erozyon seviyesi değerlerinde ve üretilen haritalarda standardın yakalanması amacı ile UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) standartları ile bütünleştirilmiştir [18].

ICONA yönteminde bir havza veya bölge için, arazi kullanımı, bitki örtüsü yoğunluğu, topografik (eğim) durumu ve bölgenin jeolojik özellikleri değerlendirilerek, bölgenin erozyon risk durumu belirlenebilmektedir.

Bölge özellikleri ile ilgili bu dört ana değişken kullanılarak; arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğu bilgilerinden toprak koruma düzeyi, topografik yapı (eğim) ve jeolojik özelliklerinden de aşınabilirlik bilgilerini gösteren haritalar üretilebilmektedir. Yöntemin son bölümünde ise, elde edilen bu iki harita birlikte değerlendirilerek, Şekil 6.6.'daki akış şemasında gösterilen erozyon risk durumu elde edilmektedir.

ICONA yönteminde değişkenler arasındaki ilişkiler ve değerlendirmeler, karar matrisleri yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 6.6. ICONA Yöntemi akış şeması

#### 6.4.1. Arazi kullanımı

Arazi kullanım değişkeni bilgileri ICONA yönteminde, toprak koruma düzeyinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Arazi kullanım bilgileri Uzaktan Algılama teknikleri içerisinde yer alan, eğitimli sınıflandırma yardımıyla elde edilebileceği gibi lkemizde, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan il arazi varlığı envanter bilgilerinden de elde edilebilmektedir.

ICONA yöntemine göre arazi kullanım sınıfları altı gruba ayrılmıştır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Kuru Tarım Alanları
2. Meyvelik, Bağlık- Bahçelik Alanlar
3. Sulu Tarım Alanları
4. Orman Alanları
5. Çalılık ve Maki Alanları
6. Mera, Seyrek alılık ve Diğer Alanlar

#### 6.4.2. Bitki rts yoğunluğu

Bitki rts, otsu bitkilerden oluşan tarım ürünleri, ayır, meralık alanlardan oluşabileceği gibi çalı ve orman toplulukları gibi odunsu bitkiler tarafından da oluşabilmektedir [3,4]. Erozyon derecesini buradaki bitkilerin çeşitliliği, tipleri ve yoğunlukları önemli miktarda etkilemektedir.

ICONA yönteminde, bitki örtüsü yoğunluğu değişkeninin oluşturulması, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) normalleştirilmiş bitki farklılık indeksi yardımı ile yapılmaktadır. Bitki rts yoğunluğu ICONA yönteminde, aşağıdaki izelge 6.12.'deki şekilde dört gruba ayrılmıştır.

**Çizelge 6.12.** Bitki rts yoğunluğu

Kod	Kod Tanımı	Değer
1	Az Yoğun	%0 - %25
2	Orta Yoğun	%25 - %50
3	Yoğun	%50 - %75
4	ok Yoğun	%75 - %100

### 6.4.3. Toprak koruma düzeyi

Toprağın erozyona karşı korunma düzeyine, bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanımı durumu etkili olması nedeni ile koruma düzeyi, Çizelge 6.13.'de verilen karar matrisi ile belirlenebilmektedir.

Çizelge 6.13. Toprak koruma düzeyi karar matrisi

Arazi Kullanımı	Toprak Koruma Düzeyleri			
	Bitki Örtüsü Yoğunlukları			
	1 (%0 - %25)	2 (%25 - %50)	3 (%50 - %75)	4 (%75 - %100)
1	5 (MB)	5 (MB)	4 (B)	4 (B)
2	5 (MB)	5 (MB)	4 (B)	3 (M)
3	3 (M)	2 (A)	1 (MA)	1 (MA)
4	4 (B)	3 (M)	2 (A)	1 (MA)
5	5 (MB)	4 (B)	3 (M)	2 (A)
6	5 (MB)	4 (B)	3 (M)	2 (A)

Toprak koruma düzeyleri çizelgesinde (A), (MB) vb. gibi simgesel olarak kısaltılmış bilgilerin anlamları aşağıdaki Çizelge 6.14.'de verilmiştir.

Çizelge 6.14. Toprak koruma düzeyleri (Simgeler ve anlamları)

Kod	Toprak Koruma Düzeyi	Kod Tanımı
1	MA	Cok Az
2	A	Az
3	M	Orta
4	B	Yüksek
5	MB	Cok Yüksek

### 6.4.4. Topografya (Eğim)

ICONA yönteminde kullanılan topografya (eğim) bilgileri, aşınabilirlik derecesinin belirlenmesinde, jeolojik durumla ilgili bilgilerle birlikte değerlendirilmektedir.

ICONA yöntemindeki eğim sınıfları ve özellikleri Çizelge 6.15.'de verilmiştir.

Çizelge 6.15. Eğim sınıflandırması

Kod	Eğim Sınıflandırması
1	Düz-Cok az eğim(%0-%3)
2	Orta eğim(%3-%12)
3	Dik eğim(%12-%20)
4	Cok dik eğim (%20-%35)
5	Sarp (> %35)

#### 6.4.5. Jeoloji (Litopedoloji – Toprak yapısı)

Toprağı meydana getiren ana taş veya ana malzemelerin farklı jeolojik oluşum özelliklerine sahip oldukları bilinmektedir. Buna bağlı olarak da aşınma ve taşınmaya karşı farklı direnç veya eğilim göstermektedirler [17].

ICONA yönteminde kullanılan jeolojik durumla ilgili bilgilerde, bünye durumu vb. bilgilere değinilmeden sadece çalışma bölgesinin jeolojik durumun sınıflandırılması yoluna gidilmektedir. Bu sınıflandırma aşağıda Çizelge 6.16.'da verilmiştir.

Çizelge 6.16. Jeoloji (Litopedoloji – Toprak Yapısı) sınıflandırması

Kod	Jeolojik Sınıflandırma
A	Çok sert kayalar
B	İyi kaynaşmış, kalker kayalar
C	Kompakt silisli kayalar
D	Gevşek yapıda, az dayanıklı kayalar ve yumuşak formasyonlar
E	Killer, siltler, kumlar ve dördüncü zamana ait yığılmalar (depositler)

#### 6.4.6. Aşınabilirlik

Aşınabilirlik değişkeninin belirlenmesinde, eğim değişkeni ile jeoloji değişkeni bilgileri ile birlikte analizi edilmekte ve iki değişken arasındaki çözümlene Çizelge 6.17.'de verilen karar matrisi yardımıyla yapılmaktadır.

Çizelge 6.17. Aşınabilirlik karar matrisi

Eğim	Aşınabilirlik Durumu				
	Jeoloji Sınıflandırması				
Kod	A	B	C	D	E
1	1 (EN)	1 (EN)	1 (EN)	1 (EN)	2 (EB)
2	1 (EN)	1 (EN)	2 (EB)	3 (EM)	3 (EM)
3	2 (EB)	2 (EB)	3 (EM)	4 (EA)	4 (EA)
4	3 (EM)	3 (EM)	3 (EM)	4 (EA)	5 (EX)
5	4 (EA)	4 (EA)	5 (EX)	5 (EX)	5 (EX)

Aşınabilirlik düzey çizelgesinde (EN), (EX) vb. gibi simgesel olarak kısaltılmış bilgilerin anlamları aşağıdaki Çizelge 6.18.'de verilmiştir.

**Çizelge 6.18.** Aşınabilirlik durumu (Simgeler ve Anlamları)

Kod	Aşınabilirlik	Kod Tanımı
1	EN	Çok Az Aşınır
2	EB	Az Aşınır
3	EM	Orta Aşınabilirlik
4	EA	Şiddetli Aşınabilirlik
5	EX	Çok Şiddetli Aşınabilirlik

ICONA yönteminin sonuç bölümünde, toprak koruma düzeyi ve aşınabilirlik değişken bilgileri, aşağıdaki Çizelge 6.19.'daki erozyon risk durum karar matrisi yardımıyla birlikte değerlendirilerek erozyon risk durumu elde edilmektedir.

**Çizelge 6.19.** Erozyon risk durumu karar matrisi

		Erozyon Risk Durumu				
		Toprak Koruma Düzeyi				
		1 (MB)	2 (B)	3 (M)	4 (A)	5 (MA)
Aşınabilirlik	1	1	1	1	2	2
	2	1	1	2	3	4
	3	1	2	3	4	4
	4	2	3	3	5	5
	5	2	3	4	5	5

Erozyon risk durum çizelgesi sınıflandırma ve tanımları Çizelge 6.20.'deki gibidir.

**Çizelge 6.20.** Erozyon risk durumu karar matrisi anlamları

Kod	Erozyon Risk Durumu
1	Çok Az
2	Az
3	Orta
4	Şiddetli
5	Çok Şiddetli

## 6.5. Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP) Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977 yılında ise Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek, karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir duruma getirilmiştir [19].

AHP, karar teorisinde yaygın uygulama alanı bulunan bir yöntem olup birbirleriyle çelişen, ölçülebilir ve/veya soyut ölçütleri dikkate alan bir ölçme yöntemidir. AHP bir karar verme durumunda, veriler kadar değerli olan bilgi ve deneyimlerin de dikkate alınması ilkesine dayanır. AHP kişisel kararlardan karmaşık işletme kararlarına kadar geniş bir alanda kullanılabilen bir araçtır. Teorinin başarısı, basitliğinden ve değişik koşulların her birinde aynı şekilde kullanılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır. AHP ile karar verme süreci aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır [20].

1. Karmaşık ve düzensiz bir problemin parçalara (alt ölçütlere) ayrılması, başka bir anlatımla, problemin temel ölçütlerini ve bu ölçütler arasındaki ilişkileri gösteren bir modelin oluşturulması.

2. İlgili alt ölçütleri gruplayıp düzenleyerek hiyerarşik bir yapının oluşturulması. Burada oluşturulan hiyerarşik yapı ölçütler arasındaki fonksiyonel bağımlılık ilişkisini yansıtmak şeklinde olmalıdır. Bu ilişkileri oluştururken değerlendirmeler probleme ilişkin olarak elde edilen bilgileri ve karar vericinin duygularını da yansıtmalıdır.

3. Aynı gruptaki diğer alt ölçütlere bağlı olarak, alt ölçütün algılanan önemine bağlı olarak, her bir alt ölçüte sayısal değerler verilmesi, bir başka deyişle, değerlendirmelerin anlamlı sayılarla belirtilmesi.

4. Hiyerarşinin alt ölçütlerinin önceliğini belirlemek için bu değerlerin kullanılması.

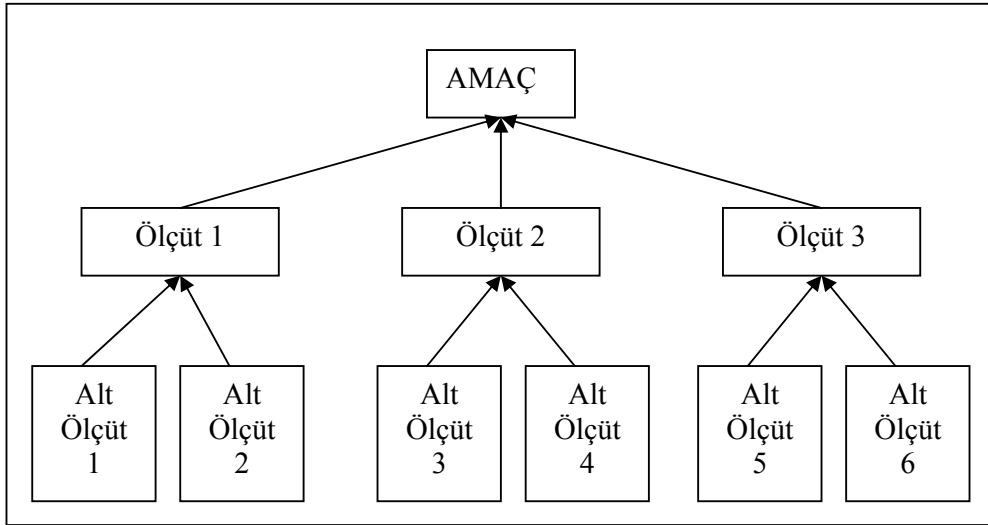
5. Karar alternatiflerini belirlemek için bu önceliklerin birleştirilmesi, genel sonuç için daha önceki aşamada elde edilen değerlerin sentezlenmesi.

6. Daha önce alt ölçütlere verilen sayısal değerleri değiştirerek son kararın duyarlılığının analiz edilmesi, bir başka anlatımla, nesnel değerlerde değişiklik yaparak verilen kararın incelenmesi.

### 6.5.1. Hiyerarşik model

AHP de, karar vericinin amacı doğrultusunda ölçütlerin ve ona ait olan alt ölçütlerin belirlenip, hiyerarşik yapının oluşturulması ilk adımdır. AHP de, öncelikle amaç belirlenmekte ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen ölçütler ortaya konulmaktadır. Daha sonra ölçütler göz önüne alınarak potansiyel alternatifler belirlenmektedir. Böylelikle karar vermek için hiyerarşik bir yapı ortaya konulmaktadır [21].

AHP modelinde hiyerarşinin en üstünde bir amaç; bu amacın altında sırasıyla ölçütler ve alt ölçütler aşağıda Şekil 6.7.'deki basit bir hiyerarşik yapıyı oluşturmaktadır.



Şekil 6.7. Hiyerarşik Yapı

### 6.5.2. İkili karşılaştırmalar

AHP'de en önemli bölümlerinden bir tanesi, oluşturulan hiyerarşik modelde yer alan ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlendirmelerinin yapıldığı ikili karşılaştırmalar kısmıdır. Her bir seviyedeki ölçütler, kendilerinden bir üst seviyedeki ölçüte göre ikili olarak karşılaştırılır. Bu işlemler en alt seviyedeki seçeneklerden başlanılıp, en üst seviyede yer alan amaca kadar hiyerarşik bir şekilde tekrarlanır.

Değerlendirmelerin yapılabilmesi ve öncelik derecelerinin belirlenebilmesinde sayısal değerlerden yararlanılmaktadır. Bu bölüm için aşağıda Çizelge 6.21.'de Saaty tarafından geliştirilen AHP değerlendirme ölçeğinden yararlanılmaktadır.

**Çizelge 6.21.** AHP değerlendirme ölçeği [22]

Sayısal Değer	Açıklama
1	Ölçütler eşit öneme sahip.
3	1. ölçüt 2.'ye göre biraz daha önemli veya biraz daha tercih ediliyor.
5	1. ölçüt 2.'ye göre fazla önemli veya fazla tercih ediliyor.
7	1. ölçüt 2.'ye göre çok fazla önemli veya çok fazla tercih ediliyor.
9	1. ölçüt 2.'ye göre olası en kuvvetli öneme sahip veya tercih ediliyor
2, 4, 6, 8	Ara değerler, uzlaşma gereken durumlarda kullanılmaktadır.

Değerlendirme ölçeğine göre ikili karşılaştırmalar sonunda belirlenen öncelik değerleri aşağıda A gibi bir kare matris oluşturmaktadır. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerinde yer alan elemanların değerleri 1'e eşit olmaktadır. Bunun nedeni, her bir elamanın kendisi ile karşılaştırıldığı durumda birbirlerine göre eşit öneme sahip olmalarıdır. Burada;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} = [a_{ij}]_{n \times n} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6.6)$$

$n$  : Değerlendirmede kullanılan ölçüt sayısını,

$i, j$  : Değerlendirmede kullanılan ölçütler,

$a_{ij}$  :  $i$  ölçütünün  $j$  ölçütüne göre önem derecesini göstermektedir.

Karşılaştırmalar, karşılaştırma matrisinin köşegenleri 1 değerinde olan kısmının üstündeki bölge elemanları için yapılmakta, alt kısım ise aşağıdaki formülde belirtilen özellik nedeni ile doğal olarak bu bölüm elemanlarının tersi olmakta ve A matrisinin yeni şekli aşağıdaki gibi oluşmaktadır [19].

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (6.7)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (6.8)$$

### 6.5.3. Ağırlıkların (Önceliklerin) belirlenmesi

AHP ile bir problemin çözümlenmesi, ikili karşılaştırmaları yapılan ölçütlerin ağırlıkları yada öncelikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Matris özelliklerinin ve matematiksel matris işlemlerinin kullanıldığı AHP yönteminde, ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi, ikili karşılaştırma matrisinin özdeğeri ve özvektörü yardımı ile yapılmaktadır. Burada özvektörler ağırlıkların belirlenmesinde, özdeğerler ise yapılan karşılaştırmaların tutarlılığının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Bu nedenle, AHP yönteminde ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulduktan sonra, karşılaştırma matrisinin özvektörleri ve özdeğerleri hesaplanmaktadır.

Karşılaştırma matrisinde karşılaştırmaları yapılan  $i$  ve  $j$  elemanlarının ağırlıklarını  $w_i$  ve  $w_j$  olarak gösterilirse, Bölüm 6'daki formül (6.7) aşağıdaki şekli almaktadır [23,24,25].

$$a_{ji} = \frac{w_i}{w_j} \quad (6.9)$$

Bu durumda formül (6.8)'de gösterilen A matrisi aşağıdaki şekli almaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (6.10)$$

Ölçütlerin ikili karşılaştırmalarında hiçbir tutarsızlığın olmadığı durumda, matris özelliği nedeni ile aşağıdaki eşitlik yazılabilmektedir [25,26].

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik} \quad i, j, k = 1 \dots, n \quad (6.11)$$

AHP de ağırlık (önceliklerin) vektörü W 'nin belirlenmesi aşağıdaki formül yardımıyla yapılmaktadır [25].

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad \Lambda \quad w_n]^T \quad (6.12)$$

Burada;

w: Ağırlık vektörüdür.

$$w_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \quad i = 1 \dots, n \quad (6.13)$$

Bu formül matris özelliklerinden faydalanılarak sade biçimde aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Formül (6.13)'de; n karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğeri, w ise AHP de öncelikleri temsil eden özdeğerlere bağlı özvektörlerdir [21].

İkili karşılaştırmalarda belirlenen önem dereceleri, görsel gözlemleri içermesi, deneyimlere dayalı olması kısaca bazı hatalarla yüklü olması nedeni ile gerçek yaşamdaki uygulamalarda formül (6.11)'deki eşitlik gerçekleşmez. Bu durumda;

$$a_{ij} \cdot a_{jk} \neq a_{ik} \quad (6.14)$$

eşitsizliği ortaya çıkmaktadır [23,27].

İkili karşılaştırmaların yüzde yüz tutarlı olamaması nedeniyle, karar matrisinin en büyük özdeğeri, n değerine eşit olmamakta, n değerine yakın bir değer hesaplanmaktadır [23,28].

Bu nedenle, Saaty tarafından geliştirilen ve özvektör yaklaşımı olarak isimlendirilen yöntemde, ağırlıkları gerçeğe en yakın değerde yansıtılabilmek için aşağıdaki formül kullanılmıştır [19,25,26].

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \quad i = 1, \dots, n \quad (6.15)$$

Burada;

$\lambda_{\max}$ : İkili karar matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektördür.

Saaty tarafından uygulanan özvektör yaklaşımı ile karşılaştırmaların tutarlılığı da değerlendirilebilmektedir.

Ağırlık veya önceliklerin belirlenmesi karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için matrisin sütun elemanları her bir sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Elde edilen matristeki satır elemanları toplanır ve toplam değer satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylelikle öncelik vektörü yada ağırlık vektörü elde edilmiş olur.

#### 6.5.4. Tutarlılık değerlendirmesi

Ölçütlerin birbirlerine göre önem sınıflandırmasının gerçeğe yakınlığı, tutarlılığın bir göstergesidir.

Tutarlılık oranını Saaty, tutarlılık indeksi ve rastgele indeks kullanarak aşağıdaki formül ile hesaplamıştır [27,28,29,30].

$$T.O. = \frac{T.I.}{R.I.} \quad (6.16)$$

$$T.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6.17)$$

Burada;

T.O. : Tutarlılık oranı,

T.İ. : Tutarlılık indeksi,

R.İ. : Rastgele indeksi göstermektedir.

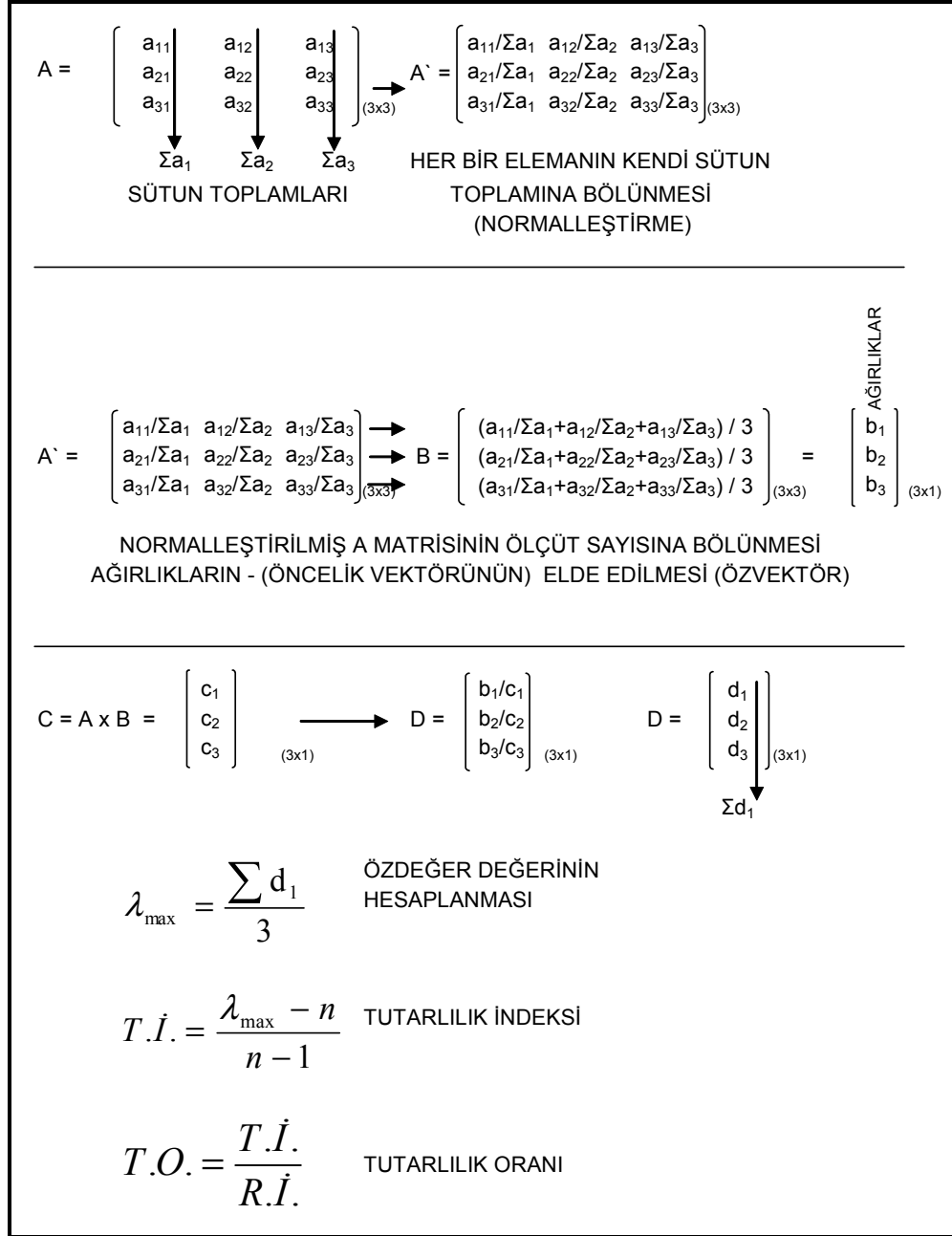
Tutarlılık oranını hesaplamak amacıyla, Saaty rastgele indeks değerlerini gösteren bir çizelge ortaya koymuştur. Çizelgede, değerlendirilen ölçüt sayısına göre indeks değerleri yer almaktadır. Saaty tarafından belirlenen rastgele indeks çizelgesi, Çizelge 6.22.'de verilmiştir.

**Çizelge 6.22.** Rastgele indeks değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8
R.İ.	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41

Tutarlılık oranı 0,10' dan küçük olduğu durumlar, önem sınıflandırmasının gerçeğe yakınlığı veya tutarlı olması olarak değerlendirilmektedir. Bu oranın 0,10' dan büyük çıkması durumunda önem sınıflandırması tekrar gözden geçirilmesi ve yeniden sınıflandırma yapılması gerekmektedir.

Üç ölçütten oluşan bir AHP uygulamasında gerçekleştirilen işlem adımları aşağıdaki Şekil 6.8.'deki gibidir.



## 7. YENİ BİR EROZYON RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ İÇİN AHP ANALİZİNİN CORINE ve ICONA YÖNTEMLERİNE UYGULANMASI

Bu çalışmada, günümüzde birçok alanda başarı ile uygulanmakta olan AHP yönteminin, değişik ölçüt ve alt ölçüte sahip erozyon risk değerlendirme yöntemlerine uygulanması üzerinde durulmuştur.

Bir bölgede erozyon riskini belirlemek için geliştirilen yöntemler ve kullanılan veriler incelendiğinde, her bir yöntemde farklı değişkenlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır.

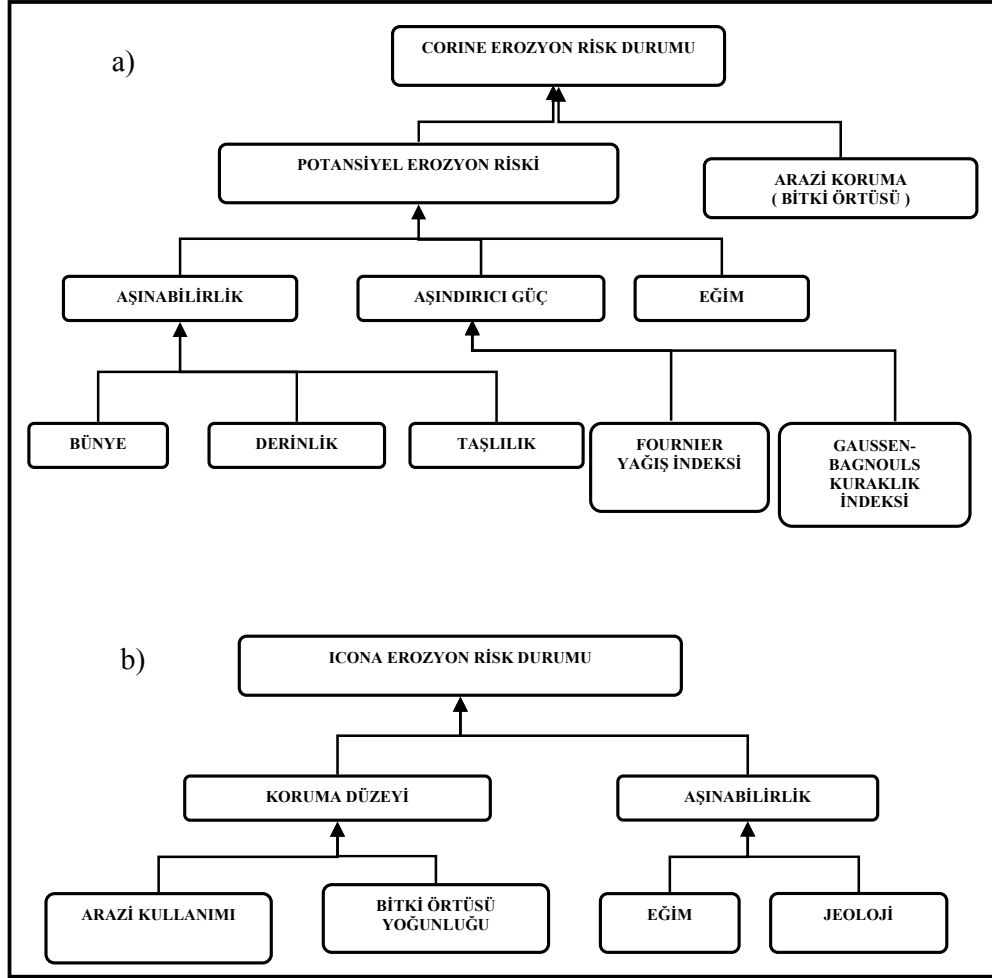
Çalışmada AHP yöntemi yardımıyla birleştirilmesi amaçlanan CORINE ve ICONA yöntemlerinde kullanılan değişkenlerin düzey düzeninde olduğu bilinmektedir. Bu iki yöntem kullanılarak oluşturulacak yeni erozyon değerlendirme çalışmasının ilk bölümünü, yöntemlerin düzey düzenleri ve değişkenlerin incelenmesi oluşturmaktadır.

İki yöntemin düzey düzeninin birlikte gösterildiği Şekil 7.1.'de düzey düzeni açısından en önemli farkın, kullanılan ölçüt düzeylerinde olduğu görülmüştür. CORINE yöntemi düzey düzeni üç bölümden oluşmasına karşılık, ICONA yönteminde iki bölümden oluşmaktadır.

CORINE yönteminde, birinci düzey ölçütleri; potansiyel erozyon riski ve arazi koruma, ICONA yönteminde ise koruma düzeyi ve aşınabilirlik değişkenleri oluşmaktadır.

Her iki yöntem ikinci düzey ölçütler yönünden karşılaştırıldığında ise, CORINE yönteminde aşınabilirlik, aşındırıcı güç ve eğim ikinci düzey ölçütleri yer alırken, ICONA yönteminde arazi kullanımı, bitki örtüsü yoğunluğu, eğim ve jeolojik yapı değişkenleri yer almaktadır.

CORINE yönteminde üçüncü düzey değişkenlerini, çalışma alanının toprak özellik bilgilerini ve bölgenin iklim özelliklerini yansıtan yağış ve kuraklık indeksleri oluşturmakta, ICONA yönteminde ise üçüncü düzeyde herhangi bir değişken yer almamaktadır.



Şekil 7.1. Kullanılan erozyon yöntemleri, a) CORINE b) ICONA

Her iki yöntemin temel düzeylerini oluşturan ölçütlerin yanında bu ölçütlerin içeriklerinin de karşılaştırılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

ICONA yönteminde ikinci düzeyde, koruma düzeyi ölçütü altında yer alan bitki örtüsü değişkenine, CORINE yönteminde daha fazla önem verilmiş ve birinci düzeyde değerlendirilmiştir. Buna karşılık CORINE yönteminde bitki örtüsü, arazide bitki olup olmasına göre iki durumda değerlendirilmekte ve hesaplamalarda kullanılmaktadır. ICONA yönteminde ise, bitki örtüsü yoğunluğu değişkeninin belirlenmesinde arazideki bitki yoğunluğu durumu dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada ortaya konulmaya çalışılan yeni yöntemde, erozyon değerine fazla etkisi olduğu bilinen bitki örtüsü yoğunluğu değişkeni için,

yoğunluk incelemesine dayalı ICONA yöntemindeki değerlendirmenin kullanılması uygun bulunmuştur.

CORINE yönteminde yer alan eğim değişkeni, aşınabilirlik ve aşındırıcı güç değişkenleri ile birlikte ikinci düzeyde değerlendirilmiştir. ICONA yönteminde ise eğim, aşınabilirlik olarak isimlendirilen değişkenin belirlenmesinde jeoloji ile birlikte hesaplamalara katılmıştır. Eğim değişkeninin CORINE yönteminde doğrudan ikinci düzeyde değerlendirilmesi, sonuçlara etkisinin ICONA yöntemine göre fazla olduğunu göstermektedir. Eğim değişkeninin sahip olduğu sınıf aralıkları iki yöntemde karşılaştırıldığında, CORINE yönteminde dört sınıfın, ICONA yönteminde ise beş sınıfın olduğu görülmektedir. ICONA yönteminin eğim sınıflandırması yardımıyla, çalışılan bölgenin topografik durumunun daha gerçekçi yansıtıldığı düşünülmüş ve yeni yöntemde bu sınıflandırma dikkate alınmıştır.

ICONA yönteminde ikinci düzeyde ve koruma düzeyi ölçütü altında bulunan arazi kullanım değişkeni, CORINE yönteminde dikkate alınmamıştır. Erozyon değerine etkisi olduğu bilinen arazi kullanım durumu, yeni ortaya konulmaya çalışılan yöntemde, ICONA yöntemindeki yapısına benzer durumda değerlendirmeye alınmıştır. ICONA yöntemindeki durumun aynı biçimde değerlendirilmeme nedeni, arazi kullanım durumu sınıflandırmasında beşinci sınıfta yer alan makilik alanların Çorum ili il arazi varlığı bilgileri içinde bulunmamasıdır. Bu nedenle, yeni ortaya konulmaya çalışılan yöntemde arazi kullanım değişkeni, ICONA yöntemine benzer yapıda ve beş sınıfta değerlendirilmiştir.

Meteorolojik etkilerin erozyon değerine etkisinin dikkate almak için CORINE yönteminde, ikinci düzey ölçütlerden aşındırıcı güç ölçütü altında bulunan Fournier yağış indeksi ve Gaussen-Bagnouls kuraklık indeksi değişkenleri kullanılmıştır. Gaussen-Bagnouls kuraklık indeksi hesaplamalarında yağış değerleri kullanıldığı için bu çalışmada ortaya konulmaya çalışılan yeni yöntemde, aşındırıcı güç değişkeni olarak Fournier yağış indeksi kullanılmıştır.

ICONA yönteminde ikinci düzeyde aşınabilirlik değişkeni altında değerlendirilen jeolojik yapı, CORINE yönteminde kullanılmamıştır. CORINE yönteminde sadece toprağın bünye, taşlılık ve derinlik özellikleri dikkate

alınmıştır. CORINE yönteminde kullanılan toprak bünye değişkeninin, ICONA yöntemindeki jeolojik yapı sınıflandırmasının bir sınıfını oluşturması nedeniyle, bölge jeolojisinin erozyona etkisini tam yansıtmadığı kanısına varılmıştır. Bu çalışmada ortaya konulmaya çalışılan yeni yöntemde, ICONA yöntemi jeolojik yapı değişkeninin kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

CORINE yöntemi aşınabilirlik değişkeni altında bulunan değişkenlerin yeni oluşturulacak yöntemde kullanılmamasının diğer bir nedeni de, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli ulusal toprak veri tabanının içerdiği bilginin eksik olmasıdır. Oluşturulan veritabanı bilgilerinde, ülkemiz toprakları özellikleri dikkate alınarak Çizelge 7.1.'deki biçimde 23 büyük toprak gurubu altında toplanmıştır.

**Çizelge 7.1.** Büyük toprak grupları

Sembol	Büyük Toprak Grubu
P	Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar
G	Gri Kahverengi Podzolik Topraklar
M	Kahverengi Orman Toprakları
N	Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar
CE	Kestanerengi Topraklar
D	Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar
T	Kırmızı Akdeniz Toprakları
E	Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları
B	Kahverengi Topraklar
U	Kireçsiz Kahverengi Topraklar
F	Kırmızımsı Kahverengi Topraklar
R	Rendzinalar
V	Vertisoller
Z	Sierozemler
L	Regosoller
X	Bazaltik Topraklar
Y	Yüksek Dağ Çayır Topraklar
A	Alüvyal Topraklar
H	Hidromorfik Topraklar
S	Alüvyal Sahil Topraklar
K	Kolüvyal Topraklar
C	Tuzlu-Alkali ve Tuzlu-Alkali Karışığı Topraklar
O	Organik Topraklar

Erozyon çalışmalarında yer alan toprağın bünye, derinlik ve taşlılık gibi üçlü kombinasyon durumlarını gösteren bilgiler bu veritabanında yer almamakta, sadece belirli büyük toprak gruplarını içine alan, değişik kombinasyonları içeren bilgiler bulunmaktadır.

Bu bilgileri içeren çizelgeler aşağıda Çizelge 7.2., Çizelge 7.3. ve Çizelge 7.4.'de verilmektedir.

**Çizelge 7.2.** Toprak drenaj – bünye kombinasyonu

A	Alüvyal Topraklar	Drenaj – Bünye Kombinasyonu				
		Drenaj	Bünye			
			İnce	Orta	Kaba	Çok Kaba
		İyi Drene Olmuş	1	2	3	
		Yetersiz Drenajlı	4	5	6	
		Fena Drenajlı	7	8	9	
		Aşırı Drenajlı				10

**Çizelge 7.3.** Toprak eğim – derinlik kombinasyonu

Büyük Toprak Grubu		Eğim – Derinlik Kombinasyonu					
Sembol	Anlamı	Eğim %	Derinlik (cm)				
			Derin 90+	Orta Derin 90-50	Sığ 50-20	Çok Sığ 20-0	Litozolik
P	Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar	A					
G	Gri Kahve Rengi Podzolik Topraklar	0-2	1	2	3	4	25
M	Kahverengi Orman Toprakları	B	5	6	7	8	26
N	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları						
CE	Kestanerengi Toprakları	C	9	10	11	12	27
D	Kırmızımsı Kestane Rengi Topraklar						
T	Kırmızı Akdeniz Toprakları	D	13	14	15	16	28
E	Kırmızı Kahverengi Akdeniz toprakları						
B	Kahverengi Topraklar	E	17	18	19	20	29
U	Kireçsiz Kahverengi Topraklar						
F	Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	F	21	22	23	24	30
R	Rendzinalar						
V	Vertisoller	30+	21	22	23	24	30
Z	Sierozemler						
L	Regosoller						
X	Bazatik Topraklar						
Y	Yüksek Dağ Çayır Toprakları						

**Çizelge 7.4.** Toprak eğim – derinlik kombinasyonu

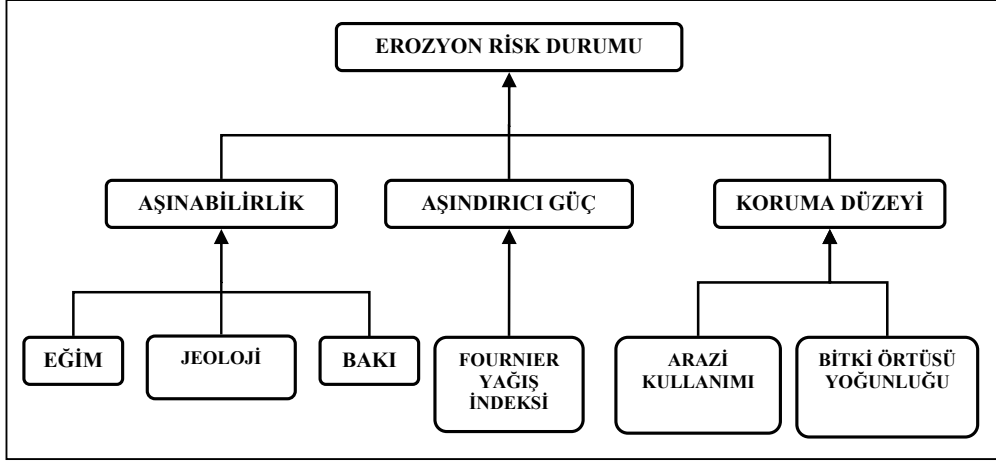
		Eğim - Bünye – Derinlik Kombinasyonu						
		Eğim %	Bünye	Derinlik				
				Derin	Orta Derin	Sığ	Çok Sığ	Lİtozolik
K	Kolüvyal Topraklar	A 0 - 2	İnce	1	2	3		32
			Orta	4	5	6		
			Kaba	7	8	9		
		B 2 – 6	İnce	10	11	12		33
			Orta	13	14	15		
			Kaba	16	17	18		
		C 6 – 12	İnce	19	20	21		34
			Orta	22	23	24		
			Kaba	25	26	27		
	D 12 – 20	Çeşitli	28	29	30	31	35	

Örneğin, Çizelge 7.4.'de sadece K – kolüvyal topraklar için eğim, derinlik ve bünye bilgileri bulunmakta, diğer büyük toprak grupları için bu kombinasyonları içeren bir çizelge bulunmamaktadır.

Erozyon değerini etkileyen bir diğer değişkende bakı olarak bilinmektedir. Erozyon konusunda çalışmış toprak bilimciler, bakının erozyon derecesine etkisini mantıksal nedenlere bağlamışlardır. Bu konuda çalışanlar güney yamaçlardaki toprakların kurak ve sıcak olduğunu, bu nedenle bu özelliğe sahip toprakların az miktarda organik madde içerdiğini belirtmişlerdir. Bu durumun ise, su geçirgenliğini azalttığını, bu nedenle de erozyon değerini artırdığını ortaya koymuşlardır [14].

Bu bilgiler sonucunda yeni oluşturulmaya çalışılan yöntemde, CORINE ve ICONA yöntemlerinden farklı olarak bakı etkisinin de dikkate alınmasının sonuçları daha gerçekçi etkileyeceği düşünülmüştür.

CORINE ve ICONA yöntemleri ölçütlerinin değerlendirilmesi sonucunda, yeni oluşturulan yöntemin düzey düzeninin yapısı aşağıda Şekil 7.2.'deki gibidir.



Şekil 7.2. Yeni oluşturulan sistemin düzey düzeni yapısı

## 8. YENİ EROZYON RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİNDE AHP’NİN SAYISAL UYGULAMASI

AHP yöntemine göre hiyerarşisi oluşturulan yeni erozyon risk değerlendirme çalışmasının, Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla uygulanabilmesi için, ölçütlerin ve alt ölçütlerin sayısal değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Sayısal değerlendirmenin ilk aşaması, yeni yöntemin amacını oluşturan, erozyon risk durumuna etki eden birinci düzey ölçütlerin (aşınabilirlik, aşındırıcı güç ve koruma düzeyi) ağırlıklarının veya önem değerlerinin belirlenmesidir.

Aşınabilirlik, aşındırıcı güç ve koruma düzeyi ölçütleri arasında Çizelge 8.1.’de görüldüğü gibi ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

**Çizelge 8.1.** Birinci düzey ölçütler arası ikili karşılaştırma matrisi

	Aşınabilirlik	Aşındırıcı Güç	Koruma Düzeyi
Aşınabilirlik	1	7	2
Aşındırıcı Güç	1/7	1	1/7
Koruma Düzeyi	1/2	7	1

Önem değerlerinin belirlenmesinde, Saaty tarafından ortaya konan Çizelge 6.21.’de verilen değerlendirme ölçeği kullanılmaktadır. Örneğin Çizelge 8.1.’deki değerlendirmede, aşınabilirlik ölçütü, aşındırıcı güç ölçütüne göre erozyon derecesine çok daha etkili veya çok daha önemli olarak değerlendirildiğinden 7 değerini uygun görülmüştür.

İkili karşılaştırma işlemi yapıldıktan sonra ağırlıkların belirlenmesi için karar matrisinin normalleştirilmesi gerekmektedir. Normalleştirme işlemi, karşılaştırma matrisini oluşturan elemanların sütun yapıda toplanması ve her bir sütun elemanının sütun toplamına bölünmesi şeklinde yapılmaktadır.

Her bir ölçütün ağırlığı ise, normalleştirilmiş ikili karar matrisinin satır elemanları toplamını ölçüt sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir.

Normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve belirlenen ağırlıklar Çizelge 8.2.’deki şekilde oluşmaktadır.

**Çizelge 8.2.** Birinci düzey ölçütler için, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve birinci düzey ölçütlerin ağırlıkları

	Aşınabilirlik	Aşındırıcı Güç	Koruma Düzeyi	Ağırlıklar
Aşınabilirlik	0,6087	0,4667	0,6364	0,5706
Aşındırıcı Güç	0,0870	0,0667	0,0455	0,0664
Koruma Düzeyi	0,3043	0,4667	0,3182	0,3630

Örneğin aşınabilirlik ölçütünün ağırlığı;

$$\text{Aşınabilirlik ölçütü ağırlığı} = (0,6087 + 0,4667 + 0,6364) / 3 = 0,5706$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Değerlendirmenin doğruluğu için, ölçütlerin birbirlerine göre önem sınıflandırmasının gerçeğe yakınlığı yada tutarlılığının da hesaplanması gerekmektedir.

Tutarlılık oranını hesaplamak için öncelikle ikili karar matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektörün hesaplanması gerekmektedir. Bu değer hesaplanması için, hesaplanan ağırlık matrisi ikili karşılaştırmalar matrisi ile çarpılmakta ve elde edilen matris elemanlarının her biri ağırlık matrisinin elemanlarına bölünmektedir. Bölüm işlemi sonucu bulunan matris elemanlarının toplanması ve ölçüt sayısına (yeni sistemde birincil düzey ölçüt sayısı 3) bölünmesi ile en büyük özvektör değeri ( $\lambda_{\max}$ ) bulunmaktadır.

Birinci düzey ölçütler yönünden değerlendirme yapıldığında  $\lambda_{\max} = 3,054$  olarak hesaplanmıştır.

Tutarlılık oranının hesaplanması için tutarlılık indeksi (T.İ.) ve rastgele indeks (R.İ.) değerlerinden yararlanılmaktadır.

Tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı aşağıdaki şekilde;

$$\text{T.İ.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3,054 - 3}{3 - 1} = 1,554$$

$$\text{T.O.} = \frac{\text{T.İ.}}{\text{R.İ.}} = \frac{1,554}{0,58} = 0,046515 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Burada;

n : Ölçüt sayısı, birinci düzey için n=3,

T.İ. : Tutarlılık indeksi,

R.İ. : Rastgele indeks, n=3 için 0,58 dir.

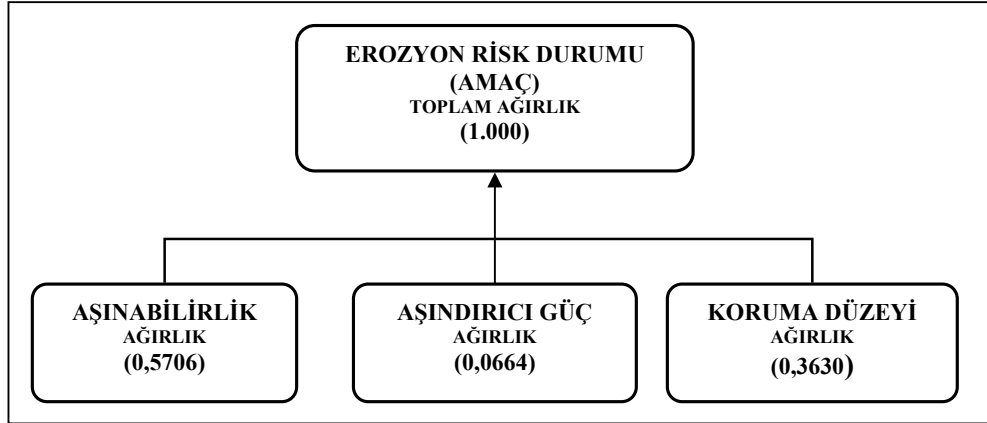
T.O. değerinin 0,10 değerinden küçük olması, değerlendirmelerin tutarlı yapıldığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Belirlenen ağırlık değerlerine göre erozyon risk durumu, matematiksel formül olarak;

$$\text{Erozyon Risk Durumu.} = 0,5706 \times \text{Aşınabilirlik} + 0,0664 \times \text{Aşındırıcı Güç} + 0,3630 \times \text{Koruma Düzeyi} \quad (8.1)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Erozyon risk durumu ve birinci düzey ölçütlerin ağırlıkları, hiyerarşik düzende aşağıda Şekil 8.1.'deki gibi gösterilebilmektedir.



Şekil 8.1. Erozyon risk durumu ve birinci düzey ölçütlerin ağırlıkları

Birinci düzey ölçütler için gerçekleştirilen bu hesaplamaların, diğer alt ölçütler içinde yapılması gerekmektedir.

Yeni yöntemde ikinci düzey ölçütler olarak yer alan, aşınabilirlik, aşındırıcı güç ve koruma düzeyi ölçütlerini oluşturan ölçütler içinde ağırlıklar belirlenmiş ve tutarlılık oranları hesaplanmıştır.

Aşınabilirlik ölçütüne etki eden, jeolojik yapı, bakı ve eğim gibi ikinci düzey alt ölçütlerin ikili karşılaştırmaları sonucu, aşağıda Çizelge 8.3.'deki aşınabilirlik ölçütü ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

**Çizelge 8.3.** Aşınabilirlik ölçütü için, ikinci düzey ölçütler ikili karşılaştırma matrisi

	Jeoloji	Bakı	Eğim
Jeoloji	1	7	3
Bakı	1/7	1	1/5
Eğim	1/3	5	1

Aşınabilirlik ölçütünün ikili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi ve aşınabilirlik ölçütünü oluşturan alt ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi birinci düzeyde uygulandığı şekilde yapılmıştır. Elde edilen normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar aşağıdaki Çizelge 8.4.'deki gibi elde edilmiştir.

**Çizelge 8.4.** Aşınabilirlik ölçütü için, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar

	Jeoloji	Bakı	Eğim	Ağırlıklar
Jeoloji	0,6774	0,4667	0,7143	0,6214
Bakı	0,0968	0,0667	0,0476	0,0678
Eğim	0,2258	0,4667	0,2381	0,3108

Aşınabilirlik ölçütü alt ölçütlerinin ağırlıklarının belirlenmesinde,  $\lambda_{\max} = 3,1043$  olarak hesaplanmıştır.

Tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı ise;

$$T.İ. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3,054 - 3}{3 - 1} = 0,0521$$

$$T.O. = \frac{T.İ.}{R.İ.} = \frac{0,0521}{0,58} = 0,0899 \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

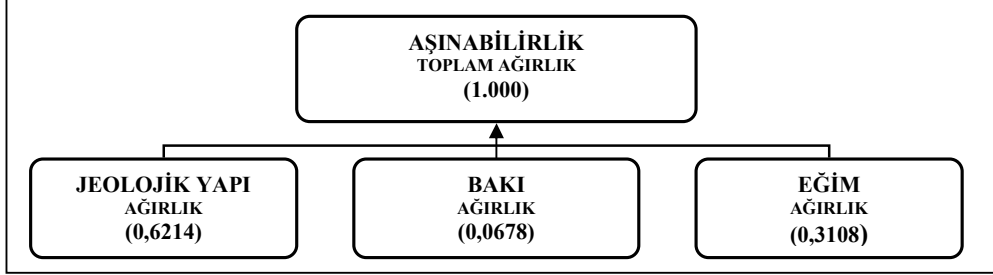
T.O. değerinin 0,10 değerinden küçük olması, yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılığını göstermektedir.

Aşınabilirlik ölçütünün alt ölçütleri için belirlenen ağırlık değerlerine göre aşınabilirliğin matematiksel formülü;

$$\text{Aşınabilirlik} = 0,6214 \times \text{Jeolojik Yapı} + 0,0678 \times \text{Bakı} + 0,3108 \times \text{Eğim} \quad (8.2)$$

olarak belirlenmiştir.

Aşınabilirlik ve ikinci düzey ölçütlerin ağırlıkları, hiyerarşik düzende aşağıda Şekil 8.2.'deki gibi oluşmaktadır.



Şekil 8.2. Aşınabilirlik ölçütü ve ikinci düzey ölçütlerin ağırlıkları

Aşındırıcı güç ölçütü yeni yöntemde herhangi bir alt ölçüt içermemesi nedeniyle, birinci düzey ölçütlerde belirlenen şekilde hesaplamalara katılmıştır.

Koruma düzeyi ölçütüne etki eden, arazi kullanımı ve bitki yoğunluğu gibi ikinci düzey alt ölçütlerin ikili karşılaştırmaları sonucu aşağıda Çizelge 8.5.'deki koruma düzeyi ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 8.5. Koruma düzeyi ikili karşılaştırma matrisi

	Bitki Yoğunluğu	Arazi Kullanımı
Bitki Yoğunluğu	1	3
Arazi Kullanımı	1/3	1

Koruma düzeyi ölçütünün ikili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi ve koruma düzeyi ölçütünü oluşturan alt ölçütlerin ağırlıkları aşağıdaki Çizelge 8.6.'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 8.6. Koruma düzeyi ölçütü için, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar

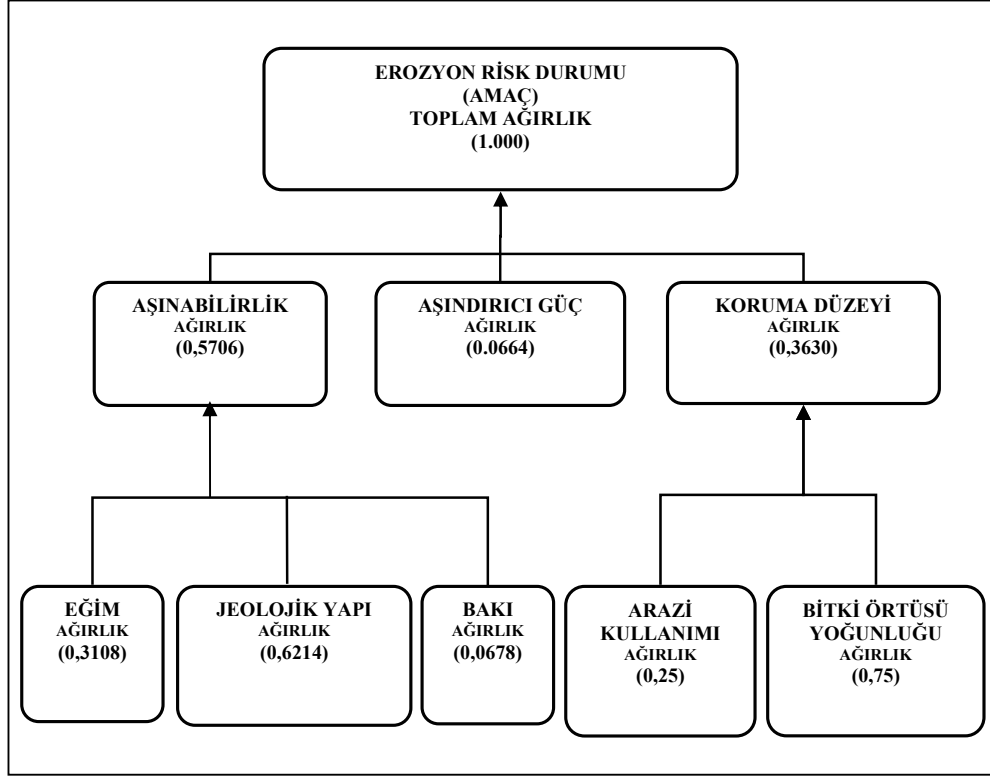
	Bitki Yoğunluğu	Arazi Kullanımı	Ağırlıklar
Bitki Yoğunluğu	0,7500	0,7500	0,7500
Arazi Kullanımı	0,2500	0,2500	0,2500

Karşılaştırma matrisi boyutu 2 olduğu durumlarda tutarlılık oranı hesaplanmamaktadır. Koruma düzeyi ölçütünün alt ölçütleri için belirlenen ağırlık değerlerine göre koruma düzeyinin matematiksel formülü;

$$\text{Koruma Düzeyi} = 0,75 \times \text{Bitki Yoğunluğu} + 0,25 \times \text{Arazi Kullanımı} \quad (8.3)$$

olarak belirlenmiştir.

Erozyon risk durumunun birinci ve ikinci düzey ölçütlerinin ağırlıkları, hiyerarşik düzende aşağıdaki Şekil 8.3.'deki gibi oluşmaktadır.



Şekil 8.3. Erozyon risk durumu birinci ve ikinci düzey ölçüt ağırlıkları

Erozyon risk durum formülü, kendisine etki eden ölçütler ve bunlarla ilgili formüllerin birleştirilmesi ile aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

Çizelge 8.7. Erozyon risk formülündeki ölçütler ve kısaltmaları

Ölçüt	Kısaltma
Aşınabilirlik	AB
Aşındırıcı Güç	AG
Koruma Düzeyi	KD
Jeoloji	JE
Eğim	EG
Bakı	BK
Arazi Kullanımı	AK
Bitki Örtüsü Yoğunluğu	BY
Erozyon Risk Durumu	ER

$$ER = (0,35 \times JE) + (0,04 \times BK) + (0,18 \times EG) + (0,07 \times AG) + (0,27 \times BY) + (0,09 \times AK) \quad (8.4)$$

Elde edilen erozyon formülünün katsayılarının tutarlılığının kontrol edilmesi amacı ile, erozyon problemi alt düzey ölçütler kullanılmadan tek düzeyde yeniden çözümlenmiştir. Bu çözümde çalışmanın amacını oluşturan erozyon risk durumu, birinci düzey 6 adet ölçütten oluşmaktadır.

Alt düzey ölçütler oluşturulmadan yapılan çözümde, 6 adet ölçütün kendi aralarında ikili karşılaştırmaları yapılmış ve aşağıdaki Çizelge 8.8.'deki ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur.

**Çizelge 8.8.** Tek düzey çözüm ikili karşılaştırmalar matrisi

	EG	JE	BK	AG	AK	BY
EG	1	1/2	5	6	3	1/2
JE	2	1	9	7	5	3
BK	1/5	1/9	1	1/2	1/4	1/9
AG	1/6	1/7	2	1	1/3	1/7
AK	1/3	1/5	4	3	1	1/7
BY	2	1/3	9	7	7	1

Tek düzey ölçütlerle çözümde, ikili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi ve amacı oluşturan birinci düzey ölçütlerin ağırlıkları Çizelge 8.9.'daki gibi elde edilmiştir.

**Çizelge 8.9.** Tek düzey çözüm, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar

	EG	JE	BK	AG	AK	BY	Ağırlıklar
EG	0,1754	0,2186	0,1667	0,2449	0,1809	0,1021	0,1814
JE	0,3509	0,4372	0,3000	0,2857	0,3015	0,6126	0,3813
BK	0,0351	0,0486	0,0333	0,0204	0,0151	0,0227	0,0292
AG	0,0292	0,0625	0,0667	0,0408	0,0201	0,0292	0,0414
AK	0,0585	0,0874	0,1333	0,1224	0,0603	0,0292	0,0819
BY	0,3509	0,1457	0,3000	0,2857	0,4221	0,2042	0,2848

Tek düzey ölçütlerle ağırlıkların belirlenmesinde,  $\lambda_{\max} = 6,0722$  olarak hesaplanmıştır.

Tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı ise;

$$T.İ. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6,0722 - 6}{6 - 1} = 0,01444$$

$$T.O. = \frac{T.İ.}{R.İ.} = \frac{0,01444}{1,24} = 0,01165 \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

Tek düzey ölçütlerle çözümde oluşan erozyon risk durum formülü;

$$ER = (0,38xJE)+(0,03xBK)+(0,18xEG)+(0,04xAG)+(0,28xBY)+(0,08xAK) \quad (8.5)$$

şeklinde elde edilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullanarak oluşturulacak erozyon risk durum haritalarında, alt düzeylerle çözümle elde edilen (8.4) numaralı erozyon formülü kullanılmıştır.

## 9. YENİ EROZYON RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİNİN ÇORUM İLİNE UYGULANMASI

Yeni erozyon risk değerlendirme yönteminde belirlenen işlemlerin gerçekleştirilmesinde ve verilerin değerlendirilmesinde ArcGIS 9.0 ve Erdas Imagine 8.5 yazılımlarından yararlanılmıştır.

AHP yardımıyla oluşturulan yeni yöntemde, erozyona etkisi olan her bir değişken yeniden sınıflandırılmış ve 0-100 sayısal değerleri aralığında bu sınıflara puan atamaları yapılmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde oluşturulan Çorum iline ait haritalar, yeni sınıflandırma ve puanlama işleminden sonraki durumu göstermektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde, sayısal yükseklik modeli oluşturmak amacı ile ülkemizde Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmıştır.

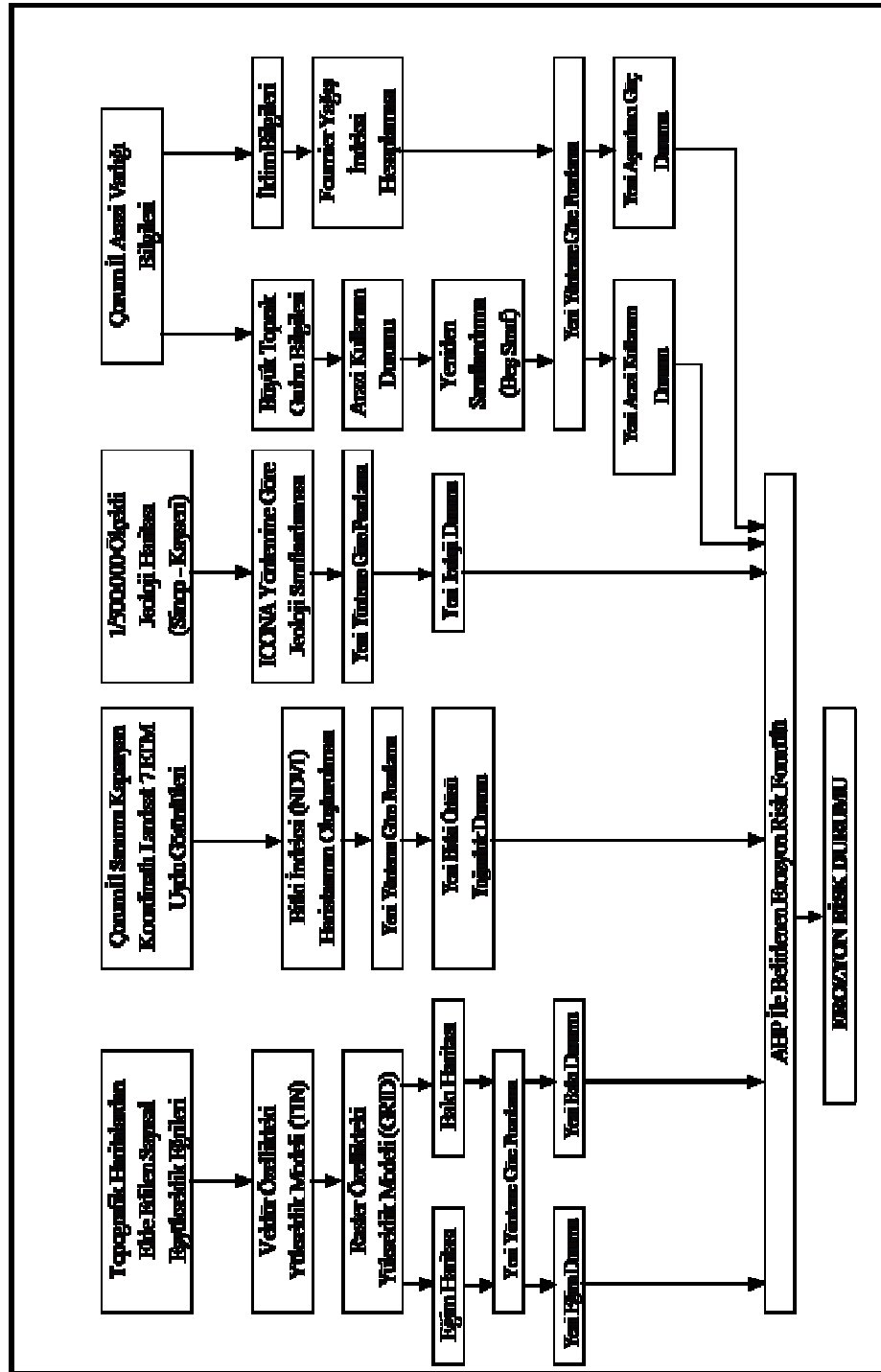
Yeni yöntemin uygulama akış şeması, Şekil 9.1.'de verilmiştir.

### 9.1. Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması

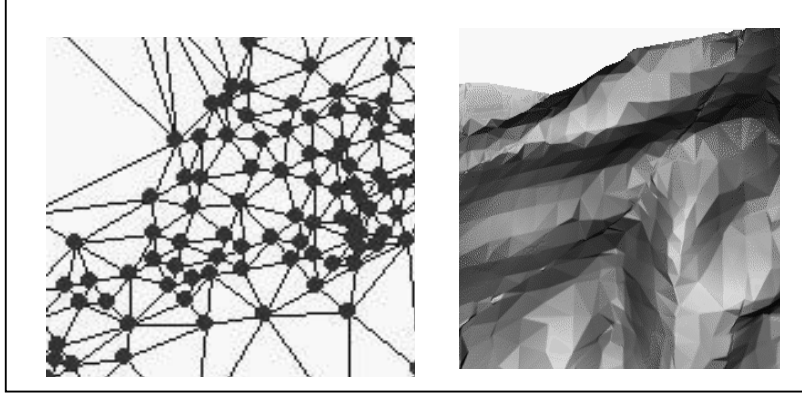
Erozyon risk değerlendirme çalışmalarında arazinin eğim, bakı gibi topografik özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla öncelikle sayısal yükseklik modeli oluşturulması gerekmektedir.

Sayısal yükseklik modeli raster ve vektör yapıda oluşturulabilmekte , bu veri yapılarından erozyon çalışmalarında kullanılan, arazinin eğim ve bakı bilgileri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Coğrafi bilgi sistemi çalışmalarında yaygın biçimde kullanılan vektör yapıda sayısal yükseklik modeline, TIN (Triangulated Irregular Network) veri modeli örnek verilebilir. TIN veri modelinde, arazi yüzeyi birbirleri ile ilişkilendirilmiş üçgenlerden oluşmaktadır. Ağ görünümündeki bu üçgenler, arazi yüzeyine ait yükseklik bilgilerini içermektedirler. TIN veri modeli ve bu modeldeki arazi parçası aşağıdaki Şekil 9.2.'deki gibi oluşmaktadır.

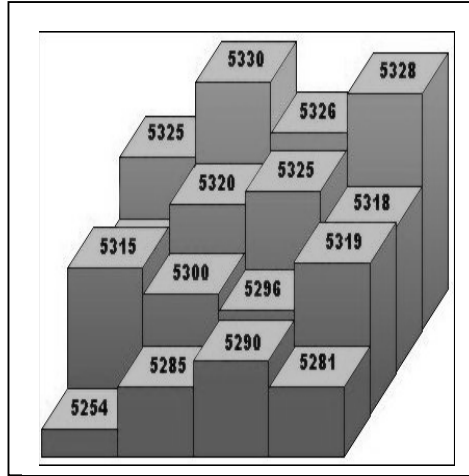


Şekil 9.1. Yeni yöntemin uygulanma akış şeması



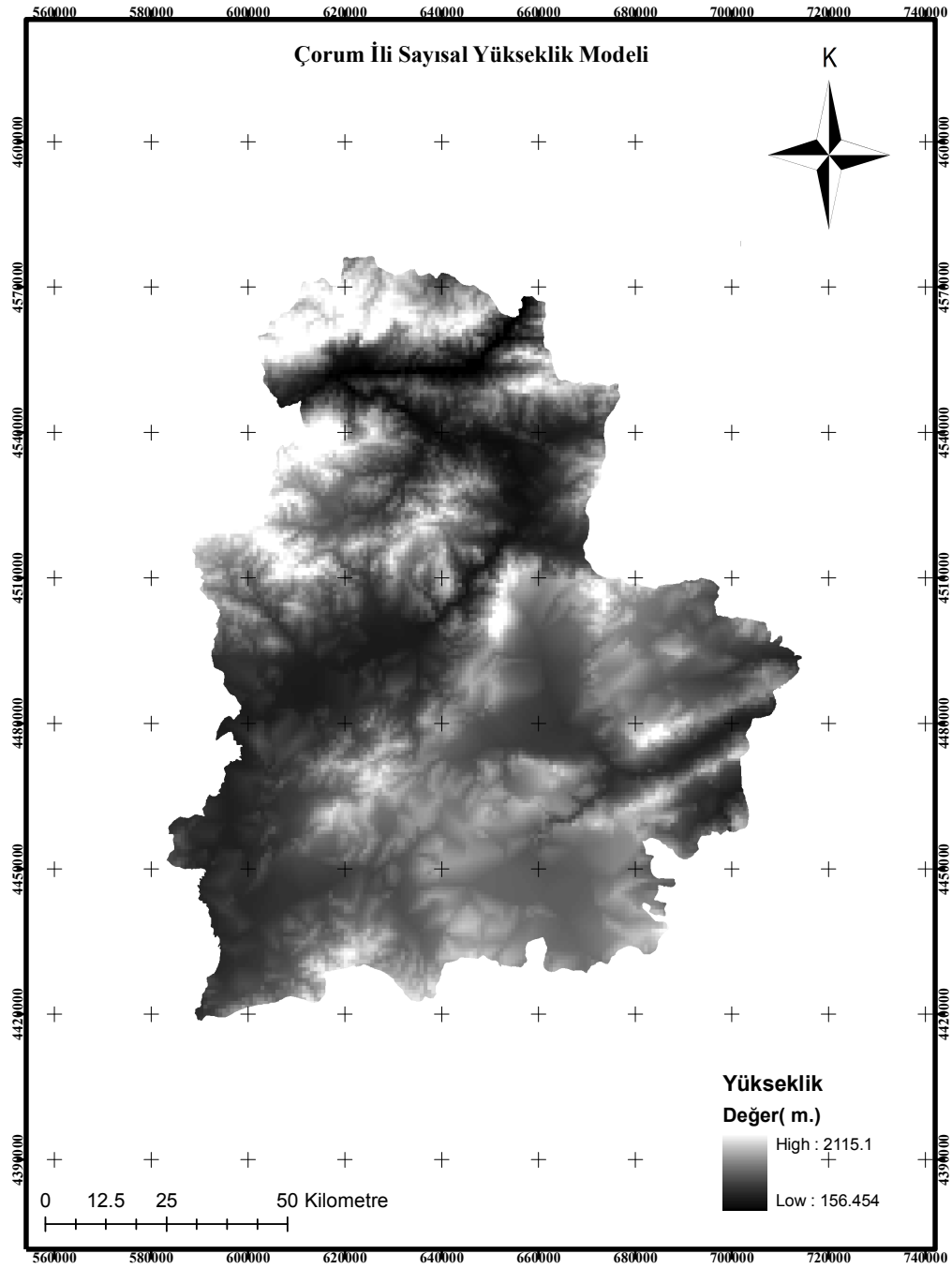
Şekil 9.2. TIN veri modeli

Raster yapıda oluşturulan sayısal yükseklik modelinde ise arazi yüzeyini birim hücreler oluşturmaktadır. Bu hücrelerin her biri ise kendi konumuna ait arazinin coğrafi özelliklerini içeren (x,y,z) bilgilerini saklamaktadır. Raster veya grid yapı olarak da isimlendirilen, hücre yapıdaki sayısal yükseklik modeli Şekil 9.3.'deki gibidir.

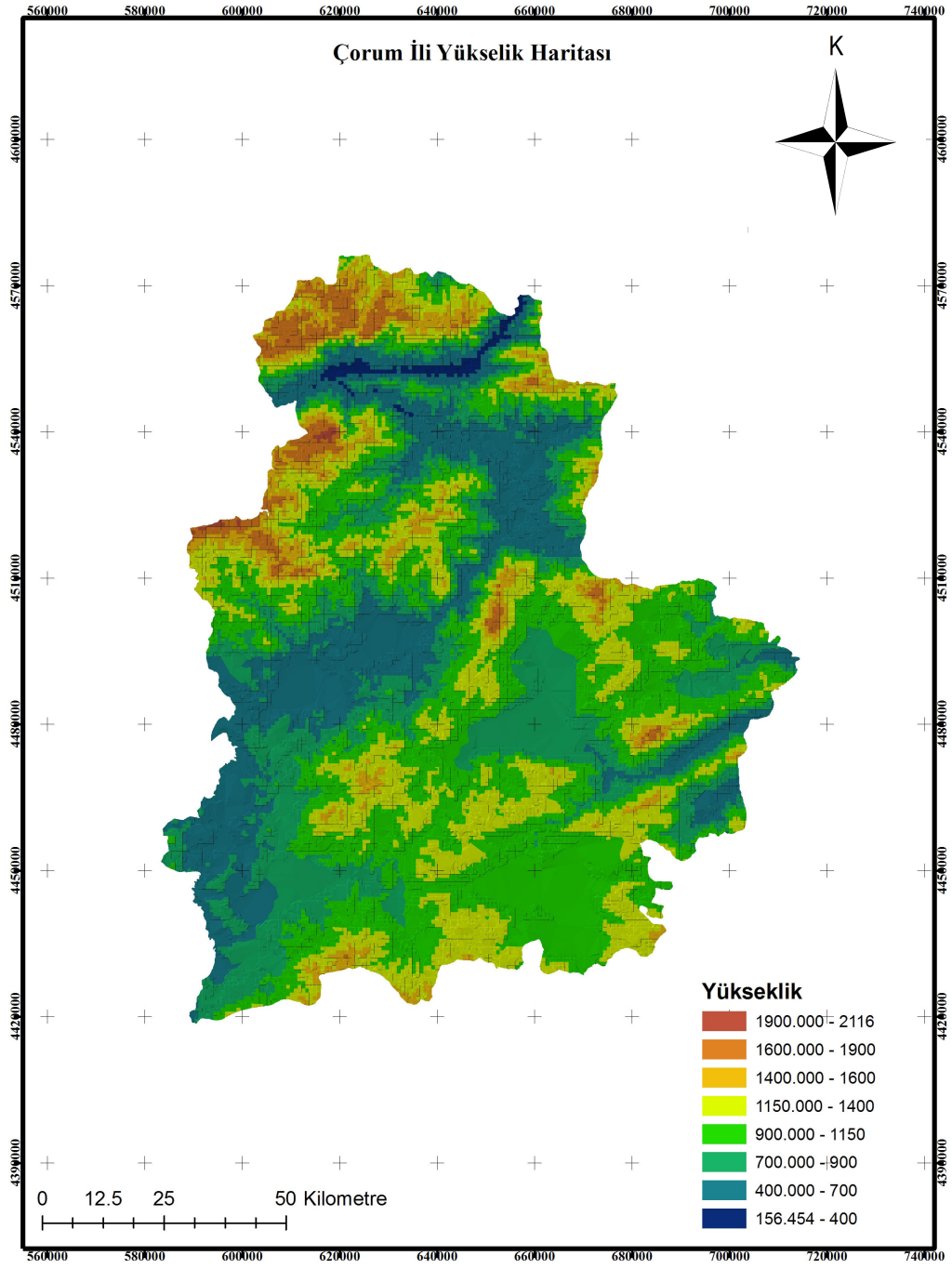


Şekil 9.3. Raster (Grid) yapıda yükseklik modeli

Yeni erozyon risk değerlendirme yönteminde eğim ve bakı değişkenlerine ait bilgilerin elde edilebilmesi için arazinin sayısal yükseklik modelinin oluşturulması gerekmektedir. ArcGIS 9.0 yazılımı kullanılarak grid ve tin veri yapısında oluşturulan sayısal yükseklik modeli, Şekil 9.4. ve Şekil 9.5.'deki gibidir.



Şekil 9.4. Çorum ili sayısal yükseklik modeli



Şekil 9.5. Çorum ili yükseklik haritası

## 9.2. Eğim Haritasının Oluşturulması

Arazi yüzeyinin yataydan düzlemden olan farkları eğim olarak tanımlanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemi konusunda geliştirilen programlar yardımıyla eğim haritaları, derece, radyan ve yüzde (%) gibi özelliklerde hazırlanabilmektedir.

Çalışmada kullanılacak eğim yapısı, yüzde (%) özellikte sınıflandırılmış ve raster (grid) yapıdaki 30m. çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden oluşturulmuştur. Elde edilen eğim haritasının, yeni oluşturulan yöntemde kullanılabilmesi için yeniden sınıflandırılması gerekmektedir.

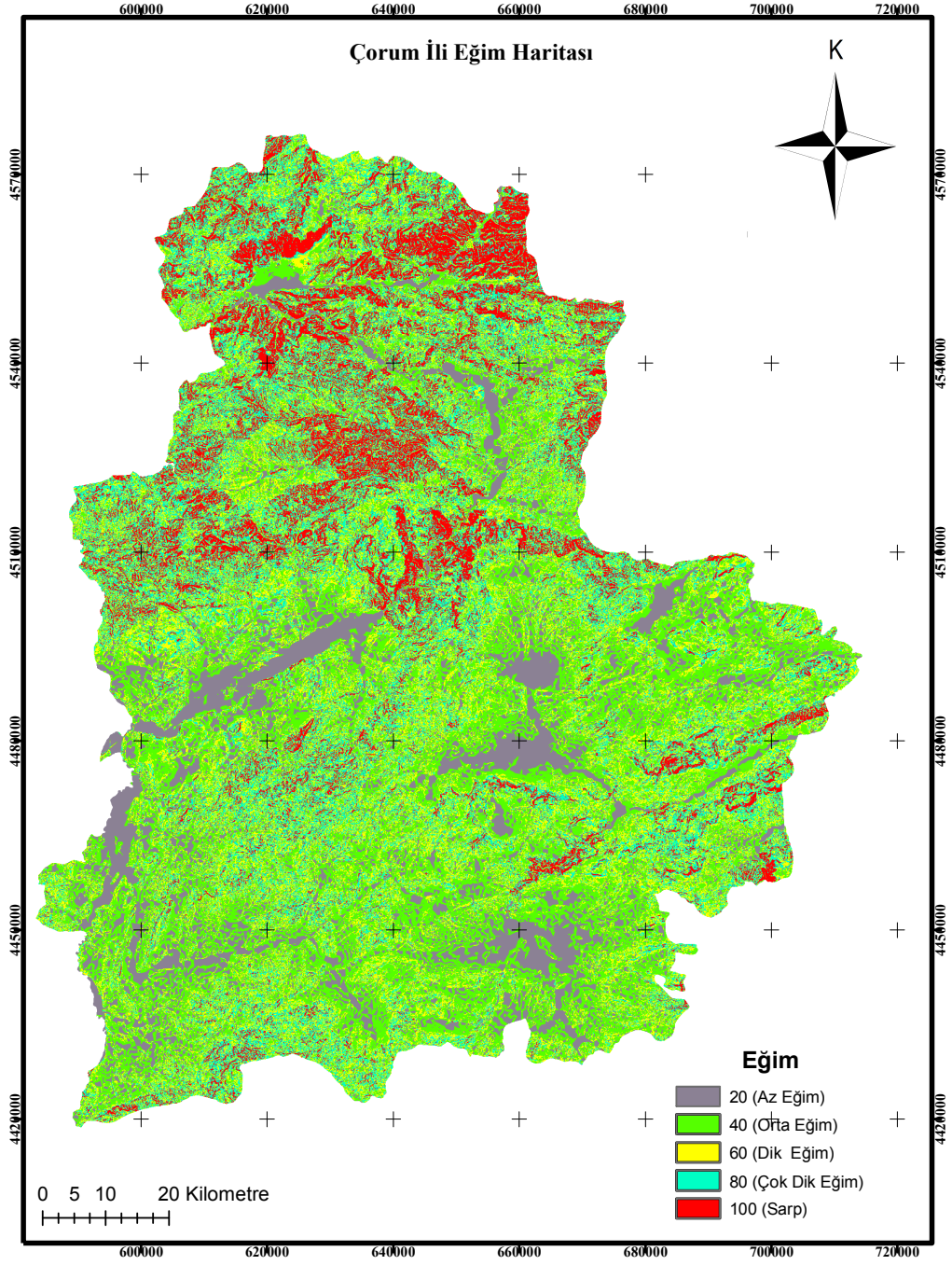
Coğrafi bilgi sistemi yazılımlarında yeniden kodlama veya puanlama olarak adlandırılan bu uygulama, erozyon risk değerlendirme formülünde yer alan matematiksel işlemleri gerçekleştirmek ve elde edilen sonucu anlamlı bir şekilde yorumlayabilmek için yapılmıştır.

Yeni yöntemde eğim sınıfları ve yeni puanlama değerleri, aşağıdaki Çizelge 9.1.'de belirtilen şekilde oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir.

**Çizelge 9.1.** Eğim Değişkeninin Yeniden Sınıflandırma ve Puanlaması

Kod	Eğim Sınıflandırması	Yeniden Puanlama Değeri
1	Düz-Çok az eğim(%0-%3)	20
2	Orta eğim(%3-%12)	40
3	Dik eğim(%12-%20)	60
4	Çok dik eğim (%20-%35)	80
5	Sarp (>%35)	100

Örneğin Çizelge 9.1.'deki puanlama yapılırken, erozyona etkisi en çok olan , 5 kod değerine sahip ve sarp arazi olarak nitelendirilen sınıfa 100 değeri verilmiştir. Düz arazi olarak nitelendiren ve erozyona etkisi oldukça az olan 1 kod değerine sahip sınıfa ise 20 değeri verilmiştir. Bu değerlendirmeye göre oluşturulan Çorum ili eğim haritası Şekil 9.6'daki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 9.6. Çorum ili eğim haritası (Yeniden puanlandırılmış)

### 9.3. Bakı Haritasının Oluşturulması

Arazi yüzeyi üzerinden bir noktanın bakışı, o noktadan geçen teğet düzlemin baktığı yöndür. Coğrafi bilgi sistemi yazılımları ile elde edilen bakı bilgisi, noktanın bulunduğu düzlemin kuzey yönüyle yaptığı açı değeridir. Burada belirlenen açı bilgileri, saat ibresi yönünde ilerlemekte ve 0-360 derece aralığında değişmektedir.

Uygulamada elde edilen Çorum iline ait bakı haritası, bakının erozyon değerine etkisi düşünülerek yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmanın yeniden yapılmasının nedeni, güney yönüne bakan yamaçlarda erozyon değerinin diğer yönüne bakan yamaçlara oranla daha yüksek olduğu düşüncesidir. Bu nedenle bakı kuzeye, doğu ve batıya ve güneye bakan yamaçlar şeklinde 3 sınıfa ayrılmıştır. Burada, erozyona etkisi en yüksek olan güney yamaçlara 100 puan değeri, günün belirli saatlerinde güneş gören doğu ve batı yönüne bakan yamaçlara 50 puan değeri ve en az güneş gören kuzey yönüne 25 puan değeri verilmiştir. Oluşturulan sınıflar ve yeniden puan atamaları Çizelge 9.2.'deki gibi yapılmıştır.

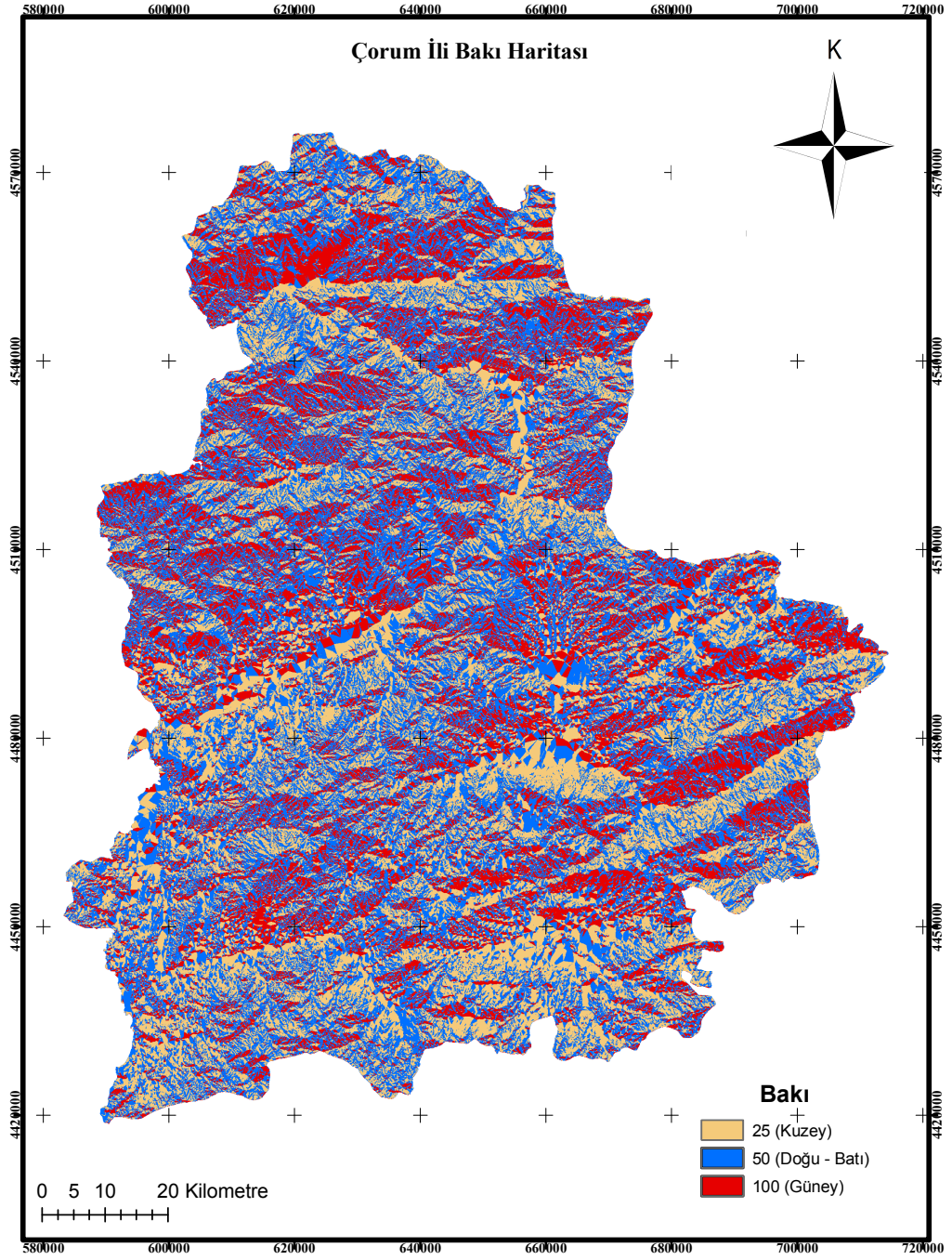
Çizelge 9.2. Bakı değişkeninin yeniden sınıflandırma ve puanlaması

Kod	Bakı Sınıflandırması	Yeniden Puanlama Değeri
1	Kuzey	25
2	Doğu – Batı	50
3	Güney	100

Yeni erozyon risk değerlendirme yönteminin yapısına uygun biçimde oluşturulan Çorum ili bakı haritası Şekil 9.7.'deki gibi elde edilmiştir.

### 9.4. Aşındırıcı Güç Haritasının Oluşturulması

Yeni ortaya konan yöntemde, Çorum ilinin aşındırıcı güç durumunu belirlemek için CORINE yöntemindeki Fournier yağış indeksi kullanılmıştır. Uygulama bölgesine ait yağış bilgileri, Yeşilirmak Havzası Gelişim Projesi'nde kullanılan sayısal özellikteki bilgilerden oluşmaktadır. Aşındırıcı güç durumunu ortaya çıkarmak için vektör özelliğe sahip aylık yağış harita bilgileri raster yapıya



Şekil 9.7. Çorum İli bakı haritası (Yeniden puanlandırılmış)

dönüştürülmüştür. Raster özellikte bu verilerin her bir birim hücresinde, kendi coğrafi konumuna ait yağış bilgileri bulunmaktadır. Yağış değerlerini içeren raster veriler ile Fournier yağış indeksi hesaplaması, ArcGIS 9.0 yazılımında yer alan mekansal analiz (spatial analyst) bölümünde bulunan, raster hesaplama (raster calculator) yardımıyla yapılmıştır.

Yeni ortaya konulan yöntemde kullanılacak aşındırıcı güç değişkeni için yapılan sınıflandırma ve puanlama aşağıdaki Çizelge 9.3.'deki gibi oluşturulmuştur.

**Çizelge 9.3.** Aşındırıcı güç yeniden sınıflandırma ve puanlaması

Kod	Aşındırıcı Güç Sınıflandırması	Yeniden Puanlama Değeri
1	Çok Düşük (< 60)	20
2	Düşük (60 – 90)	40
3	Orta (91 – 120)	60
4	Yüksek (121 – 160)	80
5	Çok Yüksek (> 160)	100

Yeni puan durumuna göre oluşan Çorum ili aşındırıcı güç haritası Şekil 9.8.'deki gibi elde edilmiştir.

### 9.5. Arazi Kullanım Haritasının Oluşturulması

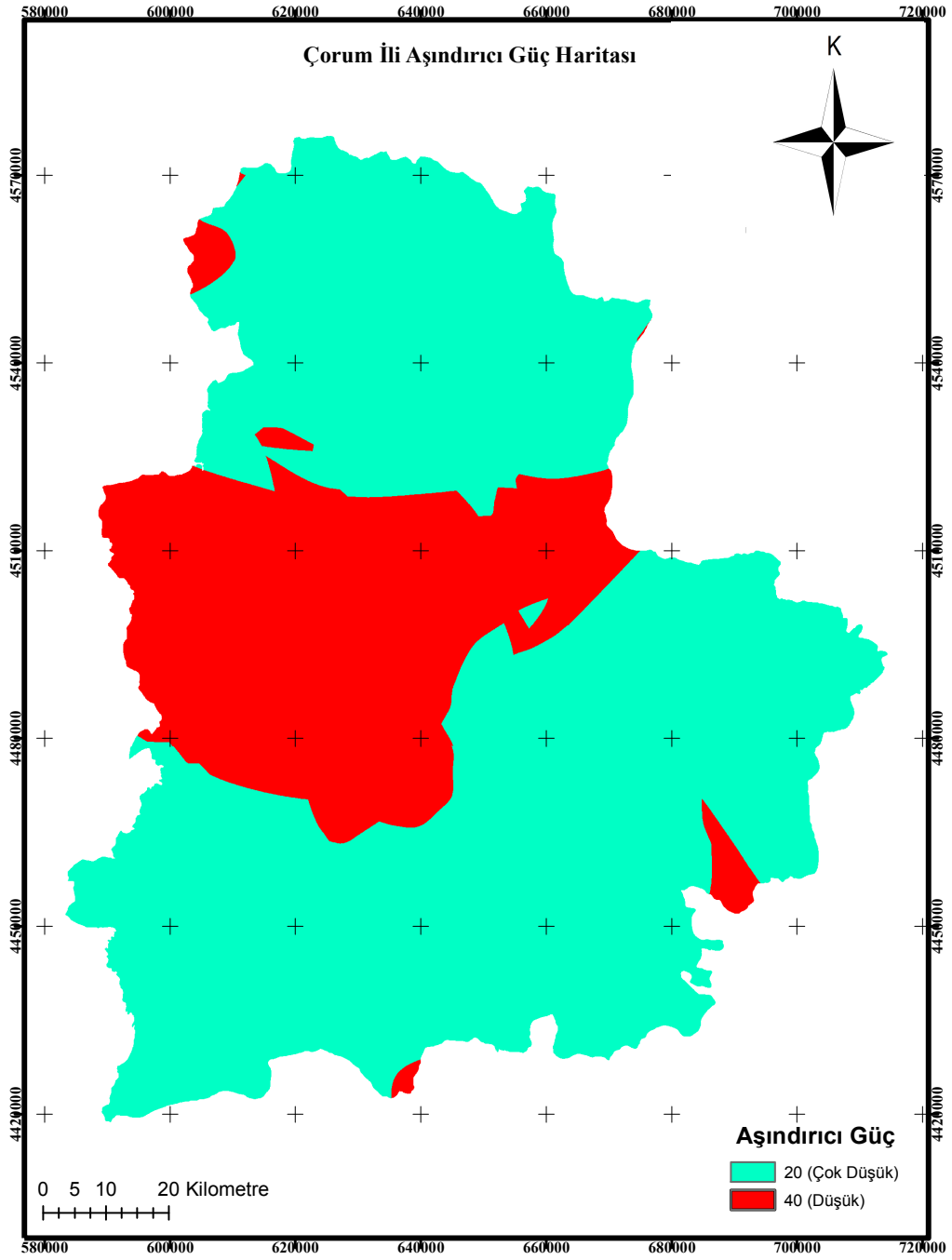
Arazi kullanım durumu sınıflandırması, KHGM tarafından hazırlanan şimdiki arazi kullanım durumu değerlendirmesine (SAKS) göre yapılmıştır.

Çorum iline ait vektör özellikteki arazi kullanım haritası raster yapıya dönüştürülmüştür. Arazi kullanım bilgilerinin yeniden puanlamasında, arazi kullanımının erozyon üzerindeki etkisi dikkate alınmış ve sınıfların puanları aşağıdaki Çizelge 9.4.'deki gibi oluşturulmuştur.

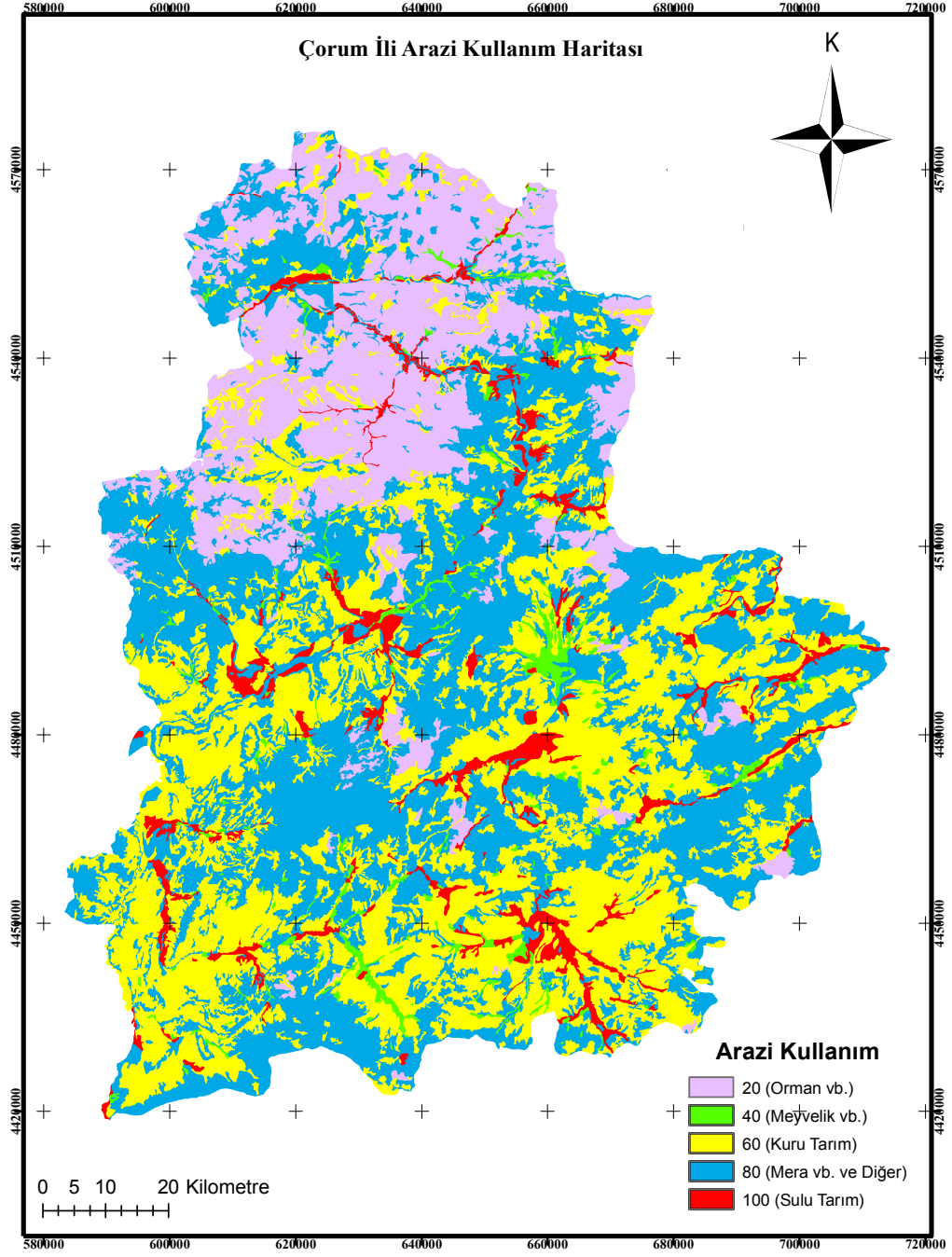
**Çizelge 9.4.** Arazi kullanım durumu yeniden sınıflandırma ve puanlaması

Kod	Arazi Kullanım Sınıflandırması	Yeniden Puanlama Değeri
1	Orman Alanları	20
2	Meyvelik, Bağlık- Bahçelik Alanlar	40
3	Kuru Tarım Alanları	60
4	Mera, Seyrek Çalılık ve Diğer alanlar	80
5	Sulu Tarım Alanları	100

Çorum ilinin arazi kullanım haritası Şekil 9.9.'daki gibi elde edilmiştir.



Şekil 9.8. Çorum ili aşındırıcı güç haritası (Yeniden puanlandırılmış)



Şekil 9.9. Çorum ili arazi kullanım haritası (Yeniden puanlandırılmış)

## 9.6. Jeoloji Haritasının Oluşturulması

Çalışma alanının jeolojik özelliklerini belirlemek için MTA tarafından hazırlanmış 1/500.000 ölçekli sayısal jeoloji haritası kullanılmıştır. ArcGIS 9.0 yazılımında jeolojik özellikleri bulduran sayısal harita ile vektör yapıdaki Çorum il sınırı kesleştirilmiş ve çalışma alanında bulunan jeolojik özellikler elde edilmiştir. Çorum ilinde bulunan jeolojik özellikler ve ICONA yöntemine göre jeoloji sınıflandırması Çizelge 9.5.'deki gibidir.

**Çizelge 9.5.** Çorum ilinde bulunan jeolojik özellikler ve ICONA yöntemine göre jeoloji sınıflandırması

Sıra	Sınıf	YAŞ	ACIKLAMA
1	E	Kuvaterner	Ayrılmamış Kuvaterner
2	E	Kuvaterner	Alüvyon Yelpezesi, yamaç molozu, moren vs.
3	E	Pliyosen	Karasal kırıntılılar
4	E	Üst Miyosen-Pliyosen	Evaporitli sedimenter kayalar
5	D	Üst Miyosen	Evaporitli sedimenter kayalar
6	D	Üst Miyosen	Evaporitli sedimenter kayalar
7	D	Miyosen	Gölsel kireçtaşı, marn, şeyl
8	D	Oligosen-Miyosen	Evaporitli sedimenter kayalar
9	D	Eosen	Kırıntılılar ve karbonatlar
10	D	Eosen	Kırıntılılar (yer yer karasal)
11	D	Eosen	Neritik kireçtaşı
12	D	Paleosen	Kırıntılılar ve karbonatlar
13	B	Üst Senoniyen	Pelajik kireçtaşı
14	D	Üst Senoniyen	Kırıntılılar ve karbonatlar (fliş)
15	B	Kretase	Pelajik kireçtaşı
16	D	Kretase	Kırıntılılar ve karbonatlar (fliş)
17	B	Orta Jura - Kretase	Neritik kireçtaşı
18	B	Orta Jura - Kretase	Pelajik kireçtaşı
19	B	Triyas	Neritik kireçtaşı
20	D	Permo - Triyas	Kırıntılılar ve karbonatlar
21	C	Triyas - Jura	Şistler
22	B	Üst Paleozoyik - Triyas	Şist, fillit, mermer, metabazit
23	C	Üst Kretase	Ofiyolitik melanaj
24	C	Üst Kretase	Yastık lav ve sedimentler
25	A	Mesozoyik	Gabro, diyabaz
26	A	Mesozoyik	Ayrılmamış bazik ve ultrabazik kayalar
27	E	Pleyistosen	Ayrılmamış karasal kırıntılılar
28	A	Paleosen	Granitoyid
29	D	Jura	Karbonatlar ve kırıntılılar (yer yer karasal)
30	D	Permo - Karbonifer	Karbonatlar ve yer yer kırıntılılar
31	C	Üst Miyosen -Pliyosen	Ayrılmamış volkanitler
32	A	Üst Miyosen	Bazalt
33	C	Eosen	Ayrılmamış volkanitler

Jeolojik özelliklerine göre oluşturulmuş sınıflar ve yeniden puanlama değerleri aşağıdaki Çizelge 9.6.'daki gibi oluşturulmuştur.

**Çizelge 9.6.** Jeolojik özelliklerine göre oluşturulmuş sınıflar ve yeniden puanlama değerleri

Kod	Jeolojik Sınıflandırma	Yeniden
A	Cok sert kayalar	20
B	İyi kaynaşmış, kalker kayalar	40
C	Kompakt silisli kayalar	60
D	Gevşek yapıda, az dayanıklı kayalar ve yumuşak formasyonlar	80
E	Killer, siltler, kumlar ve dördüncü zamana ait yığılmalar (depositler)	100

Yeni puanlama sonucunda Çorum ilinin jeolojik durumu, Şekil 9.10.'daki biçimde oluşmuştur.

### 9.7. Bitki Örtüsü Yoğunluk Haritasının Oluşturulması

Çalışma alanının bitki örtüsü özelliklerinin ortaya çıkarılmasında Uzaktan Algılama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Uzaktan Algılama biliminde bitki örtüsü yoğunlukları, bitki indeksleri yardımıyla belirlenmektedir. Çorum ilinin bitki örtüsü yoğunluğu, normalleştirilmiş bitki farklılık indeksi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) kullanılarak elde edilmiştir.

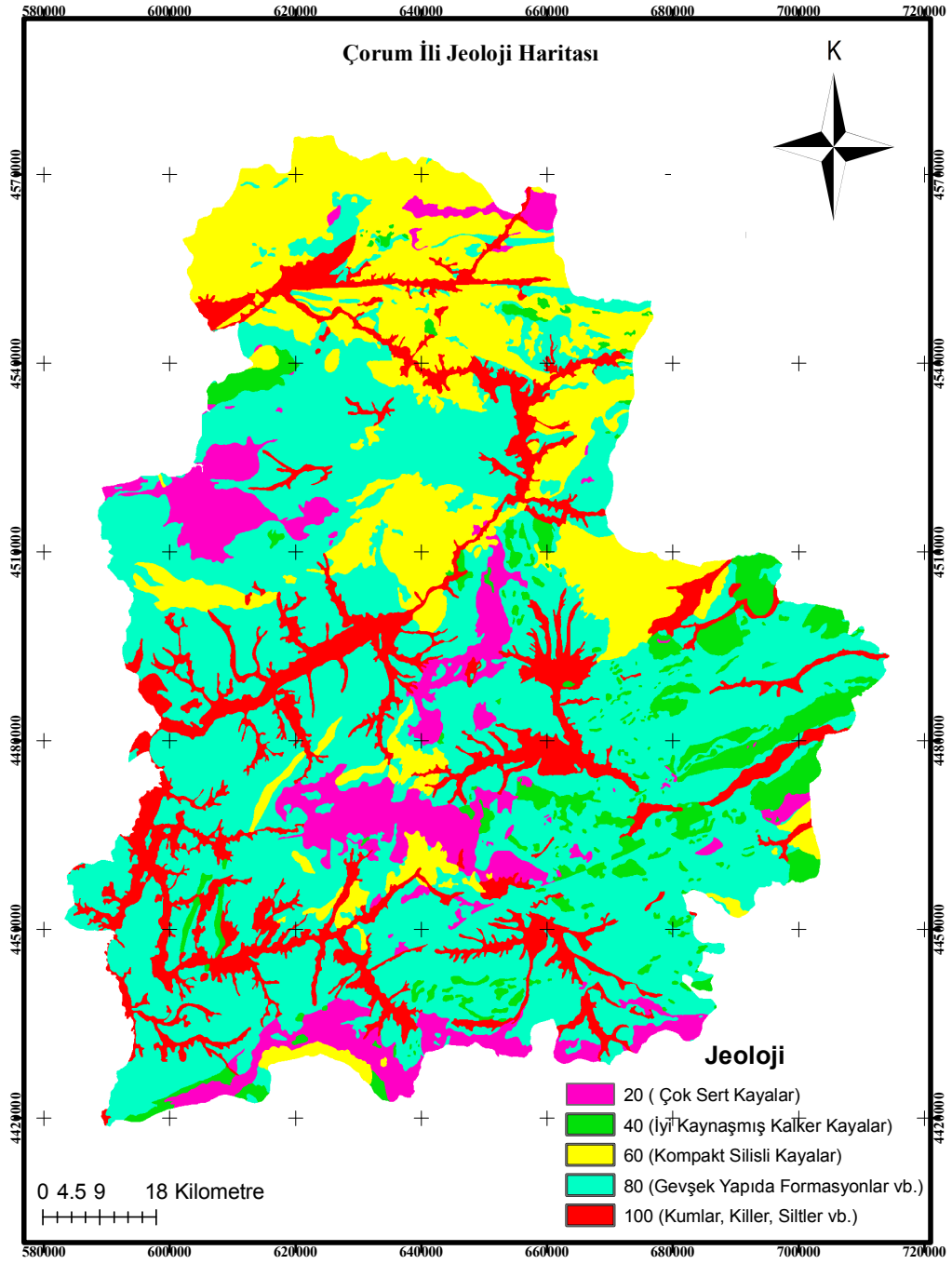
Bitki indeksi hesaplamalarında 2000 yılına ait Landsat 7 ETM uydu görüntülerinin üçüncü ve dördüncü bandları kullanılmıştır. Landsat uydularından elde edilen görüntülerle NDVI hesaplaması;

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (9.1)$$

şeklindedir [31].

Bitki indeks hesaplamasında yakın kızılötesi band olarak bilinen 4. band ve kırmızı band olarak bilinen 3. bandın kullanılma nedeni, 4. bandın klorofil ve yeşil bitkilerden etkilenen özellikte olması, 3. bandın ise yeryüzündeki bu yapılara karşı duyarsız olmasıdır.

Bitki indeksi formülünde bandların farklarının alınması ile elde edilen görüntüde, bitki bulunan birim hücreler daha yüksek parlaklık değerine sahip olmakta ve diğer alanlardan kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Fark alınması sonucu elde edilen görüntünün band toplamına bölünmesi sonucunda, görüntüde



Şekil 9.10. Çorum ili jeoloji haritası (Yeniden puanlandırılmış)

bitki bulunan alanların parlaklık değerlerinin, görüntünün tamamına yayılımı veya normalleştirilmesi sağlanabilmektedir.

Çalışma alanının normalleştirilmiş bitki farklılık indeksi Erdas Imagine 8.5 yazılımı yardımıyla, yeniden puanlandırılma işlemi ise Çizelge 9.7.'deki biçimde ArcGIS 9.0 yazılımında yapılmıştır.

**Çizelge 9.7.** Bitki örtüsü yoğunluk sınıflandırması ve yeniden puanlaması

Kod	Bitki Örtüsü Yoğunluk Sınıflandırması	Yeniden Puanlama Değeri
1	Az Yoğun	100
2	Orta Yoğun	75
3	Yoğun	50
4	Cok Yoğun	25

Elde edilen bitki örtüsü yoğunluk haritası Şekil 9.11.'deki gibidir

Çalışma alanının doğal görünümü incelemek için Landsat 7 ETM uydu görüntülerinden yararlanılarak 321 band kombinasyonlu komposit görüntü Şekil 9.12.'deki gibi elde oluşturulmuştur.

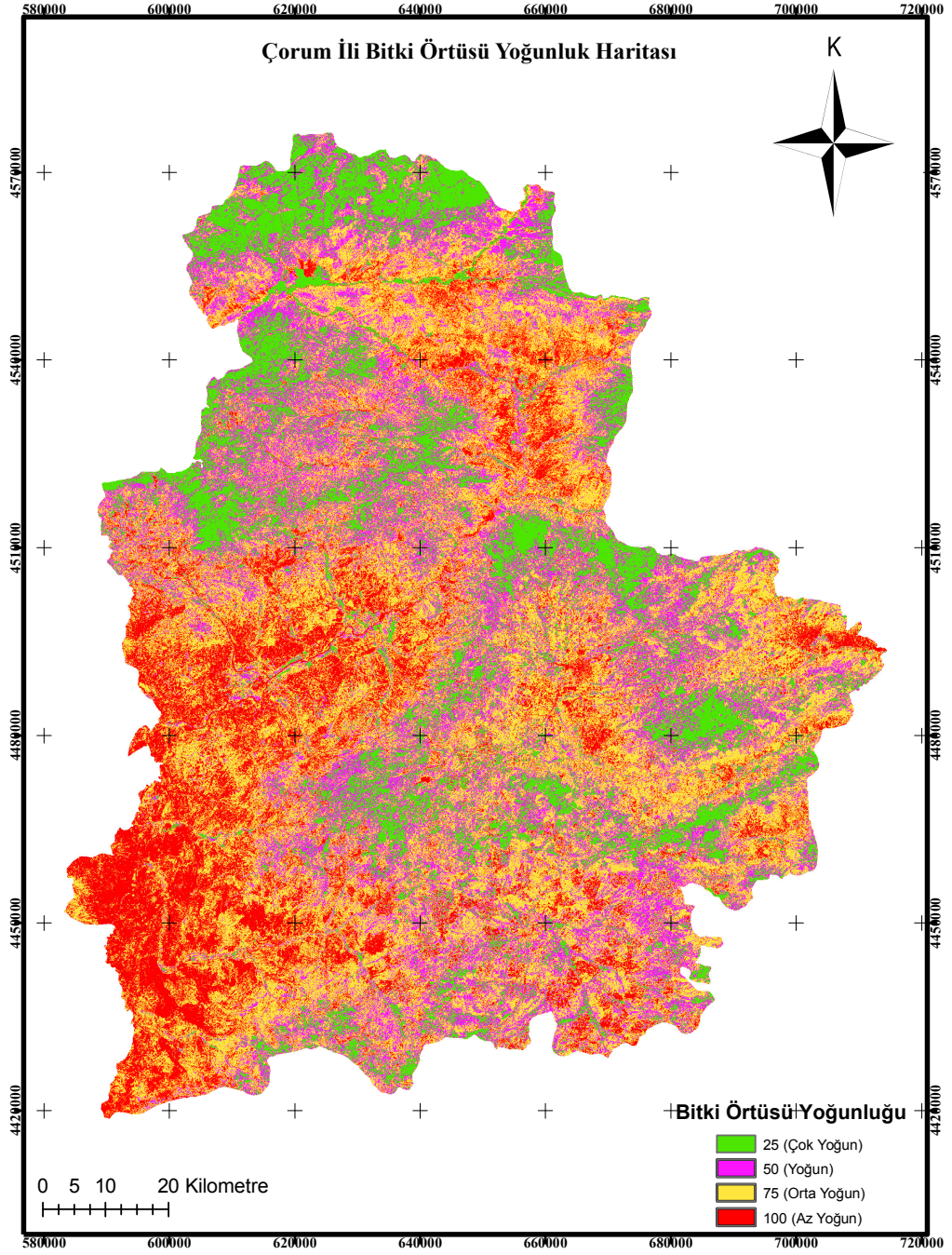
## 9.8. Sonuç Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması

AHP yöntemi yardımıyla belirlenen erozyon formülü ve değişkenlerin ağırlıkları, sonuç erozyon risk haritasının elde edilmesinde kullanılmıştır. Erozyon değerine etki eden değişkenlerin raster özellikteki haritaları, ArcGIS 9.0 yazılımında ağırlıklı olarak toplanmış ve sonuç erozyon risk haritası Şekil 9.13.'deki gibi elde edilmiştir.

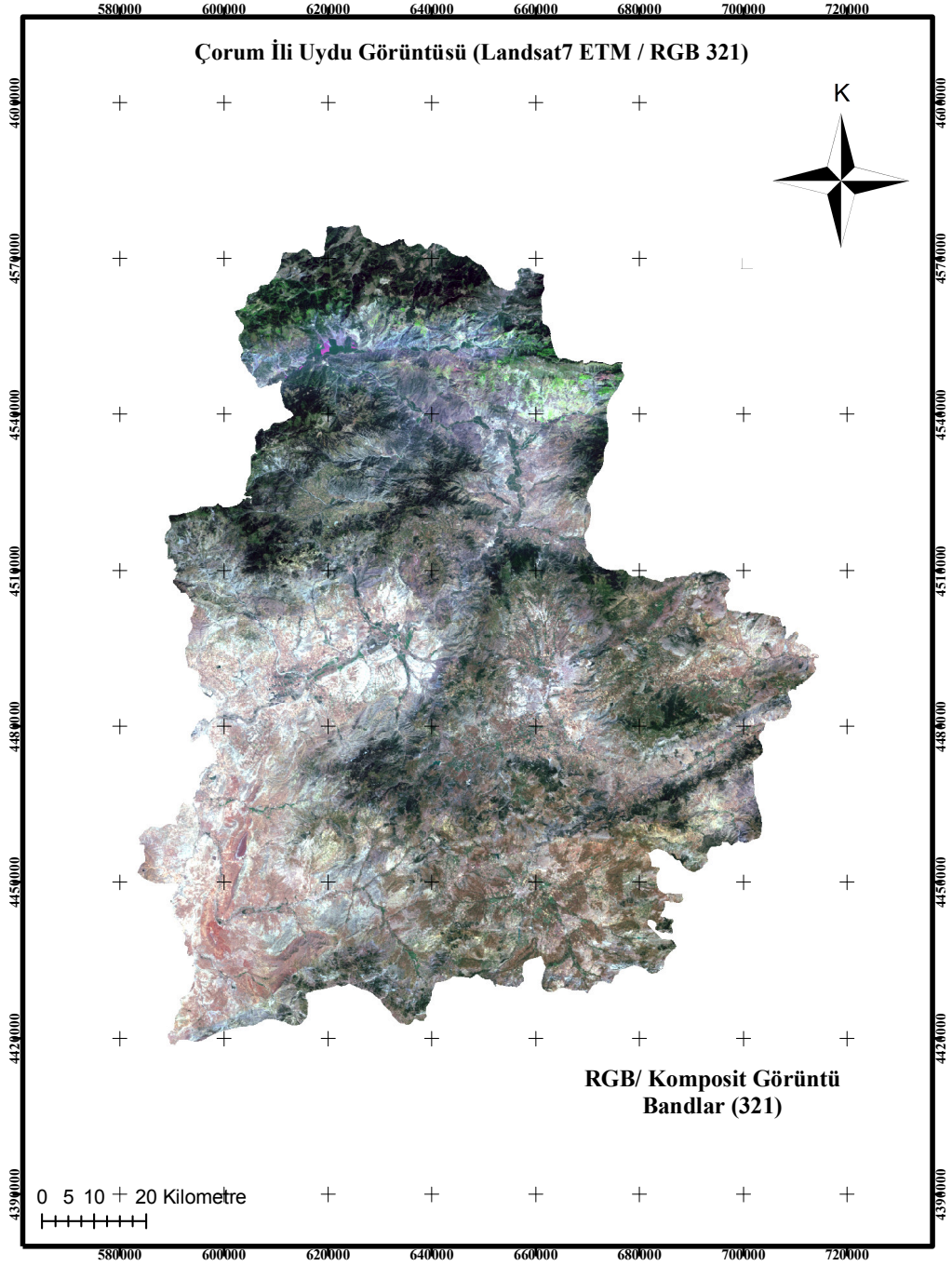
Elde edilen sonuç haritasındaki bilgiler beş erozyon risk durumuna göre Çizelge 9.8.'deki gibi sınıflandırılmıştır.

**Çizelge 9.8.** Erozyon risk sınıflandırması ve alansan dağılımları

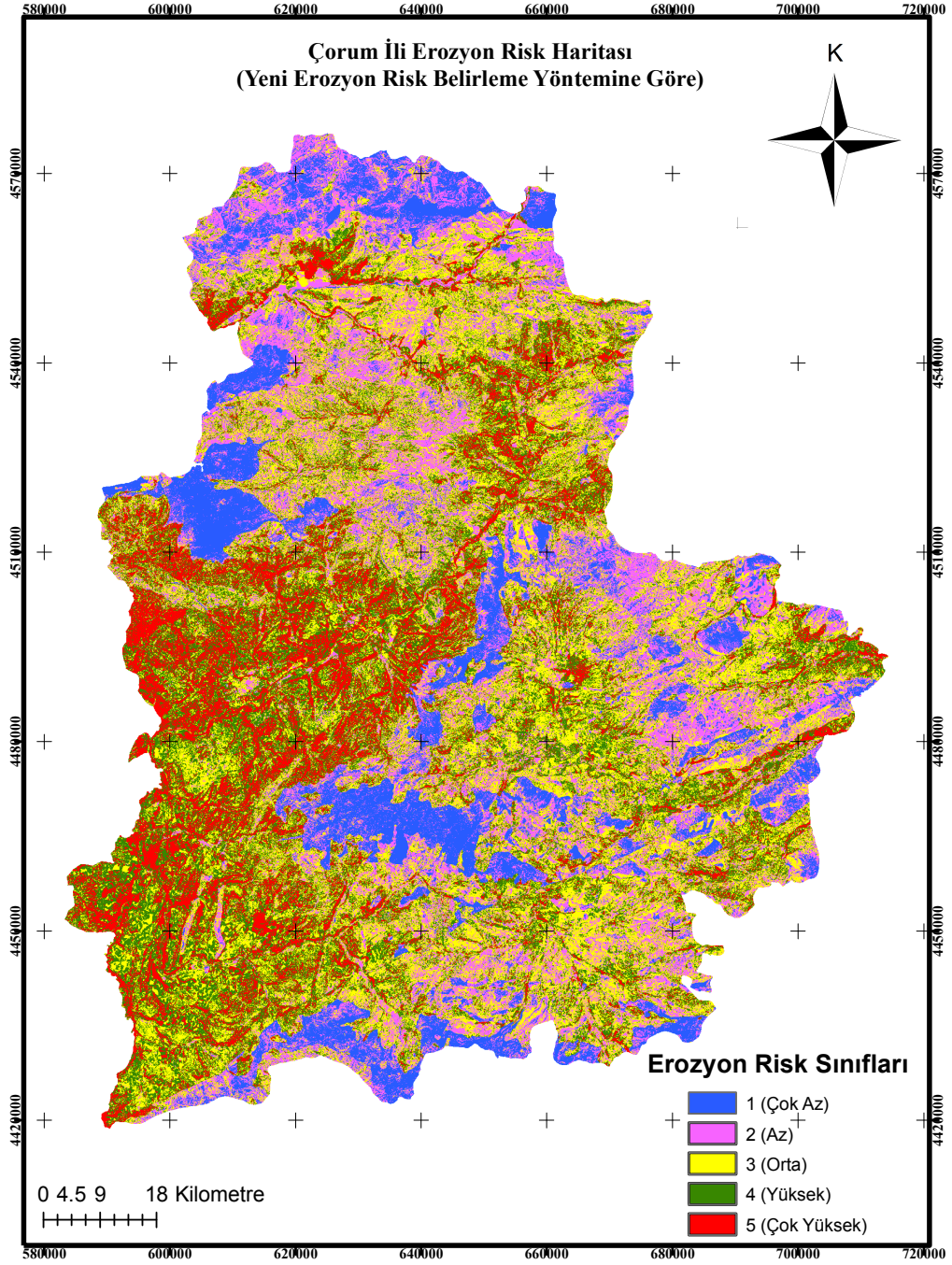
Kod	Erozyon Risk	Yüzde (%)	Alan (km <sup>2</sup> )
1	Çok Az	7	884.45
2	Az	13	1642.55
3	Orta	20	2527.00
4	Yüksek	27	3411.45
5	Çok Yüksek	33	4169.55



Şekil 9.11. Çorum ili bitki örtüsü yoğunluk haritası (Yeniden puanlandırılmış)

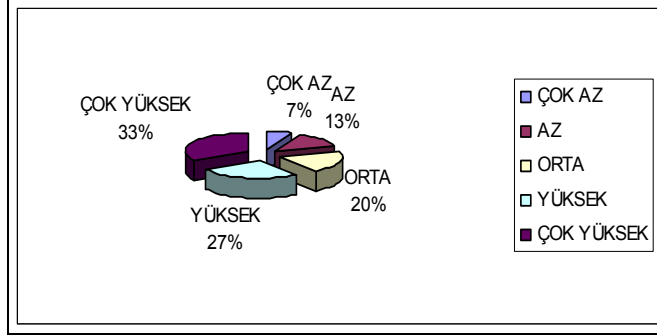


Şekil 9.12. Çorum ili uydü görüntüsü (Landsat7 ETM / RGB 321)



**Şekil 9.13.** Yeni yöntemle elde edilen erozyon risk haritası

Yeni belirlenen erozyon risk formülüne yardımı ile belirlenen, Çorum ili erozyon sınıfları ve grafik olarak gösterimi Şekil .9.14.'deki gibidir.



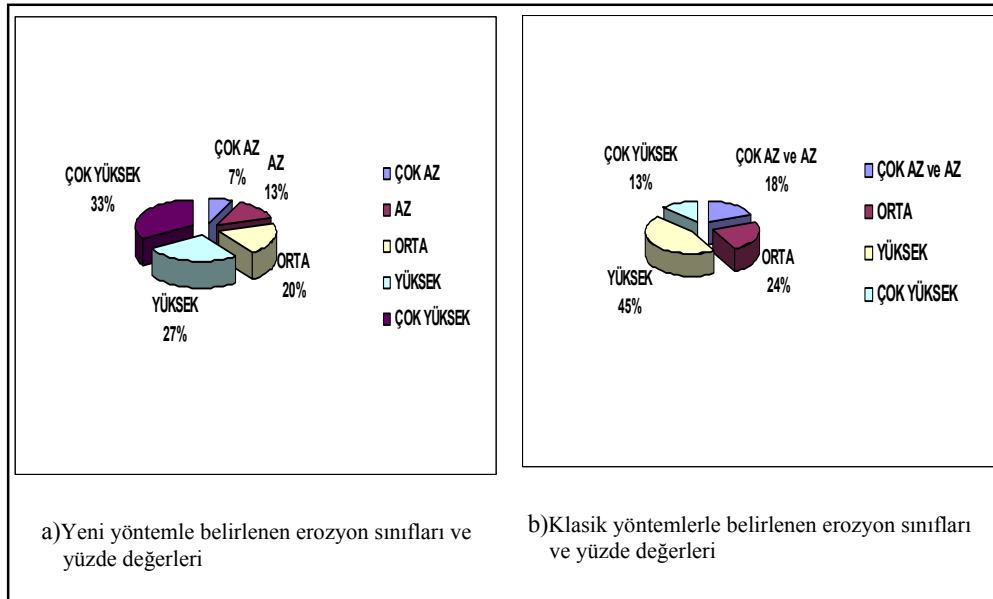
Şekil 9.14. Çorum ili erozyon risk sınıfları ve yüzdeleri

## 10. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada CORINE ve ICONA erozyon risk belirleme yöntemlerinin değişkenleri, AHP yöntemi yardımıyla değerlendirilmiş ve yeni bir erozyon risk belirleme yöntemi ortaya konulmuştur. Erozyon risk belirlemede kullanılan erozyon risk formülü, AHP yöntemi ile alt ölçüt ve tek düzey ölçütler olmak üzere iki biçimde belirlenmiştir. Her iki erozyon formülü karşılaştırıldığında, erozyona etki eden değişkenlerin ağırlıklarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Erozyon formüllerindeki bu benzerlik, AHP uygulamasında önceliklerin tutarlı bir biçimde belirlendiğini göstermektedir.

Alt ölçütler kullanılarak elde edilen erozyon risk formülünün Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla Çorum iline uygulanması sonucunda, çalışma alanının %7'sinde çok az düzey, %13'ünde az düzey, %20'sinde orta düzey, %27'sinde yüksek düzey, %33'ünde çok yüksek düzeyde erozyon riski olduğu belirlenmiştir.

1960'lı yıllarda klasik görsel yöntemler kullanılarak hazırlanan toprak haritalarındaki erozyon sonuçları ve yeni ortaya konulan yöntemle elde edilen sonuçların grafik gösterimi Şekil 10.1.'deki gibidir.



Şekil 10.1. Yeni ve klasik yöntemlerle belirlenen erozyon sınıfları ve yüzde değerleri

Grafikler incelendiğinde her iki yöntemde elde edilen, çok az/az ve orta düzey erozyon risk sınıf yüzdelerinin birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu düzeyler dışında yer alan yüksek ve çok yüksek erozyon risk sınıflarının yüzde değerleri arasında önemli farklar olduğu belirlenmiştir. Bu farkların, klasik yöntemle oluşturulan haritalarının güncel bilgiler içermediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Erozyonun neden olduğu toprak kaybı, sadece verimli tarım arazileriyle sınırlı kalmamaktadır. Erozyonla taşınan toprağın, ülkemizin enerji gereksinimlerini karşılayan baraj ve göllerde çökmesi ile büyük yatırımlarla tamamlanan barajların ömrü kısaltmakta ve ülke ekonomisi zarar görmektedir.

Erozyon değerlendirme çalışmalarında kullanılan toprak haritalarının ayrıntılı şekilde tamamlanması ve sürekli güncellenmesinin, erozyon araştırmalarının sonuçlarının doğruluğunu artıracakları düşünülmektedir. Ülkemizde toprak konusunda çalışan devlet kurumlarının oluşturacakları toprak bilgi bankası ile erozyonla mücadelede daha etkin çözümler üretilebilecektir.

Erozyon değerine etkili bitki örtüsü yapısının belirlenmesinde kullanılan uydu görüntülerinin, yüksek çözünürlükte seçilmesinin de değerlendirme sonuçlarını olumlu yönde etkileyeceği bir gerçektir.

Bu çalışma ile büyük alanlara ait arazi bilgilerinin elde edilmesinde Uzaktan Algılama yönteminin, elde edilen bilgilerin analizinde ise, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin etkin kullanımının önemi görülmüştür.

AHP yöntemi kullanılarak ortaya konulan yeni erozyon risk değerlendirme yönteminin geçerliliğinin araştırılması amacıyla başka bölgelerde uygulanmasında yarar olduğu düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] APAYDIN, H., *Yüzey akış ve sediment modellerinin coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla uygulanması*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2002).
- [2] ATALIK, A., *Çorum ili arazi varlığı*, T.C Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, II Rapor No:19,Ankara (1997).
- [3] BAYRAMİN, I., DENGİZ, O., BASKAN, O. ve PARLAK, M., *Soil erosion risk assessment with ICONA model ; Case study : Beypazari Area*, Turkish Journal of Agriculture and Forest, **27**, 105-116 (2003).
- [4] ŞAHİN, S. ve KURUM, E., *Erosion risk analysis by GIS in environmental impact assessment : a case study-Seyhan Kopru Dam construction*, Journal of Environmental Management, **66**, 239-247 (2002).
- [5] AYDAY, C., ALTAN, M., YÜKSEL, M., TÜRE, C., KARAS, E. ve DENGİZ, O., *Küçükemalı-Bilecik gölet havzasının gerçek erozyon risk haritasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri kullanılarak hazırlanması*, Araştırma projesi, No:1997/15, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir (1998).
- [6] AYDAY, C., ALTAN, M., AZDİKEN, S., GENÇLER, G., DEVECİ, B., UÇA, D. ve ÖZKAN, S., *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri ile Orta Sakarya Vadisi'nin toprak erozyon risk haritasının hazırlanması*, Araştırma projesi, No:98 K 120 600, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir (1999).
- [7] ESMALI, A., *Using GIS and RS in mass movements hazard zonation-a case study in germichay watershed, Ardebil, Iran*, [www.gisdevelopment.net/application/natural-hazards/landslides/mi03128.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural-hazards/landslides/mi03128.htm)
- [8] ZENGXIANG, Z., XULONG, P., XIAOFENG, C. ve JIYUAN, L., *Mountain soil erosion mapping in central Tibet using remote sensing and GIS*, 4 th. International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Karlstad-Kiruna-Troms, August, 19-29 (1996).
- [9] MARINONI, O., *Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS*, Computers and Geosciences, **30**, 637-646 (2004).

- [10] ÖZEL, M., DOĞAN, O., YILDIRIM, H. ve KÜÇÜKÇAKAR, N., *Dalaman havzası uydularla erozyon haritalama pilot projesi*, TÜBİTAK, Kocaeli (1998).
- [11] EROL, E., *Coğrafi bilgi sistemi tekniği kullanılarak erozyon risk değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2000).
- [12] SESÖREN, A., *Uzaktan algılamada temel kavramlar*, Mart Matbaacılık Sanatları Ltd. Şti., İstanbul (1998).
- [13] YOMRALIOĞLU, T., *Coğrafi bilgi sistemleri, temel kavramlar ve uygulamalar*, Akademi Kitabevi, Trabzon (2002).
- [14] European Enviromental Agency, *Corine land cover methodology report*, <http://reports.eea.eu.int/COR0-part 1/en>
- [15] BRIGGS, D., GIORDANO, A., CORNAERT, M.H., PETER, D. ve MAES, J., *Corine soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community*.Commission of the European Communities Report, No:EUR 13233 EN, Luxembourg (1992).
- [16] ÇEPEL, N., *Toprak kirliliği, erozyon ve çevreye verdiği zararlar*, TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul (1997).
- [17] BAHTİYAR, M., *Toprak erozyonu-oluşumu ve nedenleri*, Erozyonla Mücadele Kitabı (Ed: Kuran, G., Sevinç, G.) TEMA Vakfı Yayınları, No:26, İstanbul (2000).
- [18] JORDAN, A., MARTINEZ-ZAVALA, L. ve BELLINFANTE, N., *Assessment of the erosion risk in humid Mediterranean Areas Workshop on Technologies for and Management of Erosion and Desertification Control in the Mediterranean Region, Priority Actions Programme*, UNEP, Malta, 1-13 (2000).
- [19] YARALIOĞLU, K., *Performans değerlemede analitik hiyerarşi proses*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, **16**, 129-142 (2001).
- [20] SAAT, M., *Çok amaçlı karar vermede bir yaklaşım : Analitik hiyerarşi yöntemi*, Gazi Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, **2**, 150-174 (2000).

- [21] DAĞDEVİREN, M. ve EREN, T., *Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi*, Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, **16**, 41-52 (2001).
- [22] SAATY, T.L., *How to make a decision: The analytic hierarchy process*, Interfaces, **24**, 19-43 (1994).
- [23] YAĞCI, A., *Analitik hiyerarşi proses yöntemi ve tedarikçi seçimi probleminde bir uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara (2002).
- [24] Abo Akademi University, *The Analytic hierarchy process*, <http://www.abo.fi/~fuller/sda18.pdf>
- [25] Utrecht University, Department of Information and Computing Sciences *Multiattribute decisionmaking under certainty: The analytic hierarchy process*, <http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/bk/sheets-4.pdf>, (2005).
- [26] SAATY, T.L., *Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary*, European Journal of Operational Research, **145**, 85-91 (2003).
- [27] KLUNGBOONKRONG, P. ve TAYLOR, M.A.P., *An Integrated planning tool for evaluating road environmental impacts*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, **14**, 335-345 (1999).
- [28] BALCE, A.O., *Analitik hiyerarşi süreci*, Bilim Uzmanlığı Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (1993).
- [29] Helsinki University, *Value tree analysis*, eLearning Decision Making, (2002), <http://www.mcda.hut.fi/value-tree/theory/theory.pdf>.
- [30] HACIMENNİ, E., *Analitik hiyerarşi süreci ve bilişim teknolojisi kararlarında uygulanması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir (1998).
- [31] [www.hatgis.com.tr](http://www.hatgis.com.tr)

## EKLER

**EK-1.** Ulusal Toprak Veri Tabanı Şimdiki Arazi Kullanım Sınıf Tablosu

Şimdiki Arazi Kullanım Şekli	
Sembol	Anlamı
S	Sulu Tarım
Sy	Sulu Tarım (yetersiz)
K	Kuru Tarım (nadaslı)
N	Kuru Tarım (nadassız)
V	Bağ (kuru)
Vs	Bağ (sulu)
B	Bahçe (kuru)
Bs	Bahçe (sulu)
M	Mera
Ç	Çayır
O	Orman
F	Fundalık
T	Terkedilmiş arazi
Za	Antep fıstığı
Zç	Çay
Zz	Zeytin
Zf	Fındık
Zk	Kestane
Zm	Muz
Zt	Turunçgiller
Zp	Çam fıstığı
Zi	İncir
Zd	Dut