

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AYVALIK VE YAKIN ÇEVRESİNİN EROZYON  
VE HEYELAN DUYARLILIĞININ COĞRAFİ  
BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI İNCELENMESİ**

**Aykut AKGÜN**

**Mart, 2007**

**İZMİR**

**AYVALIK VE YAKIN ÇEVRESİNİN EROZYON  
VE HEYELAN DUYARLILIGININ COĞRAFI  
BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

**Aykut AKGÜN**

**Mart, 2007**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AYKUT AKGÜN, tarafından Prof. Dr. Necdet TÜRK yönetiminde hazırlanan “AYVALIK VE YAKIN ÇEVRESİNİN EROZYON VE HEYELAN DUYARLILIĞININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Necdet TÜRK

Yönetici

Prof. Dr. Yusuf KURUCU

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Burhan ERDOĞAN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Yalçın KOCA

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın geekleőtirilmesinde baőtta danıőman hocam Sayın Prof. Dr. Necdet Türk'e göstermiş olduğu sabır, vermiş olduğu maddi ve manevi her türlü destek ve en önemlisi de gerçek bir bilim insanının nasıl olunacağı konusundaki rehberliğinden ötürü sonsuz teşekkür borçluyum.

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümünden hocam sayın Prof. Dr. Yusuf Kurucu'ya, tezin baőtında sonuna kadar her aşamasında vermiş olduğu destek ve katkılarından dolayı teşekkür etmek isterim.

Tezin en zor aşamasında, verdiği moral destek ve kritik yönlendirmelerle sonuca ulaőtmanı sağlayan, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ğretim yesi, değerli hocam Doç. Dr. Candan Gkeol'na teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimlerinden yaralanmamı sağlayan hocam sayın Prof. Dr. Mehmet Yalçın Koca'ya teşekkür ederim.

Uzaktan da olsa teknolojinin getirdiği nimetlerin de yardımıyla günün hangi saati olursa olsun sorduğum her soruya içtenlikle cevap verip nm açtığı için Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ğretim yesi, ağabeyim, sayın Doç. Dr. Mehmet Ltfi Szen'e teşekkür ederim.

Uzaktan algılama prensiplerini öğrenmemde çok büyük yardımlarını grdğim, ayrıca bazı uydu görüntülerinin teminini sağlayan Dr. Atilla Hsn Eronat'a teşekkür ederim.

D.S.İ. Balıkesir Şube Müdürlüğün'den Jeoloji Mühendisi Dr. Turgut Safa'ya sağlamış olduğu verilerden dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmam süresince beni yüreklendiren ve destekleyen Murray State University'den (A.B.D.) kuzenim ve meslektaşım Doç. Dr. Haluk Çetin'e teşekkürlerimi sunarım.

Ve özellikle doktoramın son aşamalarındaki zorlukları aşmamda bana her türlü destek ve anlayışı gösteren oda arkadaşlarım ve can dostlarım Dr. Ar. Gör. Melis Somay'a, Ar. Gör. Toygar Akar'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çeşitli yardımlarını gördüğüm Dr. Ar. Gör. Yeşim Yücel Öztürk'e, Ana Bilim Dalı arkadaşlarım Dr. Ar. Gör. Cem Kıncal'a ve Ar. Gör. Seher Aloglu'na teşekkür ederim.

D.E.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarında çalışmamı sağlayan laboratuvar sorumlusu Doç. Dr. Mümtaz Çolak'a, kaya ve su analizleri sırasında yardımlarını gördüğüm Kimyager Nedim Tatari ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Cihan Güneş'e teşekkür ederim.

Kaya Mekaniği laboratuvarından yararlanmamı sağlayan Torbalı Meslek Yüksek Okulu Müdürü Prof. Dr. Burhan Erdoğan'a ve Müdür Yardımcısı Yard. Doç. Dr. Bahadır Yavuz'a, arkadaşım Ar. Gör. Hakan Elçi'ye ve laboratuvar teknisyeni Ercan Gündür'e teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarım sırasında sağlamış oldukları maddi desteklerden dolayı Ayvalık Belediye Başkanı sayın Hasan Türközü ve Ayvalık Belediyesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Yine arazi çalışmalarım sırasında, hem mesleki ve hem de insani her yönden çok yardımını gördüğüm ağabeyim ve meslektaşım Jeoloji Mühendisi Vecdi Ziyansız ve eşi Nesrin Ziyansız'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvar deneylerini ve arazi çalışmalarımı kolaylaştıran stajyer öğrenci arkadaşlarım ve meslektaşlarım Yılmaz Çankaya, Utku Aktaş, Orçun Leblebicioğlu, Seçkin Bekeç, Deniz Ak ve Ercan Leblebici'ye ayrıca teşekkür ederim.

Taslak metin yazımında tezi okuyarak bana çok büyük yardımı dokunan Ziraat Yük. Mühendisi Sultan Daşdemir'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü imkanından yararlanmamı sağlayan Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı nezdinde Bölüm Başkanları Sayın Prof. Dr. Sacit Özer ve Prof. Dr. Özkan Pişkin'e ayrıca teşekkür ederim.

Ve, tüm yaşantım boyunca her anımda bana destek olan, maddi ve manevi hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan canım annem sayın Şadan Akgün'e, ablam sayın Aysun Fat'a, eniştem ve meslektaşım Jeoloji Mühendisi Mehmet Fat'a kelimelerle teşekkür az kalır, iyiki varsınız.

Son teşekkür, babam merhum İsmet Akgün'e. Beni iyi bir evlat, iyi bir yurttaş ve iyi bir insan olarak yetiştirdiğin için sonsuz teşekkür ederim. Biliyorum ki her zaman yanımdaydın ve hep öyle olacaksın. Sana ve anneme layık olabilmek gayesiyle doktora tezimi aziz hatıranı ithaf ediyorum.

Bu tez, Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırmalar Şube Müdürlüğü tarafından 02.KB.FEN.052 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

**Aykut AKGÜN**

# AYVALIK VE YAKIN ÇEVRESİNİN EROZYON VE HEYELAN DUYARLILIĞININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI İNCELENMESİ

## ÖZ

Bu tezin amacı, arazi ve laboratuvar destekli veriler kullanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama yöntemleri yardımıyla Ayvalık ve yakın çevresine ait 424 km<sup>2</sup> lik bir bölgenin erozyon ve heyelan açısından duyarlılık değerlendirmesi yapmaktır.

Çalışmada, uzaktan algılama ürünü olan 30 m yersel çözünürlüklü Landsat TM / ETM+ ve 15 m yersel çözünürlüklü Aster 3A0 uydu görüntüleri ve 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları, 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalar ve topoğrafik haritalar olmak üzere üç temel veri grubu kullanılmıştır. 1995 yılına ait hava fotoğrafları ve 1987, 2001 ve 2004 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak inceleme alanına ait heyelan envanteri çıkartılmıştır. Yine aynı uydu görüntüleri kullanılarak oyuntu erozyon alanları tespit edilmiştir. Jeolojik haritalardan yararlanılarak ve laboratuvar verileri ile desteklenerek inceleme alanında yüzeylenen kayaların bozunma derecesi haritası üretilmiştir. Topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak elde edilen sayısal topoğrafik veriden yamaç eğimi, yamaç yönelimi, akarsu güç indeksi, topoğrafik ıslaklık indeksi, drenaj yoğunluğu ve drenaj hatlarına uzaklık verileri üretilmiştir. Jeolojik haritalar üzerinden ve topoğrafik verilerden de yararlanılarak süreksizlik hatları yoğunluğu ve süreksizlik hatlarına uzaklık verileri elde edilmiştir. Uydu görüntüleri yardımıyla arazi örtüsü ve bitki yoğunluk verileri çıkartılmıştır. Araziden toplanan kaya örneklerinin laboraturda birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı, su muhtevası, Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık indeksi, çabuk su emme ve donma-çözünme sonrası ağırlık kaybı değerleri bulunmuş, bu değerler CBS ortamında noktasal interpolasyon yöntemiyle harita formatına dönüştürülmüştür. Üretilen tüm bu verileri birlikte analiz edebilmek için, 30x30 m'lik bir raster veri türüne dönüştürülmüştür.

Üretilen parametreleri, ortak bir veri ölçeğine dönüştürmek için Bulanık Küme yöntemi kullanılmıştır ve 0-250 ölçeğinde tüm veriler standartlaştırılmıştır. Standartlaştırılan bu veriler, farklı veri setleri oluşturularak, İki Değişkenli istatistik (Benzerlik Oranı-BO), Çok Değişkenli istatistik (Lojistik Regresyon-LR) ve Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA-Ağırlıklandırılmış Lineer Birleştirme) yöntemleri ile değerlendirilmiş, erozyon ve heyelan açısından duyarlı alanlar belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık analizleri sonucunda elde edilen veriler, envanter haritasındaki heyelan lokasyonları ile karşılaştırılmış ve doğruluk analizleri yapılmıştır. Üretilen erozyon duyarlılık haritaları ise güncel oyuntu erozyon alanları, Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık ve donma-çözünme sonrası ağırlık kaybı verileri ile karşılaştırılmıştır ve üretilen haritalar doğrulanmıştır. İnceleme alanındaki heyelanlı alanların %58'i, %42'si ve %8'i sırasıyla ÇÖKA, BO ve LR yöntemleriyle belirlenen yüksek ve çok yüksek hassiyet sınıflarına düşmüştür. Bu veriler ışığında, Çok Ölçütlü Karar Analizi yönteminin heyelan duyarlılık analizleri içinde en makul ve gerçeğe en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Yine Çok Ölçütlü Karar Analizi ile elde edilen erozyon duyarlılık haritalarının, lojistik regresyon ile elde edilen erozyon duyarlılık haritalarına göre daha kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Heyelan duyarlılık analizi sonuçlarına göre inceleme alanında yüksek ve çok yüksek derecede Bozunmuş kayaların, orta ve yüksek derecede eğimli, görece olarak daha çok yağış alan Kuzey Batı yönelimli yamaçlarda, az yoğunluklu bitki örtüsüne sahip, drenaj yoğunluğu yüksek alanlarda yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı gösterdiği belirlenmiştir. Yine orta dereceden çok yüksek dereceye bozunmuş, yüksek eğim dereceli, Kuzey Batı yönelimli ve dış bükey morfolojik yapı gösteren yamaçların, akarsu akış gücünün yüksek olduğu alanlarında yüksek erozyon duyarlılığı gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Erozyon, Heyelan, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çok Değişkenli İstatistik, Çok Ölçütlü Karar Analizi.



# **GIS-BASED EROSION AND LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF THE AYVALIK AND SURROUNDINGS**

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to make an erosion and landslide susceptibility assessment of an area of about 424 km<sup>2</sup> around Ayvalık by Geographical Information Systems (GIS) and remote sensing techniques using the field and laboratory based data.

In this study, three main data set were used. They are 30 m spatial resolution Landsat TM/ETM+ and 15 m spatial resolution Aster 3A0 satellite images and 1/35.000 scale aerial photographs, 1/25.000 scale geological maps and topographical sheets. A landslide inventory of the investigation area was obtained using the aerial photographs obtained in 1995 and satellite images acquired in 1987, 2001 and 2004 years. Gully erosion sites were also detected using the same satellite images. Weathering grades map of the area was produced using the geological maps and the laboratory determined data. From the digital topographical data which was obtained by digitizing the topographical sheets, slope gradient, slope aspect, stream power index, topographical wetness index, drainage density and distance to drainage paths data were produced. Lineament density and distance to lineaments data were obtained from the geological maps and the topographical sheets. With the help of the satellite images, land-cover and vegetation density data were extracted. Unit weight, porosity, void ratio, water content, slake durability index, quick water absorption and mass loosing after the freezing-thawing cycles of the rock samples collected from the field were found in laboratory. The laboratory determined were converted to map type in a GIS environment using point interpolation method. In order to analyse the all data together, they were converted into a 30x30 m raster data type.

Fuzzy logic approach was used to standardize the data produced in a common scale changing from 0 to 250. The standardized data were assessed by Bivariate statistics (Likelihood Ratio), Multivariate Statistics (Logistic Regression) and Multi-

Criteria Decision Analysis (Weighted Linear Combination) methods by constructing the different data sets and the areas susceptible to erosion and landslide were determined. The data obtained at the end of the landslide susceptibility assessments were compared with the landslide localities in the landslide inventory map, and so the validation process was carried out. The erosion susceptibility maps produced were also compared with the actual gully erosion sites, slake durability and mass loosing of the rocks after the freezing-thawing data and the maps obtained were verified. The 58 %, 42% and 8% of the slided areas in the area fall into the high and very high susceptibility classes determined using Multi Criteria Decision Analysis, Likelihood Ratio and Logistic Regression methods respectively. In the light of these results, the Multi-Criteria Decision Analysis method was concluded to be the most reasonable and the most realistic method among the other methods used for landslide susceptibility assessments. The erosion susceptibility maps obtained by Multi-Criteria Decision Analysis technique was found to be more acceptable method than the erosion susceptibility maps produced using the logistic regression analysis.

According to the landslide susceptibility analysis results, the areas, where the rocks show high to very high weathering grades, the hillslopes having moderately to high slope gradients, NW facing hillslopes having relatively high precipitation, sparse vegetated areas and the areas having high drainage density were determined to be highly and very highly susceptible to sliding. In addition, the areas where moderately to highly weathered rocks present in steep slopes, NW facing convex hillslopes and the areas having high stream power index were determined to be showing highly susceptible to erosion.

**Keywords:** Erosion, Landslide, Multivariate Statistics, Geographical Information Systems, Multicriteria Decision Analysis.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ .....	vi
ABSTRACT .....	viii

## **BÖLÜM BİR-GİRİŞ..... 1**

1.1 Amaç ve Yöntem.....	1
-------------------------	---

## **BÖLÜM İKİ - ..... EROZYON VE HEYELAN DUYARLILIK, RİSK VE TEHLİKE DEĞERLENDİRMESİNDE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ VE UZAKTAN ALGILAMA’NIN KULLANILMASINA İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER..... 13**

2.1 Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Tanımlaması ve Terminoloji.....	13
2.1.1 Erozyon Duyarlılık Tanımlaması ve Terminoloji .....	13
2.1.2 Heyelan Duyarlılık Tanımlaması ve Terminoloji.....	15
2.1.3 Analizde Ölçek Faktörü.....	18
2.1.3.1 Ulusal Ölçek (<1/1,000,000,000).....	18
2.1.3.2 Bölgesel Ölçek (<1/100,000).....	19
2.1.3.3 Orta Büyüklükte Ölçek (1/25,000-1/50,000).....	19
2.1.3.4 Büyük Ölçek (>1/10,000).....	19
2.1.4 Kullanılan Bilginin Türü .....	20
2.1.5 Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Uzaktan Algılamanın Kullanımı .....	21
2.1.6 Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Erozyon-Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi .....	24
2.1.6.1 CBS’de Doğal Tehlike Analizi.....	27

2.1.6.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Zonlama Yöntemleri .....	28
2.1.7 Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Zonlama Çalışmalarındaki Eğilimler .....	29
2.1.8 Erozyon ve Heyelan Tehlike Analizi için Doğrudan Haritalama.....	32
2.1.8.1 Dağılım Analizi .....	32
2.1.8.2 Jeomorfolojik Analiz .....	33
2.1.9 Erozyon ve Heyelan Tehlike Analizi için İndoğrudan Analiz .....	34
2.1.9.1 İstatistiksel Yöntemler .....	34
2.1.9.2 İki Değişkenli İstatistiksel Duyarlılık Değerlendirmesi .....	35
2.1.9.3 Çok Değişkenli İstatistiksel Duyarlılık Değerlendirmesi.....	36
2.1.9.4 Çoklu Regresyon Analizi .....	37
2.1.9.5 Lojistik Regresyon Analizi .....	38
2.1.10 Duyarlılık Analizinde Bilgi Tabanlı Yöntemler .....	40
2.1.10.1 Kalitatif Harita Birleştirme .....	40
2.1.10.2 Uygunluk Fonksiyonları .....	40
2.1.11 Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri.....	41
2.1.11.1 CBS 'de Çok Ölçütlü Karar Verme .....	41
2.1.12 Duyarlılık Değerlendirmelerinde Doğruluk ve Nesnellik .....	43
<b>BÖLÜM ÜÇ-JEOLOJİ VE STRATİGRAFİ .....</b>	<b>61</b>
3.1 Jeoloji .....	45
3.1.1 Bölgesel Jeoloji ve Önceki Çalışmalar .....	45
3.1.2 Stratigrafi .....	49
3.1.2.1 Kınık Formasyonu .....	49
3.1.2.2 Yuntdağ Volkanitleri .....	51
3.1.2.2.1 Andezit .....	52
3.1.2.2.2 Bazalt .....	53
3.1.2.2.3 Tüf.....	54
3.1.2.2.4 Silisleşmiş Tüf.....	54
3.1.2.2.5 Jeokimya .....	56

3.1.2.3 Ballica Formasyonu.....	63
3.1.2.4 Soma Formasyonu.....	64
3.1.2.5 Rahmanlar Aglomerası.....	64
3.1.2.6 Alüvyon.....	65
3.2 Yapısal Jeoloji.....	65
3.2.1 Uyumsuzluklar.....	66
3.2.2 Tabakalanmalar.....	66
3.2.3 Çatlaklar.....	67
3.2.4 Faylar.....	68
3.3 İnceleme Alanının Jeomorfolojisi.....	72
3.4 İnceleme Alanının İklimsel Durumu.....	75
3.5. Depremsellik Durumu.....	76
<b>BÖLÜM DÖRT-HİDROLOJİ VE HİDROJEOLJİ.....</b>	<b>79</b>
4.1 İnceleme Alanının Hidrolojisi.....	79
4.1.1 Akarsular.....	79
4.1.2 Kaynaklar.....	81
4.1.3 Göller ve Bataklıklar.....	82
4.1.4 Sığ ve Sondaj Kuyuları.....	83
4.1.5 Akiferler.....	84
4.1.6 Yeraltı Suyu Beslenme ve Boşalımı.....	84
4.1.6.1 Ayvalık Ovası Beslenimi.....	85
4.1.6.2 Altınova Ovası Beslenimi.....	85
4.1.6.3 Ayvalık Ovasının Yeraltı Su Boşalımı.....	85
4.1.6.4 Altınova Ovasının Yeraltı Su Boşalımı.....	86
4.1.6.5 Gömeç (Armutova) Ovasının Beslenme ve Boşalımı.....	87
4.2 İnceleme Alanındaki Suların Hidrojeokimyası.....	87

## **BÖLÜM BEŞ-AYVALIK YÖRESİ KAYALARINDA BOZUNMA ..... 94**

5.1 Bozunma Tanımı, Türleri Ve İşlemleri.....	94
5.2 Ayvalık Yöresi Kayalarının Bozunma, Erozyon ve İklimsel Veri İliş .....	96
5.3 Ayvalık Yöresi Kayalarının Mühendislik Amaçları İçin Tanımlanması Ve Sınıflandırılması .....	99
5.3.1 İnceleme Alanındaki Kayaların Bozunma Derecelerinin Belirlenmesi.....	101
5.3.1.1 Bozunma Derecelerinin Standart Olmayan Fiziksel ve Basit Mekanik Deneylerle Tariflenmesi.....	102
5.4 İnceleme Alanındaki Kayaların Genel Bozunma Özellikleri.....	106
5.4.1 Volkanik Birimlerde Bozunma.....	106
5.4.2 Tortul Birimlerde Bozunma .....	112
5.4.3 Metamorfik Birimlerde Bozunma .....	113

## **BÖLÜM ALTI - .....DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN VERİLERİN ÜRETİMİ..... 115**

6.1 Jeoloji.....	115
6.1.1 Veri Girişi.....	115
6.1.2 Girdi Veri Üretilmesi.....	120
6.1.3 Bozunma.....	125
6.2 Yükseklik .....	128
6.2.1 Veri Girişi.....	128
6.2.2 Girdi Veri Üretilmesi.....	130
6.3 Labaratuvar ve Arazi Ölçüm Verilerinin Girdi Veri Olarak Hazırlı.....	144
6.3.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi ve Harita Formatına Dönüştürülmesi.....	145
6.3.1.1 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi'nin Belirlenmesi.....	152
6.3.1.2 Donma-Çözünme Sonrası Kayıp.....	153
6.4 Arazi Örtüsü.....	166
6.4.1 Girdi Veri Üretilmesi.....	167

6.4.1.1	Jeoreferanslama .....	171
6.4.1.2	Veri İşleme .....	173
6.4.1.2.1	Temel Bileşenler Analizi .....	173
6.4.1.2.2	Dekorelasyon Germesi.....	176
6.4.1.3	Bitki Örtüsü İndeksi .....	179
6.4.1.3.1	Bitki Örtüsü Yoğunluk Haritası.....	181
6.4.2	Sinir Ağları (Neural Network) Sınıflandırması.....	183
6.4.2.1	Doğruluk Değerlendirmesi.....	186
6.5	Heyelan Envanter Haritalaması.....	190
6.6	Oyuntu Erozyon Haritalaması.....	205

## **BÖLÜM YEDİ -EROZYON VE HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ ..... 207**

7.1	Giriş.....	207
7.2	Lojistik Regresyon Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi.....	207
7.2.1	Parametre Haritalarının Standartlaştırılması .....	208
7.2.1.1	Bulanık Mantık Yöntemi.....	208
7.2.1.1.1	Bulanık Kümeler .....	209
7.2.1.1.1.1	Sigmoidal Fonksiyon .....	210
7.2.1.1.1.2	J-Şekilli Fonksiyon .....	211
7.2.1.1.1.3	Lineer Fonksiyon .....	212
7.2.1.1.1.4	Kullanıcı Tanımlı Üyelik Fonksiyonu .....	212
7.2.1.2	Faktörlerin Bulanıklaştırılması.....	213
7.2.2	Lojistik Regresyon Uygulaması .....	229
7.2.2.1	Duyarlılık Haritalamasının Doğrulaması .....	237
7.3	Benzerlik Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi.....	239
7.4	Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi.....	247
7.4.1	Konumsal Çok Ölçütlü Karar Analizi .....	247
7.4.1.1	Çok Ölçütlü Konumsal Karar Analizi Adımları.....	250
7.4.1.1.1	Problemin Tanımlanması.....	250

7.4.1.1.2	Değerlendirme Kriteri.....	251
7.4.1.1.3	Kriter Ağırlıkları.....	251
7.4.2	Çok Ölçütlü Karar Analizi Yönteminin Uygulanması.....	255
7.5	Lojistik Regresyon Yöntemiyle Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi.....	262
7.5.1	Farklı Parametre Gruplarının Oluşturulması.....	262
7.5.1.1	Grup 1 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	263
7.5.1.2	Grup 2 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	267
7.5.1.3	Grup 3 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	271
7.5.1.4	Grup 4 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	275
7.5.1.5	Grup 5 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	279
7.5.1.6	Grup 6 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	283
7.5.1.7	Grup 7 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	287
7.5.1.8	Grup 8 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması.....	291
7.5.2	Lojistik Regresyonla Üretilen Erozyon Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırması.....	295
7.6	Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi.....	296
7.6.1	Çapraz Karşılaştırma/Çapraz Tablolama.....	318
7.7	Arazi Örtüsü'nün Zamansal Değişimi ve Erozyon Gelişimi.....	332
7.8	Morfolojik Değişim ve Erozyon Gelişimi.....	337

## **BÖLÜM SEKİZ-TARTIŞMALAR..... 342**

8.1	Giriş.....	342
8.2	Parametre Seçimi.....	342
8.3	Yöntem Seçimi.....	346
8.4	Girdi Veri Üretimi.....	349
8.5	Verilerin Değerlendirilmesi.....	351
8.5.1	Heyelan Duyarlılık Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	351
8.5.2	Erozyon Duyarlılık Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	354
8.6	Sonuç Haritalarının Karşılaştırılması.....	355
8.6.1	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırılması.....	356
8.6.2	Erozyon Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırılması.....	358



<b>BÖLÜM DOKUZ-SONUÇLAR</b> .....	<b>359</b>
<b>BÖLÜM ON-ÖNERİLER</b> .....	<b>365</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>366</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>394</b>
EK 1. İnceleme alanına ait genel jeoloji haritası.....	395
EK 2. Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası. ....	396
EK 3. Olasılık-benzerlik oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası.....	397
EK 4. Voogd (1983)'e göre ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası .....	398
EK 5. Eastman (2004)'e göre ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yaklaşımıyla üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	399
EK 6. A: Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü, topoğrafik eğrilik ve B: Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi parametreleri ile hazırlanmış erozyon duyarlılık haritaları ve bunların litoloji ile ilişkileri.....	400

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

### 1.1 Amaç ve Yöntem

Erozyon ve yamaç hareketleri, birbirleriyle etkileşim içerisinde olan jeodinamik süreçler olup, hem ekonomik anlamda hem de insan yaşamı üzerindeki etkilerinden söz edilen doğal afetler olarak tanımlanmaktadır. Bazı bölgelerde değişen iklim koşulları ve arazi örtüsünün olumsuz şekillerde kullanımı sonucunda meydana gelen erozyonla bir ülke yüzölçümü kadar verimli toprak kaybı söz konusu olabilmektedir. Bu süreç esnasında özellikle toprak erozyonunun etkisiyle yamaçlarda meydana gelen zayıflamalar, kayaların fiziksel olarak parçalanması ve bozunması, yoğun yağış, yüksek yamaç eğimi vb. gibi diğer yardımcı yan faktörlerin de etkisiyle kütle hareketlerine ve özellikle de heyelanlara yol açmakta, bu durum yerleşim alanlarını ciddi biçimde tehdit eden doğal bir afet olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda dünyada ve özellikle de Avrupa Birliği bünyesinde erozyon ve kütle hareketleri ile ilgili organize ve büyük ölçekli çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerince “CORINE PROGRAM” olarak isimlendirilen ve arazi kullanım planlamasından erozyon risk değerlendirmesine kadar geniş spekturumlu bir doğal afet izleme ve inceleme programı hazırlanmıştır (CORINE, 1995). Bu tez çalışması sürecinde de CORINE çalışma programına ait olan arazi kullanım planlaması (land-use planning) ile ilgili kavram, yöntem ve yaklaşımlardan yararlanılmıştır.

Erozyon ve yamaç hareketi kavramları da, deprem, sel, taşkın, tsunami, volkan patlamaları gibi doğal afet olarak sınıflandırılmaktadır. Fakat, bu tez kapsamında ele alınan erozyon kavramı ile yamaç hareketleri (kütle hareketler) arasındaki en temel fark, sürecin zamansal boyutudur. Erozyon daha uzun zaman diliminde değerlendirilmesi gereken bir jeodinamik süreçken, kütle hareketleri (heyelanlar) mühendislik zaman dilimi içerisinde değerlendirilmesi gereken ve erozyona göre çok daha hızlı işleyebilen ve sonuçlanabilen bir doğal afettir. Dolayısıyla bu husus dikkate alındığında hem erozyon ve hem de heyelan duyarlılık değerlendirmesi ortak

parametrelerin birarada değerlendirildiği iki süreç olmasına karşın yorumlamada zamansal boyut açısından farklılık sergileyecektir.

Geçen son 20 seneye bakıldığı zaman hem erozyon ve hem de heyelan risk, tehlike ve duyarlılık değerlendirmesiyle ilgili pek çok araştırmacı ilgilenmiştir. Bunun yanısıra, bu amaçla yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem ve yaklaşımlar arasında bugüne kadar sağlam ve geçerli tutarlılıklar ve ilişkiler kurulamamıştır (Brabb, 1984; Carrara, 1983, 1989 ve 1993).

Yöntemsel olarak ve uygulama aşamalarındaki farklılıklara karşın, tüm yöntemler temelde tek bir kavramsal modele oturtulmuştur. Bu model ilk olarak, erozyon ve heyelanla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olan jeolojik ve jeomorfolojik parametrelerin tanımlanmasını ve haritalanmasını gerektirmektedir. Daha sonra bu parametrelerin söz konusu jeodinamik sürece hangi ağırlıkta katkıda bulunduğu tahmini ve bu faktörlerin risk, tehlike veya duyarlılık derecelerine göre arazi üzerindeki konum ve dağılımlarına göre sınıflandırılması gelmektedir (Carrara, 1993).

Bu konuda dünyanın değişik pek çok bölgesinde yapılan yüzlerce araştırmada, deneyimli ve konusunda uzman olan pek çok araştırmacı ayrıntılı arazi gözlemleri ve hava fotoğrafları kullanarak erozyon ve heyelana maruz alanları belirleyebilmektedir (Rib ve Liang, 1978). Bunun yanısıra, yoğun bitki örtüsü ya da tarım amaçlı arazi kullanımı gibi faktörlerden dolayı fosil heyelanlar kolay ve doğru şekilde belirlenmemektedir. Bu durum, kullanılan hava fotoğraflarının ve altlık haritalarının (topoğrafik harita) ölçeği ve kalitesine, işi yapan araştırmacının beceri ve uzman görüşüne bağlı olduğu kadar bir belirsizlik faktörünü de ortaya çıkartmaktadır. Bu noktada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ortamında çok değişkenli istatistiğin (multivariate statistics), konumsal verinin yönetimi ve kullanımında ortaya çıkması söz konusu olmuştur.

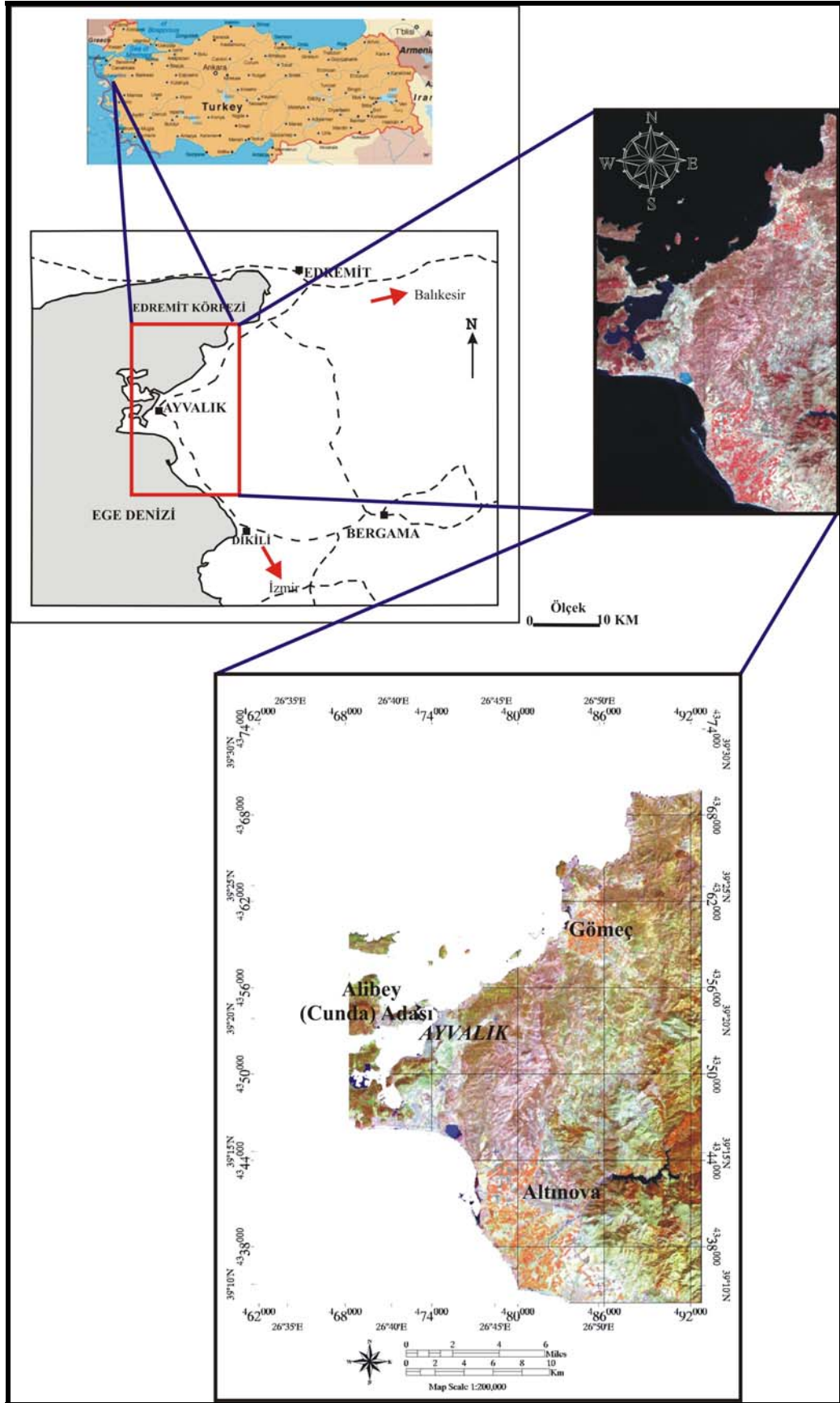
Bu durumun değerlendirilmesinde ileriki bir diğer aşama, risk, tehlike veya duyarlılık zonlanmasında erozyon ve heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerin

sistematik olarak haritalanması ve bu faktörlerin söz konusu jeodinamik sürece olan katkısının göreceli olarak ne kadar olduğunun belirlenmesidir. Aslında, söz konusu jeodinamik süreçler olan erozyon ve heyelanların pek çoğunun nedenleri oldukça karmaşık, hatta çoğu zaman bilinmesi mümkün olmayan niteliktedir. Bunun tam tersine, erozyon ve heyelan afet değerlendirmesinde sürece katkıda bulunan ve haritalanabilen jeolojik ve jeomorfolojik faktörler, diğer katkıda bulunan faktörlerin pek çoğu gibi belirlenmesi çok zor olan parametreler değildir (Carrara, 1989).

Tüm bu yöntemlerin üstünlükleri ve bunun yanında sınırlamaları bulunmaktadır. Jeomorfolojik yaklaşımın en olumlu yanı, araziden ve hava fotoğraflarından toplanan çok sayıdaki verinin aktif ve potansiyel erozyon ve heyelan tahmininde yetenekli bir değerlendirme yapılmasına imkan tanınmasında yatmaktadır. Bunun yanı sıra, yersel ve geniş ölçeğe yayılmış erozyon ve heyelan durumu tanımlanabilmekte ve değerlendirilebilmektedir. Yalnız, bu noktadaki en çarpıcı sınırlama, yaklaşımdaki tüm aşamalarda kişisel görüşler diğer bir ifadeyle öznelliktir. Haritalamanın değişik aşamaları ile ilişkili belirsizlik derecesi değerlendirilemez. Buna benzer olarak değişik araştırmacılar tarafından aynı alan için üretilmiş erozyon ve/veya heyelan risk, tehlike ve duyarlılık haritalarının birbirleriyle karşılaştırmak da oldukça zor hatta çoğu zaman mümkün değildir.

## **1.2. İnceleme Alanının Erozyon ve Heyelan Gelişimi Açısından Önemi**

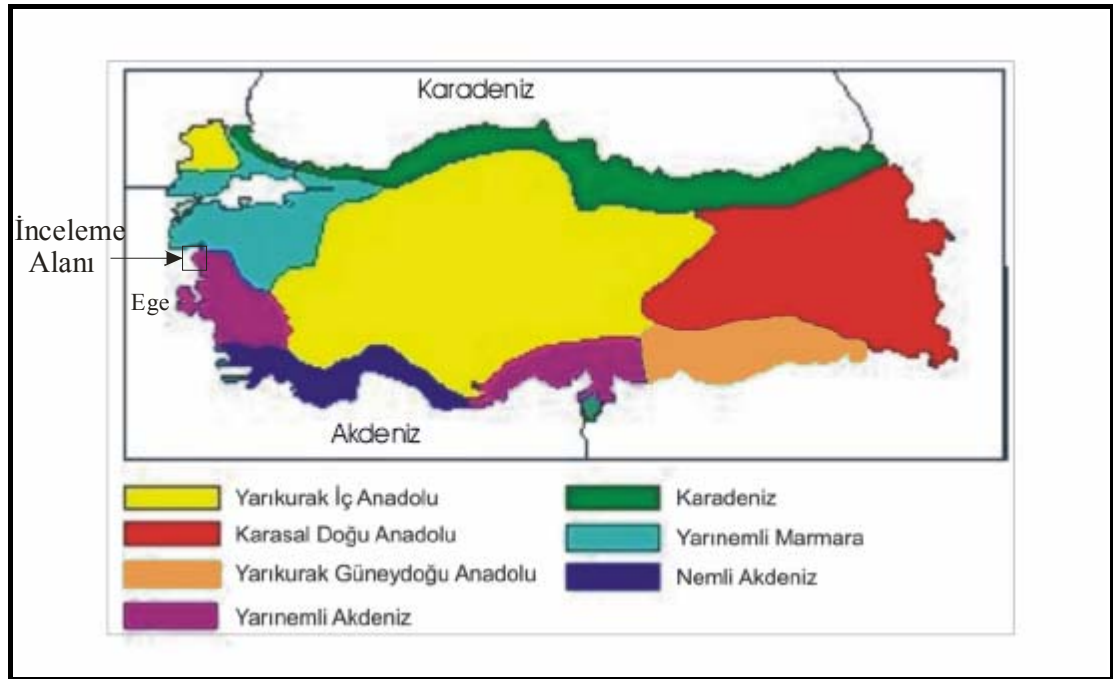
Çalışma alanı Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu kısmında yer almakta olup, Balıkesir iline bağlı Ayvalık ilçesi ile İzmir iline bağlı Bergama ilçeleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1.1). İnceleme alanı coğrafi koordinatları ile ifade edildiğinde; WGS 84 Datum ve UTM 35N koordinat sistemlerine göre Min X: 461590.500, Min Y: 4334022.500, Max X: 492610.500 ve Max Y: 4374084.500 koordinatları arasında yer almaktadır. İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli Ayvalık J17 a2, a3, d2, b1, b4 ve c1 paftaları olmak suretiyle 6 adet topoğrafik haritayı kapsamaktadır. İnceleme alanı güneyden kuzeye doğru yaklaşık 40 km, doğudan batıya ise ortalama 10 km olup toplam çalışma alanı olarak yaklaşık 424 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır.



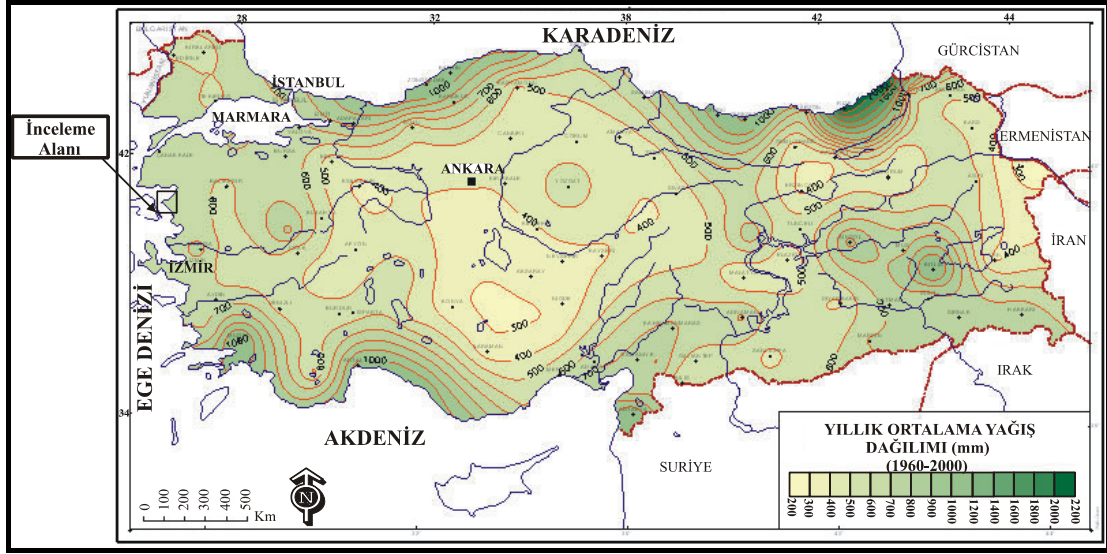
Şekil 1.1 İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.

Türkiye topoğrafyası'nın %62'sinin dik, çok dik ve sarp arazilerden oluşması ve erozyona karşı önlem alınması gereken orta dik eğimli arazilerin %14 yayılım alanı göstermesi göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'deki tarım, orman ve mera alanlarının önemli bir bölümü yeterli su içeriğine sahip olmaması, eğimin fazlalığı, bitki örtüsünün yetersizliği, jeolojik birimlerin ve buna bağlı olarak gelişen toprağın aşınmaya uygun veya duyarlı olması nedenleriyle de erozyon tehdidi altındadır (www.tema.org.tr).

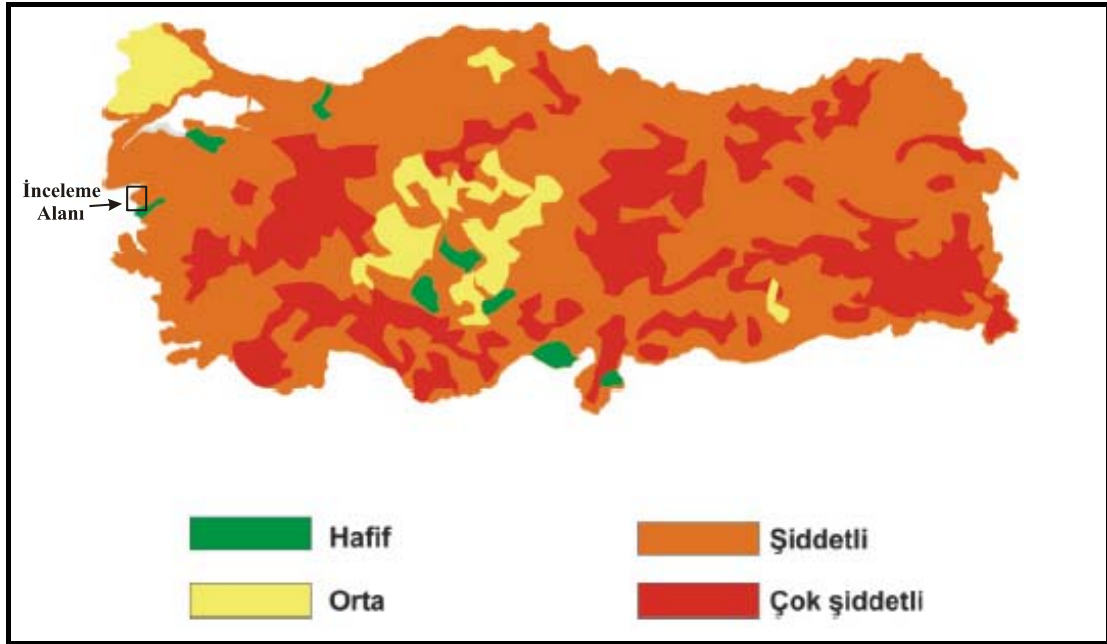
İnceleme alanı olarak seçilen Ayvalık yöresi ve yakın çevresi, Yarı-nemli Akdeniz ikliminin görüldüğü (Şekil 1.2), uzun yıllar yağış ortalamasına göre (1961-2000) 700-800 mm yağış alan (Şekil 1.3) bir bölgede yer almaktadır. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli "Türkiye Erozyon Haritası"na (Şekil 1.4) göre "Şiddetli Erozyon" bölgesi içerisinde bulunan inceleme alanı, Erozyon duyarlılığı açısından değerlendirilmesi ve ayrıntılı incelenmesi gereken bölgelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1.2 Türkiye İklim Bölgeleri Haritası (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006).



Şekil 1.3 Türkiye yıllık ortalama yağış dağılım haritası (1960-2000 yılları arası) (www.meteor.gov.tr).

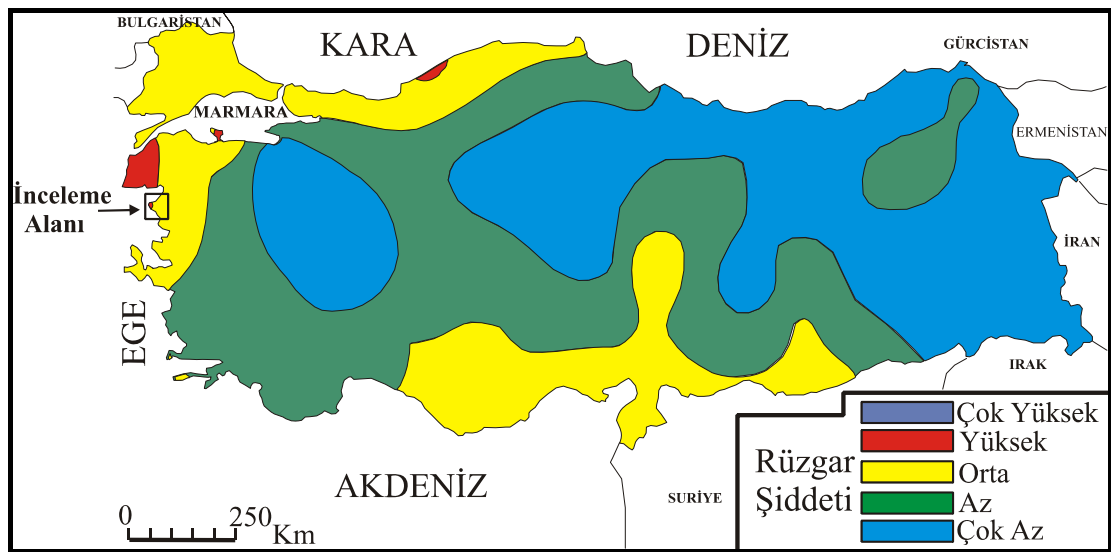


Şekil 1.4 Basitleştirilmiş Türkiye Erozyon Şiddet Haritası ve inceleme alanının Türkiye Erozyon Haritası'ndaki yeri (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005).

İnceleme alanı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Rüzgar Şiddeti Haritası'nda Yüksek ve Orta Şiddette rüzgara maruz kalan bir bölge olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.5). Türkiye'deki erozyon gelişiminin %99 oranda su erozyonu ve %1 oranında da rüzgar erozyonu şeklinde geliştiği dikkate

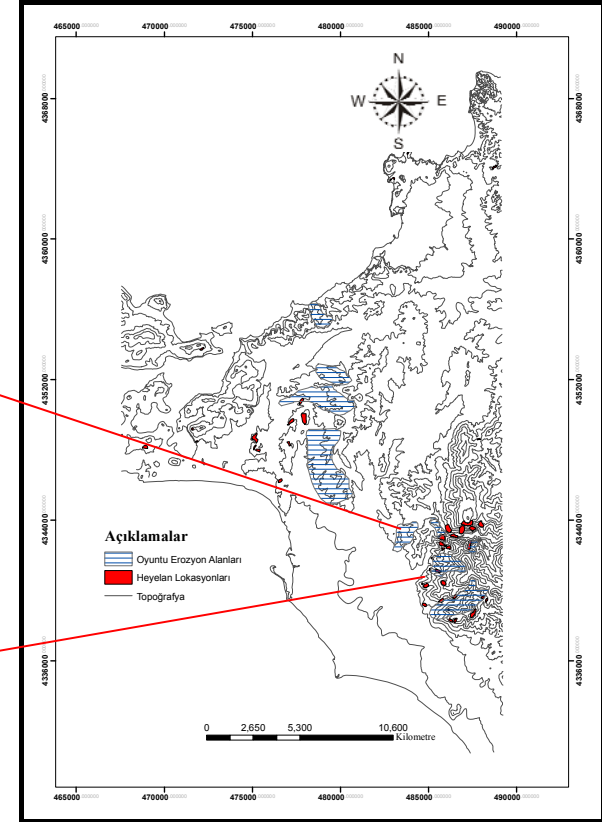
alındığında (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005), inceleme alanında gelişen veya gelişmesi muhtemel olan erozyon sürecinin su erozyonu ile meydana gelme olasılığının çok yüksek olduğu düşünülmelidir (Şekil 1.6).

İnceleme alanında yüzeylenen kayalarda gözlenen yoğun bozunma, yüksek eğimli yamaçların varlığı, yamaçlarda yapılan kazılar ve yukarıda bahsedilen iklimsel etkiler gibi nedenlerden ötürü, bölgede erozyon ile birlikte heyelan gelişimini de kolaylaştırmaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.5 Türkiye Rüzgar Şiddeti Haritası (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2006).





Şekil 1.6 İnceleme alanında etkin olan erozyon sonucu gelişmiş bazı yüzey örnekleri.

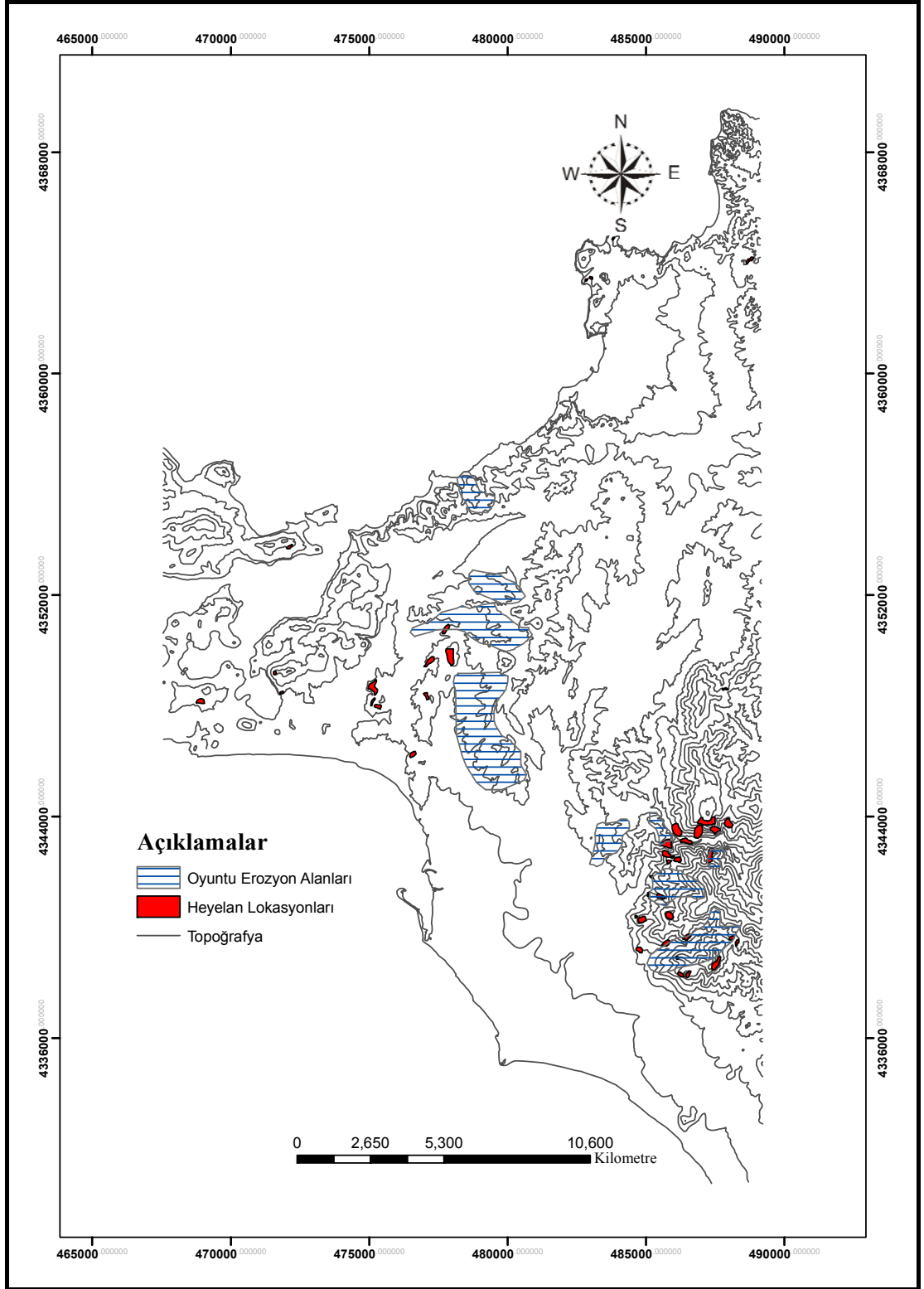


Şekil 1.7 İnceleme alanında gözlenen kütle hareketlerinden bazı örnekler.

Yukarıda verilen tüm hususları dikkate alarak bu çalışma kapsamında, Ayvalık yöresi ve yakın çevresine ait bölgenin bir erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılması hedeflenmiştir. Duyarlılık (susceptibility) değerlendirmesi yapılırken, veri setinin kolay ulaşılabilir ve mümkün olduğunca ucuz olmasına, duyarlılık değerlendirmesi için kurulan sistemin hem uzman deneyimli hem de veriye dayalı olan entegre bir sistem olmasına, sistemin basit ve her kullanıcı tarafından kolayca uygulanabilir bir sistem olmasına özen gösterilmiştir.

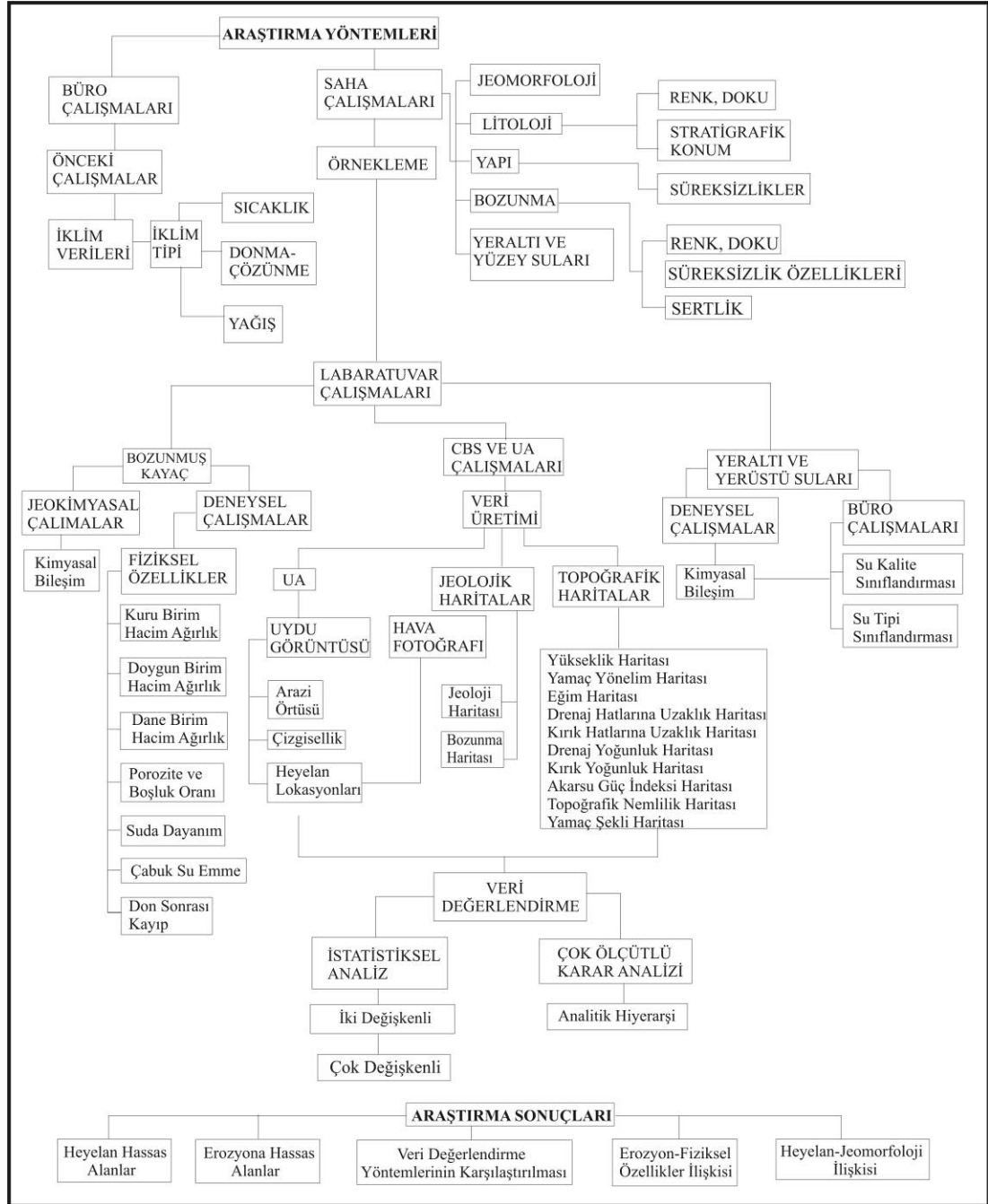
Çalışmada geniş spektrumlu bir duyarlılık değerlendirmesi hedeflendiği için hem erozyon hem de heyelan (kütle hareketleri) konusunda daha önce yapılmış olan çalışmalar Bölüm 2’de irdelenmiştir. Tanımlar, kavramlar, yöntemler, uzaktan algılamanın oynamış olduğu rol ve coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılmakta olan modelleme teknikleri de ayrıca bu bölümde verilmiştir. Ayvalık ve yakın çevresinin jeolojisi, bölgesel jeoloji de göz önünde bulundurulmak suretiyle litolojik birimlerin tanımlanması ve tektonik özelliklerin irdelenmesi Bölüm 3’de sunulmuştur. İnceleme alanına ait hidrolojik ve hidrojeolojik bilgiler Bölüm 4’de, Bölüm 5’de ise çalışma alanında yüzeyleyen kayaların genel bozunma karakteristikleri sunulmuştur. Girdi veri (input data) türleri ve veri üretim aşamaları Bölüm 6’da verilmiştir. Bu bölümde, her bir parametre haritası ve bu parametre haritalarının üretilmelerinde kullanılan teknik ve yöntemler açıklanmıştır. Toplam 11 parametre haritası üretilmiş ve kullanılmıştır. Parametre haritalarından elde edilen veriler ile gerçekleştirilen istatistiksel ve sayısal erozyon ve heyelan duyarlılık analizleri Bölüm 7’de verilmiştir. Bölüm 8’de, üretilen verilerin ve yöntemlerin geçerliliği ile elde edilen analiz sonuçları tartışılmış, Bölüm 9’da ise tez bütününde elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Şekil 1.8’de inceleme alanına ait topoğrafya ve bu topoğrafya üzerinde arazide gözlenen heyelan lokasyonları ile güncel erozyon alanları verilmiştir.



Şekil 1.8 İnceleme alanına ait topoğrafik harita ve arazide gözlenen oyuntu erozyon ve heyelan alanlarının lokasyonları.

Bu çalışma kapsamında yürütülen çalışmalara ait genel bir akış vermesi açısından faydalı olacağı düşünülerek hazırlanan ayrıntılı iş akış diyagramı Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9 Çalışma süresince izlenen iş akış diyagramı.

## BÖLÜM 2

### EROZYON VE HEYELAN DUYARLILIK, RİSK VE TEHLİKE DEĞERLENDİRMESİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE UZAKTAN ALGILAMA'NIN KULLANILMASINA İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER

#### 2.1 Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Tanımlaması ve Terminoloji

Bu çalışmanın bütününi oluşturan erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmeleri yapılırken kullanılan yöntem, değerlendirme parametreleri ve yaklaşımlar genelde ortak felsefede değerlendirilmiş olmasına karşın, özelde değerlendirme yaklaşımlarında bazı noktalarda farklılıklar bulunmaktadır. Bundan dolayı bu bölümde, hem erozyon ve hem de heyelan duyarlılık değerlendirmelerine yönelik temel bilgi ve yaklaşımlar kısaca belirtilecektir.

##### 2.1.1 Erozyon Duyarlılık Tanımlaması ve Terminoloji

Erozyon, jeoloji, toprak bilimi, orman mühendisliği gibi değişik disiplinlerce ele alınan bir jeomorfolojik süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu bu disiplinlerin erozyonu ele alış ve irdeme şekilleri de sahip olmuş oldukları bakış açısına göre tanımlanmış, değerlendirilmiş ve irdelenmiştir. Örneğin, orman ve toprak bilimcileri erozyona, halihazırda oluşmuş olan toprağın su, rüzgar ve benzeri yollarla taşınması ve ekolojik dengenin bozulmasına katkıda bulunan doğal bir süreç olarak bakmaktadır (Görcelioğlu, 2003). Daha açık bir ifadeyle, antropojen bir süreci kapsayan dar anlamda kullanılan erozyon kavramında, insan etkileri sonucunda hız kazanan toprak aşınması taşınması ifade edilmektedir. Jeoloji bilimi ve jeomühendislik (jeoteknik, mühendislik jeolojisi) bakış açısıyla erozyon ise, toprağın oluşumuna kadar olan aşınma, bozunma ve en son olarak da rezidüel (kalıntı) toprağın oluşmasına kadar ki süreç olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada da erozyon, kayaların aşınabilirliğinin bir fonksiyonu olarak düşünülerek ele alınmış, başlıca bozunma faktörü olmak üzere erozyon sürecinin

başlangıcı olan aşınabilirlik olayına katkıda bulunacak olan litolojik değişim, eğim, bitki örtüsü, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık indeksi değeri, ve arazi örtüsü gibi yardımcı parametrelerinde kullanıldığı çok parametrelili bir erozyon duyarlılık değerlendirilmesi yapılması hedeflenmiştir.

Erozyon, yağış, buzul, rüzgar ve yeraltı veya yüzey sularının aşındırma gücüne bağlı olarak zemin veya kaya kütlelerinin aşınabilirliğinin bir fonksiyonudur (Selby, 1982). Ayrıca, aşınabilirlik, kayacın fiziksel özelliklerine ve topoğrafik yüzeye (yamaç eğimi ve şekli, bitki örtüsüne) bağlıdır (Selby, 1982). Yerkabuğunun akarsular, dalgalar, buzullar ya da rüzgar tarafından aşındırılması, esas itibarıyla normal bir jeolojik süreçtir. Jeolojik erozyon, doğal erozyon ya da normal erozyon olarak isimlendirilen bu süreç, en geniş anlamıyla insan müdahalesinin söz konusu olmadığı, doğal çevredeki araziye özgü sürekli bir aşınma ve düzlenme olayıdır (Görcelioğlu, 2003). Bu şekildeki erozyon, kayaların parçalanıp ufalanmasına yol açan karmaşık bozunma olaylarıyla birlikte hem toprağın oluşup gelişmesine, hem de meydana gelen toprağın oluştuğu yerden başka yerlere taşınarak dağılmasına yardım eder.

Ceryan (1998), Harşit granitoidi'nin bozunması ve bozunmanın kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yapmış olduğu çalışmada granitoidin yüzeylenmiş olduğu yamaçlardaki eğim-bozunma ilişkisini denetleyen en önemli faktörlerden birinin erozyon olduğundan bahsetmiş, söz konusu yamaçların aşınma miktarlarını sayısal olarak tahmin etmede kullanılabilecek bir model önermiştir. Bu modele göre, granitoidin yayılım göstermiş olduğu alanlardaki erozyon, esas olarak yeraltı ve yüzey sularından oluştuğu kabulüne göre kayacın suda parçalanması ve parçalanmış kısmın suyla taşınması şeklinde bir süreç olarak düşünülmüştür. Başka bir anlatımla, yamaçların suyla aşınabilirliği (potansiyel aşınma miktarı:  $P_a$ ) yamacı oluşturan kaya veya toprağın suya dayanım indeksi ile erozyona uğrayacak kütle miktarının bir fonksiyonudur. Erozyon ilerledikçe, diğer bir ifadeyle yamaçtan malzeme taşındıkça yamacın eğimi düşecek ve sonuçta yamaç yatay konumuna gelince artık malzeme taşınmayacaktır. Bu nedenle, erozyona uğrayacak miktar ( $E_m$ ), yamaç eğiminin bir

fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bu durumda yamaçların potansiyel aşınabilirliği aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilir:

$$Pa (\%) = Em \times (100 - Id) \quad (\text{Ceryan, 1998})$$

“Pa” değeri, yamaç eğimi ve Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi değerlerinin bir fonksiyonu olarak basit bir grafik yardımıyla belirlenebilir. Aynı “Id” değerine sahip, diğer bir ifadeyle aynı bozunma derecesine sahip malzemenin oluşmuş olan yamaçlarda, eğim arttıkça potansiyel aşınma miktarı artmaktadır. Yine aynı eğim derecesine sahip yamaçlarda bozunma derecesi arttıkça potansiyel aşınma miktarı da artacaktır.

Erozyon, jeolojik yükü azaltacağından, rahatlama çatlaklarının oluşumu hızlanacak, dolayısıyla bozunmuş malzemenin taşınmasıyla yüzeylenen daha az bozunmuş kaya kütlelerinin bozunması hızlanacaktır. Ayrıca, süreksizlik yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde erozyon duyarlılığı daha fazla olacaktır.

### ***2.1.2 Heyelan Duyarlılık Tanımlaması ve Terminolojisi***

Kütle hareketi, Crozier (1986) tarafından, yamacı oluşturan toprak ya da kaya malzemesinin suyun taşıyıcı etkisi olmaksızın, gravitasyona bağlı olarak yamaç aşağı doğru hareketi olarak tanımlanırken, Cruden (1991) ise, kaya veya zemin malzemesinin bir yamaç ya da şevden aşağıya doğru hareketi olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlar uluslararası olarak kabul görmüş ve sıklıkla kullanılmakta olan tanımlardır. Bu tanımlar suyun etkisi yönünden birbirlerinden hafifçe ayrılmakta olmasına karşın, insan yaşamına doğrudan etkide bulunan, bir yamaç veya şev aşağıya bir kütle hareketini tanımlayan zarar verici jeodinamik bir süreç olarak nitelenmektedir.

IAEG, 1990’larda yapmış oldukları tanımlamalarda, daha ziyade heyelan türü, aktiviteleri ve tanımlamaları üzerinde durmuş olmasına karşın Soeters ve van Westen (1996), “Yamaç duraysızlığı süreci yerel jeomorfoloji, hidrojeolojik ve jeolojik



durum ve bunların jeodinamik süreçler, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve insan aktiviteleri gibi yan etkilerle modifiye edilmesinin yanında yağış ve sismisite gibi faktörlerin de yardımcı olduğu bir ürün” olarak daha ilişkişel bir tanımlama vermiştir.

Kütle hareketleri veya yamaç duraysızlığı ya da heyelan, insan yaşamını etkilemediği sürece aşındırıcı ve yıpratıcı bir doğal süreçtir. İnsan üzerine etkisi söz konusu olduğunda artık “tehlike (hazard)” kavramından bahsetmek gerekir. Bu noktada yapılan çalışmalarda kavramsal olarak bazı karmaşıklıkların önüne geçilmesi amacıyla temel tanım ve kavramların tanımlanması gerekmektedir. Varnes (1984) tarafından yapılan tanımlamalar, bugün tüm dünyada kullanılan ve geçerlilik gören kavramlar olmaya devam etmektedir.

***Doğal Tehlike (Natural Hazard, H):*** Bir alanda belirli bir zaman diliminde potansiyel olarak yıkıcı ve zarar verici nitelikte bir olayın meydana gelme olasılığıdır.

***Hasar Görebilirlik (Vulnerability, V):*** Risk altındaki bir nesne ya da grup üzerinde, büyüklüğü ve şiddeti verilen bir doğal olayın sonucunda meydana gelen kaybın derecesidir. Burada “0” ’dan “1” ’e ölçeklendirme yapıldığında 0 (değişim yok), 1 (toplam kayıp) olarak düşünülebilir.

***Özgül Risk (Specific Risk, Rs):*** Doğal bir afet’den dolayı meydana gelen tahmini kayıp derecesidir. Hasar görebilirlik ve doğal zararın ürünü ortak bir fonksiyonu olarak da tanımlanabilir.

$$R_s = H + V$$

***Risk Altındaki Varlıklar (Elements at risk, E):*** Risk altındaki bir alanda bulunan nüfus, taşınmaz mülkler, ekonomik aktiviteler, halk hizmet servisleri vb... gibi tüm nesnelere içerir.

**Toplam Risk (Total risk, Rt):** Doğal bir afetin neden olduğu can ve mal kaybı, yaralanma veya ekonomik aktivitelerdeki sektelerin tahmin edilen (beklenen) sayısıdır.

$R_t = E \cdot R_s$  olarak da ifade edilebilir.

**Duyarlılık (Susceptibility):** Bir bölgenin, göreceli olarak doğal olaya (heyelan, erozyon, sel vb...) karşı duyarlılığının sınıflandırılmasıdır. Bu sayede, incelenen alanların hasar verici potansiyele sahip doğal olaya karşı duyarlılığının belirlenmesi mümkün olacak ve bu alan için doğal afet oluşumuna neden olabilecek faktörlerin belirlenmesiyle daha sonraki zamanlarda söz konusu doğal afetin gelişebileceği potansiyel alanlar tespit edilebilecektir. Burada temel esas, güncel veya daha önce meydana gelmiş olan doğal olayların özellikleri belirlenerek, söz konusu olaya neden olabilecek hazırlayıcı (ortamsal) parametreleri bir arada değerlendirmektir. Bunun için, söz konusu parametrelere ilişkin ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dikkate alınan parametrelere ait parametre haritaları oluşturulup, bu parametrelerin olayın oluşumundaki önemlerine göre ağırlık değerlerinin belirlenerek ilgili parametre haritalarına atanması ve bir dizi işlem sonucunda duyarlılık haritası oluşturulmaktadır.

Yukarıda verilen kavramların farklı anlamlar taşıdığı dikkate alındığı zaman, tehlike ve risk kavramlarının herbiri ayrı bir harita ile ifade edilmek durumundadır. Her bir alt sınıf, eş olasılık sınıflarını temsil ederler. Tehlike sınıflarının farklılığı ve bunların ayrı ayrı gruplandırılması ise “zonlama” olarak ifade edilmektedir. Zonlama kavramı tanımsal olarak; “ Bir arazi parçasını, güncel veya potansiyel doğal tehlike derecesine göre alanlara veya bölgelere ayırmak ve bu alanları puanlamak (derecelemek)” şeklinde ifade edilebilir (Varnes, 1984).

Doğal tehlike haritalaması/zonlaması, bir doğal tehlike analizinde yer bilimcinin yapması gerekli olan temel görev olarak düşünülmelidir. Bir doğal tehlike zonlaması, tüm çalışma stratejisinin dayanmış olduğu en önemli kısımdır. Zonlama çalışmaları bazı faktörlere bağlı olarak geliştirilmektedir. Bu faktörler tehlikenin büyüklüğü,

sıklığı ve konumudur. Tehlike haritası hazırlama işlemindeki bir sonraki adım ise haritalanmış tehlikenin gösterilmesi ve tehlike haritasının eş özneliklerini ilgilendiren homojen alanlara sınıflandırılmasıdır.

Zonlama/haritalama iki faktöre bağlı olarak kontrol edilmektedir. Bunlar; haritalama veya zonlama ölçeği ve zonlamada kullanılan bilginin türüdür.

### **2.1.3 Analizde Ölçek Faktörü**

Veri toplamaya başlamadan önce araştırmacının bazı soruların cevaplarına göre hareket etmesi daha faydalı olur:

1. Bu çalışmanın amacı nedir?
2. Hangi ölçekte sunulmalı?
3. Elde mevcut olan kaynaklar nelerdir?

Çalışmanın amacı önceden tanımlanabileceği için, ölçek projenin başlangıcında belirlenmesi gereken ilk parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla ölçek faktörü, çıktı verinin ve analiz sürecinin doğruluk ve duyarlılığını belirleyen bir faktör olmak durumundadır. Çıktı duyarlılığı ve doğruluğu, seçilmiş olan ölçekle doğru orantılıdır. Doğruluk ve duyarlılık ölçeğe bağlı olmasına karşın, projenin doğallığı ile ilişkili bağımsız bir parametredir.

Aşağıdaki analiz ölçekleri IAEG (International Association of Engineering Geology) tarafından Mühendislik Jeolojisi haritalaması ile ilgili kitaplarda yayınlanmış olup (IAEG, 1976) doğal tehlike zonlaması çalışmaları için genel olarak kullanılabilir.

#### **2.1.3.1 Ulusal Ölçek (<1/1,000,000)**

Ulusal ölçekte analizler, sadece problemin genel hatlarıyla ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilip, doğal afet konusunda genel bir fikir vererek zarar görmüş alanların

kabaca belirlenmesine yardımcı olur. Genellikle tüm bir ülke için hazırlanır ve harita ayrıntılı oldukça azdır. Zarar derecesinin uniform olduğu varsayılır. Bu tür haritalar genellikle bölgesel ölçekte çalışan kuruluşlar tarafından bölgesel planlama (tarım, şehir veya altyapı) veya ulusal afet önleme kurumları tarafından kullanılır.

#### *2.1.3.2 Bölgesel Ölçek (<1/100,000)*

Bu ölçek, herhangi bir sayısal yöntemin kullanımı için oldukça küçük olup, bu ölçekteki haritalar bölgesel planlama amaçlı olarak kullanılır. İncelenmesi gereken alanlar binlerce kilometrekarelik alanlar olup harita ayrıntıları oldukça azdır. Sadece basit yöntemler, sayısal veri kombinasyonu ile kullanılır ve zonlama temel olarak bölgesel jeomorfolojik arazi haritalama birimleri ya da bölgesel jeolojik birimlerin ayırt edilmesine imkan tanır.

#### *2.1.3.3 Orta Büyüklükte Ölçek (1/25,000-1/50,000)*

Bu tehlike haritaları temel olarak büyük ölçekli mühendislik çalışmalarında fizibilite ile ilgili olarak firmalar veya belediye ölçeğinde yerel yönetimler tarafından kullanılmaktadır. İnceleme alanı yüzlerce kilometrekarelik alanlar olarak ifade edilebilir. Bu ölçekte, bölgesel ölçeğe oranla çok daha fazla ayrıntı gereksinim duyulmaktadır. Bu ölçekteki haritalar, şehir ve bölge planlama ve gelişim alanlarının belirlenmesi, veya mühendislik altyapısı (boru hatları, otoyol güzergahları vb...) güzergahlarının seçim aşamalarında kullanılmaktadır. Bu ölçekte istatistiksel teknikler sıklıkla ve yoğun olarak kullanılmaktadır.

#### *2.1.3.4 Büyük Ölçek (>1/10,000)*

Bu haritalar genellikle ayrıntılı mühendislik altyapı çalışmaları, kentsel veya endüstriyel projeleri veya belirli bir proje alanı ya da kentin risk değerlendirmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu ölçekteki haritalar küçük alanları kapsamakta, dolayısıyla deterministik analizler mümkün olabilmektedir. Bu haritalar, arazi ve

laboratuvarda elde edilmiş çok sayıda veriye dayalı fiziksel sayısal modellere dayandırılmaktadır.

#### **2.1.4 Kullanılan Bilginin Türü**

Erozyon ve heyelan etkisine uğramış alanlar için erozyon ve heyelan duyarlılık tahmini, geçmişte ve günümüzde olmuş olan erozyon ve heyelanın, gelecekte olacak olan doğal afet olayı için faydalı bilgiler sağlayacağı düşünülerek yapılan tahminlere dayandırılmaktadır. Bu noktada, bugün geçmişin anahtarı değildir fakat bugün ve geçmiş, geleceğin anahtarıdır mantığı hizmet etmektedir (Süzen, 2002). Dolayısıyla, bu tür doğal afetlerin ve etkili olduğu düşünülen faktörlerin haritalanması, risk ve duyarlılık haritalamasında son derece önem taşımaktadır. Yamaç duraysızlığı ve erozyona neden olan arazi koşullarının analizi ile ilgili olarak iki temel yöntem düşünülebilir (van Westen, 1993):

1. Birinci haritalama yöntemi deneyime dayalı uygulamalı jeomorfolojik yaklaşımdır. Bu yaklaşımda yerbilimci, erozyon ve heyelan ile jeomorfolojik ve jeolojik durum arasındaki ilişkiyi doğrudan arazi gözlemleriyle değerlendirir. Bu aynı zamanda doğrudan haritalama yöntemi olarak da bilinir.

2. Deneyim ve uzmanlığa dayalı veya keşfe ve anlamaya dayalı (sezgisel) yaklaşıma karşıt olarak dolaylı haritalama yöntemidir. Bu yöntem, erozyon ve heyelana potansiyel olarak neden olduğu düşünülen yardımcı ve tetikleyici faktörlerin istatistiksel olarak analizi ve bu çok sayıdaki parametrelerin haritalanması ile gerçekleştirilir. Bu yöntemle, erozyon-heyelan oluşumu ve arazi koşulları arasındaki ilişki tanımlanabilir. Bu analizlerin sonucunun temelinde ifadeler, hangi yamaçta erozyon ve heyelan olacağı koşullarına bağlı olarak oluşturulur.

Diğer şev duraylılık duyarlılık değerlendirme teknikleri için ayrımı Hartlen ve Vıberg (1988) vermiş, bu araştırmacılar göreceli ve tüm tehlike değerlendirme tekniklerini ayırtlamışlardır.

1. Göreceli tehlike değerlendirme teknikleri, belirli değerler verilmeksizin harita üzerindeki farklı alanlar için kütle hareketleri mevcudiyetinin benzerliğini ayırt eder.

2. Tüm tehlike haritaları, güvenlik katsayısı veya meydana gelme olasılığı gibi tehlike için tüm bir değeri gösteren haritalardır.

Bu değerlendirmelerin ötesinde tehlike ve duyarlılık değerlendirme teknikleri, istatistiksel yöntemlerin kullanımına dayalı üç geniş sınıfta ayırt edilebilir (Carrara, 1983; Hartlen ve Viberg, 1988; Soeters ve van Westen, 1996).

1. Beyaz kutu modelleri: fiziksel modellere dayanır (şev stabilite ve hidrolojik modeller) ve aynı zamanda deterministik modellere karşılık gelmektedir.

2. Siyah kutu modelleri: kesinlikle fiziksel modellere dayalı olmayıp tamamiyle istatistiksel analiz temellidir.

3. Gri kutu modelleri: kısmen fiziksel modellere ve kısmen de istatistiksel yöntemlere dayalıdır.

### ***2.1.5 Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Uzaktan Algılamanın Kullanımı***

Yeryüzünü etkileyen önemli jeodinamik olaylardan ikisi olan erozyon ve heyelan, hem fotogrametri, hem de uzaktan algılamanın uygulama alanları içerisinde. Bu olaylar, yeryüzü üzerinde meydana geldiği için yer bilimciler söz konusu problemi incelemek ve gözlemek amacıyla uzaktan algılamayı uzun yıllardır kullanmaktadır. Fakat uzaktan algılama yöntemi aynı zamanda, heyelan gibi çok küçük alanlarda ve ani gelişen olayların meydana gelmesi durumunda, zamansal ve konumsal çözünürlüklerin yetersizliğinden dolayı bazen sınırlayıcı etkiye sahip olmaktadır. Bunun ötesinde iki boyutlu (2D) düzlemsel gözlemler çok az bilgiler sunabilirken, üç boyutlu (3D) gözlemlerden çok miktarda veri toplanması mümkün olabilmektedir. Bu gerçeğe dayanılarak üç boyutlu uzaktan algılama ürünleri vazgeçilmez gibi görünmektedir (Süzen, 2002). Bu elde edilen bilgiler, hem erozyon alanlarının gözlenmesi ve tanımlanması, hem de kütle hareketinin türü ile ilgili açıklayıcı ve tatmin edici sonuçlar sunmaktadır. Erozyon ve heyelan çalışmalarında

uzaktan algılama uygulamaları, aktivitelerin zaman içindeki değişiminin gözlenmesi ve duyarlılık olan bölgelerin haritalanması biçimindedir.

Konuyla ilgili birçok araştırmacı uzaktan algılama ürünlerinin kullanılabilirliğini geçen 30 yıl içerisinde pek çok çalışmada denemiştir. Bu kapsamda iki ana grupta durulmuştur. Bunlar hava fotoğrafları ve uydu görüntülemeleridir.

Erozyon ve heyelan alanlarının belirlenmesi ile bugüne kadar yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Orta ve büyük ölçekli çalışma alanlarında hava fotoğraflarıyla dijital fotogrametri uygulamaları efektif olarak kullanılmış ve yüksek doğruluk oranlarında sonuçlar sağlamıştır (Yalçın, 2005; Chandler ve Brunson, 1995; Mollard, 1986). Uydu görüntüleriyle erozyon ve heyelan incelemeleri ise hava fotoğraflarıyla yapılan incelemelere oranla çok daha yenidir. Uydu görüntüleriyle erozyon ve heyelan ile bilgilerin elde edilmesiyle ilgili literatüre örnek olarak Liu vd., (2004), Fadul vd., (1999), Casasnovas ve Zaragosa, (1996) ve Vargas, (1992) verilebilir.

Uygulamada uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları karşılaştırıldığında aşağıdaki hususlar sıralanabilir:

Hava fotoğrafları;

1. Çok eski tarihli görüntüleri verebilmesi
2. Uçuş hatlarının seçiminin esnek olması
3. Konumsal ve dönemsel çözünürlüğün yüksek olması
4. Stereoskopik görüntü alınması
5. Yerbilimciler arasında yaygın kullanıma sahip olması açısından üstünlüklere sahiptir.

Ancak bu üstünlüklerin yanısıra bazı sınırlamalara da sahiptir. Bunlar da aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Düşük spektral çözünürlük
2. Fotoğraftaki çekimden dolayı oluşabilecek kaymalar
3. Koordinat bilgisinin olmaması
4. Kayma etkisi ve koordinat bilgisinin sağlanması için ortorektifikasyon işleminin gerekli olması
5. Sonuç haritasının kullanıcının kişisel yorum, bilgi ve deneyimine bağlı olması.

Hava fotoğraflarıyla karşılaştırıldığında uydu görüntülerinin de sahip olduğu üstünlük ve sınırlamalar bulunmaktadır.

Üstünlükleri arasında;

1. Çok daha geniş alanları tarama imkanına sahip olması
2. Geniş spektral aralığı olması
3. Kolayca ulaşılabilmesi
4. Kaymanın olmaması.
5. Koordinatlandırma için yalnızca jeoreferanslamaya ihtiyaç duyulması sayılabilir.

Sınırlanmaları ise;

1. Düşük konumsal çözünürlüğe sahip olabilmesi
2. Aynı çözünürlükteki hava fotoğrafıyla kıyaslandığında çok daha fazla maliyete sahip olması
3. Sınırlı stereo görüntüleme olanağı olması
4. Sınırlı sayıda kullanıcı tarafından kullanılma imkanı olması sayılabilmektedir.

Birçok olumsuzluğuna rağmen, kolay elde edilebilir olması dolayısıyla orta ölçekli erozyon ve heyelan çalışmalarında hava fotoğrafları sıklıkla kullanılmaktadır (Liu vd., 2004). Konumsal çözünürlük, erozyon ve heyelan çalışmalarında lokasyon belirleme aşamasına önemli ölçüde etki etmektedir. Bu noktada hava fotoğrafı ile uydu görüntüsünün etkinliği tartışıldığında karşımıza “Yer Çözünürlük Hücresi”



(GRC= Ground Resolution Cell) kavramı çıkmaktadır (Strandberg, 1967). Yer çözünürlük hücresi ölçek kavramıyla karşılanmakta ve  $GRC=S/1000R$  ile ifade edilmektedir.

Buradaki “S” ölçekteki fotoğraf sayısı ve “R” fotoğrafik sistemin çözünürlüğü (hat çiftleri/mm) olarak tanımlanmaktadır. “GRC” ise bir metredeki yer çözünürlüğünü ifade etmektedir.

Soeters ve van Westen (1996), hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak heyelan tanımlaması ve yorumlanması için gerekli minimum nesne boyutunu sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya ilişkin tablo aşağıda Tablo 2.1’de sunulmuştur.

Tablo 2.1 Heyelan tanımlama ve yorumlama için gerekli minimum nesne boyutu (Soeters ve van Westen, 1996 ; Süzen, 2002)

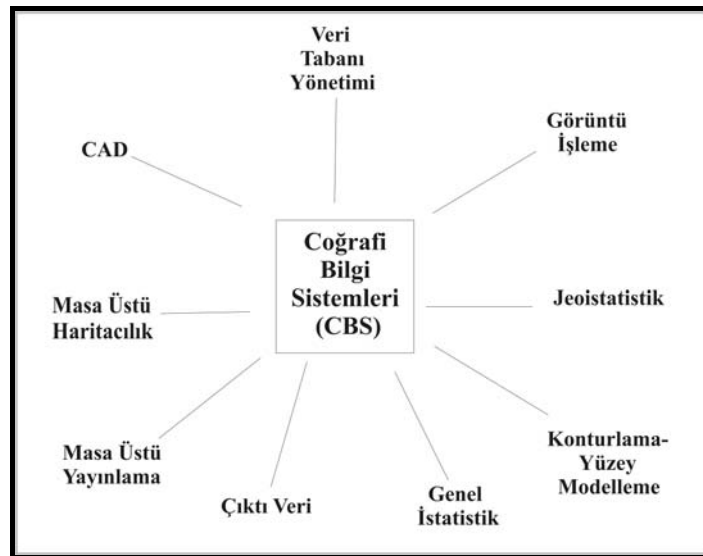
	GRC boyutu (m)	Gerekli m <sup>2</sup> boyutu			
		Yüksek Kontrast		Düşük Kontrast	
		Tanımlama	Yorumlama	Tanımlama	Yorumlama
Landsat MSS	~ 80	160000	288000	7040000	11520000
Landsat 5 TM	30	22500	40500	990000	1620000
Spot MS	20	10000	18000	440000	720000
Spot Pan	10	2500	4500	110000	180000
Hava Fotoğrafı					
1/50,000	1	25	45	1100	1800
1/15,000	0,3	6,5	11,5	300	450

### 2.1.6 Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Erozyon-Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), koordinata dayalı her türlü coğrafi nesnenin grafik ve tablo bilgilerinin bilgisayar ortamında saklanması, analiz edilmesi, depolanması ve çıktı-sonuç elde edilmesine yardımcı olan bir sistemler toplamıdır (Burrough, 1986). Coğrafi bilgi sistemleri ile ilgili pek çok araştırmacı değişik tanımlamalarda bulunmuş, CBS’nin bir program mı, yoksa bir sistem mi olduğu konusunda tartışma

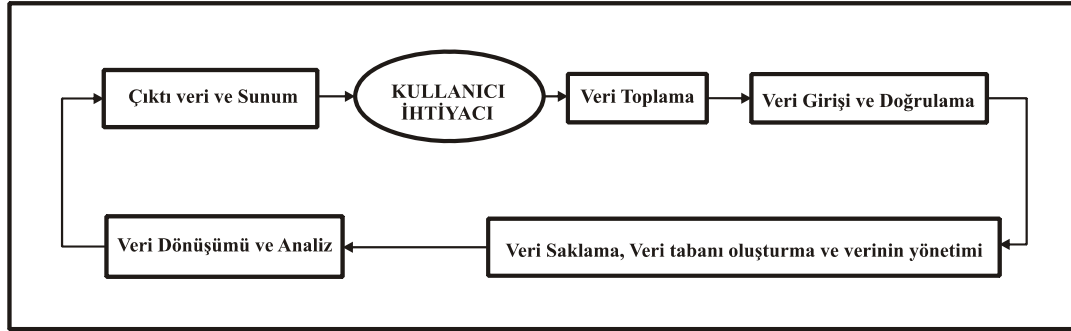
noktası oluşturmuşlardır (Yomralıoğlu, 2001). CBS işleyiş mantığı olarak bilgisayar destekli dizayn (CAD) veri ile Diğer bir ifadeyle grafik verisi ile bu grafik veriye ait bilgilerin depolandığı veri tabanı niteliğindeki öznelik bilgilerinin bulunduğu tablo verisinin entegrasyonu ve birbirine bağlanmış her iki veri üzerinden veritabanı sorgulamasına dayalı ve sorgulama sonuçlarının grafik veri ile görüntülenmesi esasına dayanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerindeki “coğrafi” kavramı gerçek dünya üzerinde ölçülebilen ve belirli bir koordinat sistemine oturtulmuş nesnelere ifade etmekte iken “bilgi” kelimesi ise CBS’de organize edilmiş verinin tanımlanabilir ve ölçülebilir özelliklerini ve bu özelliklerin harita, grafik, tablo gibi ifade biçimlerine dönüştürülmesi kavramını karşılamaktadır. “Sistem” ise, birleştirilmiş ve birbirine bağlanmış farklı özellikteki birçok bileşeni ifade etmektedir. Dolayısıyla CBS, veri girilmesi, yönetilmesi, veri dönüşümü yapılması, görselleştirme, birleştirme, sorgulama, analiz, modelleme ve çıktı-sonuç üretimi özelliklerine sahip bir araç konumuna gelmektedir.

İdeal bir coğrafi bilgi sisteminde bulunması zorunlu olan bazı bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenler aşağıdaki Şekil 2.1’de sunulmaktadır.



Şekil 2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin bileşenleri (Süzen 2002).

Genel olarak tipik bir CBS’de belirli bir işlem akışı bulunmaktadır. Bu işlem akışı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 2.2 CBS 'de işlem adımları

Temel olarak bir CBS kullanılırken belirli anahtar sorulara cevap bulunması gerekmektedir. Bu sorular CBS'de programlanabilir veri yönetimi, planlama ve proje değerlendirmesi için seçilebilir bilgi elde ediniminde oldukça yarar sağlamaktadır (Burrough, 1986).

Coğrafi bilgi sistemleri farklı veri katmanları olarak farklı arazi faktörleriyle ilgili bilgileri depolanmasını ve yönetilmesini sağlayan bir ortam olması dolayısıyla erozyon ve heyelan zarar değerlendirmesinde iyi sonuçların elde edilmesi açısından oldukça yarar sağlamaktadır.

Bu noktada erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde CBS'nin kullanımı ile ilgili bazı avantaj ve dezavantajların varlığından da söz etmek gerekmektedir. Süzen (2002) yapmış olduğu değerlendirmede, CBS'nin heyelan duyarlılık değerlendirmesindeki üstünlükler ve sınırlamalarını aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

Üstünlükleri:

1. Çok sayıda duyarlılık değerlendirme yöntemine ulaşılabilirlik mümkün olmaktadır. Hesaplama aşamasının oldukça hızlı olmasından dolayı çok sayıda haritanın üst üste çakıştırılması ve tabloların hesaplanması mümkün olmaktadır.

2. Yeni modellerin geliştirilmesi, geliştirilen bu modellerin çok sayıda tekrarı ile modelin etkinliğinin irdelenmesi olanağı sağlamaktadır. Bu imkanlar, klasik ve geleneksel yöntemlerle çok uzun zaman ve emek harcanmasına neden olurken CBS ortamında bu tür kayıpların minimum olması sağlanmaktadır.

Sınırlamaları:

1. Veri girişi açısından çok zaman gerektirmektedir. Özellikle sayısallaştırma işlemi en çok zaman harcanmasına neden olan işlem adımıdır.
2. Veri analizi için çok sayıda yöntemin olması teorik olarak mümkün olmasına karşın genellikle gerekli olan veri kaybolması söz konusu olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, analiz amaçlı araçlar çok ancak verilerin belirsizliği ya da yeterli veri olmamasından dolayı efektif yöntem kullanımları mümkün olmamaktadır.

#### *2.1.6.1 CBS'de Doğal Tehlike Analizi*

Erozyon ve heyelan tehlike ve duyarlılık analizi yapılırken belirli bir mantık ve akış sırasına sahip işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (van Westen, 1993). Bu işlemler dizisi aşağıdaki gibi olmalıdır:

1. Çalışılacak arazi ve çalışmanın hedeflerine göre ölçek ve değerlendirme analiz yönteminin seçilmesi.
2. Mevcut harita ve diğer ilgili dökümanların toplanması.
3. Uydu görüntüsü ve hava fotoğraflarının yorumlanması ve yeni girdi haritalarının oluşturulması.
4. Veritabanı oluşturulması ve verinin nasıl toplanıp depolanacağı yönteminin tanımlanması.
5. Uydu görüntüsü ve hava fotoğraflarından elde edilen verilerin doğrulanması amacıyla arazi çalışmaları yapılması ve konu ile ilgili sayısal veri toplanması.
6. Basılı haritaların sayısallaştırılması ve öznitelik verisinin oluşturulması.
7. CBS ortamına girilen verilerin doğruluğunun irdelenmesi.
8. Ham verilerin analiz aşamasında kullanılacak biçimde dönüştürülmesi ve yönetilmesi.
9. Duyarlılık/zarar haritalarının hazırlanması için verilerin analiz edilmesi.
10. Girdi haritalarının güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve bir önceki aşamada meydana gelen hataların ortaya konulması.
11. Sonuç haritasının ve ilgili raporun üretilmesi.

Tablo 2.2 CBS ortamında gerçekleştirilen yer tehlike değerlendirmesindeki aşamaların, klasik yöntemlerle zamansal olarak karşılaştırılması (Rakamlar, projenin toplam zamanının yüzdelerini ifade etmektedir) (van Westen, 1993; Süzen 2002).

AŞAMALAR	BÖLGESEL ÖLÇEK		ORTA ÖLÇEK		BÜYÜK ÖLÇEK	
	Klasik Yöntem (%)	CBS Tabanlı Yöntem (%)	Klasik Yöntem (%)	CBS Tabanlı Yöntem (%)	Klasik Yöntem (%)	CBS Tabanlı Yöntem (%)
1. Ölçek-Yöntem seçilmesi	<5	<5	<5	<5	<1	<5
2. Mevcut verilerin toplanması	<5	<5	<5	<5	8	8
3. Görüntü yorumlama	50	50	30	30	10	20
4. Veritabanı dizaynı	0	<5	0	<5	0	<5
5. Arazi çalışması	<5	<5	7	7	10	20
6. Veri girişi	0	20	0	30	0	15
7. Verilerin doğrulanması	0	<5	0	5	0	5
8. Verilerin kullanımı	0	<5	0	5	0	5
9. Veri analizi	30	10	48	10	61	10
10. Hata analizi	0	<5	0	<5	0	<5
11. Sonuç harita üretimi	10	<5	10	<5	10	<5

Tablo 2.2 incelendiğinde, görüntü yorumlama, veri girişi ve veri analizi aşamalarının, CBS tabanlı bir yer tehlike değerlendirmesinde en fazla zaman alan adımlar olduğu görülmekte, dolayısıyla da yapılması düşünülen çalışmanın zamansal planlamasının da bu durum dikkate alınarak yapılmasının doğru olacağı düşünülmektedir.

#### 2.1.6.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Zonlama Yöntemleri

İdeal bir erozyon ve heyelan duyarlılık haritalamasında konumsal ve zamansal olasılığın, büyüklük, hız, gelişim mesafesi ve ilerleme hızı gibi konular üzerinde bilgi verici düzeyde olması gerekmektedir. Güvenilir bir erozyon ve heyelan envanter tanımlaması, konumsal dağılımlarının belirlenmesi, tür ve aktivitelerinin

ortaya konulması ve söz konusu olayların çevresel faktörlerle ilişkilerinin ne olduğu hususları en temel işlemler olarak görülmektedir. Duraysızlık, meydana gelen hareketin türündeki değişimden (örneğin düzlemsel kayma, devrilme, düşme, oyuntu erozyonu, süpürme erozyonu vb.) etkilenmekte, dolayısıyla meydana gelen hareketin türünün farklı koşullarda meydana gelmesi gerektiğinden ve ayrıca çevre üzerindeki etkilerinin farklı olacak olmasında ötürü de duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde değişikliklerin olmasına neden olacaktır.

### ***2.1.7 Erozyon ve Heyelan Duyarlılık Zonlama Çalışmalarındaki Eğilimler***

Son 30 yıldır toplumlarda erozyon ve heyelan problemleriyle ilgili baş gösteren acil çözüm ihtiyaçları, pek çok araştırmacıyı bu konu ile ilgilenmeye teşvik etmiştir. Özellikle heyelanlar ile ilgili araştırmacıların son 15 yıl içindeki eğilimleri ve heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yöntem ve seçilen değerlendirme parametreleri Tablo 2.3 'de verilmektedir. Tablo 2.4'de ise bu yöntemlerin genel özellikleri ifade edilmiştir. Görüldüğü üzere küçük ölçekte yapılan çalışmalar az ayrıntılı, alansal dağılıma yönelik ve kalitatif değerlendirmeler şeklinde olup, ulusal düzeyde yapılmaktadır. Deterministik ve frekans analizleri, daha fazla ayrıntının gerektiği, baraj sahası, nükleer santral alanları, kara ve otoyol geçkileri ve açık işletme maden sahalari gibi çalışma alanlarında tercih edilmektedir. Bu analizlerde sürekli gözlem ve laboratuvar çalışmaları kaçılmaz olmaktadır. Bromhead (1986) ve Mulder (1991) deterministik yöntemlerle ilgili ayrıntılı çalışmalar yaparken, CBS tabanlı olarak Mulder ve van Asch (1988), Mulder (1991) ve Hammond vd. (1992)'de deterministik yöntemleri kullanmışlardır.

Bu çalışma kapsamında da genel eğilimler dikkate alındığında, çoklu regresyon analizi, çakıştırma dayalı iki değişkenli istatistik analiz ve Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Seçilen parametrelerde, yine güncel eğilimler dikkate alınmakla birlikte ağırlıklı olarak arazi gözlemleri ile erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmesinde etkin olabileceği düşünülen parametrelerin seçilmesine özen gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılan parametre ve yöntemler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001)'den değiştirilerek alınmıştır. (ÇÖKA: Çok Ölçütlü Karar Analizi, J1: Litoloji, J2: Büyük Faylara Yakınlık, J3: Yapısal Elemanların yamaçla ilişkisi, J4: Yeraltısuyu, J5: Zemin Kalınlığı, J6: Süreksizlik Yoğunluğu, J7: Bozunma Zonu Derinliği, J8: Zemin Yapısı, J9: Zemin Makaslama Dayanımı, J10: Statik Güvenlik Katsayısı, T1: Eğim, T2: Drenaj Ağı, T3: Göreceli Yükseklik, T4: Yüzey Süreçleri, T5: Yükseklik, T6: En yakın tepeye olan mesafe, T7: Yamaç Şekli, T8: Eğim Yönü, Ç1: Arazi Kullanım, Ç2: Bitki Örtüsü, Ç3: Yol Yoğunluğu, TF1: Yağış, TF2: Sismisite

		<b>PARAMETRELER</b>																									
		<b>HAZIRLAYICI FAKTÖRLER</b>																									
<b>ARAŞTIRMACI</b>	<b>YÖNTEM</b>	<b>BÖLGE</b>	<b>JEOLJİK</b>										<b>TOPOĞRAFİK</b>								<b>ÇEVRESEL</b>			<b>TETİKLEYİCİ</b>			
			<b>J1</b>	<b>J2</b>	<b>J3</b>	<b>J4</b>	<b>J5</b>	<b>J6</b>	<b>J7</b>	<b>J8</b>	<b>J9</b>	<b>J10</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>Ç1</b>	<b>Ç2</b>	<b>Ç3</b>	<b>TF1</b>	<b>TF2</b>		
Choubey ve Litoria (1990)	Çakıştırma	Hindistan	x	x											x	x					x				x		
Van Vesten ve Bonilla (1990)	Çakıştırma	Kolombiya	x	x	x	x				x					x						x	x	x				x
Anbalagan (1992)	Çakıştırma	Hindistan	x		x	x									x		x							x			
Carrara vd. (1991)	Çoklu Regresyon Analiz	İtalya	x	x						x					x		x				x	x	x				
Chang (1992)	Çakıştırma	Tayvan	x		x	x	x	x							x		x	x									
Choubey vd. (1992)	Çakıştırma	Hindistan	x	x											x	x									x		
Mehrota vd. (1992)	Çakıştırma	Hindistan	x	x											x	x									x		
Juang vd.(1992)	BulanıkMantık	Tayvan	x						x	x					x			x	x	x	x	x			x		
Pachauri ve Pant (1992)	Çakıştırma	Hindistan	x	x	x										x		x		x	x					x	x	
Guillande vd. (1993)	Çakıştırma	Tahiti	x	x											x	x					x	x			x		
Jade ve Sarkar (1993)	Çoklu Regresyon Analiz	Hindistan	x	x											x		x										
Maharaj (1993)	Çoklu Regresyon Analiz	Jamaika	x		x			x	x						x										x		
Mejina-Navarro ve Wohl (1994)	Çakıştırma	Kolombiya	x		x										x										x		x
Gökçeoğlu ve Aksoy (1996)	Çakıştırma	Türkiye		x							x	x	x	x	x	x									x		x
Abdolmasov ve Obradovic (1997)	Bulanık Mantık	Yugoslavya	x			x	x			x					x		x									x	
Chowdhury ve Flentje (1997)	Çakıştırma	Avusturalya	x	x											x		x									x	
Van Vesten vd. (1997)	Çoklu Değişken Analizi	Hollanda	x	x											x	x										x	

Talo 2.3'ün devamı.

Fernandez vd.(1999)	Matris Analizi	İspanya	x											x	x	x	x		x	x		x		
Guzetti vd. (1999)	Çoklu Regresyon Analiz	İtalya	x							x				x	x				x	x	x			
Luzi ve Pergalani (2000)	Çakıştırma	İtalya	x	x										x	x					x				x
Nagarajan vd. (2000)	Çakıştırma	Hindistan	x		x	x	x	x	x					x	x	x				x				x
Wachal ve Hudak (2000)	Çakıştırma	USA	x	x										x										x
Uromeihy ve Mahdavifar (2000)	Bulanık Mantık	İran	x	x										x										
Alegria vd. (2000)	Çok Ölçütlü Karar Analizi	İspanya	x	x										x	x									
Lee vd. (2002)	Çakıştırma	Kore	x			x			x					x	x					x				
Clerici vd. (2002)	Şartlı Olasılık	İtalya	x											x							x			x
Çevik ve Topal (2003)	Çakıştırma	Türkiye	x	x										x	x		x			x	x	x		
Ohlmacher ve Davis (2003)	Çoklu Regresyon Analiz	ABD	x											x										
Lee vd. (2004)	Şartlı Olasılık	Kore	x		x	x								x	x					x	x		x	
Süzen ve Doyuran (2004)	Çoklu Regresyon Analizi	Türkiye	x	x			x	x						x	x	x				x	x	x		x
Ayalew vd. (2004)	ÇÖKA	Japonya	x											x		x					x	x		
Lee (2005)	Çoklu Regresyon/Şartlı Olasılık	Kore	x	x										x						x	x	x		
Ermini vd. (2005)	Yapay Zeka	İtalya	x											x						x		x		
Yeşilnacar ve Topal (2005)	Yapay Zeka/Çoklu Regresyon	Türkiye	x											x										
Ercanoğlu (2005)	Yapay Zeka	Türkiye												x				x	x				x	
Gökçeoğlu vd. (2005)	Şartlı Olasılık	Türkiye	x											x	x	x						x		
Ayalew vd. (2005)	ÇÖKA/Çoklu Regresyon	Japonya	x											x		x								
Akgun ve Bulut (2006)	Çoklu Regresyon/ÇÖKA	Türkiye						x						x	x					x				x
Eechaut vd. (2006)	Çoklu Regresyon	Belçika	x											x	x	x					x			
Komac (2006)	Çok Ölçütlü Karar Analizi	Slovenya	x		x									x		x				x		x		
<b>BU ÇALIŞMA</b>	<b>Çoklu Reg.-İki Değişkenli İstatistik/ÇÖKA</b>	<b>Türkiye</b>	<b>x</b>	<b>x</b>				<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>				<b>x</b>	<b>x</b>		<b>x</b>			<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	



Tablo 2.4 Heyelan zarar ve duyarlılık zonlamasındaki yaygın yaklaşımlar (van Westen, 1993).

<b>Duyarlılık Analiz Türü</b>	<b>Temel Özellikler</b>
<b>1. Dağılım Analizi</b>	Geçmişte olan erozyon ve heyelan alanlarının yerlerini gösteren harita formatında bilgi.
<b>2. Kalitatif Analiz</b>	Doğrudan veya yarı-doğrudan yaklaşım kullanan, kullanıcı deneyimine dayalı birçok haritanın birleştirilmesiyle elde edilen yöntem.
<b>3. İstatistiksel Analiz</b>	Bir seri parametre haritasından yararlanarak elde edilen ve istatistik yöntemler kullanarak olasılık sonuçları elde edilen indoğrudan yöntemler.
<b>4. Deterministik Analiz</b>	Stabilite analiz sonuçlarını içeren parametre haritalarının birleştirilmesi yöntemini kullanan indoğrudan yöntemler.
<b>5. Frekans Analizi</b>	Belirli bir frekanstaki sınır değerlerini elde etmek için bilinen lokasyonlar ile deprem, yağış gibi olayların korelasyonunun kullanılması.

### **2.1.8 Erozyon ve Heyelan Tehlike Analizi için Doğrudan Haritalama**

#### *2.1.8.1 Dağılım Analizi*

Bir arazi diliminde meydana gelen erozyon ve heyelan hakkında envanter bilgilerinin bulunduğu haritalar, daha önce söz konusu inceleme alanında yapılan arazi çalışmaları, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile elde edilen bilgilerin yer aldığı haritalar olarak bilinmektedir. Envanter haritalaması sırasında arazide gözlenen erozyon ve heyelanın lokasyonları ya alansal dağılım olarak veya noktasal veri olarak haritalanır (Wieczorek, 1984). Özellikle heyelan envanter haritaları, heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerinde en başta gelen işlem adımı olarak görülmektedir (Lee, 2005; Ayalew ve Yamagichi, 2005). Yapılan envanter haritası, arazi çalışmalarıyla eş zamanda yapılan hava fotoğrafı çekimi ya da uydu görüntüsü alımından hemen önceki bir zamanda olduğu kabul edildiğinden bu haritalar zamansal çözünürlük içerisinde meydana gelen değişimleri yansıtmaktan uzaktır. Zamansal envanter değerlendirmesi, ancak değişik zaman aralıklarında alınan periyodik görüntü alımı

ile gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla bu görüntülerin kullanımıyla, daha önceden envanter haritalaması sırasında meydana gelebilecek hatalar elimine edilmiş olur. Bununla beraber, zamansal görüntü alımı sayesinde envanter haritalaması yapılan arazideki arazi örtüsü, arazi kullanım, bitki örtüsü değişimleri gibi zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi de mümkün olmakta, dolayısıyla aynı arazi dilimi için heyelan duyarlılık değerlendirmesine katkıda bulunabilecek diğer veri katmalarının da elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Heyelan envanterinin bir dağılım haritalaması da olduğu düşünülürse, heyelan yoğunluk haritaları olarak da ifade edilen haritaların varlığından da söz etmek mümkündür. İzoplet yöntemi olarak da bilinen yöntemde belirlenen heyelan lokasyonları, sayısal olarak eş miktar konturları yardımıyla konturlanarak dağılım alanları elde edilmektedir (Wright vd, 1974; Bulut vd., 2000).

#### *2.1.8.2 Jeomorfolojik Analiz*

Jeomorfolojik analiz, literatürde sezgisel (heuristic) yaklaşım olarak bilinen bir yöntemdir. Bu yöntem, araştırmayı yapan kullanıcının mesleki deneyimine bağlıdır. Araştırmacı bu yöntemde, kütle hareketi haritası ile bu hareketin meydana gelmiş olduğu jeomorfolojik ortamı birleştirmek amacındadır. Kienholz (1977) tarafından ilk kez tanımlanan bu yaklaşımda tehlike ya arazi gözlemleri ya da hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü kullanılarak doğrudan olarak haritalanır. Dolayısıyla bu yöntem, doğrudan haritalama yöntemleri arasındadır. Bu yöntemde kullanılan karar kuralları kişisel tabanlara dayandığı için, genelleştirilmiş olarak formülize etmek oldukça güçtür. Çünkü kullanılan karar kuralları araziden araziye hatta poligondan poligona değişmektedir (Süzen, 2002). Yöntem tüm ölçekteki çalışmalar için uygulanabilir niteliktedir. Carrara ve Merenda (1974), Kienholz (1984), Brunsdan vd., (1975) ve Seijmonsberger (1992) heyelan tehlike amaçlı jeomorfolojik analiz yönteminin kullanılmış olduğu çalışmalardan birkaçıdır.

## **2.1.9 Erozyon ve Heyelan Tehlike Analizi için Dolaylı Analiz**

### *2.1.9.1 İstatistiksel Yöntemler*

Erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, yaklaşımların objektifliği ve değerlendirmelerin kişisel yaklaşımların dışına çıkarılması amacıyla istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır.

İstatistiksel duyarlılık analizlerinde, daha önce meydana gelen heyelan ya da erozyona neden olan faktörler istatistiksel olarak belirlenerek sayısal tahminlerde bulunulur. Tahminlerin yapıldığı alanlarda söz konusu yer tehlikeleri bulunmakta, ancak daha önceden heyelan ya da erozyon olan alanlardaki benzer koşulları barındırmaktadır.

Duyarlılığa neden olacak faktör (eğim, litoloji, arazi kullanım vb.) haritalarının çakıştırılması ve heyelan yoğunluklarının hesaplanması, en temel işlemler olarak bilinmektedir (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Analizlerin hemen hepsinde, tüm alana ait erozyon ve heyelan yoğunluğu ile, dikkate alınan her bir parametre içindeki sınıflara göre erozyon ve heyelan göre yoğunluklarının karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu kapsamda, iki değişkeli ve çok değişkenli olmak üzere iki temel istatistiksel değerlendirme yöntemi bilinmektedir (van Westen vd., 1997).

Tüm bu yöntemler, çalışılan ölçekler dikkate alındığında, orta büyüklükteki ölçek, istatistiksel değerlendirme açısından en uygun ölçeği temsil etmektedir. Çünkü, bölgesel ölçekte yapılan çalışmalarda, uygun doğrulukta girdi veri toplamak hem zaman hem de iş gücü açısından zahmetlidir. Büyük ölçekli çalışmalarda ise kullanılması gerekli olan yeraltı su tablası haritası, zemin derinlik ve profili haritası gibi verilerin, göreceli olarak küçük alanlar için veri olarak elde edilmesi de oldukça güçtür.

### 2.1.9.2 İki Değişkenli İstatistiksel Duyarlılık Değerlendirmesi

Bu yöntemin temel amacı, kişisel deneyime dayalı öznel haritalama ile veri destekli analitik yeteneklerin coğrafi bilgi sistemleri ortamında birleştirilmesidir.

Yöntemin en önemli üstünlüğü, analizde kullanılan parametre ya da parametre kombinasyonlarının belirlenmesi, analizi gerçekleştiren kişi tarafından yapılıyor olmasıdır. Bu durum, işlem sürecine uzman görüşünün de katılmasını sağlamaktadır (Süzen, 2002).

İki değişkenli istatistik yöntemlerinin ciddi bir sınırlaması da bulunmaktadır. Bu yöntemler, koşullara bağlı bağımsızlık varsayımını kullanmaktadır. Bunun anlamı, farklı parametre haritalarının, bir heyelan ya da erozyonun meydana gelme ihtimaline karşılık olarak bağımsız olmasıdır. Bu yaklaşım çoğu zaman geçerli değildir, dolayısıyla da olasılığı ifade eden değerler gerçekçi olmamaktadır. Bu problemten kurtulmanın bir yolu, kullanıcının, verileri değerlendirirken bağımlı bir değişkenle birleştirme yapmak suretiyle yeni bir parametre haritası yapmasından geçmektedir.

İki değişkenli istatistik yöntemleri, biri bağımlı (heyelan ya da erozyonun olup olmadığı) ve diğeri bağımsız olmak üzere iki değişken ile ilgilenmektedir. Her faktörün önem derecesi, ayrı ayrı analiz edilmektedir. Değişkenlerin spesifik kombinasyonları aynı zamanda yeni bir değişken olarak kombinasyon haritası biçiminde ele alınarak test edilebilir. Yöntem, herbir değişken sınıfı için kütle hareketi (heyelan ya da erozyon) yoğunluğunun hesaplanarak harekete neden olan önemli faktörlerin sayısal hale dönüştürülmesi varsayımına dayandırılmaktadır. Harita birleştirilmesi ve heyelan ya da erozyon yoğunluğu hesaplaması, analizin özünü oluşturmaktadır.

İki değişkenli istatistik yöntemde, her faktör haritası, heyelan ya da erozyon dağılım haritası ile birleştirilir ve heyelan yoğunluklarına bağlı olan ağırlık değerleri, herbir parametre sınıfı için hesaplanır. Ağırlık değerlerinin hesaplanmasında kullanılan pek çok istatistiksel yöntem bilinmekte ve bu yöntemler “heyelan duyarlılık yöntemi (landslide susceptibility)” (Brabb, 1984), “kanıt ağırlığı (weight

of evidence)” yöntemi (Bonham ve Carter, 1999), “bilgi değeri (information value)” yöntemi (Yin ve Yan, 1988) ve “benzerlik oranı (likelihood ratio)” (Lee, 2005) olarak isimlendirilmektedir.

### 2.1.9.3 Çok Değişkenli İstatistiksel Duyarlılık Değerlendirmesi

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemi, belirli bir arazi dilimi için erozyon ve heyelana neden olan faktörlerin göreceli olarak olayın meydana gelişine olan katkılarını vermektedir. Bu analiz yöntemleri, söz konusu arazi parçası üzerinde heyelan ya da erozyonun meydana gelip gelmediği bilgisine dayandırılmaktadır.

Çok değişkenli istatistik analizi'nin coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılması durumunda izlenmesi gereken işlemler dizisi aşağıdaki gibi olmalıdır:

1. Analizde bulunması gerekli olan faktörlerin bir listesinin çıkartılması. Kullanılacak faktör haritalarının bir çoğunun alfa-numerik karakterde olması dolayısıyla bunların sayısal haritalara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu haritalar, her bir arazi birimi için yer tehlikesinin olduğu ve olmadığı durumları gösteren haritalara dönüştürülebilir. Ya da, yer tehlikesinin meydana gelişindeki artışa göre parametre sınıfları puanlanabilir veya yüzde yoğunluk değerleri olarak ifade edilebilir. Arazi birim haritası ile parametre haritalarının çarpılması suretiyle de geniş ölçekli bir matris elde edilir.

2. Kütle hareketi haritası ile arazi birim haritasının karşılaştırılması yoluyla birleştirilmesi ve elde edilen yeni haritanın duraylı-duraysız gibi iki sınıfa bölünmesi.

3. Elde edilen matrisin daha sonraki analiz için bir istatistik yazılımına aktarılması.

4. Her arazi dilimi için sonuçların CBS ortamına aktarılması ve arazi birimlerinin yeniden kodlanması. Duraylı ve duraysız olarak sınıflandırılmış birimlerin frekans dağılımının iki gruba doğru şekilde ayrılıp ayrılmadığının görülmesi için kontrol edilmesi.

5. Sonuç haritasının bir kaç zarar sınıfına göre yeniden sınıflandırılması.

Literatürde yaygın olarak kullanılan üç tür çok değişkenli istatistik analiz yöntemi bilinmektedir: çoklu regresyon (multiple regression), lojistik regresyon ve diskriminant analizi. Bunlardan özellikle lojistik regresyon, kullanım açısından özellikle son 5 yıl içerisinde çok sayıda araştırmacıya kaynak olmuştur (Lee, 2005; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Ohlmacher ve Davis, 2003; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Akgün ve Bulut, 2006). Çoklu regresyon ve lojistik regresyon analizleri bu çalışmada kullanılan yöntemler olup, bu analizlerin ayrıntıları Bölüm 7’de verilmiştir.

Bu yöntemlerin kullanılabilirliği ile, çalışılacak olan ölçekle ilişkisi irdelendiğinde, orta büyüklükteki ölçeğin uygun olduğu görülmektedir. Ölçek seçimindeki en temel kriter, çalışmanın amacına uygun olan verilerin elde edilebilirliği ve bu verilerin doğru biçimde analiz edilebilirliğidir.

#### 2.1.9.4 Çoklu Regresyon Analizi

Yer bilimcilerin en sıklıkla kullandıkları ve en bilinen yöntemlerin başında gelen çok değişkenli istatistik yöntemi çoklu regresyon analizidir. Çoklu regresyon analizi, çoklu değerler hakkında tahmin yapmada kullanılan bir istatistik yöntemidir (Hosmer ve Lemeshow, 1989). Bu yöntem, ikiden fazla değer arasındaki ilişkileri bulmaya ve bu ilişkileri ifade eden bir denklem kurma amacını taşımaktadır. Yer bilimlerinde çoklu regresyon analizi, jeomorfolojik ve yüzey şekilleri ile erozyon ve heyelan oluşumu arasındaki ilişkilerin tahmininde kullanılmaktadır (Süzen, 2002, Ohlmacher ve Davis, 2003). Bu ilişkiyi ifade etmek için aşağıda verilen doğrusal denklem kullanılmaktadır:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.1)$$

Burada Y değeri bağımlı değişken olarak isimlendirilmekte ve heyelan veya erozyonun varlığı (1) veya yokluğu (0) kavramlarını karşılar. Bu değer aynı zamanda, erozyon veya heyelan tarafından kaplanan bir arazi diliminin yüzde değer olarak ifade edilmesidir. “X” değerleri bağımlı değişkenler olarak isimlendirilmekte, litolojik birim, eğim sınıfı, akarsulara olan uzaklık vb. gibi değişkenleri, “b”

değerleri ise kısmi regresyon katsayılarını göstermektedir. Kısmi regresyon katsayıları, erozyon ya da heyelanın meydana gelişinde ait oldukları bağımsız değişkenin göreceli katkısını vermektedir (Davis, 1986; Ohlmacher ve Davis, 2003).

Çoklu regresyon hesaplamaları sonrasında elde edilen sonuçların yorumlanmasında kullanılan bazı istatistiksel elemanlar şunlardır:

**R<sup>2</sup>:** Oluşturulan model tarafından dikkate alınan varyans miktarıdır. Bu değer, regresyondaki bağımsız değişkenlerin sayısı ile uyum göstermektedir.

**SE:** Yapılan tahminin standart hatası. Rezidüel ortalama kare hatasının kare kökü. Bu değer, bağımlı değişkendeki açıklanamayan değişimini ölçmektedir.

**MEA:** Mutlak ortalama hatası. Rezidüel mutlak değerlerin ortalaması, bir tahminde beklenebilecek ortalama hatayı vermektedir.

Çoklu regresyon analizinde değişkenlerin örneklendiği arazi birimlerinin kullanımı, beraberinde bir takım sorunları da getirmektedir.

- 1.Örnekleme yöntemi
- 2.Arazi biriminin boyutu
- 3.Sonuç haritaları
- 4.Örnekleme alanları/Tahmin alanları
- 5.Çalışma alanının karmaşıklığı.

Belirtilen bu problemlerden mümkün olduğunca sakınmak için, piksel tabanlı veri kullanımı uygun olmaktadır (Süzen, 2002).

#### *2.1.9.5 Lojistik Regresyon Analizi*

Lojistik regresyon yöntemi, kullanıcıya, bağımlı bir değişken ile bağımsız bir çok değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi kurma imkanı tanımaktadır (Lee, 2005). Çok değişkenli analiz modellerinden biri olan lojistik regresyon , bir seri tahmin edici bağımsız değişkene ait değerlere bağlı olarak bir çıktı ya da ürünün

meydana gelip gelmemesinin tahmininde etkin olarak kullanılmaktadır. Lojistik regresyonun avantajı, değişkenlerin sürekli, kesikli veya her ikisinin birleşimi şeklinde olabilmesi, bu değişkenlerin normal dağılıma sahip olmama zorunluğunun olması ve uygun bir bağlayıcı fonksiyonun olağan bir lineer regresyon modeline bağlanması yoluyla gerçekleştirilmesi olarak ifade edilmektedir (Lee, 2005; Ayalew ve Yamagishi, 2005). Çoklu regresyon analizi durumunda, faktörler sayısal olmalı ve diskriminant analizi gibi benzer bir istatistik modeli olması durumunda değişkenler normal dağılıma sahip olmak durumundadır. Lojistik regresyon modelinde bağımlı değişken, heyelan veya erozyonun mevcut olması ya da olmaması durumunu gösteren ikili bir değişkendir. Bağımlı değişkenin ikili değişken olması durumunda, lojistik link fonksiyonu uygulanabilir (Atkinson ve Massari, 1998). Böyle bir çalışma için, bağımlı değişken girdi verisi olarak 0 ya da 1 olmalı ki model erozyon ve heyelan olasılık analizi için uygulanabilir nitelik kazansın. Lojistik regresyon katsayıları, modeldeki her bir bağımsız değişkenin oranlarının tahmininde kullanılabilir.

Sayısal olarak, meydana geliş ve bunun birçok değişken üzerindeki bağımlılığı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Hosmer ve Lemeshow, 1989):

$$p = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad (2.2)$$

Burada “p” olayın (heyelan veya erozyon) meydana gelme olasılığını ifade etmektedir. Olasılık, 0’dan 1’e değişen S-şekilli bir eğri biçiminde olup, “z” doğrusal kombinasyonu göstermektedir. Lojistik regresyon, aşağıdaki biçimde gösterilen bir denklem içerir ve bu denklem yukarıda verilen z değerine karşılık gelir:

$$z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.3)$$

Burada “ $b_0$ ” modelin sabiti,  $b_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ) değerleri lojistik regresyon modelinin eğim katsayıları,  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) değerleri ise bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Bu oluşturulan lineer model, erozyon veya heyelanın bağımsız değişkenler



üzerindeki (meydana geliş öncesi koşullar) meydana geliş durumunu (var/yok) göstermektedir.

### ***2.1.10 Duyarlılık Analizinde Bilgi Tabanlı Yöntemler***

#### *2.1.10.1 Kalitatif Harita Birleştirme*

Jeomorfolojik haritalamada “gizlenmiş kurallar” probleminin üstesinden gelmek için kalitatif harita birleştirilmesine dayandırılan kalitatif yöntemler geliştirilmiştir (Süzen, 2002). Kalitatif harita birleştirme yönteminde yerbilimciler, değişik parametre haritalarına ağırlık değerlerini atamak için kişisel bilgi ve deneyime dayalı bilgilerini kullanmaktadır. Çok sayıdaki lokasyonun arazi şartları, bu şartların ağırlık değerlerine göre özetlenmek suretiyle değerlendirilir. Bu yöntemdeki en temel problem, değişik parametre haritalarının kesin ağırlık değerinin belirlenmesi noktasıdır. Genelde, önemli faktörlerin yeterli olmayan arazi bilgisi faktör ağırlıklarının belirlenmesine engel olmakta, bundan dolayı kabul edilemez genelleştirmelere sebep olmaktadır (Soeters ve van Westen, 1996).

#### *2.1.10.2 Uygunluk Fonksiyonları*

Uzman bilgisine dayalı en az yaygın olan faktörleri ve orjinal veriden üretilmiş bilgileri üretmek için veri ve uzman bilgisine dayalı fonksiyonlar yardımıyla coğrafi veri tabanı oluşturulur. Bu yaklaşım, hem sadece uzman bilgisinin öznelliğini azaltır, hem de salt istatistik analizlerinden türeyen gereksiz ve yeterinden fazla bilgi ile uğraşılmasını engeller. Uygunluk analizlerinde, veri tabakaları öncelikle jeoloji, jeomorfoloji, eğim sınıfları, yamaç yönelimleri (bakı) gibi uzman görüşüne dayalı çok sayıda sınıfa ayrılır. Veri bütünleştirilmesi için her veri tabakası a ve b arası bir sayıya dönüştürülür. Buradaki a ve b sayıları 0 ve 1 ya da -1 ve +1 gibi bir aralığı temsil eder. Bu dönüşüm, a ve b aralığındaki bir sınıftan tahmini bir uygunluk fonksiyonu oluşturmak için temel işlem adımıdır. Bu dönüşüm tamamlandıktan sonra, daha önceden tanımlanmış karar kuralları , söz konusu durumun uygunluğu ve faktör olasılığı hakkında uzman kullanıcıya karar verme şansı vermesi için uygulanır. Kullanıcının karar

verme aşamasında kullandığı yöntemler arasında Çok Ölçütlü Karar Analizi, Bulanık Mantık yöntemi (Eastman, 1993; Ayalew vd.; 2004, Jiang ve Eastman, 2000), Dempster-Shafer yöntemi (Eastman, 2004) bulunmaktadır. Bu tez kapsamı içerisinde uygunluk fonksiyonlarından Çok Ölçütlü Karar Analizi yöntemi kullanılmıştır.

### ***2.1.11 Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri***

Belirli bir hedefi karşılamak için, değerlendirilmesi gerekli olan pek çok ölçüte ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir prosedür “Çok Ölçütlü Değerlendirme” olarak isimlendirilmektedir (Voogd, 1983; Carver, 1991). Bu kavramı karşılayan diğer bir terim ise modelleme olarak bilinmektedir. Çok ölçütlü değerlendirme genellikle iki yöntemden biri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden birincisi “Boolean” çakıştırma yöntemi olup, bu yöntemde tüm faktörler amacın uygunluğuna göre mantıksal ifadelerle dönüştürülür ve bu ifadeler “VE” (AND) ve “VEYA” (OR) mantıksal operatörler kullanılarak birleştirilir. İkinci yöntem ise “Ağırlıklandırılmış Lineer Birleştirme” (Weighted Linear Combination-WLC) yöntemidir. Bu yöntemde sürekli kriterler Diğer bir ifadeyle faktörler standart bir sayısal ölçeklendirme ile standardize edilirler ve daha sonra standardize edilmiş bu faktörler ağırlıklandırılmış bir ortalama ile birleştirilirler. Sonuç, sürekli bir amaca uygunluk haritasıdır (Malczewski, 1999).

Bu iki yöntem karşılaştırıldığı zaman Boolean stratejisinin vektör yaklaşım için uygun olduğu, WLC yaklaşımının ise raster yaklaşım için daha uygun olduğu vurgulanabilir. Eastman ve Jiang (1996), bu iki yaklaşıma ilave olarak üçüncü bir yaklaşımı ileri sürmüşler ve bu yöntemi “Sıralı Ağırlıklandırılmış Ortalama (OWA-Ordered Weighted Avarage)” olarak isimlendirmişlerdir. Bu yöntem, faktörlerin ağırlıklarının önem sırasına göre sıralanması esasına dayanmaktadır.

#### ***2.1.11.1 CBS ‘de Çok Ölçütlü Karar Verme***

Coğrafi bilgi sistemleri, karar verme analizinde artan bir biçimde önemli bir yardımcı olarak kullanılmaktadır (Carver, 1991; Pereira ve Duckstein, 1993).

CBS'deki son yıllardaki gelişmeler, arazi tabanlı karar verme analizleri ve çevresel yönetimler için CBS yeteneklerinin artmasına sebep olmuş, özellikle en önemli işlem yöntemlerinden biri olan Çok Ölçütlü Karar Analizi (MCDM) yönteminin geliştirilmesinde çok etkili olmuştur (Jankowski, 1995).

CBS kapsamında çok ölçütlü karar analizi için iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Birincisi yukarıda da bahsedilen "Boolean" yöntemi ve ikicisi de yine yukarıda bahsedilen "Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme" (WLC) yöntemidir (Eastman vd., 1993).

Bu iki yöntemin yaygın olarak kullanılmalarına karşılık, kullanım yaklaşımları açısından bazı temel problemlerin varlığı da bilinmektedir (Jiang ve Eastman, 2000). Birinci problem, karar vermede kullanılan farklı birleştirme yöntemlerinin kullanımınıdır. Boolean ve WLC yöntemlerinin benzer sonuçlar vermesi beklenmesine rağmen bu genellikle gerçekleşmez. Bunun sebebi, bu yöntemlerin birleştirme mantığı ile yapılmasından ileri gelmektedir. Örneğin, Boolean kesiştirme (intersection) yöntemi "AND" operatörü ile oldukça güç olup bunun sonucunda bir bölge, herhangi bir ölçütün sınır değeri ile karşılaşmaması durumunda sonuçtan çıkarılmasına neden olacaktır. Tersisi durumda ise birleştirme operatörü birleşme biçiminin çok genel olmasını sonuçlayacaktır. Bu durumda da sonuç haritasında bir bölge, tek bir ölçüt kendi sınır değeri ile karşılaşsa bile çıkartılacaktır. WLC yöntemi ise bahsedilen Boolean seçeneklerinde oldukça farklıdır. Bu yöntemde herhangi bir ölçüt üzerindeki düşük bir skor, bir diğeri üzerindeki yüksek bir skor tarafından telafi edilebilir.

Çok ölçütlü karar analizi ile ilgili ikinci problem, ağırlıklandırılmış lineer birleşimdeki faktörlerin standartlaştırmasıdır. Bu noktadaki en yaygın yöntem basit bir lineer dönüşüm ile yaygın bir sayısal taban aralığına göre yeniden ölçeklendirmektir. Yinede bunu gerçekleştirmedeki temel mantık çok net değildir (Voogd, 1983; Eastman, 1993). Aslında, bu hususta bir çok örnek bulunmaktadır. Bu örneklerde yeniden ölçeklendirmenin çok dar bir aralıkta gerçekleştirildiği görülmektedir. Bazı durumlarda lineer olmayan bir ölçeklendirme uygun

görülebilmektedir. Yeniden ölçeklendirilen ölçüt gerçekte uygunluk durumunu ifade ettiği için burada bir çok durum söz konusudur. Bu durumlarda ölçüt skorları, en fazla veya minimum uygunluk seviyesine asimptotik olarak yaklaşır.

Söz edilebilir üçüncü bir problem karar riski ile ilgilidir. Karar riski, yapılan kararın yanlış olmasına neden olacak bir olasılık olarak düşünülebilir (Eastman, 1996). Boolean yöntemi için karar riski, karar kuralı yardımıyla hata ölçümlerinin çoğaltılması yardımıyla tahmin edilebilir. WLC yönteminin standartlaştırılmış skorlarının herbiri bir uygunluk durumunu ifade etmektedir. Skor ne kadar büyükse, çalışılan alan için uygunluk durumu da o kadar yüksektir. Burada gerçek bir eşik değer olmamasına karşın seçilen alanların kesin bir şekilde ayrımlanmasına imkan vardır. Bu imkanı sağlayan yöntemler arasında bulanık mantık (fuzzy logic) ölçümleri ve yapay sinir ağları (artificial neural network) ve analitik hiyerarşi işlemi (analytical hierarchy process-AHP) yöntemleri gelmektedir. Bu yöntemlerden bulanık mantık metodu ve AHP yöntemleri, erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirme aşamasında verilerin standartlaştırılması ve verilerin önem derecelerinin belirlenmesi aşamalarında kullanılmıştır.

### ***2.1.12 Duyarlılık Değerlendirmelerinde Doğruluk ve Nesnellik***

Erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde çalışmanın doğruluk derecesi, sorulması gerekli en önemli sorudur. Doğruluk ve güvenilirlik terimleri, kullanılan yöntemin belirli bir arazi dilimi için erozyonlu-heyelanlı alanlar ve erozyonsuz-heyelansız alanlar ayrımını doğru yapıp yapmadığını göstermek için kullanılır. Doğruluk, çok sayıda faktöre bağlıdır (Süzen, 2002).

Bu faktörler:

1. Kurulan modellerin doğruluğu
2. Girdi verilerin doğruluğu
3. Kullanıcının deneyimi
4. Çalışma alanının boyutları.

Doğruluk kavramı, afet yönetiminde hayati önem taşımaktadır. Çünkü erozyon ve heyelanın olmadığı alanlar olarak ifade edilecek bölgeler ileriki zamanlarda can ve mal kayıplarına sebebiyet verecek durumların gelişmesine neden olabilecektir. Söz konusu bu hayati önem, bazı istatistiksel analizleri ve olası hata bileşenlerini bulmaya çalışmak suretiyle kontrol edilebilir.

Duyarlılık haritalarının doğruluğunun değerlendirilmesi problemi, söz konusu haritanın nesnelliği ile de ilgilidir. Nesnellik ve öznellik kavramları, üretilen ürünlerin karşılaştırılabilir olması ve diğer ilgili araştırmacılar tarafından yeniden kullanılabilir olması durumlarını ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır. Aksi halde, üretilen ürünler yalnızca kullanıcı yerbilimcinin kişisel ürünleri olmanın ötesine geçemeyecektir.

Literatürde, üretilen tematik duyarlılık haritalarının doğruluk analizleri ile ilgili bir çok örnek bulunmaktadır (Akgün ve Bulut, 2006; Süzen ve Doyuran, 2004a,b; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Lee vd., 2002; Irigaray vd., 2006; Akyürek ve Okalp, 2006). Bu örneklerden heyelan duyarlılık analizi ile ilgili olanlarda araştırmacılar, güncel heyelan lokasyonları ile kurmuş oldukları model sonucu elde ettikleri heyelan duyarlılık haritalarındaki duyarlılık sınıflarını karşılaştırmak suretiyle elde etmiş oldukları haritaları doğrulama yöntemini kullanmışlardır. Erozyon duyarlılık sınıflandırması ile ilgili çalışmalarda araştırmacılar, CBS tabanlı oluşturdukları duyarlılık haritalarını, klasik, doğrudan arazi gözlemleri ile elde edilen haritalar ile karşılaştırarak doğruluk analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu işlemler yapılırken, Çarpaz Karşılaştırma, Basit Çakıştırma, Kappa Benzerlik İndeksi gibi istatistiksel karşılaştırma yöntemlerinden de faydalanılmıştır (Foody, 2004).

## BÖLÜM 3

### JEOLOJİ VE STRATİGRAFİ

#### 3.1 Jeoloji

##### 3.1.1 Bölgesel Jeoloji ve Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı Biga Yarımadası ile Menderes Masifi ve Kozak Plütunu arasında kalan kısımda yer alır (Şekil 3.1). Çalışma alanında, bölgesel anlamda otokton olarak Alt Triyas'tan Kuvaterner'e kadar çökel, magmatik ve metamorfik kayalar yüzeylenmektedir.

İnceleme alanı ve çevresi, sahip olduğu metalik ve metalik olmayan maden yatakları ve jeotermal enerji sahalarından dolayı farklı zamanlarda değişik araştırmacıların ilgisini çekmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresini ilgilendiren daha önceki çalışmalar bir tablo halinde aşağıda özetlenmiştir (Tablo 3.1). Bölgede MTA Jeoloji Dairesi'nce 1975-1977 ve 1980 yıllarında 1/25.000 ölçekli jeoloji harita çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları (Akyürek ve Soysal 1978, 1980; 1983, Ercan vd. 1984,1986) ile yörede yapılan diğer eski çalışmalar (İzdar, 1968; Öngür, 1972) değerlendirilerek 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır. Kullanılan grup, formasyon ve üye isimleri bu çalışmalardan Akyürek ve Soysal (1978,1983) tarafından hazırlanan çalışmalarda verildiği gibi kullanılmıştır.

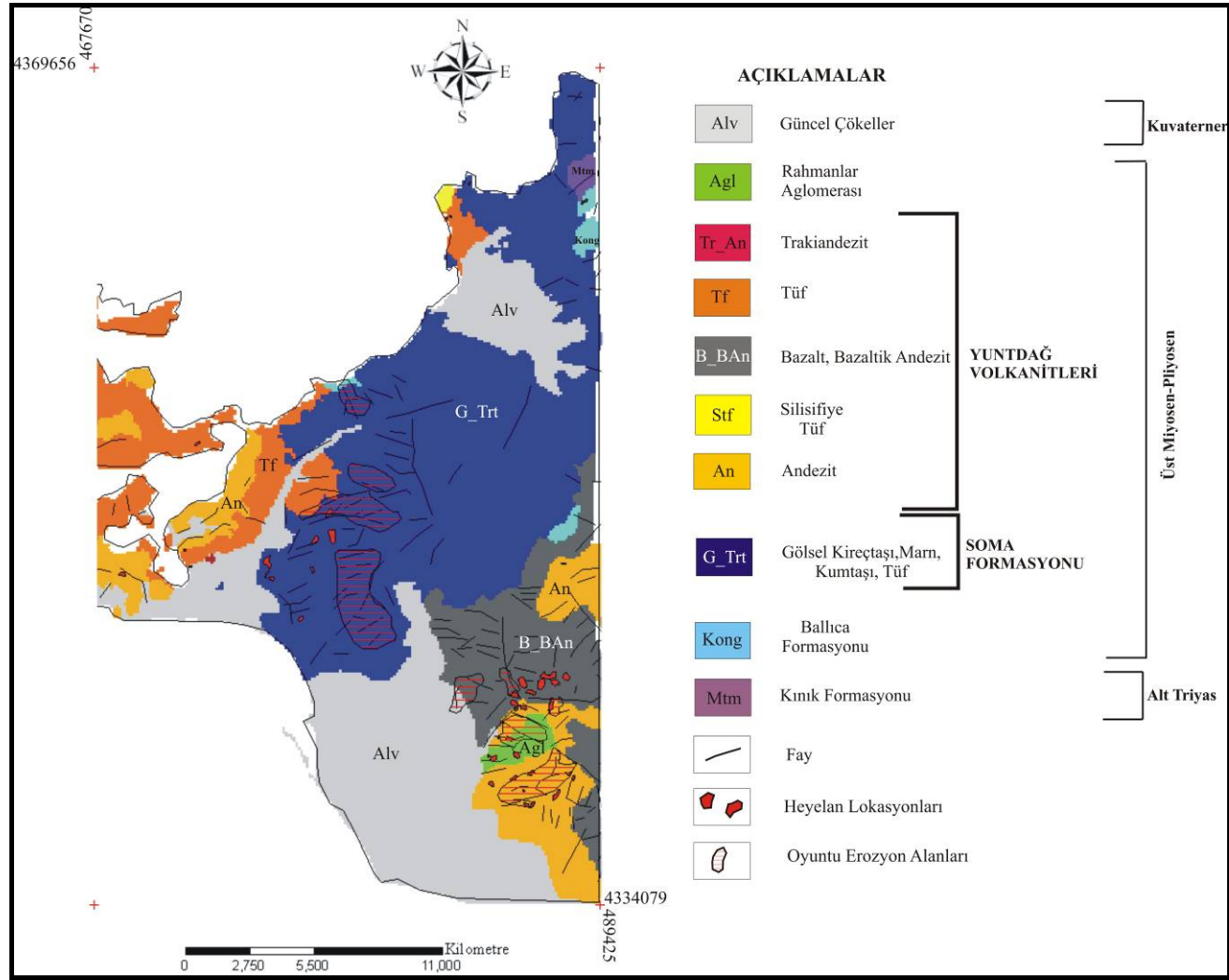
Tablo 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılmış olan önceki çalışmalar.

<b>Araştırma Konusu</b>	<b>Araştırmacı</b>	<b>İnceleme Alanı</b>	<b>Çalışmanın Ana Vurgusu</b>
<b>JEOLojİ</b>	Aslaner (1965)	Edremit, Havran	Bölgede yayılım gösteren kayaların mineralojisi ve petrografisi
	İzdar (1968)	Kozak Masifi	Genel jeolojisi ve petrolojisi
	Kaya ve Savaşçın, (1981)	Menemen	Volkanik kayaların petrolojisi ve jeolojisi
	Ercan vd. (1984)	Dikili, Çandarlı	Genel jeoloji
	Altunkaynak (1997)	Ayvalık, Bergama, Kozak	İnceleme alanındaki kaya birimlerinin petrolojisi ve jeokimyası
	Yılmaz vd. (1994)	Ayvalık, Edremit, Kozak	İnceleme alanının petrografik ve tektonik kökeni.
	Akay (2000)	Foça	İnceleme alanındaki volkaniklerin kökeni ve jeokimyası
	Ercan vd. (1986)	Ayvalık ve yakın çevresi	Jeoloji, petrolojisi ve jeokimyasal özellikler

Tablo 3.1'in devamı.

<b>JEOLojİ</b>	Bingöl vd. (1982)	Ayvalık, Burhaniye, Edremit	Petrolojik, jeokimyasal ve jeolojik araştırma
	Dora ve Savaşçın, (1982)	Alibey ve Maden Adaları	Bölgesel mağmatizma ilişkisine maden yatakları
	Ataman (1975)	Batı Anadolu	Batı Anadolu'daki kalkalkalen volkanizma
<b>MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ- HİDROJEOLojİ</b>	Özen (2002)	Çandarlı, Dikili	Jeotermal sahaların hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası
	Yıldız (1992)	Ayvalık, Dikili, Çandarlı	İnceleme alanının hidrojeolojisi
	Yılgör (1999)	Kozak yöresi	Granitlerde bozunma özellikleri





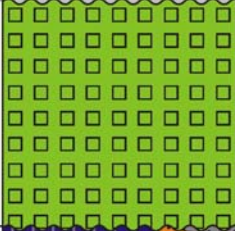

Şekil 3.1. İnceleme alanına ait genel jeoloji haritası (Akyürek, 1989' dan değiştirilerek hazırlanmıştır) (EK 1).

### 3.1.2 Stratigrafi

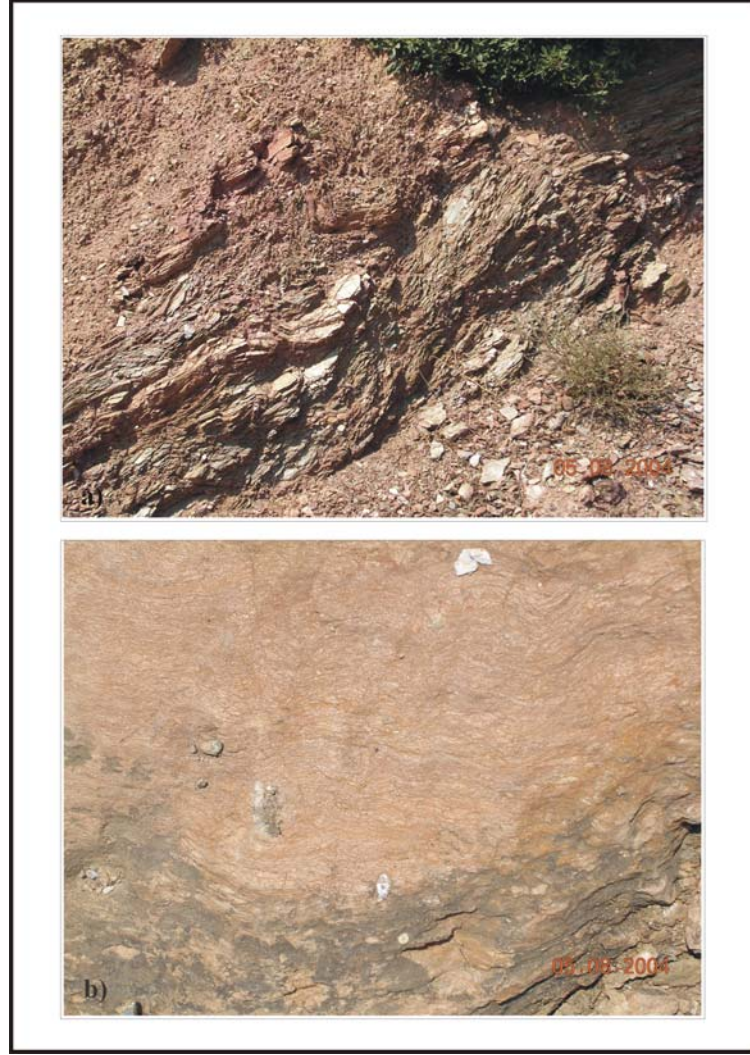
Alttan üste doğru Kınık formasyonu, Yuntdağ volkanitleri, Ballica formasyonu, Soma formasyonu, Rahmanlar aglomerası ile alüvyon ayırtlanmıştır. Birimlerin inceleme alanındaki dağılım ve ilişkileri 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 3.1). Kaya birimleri ile bunlara ait özellikler genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitte verilmiştir (Şekil 3.2).

#### 3.1.2.1 Kınık Formasyonu

Çalışma alanının en yaşlı kaya grubunu oluşturan formasyon, Gömeç beldesine bağlı Karaağaç köyü ve yakın çevresinde yüzlek vermektedir. Yaklaşık olarak K-G yönünde uzanım gösterir. Kınık formasyonu, metamorfizmaya uğramış, fliş benzeri bir istifdir (Yılmaz vd., 1997; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998). Kınık formasyonu, ilksel halini kısmen korumuş metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı kumlu kireçtaşı, kumtaşı ile volkarenit, aglomera ve metavolkanitten oluşmaktadır. Bu birimlerden inceleme alanı sınırları içerisinde baskın olarak metaçamurtaşı, metakumtaşı ve metavolkanitler gözlenmektedir. Metakumtaşları beyaz ve açık renklidir. Metamorfizmaya karşın kuvarsitik bileşimli oldukları anlaşılmaktadır. Metaçamurtaşları sarı, boz, kahverengi ve gri renkli, ince-orta tabakalanmalı ve kıvrımlıdır. Orta-yüksek derecede bozunmuş olmaları nedeniyle düşük dayanım direccine sahiptir. Alterasyon ve bozunma yüzeylerinde hematit ve limonit yüzey boyamaları sunmakta olup Ballica formasyonu ile faylı dokanak sunmaktadır (Şekil 3.3). Kınık formasyonu ileri derecede makaslanmış olup arazide makaslama süreksizlikleri açıkça görülebilmektedir. Yeşilşist fasiyesinin klorit zonunda metamorfizmaya uğramıştır. Ancak birimin en üst kesimlerinde metamorfizma derecesi giderek azalmakta ve istifin en üst kesimlerinde metamorfizma etkileri kaybolmaktadır. (Yılmaz vd., 1997). Kınık formasyonu fosilce çok fakir olup yapılan yaş tayinlerine göre Meandrospira cf.pusilla (Ho) fosili ile birimin yaşı Alt Triyas olarak belirlenmiştir (Akyürek 1989).

Sistem	Seri	Formasyon	Litoloji	Tanımlama
Kuvaterner		Güncel Tortullar		Güncel kıyı ve akarsu sedimanları
Tersiyer	Üst Miyosen-Pliyosen	Rahmanlar		Andezitik volkanizma ürünü aglomera
		Soma		Gösel kireçtaşı, marn, kil ve silttaşı, tüf ve kumtaşı
		Yuntdağ		Andezit, bazaltik andezit, bazalt, tüf, silisifiye tüf, trakiandezit, trakit, dasit ve riylit içeren volkanik seri
Triyas	Alt Triyas	Kınık		Orta-kötü boylanmış, andezit, bazalt, riylit, riadasit, trakiandezit çakılları içeren konglomera
				Metaçamurtaşı, metakumtaşı, metavolkanitten oluşan metamorfik seri

Şekil 3.2. İnceleme alanına ait genişletilmiş stratigrafik kolon kesit (Ölçeksiz) (Akyürek, 1989).



Şekil 3.3 Kınık formasyonuna ait metakumtaşı (a) ve metaçamurtaşlarının (b) arazideki görünümü (Koordinat: 488620/4364228)

### 3.1.2.2 Yuntdağ Volkanitleri

Çalışma alanındaki en geniş yüzlek veren birim olan Yuntdağ volkanitleri andezit, tuf, silisifiye tuf, lahar, aglomera ve daha az olarak da bazalttan oluşmuştur (Akyürek ve Soysal, 1981). İnceleme alanında Yuntdağ volkanitleri baskın kaya türü özelliklerine göre andezit, tuf, silisleşmiş tuf ve bazalt şeklinde ayrı birim olarak haritalanmıştır (Şekil 3.1).

Yuntdağ volkanitleri Soma formasyonunun altında, üstünde bazen de lav akıntıları ve tüfit düzeyleri halinde içinde izlenir. Yuntdağ volkanitlerine ait çakıllara Ballica formasyonunda rastalanır. Ballica formasyonunun çökeliminden önce başlayan ve Soma formasyonunun çökelişi süresince değişik evrelerde devam eden Yuntdağ volkanitleri, bölgede Miyosen'den önce başlayan ve Üst Miyosen-Pliyosen'e kadar devam eden, değişik evrelerde gelişmiş volkanizmanın ürünleridir (Akyürek, 1989).

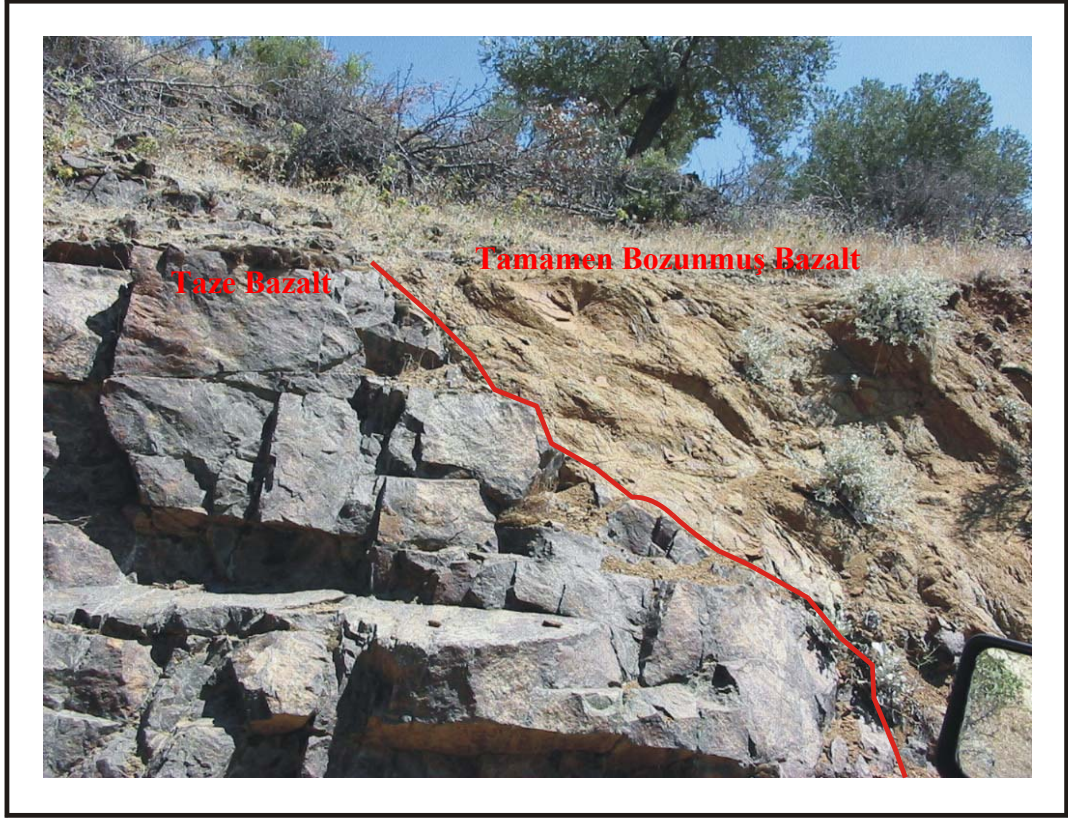
*3.1.2.2.1 Andezit.* İnceleme alanında Madra vadisinin güney kısmında yüzeylenen andezitler genellikle grimsi bordo, gri ve sarımsı gri renklerde görülmektedir. Bozunma yüzeylerinde sarımsı kahve ve yüzeysel alterasyon sonucu gelişen demir-oksit boyamalarından dolayı kırmızımsı kahve ve sarımsı kahve renklerde de görülmektedir. İnceleme alanı içerisinde yer yer trakiandezit, trakit, dasit, bazaltikandezit ve riyolit bileşimine kadar değişim gösteren asidik karakterli volkanizmayı temsil eden kaya birimleri de jeolojik haritada andezit birimi olarak ayırtılan litolojik sınır içerisinde görülmektedir. İnceleme alanının güneydoğusunda Beşiktepe ve Akçapınar köyleri civarında yüzeylenen andezitlerde yoğun bir bozunma süreci gelişmiş olup bu kısımlardaki andezitler çok ve tamamen bozunmuş şekilde gözlenmektedir (Şekil 3.4).

Genellikle iri plajiyoklas fenokristalleri içermekle birlikte camsı görünümde olan örneklerine de rastlanmaktadır. İlksel akıntı izlerinin yer yer korunduğu andezitler porfiritik dokulu, kloritleşmiş, killeşmiş ve karbonatlaşmış plajiyoklas mikrolitleri, piroksen ve opak minerallerden oluşan hamur içerisinde plajiyoklas fenokristalleri (andezin), biyotit ve opak mineraller içermektedir (Akyürek ve Soysal, 1983).



Şekil 3.4 İnceleme alanının güney doğusunda yer alan ve Yuntdağ volkanitlerine ait andezitlerin arazideki görünümü (Koordinat: 486851/4339445).

3.1.2.2.2 *Bazalt*. İnceleme alanında Madra vadisinin kuzeyinde kalan kısımda yüzeylenen bazaltlar arazide koyu renkli andezitlerden net biçimde ayırt edilememektedir. Alibey adası ve Ayvalık ilçesinin kuzey doğusunda sütunsal debili ve koyu siyah renkleri ile karakterize edilip, Madra vadisinin kuzey kısımlarında yüzeylenen bazaltlar daha çok akma düzlemlerine sahip ve koyu gri renkte ve masif yapılıdır. Andezitlerde olduğu gibi bazaltlarda da fiziksel bozunma süreci yoğun olup iyi gelişmiş küresel bozunma şekillerine arazide sıkça rastlanılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Bazaltın arazideki görünümü (Koordinat: 486230/4343560).

**3.1.2.2.3 Tüf.** Tüfler çoğunlukla Ayvalık ve Alibey adası çevresinde yüzeyleme vermektedir. Sarımsı kahve, sarı ve beyaz renkli olup (Şekil 3.6) inceleme alanının güneyindeki Salihler köyü civarında tamamen kaolenleşmiştir. Bölgedeki mineralizasyona bağlı olarak hidrotermal sıvıların etkisiyle gelişen yoğun hidrotermal alterasyon etkisi altındadır.

**3.1.2.2.4 Silisleşmiş Tüf.** Silisleşmiş tüfler sarımsı kahve, sarı ve sarımsı beyaz başta olmak üzere çok değişik renklerde izlenmektedir. Kırılma yüzeyleri midye kabuğu kırınımı vermekte olup, saydam ve parlak görünümlüdür. Silisleşmeden dolayı yüksek dayanıma sahip olup yüzeysel alterasyon izlerine hematit ve limonit yüzey boyamaları şeklinde görülmektedir. İnceleme alanında Ayvalık ilçesinin batısında ve Gömeç beldesinde Tikli kaya mevkiinde güzel örneklerine rastlanmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Yoğun hidrotermal altere tüflerin arazideki görünümü (Koordinat: 470223/4348048).

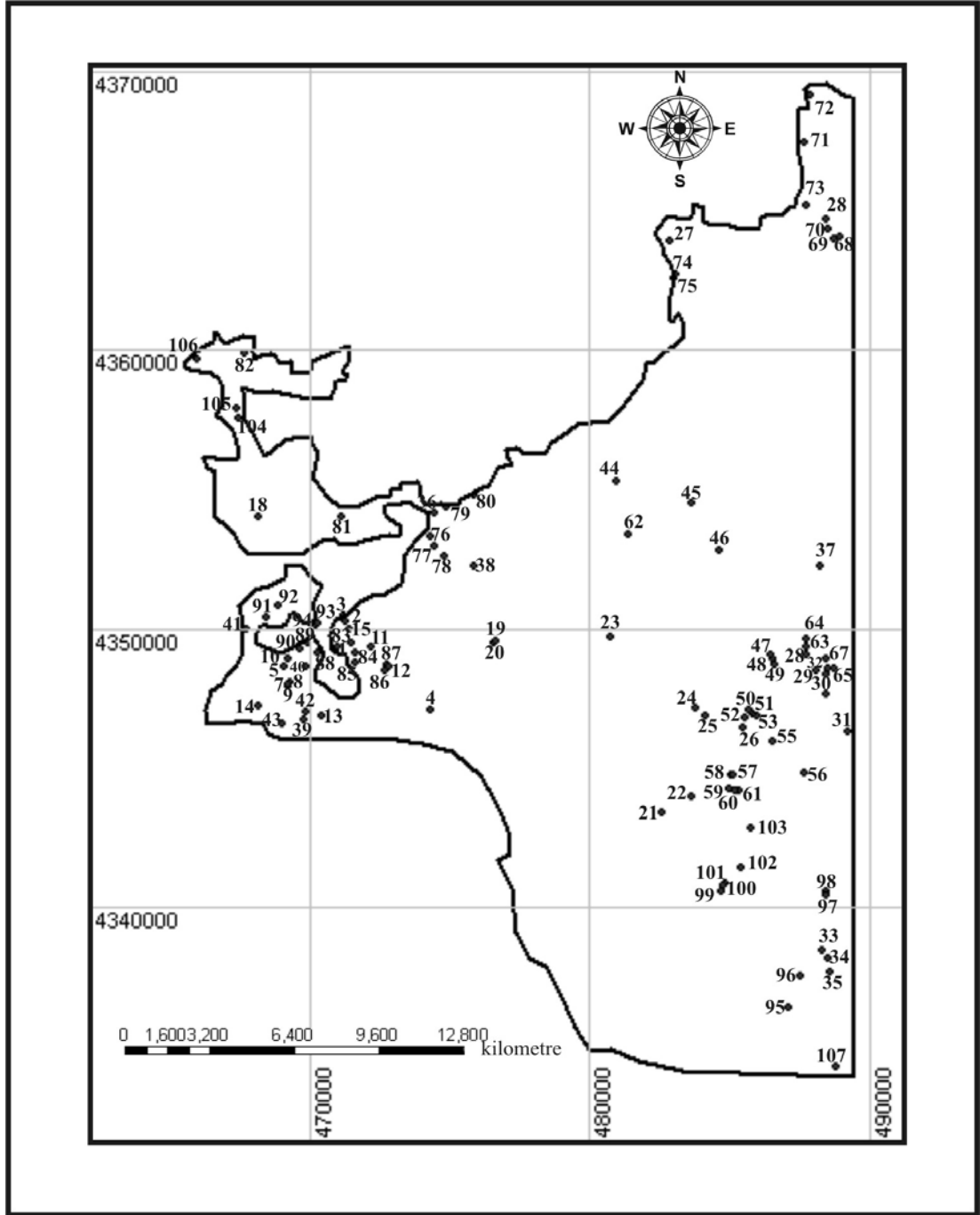


Şekil 3.7 Silisleşmiş tüflerin arazideki görünümü (Koordinat: 470648/4347983).



3.1.2.2.5 *Jeokimya*. İnceleme alanındaki Yuntdağ volkanitlerinin jeokimyasal özelliklerini ve tektonik konumunu belirlemek için 33 örnekte (Şekil 3.8) ana oksit içeriği belirlenmiş, daha önceki çalışmalardan elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır (Ercan vd., 1986). Yuntdağ volkanitlerine ait jeokimyasal veriler MINPET petrografi ve petroloji yazılımında değerlendirilmiş, kaya diskriminasyon özelliği yardımıyla kaya birimleri adlandırılmıştır. Le Bas (1986) diyagramı kullanılarak ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) ve  $\text{SiO}_2$  içeriklerin göre analizi yapılan örneklerin trakit, trakiandezit, andezit, dasit, riyolit ve bazaltik andezit oldukları belirlenmiştir (Tablo 3.2, Şekil 3.9). Volkanitlerin alkali-silisiçeriklerine bakıldığında (Şekil 3.10), subalkalen kökenli oldukları belirlenmiş, bir kısmının toleyitik, bir kısmının ise kalkalkalen magmadan türemiş oldukları görülmüştür (Şekil 3.11). Kayaların  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  içeriklerine göre değerlendirme yapıldığında, büyük çoğunluğunu asidik karakterli ve yüksek “K” içeren kayalar olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.12).

Ercan vd. (1986) tarafından yapılan çalışmada, Ayvalık çevresinin jeolojisinin incelenmesi amacıyla Yuntdağ volkanitleri başta olmak üzere bölgede yüzeylenen diğer volkanik birimlere ait jeokimyasal incelemeler gerçekleştirilmiş, bu veriler ışığında inceleme alanındaki kayaların adlamaları ve kayaların petrolojik kökenleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu amaçla yapılan kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlara göre Yuntdağ volkanitleri olarak ayırtlanan kayaların andezit, trakiandezit, riyolit, dasit, ve bazaltik andezit bileşimli, kalkalkalen ve kısmen şoşonitik volkanizma ürünü olduklarını ifade etmişlerdir. Elde edilen bu sonuçların, bu çalışma kapsamında yapılan ve üretilen jeokimyasal sonuçlarla paralel oldukları görülmüştür.



Şekil 3.8 Örnekleme lokasyonları.

Tablo 3.2. Yuntdağ volkanitlerine ait ana oksit miktarları.

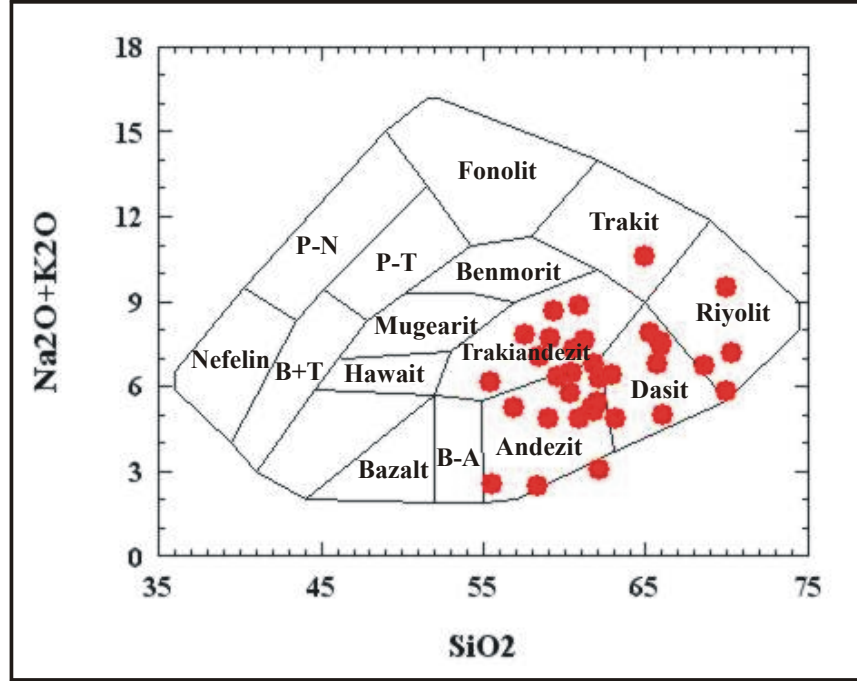
Örnek →	28 (Trakiandezit)	61b (Trakiandezit)	59 (andezit)	47 (Trakit)	57a (andezit)	94 (andezit)	2 (andezit)	63 (andezit)	57b (Riyolit)	102b (Dasit)	1a (andezit)	101 (Dasit)	76b (andezit)
Oksitler ↓													
SiO <sub>2</sub>	61,24	60,61	60,94	65,73	62,01	59,97	58,34	60,38	69,95	65,28	62,18	65,92	61,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,39	19,36	17,27	14,84	16,68	13,6	14,37	16,68	12,20	15,23	16,22	14,83	15,07
∑ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,79	3,54	5,67	4,89	5,21	12,04	10,21	4,34	5,05	4,23	1,39	3,12	5,56
MgO	2,69	0,84	1,48	1,61	1,01	1,54	0,51	2,79	0,73	0,68	0,044	0,72	2,37
CaO	5,63	4,40	6,65	3,13	5,37	0,94	0,66	6,36	2,99	4,05	0,093	3,78	6,75
Na <sub>2</sub> O	3,31	3,35	1,32	2,49	3,17	1,00	0,86	3,67	2,45	4,08	0,47	3,54	3,13
K <sub>2</sub> O	4,29	3,93	3,55	4,31	2,27	3,85	1,62	2,10	3,37	3,78	2,60	3,90	2,00
TiO <sub>2</sub>	0,58	1,03	0,82	0,58	0,95	0,82	0,82	0,70	0,90	0,58	0,94	0,90	0,95
MnO	0,079	0,040	0,155	0,051	0,022	0,023	0,042	0,066	0,023	0,085	0,011	0,034	0,123
Kızd.Kaybı	2,02	2,50	1,16	2,10	1,54	6,51	12,45	1,59	1,91	1,15	15,76	3,01	1,52
<b>Toplam</b>	99,019	99,600	99,015	99,731	98,232	99,293	99,882	98,676	99,573	99,145	99,708	99,754	99,263

Tablo 3.2'nin devamı.

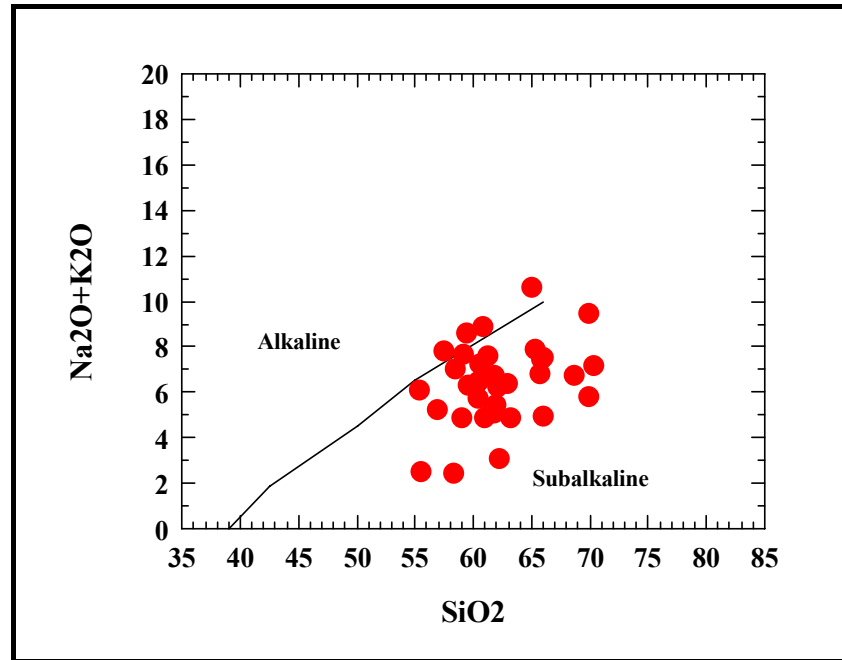
Örnek →	22b (Dasit)	75 (Andezit)	50 (Trakiandezit)	68b (Andezit)	96 (Trakiandezit)	13 (Dasit)	49 (Dasit)	64a (Riyolit)	66b (Andezit)	48 (Andezit)	85 (Andezit)	44a (Andezit)
Oksitler ↓												
SiO <sub>2</sub>	66,01	56,95	59,37	55,53	55,43	62,95	63,15	70,29	60,37	60,47	59,53	4,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,06	18,27	19,59	15,31	16,74	17,61	16,09	11,66	17,18	17,84	19,81	1,78
∑ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,47	6,39	4,36	10,74	6,87	4,19	4,02	2,95	3,93	3,72	5,97	2,29
MgO	1,62	1,85	0,58	1,18	2,96	0,173	2,28	1,55	1,78	2,27	0,94	20,12
CaO	4,97	6,51	3,76	2,77	7,84	5,48	4,16	4,28	3,30	5,50	1,32	26,29
Na <sub>2</sub> O	3,31	2,34	3,72	2,42	2,97	3,64	2,42	3,74	3,01	2,47	2,63	0,212
K <sub>2</sub> O	1,67	2,91	4,91	0,13	3,16	2,77	2,43	3,42	3,44	3,96	3,71	0,20
TiO <sub>2</sub>	0,90	1,06	0,93	1,53	1,02	0,47	0,69	0,47	0,60	0,65	0,93	0,30
MnO	0,119	0,120	0,178	0,146	0,123	0,093	0,049	0,076	0,065	0,055	0,266	0,048
Kızd.Kaybı	1,20	3,17	1,14	9,28	1,36	1,31	2,78	1,12	4,90	2,52	3,83	43,23
<b>Toplam</b>	<b>99,329</b>	<b>99,570</b>	<b>98,538</b>	<b>99,036</b>	<b>98,473</b>	<b>98,686</b>	<b>98,069</b>	<b>99,556</b>	<b>98,575</b>	<b>99,455</b>	<b>98,936</b>	<b>99,420</b>

Tablo 3. 2'nin devamı.

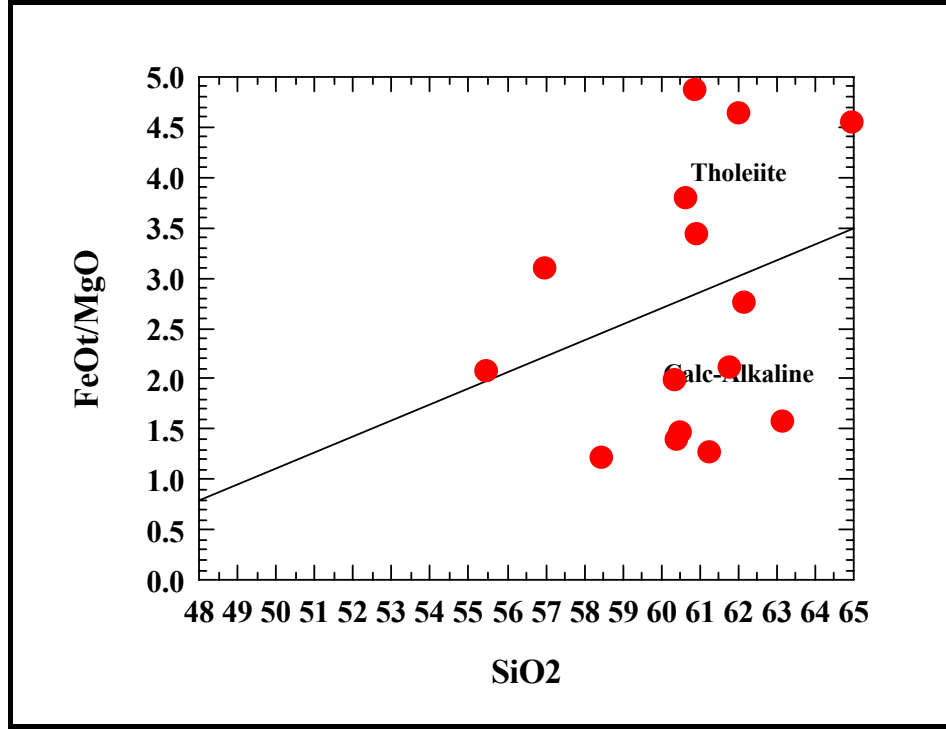
Örnek →	68a (Trakiandezit)	41 (Andezi t)	37 (Andezi t)	90 (Andezi t)	14 (Riyolit)	40 (Traki t)	26 (Trakiandezit)	34 (Trakiandezit)	52 (Trakiandezit)	9 (Dasit)	64b (Riyolit)
<b>Oksitler ↓</b>											
SiO <sub>2</sub>	59,18	61,69	61,79	62,15	69,65	64,97	57,54	58,44	60,89	66,00	68,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,69	19,06	16,23	16,42	12,40	19,79	18,24	14,31	16,69	12,58	14,41
∑ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,39	4,86	6,12	4,75	3,23	1,61	6,98	6,05	5,34	7,97	3,76
MgO	0,906	0,572	0,887	1,55	0,198	0,318	0,395	4,43	0,985	0,749	1,60
CaO	4,09	0,54	3,68	5,08	1,27	1,09	5,09	5,63	3,68	0,74	2,81
Na <sub>2</sub> O	3,48	1,82	3,18	3,18	4,07	4,93	3,65	2,84	4,03	1,78	3,44
K <sub>2</sub> O	4,20	3,43	3,57	3,08	5,43	5,65	4,15	4,17	4,84	5,77	3,28
TiO <sub>2</sub>	0,96	0,81	0,76	0,60	0,51	0,30	1,01	0,81	0,76	1,26	0,71
MnO	0,031	0,031	0,040	0,058	0,055	0,059	0,093	0,097	0,128	0,040	0,046
Kızd.Kay	1,76	6,27	2,07	2,64	2,47	0,57	2,60	2,21	1,53	2,50	0,88
<b>Toplam</b>	99,687	99,083	98,327	99,508	99,283	99,287	99,748	98,987	98,873	99,38 9	99,546



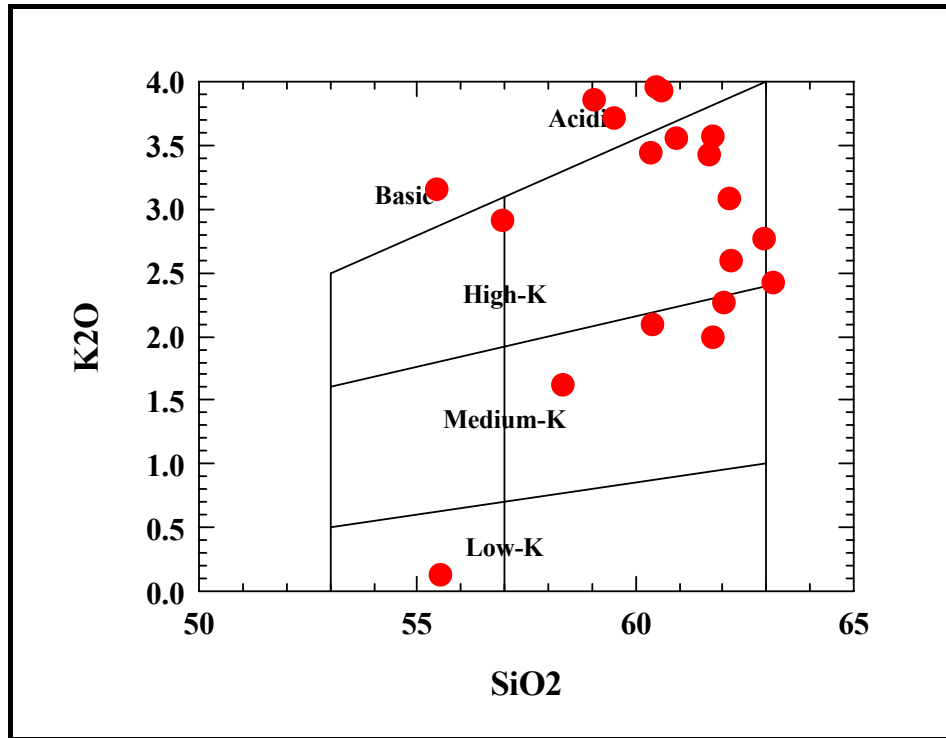
Şekil 3.9 Yuntadağ volkanitlerine ait örneklerin Le Bas vd., (1986) grafiği kullanılarak isimlendirilmesi.



Şekil 3.10 Kimyasal analizi yapılan örneklerin  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  diyagramındaki yerleri



Şekil 3.11 Kimyasal analizi yapılan örneklerin FeO / MgO diyagramı üzerindeki dağılımları.

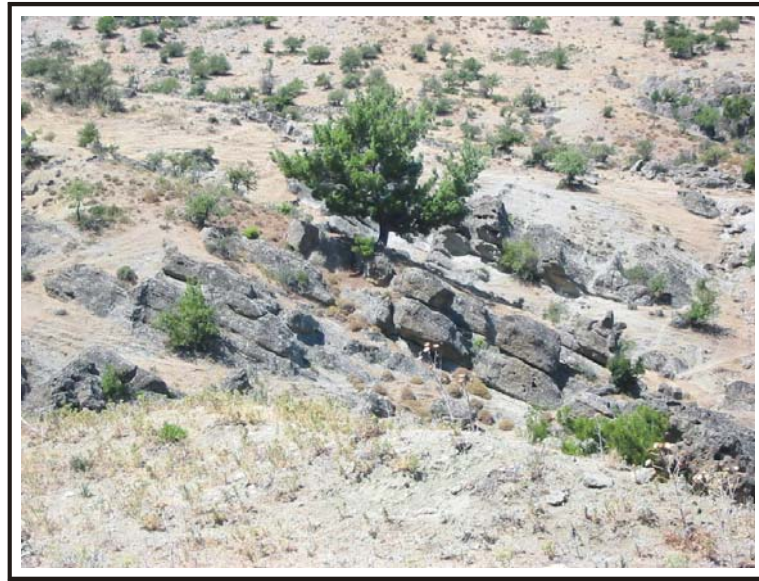


Şekil 3.12 Kimyasal analizi yapılan örneklerin K<sub>2</sub>O – SiO<sub>2</sub> diyagramındaki yerleri.

### 3.1.2.3 Ballica Formasyonu

Birim inceleme alanının batısında ve kuzeyinde yüzeyleir. Ballica formasyonu kötü boylanmış, az yuvarlaklaşmış, yer yer köşeli, çeşitli türden çakıllar içeren konglomera ve kumtaşından oluşan akarsu çökelleri niteliğindedir. Birimin tabakalanması genellikle belirsiz olup, yer yer orta-kalın tabakalanmalıdır (Şekil 3.13). Birim orta-düşük dayanımlı olup, silisli çakılların olduğu yerlerde yüksek dayanımlıdır. Konglomeraların çakıllarını daha yaşlı kaya türlerinden metakumtaşı, kireçtaşı, andezit ve granodiyorit oluşturur. Konglomeranın çimentosu kil veya karbonattır (Akyürek ve Soysal 1983).

Ballica formasyonu, değişik yaşta kaya türleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Birim üstte Soma Formasyonu ile geçişlidir. Geçiş tabakaları ince daneli kumtaşı, silttaşı ve tüftür. Konglomera ve kumtaşlarında bol volkanit danelerin oluşu ve arada tüfit düzeylerinin varlığı Yuntdağ volkanitlerini oluşturan volkanizmanın Ballica Formasyonunun çökelişinden önce başlayıp, çökeliş anında da değişik evreler şeklinde devam ettiğini gösterir. Ballica formasyonunda fosil bulunamamıştır. Birimin üstüne gelen Soma formasyonunda Üst Miyosen-Pliyosen yaşı saptanmıştır. Buna göre, Ballica formasyonu Üst Miyosen veya öncesi olmalıdır (Akyürek, 1989).



Şekil 3.13 Orta-kalın tabakalı çakıltaşlarının arazideki görünümü (Koordinat:488855/4362884).



### 3.1.2.4 Soma Formasyonu

Birim bölgede geniş yayılım gösterir. Soma formasyonu killi kireçtaşı, marn, silttaşı, tüfit, kumtaşı, ar dalanması veya bu kaya türlerinin bir veya birkaçının baskın olduğu kaya türlerinden oluşur. Soma formasyonu genellikle beyaz, sarı, boz, gri renkli ve ince-orta-kalın tabakalanmalıdır (Şekil 3.14). Yatay ve yataya yakın tabakalanmalı olan birim sıkışma nedeniyle yer yer yatık, hatta devrik kıvrımlı yapı gösterir. Killi ve karbonatlı düzeyleri bazen laminalıdır. Bölgede Soma Formasyonu içinde kömür ve bitümlü şeyl düzeyleri vardır. Orta-düşük dayanıma sahiptir.

Soma formasyonu Balıca formasyonu ile geçişli, Rahmanlar aglome rası ile girik olup Dededağ bazaltı tarafından kesilir ve örtülür. Formasyonun yaşı Üst Miyosen-Pliyosen'dir. (Akyürek, 1989).



Şekil 3.14 Soma formasyonu ait marn, silttaşı ar dalanması (Koordinat: 78017/54419).

### 3.1.2.5 Rahmanlar Aglomerası

Birim inceleme alanında Altınova güneydoğusunda ayrı tlanmıştır. Rahmanlar aglomerası yuvarlak ve yarı köşeli andezit çakıllarının tüf ile tutturulmasından oluşur. Aglomeralar arasında ince tüfit ve silttaşı düzeyleri sıkça izlenir (Şekil 3.15).

Rahmanlar aglomerası, bölgede Yuntdağ volkanitleri ve Soma formasyonu ile girik olduğundan, Üst Miyosen-Pliyosen yaşta kabul edilmiştir (Akyürek, 1989).



Şekil 3.15 Rahmanlar aglomerası ve yamaçta görülen erozyona bağlı gelişen kütle hareketi (Koordinat: 484637/4339907).

### 3.1.2.6 Alüvyon

Alüvyonlar çalışma alanında Altınova, Ayvalık'ın güneyi, ve Gömeç ovalarında gözlenir. Daha çok kum, silt ve kil bileşenlerinden oluşan alüvyon ayrıca andezit, dasit, riyolit, granodiyorit çakılları da bulunmaktadır. Ortalama alüvyon kalınlığı Ayvalık ovasında 15-30 m, Altınova'da 100 m ve Gömeç ovasında 15-20 m arasında olup tarım arazileri için verimli toprak alanları ve yeraltı suyu açısından akifer niteliği taşımaktadır (D.S.İ, 1990).

## 3.2 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, içinde bulunmuş olduğu bölgenin tektonik gelişimi ile alakalı olarak birçok yapısal hareket geçirmiş olup, yapısal jeolojisi; uyumsuzluklar, tabakalanmalar, faylar ve çatlaklar olarak dört başlık altında incelenmiştir. Bu

bölümde bahsedilen yapısal unsurların ayrıntılı tanımları yapılarak ilişkileri ortaya konulmuştur.

### ***3.2.1 Uyumsuzluklar***

İnceleme alanında iki ayrı uyumsuzluk gözlenmektedir. Birincisi inceleme alanının güneybatısında yer almaktadır. Bu uyumsuzluk ile Kuvaterner yaşlı Dededağ bazaltı, Tersiyer yaşlı Rahmanlar aglomerası, Soma Formasyonu ve Yuntdağ volkanitleri üzerine gelmektedir. İnceleme alanında gözlenen ikinci uyumsuzluk ise Kuvaterner yaşlı olan ve inceleme alanı içerisindeki tüm birimleri örten Alüvyon dokanağıdır.

### ***3.2.2 Tabakalanmalar***

İnce-orta tabakalı katmanlanmaya sahip Soma formasyonuna ait marn, kireçtaşı, çamurtaşı ve kumtaşlarının tabakalanma doğrultusu genellikle KD-GB ve KB-GD, eğimi ise 10 derece'dir (Şekil 3.16). Marn ve kireçtaşları 30-40 cm kalınlıklar sunarken, ara seviyeler halinde gözlenen çamurtaşı, ve tuf seviyeleri 5-10 cm kalınlıklara erişmektedir. Balıca formasyonunu oluşturan konglomeralar orta-kalın tabakalı bir yapı sunmakta olup, tabakaların eğimleri 15-20 derece arasında değişmekte, doğrultuları ise KD-GB doğrultusunda genel bir konumlanma sunmaktadır (Şekil 3.13). Tabaka kalınlıkları inceleme alanının kuzeybatısında 20-30 cm arasında gözlenirken, inceleme alanının güney doğusunda bu kalınlıkların 1 m'ye kadar yaklaşmakta olduğu görülmektedir.



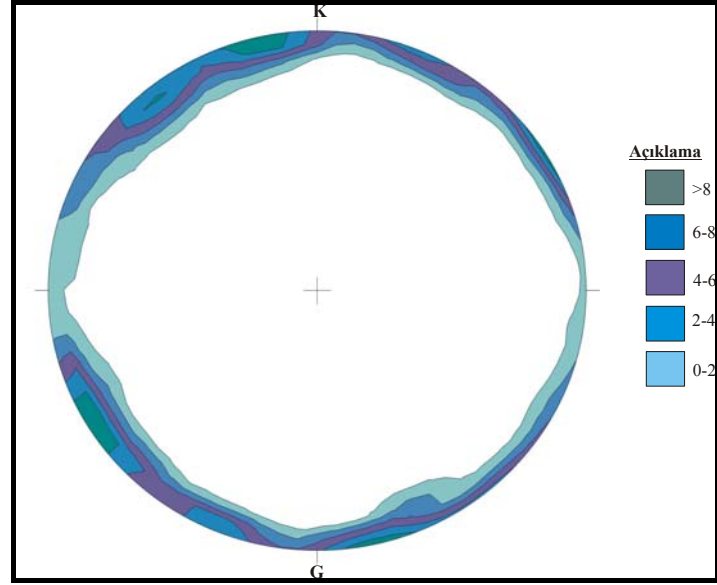
Şekil 3.16 Soma Formasyonuna ait görsel tortullarda gözlenen yatay tabakalar.

### 3.2.3 Süreksizlikler

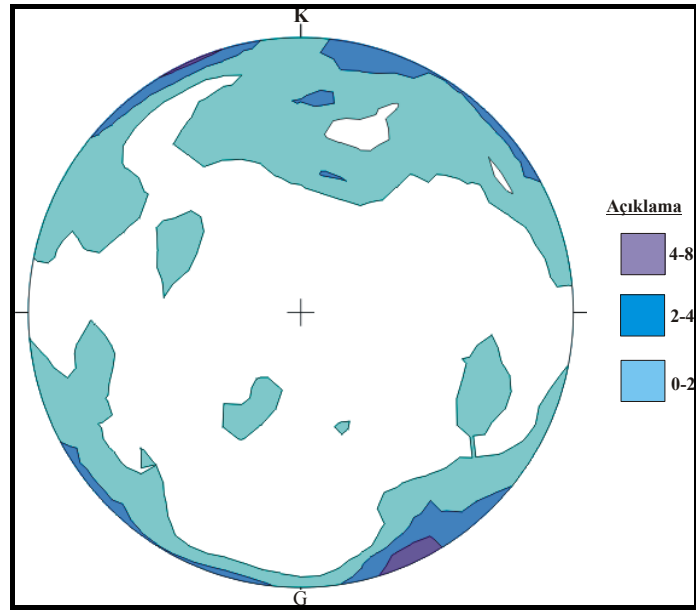
İnceleme alanının %50 den fazla bir kısmını kaplayan Yuntağ volkanitleri ve Soma formasyonuna ait birimlerden alınan süreksizlik ölçümleri, kontur diyagramında değerlendirilerek, söz konusu birimlerde gelişen hakim süreksizlik konumları belirlenmiştir.

Yuntağ volkanitlerindeki hakim süreksizlik doğrultuları KD-GB yönelimlidir (Şekil 3.17). Soma formasyonunda gelişen hakim süreksizlik doğrultuları ise KD-GB ve KB-GD şeklindedir (Şekil 3.18). Yuntağ volkanitlerine ait andezitler özellikle Kozak plütönüne yakın kısımlarda oldukça kırıklıdır. Bu kırıklar çoğunlukla hidrotermal aktivite sonucunda ortama getirilen demir-oksit ve kil dolgularla doldurulmuştur. Süreksizlikler genelde devamlı ve süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü azdır.

Soma formasyonundaki hakim süreksizlik doğrultuları genellikle KD-GB yönelimlidir. Süreksizlikler genellikle tabakalanma düzlemlerine dik olarak gelişmiştir.



Şekil 3.17 Soma formasyonundan alınan 230 süreksizlik ölçümüne göre hazırlanmış kontur diyagramı.



Şekil 3.18 Yuntdağ volkanitlerinden alınan 403 süreksizlik ölçümüne göre hazırlanmış kontur diyagramı.

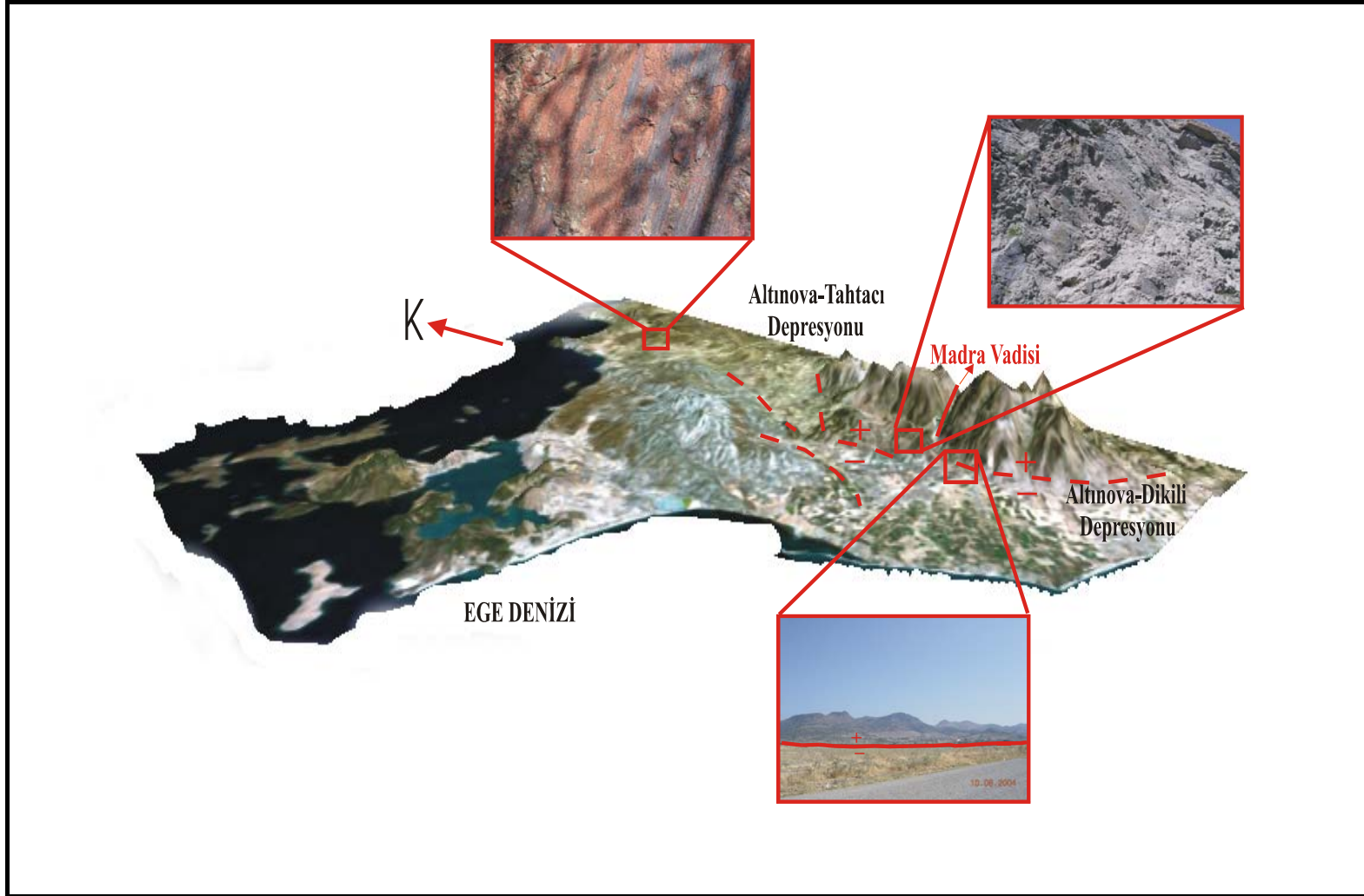
### 3.2.4 Faylar

İnceleme alanı, Batı Anadolu tektoniğinden oldukça etkilenmiş olduğundan içerisinde büyük ve küçük ölçekli çok sayıda fay sisteminin varlığı gözlenmektedir. Bu fay sistemlerinden en büyük ölçekli iki faydan söz etmek mümkündür. Bunlardan

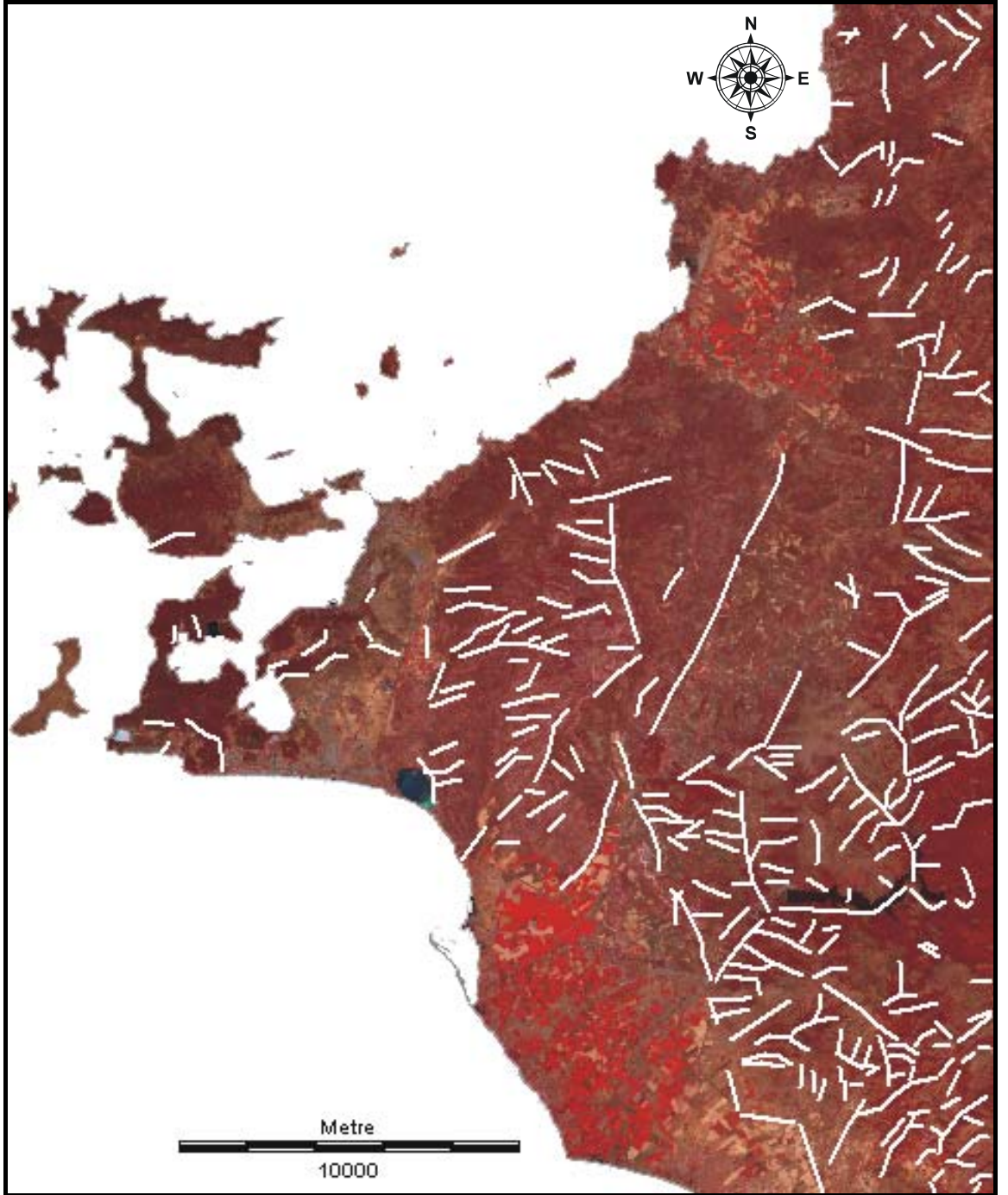
birincisi inceleme alanının güney doğusunda kalan ve Yuntdağ volkanitleriyle Altınova yöresindeki alüvyoların sınırı oluşturan ve Yılmaz vd. (1997) tarafından Altınova-Dikili depresyonu olarak isimlendirilen çöküntü düzlüğünü oluşturan faydır. Fay eğim atımlı normal fay olup, fay düzlemi arazide net olarak gözlenenemektedir. Fay yüzeyinin eğim yönü batıya doğrudur. Hem oluşturulan üç boyutlu sayısal arazi modeli üzerine uydu görüntüsü giydirildiğinde (Şekil 3.19) ve hem de uydu görüntülerine, özellikle Aster 3A0 görüntüsüne bakıldığı zaman Altınova-Dikili depresyonunun açıkça ayırt edilebildiği görülmektedir (Şekil 3.20). İkinci büyük fay sistemi Altınova-Dikili depresyonunun kuzeyinde yer alan ve Altınova-Tahtacı depresyonu olarak isimlendirilen sistemdir. Bu fay sistemi de eğim atımlı normal fay özelliğinde olup, Yuntdağ volkanitleri ile Soma formasyonu arasında sınır oluşturmaktadır. Bu fayın fay yüzeyi de arazide net olarak gözlenememekle birlikte morfolojik olarak ani yükselim ve uydu görüntüleri üzerinden faya ait çizgiselliğin gözlenebilmesi, söz konusu fayın varlığını ortaya koymaktadır.

Bu iki fay sistemine ilave olarak daha küçük bir fay sistemi inceleme alanının güneyinde yer alan Madra vadisi boyunca yer almaktadır. Bu faya ait süreksizlik hattı da yine uydu görüntüsü ve sayısal arazi modeli üzerinde net olarak gözlenebilmekte olup yine fay yüzeyi arazi üzerinde net biçimde gözlenememektedir. Topoğrafyanın en sert ve eğimin en yüksek olduğu bu kısımdaki birimlerde gözlenen ezilme zonları, eğimin aniden artması gibi kriterler, muhtemel fayın varlığını ortaya koyan arazi verileri olarak gözlenmektedir.

Yukarıda bahsedilen bu üç fay dışında arazide küçük ölçekli çok sayıda fayın varlığı da belirlenmiştir. Bu gözlemlerin birçoğunda fay yüzeyleri net olarak gözlenmekte, bunlara ilave olarak milonitik zonlar ve morfolojide ani değişimler fayların yorumlanmasında yardımcı olmuştur.



Şekil 3.19 Arazide gözlenen ana fayların üç boyutlu sayısal arazi modeli üzerine giydirilmiş Landsat 7 ETM+ görüntüsü üzerinde görünümü.



Şekil 3.20 15 m yersel çözünürlüklü Aster 3A01 Level uydu görüntüsü üzerinde bahsedilen kırık sistemlerinin yorumlanması.



### 3.3 İnceleme Alanının Jeomorfolojisi

Kuzeyden Edremit Körfezi, güneyden Bakırçay havzası, doğudan Madra dağı ve batıdan Ege Denizi ile çevrelenen inceleme alanında temel jeomorfolojik unsurlar genel olarak D-B ve KD-GB uzanımlı dağlar, aynı doğrultuda uzanan gerilme alanları (depresyon ovaları), kıyı ovaları ve bunlar arasında kalan, yüksekliği düşük olan tepelik alanlar oluşturmaktadır (Şekil 3.21).

İnceleme alanının en yüksek kesimini Madra (Kozak) Dağı oluşturmaktadır. Neojen öncesi başlayan, ancak Neojen’de özellikle etkin olan neotektonik gerilme-açılmaya bağlı olarak yüzeye çıkan volkanitler Madra Dağı’nı çevrelemiş, kısmen de örtmüştür. Üst Miyosen-Pliyosen’deki açılma tektoniğini rejimi altında önce gölsel, sonra karasal sedimantasyon gelişimi, söz konusu çöküntü havzalarında meydana gelmiştir. Bu çöküntü havzalarının taban düzlüklerinde ve kıyı bölgesinde güncel alüvyonal dolgu gelişimi devam etmektedir.

İnceleme alanındaki ovalar, kıyı kesiminde kuzeybatıda Gömeçovası (Armutova), güneybatıda Altınova ve inceleme alanının merkez kısmını teşkil eden Ayvalık ovasıdır. Gömeç ovası, akarsular tarafından taşınan alüvyonal malzemelerle dolarak meydana gelen bir dolgu düzlüğüdür (Sütgibi, 2003). Bu ova, Miyosende başlayan kıtasal kabuk hareketleri ile Edremit körfezinin güney kesiminde tektonik bir açılma olarak tanımlanan faylanmalarla ilk şeklini almıştır.

Gömeç ovasıyla devam eden düzlük alanlar, güneybatıda Madra Çayı delta ovasında son bulmaktadır. Madra Çayı deltası, Madra dağının batı eteklerinde Ayvalık-Midilli boğazına doğru gelişmiştir (Sütgibi, 2003). Delta ovası “Altınova” olarak isimlendirilmekte olup, Madra dağının batı eteklerinde uzanan dağ eteği düzlüğünün kuzeydeki küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Güneydoğu’ya doğru Dikili’ye uzanan düzlük arazi ise oluşum bakımından deltanın bir uzantısı olmamakla birlikte, daha eski bir dağ eteği düzlüğünün kalıntısı biçiminde düşünülmektedir (Kayan, 2003). Delta, kuzeyden Miyosen birimleri (konglomera, marn, kumtaşı, tuf) üzerinde 50-60 m yükseklikte alçak tepelik alanla, güneyden ise

Bahçeliköy-Dikili arasında birikinti koni ve yelpazelerinden oluşan dağ eteği düzlüğü ile sıralanmaktadır. Madra Çayı delta alanına iki büyük akarsu ulaşmakta olup, bunlardan güneyde olanı Madra Çayı, kuzeyde olanı ise Karakoç deresidir.

Madra dağının batı eteklerinde, ova tabanı ile dağlık alan arasında bulunan tepelik alanlar, Soma formasyonu ve Yuntdağ volkanitlerine ait birimlerden oluşan farklı bir morfolojik görünüm sunmaktadır. Madra dağının kuzeybatı eteklerinden Ayvalık'a kadar uzanan ve Miyosen birimleri (konglomera, marn, kumtaşı, tuf) üzerinde şekillenmiş tepelik alan az arızalıdır (Sütgibi, 2003). Bu kesim, 50-100 m arasında değişen yükseltideki alçak tepelerle, bunlar arasındaki hafif dalgalı, sırt ve düzlüklerden oluşan bir morfolojiye sahiptir. Madra dağı'nın batı etekleri önünde Bahçeliköy-Dikili arasında andezit, tuf, aglomera ve bazaltlar üzerinde şekillenen tepelik alanlar ise 100-200 m yükseklikte bir morfoloji sunmaktadır.



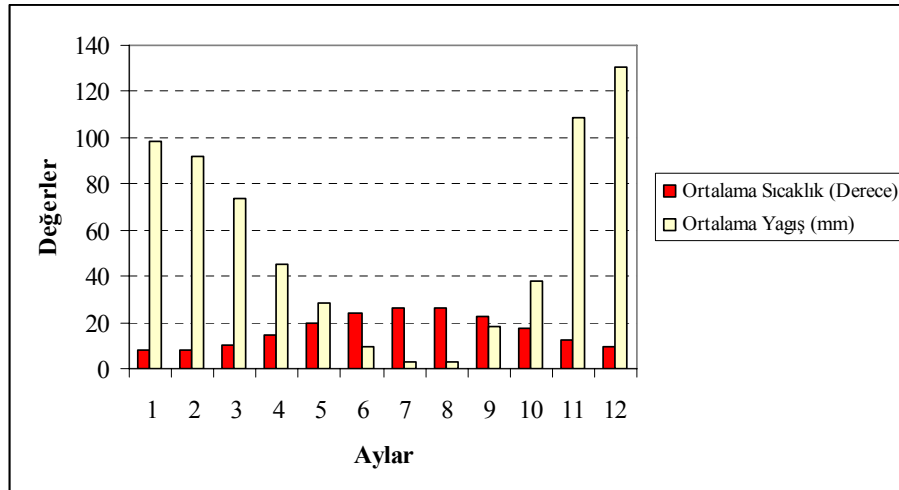
Şekil 3.21 Üç boyutlu sayısal arazi modeli üzerine giydirilmiş Landsat 7 ETM+ görüntüsü üzerinde inceleme alanının genel jeomorfolojik görünümü.

### 3.4 İnceleme Alanının İklimsel Durumu

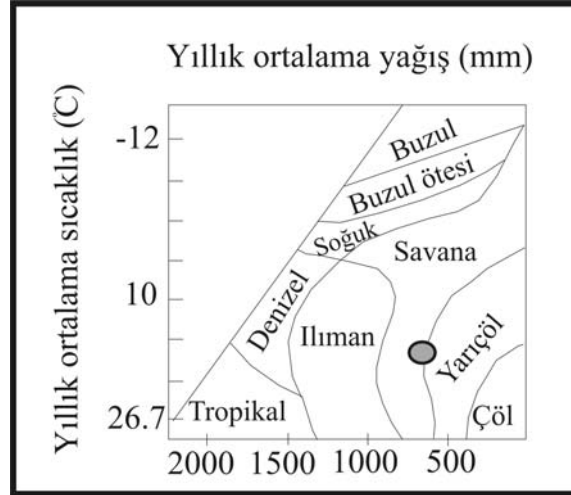
Erozyon ve heyelan gelişiminde, litolojik özellikler, jeomorfoloji ve yapısal unsurların yanısıra, etkin olan faktörlerden birisi de iklimsel özelliklerdir. Bu nedenle, inceleme alanında hakim olan iklimsel özellikler yağış ve sıcaklık değerleri dikkate alınarak irdelenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, inceleme alanı içerisinde yer alan Ayvalık meteoroloji istasyonundan alınan 1964-2001 yılları arasında kaydedilen yağış, sıcaklık ve rüzgar verileri değerlendirilmiştir (Tablo 3.3) (Şekil 3.22). Bu veriler, inceleme alanındaki kayaların bozunma, yağış erozyonu (pluviyal erozyon), donma-çözünme etkisi, rüzgar etkisi ve kütle hareketi açısından Peltier (1950) tarafından önerilen grafiklerin (Şekil 3.23) yorumlanmasında kullanılmıştır. Bununla ilgili bilgi, Bölüm 5’de ele alınacaktır.

Tablo 3.3. Ayvalık meteoroloji istasyonundan alınan 1964-2001 yılları arasında kaydedilen yağış, sıcaklık ve rüzgar verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2001).

METEOROLOJİK ELEMEN	SÜRE (YIL)	AYLAR												YILLIK
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık (C)	38	7.8	8.3	10.3	14.7	19.6	24.3	26.6	26	22.3	17.4	12.3	9.7	16.7
Ortalama Yağış (mm)	38	98.5	91.8	73.9	45.4	28.4	9.3	2.7	3.2	18.1	37.8	108.5	130.4	648
En Hızlı Esen Rüzgar Yönü	20	K	GB	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD



Şekil 3.22 Ortalama yağış ve sıcaklık değerlerine ait grafik.



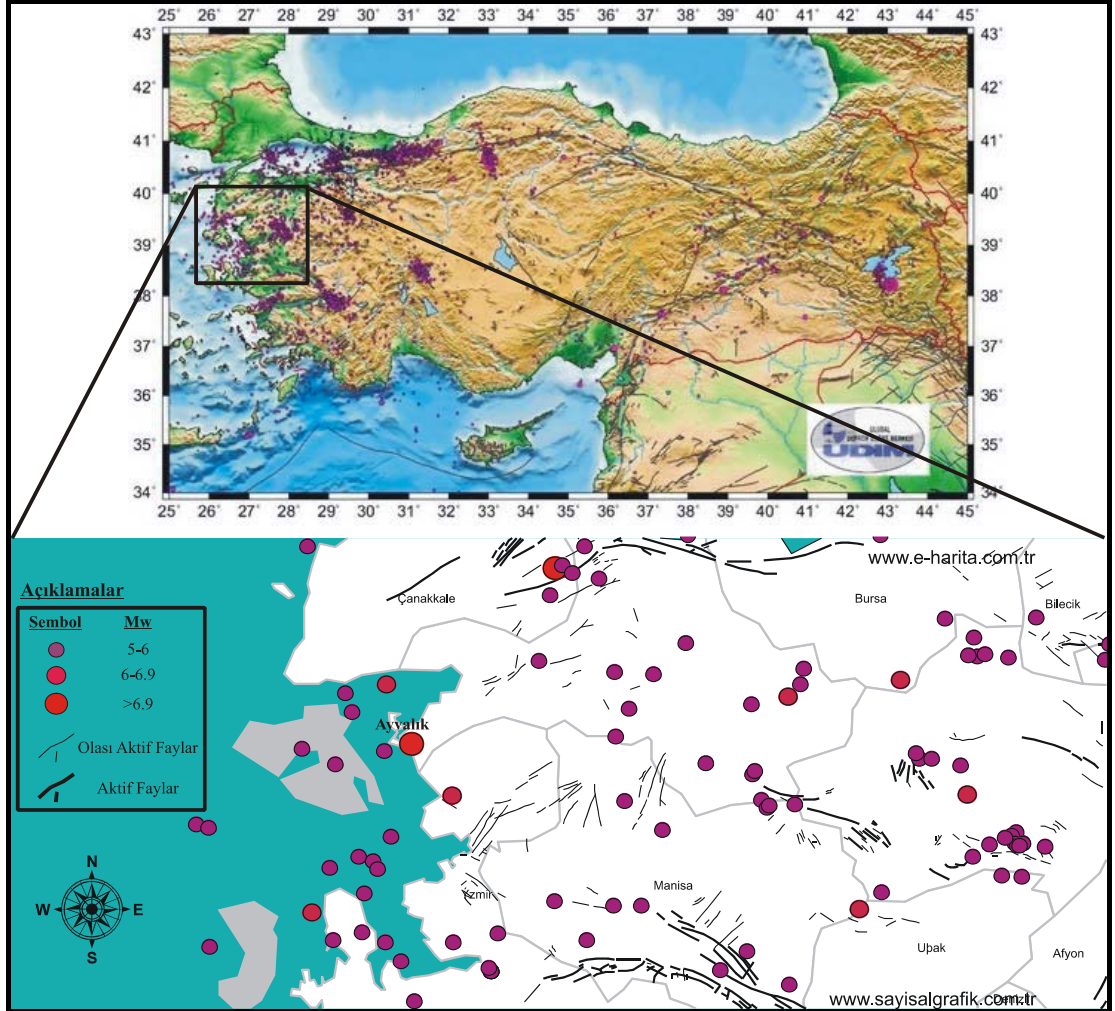
Şekil 3.23 Peltier (1950)'in morfojenetik bölgeler diyagramı ve inceleme alanının bu diyagramdaki yeri.

Yukarıdaki Şekil 3.23'e bakıldığında, inceleme alanının iklimsel olarak yağış miktarının düşük fakat sıcaklığın yıllık olarak düşükten yükseğe değişen bir aralıkta değiştiği "Savana" türü iklim biçimi ile düşük yağış miktarı ve ılıktan sığağa değişen "Yarıçöl" iklim biçimi arasında olduğu görülmektedir. Bu iklimsel durumun, bozunmayı etkileyen ve tetikleyen en önemli faktörlerden biri olduğu düşünülmektedir.

### 3.5. Depremsellik Durumu

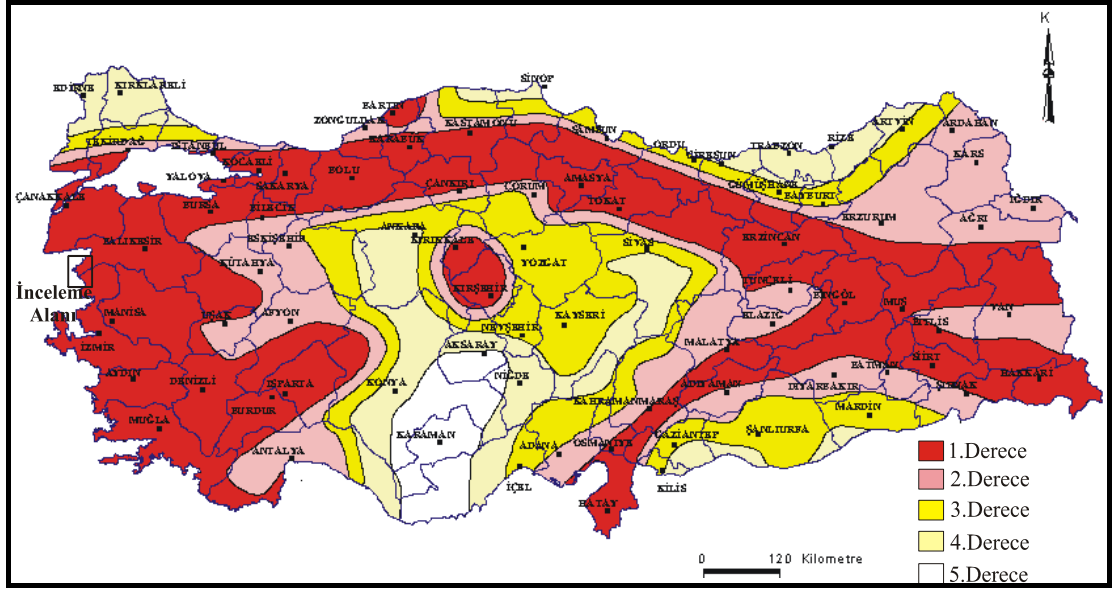
İnceleme alanı, Batı Anadolu aktif tektonik rejiminin hakim olduğu ve sismisitenin yoğun olarak gerçekleştiği bir bölgede yer almaktadır (Şekil 3.24). İnceleme alanında meydana gelen tarihsel depremlere bakıldığında, en büyük ve yıkıcı depremin, 1942 yılında, merkez üssü Ayvalık olan,  $39^{\circ}48'$  enlem ve  $26^{\circ}56'$  boylamında, 40 km odak derinlikli, büyüklüğü  $M_w = 7$  olan ve 27 kişinin ölümüne, 1158 yapının hasar görmesine neden olan Ayvalık-Edremit depremi olduğu görülmektedir (Eyidoğan vd., 1991). Batı Anadolu'nun K-G gerilme sisteminde yer alması dolayısıyla oluşan graben sistemleri içerisinde yer alan yine K-G gidişli Dikili-Ayvalık çöküntüsü, Ayvalık-Tahtacı çöküntüsü ve inceleme alanının

kuzeyinde bulunan Edremit Grabeni deprem üretebilen aktif fay sistemleri olarak yer almaktadır (Yılmaz, 2000).



Şekil 3.24 İnceleme alanı ve çevresinde 1900-2007 yılları arasında meydana gelen büyüklükleri 5 ile 7 arasında olan depremlerin lokasyonları ([www.sayisalgrafik.com-24.01.2007](http://www.sayisalgrafik.com-24.01.2007) tarihinde alınmıştır).

Bayındırlık Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri haritasında (Şekil 3.25) 1. Derece deprem bölgesinde yer alan inceleme alanında, özellikle sınılaşma riski ile karşılaşılması kuvvetle muhtemel alüvyon düzlüklerinde hızla ilerleyen yerleşim alanlarının kontrolsüz büyümesi (Şekil 3.26), meydana gelebilecek kuvvetli bir depremde ciddi kayıpların meydana gelmesine neden olabilecek boyutlardadır.



Şekil 3.25 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası ([www.bayindirlik.gov.tr](http://www.bayindirlik.gov.tr)).



Şekil 3.26 Alüvyon düzlüklerde gerçekleşen kontrolsüz yerleşim alanı gelişimi.

## BÖLÜM 4

### HİDROLOJİ VE HİDROJEOLJİ

#### 4.1 İnceleme Alanının Hidrolojisi

Bu bölümde, inceleme alanındaki hidrolojik ve hidrojeolojik gözlem ve verilerden bahsedilecektir. Erozyon ve heyelan gelişiminde suyun etkisinin tartışmasız olduğu düşünüldüğünden, inceleme alanındaki hidrolojik rejim ve yeraltı-yüzey sularının hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir. Hidrolojik özellikleri ile ilgili bilgiler, D.S.İ. tarafından inceleme alanında gerçekleştirilen ve rapor olarak derlenen verilerden yararlanılarak değerlendirilmiştir.

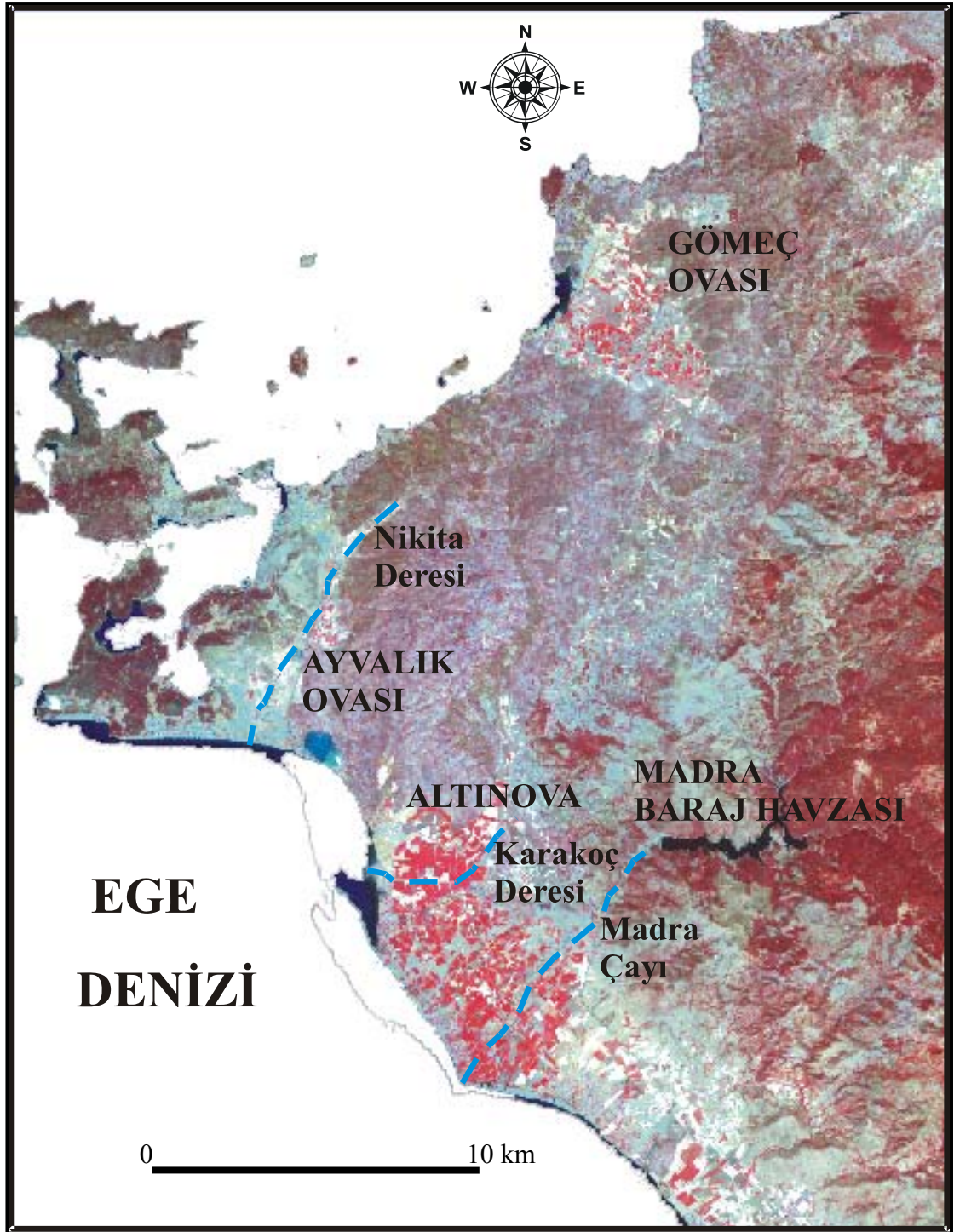
##### 4.1.1 Akarsular

İnceleme alanındaki en önemli akarsular Altınova ve Dikili ovasını arasında sınır olan Madra çayı, Altınovada Karakoç deresi ve Ayvalık ovasında bulunan Nikita deresidir. Madra çayı, Madra dağından doğmakta olup ilk çıkmış olduğu yerde Gölmen dere adını almaktadır. Gölmen dere, Hasan dere ve Değirmen dere birleşerek Kozak çayı adını alırlar ve Madra çayı olarak isimlendirilen kısmı ile Altınova'da denize ulaşır. Madra çayı ile ilgili D.S.İ tarafından 1962 yılından bu yana sürekli ölçüm yapılmaktadır (Şekil 4.1).

Karakoç deresi, Kozaklı çiftliği mevkiinden doğmakta olup birkaç küçük yan dere ile birlikte denize ulaşmaktadır. Drenaj alanı 65.8 km<sup>2</sup> olan Karakoç deresine ait akım ölçümleri bulunmamaktadır.

Nikita veya bir diğer ismiyle Karaağaç deresi, Keremköy mevkiinde Mayatepe civarında doğmaktadır. Mevsimlik olarak yan derelerle beslenip, Ayvalık ovasından geçerek Ege denizine dökülmekte olan dere, yılın büyük bir kısmında kurudur.





Şekil 4.1 İnceleme alanındaki başlıca hidrolojik unsurların ASTER 3A0 uydu görüntüsü üzerindeki görünüşleri ve yerleri

#### 4.1.2 Kaynaklar

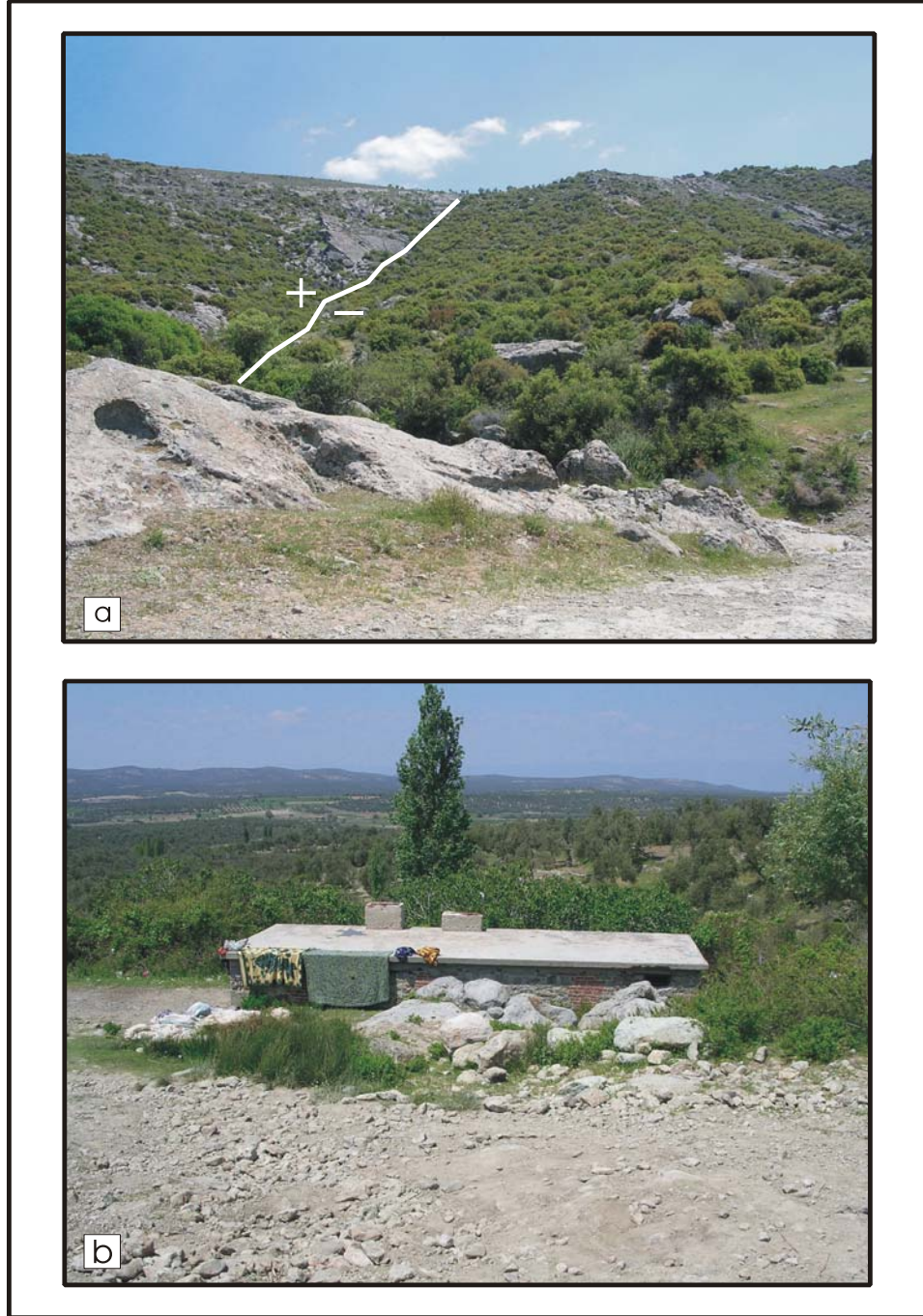
Çalışma alanında önemli bir kaynak bulunmamakla birlikte, 1-2 lt/sn debilik küçük kaynaklar mevcut olup bu kaynaklar yöredeki köyler tarafından içme suyu olarak kullanılmaktadır.

İnceleme alanı sınırları içinde kaplıca olarak 2 adet termal kaynak bulunmaktadır. Bunlardan birinci termal kaynak, Nebiler köyü kaplıcasıdır. Köyün güneyinden normal bir faya bağlı olarak yüzeyleyen kaynak 5 lt/sn debiye ve 50 °C sıcaklığa sahiptir. Günümüzde sadece yöre halkı tarafından kullanılmaktadır (Şekil 4.2).

İkinci termal kaynak ise Türközü köyünde bulunan ılıca olup, köyün hemen güneyinden andezitlerin içinden süreksizlik sistemine bağlı olarak çıkmaktadır. Debisi 2 lt/sn civarında olup, sıcaklığı 35 °C'dir (DSİ, 1990). Bu ılıca turistik amaçlı işletilen bir kaynak olmayıp, yöre halkı tarafından kullanılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Nebiler Köyü yakınlarından çıkan termal kaynak.

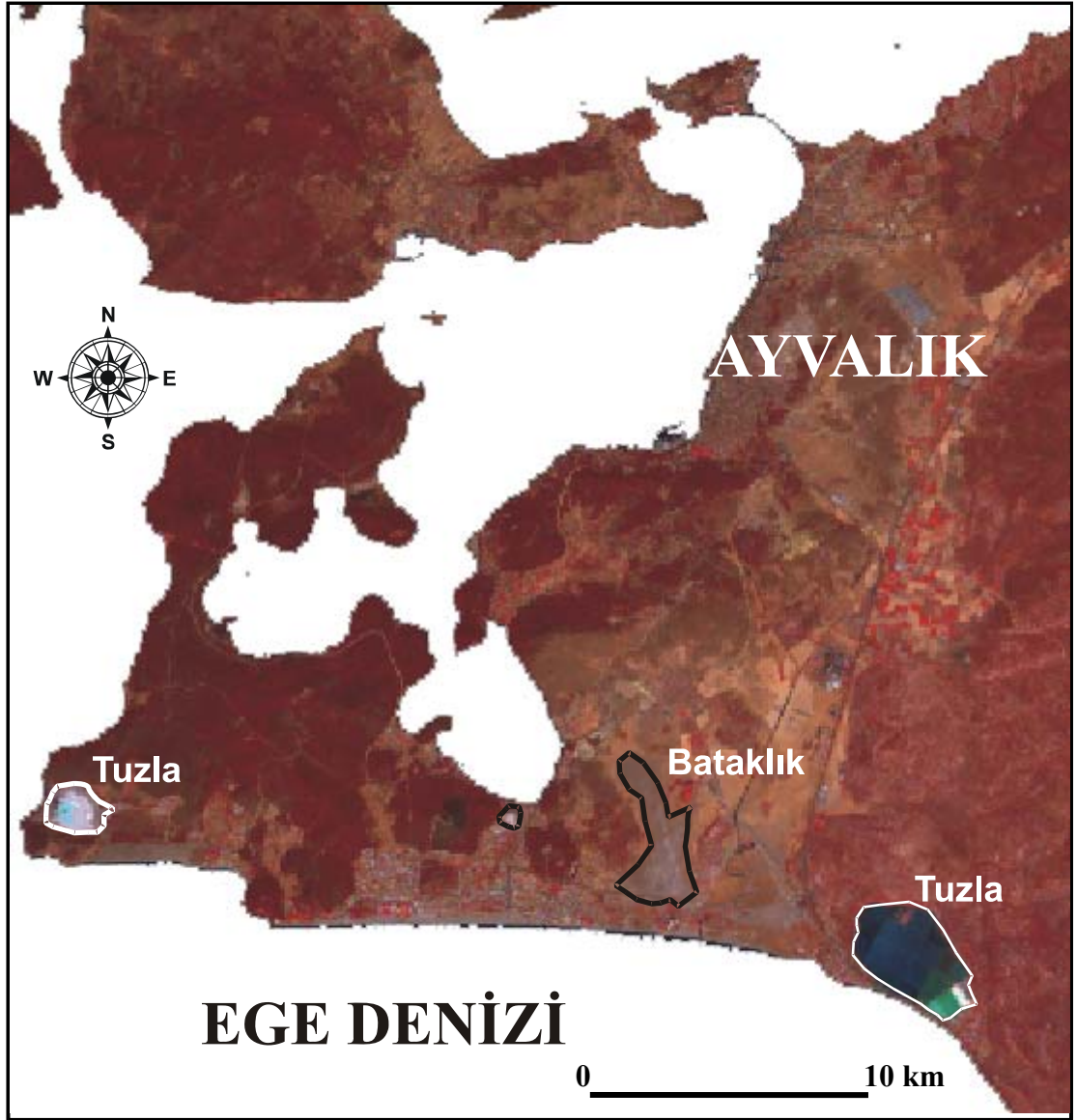


Şekil 4.3 Türközü köyünden çıkan termal kaynak: a) Kaynağın bağlı olduğu normal fay sistemi, b) Termal kayanağın çıkış noktası.

#### 4.1.3 Göller ve Bataklıklar

İnceleme alanı içerisinde küçük gölcükler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en önemlisi halen Tekel tarafından tuzla olarak işletilen ve göçmen kuşlar için barınak teşkil eden tuz gölüdür. Bunun yanısıra, benzer olarak Sarımsaklı'nın batısında

küçük bir tuz gölü daha bulunmakta olup bu göl yaz aylarında genellikle kurumaktadır. Yine Ayvalık civarında, yaz aylarında kuru olan, birkaç bataklık da yer almaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 İnceleme alanında yer alan tuzla ve bataklıklar.

#### 4.1.4 Sığ ve Sondaj Kuyuları

İnceleme alanı içerisinde yöre halkı tarafından açılmış olan çok sayıda sığ su kuyusu bulunmaktadır. Bunlardan Altınova civarında 2500, Ayvalık civarında ise 300 kadar olduğu tahmin edilmektedir. Bu kuyuların derinlikleri 6 ila 30 m arasında

değişmektedir. Derin kuyuların açılması ile yüzey sularının çekilmesi dolayısıyla sığ kuyulardan su almak zorlaşmış, bundan dolayı bu kuyuların birçoğu derinleştirilmiştir. Kuyulardan çekilen suların debileri 2-4 lt/sn arasında olup, kuyulardaki statik su seviyeleri 0.5-8 m arasında değişmektedir (D.S.İ., 1990).

İnceleme alanında D.S.İ ve İller Bankası tarafından açılan çok sayıda derin su kuyusu bulunmaktadır. Ayrıca, Ayvalık, Altınova, Gömeç ve Küçükköy, belediyelerine ait yine D.S.İ ve İller Bankası tarafından bedelli olarak açılan kuyularda bulunmaktadır. D.S.İ tarafından açılan kuyuların derinliği 56 m ile 287.25 m arasında değişmekte olup, kuyuların bir kısmı Neojen birimlerinde, geri kalan büyük çoğunluğu ise alüvyonda açılmıştır. Kuyuların debileri 1-59 lt/sn, statik seviyeleri, 1.05-10.35 m, düşüm miktarı 2.17-29.13 m, özgül debi 0.05-14.1 lt/s/m ve transmissivite 138-2633 m<sup>3</sup>/gün/m arasında değişmektedir. İller Bankası tarafından açılan kuyuların tamamı alüvyonda olup kuyu derinlikleri 70-87 m, kuyu debileri 3-54 lt/sn, statik seviyeleri 1.62-8.70 m, düşüm miktarı 7.05-31.5 m, özgül debileri ise 0.09-6.24 lt/sn/m arasında değişmektedir (D.S.İ, 1990).

#### **4.1.5 Akiferler**

İnceleme alanında yüzeylenen andezitler çatlaklı ve süreksizlikli olmalarına karşın su tutma ve iletme özellikleri az olması nedeniyle akifer özelliği göstermezler. Buna karşın, çatlaklarında su bulundurlar. Neojen yaşlı tortul birimlerin killi ve marnlı olmaları nedeniyle su tutmaları ve iletme özellikleri zayıftır. Bu birimlerde D.S.İ tarafından açılan kuyulardan 1-4 lt/sn debi ile su alınabilmektedir.

İnceleme alanında akifer niteliği taşıyan birim alüvyondur. Bu birimde açılan kuyulardan 3-15 lt/sn debi ile su alınabilmektedir.

#### **4.1.6 Yeraltı Suyu Beslenme ve Boşalımı**

İnceleme alanındaki Altınova, Ayvalık ve Gömeç ovaları için yeraltı suyu beslenme ve boşalım durumu ayrı ayrı hesaplanmıştır. Altınova ovasının beslenme hesabında ova alanı Madra çayına kadar olan kısım dikkate alınarak yapılmıştır.

#### 4.1.6.1 Ayvalık Ovası Beslenimi

Ayvalık ovasının yıllık yağış miktarı Ayvalık meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama 648 mm, ova alanı ise 13 km<sup>2</sup>'dir. Ovadaki kil oranının fazla olmadığı, dolayısıyla yüzeysel süzülme katsayısı 0.30 olarak kabul edilmiştir (D.S.İ., 1990). Bu değerler aşağıdaki formül (4.1)'de yerine konulduğunda Ayvalık ovası için yıllık beslenme miktarı:

$Q_1 = \text{Alan (m}^2\text{)} \times \text{Yağış miktarı (m)} \times \text{Süzülme Katsayısı}$  formülünden yararlanılarak

$$Q_1 = 13.10^6 \times 0.648 \times 0.30 = 2.527 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.1.6.2 Altınova Ovası Beslenimi

Altınova ova alanı 45.6 km<sup>2</sup>, yağış miktarı ise Altınova meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama 574.6 mm olarak alınmıştır. Süzülme oranı değeri, D.S.İ tarafından Altınovada açılan bir araştırma kuyusundan 1969-1980 yılları arasında ölçülen yeraltı su seviyelerinden yararlanılarak hesaplanan 0.515 olarak alınmıştır. Buna göre Altınova için beslenme miktarı yukarıda verilen eşitlik 4.1 kullanılarak  $13.49 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.6.3 Ayvalık Ovasının Yeraltı Su Boşalımı

Ayvalık ovasında yeraltı suyunun boşalımı, suni boşalım ve buharlaşma-terleme ile olmaktadır. D.S.İ tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Ayvalık ovasından denize yeraltı suyu boşalımı olmadığı, buna karşın denizden ovaya doğru tuzlu su girişi olduğu belirlenmiştir.

Ayvalık ovası için suni boşalımın belirlenmesi amacıyla ovada yöre halkı tarafından açılan yaklaşık 300 kuyudan su çekimi dikkate alınmıştır. Bu kuyuların günde 12 saatten yılda 90 gün çalıştığı ve 1 lt/sn su çektikleri kabul edildiğinde sunu boşalım yılda  $1.16 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olarak tahmin edilmiştir. Buharlaşma-terleme ile boşalım dikkate alındığında, 13 km<sup>2</sup>'lik ovanın her yerinde buharlaşma-terleme olduğu kabul

edilmiş, eksik su 605.9 mm ve buharlaşma-terleme oranı 0.50 alınmış, aşağıdaki eşitlik 4.2 uyarınca buharlaşma- terleme miktarı  $3.93 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olarak tesbit edilmiştir.

$$\text{Buharlaşma-terleme} = \text{Alan} \times \text{Eksik Su} \times 0.50 \quad (4.2)$$

Ovadaki toplam boşalım, suni boşalım ve buharlaşma-terleme ile boşalımın toplamı olduğundan  $5.09 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olarak tespit edilmiştir.

#### 4.1.6.4 Altınova Ovasının Yeraltı Su Boşalımı

Altınova ovasında boşalımın suni boşalım, buharlaşma-terleme ve denize boşalım yoluyla olduğu belirlenmiştir (D.S.İ., 1990).

Altınovada suni boşalımın nedeni yöre halkı tarafından yeraltı suyunun içme ve sulama amaçlı olarak çekilmesi olarak belirlenmiştir. Altınova belediyesine göre ovadaki yeraltısuyunun içme amaçlı kullanımı  $5.98 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ , sulama amaçlı olarak kullanımı ise  $10.02 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ 'dır (D.S.İ, 1990). Buna göre Altınovadaki suni boşalım, içme suyu ve sulama suyu amaçlı pompaj toplamı olduğu düşünüldüğünde bu miktarın  $16 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olduğu belirlenmektedir. Yine D.S.İ verilerine göre ovadın denize boşalım, 1-2 m eş yeraltı su seviyesi alınarak Darcy yasasına göre şu şekilde hesaplanmıştır:

$$Q = T \times I \times G \quad (4.3)$$

Burada;

Q = Denize yeraltı suyu akış miktarı ( $\text{m}^3/\text{gün}$ )

T = Akiferin iletkenlik katsayısı ( $\text{m}^3/\text{gün}/\text{m}$ )

I = Hidrolik eğim

G = 1 m eş su seviye eğrisi boyunca akım kesit uzunluğu (m)

Ortalama iletkenlik katsayısı (transmisibilite) değeri 1505 m<sup>3</sup>/gün/m, ortalama hidrolik eğim 1/750 ve 1 m eş su seviye eğrisi uzunluğu ise 5450 m olarak alındığında (D.S.İ., 1990) Q değeri 3.99 hm<sup>3</sup>/yıl olarak bulunmaktadır.

Altınova'da yeraltı su seviyesi 0-2 m arasında olduğu alanlarda buharlaşma-terleme ile kayıplar meydana gelmektedir. Hesaplanan buharlaşma-terleme alanı 11 km<sup>2</sup>, su bilançosundaki eksik su miktarı 5240,7 mm ve buharlaşma-terleme oranı 0.60 olarak alınmış ve eşitlik 4.2 kullanılarak buharlaşma-terleme oranı 3.45 hm<sup>3</sup>/yıl olarak tespit edilmiştir. Toplam boşalım ise suni boşalım, denize boşalım ve buharlaşma-terleme'nin toplamı olarak 23,44 hm<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.6.5 Gömeç (Armutova) Ovasının Beslenim ve Boşalımı

Gömeç ovasının beslenimi Ayvalık ve Altınova gibi benzer şekilde yağış ve yüzeysel akış ile gerçekleşmektedir. Yağıştan süzülme ile beslenme miktarı yıllık ortalama 3,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, yüzeysel akıştan beslenim ise yine yıllık ortalama 3,0 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (D.S.İ., 1977). Toplam beslenim ise yıllık 6,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

Gömeç ovasının boşalımı ise denize akış, suni çekim ve buharlaşma-terleme yolu ile gerçekleşmektedir. Buharlaşma-terleme, ovanın kuzeybatı kısmında deniz kenarındaki göl sahası ile su seviyesinin yüzeye yakın olduğu kısımlarda gerçekleşmektedir. Kuyularla suni çekim ile ovada yılda ortalama 3,0 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, buharlaşma-terleme ile 3,0 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, ve denize boşalım ile 0,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> boşalım olduğu hesaplanmıştır (D.S.İ., 1977). Bu verilere dayanarak toplam boşalım yıllık 6,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir.

## 4.2 İnceleme Alanındaki Suların Hidrojeokimyası

İnceleme alanındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi amacıyla 10 noktadan örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılırken, çalışma alanı içinde yer alan birimleri temsil edecek biçimde örnekleme yapılması hedeflenmiştir.



Örnek alınan noktalar aşağıda Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu örnek noktalarına ilave olarak 9 örnek noktasına ait kimyasal analiz verileri de D.S.İ tarafından yapılan çalışmalardan alınmıştır. Söz konusu örnek noktalarına ait veriler, IDRISI Kilimanjaro yazılımında nokta veri olarak sayısallaştırılmış ve her bir örnek noktasına ait veriler için bir veri tabanı oluşturulmuştur (Tablo 4.1).

Çalışma alanındaki sular Neojen sedimenter kayalarda nötral özellik sunarken mağmatik kayalarda hafif alkalın-alkalin özellik sunmaktadır. Bölgedeki suların elektriksel iletkenlik (EC) ve iyon dağılımlarına bakılacak olursa; kıyıya yakın kesimlerde EC değerlerinin iç kesimlere göre daha yüksek olduğu, kıyı kesimlerde tuzlanmanın etkisinde kaldığı görülecektir. Bu çalışma kapsamında alınan örneklerde  $\text{Na}^+$  miktarı 19.4 mg/l (Bazalt) ile 347.4 mg/l (Neojen marn-kireçtaşı);  $\text{Ca}^{++}$  miktarı 3.6 mg/l (andezit) ile 126.8 mg/l (Neojen marn-kireçtaşı);  $\text{Cl}^-$  miktarı 13.2 mg/l (Bazalt) ile 68.6 mg/l (Neojen marn-kireçtaşı) ve  $\text{HCO}_3^{-2}$  miktarı ise 63.4 mg/l (Bazalt) ile 666 mg/l (Neojen marn-kireçtaşı) arasında değerler sunmaktadır (Tablo 4.1). Sulardaki iyonların ve bazı fiziksel özelliklerinin birbirleri ile ilişkilerini saptamak için korelasyon matrisi yapılmıştır (Tablo 4.2). Ca ve Mg arasındaki yüksek pozitif ilişki ( $r^2=0.857$ ), akifer kayaların karbonatlardan oluştuğunu gösterir. Ayrıca  $\text{SO}_4^-$  in Ca ( $r^2=0.764$ ) ve Mg ( $r^2=0.927$ ) ile olan pozitif iyi ilişkisi akifer kayanın evaporitlerin (jibs+anhidrit) ürünü olduğunu göstermektedir.

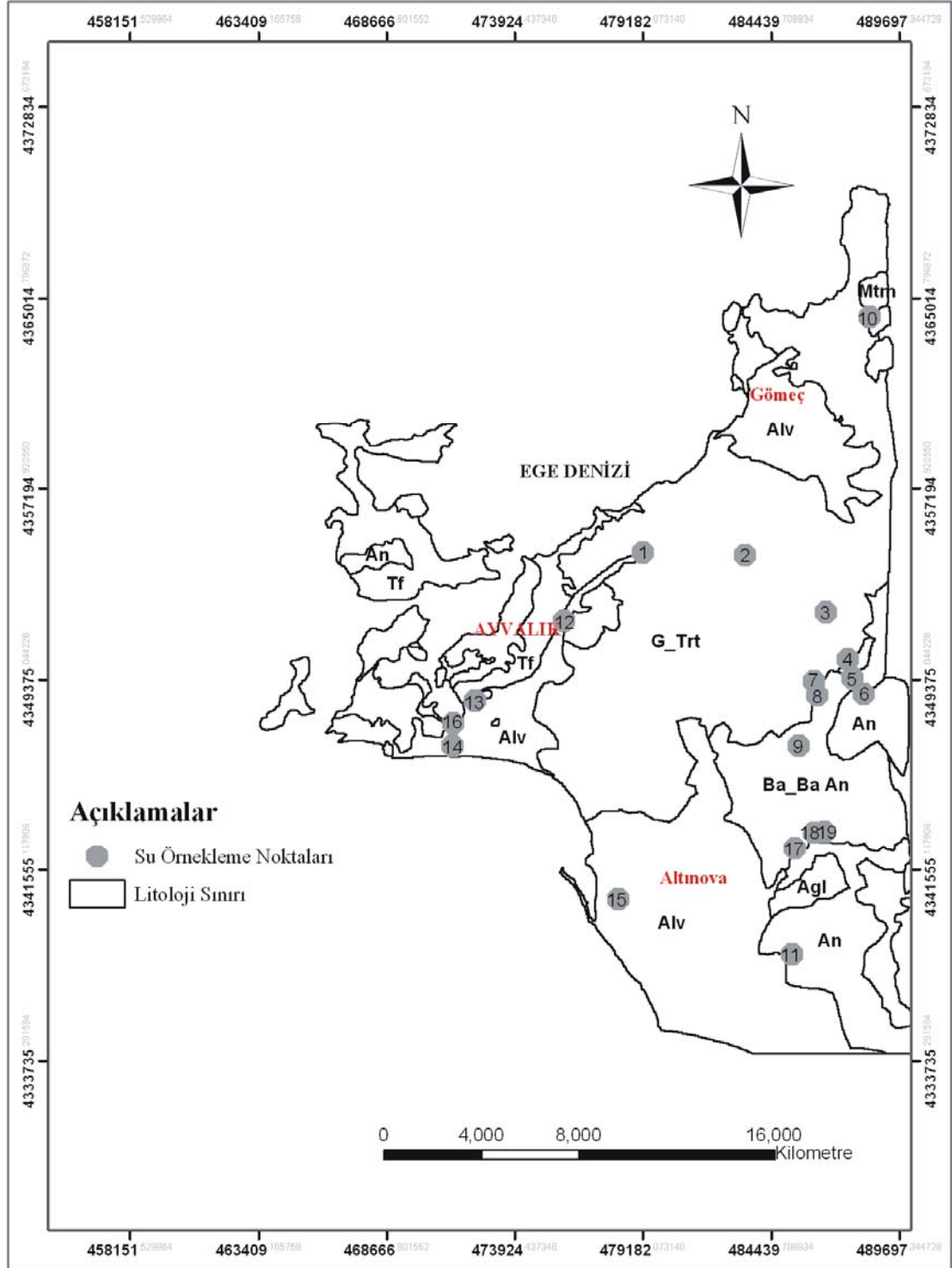
Alınan su örneklerinden marn-kireçtaşı birimlerinden çıkan suların kalsit’ e doygun; analiz edilen diğer tüm su örneklerinin ise kuvarsa doygun oldukları belirlenmiştir.

Tablo 4.1’deki veriler kullanılarak alınan örneklere ait Schoeller, Piper ve Durov diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 4.6).

Şekil 4.6 (a) da verilen Piper diyagramına göre neojen sedimenter kayalardan alınan 1 ve 4, andezitten alınan 8 numaralı örnek “Karbonat alkaliniteleri %50’den fazla olan sular”, bazalttan alınan 9 numaralı örnek “Karışık Sular”, neojen sedimenter kayalardan alınan 2 numaralı örnek “Karbonat Olmayan Sertliği %50 den

fazla olan sular, diğer örnekler ise “Karbonat Sertliği %50 den fazla olan sular” bölgelerine düşmektedirler.

Schoeller yarı-logaritmik diyagramında benzer kökenli sular benzer pikler sunmaktadır (Şekil 4.6 b). Durov diyagramında da 1, 4 ve 8 numaralı sular; 3 ve 6 numaralı sular; 2, 5, 7, 9 ve 10 numaralı sular kendi içlerinde kümeleşme göstermektedirler (Şekil 4.6 c). Scholler yarı-logaritik diyagramı ile Durov diyagramı benzer sonuç vermiştir. Bu durum, her bir kümenin aynı beslenme alanından beslendiğini göstermektedir.



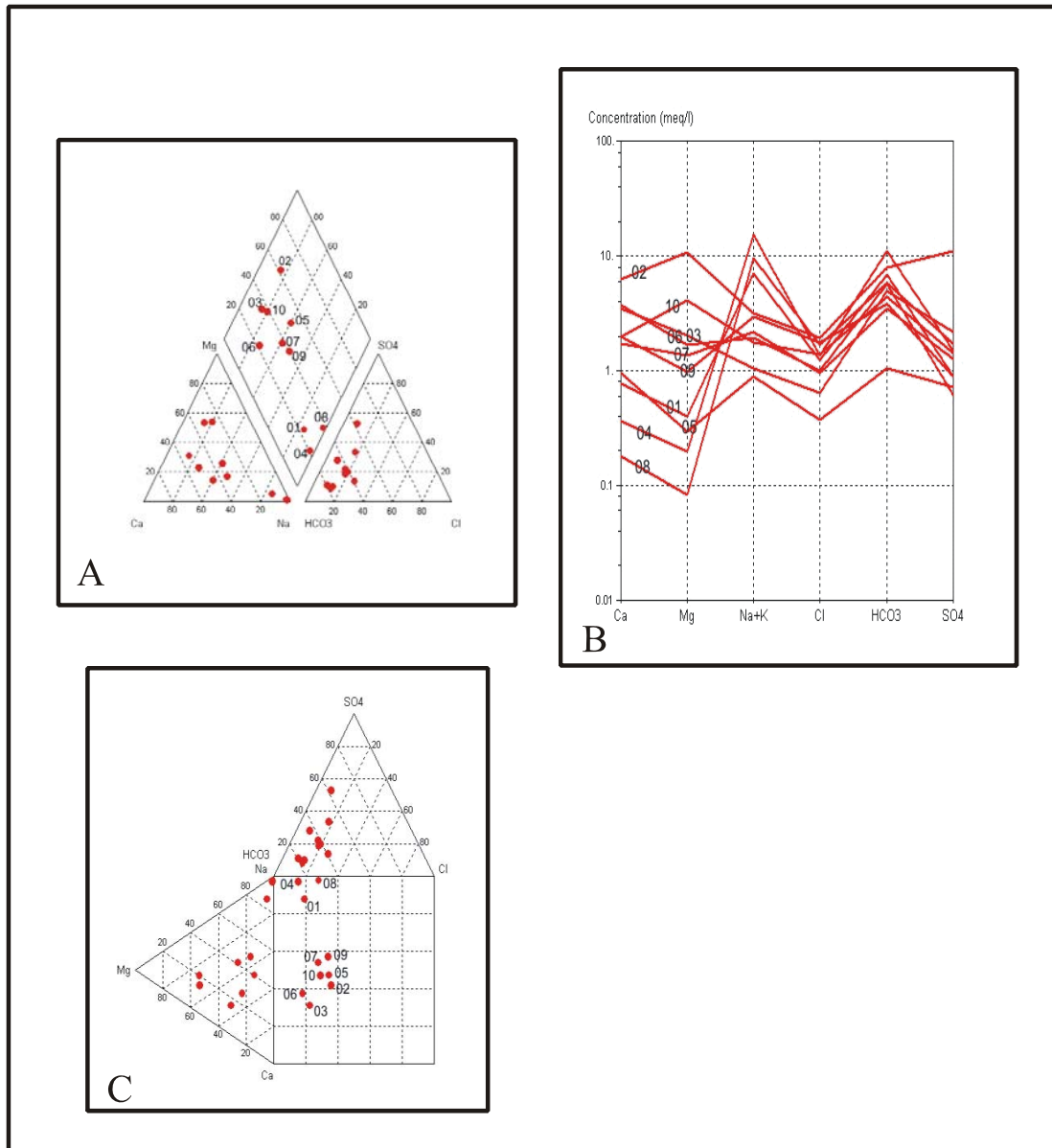
Şekil 4.5 Su örneklerinin alınmış olduğu örnekleme noktaları haritası. (Alv: Alüvyon, An: Andezit, Ba\_Ba An: Bazalt-Bazaltik Andezit, Tf: Tüf, G\_Trt: Gösel Tortul, Mtm: Metamorfik Birim, Agl: Aglomera)

Tablo 4.1 Alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (1’den 10’a kadar olan analizler bu çalışma kapsamında yapılmış olup 11’den 19’a kadar ki sonuçlar D.S.İ’nin 1977 de yapmış olduğu analizlerden alınmıştır) (Sic: Kalsite Doygunluk, Slq: Kuvars’a doyunluk)

Örnek	pH	EC	Derinlik (m)	Formasyon	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	Sic	Slq	Su Tipleri
1	7.4	776	80	Marn-Kçt	156.7	6.3	15.6	4.9	44.2	417.2	42.8	-	-0.34	0.73	Na-HCO <sub>3</sub>
2	7.14	1686	10	Marn-Kçt	68.6	7.9	126.8	130.0	68.6	480.7	525.5	-	0.11	0.68	Mg-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
3	7.11	602	kaynak	Marn-Kçt	23.3	1.2	70.4	4.8	22.6	302.6	104.5	-	-0.21	0.59	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
4	7.96	1495	kaynak	Marn-Kçt	347.4	2.9	7.2	2.4	47.9	666.1	72.0	33.6	0.08	0.45	Na-HCO <sub>3</sub>
5	6.48	233	kaynak	Bazalt	19.4	1.7	19.2	3.6	13.2	63.4	34.2	-	-1.96	1.02	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
6	7.3	637	kaynak	Andezit	43.8	1.0	74.4	20.4	35.7	351.4	29.2	-	0.14	1.12	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
7	7.13	516	kaynak	Marn-Kçt	49.6	1.4	34.8	16.5	33.8	214.7	60.1	-	-0.47		Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
8	8.26	949	kaynak	Andezit	219.6	1.8	3.6	1.0	60.2	353.8	82.7	31.2	-0.04	0.4	Na-HCO <sub>3</sub>
9	7	571	kaynak	Bazalt	62.5	3.6	37.6	11.9	62.0	241.6	42.4	-	-0.54	0.81	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
10	7.34	715	kaynak	Metamorfik	38.4	8.3	40.0	50.3	48.9	268.4	68.7	-	-0.24	0.13	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
11	8.00	900	-	Andezit	63.25	88.85	-	-	53.25	273.28	105.98	-			
12	7.6	1300	-	Alüvyon	69	3.12	-	-	184.6	402.6	90.28	-			
13	7.3	1600	-	Alüvyon	146.05	8.19	-	-	362.1	240.34	106.60	-			
14	8.0	1000	-	Alüvyon	116.15	14.43	-	-	142	180.56	110.4	-			
15	7.2	320	-	Alüvyon	18.4	1.95	-	-	22.72	135.42	57.12	-			
16	7.1	3628	-	Alüvyon	223.1	81.51	-	-	1182.15	165.92	44.16	-			
17	8.41	330	-	Bazalt	20.4	1.56	-	-	6603	227.53	542.4	-			
18	8.47	342	-	Bazalt	25.99	1.95	-	-	20.945	183.61	19.2	-			
19	8.43	342	-	Bazalt	25.76	1.98	-	-	13.135	130.54	20.16	-			

Tablo 4.2. Çalışma alanındaki sulara ait korelasyon matrisi

	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{-2}$	pH	T	EC	$\text{HCO}_3^{-2}$	$\text{SiO}_2$
$\text{Na}^+$	1.000	-0.519	-0.309	0.371	-0.075	0.806	0.868	0.596	<b>0.770</b>	-0.308
$\text{Ca}^{++}$		1.000	<b>0.857</b>	0.195	<b>0.764</b>	-0.36	-0.561	0.328	0.088	0.091
$\text{Mg}^{++}$			1.000	0.446	<b>0.927</b>	-0.188	-0.416	0.568	0.209	-0.263
$\text{Cl}^-$				1.000	0.498	0.508	0.471	0.677	0.508	-0.360
$\text{SO}_4^{-2}$					1.000	-0.051	-0.247	0.714	0.349	-0.279
pH						1.000	0.837	0.534	0.679	-0.390
T							1.000	0.090	0.179	-0.107
EC								1.000	0.876	-0.443
$\text{HCO}_3^{-2}$									1.000	-0.340
$\text{SiO}_2$										1.000



Şekil 4.6 İnceleme alanından alınan su örnekleri kullanılarak elde edilen A) Piper, B) Schoeller ve C) Durov diyagramları.

## BÖLÜM 5

### BOZUNMANIN YÖRE KAYALARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

#### 5.1 Bozunma Tanımı, Türleri ve Süreçleri

Bozunma, alterasyon kavramları çoğu zaman eş anlamda kullanılır ve genel anlamda mineral ve kayalarda sonradan oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri ifade etmektedir (Gary vd., 1972). Araştırmacıların bir kısmı alterasyon deyiminin bozunmayı, hidrotermal bozunmayı ve diyajenezi kapsadığını belirtmektedir (Caroll, 1970; Valeton, 1970).

Mineral ve kayalar oluştukları çevre koşulları değişmediği sürece duraylıdır. Çevre koşulları kaya ve minerallerin oluştuğu zamana özgüdür ve jeolojik süreçte büyük değişiklikler gösterirler. Bozunma, mineral ve kayaların değişen bu çevre koşullarına uymak için geçirdikleri dönüşümlerdir. Başka bir deyişle, litosfer içinde denge halinde olan maddelerin atmosfer, hidrosfer ve biyosferde etken olan koşullara uymalarıdır (Reiche, 1950; Fookes vd., 1971).

Literatürde, bozunma terimi değişik şekillerde tanımlanmıştır. Tanımlamanın çokluğu ve farklılığı jeologlar, jeokimyacılar, jeomorfologlar, jeoteknikçiler, toprak bilimciler veya diğer bilim alanındaki araştırmacıların bozunmaya kendi disiplinleri açısından bakmaları sonucudur (Ceryan, 1998).

Doğal süreçlerde gelişen bozunma, zamansal ölçek dikkate alındığında; a) Jeolojik süreçte bozunma, b) Mühendislik zamanda bozunma şeklinde iki başlık altında toplanabilir. Kayaların oluşumundan günümüze kadarki jeolojik süreçte geçirdikleri tüm değişiklikleri ifade eden jeolojik süreçteki bozunma için literatürde değişik tanımlamalar bulunmaktadır.

Selby (1993) ve Anon (1995), bozunmayı yer yüzeyinde veya yakın derinliklerdeki toprak veya kaya malzemesinin kimyasal, fiziksel ve biyolojik

süreçlerle bozunması şeklinde tanımlanmaktadır. Dearman (1974), bozunmayı yeryüzüne yakın veya atmosferik etkilere açık, yüzeylemiş, toprak ve kaya materyalinin bir grup tahrip edici olaylarla renk, doku, şekil ve bileşim değişimi şeklinde tanımlanmaktadır. Olier (1991) bozunmayı, yüzeylemiş ve yeryüzüne yakın kayaların esas olarak su ve hava ile reaksiyonu sonucu kil, demir-oksit ve diğer bozunma ürünlerini verecek şekilde alterasyonu ve bozunması şeklinde tanımlamaktadır.

Bu genel tanımlamalar, jeolojik zamandaki bozunmayı tanımlarken, Fookes (1991), insan eylemleri, hidrosfer ve atmosfer etkisi altındaki yapı malzemesinin mühendislik zaman ölçeğinde doğal olarak parçalanması ve bozunması olarak ele alarak mühendislik zaman ölçeğinde bozunma kavramını vurgulamaktadır. Kayanın oluşumundan bugüne kadarki jeolojik süreçte geçirdiği değişiklikler; a) yüzeysel etkilerle (atmosfer, hidrosfer, ve biyosferdeki olaylar) oluşan yüzeysel bozunma, b) hidrotermal alterasyon başlığı altında toplanabilir.

Hidrotermal alterasyon, yeryüzünden derinlere sızan ve ısınan suların veya magmatik kökenli su ve gazların etkisi ile mineral ve kayalardaki bozunmadır. Hidrotermal bozunma derinden yüzeye doğru gelişirken, yüzeysel bozunma yüzeyden derinlere doğru gelişmektedir (İrfan, 1981). Yüzeysel bozunma, yeryüzüne yakın derinlikte veya atmosferik etkilere açık olarak yüzeylemiş toprak ve kaya malzemesi ve kütlesindeki yüzeysel etkilerle (atmosfer, hidrosfer ve biyosferdeki olaylar) oluşan, geriye dönüşümsüz, karakter (renk, şekil, doku, yapı, dağılım ve bileşim) değişimidir. Bu çalışmada kullanılan bozunma terimi, jeolojik süreçteki yüzeysel bozunma anlamında kullanılacaktır.

Yüzeysel bozunma iki aşamalı olarak düşünülebilir; a) Jeokimyasal bozunma, b) Toprak oluşumu (Caroll, 1970).

Kayanın jeokimyasal bozunması temelde inorganiktir ve toprak oluşumu için gerekli malzemeyi oluşturur. Toprak oluşum aşamasında organik maddelerin rolü büyüktür (Caroll, 1970). Jeokimyasal bozunmada sağlam kaya önce bozunmuş



kayaya, daha sonra da saprolite dönüşür. Saprolit, kaya dokusunun korunduğu, oluşumunda hacimsel değişikliğin yok veya çok az miktarda olduğu, değişik oranda kaya ve toprak içeren malzemedir. Saprolit genel olarak yüksek derecede ve tamamen bozunmuş kaya materyalinden oluşmaktadır. Kalıntı toprak ve bitkisel toprakların oluşumu, jeokimyasal bozunma sürecinden sonra, organik maddelerin önemli olduğu toprak oluşum aşamasıyla ilgilidir.

Bozunmuş kaya ve saprolitler, değişik disiplinlerin (değişik amaçlı ve değişik ayrıntıda) araştırmalara konu olabilmektedir. Örneğin, jeokimyacılar, mineraloglar, mineralojik ve kimyasal değişimleri sonuçlayan süreçleri, kaya-su etkileşimini, minerallerin değişik ortamlarda çözünmesini deneysel olarak incelemektedir. Çalışılan ölçek kristal yapısından, doğadaki kaya yüzeylemelerine değişmektedir (Hochella ve Banfield, 1995). Price (1995), bozunmayı jeoteknik uygulamalar açısından tanımlamıştır. Buna göre bozunma, toprak, kaya malzeme ve kütlelerinin doğal ve yapay olarak yüzeylendikleri jeomorfolojik ve mühendislik ortamdaki geri dönüşümsüz değişimlerdir. Jeoteknik uygulamalar açısından, bozunma sonucu oluşan kaya malzemesi ve kütlelerinin indeks, dayanım, deformasyon ve elastik özelliklerinin değişiminin ölçülmesi önemlidir.

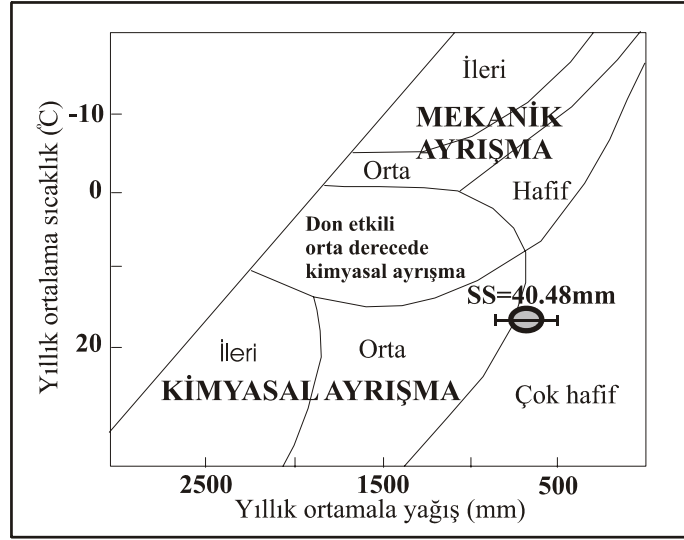
Bozunma süreçlerindeki işlemler, fiziksel bozunma ve kimyasal bozunma başlıkları altında toplanabilir. Biyolojik olaylara bağlı gelişen değişim sonuçları dikkate alınarak fiziksel ve kimyasal bozunmaya dahil edilebilirler. Doğada genellikle her iki bozunma türü aynı anda etkilidir. Fakat, genelde biri diğerine oranla daha baskınlık gösterir (Ceryan, 1998). Ayvalık yöresi kayalarında jeolojik süreçte gelişen yüzeysel bozunma ve hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kimyasal, mineralojik, ve doku değişiklikleri arazi gözlemleri, el örneklerinin makroskopik incelemeleri, ve basit laboratuvar deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

## **5.2 Ayvalık Yöresi Kayalarının Bozunma, Erozyon ve İklimsel Veri İlişkisi**

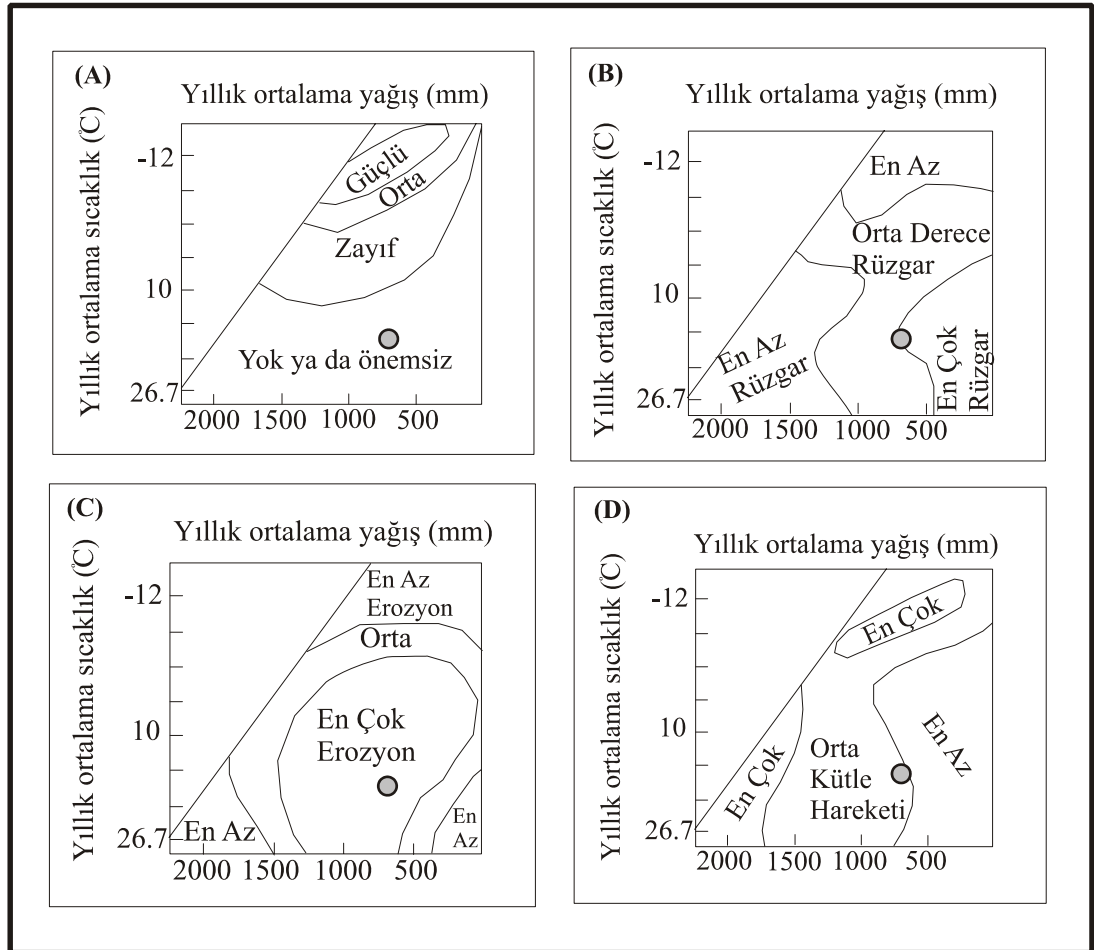
Peltier (1950) yapmış olduğu çalışmada, bir bölgedeki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak, söz konusu bölgedeki kimyasal ve mekanik

bozunmanın derecesini, buna bağılı olarak da yağış erozyonu, rüzgar etkisi, donma etkisi ve kütle hareketi etkisi hakkında bilgi edinilebileceğini önermiştir. Önerilen bu yaklaşımlar günümüzde Amerikan Coğrafyacılar Birliği (AAG) tarafından hala kullanılmakta ve bozunma ile ilgili birçok kitapta bozunma sürecini açıklayan en iyi kaynaklardan biri olarak gösterilmektedir (Olier, 1984; Fowler ve Petersen, 2004).

Kimyasal bozunma, suyun ve yüksek sıcaklığın kimyasal reaksiyonların oluşmasına imkan tanınan yerlerde meydana gelmektedir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, inceleme alanı için söz konusu diyagramlar oluşturulmuştur (Şekil 5.1 ve 5.2 ). Burada dikkate alınan yağış değeri, Bölüm 3, Tablo 3.2’de verildiği üzere yıllık ortalama 648 mm ve sıcaklık değeri ise yine yıllık ortalama 16.7 °C’dir. Buna göre inceleme alanında çok hafif-orta derece kimyasal bozunma ve çok hafif mekanik bozunma sürecinin etkin olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.2a’da, inceleme alanında donma etkisinin hangi boyutta olduğu belirlenmiş, buna göre inceleme alanında donma etkisinin yok denecek kadar az veya önemsiz olduğu görülmüştür. Şekil 5.2b, rüzgar etkisini irdelemekte olup, inceleme alanında rüzgarın orta ve en fazla derece arasında bir etkiye sahip olduğu görülmüş, bu sonucun Şekil 1.4’de verilen Türkiye Rüzgar Haritası ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.2.c ve 5.2.d şekilleri, bu çalışmanın ana temasını vurgulamakta olması nedeniyle diğer diyagramlara göre daha büyük önemle dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir. Söz konusu iki grafik incelendiğinde, inceleme alanında en fazla erozyon ve orta derece kütle hareketi meydana gelebilirliği sonucu elde edilmektedir. Bu iki grafiğin, aslında veriye dayalı bir tahmin yaptığını, dolayısıyla söz konusu süreçlere ait bir duyarlılık tahmininde bulunduğunu söylemek de mümkündür. Dolayısıyla, inceleme alanındaki erozyon ve kütle hareketi süreçlerini, bozunma ve iklimsel niteliğin birer fonksiyonu olarak tanımlamanın da doğru olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.1 Peltier (1950) diyagramına göre inceleme alanındaki hakim bozunma türü (SS: Standart Sapma).



Şekil 5.2 Peltier (1950) diyagramlarına göre; A) donma etkisi, B) rüzgar etkisi, C) erozyon durumu ve D) kütle hareketi durumunun değerlendirilmesi.

### 5.3 Ayvalık Yöresi Kayalarının Mühendislik Amaçları İçin Tanımlanması Ve Sınıflandırılması

Jeomorfolojik amaçlı mühendislik jeolojisi çalışmalarında, kayaların tanımlanması ve amaca yönelik olarak sınıflandırılması oldukça önemlidir. Kayacın jeomorfolojik süreçte ve mühendislik zamanda gösterecek olduğu değişimler, fiziko-mekanik özelliklerine de etkiyecek, bu etki kayacın morfolojik gelişim ve değişim sürecinde de önemli katkıda bulunacaktır. Bu çalışmada, inceleme alanındaki kayalarda gözlenen yoğun alterasyon ve fiziksel bozunmanın dikkate alınması gerekliliği görülmüş, dolayısıyla kayaların bozunma durumları gerek arazide ve gerekse laboratuvar da basit ve uygulaması kolay fiziksel ve mekenik deneylerle belirlenmeye çalışılmıştır. Arazi sınıflandırmalarında, ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflandırma yöntemi dikkate alınmıştır.

ISRM (1981) sınıflandırmasına göre kayalar bozunma açısından altı sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflara göre kaya “Taze”, “Az Bozunmuş”, “Orta Derecede Bozunmuş”, “Yüksek Derecede Bozunmuş”, “Tamamen Bozunmuş” ve “Kalıntı Toprak” olarak ayırt edilmektedir. Bu sınıflandırma sisteminde kayalar sınıflandırılırken dikkate alınan tanımla ölçütleri Tablo 5. 1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 ISRM (1981) tarafından önerilen bozunma sınıflandırması ve sınıflandırmada kullanılan tanımlama ölçütleri. (\*): Direnç değişimleri, nokta yükleme deneyi veya Schmidt Çekici gibi uygun indeks deneylerle sayısal olarak ifade edilebilir.

<b>Bozunma Derecesi</b>	<b>Bozunma Sınıfı</b>	<b>Tanımlama Kriterleri</b>
I	Taze	Kayanın orjinal durumunda bir değişiklik yoktur.
II	Az Bozunmuş	Kaya yüzeyinde hafifçe renk değişimi, kaya dayanımında zayıflama(*).
III	Orta Derece Bozunmuş	Kaya dayanımında önemli ölçüde zayıflama, süreksizlik yüzeylerinde derine doğru renk değişimi
IV	Yüksek Derece Bozunmuş	Büyükçe kaya parçaları elle kırılabilir. Kuru parçalar suya daldırıldığında kolayca dağılmazlar.
V	Tamamen Bozunmuş	Kaya dayanımında önemli ölçüde zayıflama. Su içerisinde kolayca dağılma. Kayacın orjinal dokusu kısmen görülmekte.
VI	Kalıntı Toprak	Yerinde bozunma ile toprak oluşumu. Kayacın orjinal yapı ve dokusu tamamen kaybolur.

Kayaların sınıflandırılması ve tanımlanması birbiriyle ilişkili olmasına karşın, temelde amaçları farklıdır. Sınıflandırmada ilk aşama, ilgili parametre ve özelliklerin belirlenmesi ve kayacın bu parametre ve özelliklere göre tanımlanmasıdır. Kayacın tanımlanması, kayacın o andaki durumunun belirlenmesi anlamını taşır. Bozunmuş kayacın mühendislik amaçları için tanımlanması, kayacın o andaki bozunma etkilerinin derecesi, kapsamı ve özelliklerinin tüm yönleriyle belirlenmesi anlamına gelmektedir. Tanımlamada kaydedilen bilgiler, bozunmuş kayacın mühendislik özellikleri hakkında sağlıklı yaklaşımda bulunulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, tanımlamaların mümkün olduğunca sayısal yapılması önerilmektedir (Hencher ve Martin, 1982; ISRM, 1981). Bozunmuş kayaların tanımlanmaları sırasında kaydedilen bilgiler, bozunma sürecinin kayata malzeme ve kütle ölçeğinde meydana gelen değişikliklerle ilgilidir.

Kaya malzemesi, mikro-süreksizliklerin ve dane sınırlarının açılması, yeni mikro süreksizliklerin oluşması, mineral danelerinin parçalanması, çözülme nedeniyle

mineral sınırlarının bozunması, kayacı oluşturan minerallerin (danelerin) bozunarak yeni minerallerin veya bileşenlerin oluşması ve bu süreçlerin farklı şekil ve orandaki birlikte gelişimi sonucu önce dokunun korunduğu bozunmuş kaya malzemesine, daha sonra da dokunun kaybolması ile toprağa dönüşmektedir (Ceryan, 1998).

Kaya kütleindeki bozunma aşamaları ise temelde iki süreçte gelişmektedir. Birincisi, kaya kütleindeki birincil süreksizliklerin değişimi, ikincisi süreksizliklerle sınırlanmış kaya malzemesindeki bozunma, ufalanma ve renk değişimidir. Bozunmayla birlikte, süreksizliklerin devamlılığı, dolgu türü ve kalınlığı, süreksizlik yüzeyinin durumu (pürüzlülük, yüzeydeki malzemenin direnci, bozunma derinliği) değişmektedir. Ayrıca bozunma ilerledikçe, kaya kütleindeki bozunmuş veya daha zayıf malzemenin dağılımı da değişmektedir.

Kaya malzemesi ve kütleindeki teorik bozunma aşamalarının herbiri, doğal koşullarda arazide tanımlanabilir. Ayrıca, her bir bozunma derecesi, haritalanabilir kaya veya zemin tipini göstermektedir (Dearman, 1995). Haritalanabilir birim, standart terimlerle tanımlanabilir. Bozunmuş kayaların sınıflandırılması, kayaların tanımlanması ile yapılabilmektedir. Ancak çoğu zaman, bozunmaya neden olan faktörlerin tüm yönleriyle tanımlanması yapıldıktan sonra sınıflandırmanın gerekliliği üzerinde şüphe oluşmaktadır. Ayrıca, arazide standart bozunma ölçeklerinde bulunmayan özelliklere rastlanması, sınıflandırmaların kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde bulunan sınıflandırma yöntemlerinin aynı şekilde kullanılmadığı, kişiden kişiye değişen farklıklar göstermesi, bu durumun incelenen arazideki bozunma profilinin kalınlığına, kullanıcıların bilgi ve deneyimine bağlı olarak ele alındığını göstermektedir (Anon, 1995).

Ayrıca sınıflandırma, yorumlamayı, basitleştirmeyi amaçlamakta, bu da orjinal veri ve tanımlamalarda kayıpları oluşturmaktadır.

### ***5.3.1 İnceleme Alanındaki Kayaların Bozunma Derecelerinin Belirlenmesi***

İnceleme alanındaki kayaların bozunma derecelerinin belirlenmesi ve bunların haritalanması amacıyla önce arazide litolojik birimlerin kütle ölçeğine ait nitelikler göz önüne alınarak bozunma dereceleri belirlenmiştir. Kaya kütlelerinin sahip olduğu süreksizlik aralığı, süreksizlik açıklığı, süreksizlik yüzeylerindeki renk değişimi, kaya kütlelerinin göreceli dayanımı, çekirdek taşların durumu, kaya/toprak oranı, elle kazılabilirlik, jeolog cekicinin sivri ucuyla penetrasyon, kaya kütleleri üzerindeki renk değişimleri arazide bozunma derecesinin belirlenmesinde kullanılan parametreler olarak dikkate alınmıştır. Literatürde bozunma ile ilgili bir çok sınıflandırma yöntemi bulunmasına karşın bu sınıflandırmaların çoğu, granit, gnays, bazalt gibi kaya türüne bağlı olarak tanımlanan sınıflandırmalar olmuştur (Ruxton ve Berry, 1957; Knull ve Jones, 1965; Little, 1969; Dearman, Baynes ve İrfan, 1978; ISRM, 1981; Tuğrul, 1995; Ceryan, 1998). Bu sınıflandırmalardan ISRM (1981) tarafından önerilen bozunma sınıflandırması, genel bir sınıflandırma amacı taşınması ve sınıflandırmada dikkate alınan parametrelerin kolay uygulanabilir, basit, hızlı, ucuz ve pratik olması (Tarhan, 2002) nedeniyle seçilmesi uygun görülmüştür.

Söz konusu sınıflandırma yöntemi kullanılarak kayalar altı bozunma sınıfına ayrılmıştır. Bozunma sınıflandırmasıyla eş zamanlı olarak kayaların bozunma derecesi haritası da 1/25.000 ölçeğinde hazırlanmıştır. Haritalama yapılırken, arazide yüzeylenen kaya türleri içerisindeki her bir bozunma derecelenmesi dikkate alınarak haritalama yapılmıştır. Bu amaçla üretilen bozunma haritası Şekil 5.6'da verilmiştir.

#### ***5.3.1.1 Bozunma Derecelerinin Standart Olmayan Fiziksel ve Basit Mekanik Deneylerle Tariflenmesi***

Ayvalık yöresi ve yakın çevresinde yüzeylenen kayaların malzeme ölçeğinde olmak üzere, bozunma durumlarının tanımlanmasında kullanılan standart olmayan deneyler daha çok dayanım değişimi ve suda dağılabilirlik ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bozunmuş kayaların geçirimsizliğinin basit bir biçimde belirlenmesi amacıyla arazide ve laboratuvarında kolayca uygulanabilen yöntemlerden biri Lee ve

Freitas (1989) tarafından önerilen yöntemdir. Bu yöntemde, bir damlatıcıdan veya su boşalımı rahatça kontrol edilebilen bir düzeneden, el örneği üzerine birkaç damla su, yüzeyi ıslatacak biçimde damlatılır ve yarım dakika beklendikten sonra yüzeydeki suyun durumuna göre malzeme gruplandırılır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği biçimde sınıflandırılmaktadır:

1. Grup: Örnek Geçirimsiz. Suyun tamamına yakını yüzeyde kalır ( $K \approx 10^{-9}$  cm/sn)
2. Grup: Örnek Hafifçe Geçirimli. Bir miktar su örnek tarafından absorbe edilmiş, yarısından fazlası yüzeyde kalmıştır ( $K \approx 10^{-7}$ - $10^{-9}$  cm/sn)
3. Grup: Örnek Orta Derecede Geçirimli. Suyun yarısından fazlası örnek tarafından absorbe edilmiştir ( $K \approx 10^{-5}$ - $10^{-7}$  cm/sn)
4. Grup: Örnek Çok Geçirimli: Suyun çok büyük bir kısmı örnek tarafından absorbe edilmiştir. ( $> K \approx 10^{-5}$  cm/sn)

Ayvalık yöresi ve yakın çevresindeki Bozunmuş kayaların geçirimliliği yukarıda anlatılan yöntem ile basit ve hızlı bir şekilde ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir.



Tablo 5. 2 Basit geçirimlilik deney sonuçlarına göre elde edilen (%) geçirimlilik indeksi (IQat) değerleri.

Örnek No	IQat (%)	Türü	Örnek No	IQat (%)	Türü
8	9.1	Andezit	5	0.8	Dasit
10	3.8	Andezit	21	4.9	Kireçtaşı
13	2.1	Andezit	27	0.3	Kireçtaşı
26	1.2	Andezit	44	16	Kireçtaşı
29	2	Andezit	62	0.2	Kireçtaşı
31	0.8	Andezit	72	6.4	Kireçtaşı
34	1.3	Andezit	73	7.7	Kireçtaşı
40	1.1	Andezit	85	5.3	Kumtaşı
41	3.8	Andezit	45	2.2	Marn
43	0.4	Andezit	46	6	Marn
47	8.7	Andezit	61	1.8	Marn
53	5.5	Andezit	71	15	Marn
55	3.5	Andezit	23	1	Metamorfik
56	2.7	Andezit	68	6.8	Metamorfik
57	3.8	Andezit	70	3.4	Metamorfik
59	1.3	Andezit	36	0.3	Riyodasit
64	4.5	Andezit	48	3.3	Riyodasit
66	2.6	Andezit	58	4.5	Riyodasit
75	7.5	Andezit	1	11.6	Tüf
82	1.5	Andezit	2	7.6	Tüf
86	1	Andezit	3	12.3	Tüf
89	1.7	Andezit	4	8.1	Tüf
90	2.2	Andezit	6	7.8	Tüf
92	2.7	Andezit	7	10.3	Tüf
95	8	Andezit	9	4.5	Tüf
96	1.9	Andezit	11	5.3	Tüf
98	2.5	Andezit	14	8.4	Tüf
99	2.8	Andezit	15	5.2	Tüf
101	2.4	Andezit	18	0.4	Tüf
103	2.3	Andezit	25	2.6	Tüf
106	2.2	Andezit	28	2.8	Tüf
107	6.5	Andezit	30	6	Tüf
12	0.3	Bazalt	35	5.2	Tüf
19	2.4	Bazalt	37	2.7	Tüf
22	1.2	Bazalt	49	3	Tüf
33	0.8	Bazalt	63	7.6	Tüf
38	2	Bazalt	65	4	Tüf
50	1.4	Bazalt	67	7.3	Tüf
51	0.2	Bazalt	69	6.5	Tüf
52	0.2	Bazalt	78	6.6	Tüf
54	1	Bazalt	79	10.7	Tüf
74	1.5	Bazalt	80	5.8	Tüf
76	0.2	Bazalt	83	14.3	Tüf
77	0.8	Bazalt	84	5.5	Tüf

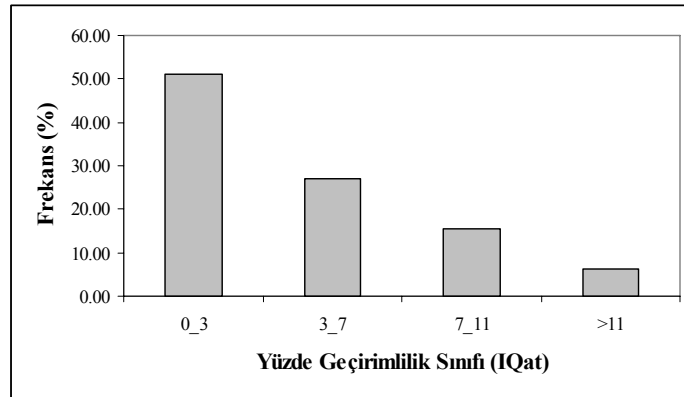
Tablo 5.2'nin devamı.

81	0.7	Bazalt
91	6	Bazalt
97	3.5	Bazalt
102	0.8	Bazalt
88	13.3	Tüf
93	9.9	Tüf
94	7.8	Tüf
100	5.5	Tüf
104	0.2	Tüf
105	1.9	Tüf

Tablo 5.2'de verilen değerler, inceleme alanındaki kaya malzemesi ile ilgili elde edilen diğer verilerinde yer aldığı ve Bölüm 6'da verilen ana veri tabanında da yer almakta olup diğer verilerle karşılaştırılması mümkündür. Buradaki IQat değerlerine göre kaya malzemesi geçirimsizliklerine göre aşağıda verilen Tablo 5.3'ye göre sınıflandırılmıştır. Buna göre basit geçirimsizlik deneyi yapılan el örneklerinin %51.04'ü 1.gruba, % 27.08' i 2. gruba, %15.63'ü 3. gruba ve yine % 6.25'i 4. gruba girdiği belirlenmiştir (Şekil 5.3).

Tablo 5.3 % IQat değerine karşılık gelen geçirimsizlik grubu.

IQat (%)	Geçirimsizlik Grubu
0-3	1
3-7	2
7-11	3
>11	4



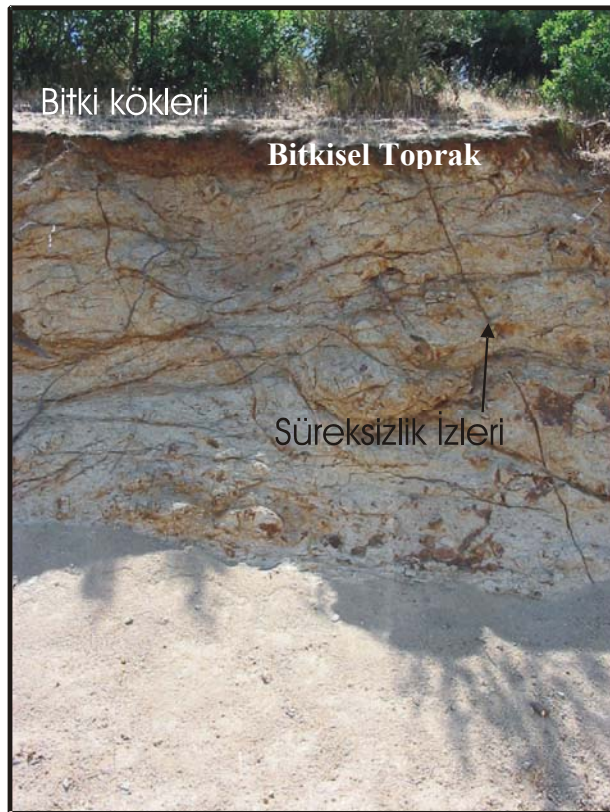
Şekil 5.3 Çabuk su emme deney sonuçlarına göre geçirimsizlik sınıflarının frekans dağılımları.

## 5.4 İnceleme Alanındaki Kayaların Genel Bozunma Özellikleri

İnceleme alanı içerisinde yer alan kaya gruplarının arazideki gözlemler sonucunda elde edilen karakteristik özellikleri ve göstermiş oldukları bozunma şekilleri aşağıda anlatılmış ve ilgili kaya grupları için araziden elde edilen bozunma özellikleri ilgili şekillerde sunulmuştur.

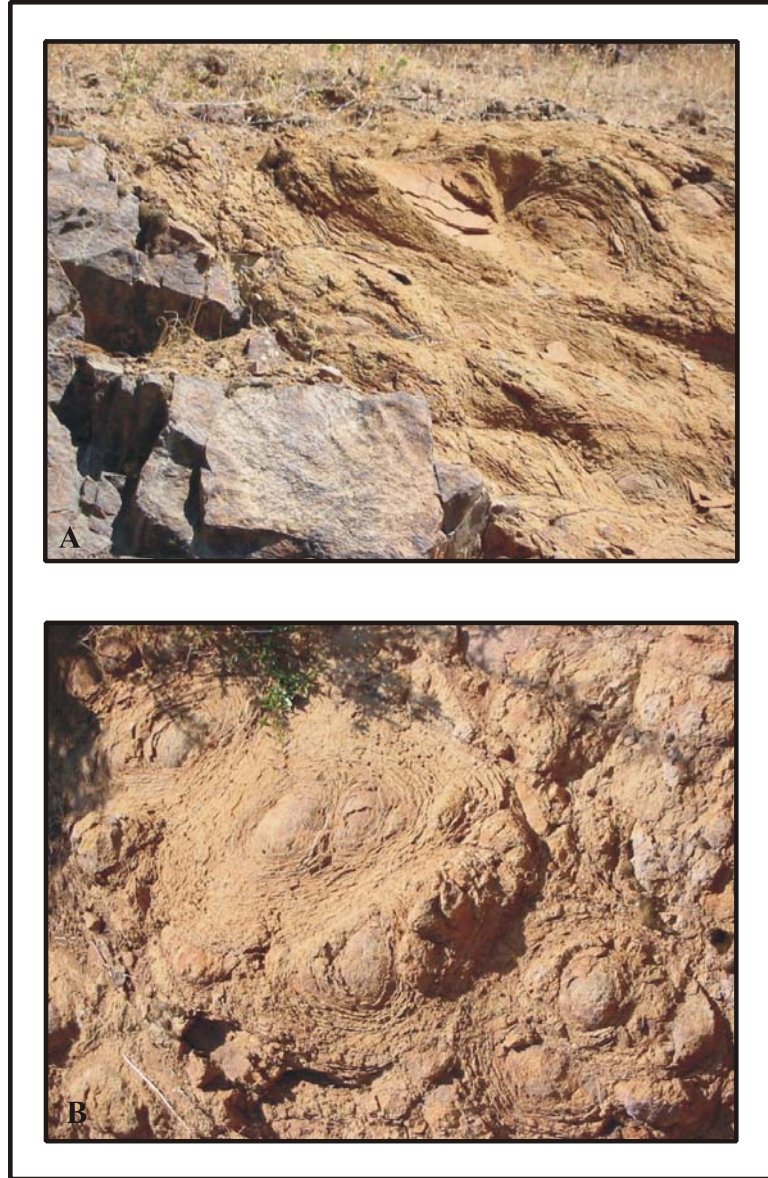
### 5.4.1 Volkanik Birimlerde Bozunma

İnceleme alanında yer alan andezit, bazaltik andezit, bazalt ve bunlara ait piroklastik birimlerde gözlenen bozunma şekilleri arazide incelenmiştir. Bu birimlerdeki bozunma özelliklerin bakıldığında, andezit, bazaltik andezit ve andezitik tuf birimlerinde kimyasal bozunma sürecinin daha etkin olduğu gözlenmektedir. Özellikle süreksizlik yüzeyleri boyunca gelişen oksidasyon ürünü hematit, limonit ve götit boyamaları sıkça gözlenen kimyasal bozunma ürünleridir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Tamamen bozunmuş andezitik tuf ve bitkisel toprağın inceleme alanındaki görünümü (Koordinat: 487265/4342658).

İnceleme alanında, andezitik volkanizma ürünü kayalarda gelişen bozunma profillerini bütünüyle görmek mümkün olmamaktadır. Bu durum, bazaltik volkanizma ürünü kayalar için geçerli olmayıp, sağlam kayadan tamamen bozunmuş kayaya kadar tüm bozunma profilinin nispeten daha iyi görüldüğü yerler daha fazladır (Şekil 5.5a).



Şekil 5.5 A: Bazaltta gözlenen bozunma profili ve B: Küresel (sferoidal) bozunma biçimi (Koordinat: 486594/4346098).

Bu durumunun, andezitik kayalarda eğimin ve buna bağlı olarak yüzeysel yıkanmanın daha az olması dolayısıyla tamamen bozunmuş malzemenin taşınmaması

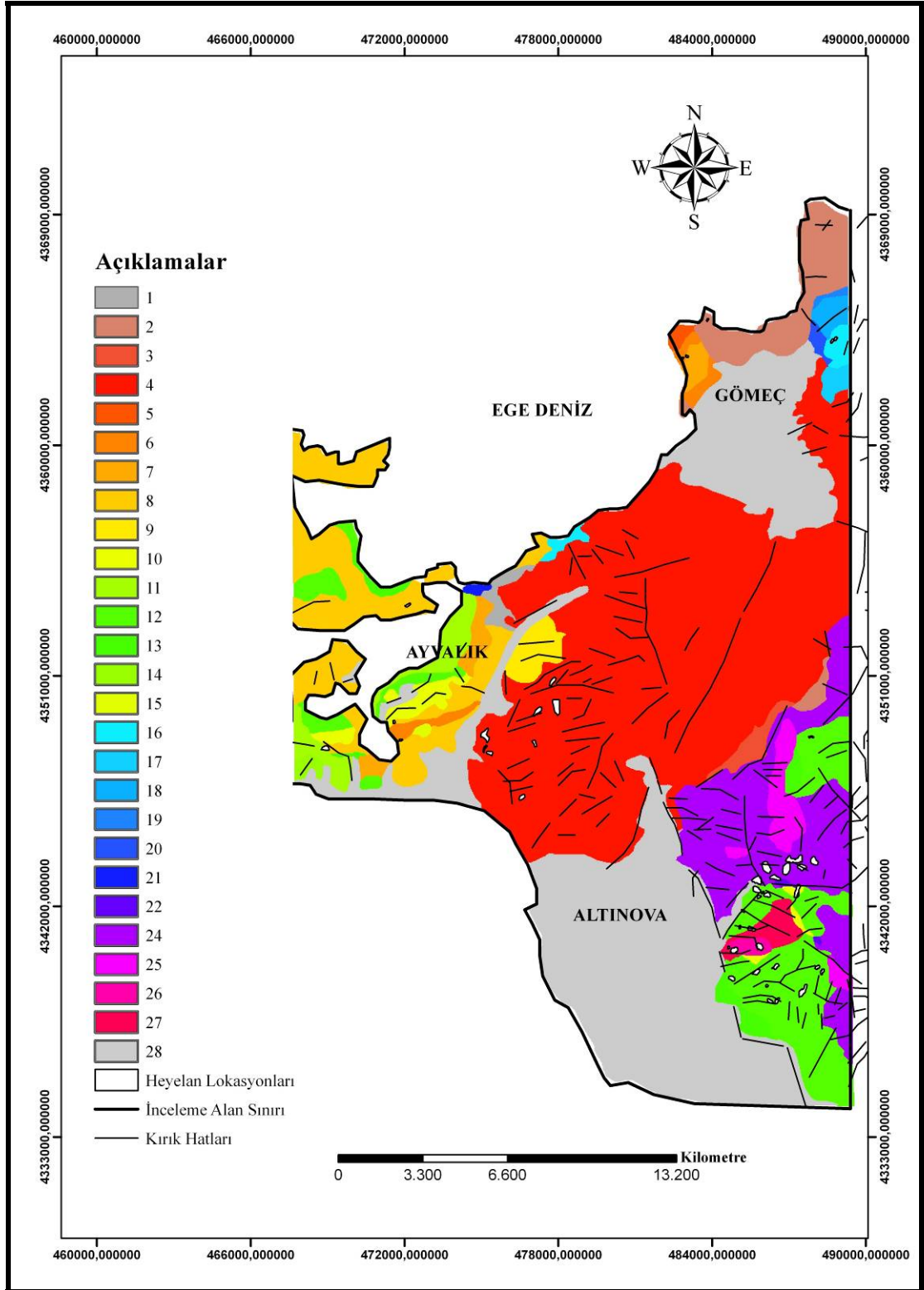
ve dolayısıyla alttaki daha az bozunmuş ve sağlam kayanın yüzeylemesine engel olduğu sonucuna varılmıştır.

Bazalt'ta bozunma şekillerine bakıldığı zaman, bu birimlerde küresel bozunmanın net ve güzel örneklerle görüldüğü söylemek mümkündür (Şekil 5.5.b).

İnceleme alanındaki volkanik kayaların bozunma dereceleri ile süreksizlik gelişimlerine bakıldığı zaman, süreksizlik yoğunluğuna bağlı olarak bozunma derecesinde artışın meydana geldiğini söylemek mümkündür. Bu durum, inceleme alanının tektonik özellikleriyle de ilişkilendirilir özellikle olup, süreksizlik hatlarına yakın yerlerde bozunmanın artmasının beklenmesi doğal bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 5.6). Burada verilen bozunma dereceleri haritası ile ilgili açıklamalar bilgisi, aşağıda Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4 Bozunma dereceleri haritasına ait açıklamalar.

<b>Sembol</b>	<b>Bozunma Sınıfı</b>
1	Taze Gölsel Tortul
2	Az Bozunmuş Gölsel Tortul
3	Yüksek Derece Bozunmuş Gölsel Tortul
4	Tamamen Bozunmuş Gölsel Tortul
5	Taze Tüf
6	Az Bozunmuş Tüf
7	Orta Derece Bozunmuş Tüf
8	Yüksek Derece Bozunmuş Tüf
9	Tamamen Bozunmuş Tüf
10	Az Bozunmuş Andezit
11	Orta Derece Bozunmuş Andezit
12	Yüksek Derece Bozunmuş Andezit
13	Tamamen Bozunmuş Andezit
14	Taze Andezit
15	Orta Derece Bozunmuş Trakiandezit
16	Yüksek Derece Bozunmuş Konglomera
17	Tamamen Bozunmuş Konglomera
18	Az Bozunmuş Metamorfik Seri
19	Orta Derece Bozunmuş Metamorfik Seri
20	Tamamen Bozunmuş Metamorfik Seri
21	Taze Bazalt
22	Az Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
23	Orta Derece Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
24	Yüksek Derece Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
25	Tamamen Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
26	Az Bozunmuş Aglomera
27	Yüksek Derece Bozunmuş Aglomera
28	Kalıntı Toprak-Alüvyon



Şekil 5.6 İnceleme alanındaki bozunma derecesi-süreksizlik yoğunluğu-heyelan lokasyonları ilişkisi.

Andezitik tüflerde kimyasal bozunma ve buna bağlı olarak killeşme sıkça gözlenen bozunma şekli olarak görülmektedir. Şekil 5.7’de görüldüğü üzere

kimyasal bozunmaya eşlik eden fiziksel bozunma ve parçalanmanın da varlığı açıkça görülmektedir. Andezitik volkanizma ürünü kayalarda tamamen bozunmuş ve kalıntı toprak malzemesinin, bazaltik volkanizma ürünü kayalara oranla daha az taşınmış olması, güncel erozyon türü olarak oyuntu (gully) erozyon şekillerinin daha fazla görünmesine de neden olmaktadır (Şekil 5.8). Bu durum, erozyon duyarlılık kısmında yeniden ele alınacaktır.

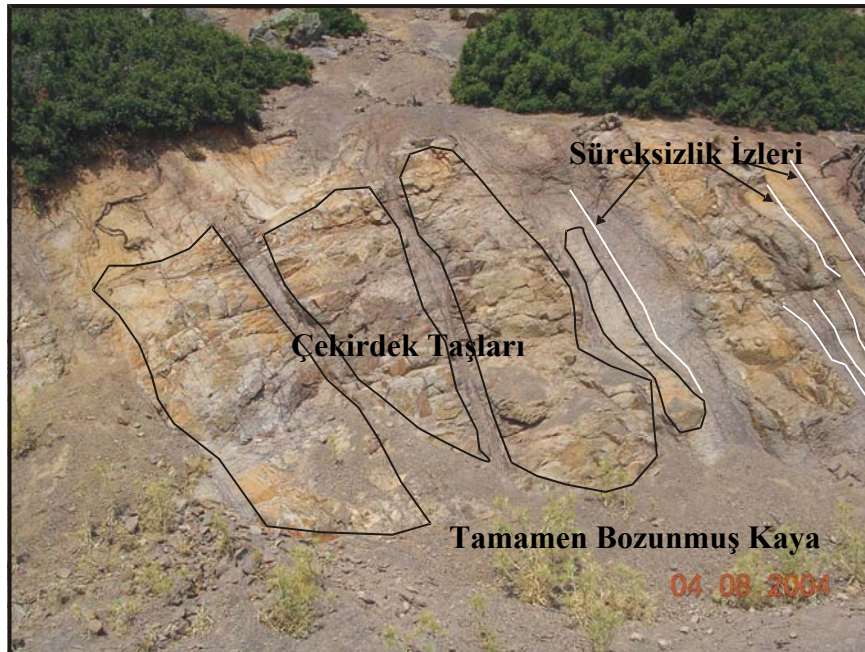


Şekil 5.7 Andezitik tüflerde gözlenen hidrotermal alterasyon ve fiziksel bozunma (Koordinat: 475017/4353900).





Şekil 5.8 Andezitlerde kimyasal bozunma sonucu meydana gelen killerde gözlenen oyuntu erozyon şekilleri (Koordinat: 487265/4340309).



Şekil 5.9 Andezitlerde gözlenen bozunma profili ve bu profilde gözlenen unsurlar (Koordinat: 487433/4342071) .

#### 5.4.2 Tortul Birimlerde Bozunma

İnceleme alanında yüzeylenen marn, kireçtaşı, kumtaşı ve tüfit türü tortul birimlerde daha çok fiziksel bozunma ve parçalanma türü bozunmanın varlığı göze

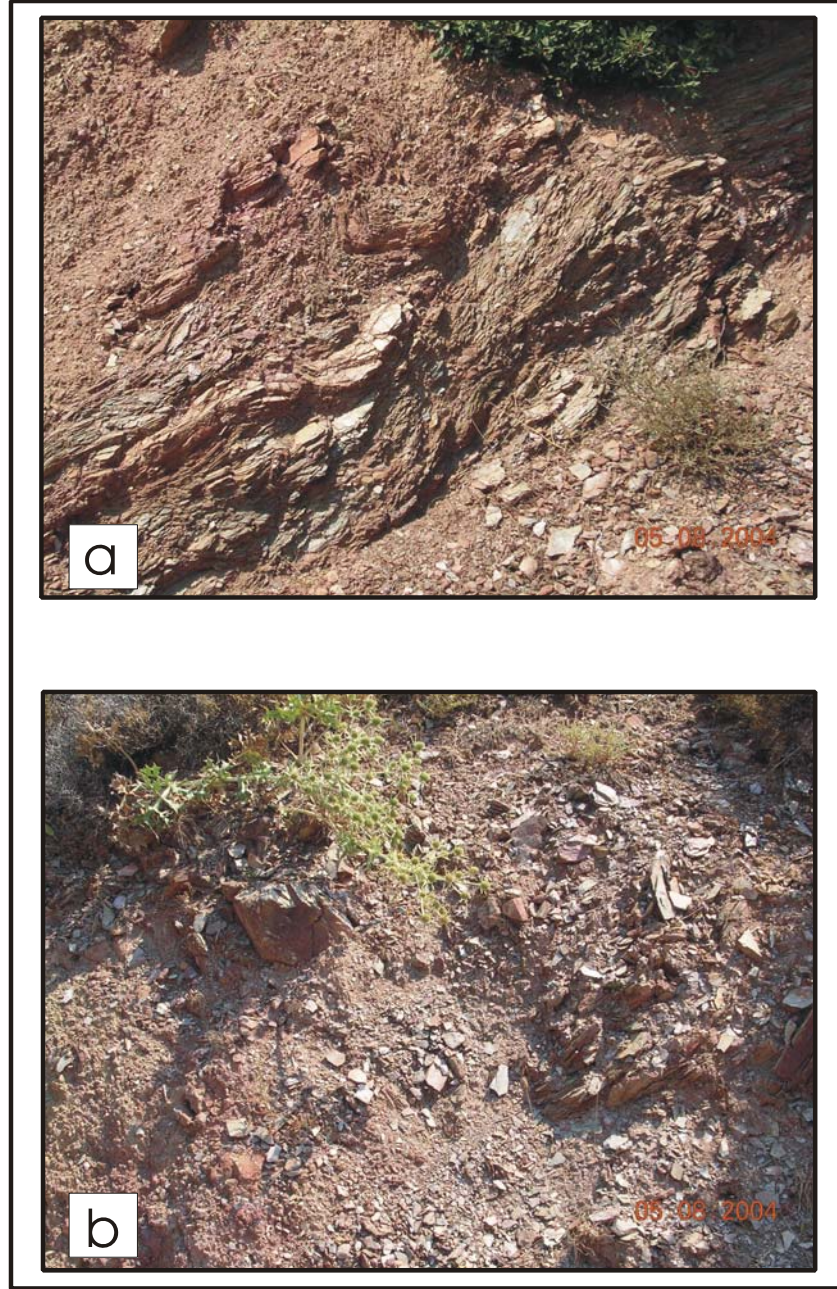
çarpılmaktadır. Özellikle marn ve kireçtaşı gibi karbonatlı kayalarda, yer yer suyun kimyasal reaksiyonu sonucu geliştirdiği erime boşluklarında olduğu yaygın olmamak koşuluyla görülmektedir. Şekil 5.10'da marn türü kayalarda gözlenen, fiziksel bozunmaya bağlı gelişen küresel bozunma şekli görülmektedir.



Şekil 5.10 Marn'da fiziksel bozunmaya bağlı gelişen küresel bozunma biçimi (Koordinat: 85504/48195).

#### **5.4.3 Metamorfik Birimlerde Bozunma**

İnceleme alanının kuzeyinde yer alan ve diğer birimlere oranla çok daha az bir alanda yüzeyleme veren metamorfik birimlerde bariz bir bozunma profili ve şekli görmek mümkün olmamıştır. Arazide gözlenen yüzleklerde, tektonizmaya bağlı gelişen, sadece fiziksel parçalanmanın varlığı görülmektedir (Şekil 5.11). Buna bağlı olarak, az miktarda da bitkisel toprak gelişimi de fiziksel bozunmada söz konusudur.



Şekil 5.11 Metamorfik birimlerde (Kınık formasyonu-Metaçamurtaşı, Metavolkanit) gözlenen fiziksel bozunma ve buna eşlik eden az miktarda bitkisel toprak gelişimi (Koordinat: 488691/4364973).

## BÖLÜM 6

### DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN VERİLERİN ÜRETİMİ

Bu bölümde, erozyon ve heyelan duyarlılık analizinde kullanılan girdi verilerin türleri ve bu verilerin elde edilme yöntemlerinden bahsedilecektir. Veri üretimi coğrafi bilgi sistemlerinin en zaman alıcı ve en fazla işgücünün harcadığı kısım olması dolayısıyla bu bölümde üretilen veri türleri, bunların üretimi sırasında kullanılan yöntem ve yaklaşımlar ve sonuç olarak erozyon ve heyelan duyarlılık analizinde girdi veri olarak kullanılan parametre haritalarının üretimi özetlenmeye çalışılmıştır.

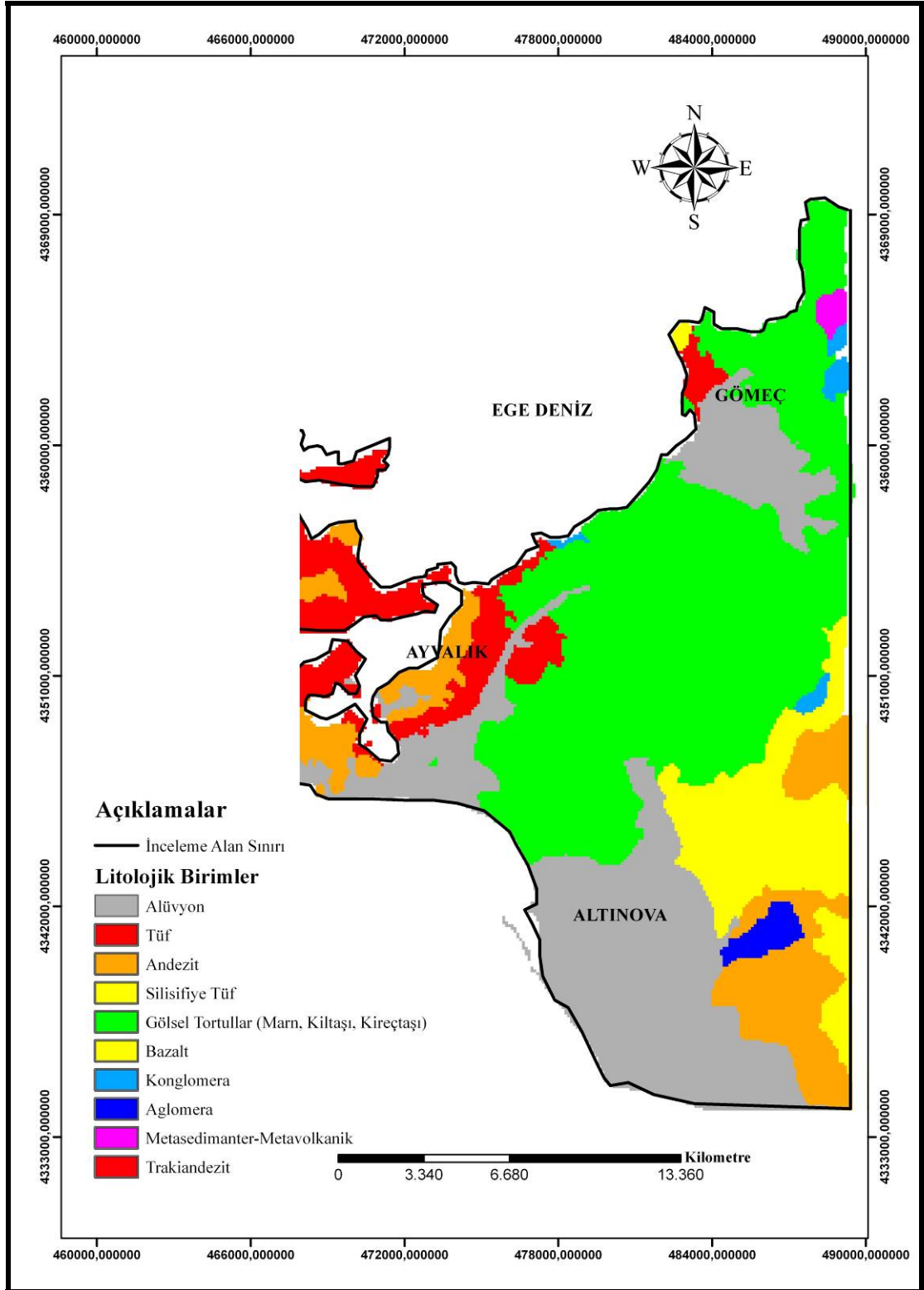
#### 6.1 Jeoloji

##### 6.1.1 Veri Girişi

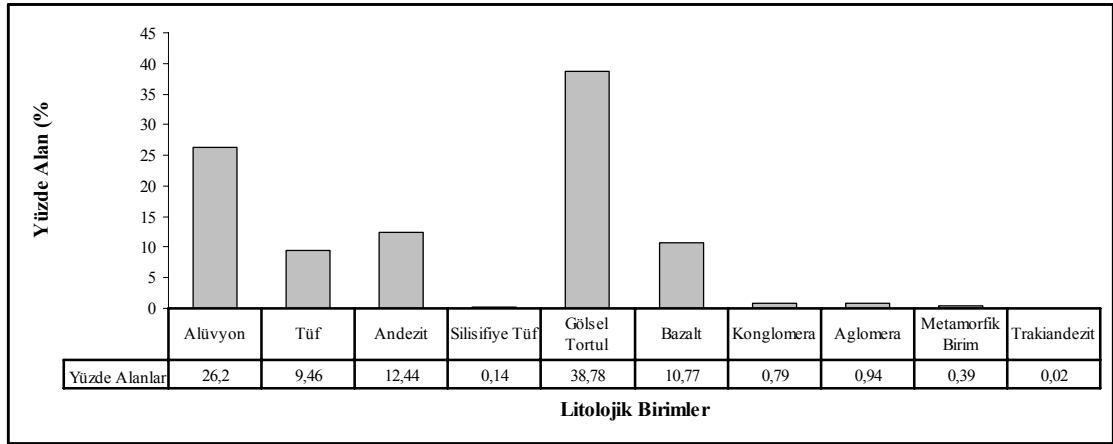
İnceleme alanının jeoloji haritası, bölgede daha önceden yapılmış olan çalışmalar, haritalar ve farklı amaçlar için hazırlanmış raporların derlenerek, ilave arazi çalışmaları sonucunda hazırlanmıştır. Diğer çalışmalardan da yararlanarak ve arazide 1/25.000 ölçeğinde haritalanarak elde edilen harita IDRISI Kilimanjaro yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılmış jeoloji haritası üzerindeki litolojik birimler, önceki çalışmalarda kullanılan adlamalardaki litolojik isimlendirmeler kullanılarak isimlendirilmiş, sayısal formattaki jeoloji haritasına ait bir veritabanı oluşturulmuştur. Sonuç olarak elde edilen jeoloji haritası Şekil 6.1’de verilmiştir.

Sayısallaştırılan jeoloji haritasında 10 litolojik birim ayırtlanmış ve stratigrafik istifi takip eder nitelikte düzenlenmemiştir. Kınık formasyonuna ait metavolkanit ve metasedimanter istif (metaçamurtaşı, metakumtaşı) metamorfik birimler, Yuntdağ formasyonuna ait birimler andezit, bazalt, tuf, silisifiye tuf ve trakiandezit olarak, Ballica formasyonuna ait birimler konglomera, Soma formasyonuna ait marn, tuf, kireçtaşı, silttaşı ve kumtaşı birimleri gölsel tortullar ve Rahmanlar aglomerasına ait

birim aglomera olarak isimlendirilmiştir. Bu birimlerin inceleme alanında kaplamış oldukları toplam alan 424.00 km<sup>2</sup> 'dir. En geniş yayılımı 164. 46 km<sup>2</sup> ile marn, tuf, kireçtaşı silttaşı ardaşımından oluşan ve gösel tortulları olarak isimlendirilen Soma Formasyonuna ait kayalar göstermektedir. Alüvyon 111.08 km<sup>2</sup>, tuf 40.13 km<sup>2</sup>, andezit 52.77 km<sup>2</sup>, silisifiye tuf 0.63 km<sup>2</sup>, Bazalt 45.69 km<sup>2</sup>, Konglomera 3.38 km<sup>2</sup>, Aglomera 4.01 km<sup>2</sup>, Metamorfik birimler 1.67 km<sup>2</sup> ve Trakiandezit 0.12 km<sup>2</sup> alansal dağılıma sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 6.2).

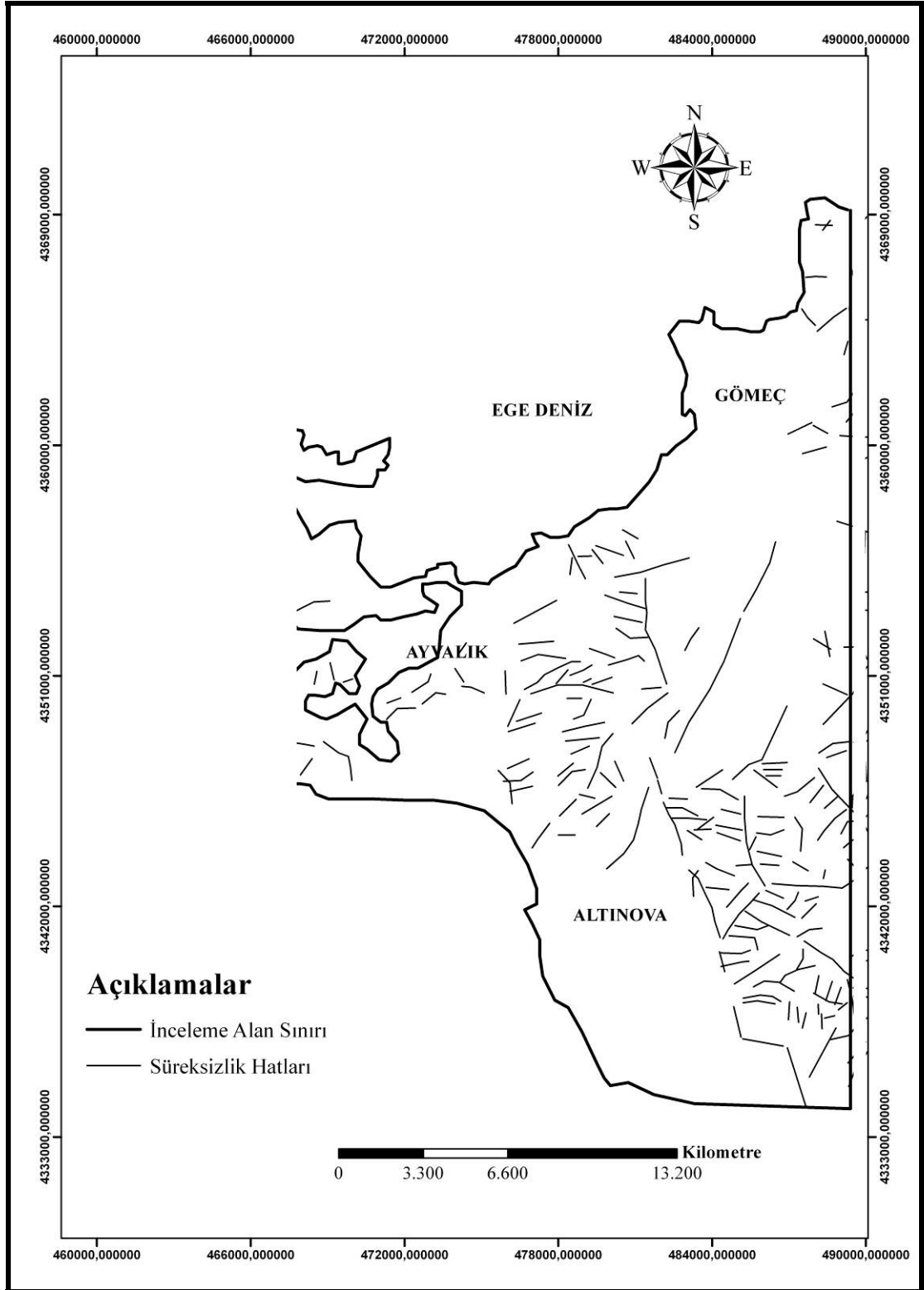


Şekil 6.1. İnceleme alanına ait sayısal jeoloji haritası.



Şekil 6.2. Jeolojik birimlerin alansal dağılımları

Jeoloji haritasının arazide oluşturulması sırasında, inceleme alanında gözlenen süreksizlik hatları 1/25.000 ölçekli olarak haritalanmış (Şekil 6.3), buna ilave olarak 1987 tarihli Landsat 5 TM, 2001 tarihli Landsat ETM+ ve 2004 tarihli Aster 3A01 multispektral uydu görüntüleri kullanılarak süreksizlik hatları haritası elde edilmiştir. Bu haritada toplam 141 fay segmenti ayrırtlanmıştır.



Şekil 6.3 İnceleme alanına ait süreksizlik hatları haritası

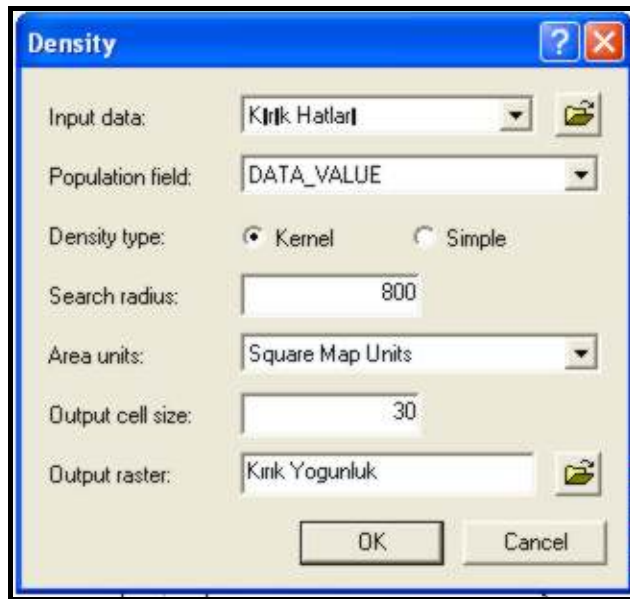


### 6.1.2 Girdi Veri Üretilmesi

Vektör formatında sayısallaştırılan litoloji haritası, analizlerin yapılabilmesi amacıyla raster formatına dönüştürülmüştür. Bu dönüşümde bir piksel değeri 30 m olacak biçimde dönüşüm yapılmıştır. Yine vektör formatında sayısallaştırılan süreksizlik hatları da öncelikle vektör formatından raster formatına dönüştürülmüş, bu dönüşüm IDRISI Kilimanjaro yazılımında gerçekleştirilmiştir. IDRISI yazılımı, raster tabanlı bir yazılım olması nedeniyle, bu yazılımda sayısallaştırılan tüm vektör formatındaki verilerin raster formatına dönüştürülmesi zorunludur. Bu aşamadan sonra, süreksizlik hatlarına ait iki girdi veri üretilmiştir. Bunlardan birincisi “Süreksizlik Yoğunluğu” haritası (Şekil 6.5.), bir diğeri ise “Süreksizlik Hatlarına Yakınlık” (Şekil 6.7) haritasıdır. Süreksizlik hatlarına yakınlık haritası IDRISI yazılımında “DISTANCE” arayüzü yardımıyla yapılmıştır. Bu arayüz, hedef bir piksel gurbuna en yakın piksellerin öklidiyen mesafelerini hesaplayarak söz konusu hedef piksellere olan mesafeleri sürekli bir ölçek üzerinde raster formatında ifade eder (Eastman, 2004). IDRISI yazılımında vektör formatında sayısallaştırılan süreksizlik hatları, her bir süreksizlik hattının “1” değerini, bunun dışında kalan alanların ise “0” değerini temsil edecek biçimde iki değişkenden oluşan veritabanı oluşturulmuş, bu veri tabanı Süreksizlik Hatları vektör dosyası ile bir link yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Veri tabanına sahip bu vektör dosyası ArcGIS 8.2 yazılımında işlenmek üzere “\*.shape” dosya formatına dönüştürülmüş ve ArcGIS yazılımına gönderilmiştir. ArcGIS yazılımı, hem vektör hem de raster tabanlı verileri destekleyen bir CBS yazılımı olması dolayısıyla hem vektör formatındaki hem de raster formatındaki verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi mümkündür. Süreksizlik Yoğunluğu haritası ArcGIS yazılımındaki “DENSITY” komutuyla oluşturulmuştur. Yoğunluk (Density) kavramı, nokta veya çizgi biçimindeki verilerin, bir birim alan içerisindeki sayılarının, o birim alanın toplam alan değerine oranı olarak ifade edilmektedir (ESRI, 2002). Bu amaçla, yoğunluk hesaplaması yapılırken, seçilecek birim alanın (bu çoğu zaman daire biçiminde olur) çapı ve hesaplamada seçilen yöntem önceden belirlenmelidir. Burada iki hesaplama yöntemi olarak “Çekirdek (Kernel)” ve “Basit” hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Süreksizlik yoğunluk haritasının hazırlanması amacıyla Kernel yöntemi kullanılmış, araştırma birim alanın

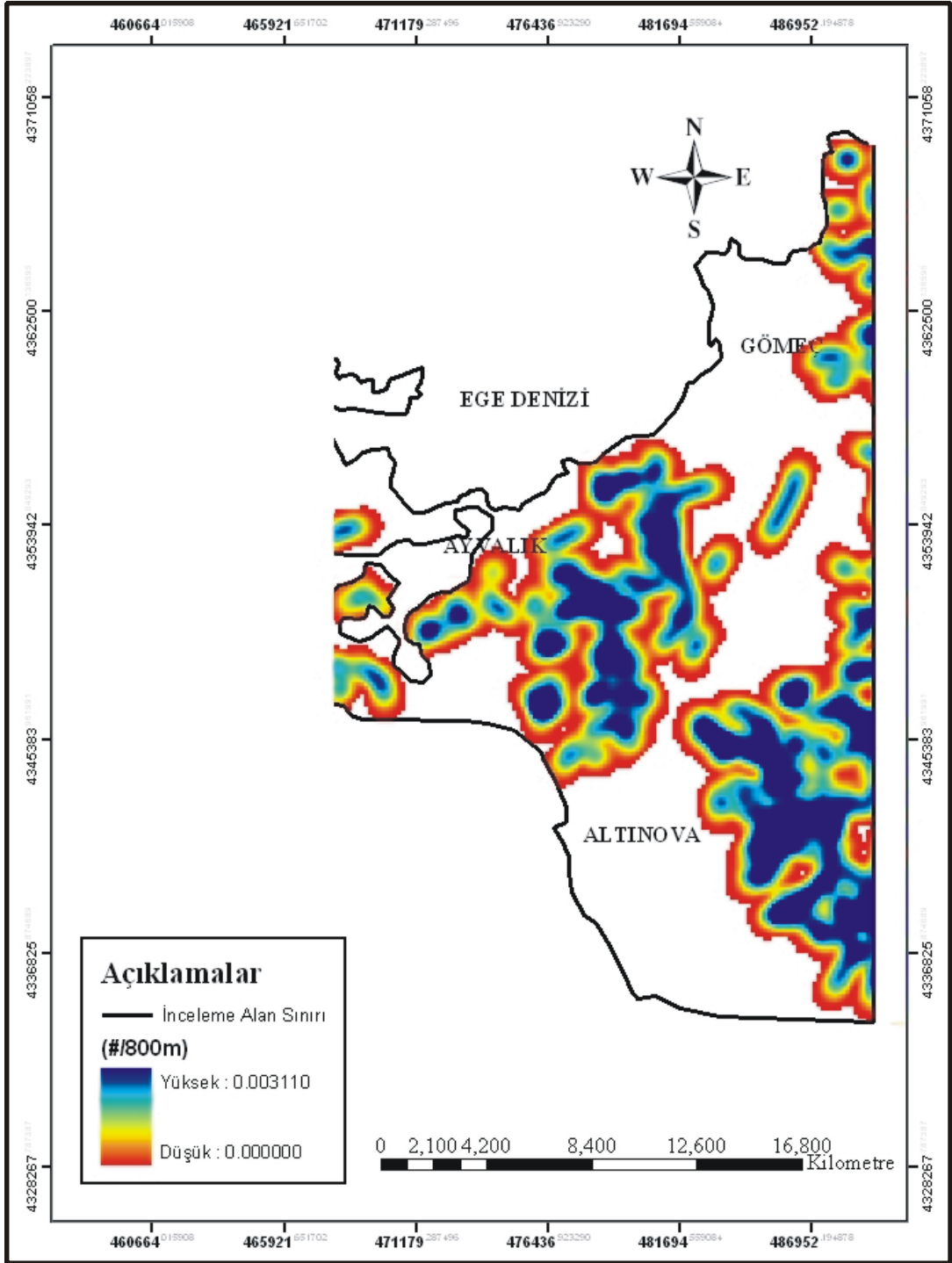
çapı ise 800 m olarak dikkate alınmıştır. Bu değer hesaplama fonksiyonunun hazır (default) değeri olup bu değer artırılması veya azaltılması da mümkündür. Hesaplama, birim piksel boyutu yine 30 m olarak seçilmiştir (Şekil 6.4.)

Kernel yönteminde, Basit yöntemden farklı olarak bir raster hücresinin merkezine yakın duran nokta ya da çizgi veriler, kenara yakın duran verilerden daha yoğun bir şekilde ağırlıklandırılır. Bu sebepten dolayı, bu aşamada Kernel hesaplama yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

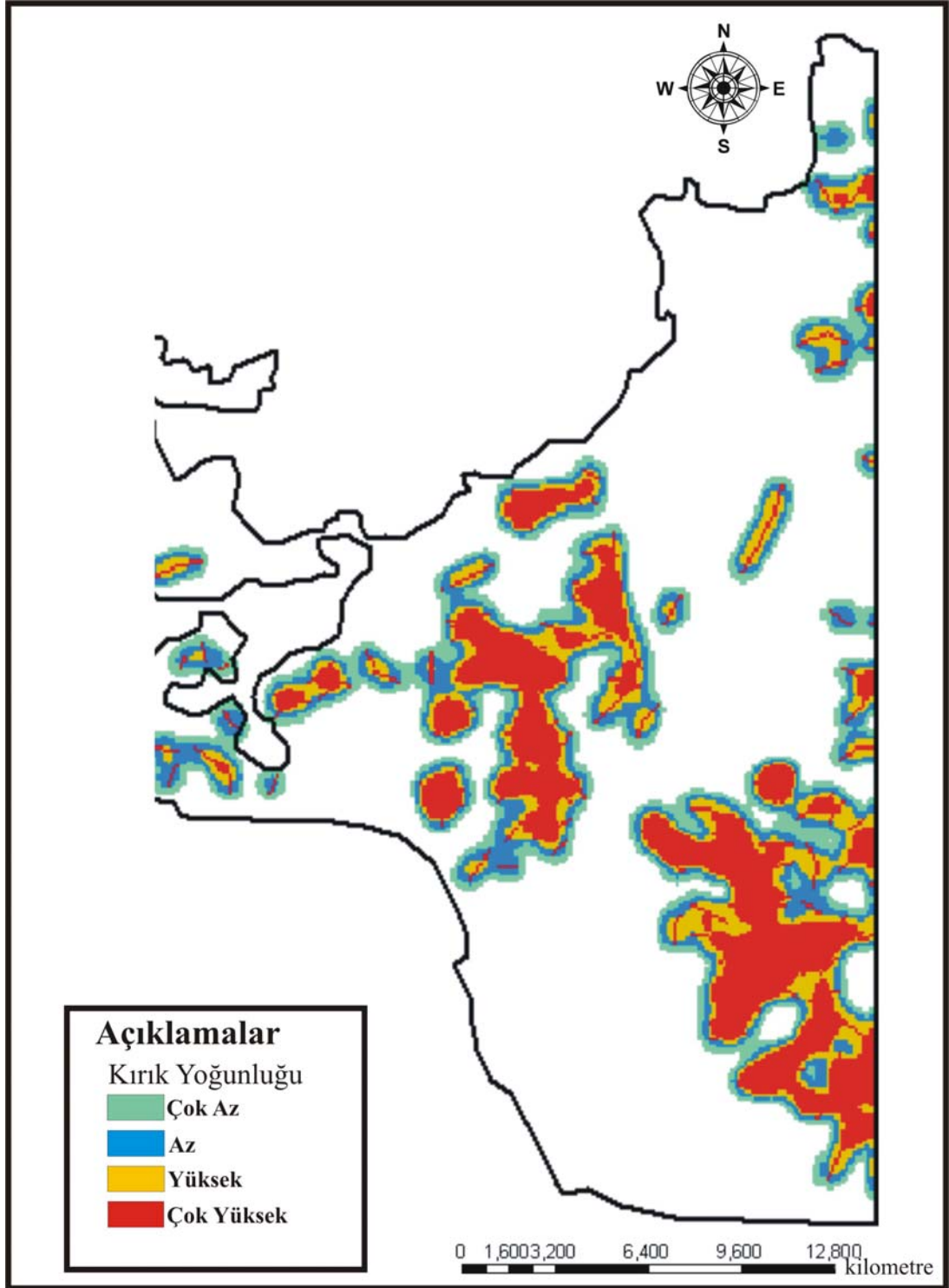


Şekil 6.4. Süreksizlik Yoğunluk haritalaması için hesaplama parametrelerinin seçimi.

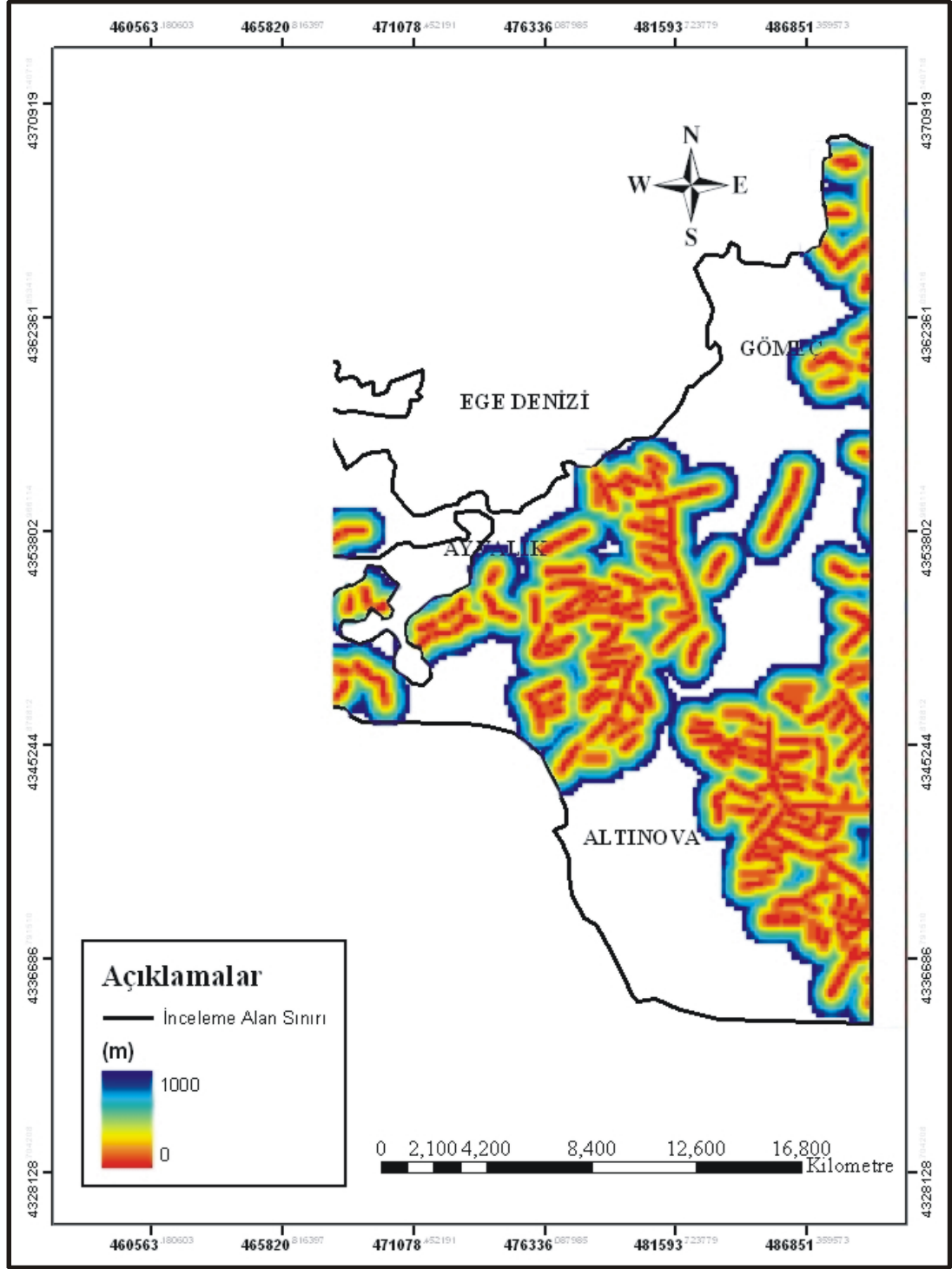
Elde edilen bu süreksizlik yoğunluk haritası, daha sonra IDRISI yazılımında analiz aşamasında kullanılmak üzere yazılıma gönderilmiştir. IDRISI yazılımına gönderilen süreksizlik yoğunluk haritası burada yeniden sınıflandırılarak analiz aşamasında kullanılan harita formatına dönüştürülmüştür (Şekil 6.6).



Şekil 6.5 ArcGIS yazılımında oluşturulan “Süreksizlik Yoğunluk” haritası.



Şekil 6.6 IDRISI yazılımında yeniden sınıflandırılmış süreksizlik yoğunluk haritası.



Şekil 6.7 IDRISI yazılımında oluşturulan süreksizlik hatlarına uzaklık haritası.

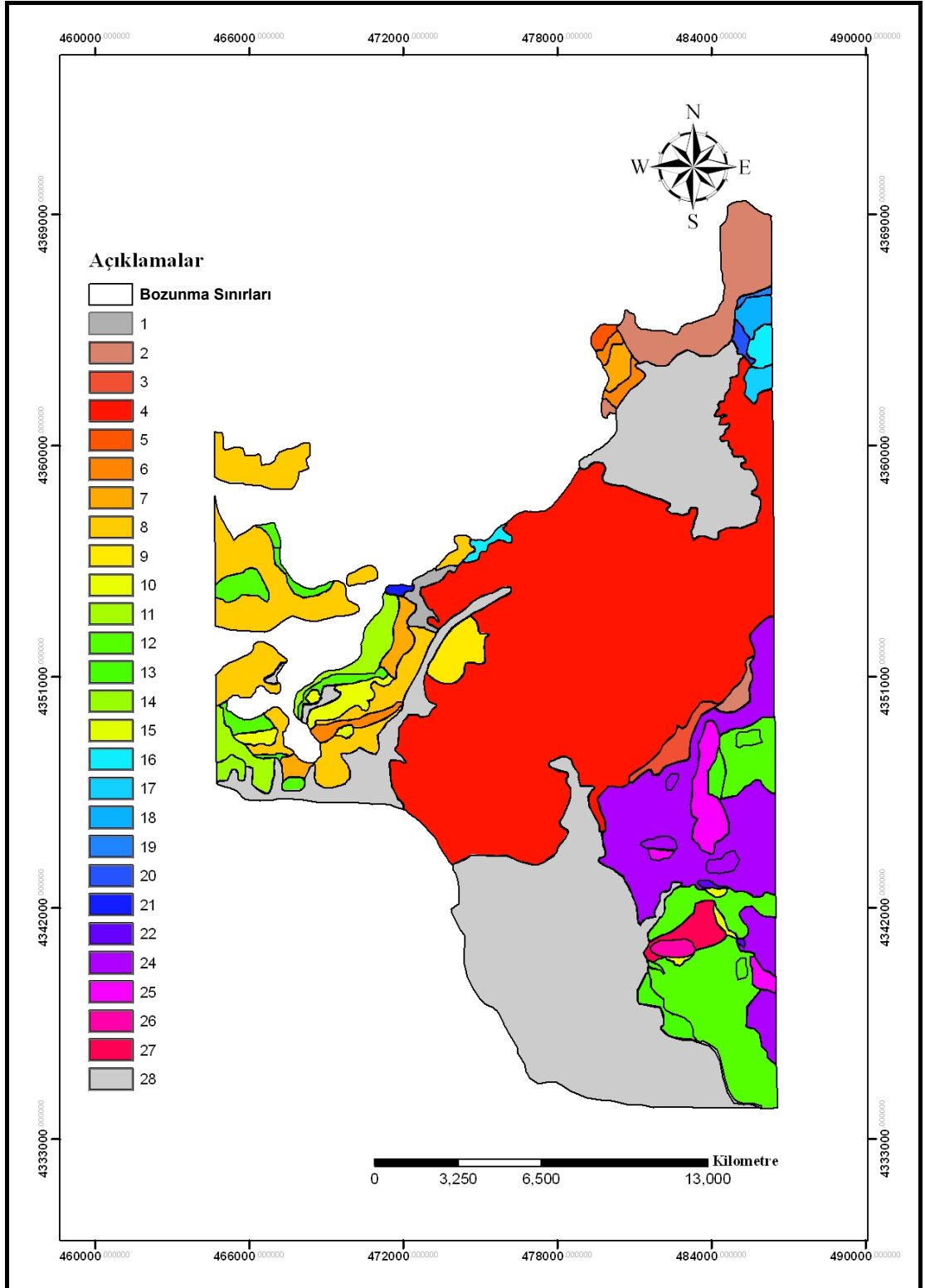
### **6.1.3 Bozunma**

İnceleme alanındaki kayalarda gözlenen fiziksel ve kimyasal bozunma dereceleri arazi çalışmaları ile 1/25000 ölçeğinde ilk kez haritalanmıştır. Haritalama sırasında kayaların bozunma dereceleri, ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflandırma yöntemiyle hazırlanmış ve ayrıntıları Bölüm 5’de verilmiştir. Sınıflandırma kayaların renk, doku değişimleri, sertlik, süreksizlik durumları gibi sınıflandırma ölçütleri dikkate alınarak haritalanmıştır. Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen bozunma haritası IDRISI yazılımında vektör formatında sayısallaştırılmış, ve ilgili veritabanı oluşturulmuştur. Daha sonra analizlerde kullanılması amacıyla vektör formatından raster dosya formatına dönüştürülmüş, konumsal çözünürlük olarak 30 m seçilmiştir. Bu kapsamda ayırt edilen 6 bozunma sınıfından inceleme alanı içerisinde en fazla yayılımın “tamamen bozunma” sınıfına ait olduğu, bunu “yüksek derecede bozunmuş” kayaların ikinci sırada izlediği görülmektedir (Şekil 6.8).

Aşağıda verilen bozunma haritasında gösterilen bozunma sınıflarını gösteren açıklamalara ilişkin tablo aşağıda Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Bozunma sınıflarını gösteren açıklamalar.

<b>Sembol</b>	<b>Bozunma Sınıfı</b>
1	Taze Gölsel Tortul
2	Az Bozunmuş Gölsel Tortul
3	Yüksek Derece Bozunmuş Gölsel Tortul
4	Tamamen Bozunmuş Gölsel Tortul
5	Taze Tüf
6	Az Bozunmuş Tüf
7	Orta Derece Bozunmuş Tüf
8	Yüksek Derece Bozunmuş Tüf
9	Tamamen Bozunmuş Tüf
10	Az Bozunmuş Andezit
11	Orta Derece Bozunmuş Andezit
12	Yüksek Derece Bozunmuş Andezit
13	Tamamen Bozunmuş Andezit
14	Taze Andezit
15	Orta Derece Bozunmuş Trakiandezit
16	Yüksek Derece Bozunmuş Konglomera
17	Tamamen Bozunmuş Konglomera
18	Az Bozunmuş Metamorfik Seri
19	Orta Derece Bozunmuş Metamorfik Seri
20	Tamamen Bozunmuş Metamorfik Seri
21	Taze Bazalt
22	Az Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
23	Orta Derece Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
24	Yüksek Derece Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
25	Tamamen Bozunmuş Bazalt-Bazaltik Andezit
26	Az Bozunmuş Aglomera
27	Yüksek Derece Bozunmuş Aglomera
28	Kalıntı Toprak-Alüvyon



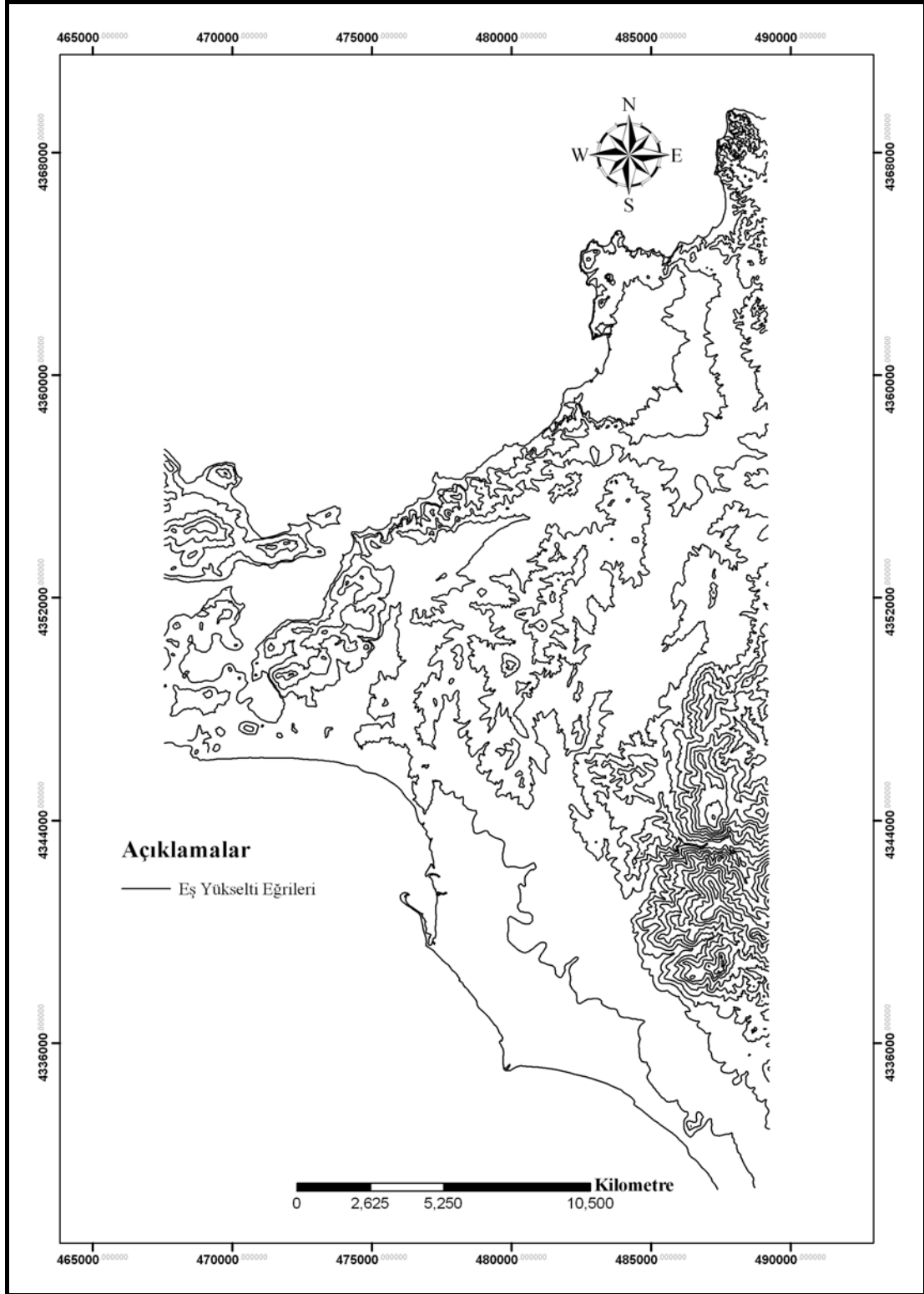
Şekil 6.8 İnceleme alanına ait kayaların bozunma derecelerini gösteren harita.



## 6.2 Yükseklik

### 6.2.1 Veri Girişİ

İnceleme alanına ait sayısal yükseklik verisi, 1969 yılına ait Harita Genel Komutanlığı tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli 6 adet topoğrafik harita kullanılarak elde edilmiştir. Her bir pafta COREL Draw 9.0 yazılımında birleştirilmiş ve TIF formatında saklanarak IDRISI yazılımına gönderilmiştir. “TIF to IDRISI” dönüşümü yapılan topoğrafik harita üzerinde 20 kontrol noktası seçilmiş, seçilen bu noktalara göre harita WGS84 datum ve UTM 35 N projeksiyon sistemine göre hata (RMSE - Root Mean Square Error) değeri 0.5526 piksel (15m) olacak şekilde jeoreferanslandırılmıştır (Eastman, 2004). Jeoreferanslandırılmış topoğrafik harita üzerindeki eş yükselti eğrileri 50 m, yükseltilerin 100 m'nin altına düştüğü yerlerde ise 10 m aralıklı eğriler kullanılarak çizgi-vektör formatında sayısal topoğrafya haritası elde edilmiştir (Şekil 6.9).



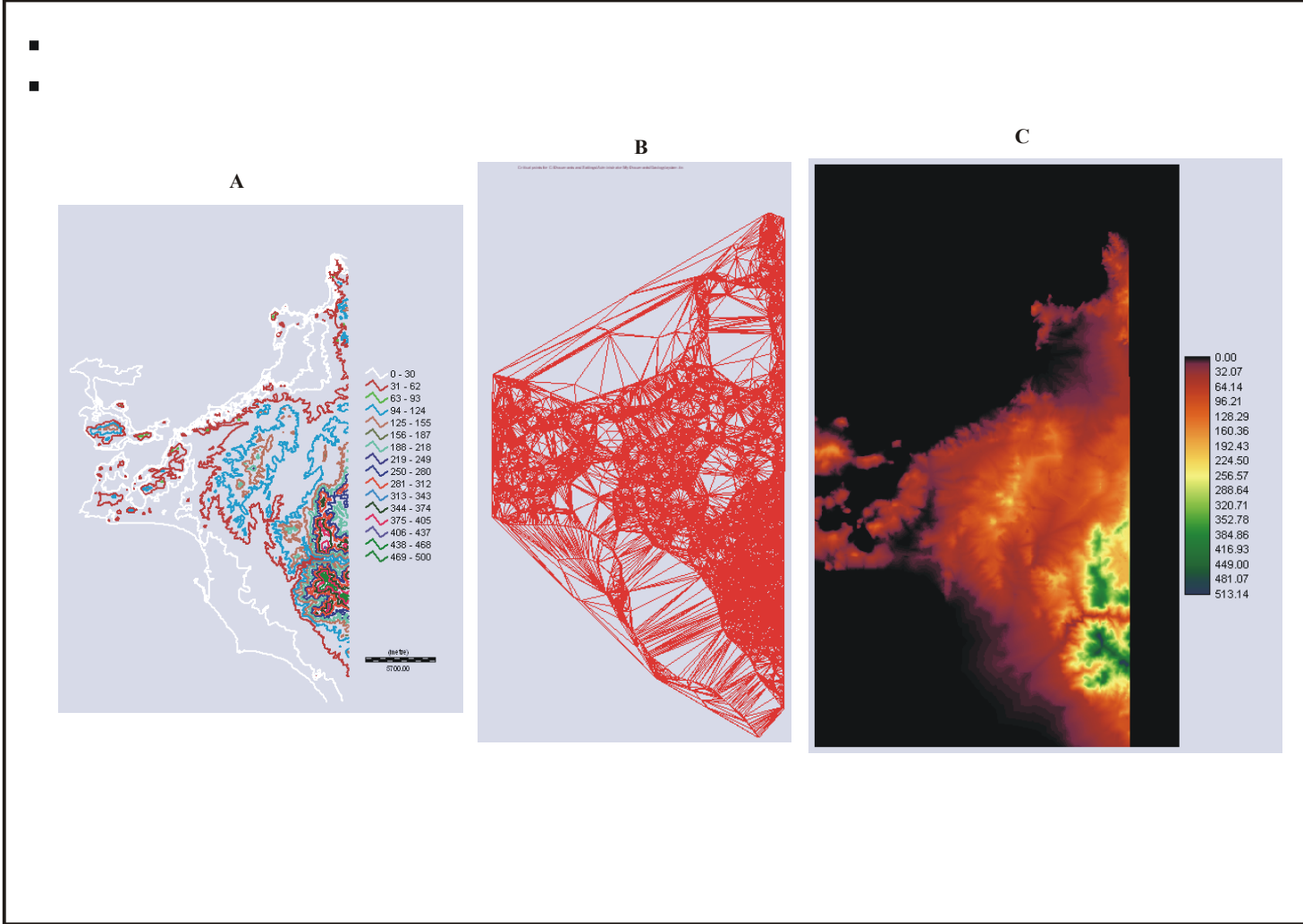
Şekil 6.9 Sayısallaştırılmış topoğrafik eş yükselti haritası.

### 6.2.2 Girdi Veri Üretilmesi

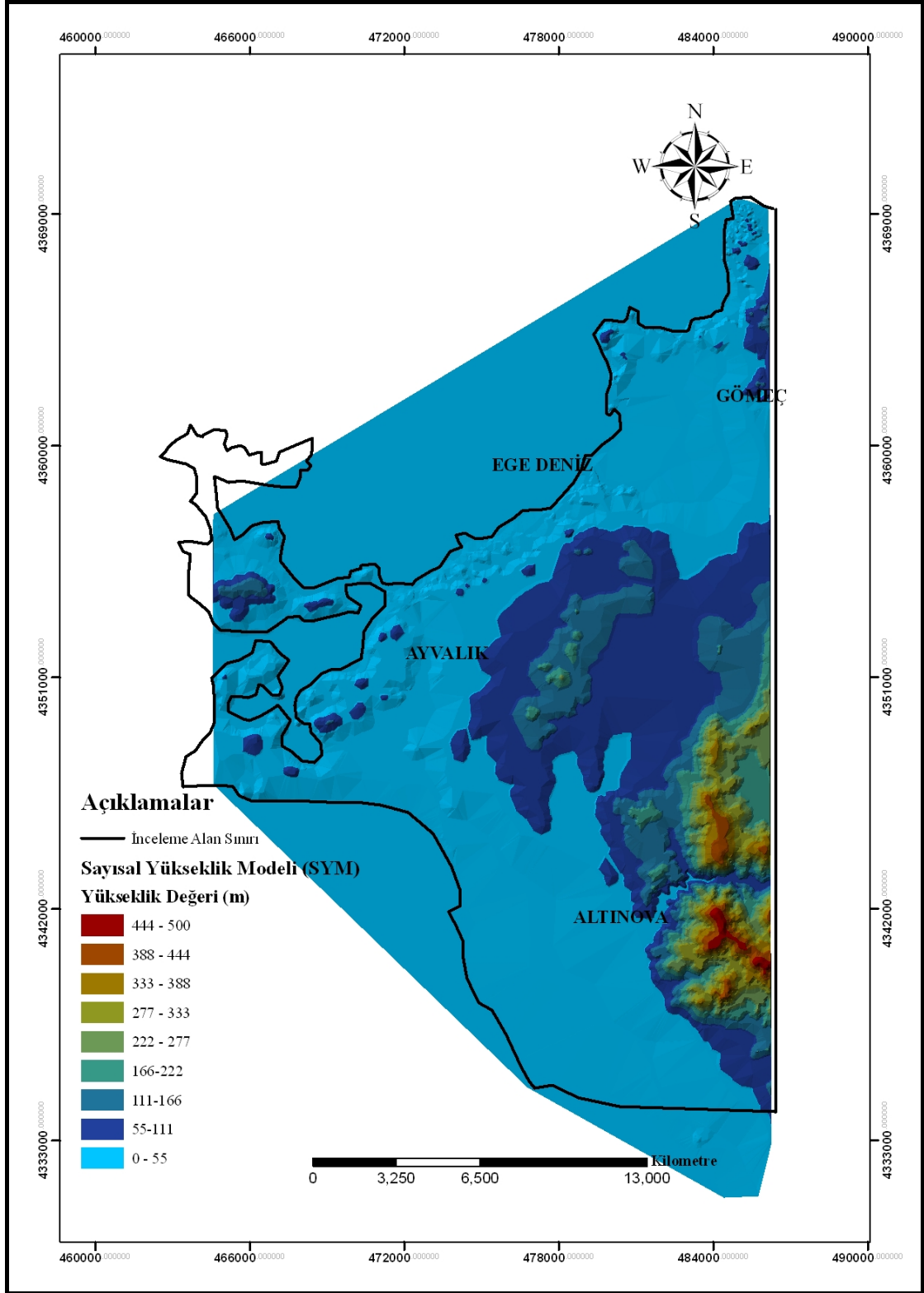
CBS analizlerinde yükseklik verisinin kullanılabilmesi için, kesiklik arzeden bir veriden ziyade, süreklilik gösteren ve yükseklik değerlerinin yüzeylerle ifade edildiği sürekli verilere ihtiyaç vardır. Bu sürekli veri, “Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM) olarak bilinmektedir. DEM verisi IDRISI yazılımında “TIN interpolation” komut menüsü kullanılarak 2 aşamalı bir işlem yardımıyla elde edilmiştir. Öncelikle sayısallaştırılmış vektör formatındaki eş yükselti verisi düzensiz üçgenleme yöntemi (Triangulated Irregular Network) ile TIN verisi oluşturulmuştur. TIN modelinin oluşturulmasında kullanılan üçgenleme metodu ile öznelik bilgileri, diğer bir ifadeyle yükseklik değerleri bilinen noktalar, oluşturulan bir üçgenler grubunun köşelerinin oluşturulmasında kullanılır. Sonuç, veri noktalarının dış sınırına düşen tüm alanın üçgenlenmesi ile edilir (Şekil 6.10). TIN verisi oluşturulduktan sonra ikinci adımda TIN yüzeyi oluşturulmuştur. Oluşturulan TIN yüzeyi 30 m çözünürlükte üretilmiştir.

Sayısal yükseklik modeli, duyarlılık değerlendirmesinde kullanılacak yamaç eğimi, yamaç yönelimi (bakı), havza sınırları (watershed) ve akarsu güç indeksi verilerinin de ana kaynağı olması dolayısıyla oldukça önemli bir veri türü olarak kabul edilmektedir.

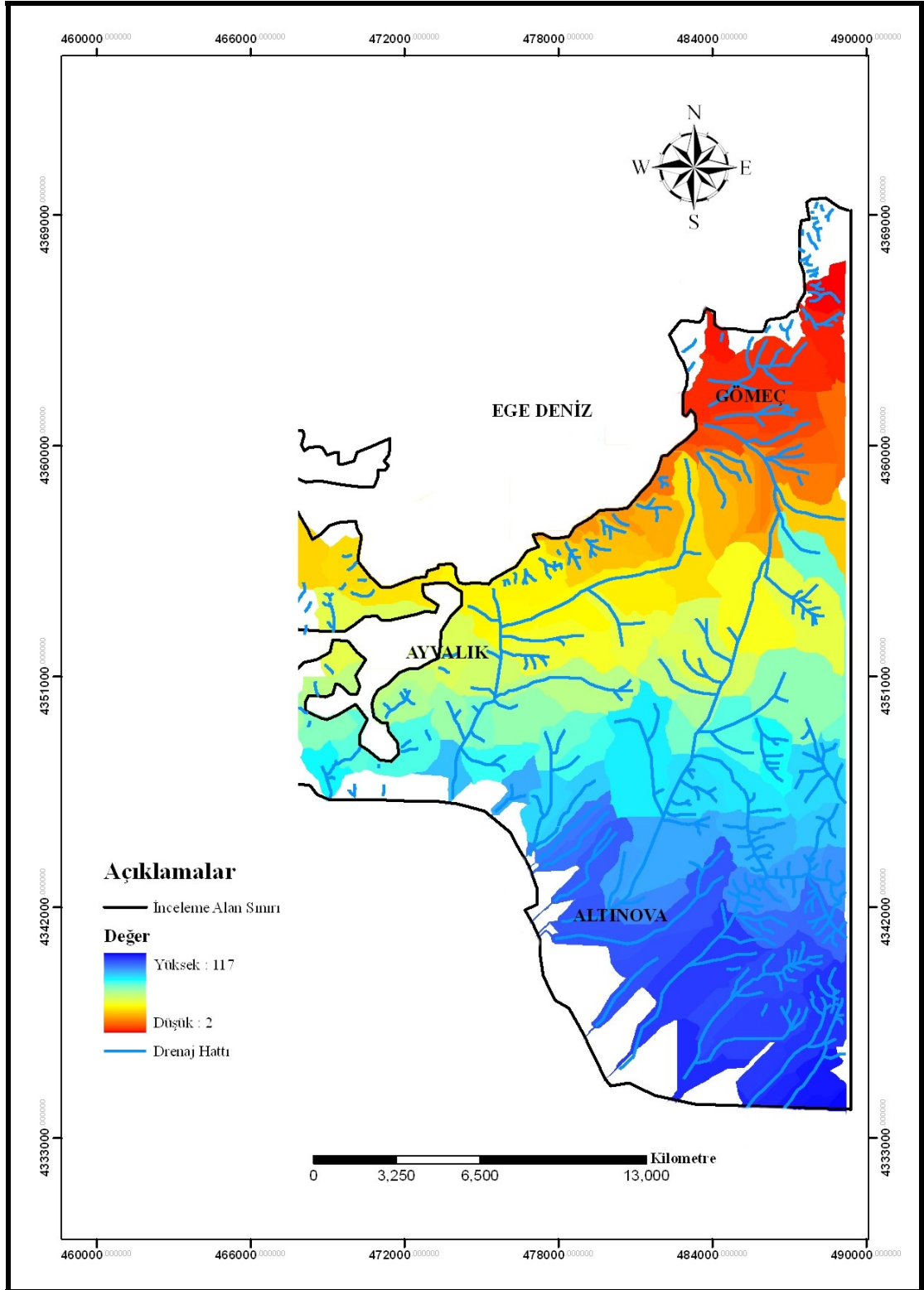
İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasından sonra, havza analizi yine IDRISI yazılımındaki “WATERSHED” menüsü kullanılarak gerçekleştirilmiş, inceleme alanını oluşturan drenaj havzalarını ifade eden mikro su havzaları elde edilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.10 Sayısal topoğrafik harita (A), TIN yüzey modeli (B) ve TIN'den oluşan sayısal yükseklik modeli (C) (DEM).



Şekil 6.11 İnceleme alanına ait renklendirilmiş sayısal yükseklik modeli (SYM).

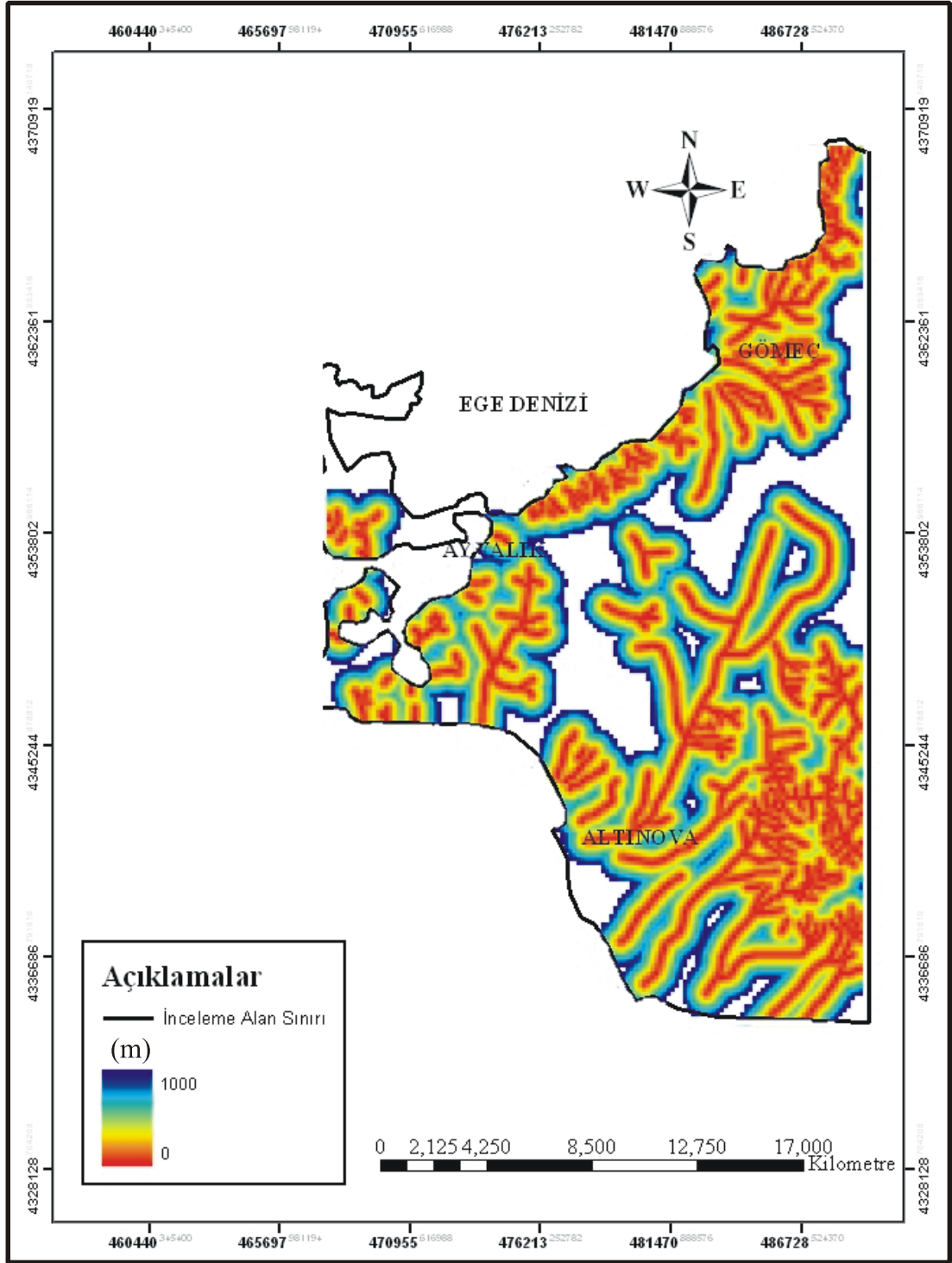


Şekil 6.12 İnceleme alanına ait mikro su havzaları.

Havza analizi yöntemi, bir veya daha fazla sayıdaki hedef hücrenin su havzasına ait olan tüm hücrelerini hesaplamaktadır. Bu işlem, hedef hücreye, komşu bir hücreden akış olup olmadığını kontrol etmek için herbir pikselin değerlendirildiği, hedef hücreden dışarıya doğru çalışan bir sistemi kabul ederek değerlendirmeyi yapmaktadır. Diğer bir ifadeyle, o piksel değeri yüzey akışına maruz kalıyorsa, su havzasının bir parçası olarak sınıflandırılır. Bu işlem, tüm alan için tamamlanıncaya kadar devam eder.

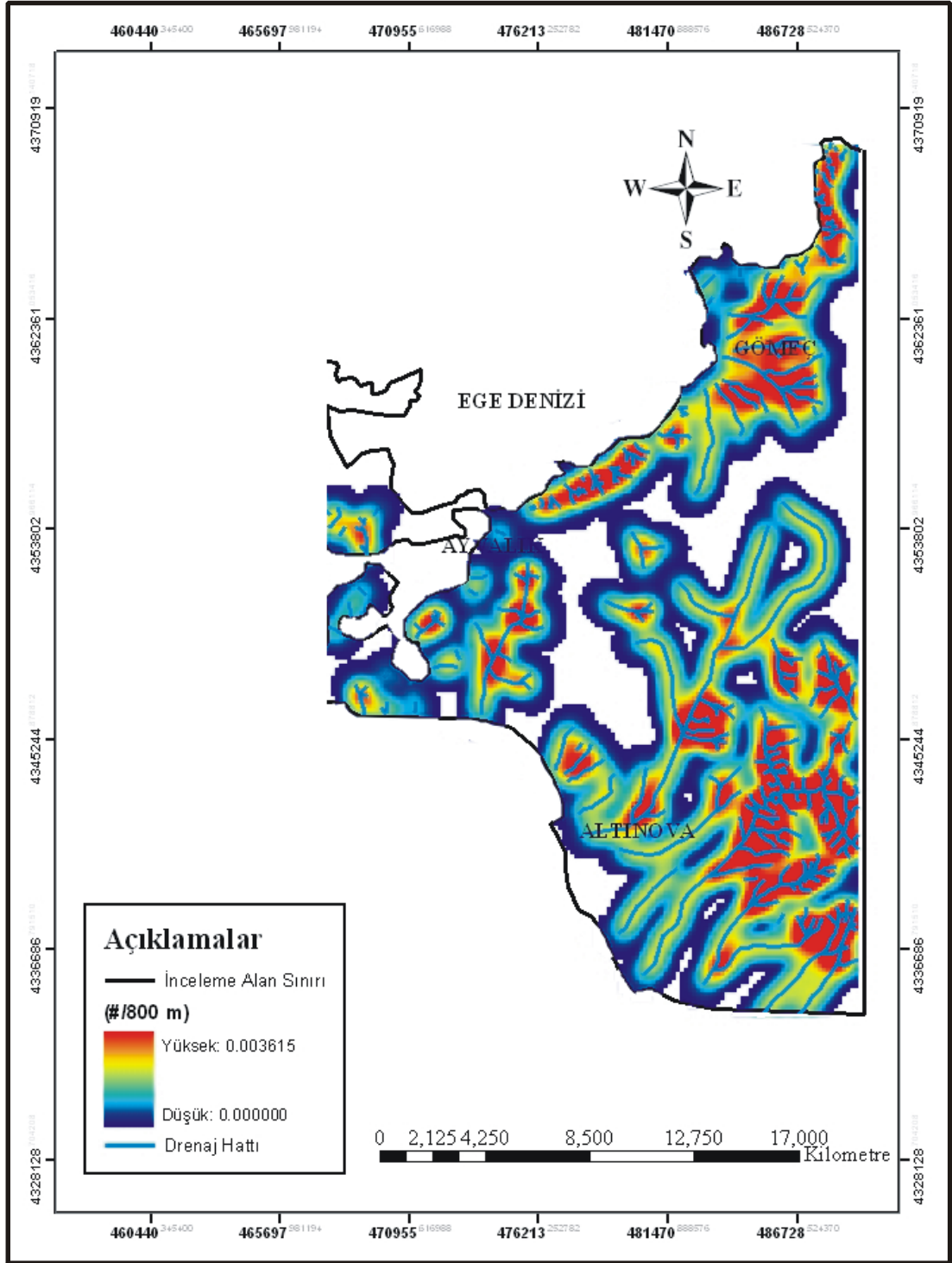
Topoğrafik harita üzerinden sayısallaştırılan drenaj hatlarına, ilgili her bir pikselin sahip olduğu mesafenin ifade edildiği “Drenaj Hatlarına Uzaklık” haritası Şekil 6.13’de sunulmuştur. Piksellerin sahip oldukları en küçük mesafe 1 m, en büyük mesafe ise 1000 m olarak bulunmuştur.

Drenaj hatları, tüm inceleme alanındaki drenaj hatlarının kilometrekare yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmış ve drenaj yoğunluğu haritası elde edilmiştir (Şekil 6.14). Bu haritanın elde edilmesinde de yine süreksizlik hatları yoğunluk haritasının elde edilmesinde kullanılan yaklaşımlardan faydalanılmıştır. Önce IDRISI yazılımında vektör-çizgi olarak sayısallaştırılan veri, ilgili veri tabanı oluşturulup vektör dosyasıyla entegre edildikten sonra ArcGIS yazılımına gönderilmiştir. ArcGIS ortamında “DENSITY” komutuyla ve yine 800 m çaplı birim referans dairesi kullanılarak drenaj yoğunluk haritası elde edilmiştir. Daha sonra üretilen bu harita IDRISI yazılımına yeniden aktarılmış, yeniden sınıflandırılmış ve “az, orta ve çok yoğun” olmak üzere 3 yoğunluk sınıfına ayrılmıştır (Şekil 6.15).

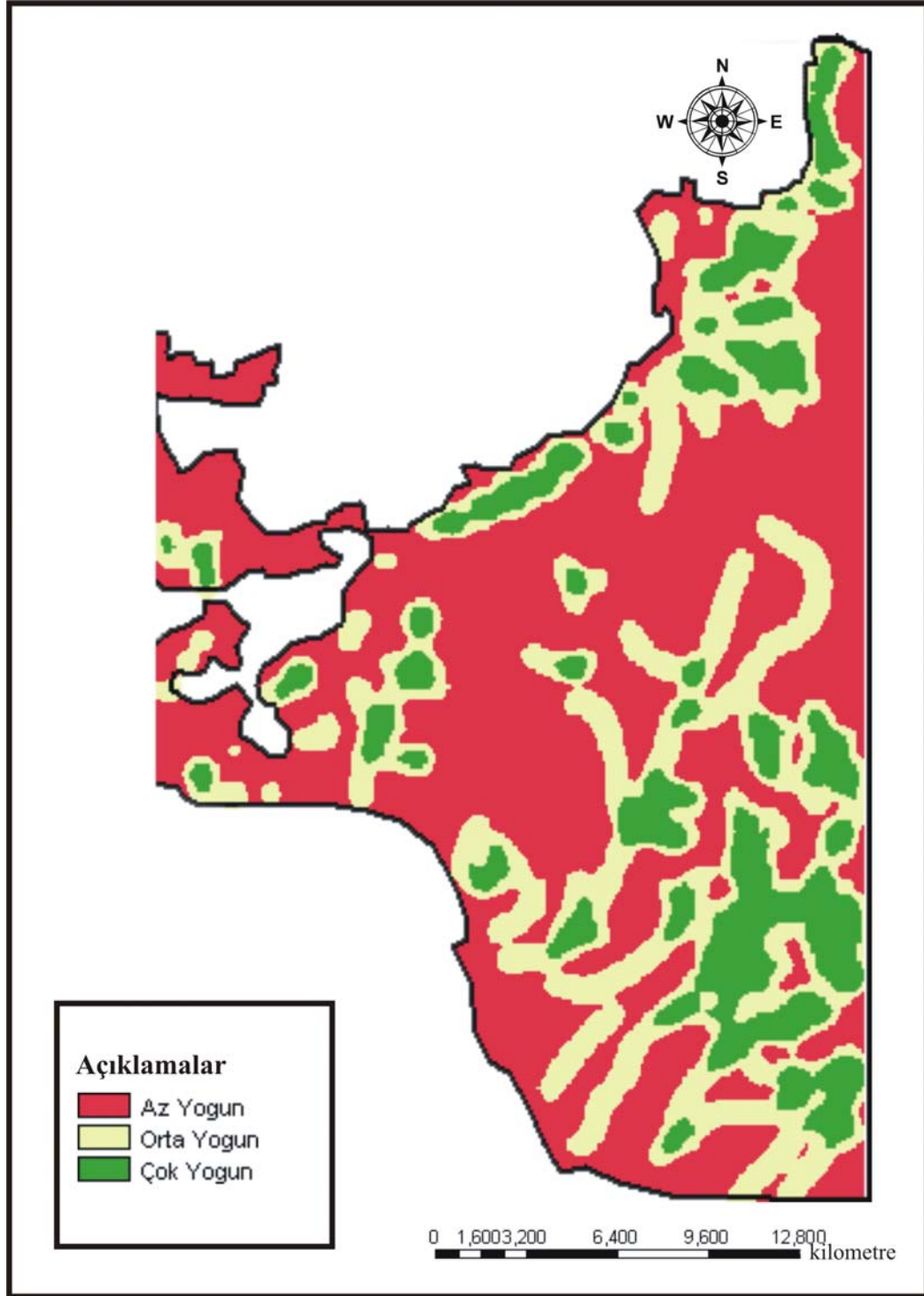


Şekil 6.13 Drenaj hatlarına uzaklık haritası.





Şekil 6.14 ArcGIS yazılımında elde edilen drenaj yoğunluk haritası.

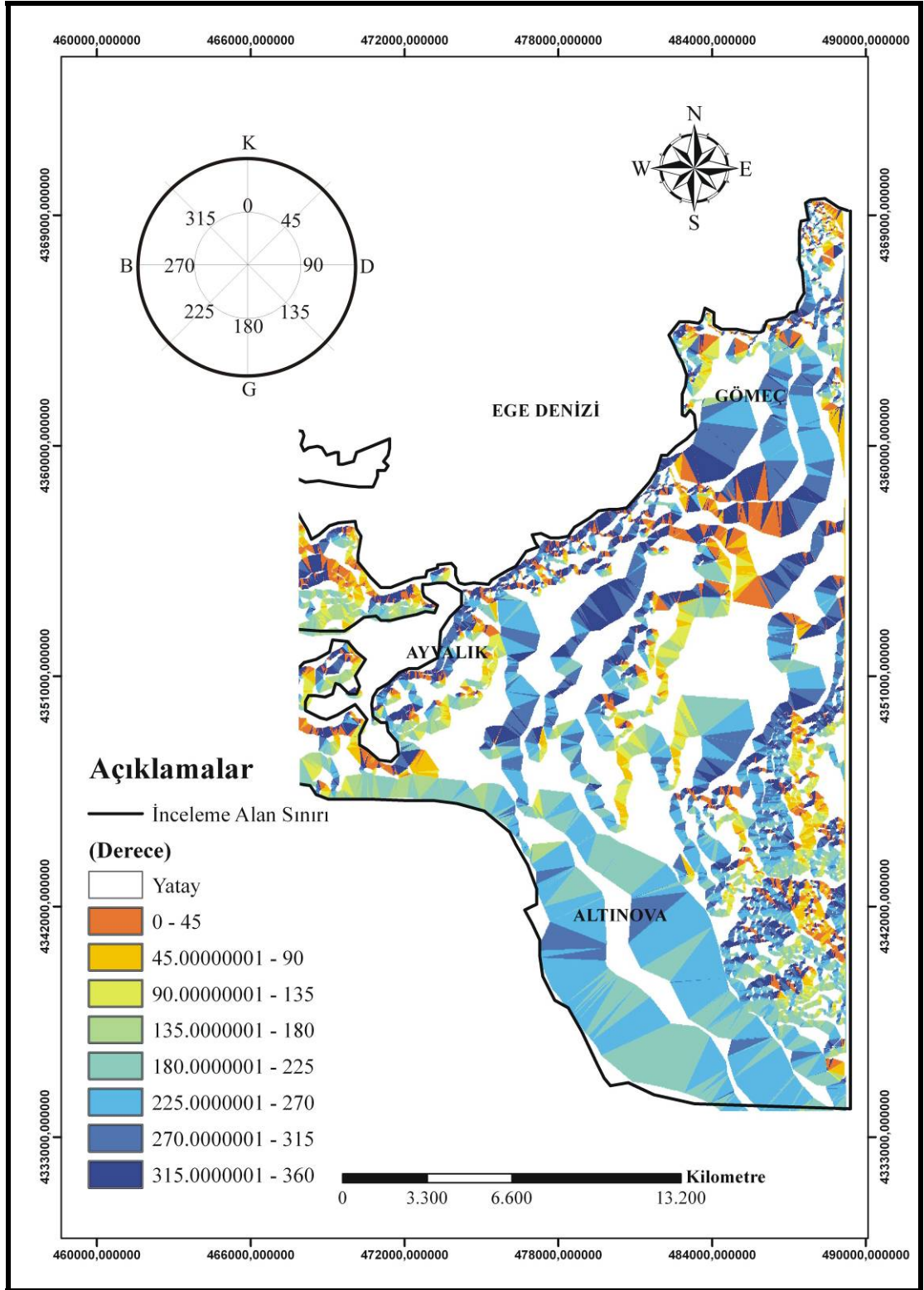


Şekil 6.15 IDRISI yazılımında yeniden sınıflandırılmış drenaj yoğunluk haritası

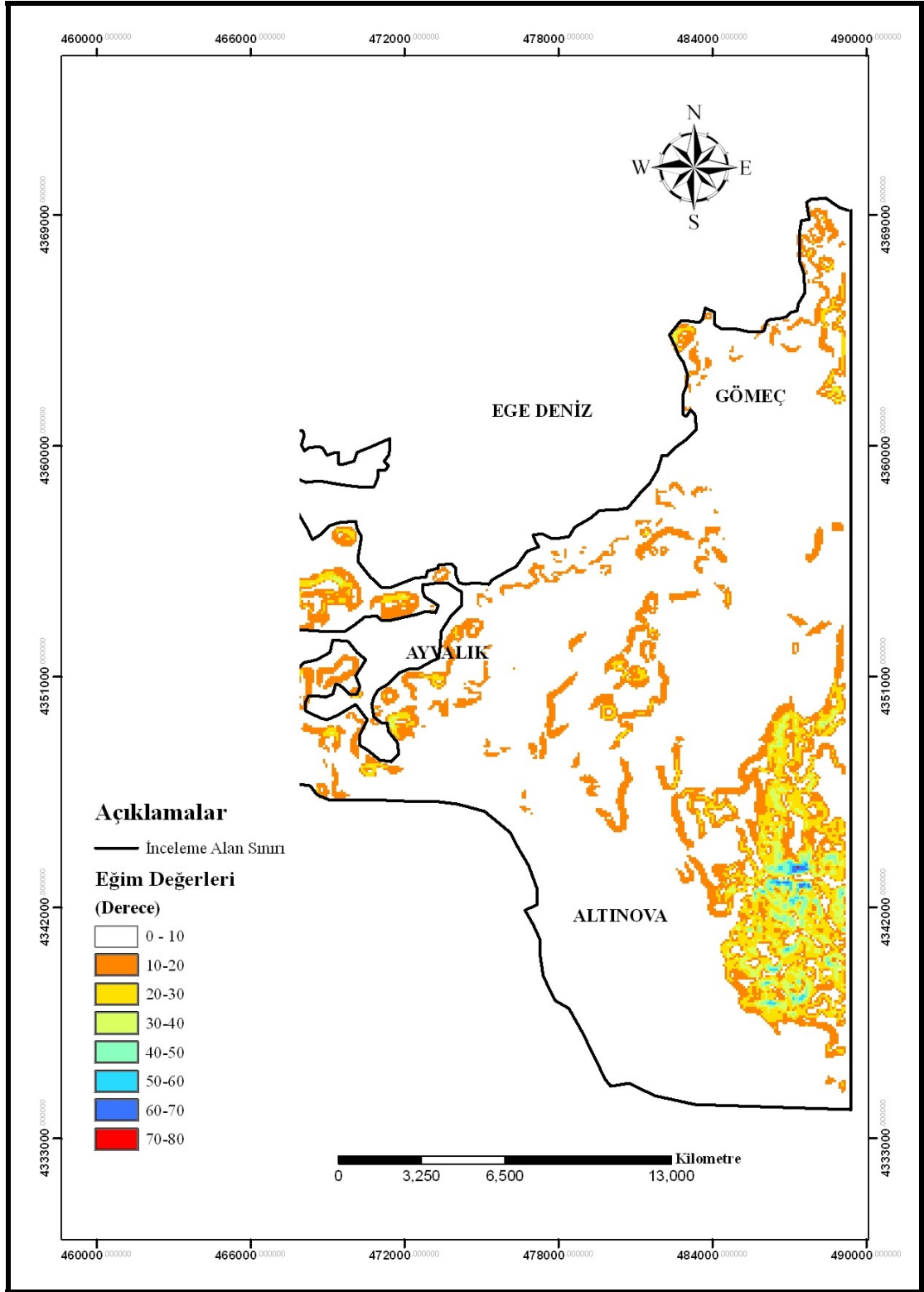
İnceleme alanına ait oluşturulan sayısal arazi modeli (DEM), aynı zamanda yamaç eğim değişimi ve yamaç yönelim değişimi (bakı) verilerinin hesaplanmasında da model oluşturmuştur. Bu değerler, erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi aşamalarında çok önemli iki veri kaynağını da oluşturmaktadır.

Yamaç yönelimi (bakı), adından da anlaşılacağı üzere yamaçların hangi coğrafi yöne doğru geliştiklerini ifade eden bir veri türüdür. Bu çalışma kapsamında üretilen yamaç yönelim haritası (Şekil 6.16), -1 ile 360 derece arasındaki bir ölçeklendirme ile yapılmıştır. Buradaki, -1 değeri tamamen yatay yüzeyleri, 0 değeri kuzeye yönelimi, diğer değerler ise kuzeyden itibaren diğer ana ve ara yönleri ifade etmektedir. Minimum değer -1, en fazla değer 360 derecedir. Ortalama 98.52 derece, standart sapma 124.07 derece olarak belirlenmiştir.

Eğim değeri, bir yüzeyin diklik durumunun bir ölçüsü olup yatay düzlemle olan açı değerinin derece olarak ifade edilmesiyle gösterilir. İnceleme alanına ait oluşturulan eğim haritası Şekil 6.17’de verilmektedir. Eğim değeri 0 ila 45 derece arasında değişmekte olup 0 derece yatay yüzeyleri, 45 derece ise yüksek eğimli yüzeyleri ifade etmekte, ara değerler yataydan itibaren olan ve pusula ile ölçülebilen diğer eğim değerlerini vermektedir.



Şekil 6.16 İnceleme alanına ait yamaç yönelim (bakı) haritası.

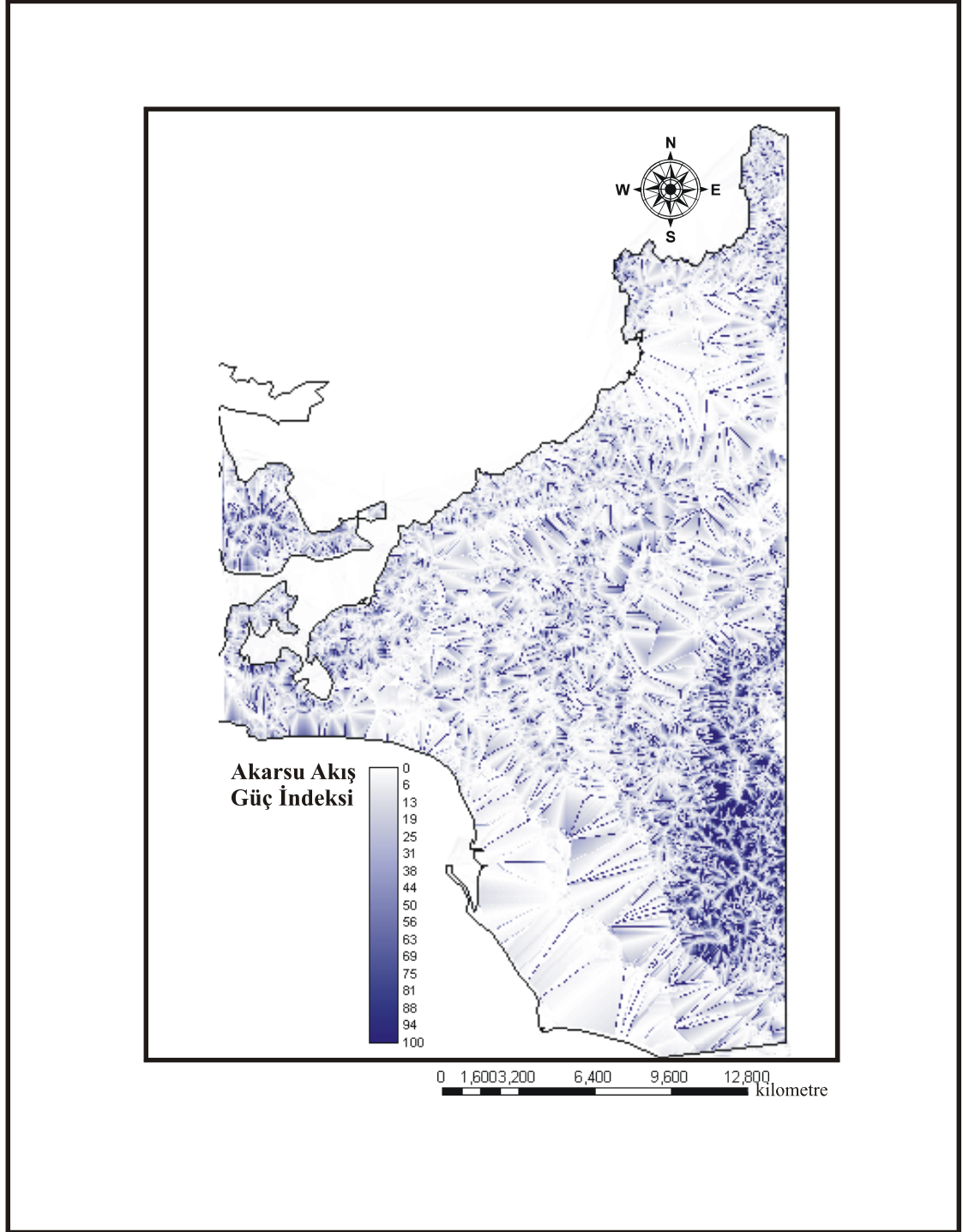


Şekil 6.17 İnceleme alanına ait eğim haritası.

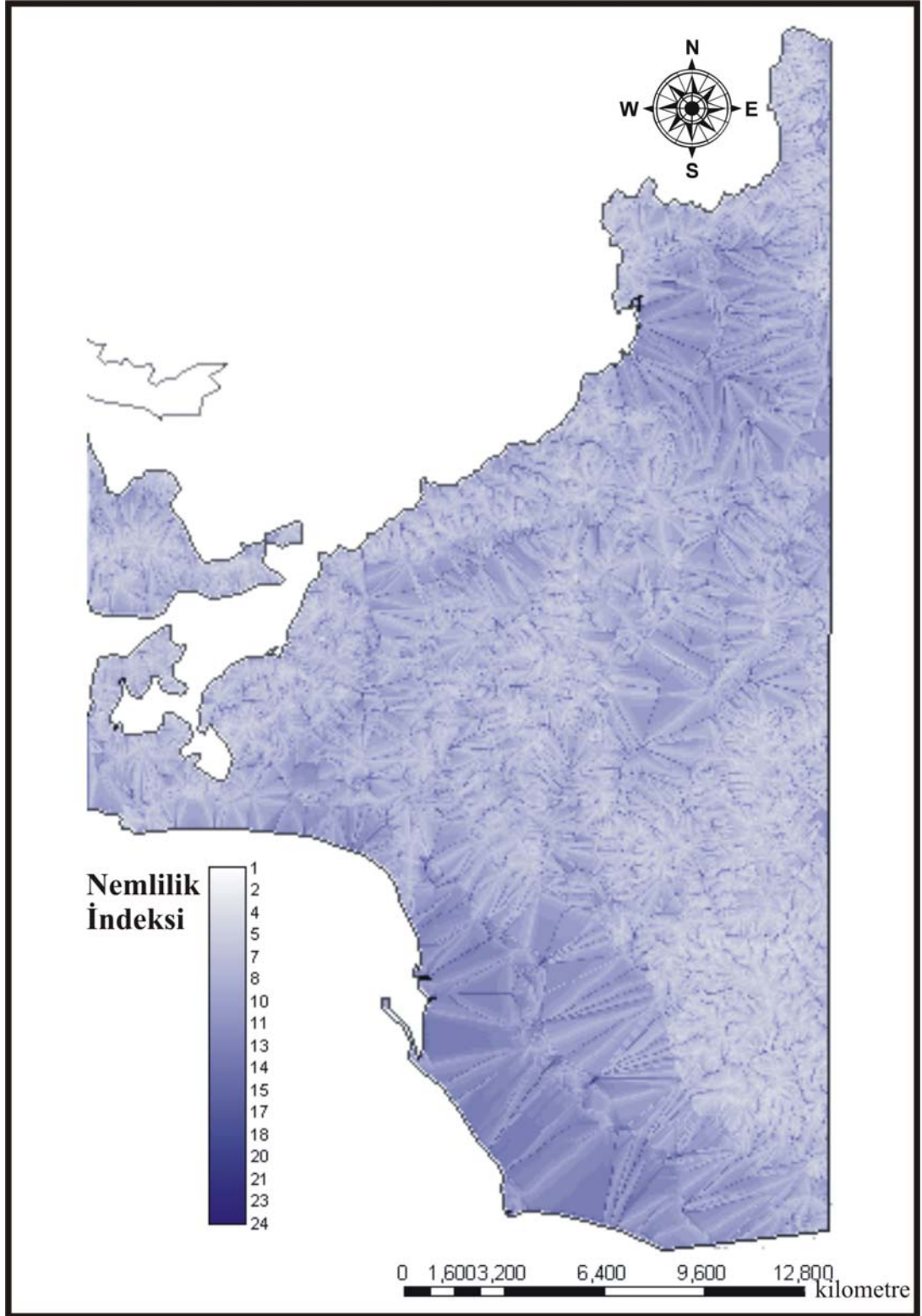
Yine sayısal arazi modeli tabanlı verilerden bir diğeri de akarsu güç indeksi (stream power index-SPI) haritasıdır (Şekil 6.18). SPI, yüzey sularının aşındırıcı etkisinin, suyun debisinin (q) spesifik havza alanına ( $A_s$ ) oranına dayandırılarak ifade edilmesidir (Moore vd., 1991) ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$SPI = A_s \times \tan\beta$$

Buradaki  $A_s$  değeri spesifik havza alanını ( $m^2/m$ ),  $\beta$  ise derece olarak eğim değerini ifade etmektedir. Bu parametre, yamaç eğimi ve drenaj alanı ilişkisini dikkate alması dolayısıyla özellikle erozyon duyarlılık değerlendirmesinde son derece önemlidir. Bunun yanısıra, heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla sıklıkla kullanılan parametreler arasında da yer almaktadır (Gökçeoğlu vd., 2005; Lee ve Min, 2001).



Şekil 6.18. İnceleme alanına ait akarsu akış güç indeksi (SPI) haritası.



Şekil 6.19 İnceleme alanına ait topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritası.



Topoğrafik nemlilik indeksi haritası (TWI) (Şekil 6.19), sayısal arazi modeli kullanılarak üretilen bir diğer topoğrafik veridir. Bu veri, beslenme alanının üst kısmını oluşturan alandan hesaplanan bir topoğrafik indeks olup, Beven ve Kirkby (1979) tarafından tanımlanmıştır. Topoğrafik nemlilik indeksi, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$TWI = \ln(A_s/\tan\beta)$$

Buradaki  $A_s$  değeri spesifik havza alanını ( $m^2/m$ ),  $\beta$  ise derece olarak eğim değerini ifade etmektedir. Bu indeks değeri de, akarsu güç indeksi değeri gibi erozyon ve heyelan oluşum sürecinin incelenmesinde önemli rol oynayan parametrelerden birisidir. Eğime bağlı olarak yamaçlardaki su muhtevasının artma ihtimalinin ve dolayısıyla suya doymun, kaymaya karşı duyarlı hale gelen zeminlerin belirlenmesinde bir değerlendirme parametresi olarak kullanılabilir. Topoğrafik nemlilik indeksinin özellikle heyelan duyarlılığı ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Gökçeoğlu vd., 2005).

### **6.3 Laboratuvar ve Arazi Ölçüm Verilerinin Girdi Veri Olarak Hazırlanması.**

Araziden alınan el örnekleri üzerinde yapılan Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (slake durability), donma-çözünme, çabuk su emme, fiziksel özellikler (kuru birim hacim ağırlığı, suya doymun birim hacim ağırlığı, su muhtevası, porozite, boşluk oranı) deney sonuçları kullanılarak noktasal interpolasyon yöntemlerinden “Karelerin Tersine (Inverse Distance)” yöntemiyle raster formatında arazi dağılım haritaları elde edilmiştir.

Noktasal veriler kullanılarak coğrafi bilgi sistemlerinde girdi veri üretimi bir çok araştırmacının kullanmış olduğu yöntemler arasında gelmektedir (Burrough ve McDonnell, 1998). Bu verilerin hazırlanması, noktasal interpolasyon yöntemine dayanmaktadır. İnterpolasyon bilindiği üzere, belirli sayıdaki nokta örneğinden sürekli bir raster yaratarak bir yüzey oluşturmak amacıyla değer tahmininde bulunulması işlemidir. Bu amaçla kullanılan bir çok interpolasyon yöntemi arasında Kriging, Inverse Distance Weighted ve Spline gelmektedir.

“Kriging” interpolasyon yöntemi, otokorelasyonu içeren istatistiksel bir yöntem olup, herhangi bir değer ölçümü yapılmamış bir lokasyonda bir değer tahmin yüzeyi oluşturmak için ölçülen noktaların çevresindeki değerlerin ağırlıklarının alınması söz konusudur. Ağırlıklar, ölçülen noktalar arasındaki uzaklıklara, tahmin lokasyonuna ve ölçülen noktalar arasındaki diğer tür konumsal uyuşmalara bağlıdır (ESRI, 2002).

“Inverse” distance weighted yönteminde bilinmeyen değerler, değeri bilinen nokta verinin karşılık geldiği her bir hücrenin ortalamasının alınmasıyla tahmin edilmektedir. Nokta, tahmin edilen hücrenin merkezine ne kadar yakınsa etkisi de o kadar fazla olmakta veya ortalama alma işleminde ağırlığı o kadar etkin olmaktadır (Burrough ve McDonnell, 1998).

“Spline” yönteminde hücre değerleri, bir matematiksel fonksiyon kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu fonksiyon, tüm yüzey eğriliklerini minimize eden bir algoritmaya sahiptir. Düzgün yüzeylerin oluşmasıyla tüm girdi (input) noktalarından yüzeyin düzgün bir şekilde geçmesine imkan tanır.

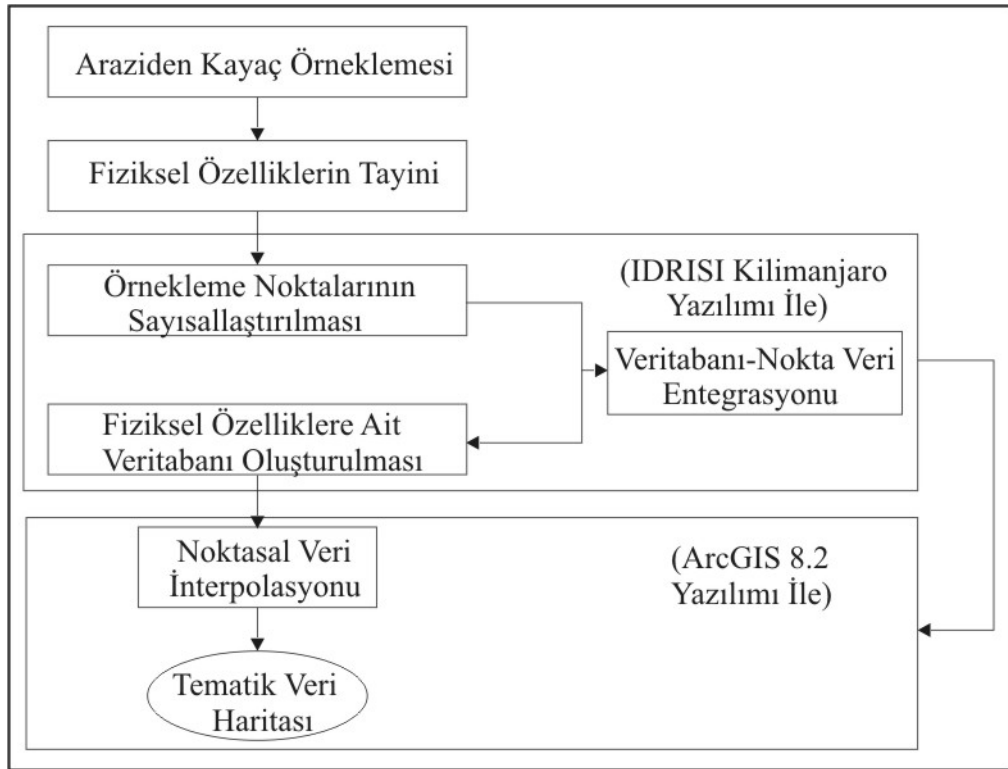
### ***6.3.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi ve Harita Formatına Dönüştürülmesi***

İnceleme alanında yüzeylenen kayalardan alınan el örnekleri kullanılarak bu örneklerden kayaların kuru ve doymuş birim hacim hacim ağırlıkları, su muhtevaları, porozite ve boşluk oranı değerleri belirlenmiştir, bulunan fiziksel özellikler ile elde edilen erozyon duyarlılık değerlerinin karşılaştırılması ve aralarında nasıl bir sayısal ilişki olduğunun incelenmesi hedeflenmiştir.

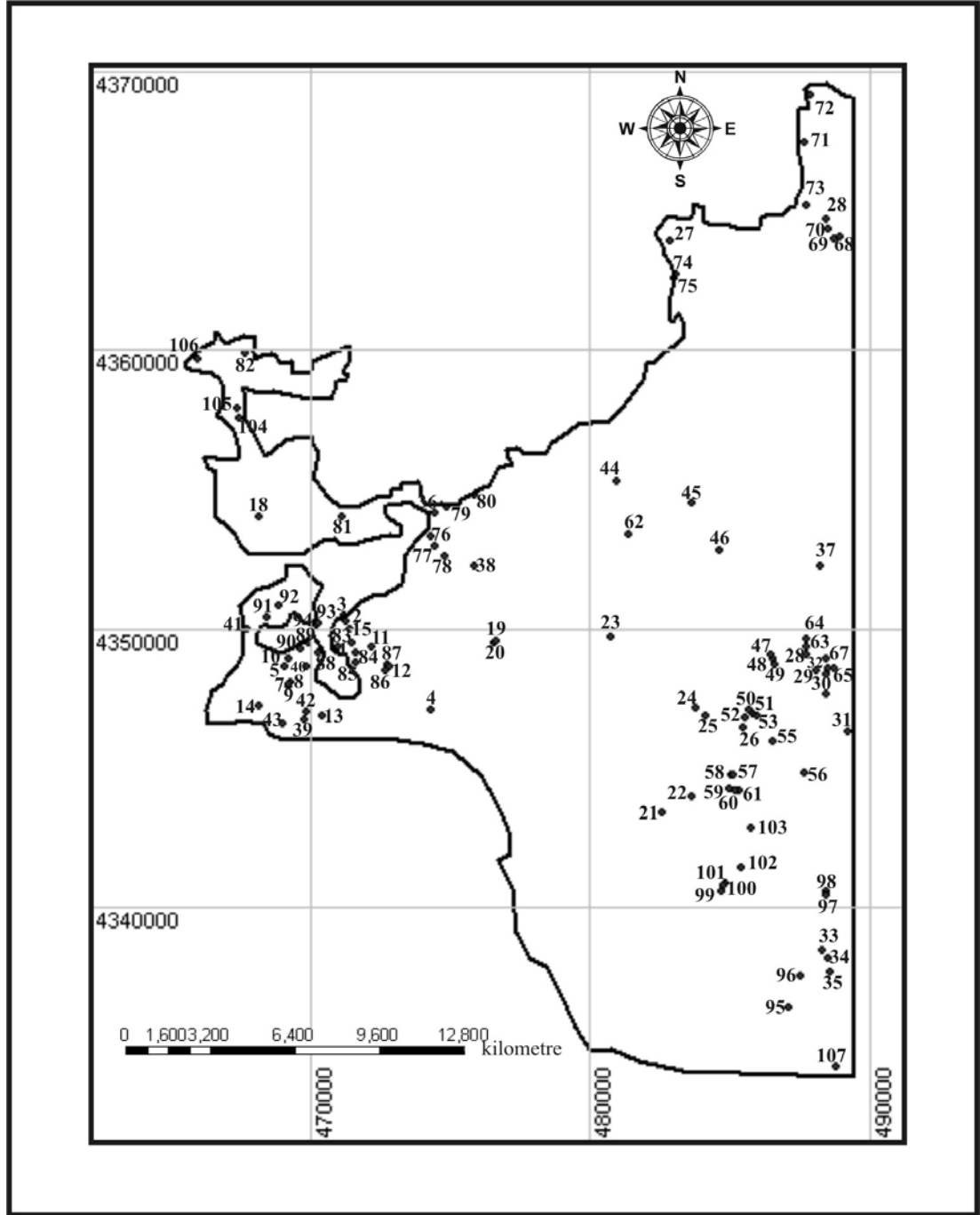
Fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla 107 noktadan alınan 130 el örneği üzerinde deneyler yapılmıştır. Birim hacim ağırlıklarının ve porozite ve boşluk oranı değerlerinin belirlenmesinde TS 699 standartları kullanılmıştır. Bazı örnekleme noktalarının birbirine çok yakın olması nedeniyle elde edilen deney sonuçlarının ortalama değerleri 98 örnekleme noktasına göre yeniden düzenlenmiş ve bulunan fiziksel özellikler, suda dayanım, çabuk su emme ve donma-çözünme deney sonuçlarıyla birlikte IDRISI yazılımı kullanılarak Microsoft Access® veri tabanı

formatında bir veri tabanı verisi haline dönüştürülmüştür (Tablo 6.2). Elde edilen bu veri tabanı, örnekleme noktalarını gösteren ve nokta veri (Şekil 6.21) olarak sayısallaştırılan örnekleme nokta verisi ile birleştirilmiş ve her iki veri seti de akıllı veri haline dönüştürülmüştür. Daha sonra veri tabanı bilgisine sahip nokta veriler Idrisi yazılımından ArcGIS yazılımına “shape file” olarak yollanmış ve ArcGIS ortamında açılan veri “Spatial Analyst” uzantı yazılımı üzerinde noktasal interpolasyon yöntemine göre yüzey veri haline dönüştürülmüştür. Bu işlem, yukarıda da bahsedildiği üzere “Karelerin Tersi” yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda anlatılan bu işlem adımlarına ait bir akım şeması Şekil 6.20 de verilmiştir.



Şekil 6.20 Laboratuvar verilerinden harita formatında veri üretilmesine ait işlem adımları.



Şekil 6.21 Araziden örnekleme yapılan lokasyonlara ait nokta veri olarak sayısallaştırılmış 98 örnekleme nokta verisi.

Tablo 6.2 Laboratuvar deney sonuçlarına ilişkin oluşturulan verilerin derlenmiş olduğu veri tabanı tablosu. ( $\gamma_n$ : Doğal birim hacim ağırlık,  $\gamma_{sa}$ : Doygun birim hacim ağırlık,  $\gamma_d$ : Kuru biri hacim ağırlık, e: boşluk oranı, n: porozite,  $\omega$ : su muhteası,  $Id_{1-4}$ : 1. çevrimden 4. çevrime kadar Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık indeksi, IQat: Çabuk su emme indeksi değerlerini ifade etmektedir.)

Örnek No	$\gamma_n$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sa}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	e.100 (%)	n.100 (%)	W.100 (%)	$Id_1$ (%)	$Id_2$ (%)	$Id_3$ (%)	$Id_4$ (%)	IQat (%)	Don Kaybı (%)	Türü
8	1.87	2.01	1.82	0.24	0.19	0.1	94.12	93.12	89.82	85.53	9.1	100	Andezit
10	2.19	2.24	2.12	0.15	0.13	0.06	92.65	88.76	82.65	72.93	3.8	100	Andezit
13	2.16	2.31	2.12	0.23	0.19	0.08	93.18	92.9	87.92	82.6	2.1	5.49	Andezit
26	2.44	2.46	2.42	0.04	0.04	0.01	98.27	97.66	96.61	95.26	1.2	100	Andezit
29	2.13	2.25	2.1	0.17	0.14	0.07	98.23	97.24	94.41	91.35	2	8.25	Andezit
31	2.66	2.66	2.65	0.01	0.01	0.004	98.93	98.93	98.67	98.67	0.8	0.23	Andezit
34	2.44	2.47	2.42	0.05	0.05	0.02	96.89	96.08	92.91	89.75	1.3	1.86	Andezit
40	2.32	2.36	2.31	0.053	0.05	0.02	98.38	97.94	95.91	93.53	1.1	100	Andezit
41	2.15	2.21	2.13	0.07	0.07	0.03	95.81	95.23	93.1	90.24	3.8	4.46	Andezit
43	2.54	2.55	2.53	0.02	0.02	0.007	99.09	98.83	98.14	97.46	0.4	0.47	Andezit
47	1.95	2.16	1.92	0.33	0.25	0.12	89.23	83.09	75.05	63.39	8.7	2.57	Andezit
53	2.19	2.33	2.16	0.2	0.17	0.07	86.27	84.33	79.02	67.64	5.5	16.78	Andezit
55	2.11	2.19	2.1	0.1	0.09	0.045	98.04	97.43	94.84	91.09	3.5	1.74	Andezit
56	2.22	2.33	2.21	0.13	0.12	0.054	98.95	98.44	97.7	96.57	2.7	100	Andezit
57	2.1	2.2	2.12	0.07	0.06	0.032	93.62	92.48	87.68	82.5	3.8	100	Andezit
59	2.44	2.48	2.43	0.058	0.05	0.022	97.91	97.42	94.98	92.19	1.3	100	Andezit
64	2.18	2.32	2.17	0.16	0.13	0.06	96.85	95.76	94.16	92.55	4.5	4.09	Andezit
66	2.42	2.48	2.41	0.09	0.06	0.02	98.14	97.6	96.31	94.36	2.6	3.45	Andezit
75	2.53	2.56	2.53	0.03	0.04	0.014	70.13	48.48	31.79	7.76	7.5	1.15	Andezit
82	2.6	2.64	2.59	0.05	0.04	0.018	98.42	97.91	96.63	95.14	1.5	2.09	Andezit
86	2.22	2.36	2.21	0.07	0.28	0.01	99.7	99.28	98.35	97.43	1	100	Andezit
89	1.85	2	1.81	0.1	0.18	0.1	92.04	90.41	89.23	87.09	1.7	2.42	Andezit
90	2.32	2.36	2.28	0.03	0.07	0.03	95.12	94.84	91.75	88.66	2.2	3.16	Andezit
92	2.35	2.46	2.35	0.04	0.11	0.049	98.8	98.22	97.18	95.79	2.7	0.83	Andezit
95	1.77	1.93	1.72	0.11	0.19	0.11	95.45	94.32	89.83	83.97	8	10.25	Andezit

Tablo 6.1'in devamı.

Örnek No	$\gamma_n$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sa}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	e.100 (%)	n.100 (%)	W.100 (%)	Id <sub>1</sub> (%)	Id <sub>2</sub> (%)	Id <sub>3</sub> (%)	Id <sub>4</sub> (%)	IQat (%)	Don Kaybı (%)	Türü
96	2.41	2.49	2.4	0.03	0.08	0.03	98.06	97.78	96.63	95.1	1.9	1.82	Andezit
103	2.35	2.41	2.34	0.03	0.07	0.03	90.97	87.42	71.16	51.43	2.3	100	Andezit
98	2.18	2.26	2.14	0.05	0.11	0.05	90.58	84.38	75.49	56.29	2.5	3.03	Andezit
99	2.1	2.21	2.06	0.06	0.14	0.06	97.76	96.46	92.18	87.14	2.8	100	Andezit
101	2.36	2.4	2.35	0.02	0.04	0.02	96.19	94	90.16	85.58	2.4	100	Andezit
106	2.55	2.55	2.54	0.02	0.05	0.03	98.04	97.26	94.06	90.2	2.2	2.05	Andezit
107	1.75	1.9	1.74	0.1	0.16	0.11	95.36	94.3	89.75	83.45	6.5	9.37	Andezit
12	2.49	2.51	2.48	0.02	0.02	0.009	98.07	92.02	91.21	90.19	0.3	2.03	Bazalt
19	2.25	2.35	2.24	0.12	0.11	0.05	94.3	92.38	91.57	90.55	2.4	22.35	Bazalt
22	2.67	2.68	2.65	0.028	0.04	0.018	97.64	95.97	91.23	86.09	1.2	1.77	Bazalt
33	2.43	2.44	2.42	0.02	0.02	0.01	97.73	97.12	95.17	93.22	0.8	100	Bazalt
38	2.17	2.42	2.16	0.086	0.07	0.04	98.24	97.48	96.2	94.37	2	1.61	Bazalt
50	2.46	2.51	2.45	0.06	0.05	0.02	98.2	97.58	95.05	92.15	1.4	1.45	Bazalt
51	2.61	2.62	2.6	0.01	0.01	0.006	99.05	98.86	97.99	97.11	0.2	0.51	Bazalt
52	2.62	2.63	2.62	0.006	0.006	0.002	99.45	99.34	98.64	97.95	0.2	100	Bazalt
54	2.48	2.51	2.47	0.03	0.03	0.012	95.43	91.89	87.96	83.15	1	0.85	Bazalt
74	2.33	2.42	2.33	0.09	0.08	0.036	97.96	97.49	93.77	87.67	1.5	100	Bazalt
76	2.58	2.6	2.58	0.02	0.03	0.012	98.59	98.07	97.32	96.19	0.2	3.55	Bazalt
77	2.33	2.39	2.32	0.07	0.07	0.03	97.23	96.5	93.85	88.81	0.8	100	Bazalt
81	2.61	2.63	2.61	0.02	0.02	0.008	99.37	98.95	98.45	97.16	0.7	0.38	Bazalt
91	2.14	2.27	2.13	0.06	0.14	0.06	95.08	93.13	86	77.87	6	100	Bazalt
97	2.12	2.2	2.1	0.04	0.09	0.04	96.65	95.67	92.22	88.41	3.5	1.87	Bazalt
102	2.42	2.46	2.4	0.02	0.06	0.02	97.77	97.1	95.22	93.23	0.8	1.81	Bazalt
5	2.35	2.36	2.34	0.01	0.017	0.007	96.87	96.38	94.53	92.69	0.8	1.76	Dasit
21	2.32	2.43	2.31	0.14	0.12	0.05	97.73	96.91	95.65	93.83	4.9	100	Kireçtaşı
27	2.47	2.48	2.47	0.01	0.01	0.004	99.56	99.42	98.8	98.18	0.3	0.11	Kireçtaşı
44	1.6	1.98	1.57	0.69	0.4	0.26	83.67	76.42	69.54	58.9	16	31.53	Kireçtaşı
62	1.81	2.08	1.73	0.53	0.34	0.2	99.74	99.63	99.22	98.6	0.2	1.02	Kireçtaşı

Tablo 6.1'in devamı.

Örnek No	$\gamma_n$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sa}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	e.100 (%)	n.100 (%)	W.100 (%)	Id <sub>1</sub> (%)	Id <sub>2</sub> (%)	Id <sub>3</sub> (%)	Id <sub>4</sub> (%)	IQat (%)	Don Kaybı (%)	Türü
72	2.08	2.24	2.06	0.21	0.17	0.08	96.22	94.06	86.69	78.17	6.4	3.19	Kireçtaşı
73	2.59	2.62	2.59	0.016	0.02	0.009	98.94	87.8	83.8	78.09	7.7	100	Kireçtaşı
85	2.21	2.24	2.21	0.03	0.04	0.02	97.15	96.73	91.84	86.58	5.3	11.16	Kumtaşı
45	2.34	2.45	2.33	0.13	0.11	0.05	98.11	97.34	96.03	94.06	2.2	1.64	Marn
46	2.23	2.41	2.22	0.23	0.19	0.08	98.35	97.75	96.31	94.87	6	2.12	Marn
61	2.21	2.3	2.18	0.12	0.11	0.05	97.39	89.54	86.29	82.35	1.8	100	Marn
71	1.52	1.82	1.5	0.46	0.31	0.2	96.31	95.12	77.07	56.85	15	3.15	Marn
23	2.25	2.3	2.24	0.061	0.05	0.02	98.61	98.03	97.11	96.18	1	7.69	Metamorfik
68	2.15	2.34	2.15	0.24	0.19	0.09	97.51	96.3	94.46	90.71	6.8	2.48	Metamorfik
70	2.28	2.39	2.27	0.13	0.11	0.05	98.86	94.91	93.34	90.15	3.4	2.13	Metamorfik
36	2.57	2.58	2.57	0.009	0.009	0.004	98.99	98.91	98.25	97.59	0.3	0.62	Riyodasit
48	2.06	2.22	2.04	0.21	0.18	0.08	96.76	95.7	93.61	90.44	3.3	100	Riyodasit
58	2.28	2.37	2.25	0.14	0.12	0.06	83.19	78.89	71.56	61.62	4.5	100	Riyodasit
1	1.34	1.72	1.33	0.63	0.35	0.28	97.02	96.19	93.18	89.62	11.6	100	Tüf
2	1.68	1.98	1.66	0.47	0.32	0.19	92.59	90.56	85.42	78.9	7.6	100	Tüf
3	1.76	1.99	1.7	0.4	0.28	0.16	43.6	28.69	17.48	0	12.3	100	Tüf
4	1.7	2.02	1.67	0.54	0.35	0.21	93.89	90.54	87.73	80.72	8.1	1.34	Tüf
6	1.88	2.09	1.87	0.28	0.22	0.11	98.34	97.87	87.39	76.92	7.8	100	Tüf
7	1.41	1.6	1.35	0.32	0.24	0.18	92.08	88.84	84.62	79.15	10.3	100	Tüf
9	1.38	1.51	1.36	0.16	0.14	0.1	97.8	95.07	89.17	83.92	4.5	100	Tüf
11	2.2	2.22	2.14	0.26	0.2	0.12	98.02	96.23	94.41	91.48	5.3	100	Tüf
14	1.75	1.94	1.7	0.31	0.24	0.14	97.54	96.75	93.99	90.87	8.4	100	Tüf
15	2.04	2.17	2	0.21	0.21	0.13	97.46	96.73	93.89	91.06	5.2	18.32	Tüf
18	2.58	2.59	2.58	0.006	0.006	0.002	99.63	99.52	99.27	99.03	0.4	0.08	Tüf
25	2.41	2.49	2.4	0.1	0.09	0.04	94.71	93.4	91	86.99	2.6	100	Tüf
28	2.2	2.35	2.19	0.18	0.15	0.07	86.8	79.26	71.17	55.59	2.8	3.85	Tüf
30	2.35	2.8	2.33	0.06	0.05	0.03	97.95	95.65	91.82	86.65	6	100	Tüf
35	2.24	2.36	2.19	0.19	0.16	0.07	62.13	49.6	44.09	32.16	5.2	100	Tüf

Tablo 6.1'in devamı.

Örnek No	$\gamma_n$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sa}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	e.100 (%)	n.100 (%)	W.100 (%)	Id <sub>1</sub> (%)	Id <sub>2</sub> (%)	Id <sub>3</sub> (%)	Id <sub>4</sub> (%)	IQat (%)	Don Kaybı (%)	Türü
37	2.17	2.26	2.15	0.11	0.1	0.04	95.6	94.65	91.27	87.5	2.7	3.41	Tüf
49	2.24	2.35	2.32	0.14	0.12	0.05	97.2	96.33	93.99	90.96	3	5.45	Tüf
63	2	2.2	1.96	0.32	0.24	0.12	67.43	53.41	43.38	24	7.6	100	Tüf
65	2.13	2.24	2.1	0.18	0.15	0.07	93.9	92.33	89.06	84.64	4	4.1	Tüf
67	1.97	2.1	1.96	0.16	0.14	0.07	91.25	86.66	80.86	71.6	7.3	3.02	Tüf
69	2.28	2.34	2.27	0.07	0.06	0.02	99.42	98.97	97.27	95.32	6.5	100	Tüf
78	1.56	1.73	1.54	0.23	0.19	0.12	95.34	94.87	91.72	88.26	6.6	100	Tüf
79	1.52	1.77	1.47	0.42	0.28	0.2	91.91	89.18	85.64	80.79	10.7	18.41	Tüf
80	2.02	2.11	2	0.12	0.1	0.06	92.62	88.83	82.61	74.1	5.8	2.91	Tüf
83	1.64	1.92	1.61	0.44	0.3	0.18	91.68	85.92	80.47	72.55	14.3	100	Tüf
84	1.82	1.98	1.81	0.21	0.16	0.09	96.39	95.42	92.71	86.89	5.5	100	Tüf
88	1.58	1.91	1.56	0.22	0.34	0.22	97.27	95.61	89.83	83.33	13.3	100	Tüf
93	1.86	2.09	1.82	0.14	0.27	0.14	91.81	87.23	81.9	73.22	9.9	100	Tüf
94	1.78	2.02	1.67	0.21	0.35	0.21	86.86	81.62	74.98	65.85	7.8	18.04	Tüf
100	1.68	1.81	1.63	0.1	0.17	0.12	90.92	88.51	79.6	67.7	5.5	100	Tüf
104	2.35	2.4	2.34	0.02	0.05	0.02	99.55	99.39	99.16	98.93	0.2	0.51	Tüf
105	2.1	2.15	2.08	0.06	0.1	0.004	96.31	95.62	93.5	91.46	1.9	2.31	Tüf



### 6.3.1.1 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi'nin Belirlenmesi

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi (slake durability), ilk kez Franklin ve Chandra (1972) tarafından, çamurtaşlarının kısa süreli ıslanma-kuruma şeklindeki fiziksel etkilerle parçalanma durumunu belirlemek amacıyla geliştirilmiş ve 1979 yılında ISRM tarafından standart hale getirilmiştir. Bu deney, Lee ve Freitas (1988) tarafından değiştirilerek yeniden düzenlenmiştir. Genellikle bozunmuş, kil içeren ve zayıf kayalar için uygulanan indeks deneylerden biri olan Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık deneyi standart iki ıslanma-kuruma devrine tabi tutulan kaya örneklerinin suda dağılmaya karşı göstermiş olduğu direncin belirlenmesine yöneliktir. Bu deney, kayaların mühendislik zamanda ayrışabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanıldığı gibi, bozunmuş kayaların tanımlanması ve sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır (Ceryan, 1998; Gökçeoğlu vd., 2000; Czerewko ve Cripps, 2001; Gupta ve Rao, 2001, Singh vd., 2005).

Bu çalışma kapsamında, inceleme alanı içerisinde yüzeyleyen kaya örneklerinden alınan örnekler üzerinde ISRM (1979) tarafından önerilen temel standartlar kullanılarak Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık deneyleri yapılmasına karşın, deney önerildiği üzere 2 çevrim olarak değil, 4 çevrim olarak gerçekleştirilmiştir. Gamble (1971) ve Brown (1981), üçüncü ve daha üst çevrim sayılarından sonra elde edilen Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeks değerlerinin yüksek dayanım gösteren kayalar için daha anlamlı değerler ifade ettiğini belirtmiştir. Taylor (1988) ise; çamurtaşları için üç çevrimlik bir deneyin önerilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Id olarak ifade edilen 4 çevrime ait sonuçlar Tablo 6.2'deki veritabanı tablosunda verilmiştir. Bu deneye ilişkin ve bozunma ile Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık değerlerinin ilişkilendirilmesi ileride ilgili bölümde verilecektir. Her bir deney sonucunda elde edilen veriler yukarıda anlatıldığı üzere noktasal interpolasyon yöntemiyle sürekli yüzey haline getirilmiş ve Şekil 6.28'den 6.31'e kadar aşağıdaki dağılım haritaları elde edilmiştir. Şekil 6.32'de, herbir çevrim sonucuna ait frekans değerleri verilmiştir. Bu grafiklere bakıldığında, çevrim sayısı arttıkça Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık indeksi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu da,

yüksek dayanımlı kayaların ayrışabilirliklerinin değerlendirmesinde önemli bir parametre olarak görülmektedir.

### 6.3.1.2 Donma-Çözünme Sonrası Kayıp

Donma-çözünme, fiziksel parçalanmanın ve dolayısıyla bozunma ve beraberinde erozyon sürecini geliştiren önemli etmenlerin başında gelmektedir. Donma-çözünme sonrası kayalarda meydana fiziksel parçalanma (disintegrasyon), kayanın toplam ağırlığında ve hacminde de bir azalmaya sebep olacaktır. Doğadaki bu sürecin laboratuvar ortamında incelenmesi don sonrası ağırlık kaybı olarak isimlendirilen deney yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Don sonrası ağırlık kaybının bulunması amacıyla iki tür yöntem kullanılmaktadır. Birincisi tabii don deneyi olarak da isimlendirilen, kayaların belirli bir periyotta derin dondurucu ortamında saklanması, çıkarılması, suda bekletilmesi, tekrar dondurulması ve devamı şeklinde gerçekleştirilen deneydir. Diğeri ise sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen çabuklaştırılmış don deneyi olarak bilinmektedir. Çabuk don deneyinde, hazırlanan çözelti içerisine bırakılan porozitesi yüksek gözenekli kayalardan boşlukların içerisine giren çözeltilerden arta kalan kristallenmiş ve çökelmiş sodyum sülfat ya da magnezyum sülfatı temizlemek daha zor olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, kayaların doğal donma-çözünme süreçlerinin elde edilmesinde bir olumsuzluk olarak düşünülebilir (A.B. Yavuz -sözlü görüşme, 2005). Söz konusu sebepten dolayı bu çalışmada, TS 699 (T.S.E, 1987) standartlarına göre tabii don kaybı deneyinin uygulanması uygun görülmüştür.

Bu deney için araziden alınan her biri 200-400 gr ağırlığındaki el örnekleri kullanılmıştır. Deney numuneleri önce değişmez kütleye erişinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden alınan numuneler oda sıcaklığına erişinceye kadar bekletilmiş ve ardından kuru ağırlıkları tartılmıştır ( $G_0$ ). Kurutulmuş numuneler 48 saat suda bekletilerek doymun hale getirilmiş, doymun haldeki numuneler derin dondurucuya konulmuştur. Buradaki numuneler 4 saat süreyle  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilmiş ve bu sürenin sonunda derin dondurucudan çıkartılarak  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki su içerisine konulmuştur ve burada 2 saat süre ile bekletilmiştir. Su içerisinde buzları

eriyen numuneler tekrar derin dondurucuya konularak aynı işlem 25 periyot olarak tekrarlanmıştır. 25 periyodun sonunda numuneler  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta değişmek kütleye ulaşınca kurutulmuş ve kurutulan numuneler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra tartılmıştır ( $G_k$ ). Don sonrası ağırlık kaybı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_k = \frac{G_0 - G_k}{G_0}$$

Burada;

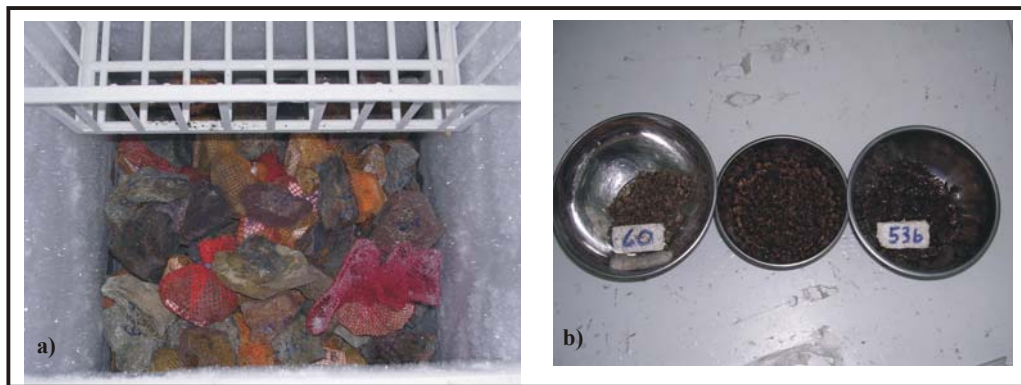
$D_k$ : (%) Ağırlık sonrası don kaybı

$G_0$ : Deney öncesi kaya numunesinin ağırlığı (gr)

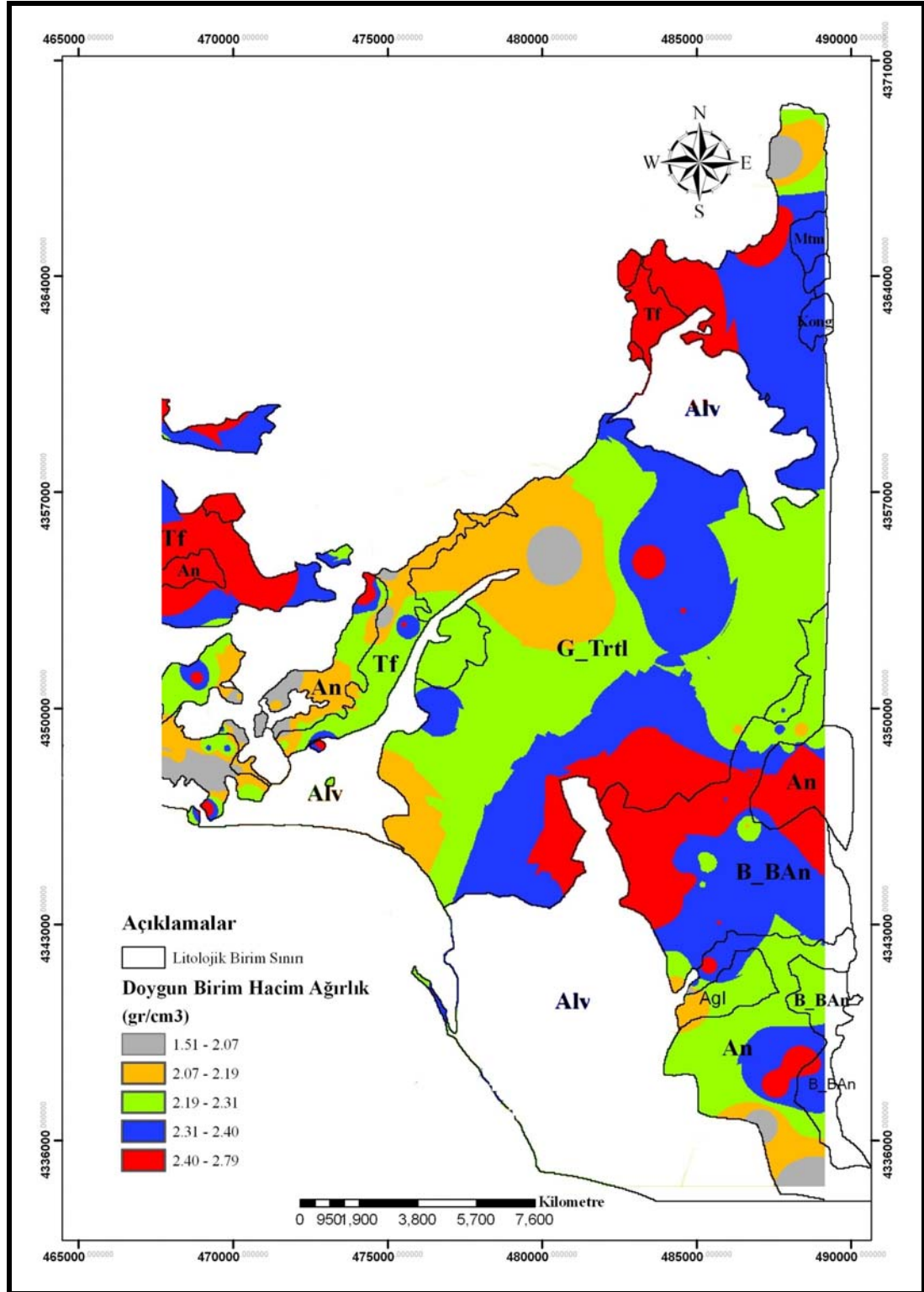
$G_k$ : Deney sonrası kaya numunesinin ağırlığı (gr)

Deney sonucu elde edilen değerler Tablo 6.1 de verilmiştir. Bu değerlerden don kaybı %100 olarak belirlenen numulardan bazıları deney sonrası tanımlamaz duruma geldiklerinden dolayı kayıp %100 olarak kabul edilmiştir (Şekil 6.22).

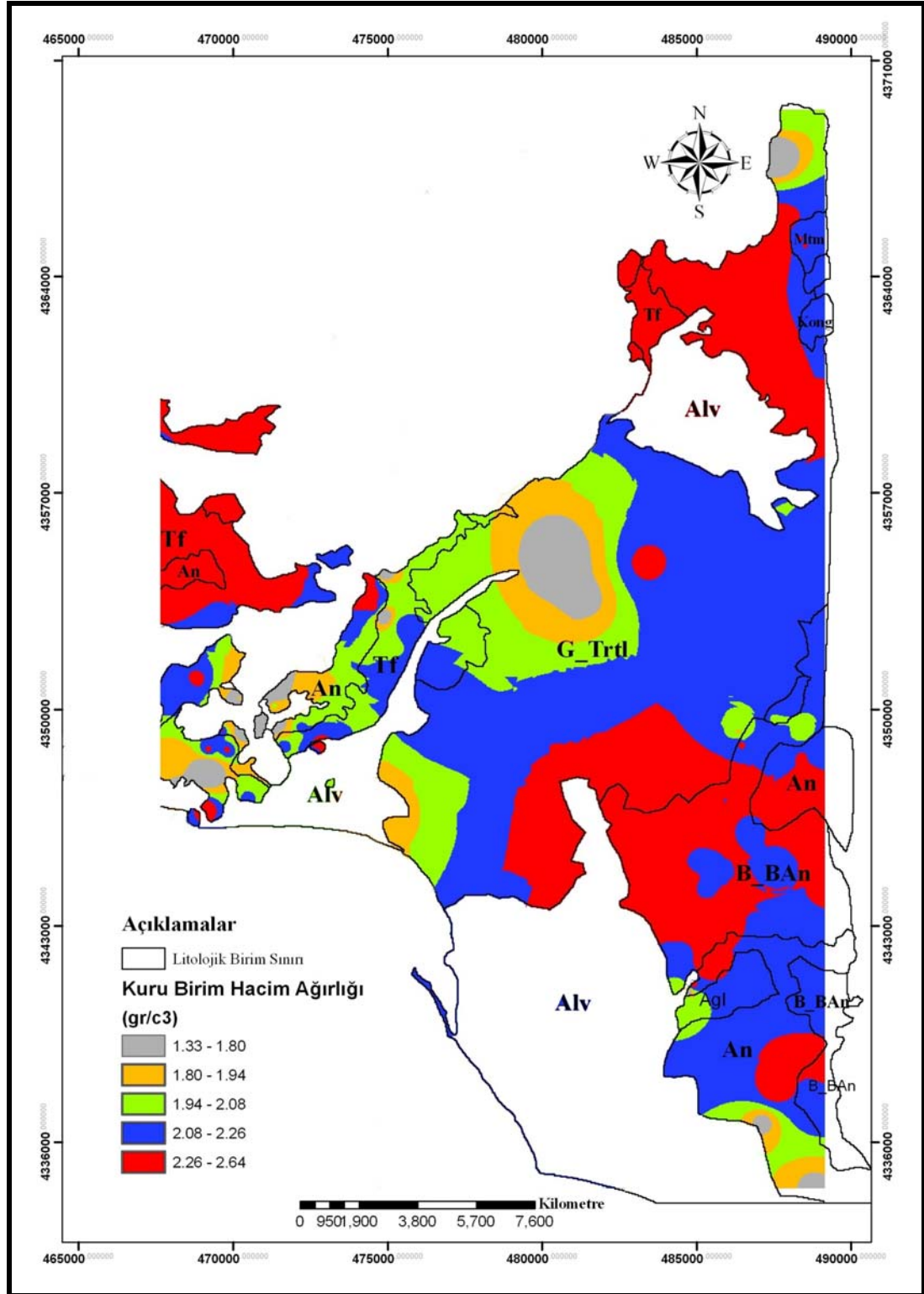
Elde edilen değerler, ArcGIS ortamında noktasal interpolasyon yöntemiyle raster yüzey verisi biçiminde harita formatına dönüştürülmüştür (Şekil 6.33).



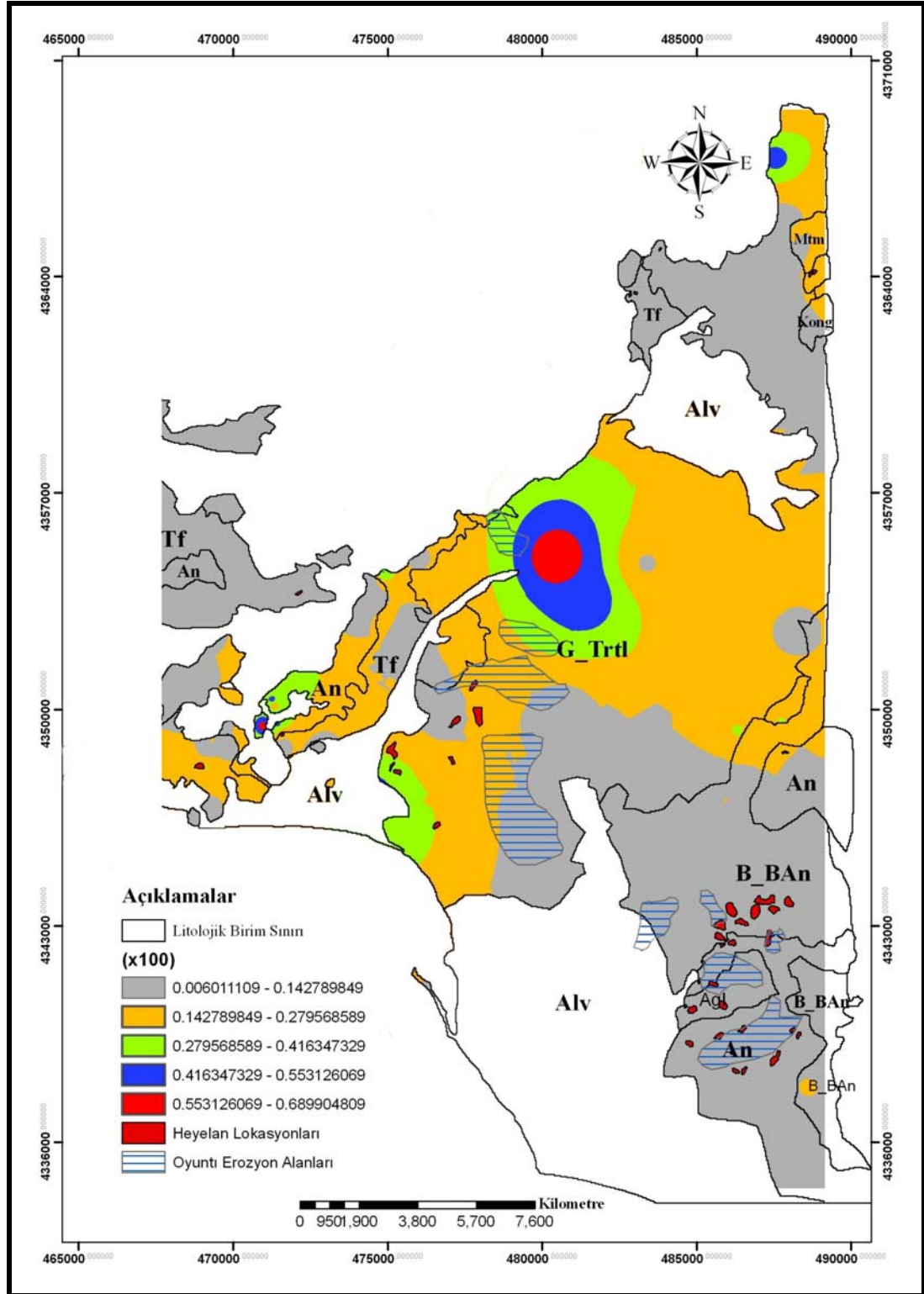
Şekil 6.22 a) Donma-Çözünme deneyi için kullanılan derin dondurucu ve kullanılan numuneler, b) Deney sonrası ağırlık kaybının % 100 kabul edildiği örneklerden bazıları.



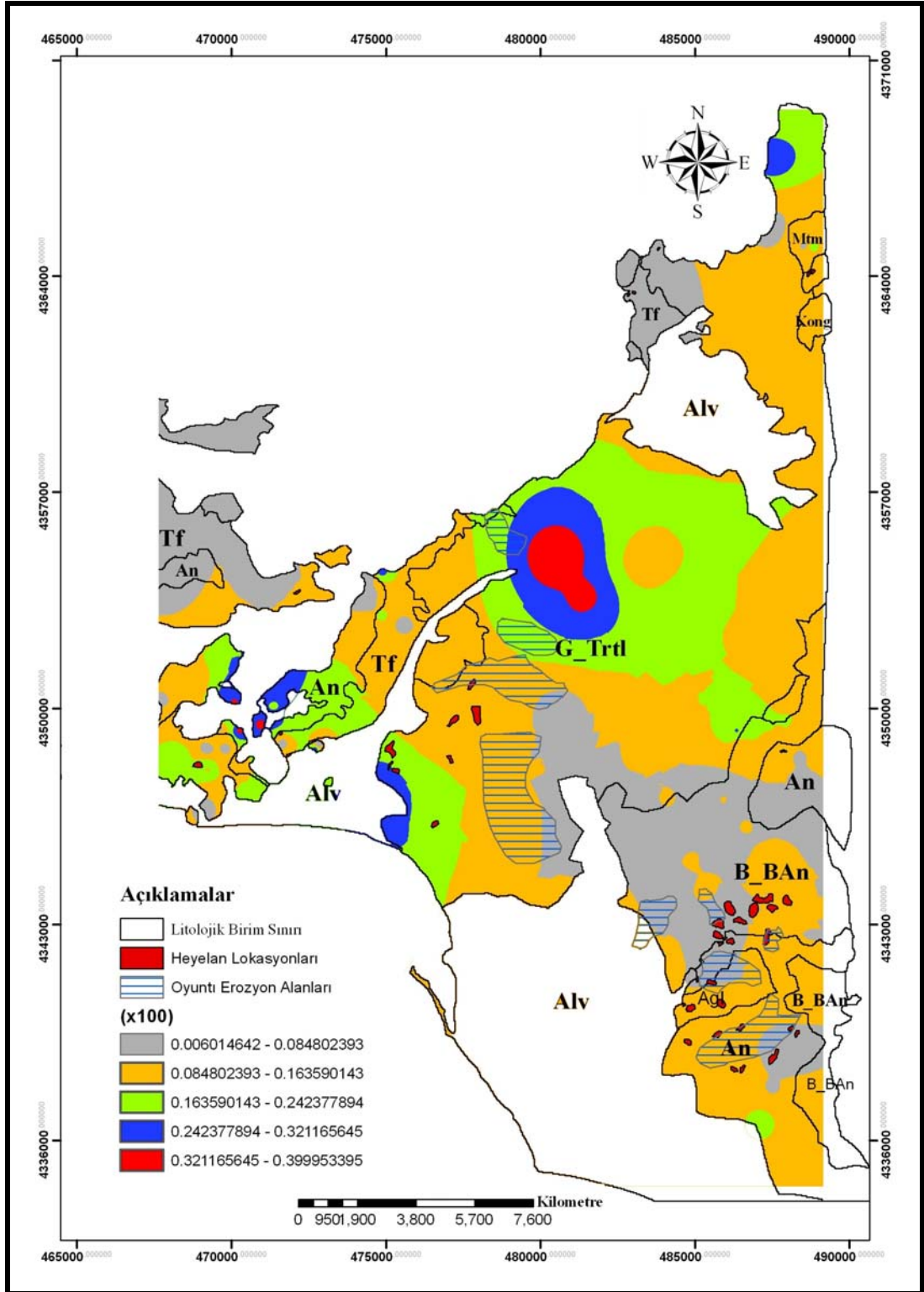
Şekil 6.23 Suyu Doygun Birim Hacim Ağırlığı deney sonuçlarından elde edilen değerlerin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.



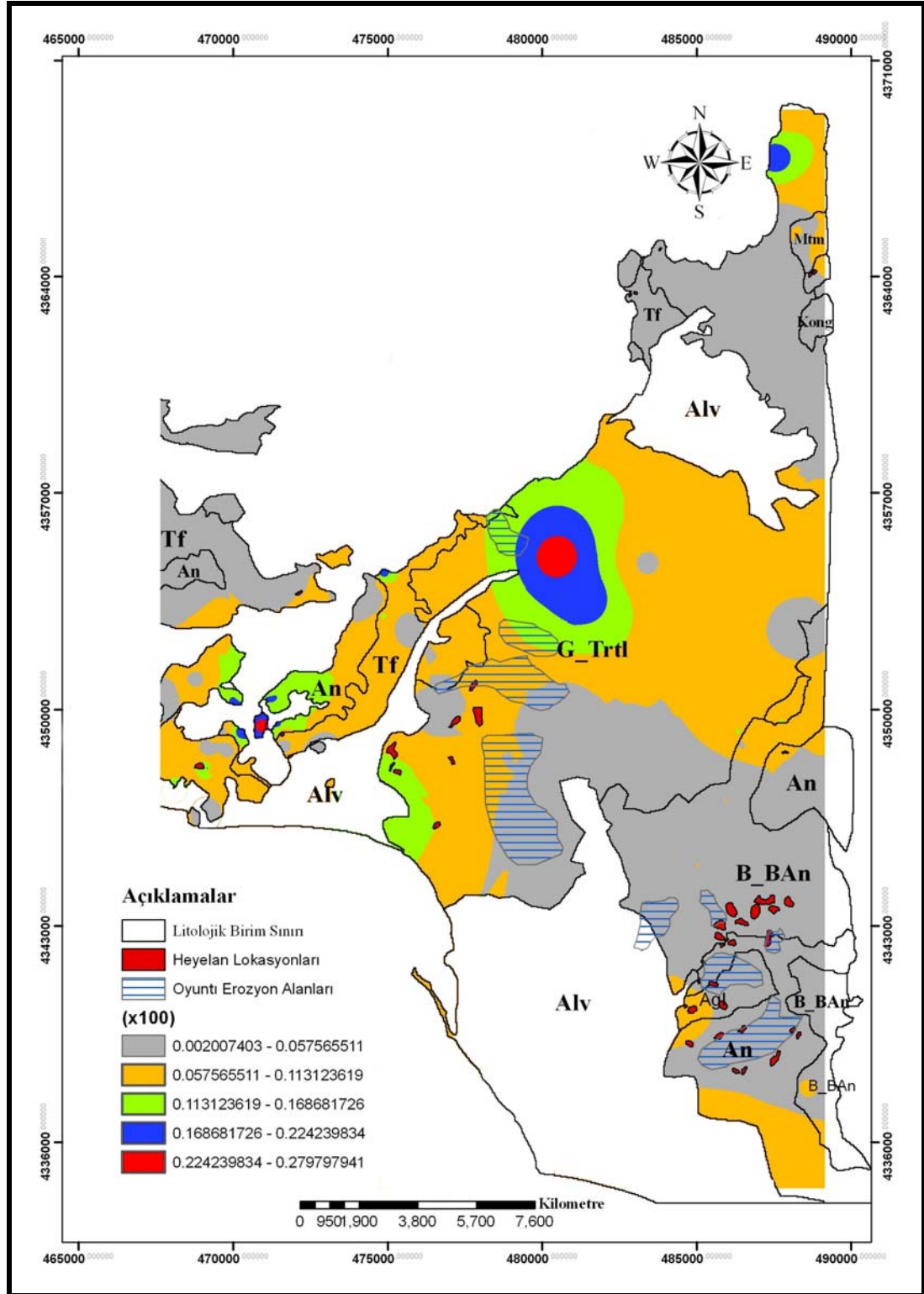
Şekil 6.24 Kuru Birim Hacim Ağırlığı deney sonuçlarından elde edilen değerlerin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.



Şekil 6.25 Boşluk oranı deney sonuçlarından elde edilen değerlerin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.

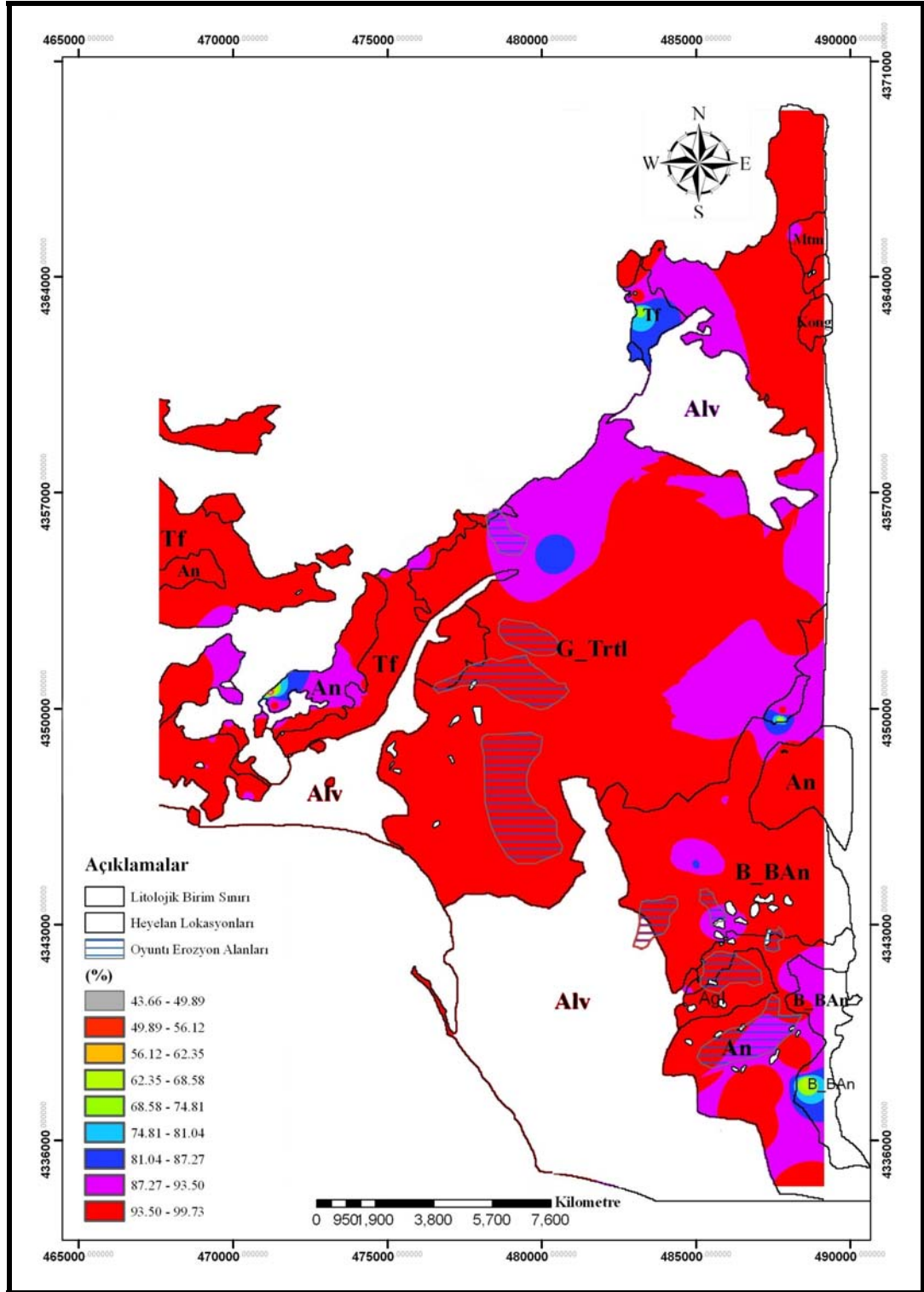


Şekil 6.26 Porozite deney sonuçlarından elde edilen değerlerin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.

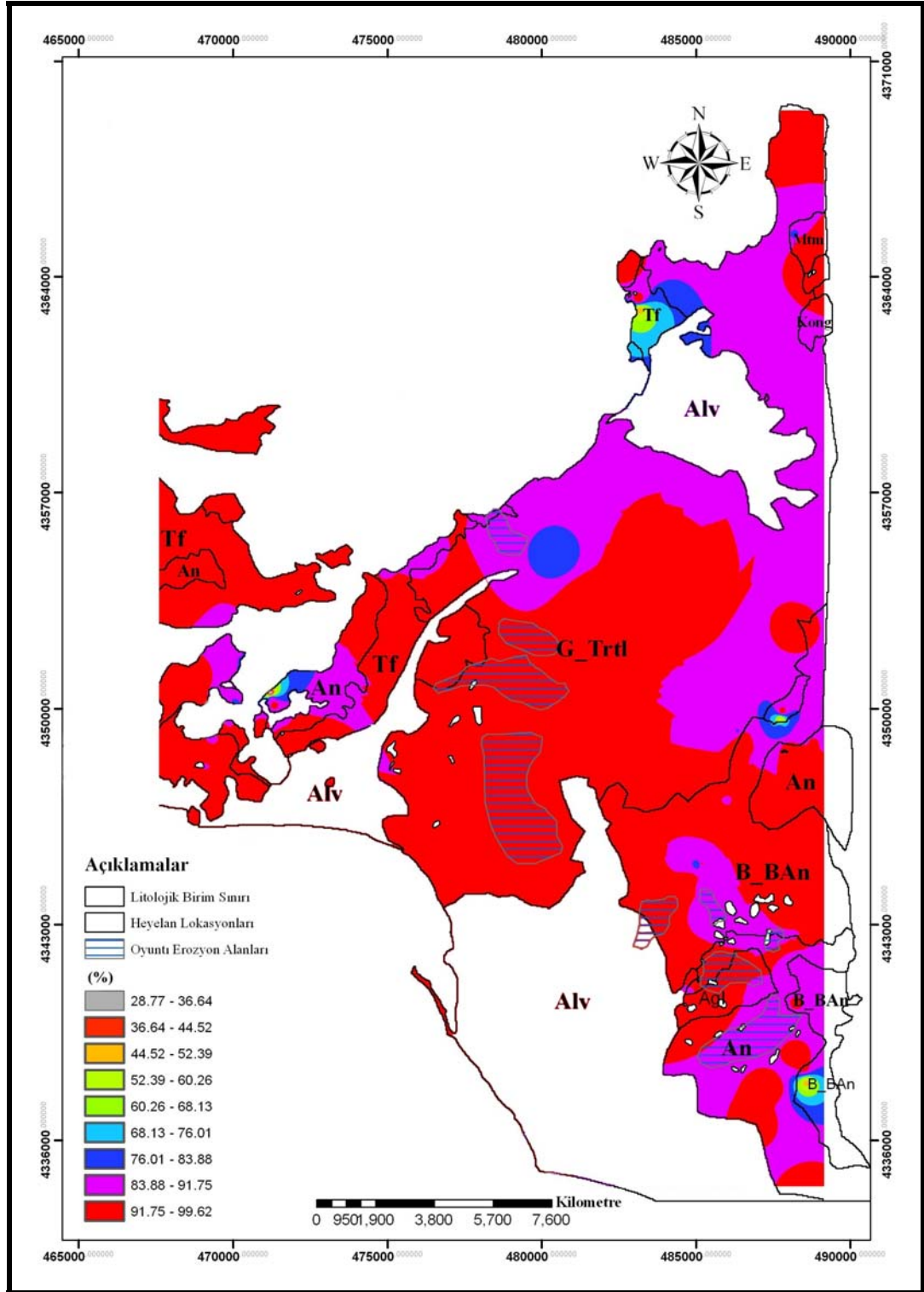


Şekil 6.27 Su muhtevası deney sonuçlarından elde edilen değerlerin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.

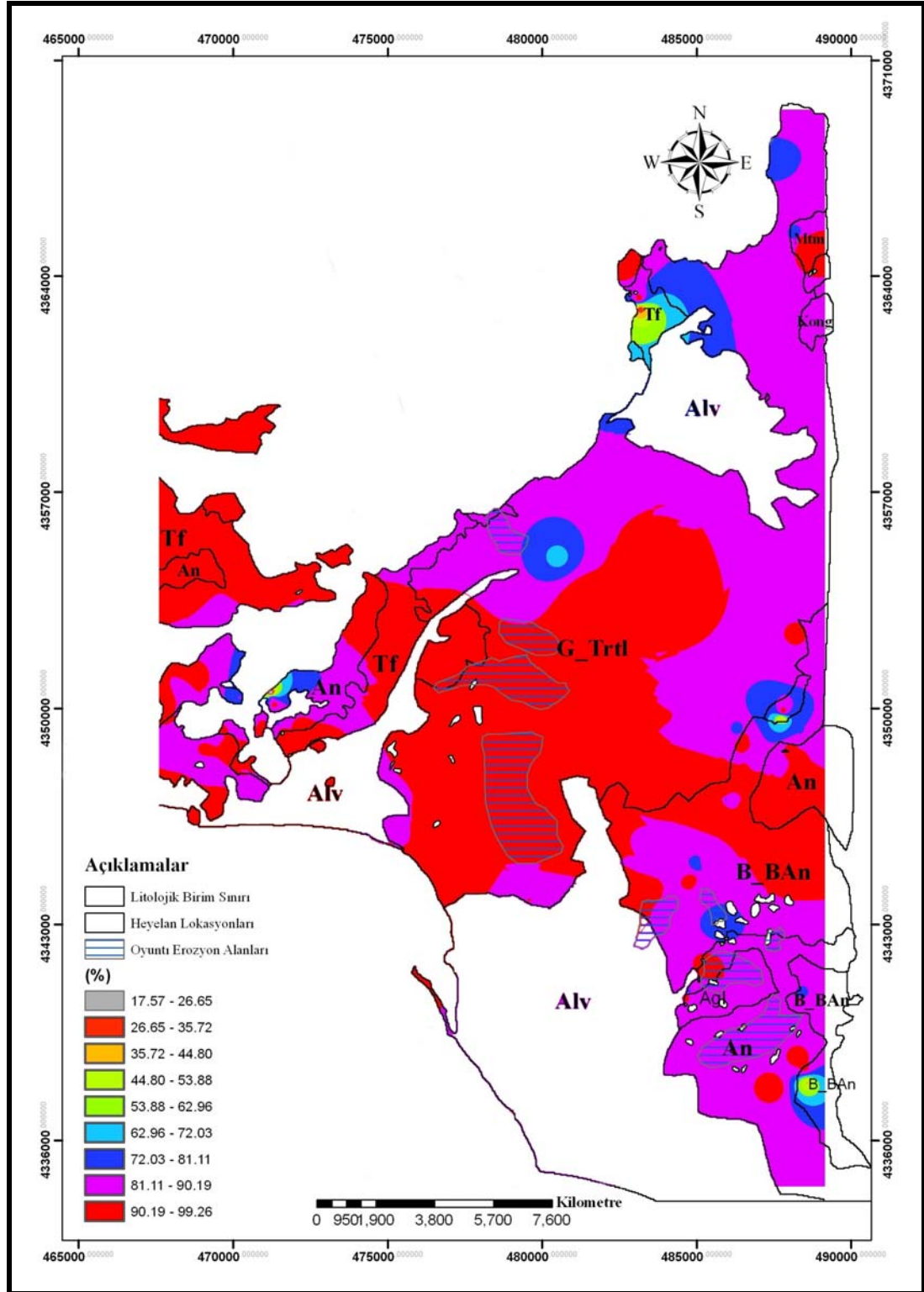




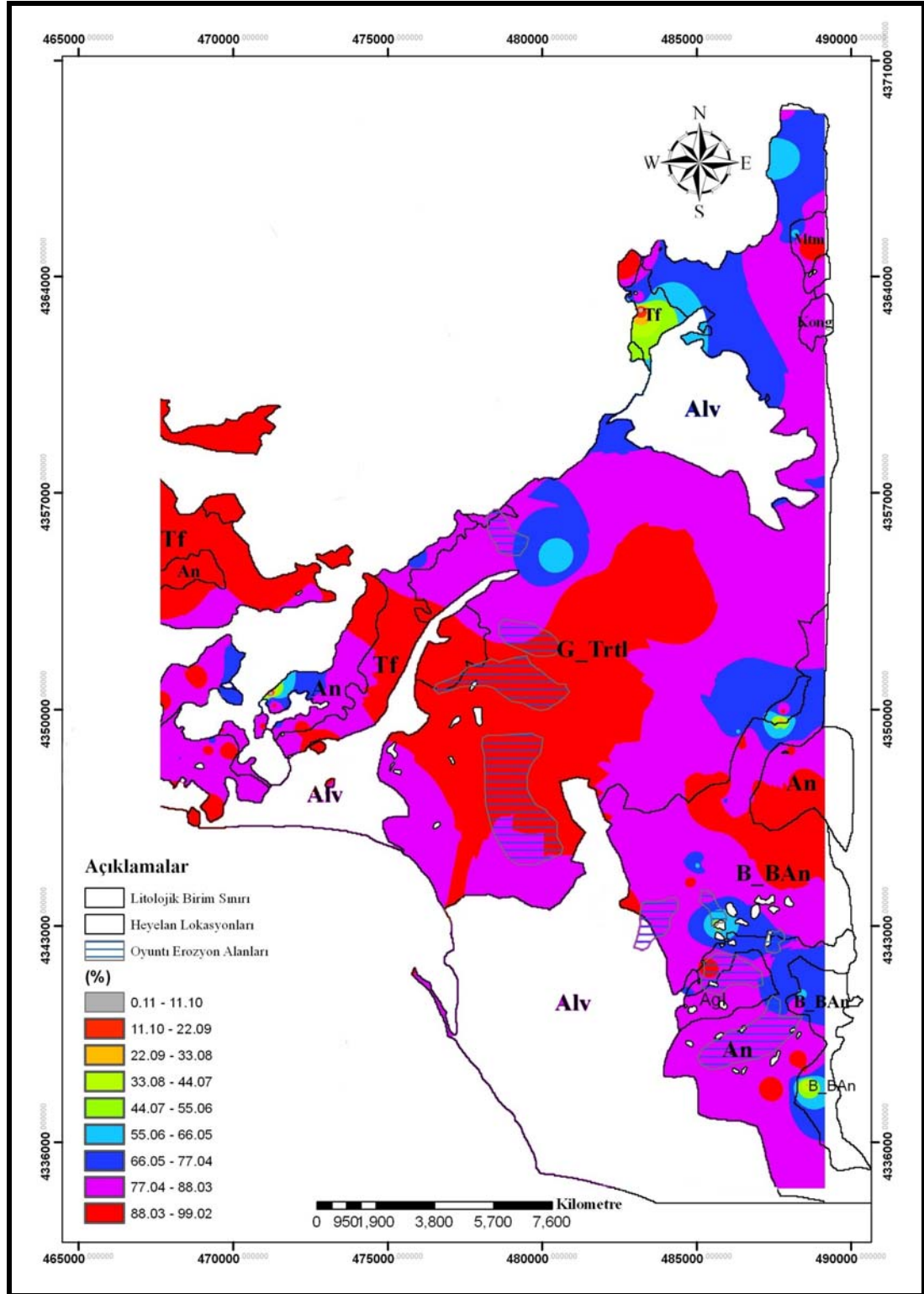
Şekil 6.28 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) deney sonuçlarından elde edilen birinci çevrim ( $I_d$ ) değerlerinin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.



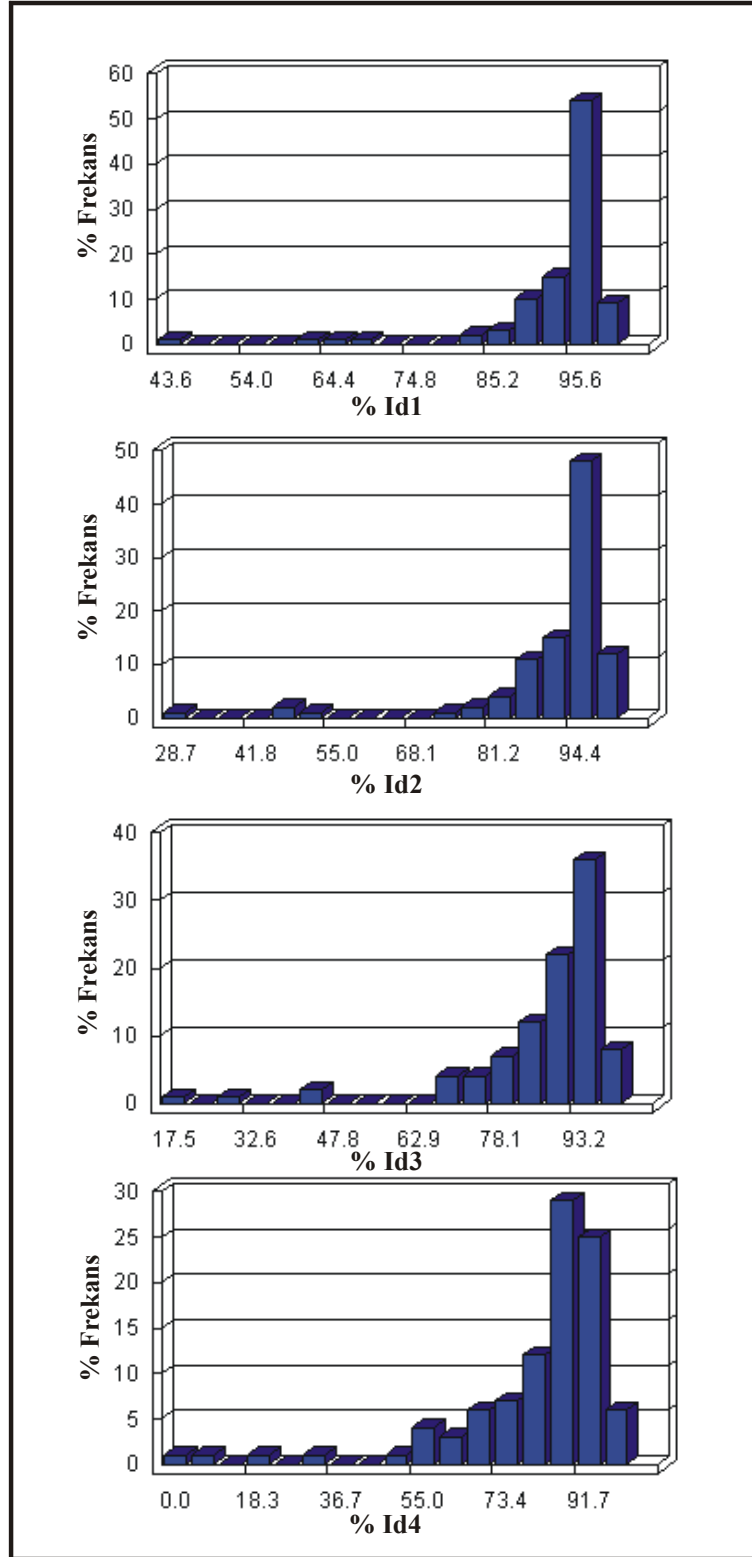
Şekil 6.29 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) deney sonuçlarından elde edilen ikinci çevrim ( $Id_2$ ) değerlerinin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.



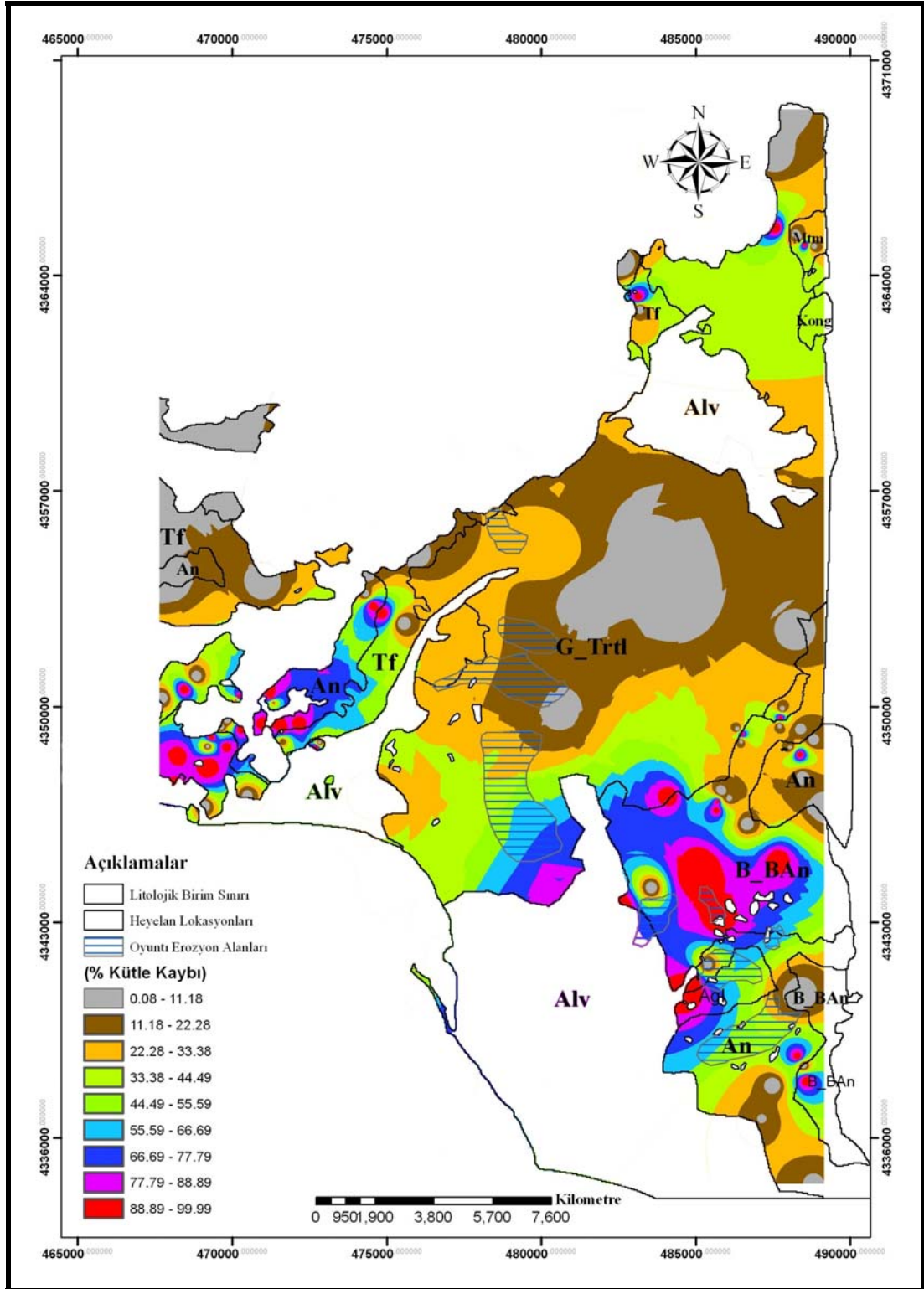
Şekil 6.30 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) deney sonuçlarından elde edilen üçüncü çevrim ( $I_{d3}$ ) değerlerinin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri



Şekil 6.31 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) deney sonuçlarından elde edilen dördüncü çevrim ( $I_{d4}$ ) değerlerinin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.



Şekil 6.32 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık deney sonuçlarına ait her bir çevrim için frekans değerleri (Id: Çevrim Sayısı).



Şekil 6.33 Donma-çözünme deney sonuçlarından elde edilen değerlerin inceleme alanı sınırları içerisindeki değişimleri.

## 6.4 Arazi Örtüsü

Erozyon ve heyelan duyarlılık analizinde topoğrafik, jeolojik ve diğer tematik etmenlerin yanısıra, arazi örtüsünün etkisi ve önemi tartışılması gereken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi örtüsünün dağılımı, erozyon ve heyelan gelişim sürecindeki önemli faktörlerden biri olarak bilinmekte ve zaman içerisindeki değişimi hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile kolayca izlenmekte ve haritalanabilmektedir (Soeters ve van Westen, 1996; Süzen, 2002). Değişik amaçlar için kullanılabilen arazi örtüsü, özellikle erozyon ve heyelan duyarlılık çalışmalarının yanında diğer mühendislik projeleri ve çevresel etki değerlendirme çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede, zamansal olarak arazi üzerindeki değişimlerin izlenmesi, geleceğe yönelik yapılacak proje, dizayn ve karar analiz çalışmalarında, kullanıcıya arazi yönetim stratejisi açısından kolaylık sağlamaktadır. Günümüzde arazi kullanım haritaları, basit bir biçimde uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda temel prensip, dijital uydu görüntüsü üzerindeki araziye ait nesnelere sayısal olarak ifade eden piksellerin spektral analizlerinin yapılması ve her bir pikselin diğer piksellerle olan komşuluk ilişkilerinin değişik sınıflandırma yöntemlerinin sahip olduğu algoritmik yaklaşımlarla ortaya konulması şeklindedir. Sınıflandırma sonucunda elde edilen veri, arazinin ve arazi örtüsünün büyüklüğü ile sınıflandırmada kullanılan görüntünün çekilme tarihine bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, sınıflandırma sonuçları, doğrudan olarak arazi örtüsünden ileri gelen spektral karmaşıklığından ve birbirine karışabilecek piksellerin varlığından kolayca etkilenmektedir (Kam, 1995). Uydu görüntüleri üzerinde yer alan bitki örtüsü ve zeminin nemliliği, kendilerine has elektromanyetik spektral özellikleri dolayısıyla kullanıcıya görüntünün sınıflandırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Arazi örtüsü sınıflandırması ile arazide zaman içerisindeki jeomorfolojik yapı, bitki örtüsü, drenaj ağı gelişimindeki değişimler erozyon ve heyelan oluşumunun takip edilmesine doğrudan katkıda bulunmaktadır. Kullanılan uydu görüntüsünün spektral, konumsal ve zamansal çözünürlükleri, erozyon ve heyelan analizlerine katkılarını doğrudan olarak etkilemektedir. Örneğini Landsat 5 TM veya SPOT 4

gibi uydu görüntülerinden alınacak arazi örtüsüne ilişkin bilginin yapacağı katkı ile IKONOS, Quickbird veya SPOT Pankromatik görüntülerinden elde edilebilecek bilgilerin sağlayacağı katkı, söz konusu çözünürlük özelliklerinin birbirinden farklı olmaları dolayısıyla aynı olamayacaktır. Ancak, bahsedilen görüntülerin, arazinin büyüklüğü hususu dikkate alındığında getireceği maddi yük dikkate alındığında, maliyeti daha düşük olacak görüntülerin kullanılması, erozyon ve heyelan süreçlerinin takibi ve tahmininde yardımcı faktörlerin elde edilmesinde oldukça yararlı olacakları gerçeğininde engellememektedir.

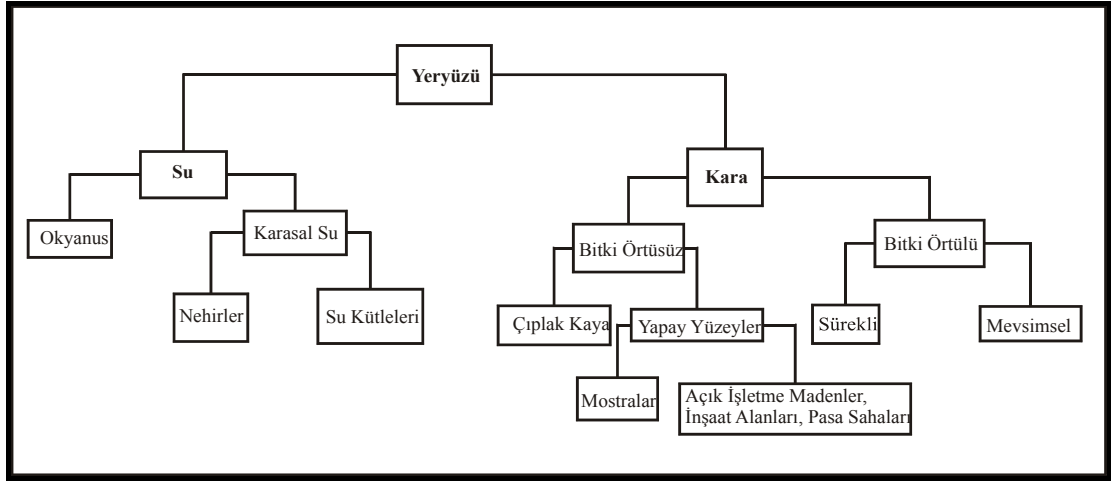
#### **6.4.1 Girdi Veri Üretimi**

İnceleme alanına ait arazi örtüsünün belirlenmesi amacıyla 16.10. 2001 tarihinde çekilmiş Landsat 7 ETM+ görüntüsü kullanılarak arazi örtüsü haritası üretilmiştir.

Arazi örtüsü haritalaması, ayrıntılı arazi çalışmaları sonucunda bir sınıflandırma akış şemasını geliştirilmesi ile başlamıştır (Şekil 6.34). Sınıflandırma prosedüründe ilk aşamayı, arazi üzerinde hangi arazi örtü sınıflarının ayırt edileceğinin belirlenmesi almıştır. Bu kapsamda, Avrupa Birliği ülkelerinin bir araya gelerek oluşturmuş oldukları ve CORINE (1995) olarak isimlendirilen bir çalışma grubunun önerdiği arazi örtü sınıflandırma kriterlerine göre 7 arazi sınıfı ayırt edilmiştir (Tablo 6.3). Bu arazi sınıflarından 6'sı , erozyon ve heyelan gelişim sürecine doğrudan katkıda bulunabilecek olan arazi sınıfları olup, bir sınıf ise sadece yüzey sularını göstermektedir. Birinci arazi örtü sınıfı yerleşim alanlarıdır. Yerleşim alanlarının gelişimi sırasında gerçekleştirilen yol kazılarının, ağaç kesimleri ile ormansızlaştırma işlemlerinin, erozyon ve heyelan gelişimine olumsuz etkilere sahip olduğu bilinmektedir. İnceleme alanındaki baraj inşaatı ve yol yapımı gibi aktiviteler için yamaçlarda yapılan kazıların da erozyon ve heyelan aktivitelerine olumsuz etkileri görülmektedir. Dolayısıyla, duyarlılık değerlendirmesinde etkin kullanılacak bir arazi sınıfı olarak ayırtlanmıştır. İkinci arazi sınıfı örtüsüz arazidir. Özellikle erozyona maruz kalması daha kuvvetle muhtemel olan bu alanların irdelenmesinde dikkate alınması gereken bir sınıf olarak görülmektedir. Üçüncü arazi sınıfı, daha çok ormanlık alanların ifade edildiği örtülü arazi sınıfı olarak ayırt edilmiştir. Erozyon ve



heyelan duyarlılık değerlendirmesinde örtülü alanların varlığı önem taşıdığından bu arazi sınıfı uydu görüntüsü üzerinde sınıflandırılmıştır. Dördüncü arazi sınıfı sulak alanları ifade etmekte olup, inceleme alanı içerisindeki diğer nemli arazi parçalarının sınıflandırılmasında da yardımcı olmuştur. Beşinci ve yedinci arazi sınıfları, sırasıyla tarım arazileri ve zeytin tarımı yapılan arazilerdir. İnceleme alanı içerisinde zeytin tarımının çok yaygın olarak yapıldığı alanların varlığı, söz konusu arazi sınıfının ayırt edilmesini gerekli kılmıştır. Diğer kompleks tarım arazileri de özellikle erozyon duyarlılık değerlendirmesi açısından önemli olup, heyelan duyarlılık değerlendirmesinde de yamaçların duraylılığının bozulmasında negatif etkisi olması dolayısıyla bir arazi sınıfı olarak ayırt edilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 6.34 Bir arazi örtü sınıflandırmasında kullanılan terminolojinin teorik şematik gösterimi (CORINE, 1995'den alınmıştır).

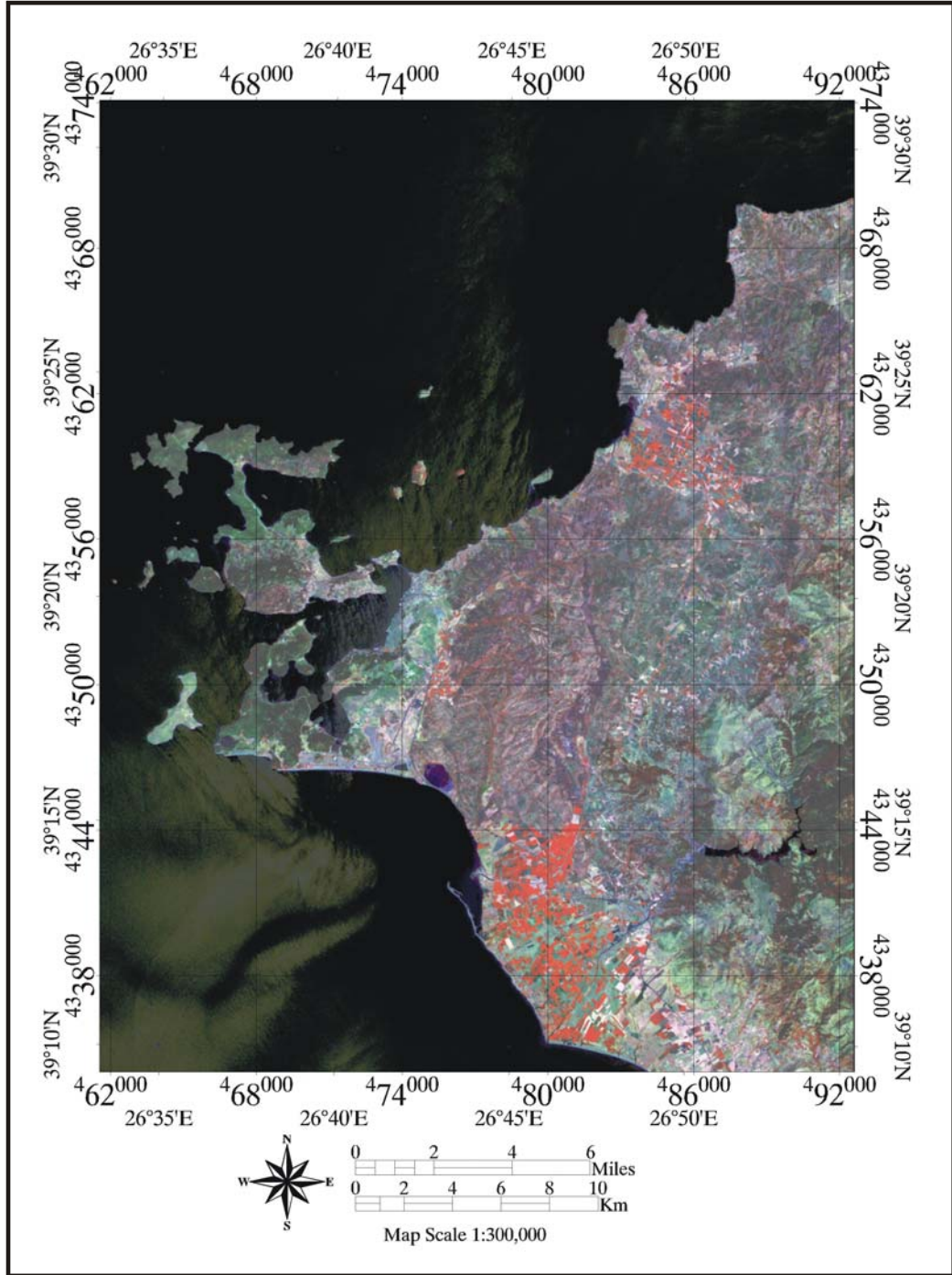
Tablo 6.3 Arazi örtüsü sınıflamasında ayırt edilen arazi sınıfları.

Arazi Örtüsü Sınıfı	Tanımlama
1	Yerleşim+Örtüsüz Arazi
2	Örtüsüz Arazi
3	Örtülü Arazi
4	Sulak Alanlar
5	Tarım Arazisi (Sulu Tarım)
6	Su Kütlesi (Deniz+Göl+Akarsu)
7	Zeytin Tarım Arazisi

Tablo 6.4 CORINE arazi örtüsü sınıflandırmasında kullanılan sınıf isimleri (İtalik yazılı sınıflar bu çalışma kapsamında kullanılan arazi örtü sınıflarını göstermektedir) (CORINE, 1995).

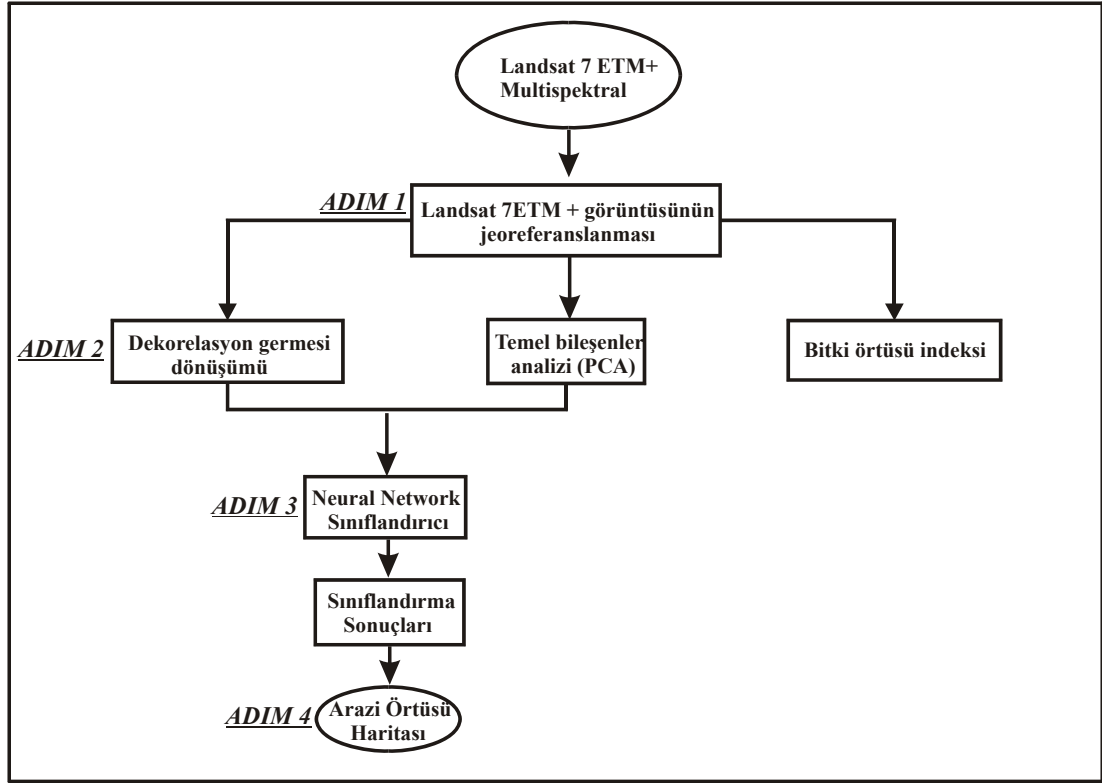
<b>SEVİYE 1</b>	<b>SEVİYE 2</b>	<b>SEVİYE 3</b>
<b>Yapay Yüzeyle</b>	Yerleşim Dokusu	<i>Sürekli Yerleşim Dokusu</i>
<b>Tarım Alanları</b>	Sürekli Tarım Alanları Heterojen Tarım Alanları	<i>Zeytin Tarımı Kompleks Tarım Arazileri</i>
<b>Ormanlar ve Yarı doğal Alanlar</b>	<i>Ormanlar</i> Bitki Örtüsüz veya Çok Az Örtülü Alanlar	<i>Çıplak Kayalık Alanlar</i>
<b>Sulak Alanlar</b>	Karasal Sulak Alanlar Kıyısal Sulak Alanlar	<i>Tuzlalar</i>
<b>Sü Kütleleri</b>	Karasal Su Kütleleri Denizel Su Kütleleri	Su Kütleleri <i>Deniz ve Okyanus</i>

Tablo 6.4’de “Seviye” olarak isimlendirilen alanlar, arazi örtüsü sınıflandırılırken sınıflandırmanın ayrıntı aşamasını göstermektedir. Seviye 1, CORINE (1995) arazi örtüsü sınıflandırma yöntemine göre en genel sınıfları ifade etmektedir. Seviye 2, arazi sınıflarının Seviye 1’e göre daha ayrıntılandırıldığı ve Seviye 3’ de ise arazi sınıflarının en çok çeşitlendirildiği aşamayı ifade etmektedir.



Şekil 6.35 İnceleme alanına ait 16.10.2001 tarihli Landsat 7 ETM+ (R = 3, G = 2, B = 1) normal renk kompozit görüntüsü.

Landsat 7 ETM+ görüntüsünden (Şekil 6.35) arazi örtüsü haritasının çıkartılması için yapılan sınıflandırma öncesi temel işlemler 4 adımda gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki akım şemasında bu adımlar gösterilmiştir (Şekil 6.36).



Şekil 6.36 Arazi örtüsü haritalaması için kullanılan uzaktan algılama yöntemlerinin akış şeması gösterimi.

#### 6.4.1.1 Jeoreferanslama

Landsat 7 ETM + uydu görüntüsünü gerçek dünya koordinatlarına uygun biçime getirmek ve ulusal koordinat sistemine oturtmak amacıyla jeoreferanslama işlemi yapılmıştır. Bu işlem yapılırken aşağıda verilen adımlar takip edilmiştir.

1. 1979 tarihli 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden yer kontrol noktalarının belirlenmesi (Tablo 6.5).
2. Görüntü bantlarını, ulusal koordinat sistemine oturtmak için gereken lineer (birinci derece) polinominal denklem için en küçük kareler çözümünün hesaplanması (Tablo 6.6).

3. En yakın komşuluk interpolasyon yöntemi kullanılarak görüntü bantlarının 30 m piksel çözünürlüğüne göre yeniden düzenlemesi (re-sampling).

Termal bantlar dışında kalan görüntüye ait 6 bant (1.bant'tan 7. bant'a) geometrik olarak düzeltilmiş ve ulusal koordinat sistemine (WGS 84 Datum ve UTM 35 N) oturtulmuştur. Bu işlem için topoğrafik haritadan ilk olarak belirlenen 20 noktadan yeniden hesaplama yöntemine göre 13 nokta belirlenmiş, jeoreferanslama bu 13 nokta dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 6.5 Yer kontrol noktalarının RMSE (Root Mean Square Errors) değerleri

<b>Yer Kontrol Noktaları ve Residüel Değerleri</b>	
1	0.604911
2	0.307357
3	0.254082
4	0.637693
5	0.742140
6	0.526316
7	0.686235
8	0.294422
9	0.855358
10	0.419156
11	0.494955
12	0.546755
13	0.449905
<b>Ortalama RMSE = 0.552661</b>	

Tablo 6.6 Hesaplanan birinci derece polinomal denklemin bileşenleri (X ve Y koordinat eksenlerini göstermekte,  $b_i$  değerleri denkleme ait katsayıları vermektedir).

<b>KATSA YI</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b><math>b_0</math></b>	-45313.06	-416676.98
<b><math>b_1</math></b>	0.0962	0.000023
<b><math>b_2</math></b>	0.000084	0.0962

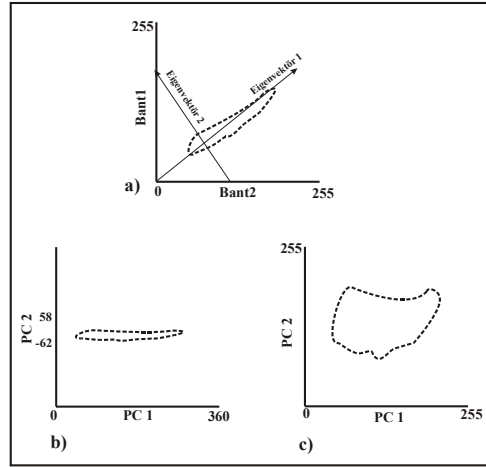
### 6.4.1.2 Veri İşleme

6.4.1.2.1 *Temel Bileşenler Analizi.* Temel bileşenler analizi (PCA), bantlar arasındaki korelasyonu çıkaran ve bunu, çalışılan nesnelere değişim etkilerini hesaplamada kullanan istatistiksel bir yöntemdir. PCA, multispektral görüntüler üzerinde değişik amaçlı çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Chavres vd. (1991), Landsat TM ve SPOT Pan gibi farklı konumsal ve spektral özelliklere sahip veri türlerini PCA kullanarak kaynaştırmaya çalışmıştır. Değişim analizi uygulamaları, PCA'nın kullanıldığı bir başka alandır. Byrne vd. (1980), Fung ve Le Drew (1987), Eastman vd. (1993) değişim analizi çalışmalarında PCA dönüşümlerinden faydalanmıştır. Singh ve Harrison (1985), PCA dönüşüm hesaplanmasında, kovaryans matrisi yerine korelasyon matrisinin kullanılmasının farkını ortaya koymuştur. Crosta ve Moore (1989), PCA yöntemi kullanarak rezidüel zeminlerin haritalanması amacıyla bir yöntem geliştirmiş, Loughlin (1991) ise aynı yöntemi alterasyon alanlarının haritalanmasında kullanarak bu yöntemin "Crosta Metodu" olarak literatürde yer almasını sağlamıştır. Bu yöntem, özellikle maden arama yöntemlerine önemli katkılar sağlamıştır. Yine Crosta vd. (2003), Aster görüntüsü kullanarak bazı kil minerallerinin haritalanmasını önermiş ve bu amaçla yine PCA yöntemini kullanmıştır.

PCA temel olarak, bantlardaki bilgilerin, yeni spektral eksenler veya bileşenler üzerinde birikimini sağlayarak ortaya çıkarılmasında kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yöntemi ifade etmenin en iyi yolu iki bant'ın dağılım grafiğinin (scattergram) çizilmesidir (Şekil 6.37a). Dağılım grafiğinin en geniş çaprazlamasında uzunluğu ve yönünün hesaplanması matris yardımıyla gerçekleştirilir. Bu dağılım grafiğinin ana eksenine karşılık gelen çapraz yön, birinci temel bileşen (PC1) olarak adlandırılır. Birinci temel bileşenin yönü, birinci özvektör olarak bilinir ve bunun uzunluğu birinci özdeğer olarak isimlendirilir. İkinci temel bileşen (PC2), dağılım grafiğinin birinci temel bileşenine dik olup dağılım grafiğinin ikinci çapraz yönündedir. İkinci temel bileşen, verideki varyansın en fazla olduğu ve henüz birinci bileşenle tanımlanmamış veriyi tanımlar. İki boyutlu bir analizde, ikinci temel bileşen, dağılım grafiğinin en küçük eksenine karşılık gelmektedir (Singh ve Harrison, 1985).

Özdeğerleri ve özvektörlerin hesaplanması ikiden fazla bant için daha karmaşıktır, ancak modern uzaktan algılama ve görüntü işleme yazılımları ile bu problem giderilmektedir.

Temel bileşenlerin özdeğerleri bantların görüntülemesi için kullanılan ölçeği aşmaktadır (Şekil 6.37b). Ancak bu sorun da “lineer kontrast germesi”, “dekorelasyon germesi” gibi yöntemlerle çözülmektedir (Şekil 6.37c). Bu çalışma da “dekorelasyon germesi” kullanılmış olup bir sonraki kısımda ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



Şekil 6.37 a) Özvektörler ile hesaplanmış verinin yeni ekseninin yönü, b) Orjinal verinin ekseninin yeni eksene dönüştürülmesi, c) Görüntünün bilgisayarda elde edilebilmesi için germe işlemi uygulanarak yeniden ölçeklendirilmesi (Kansu, 1998).

İnceleme alanı için Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsüne ait bantlar üzerinde yapılan temel bileşenler analizi sonucunda varyans/kovaryans, korelasyon ve değişim matrisleri ile özdeğerleri ve bunların % değişimleri hesaplanmıştır (Tablo 6.7 ve 6.8). Korelasyon matrisine bakıldığında Bant 2-Bant 3, Bant 3-Bant 7, Bant 4- Bant 5 ve Bant 5- Bant 7 korelasyonlarının yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek korelasyonlar özellikle Landsat 5 TM görüntülerinde sıkça raslanan bir durumdur (Süzen 2002). Söz konusu bu yüksek korelasyonların giderilmesi için PCA

dönüşümü uygulanmış, böylece Landsat 7 ETM+ bantlarının istatistiksel olarak bağımsız ortogonal bir eksen takımına oturtulması ve orjinal bantların yeni eksen takımına göre düzenlenmesi sağlamıştır.

Tablo 6.7’de verilen PCA sonuçlarına bakıldığında, birinci temel bileşenin, tüm görünür ve infrared Landsat 7 ETM+ bantları içerisindeki değişimlerin %93.99’unu oluşturduğu, onu %4.05 ile ikinci temel bileşin izlediği görülmektedir. 3., 4., 5. ve 7. bileşenlerin ise sırasıyla % 1.25, %0.43, %0.17 ve %0.11 değişim değerlerine sahiptir.

Tablo 6. 7 Temel Bileşenler Analizi için Kovaryans, Korelasyon ve Dönüşüm Matrisleri

Varyans/Kovaryans Matrisi						
Raster	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 5	Bant 7
Bant 1	82.81	139.44	224.93	241.1	303.08	218.92
Bant 2	139.44	262.61	426.92	496.3	601.07	424.85
Bant 3	224.93	426.92	712.76	824.37	1009.78	712.09
Bant 4	241.1	496.3	824.37	1107.73	1246.21	850.08
Bant 5	303.08	601.07	1009.78	1246.21	1543.56	1073.13
Bant 7	218.92	424.85	712.09	850.08	1073.13	763.32

Korelasyon Matrisi						
Raster	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 5	Bant 7
Bant 1	1	0.945515	0.925824	0.796025	0.84769	0.870739
Bant 2	0.945515	1	<b>0.986772</b>	0.92017	0.944076	0.948918
Bant 3	0.925824	0.986772	1	0.927758	0.962705	<b>0.965403</b>
Bant 4	0.796025	0.92017	0.927758	1	<b>0.953042</b>	0.924465
Bant 5	0.84769	0.944076	0.962705	0.953042	1	<b>0.988636</b>
Bant 7	0.870739	0.948918	0.965403	0.924465	0.988636	1

Dönüşüm Matrisi						
Eksenler	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6
Bant 1	0.925303	-0.36923	-0.02524	-0.0816	0.014387	0.000077
Bant 2	0.987868	-0.10021	-0.05877	0.073897	-0.06977	-0.01722
Bant 3	0.992027	-0.04094	-0.00019	0.099675	0.063967	0.013372
Bant 4	0.949718	0.247489	-0.18492	-0.04785	0.003984	0.016596
Bant 5	0.979938	0.16049	0.096576	-0.02993	0.01475	-0.05931
Bant 7	0.980233	0.090731	0.16586	-0.02204	-0.02661	0.046961



Tablo 6. 8 Özvektörler ve İlişkili Yüzdeler

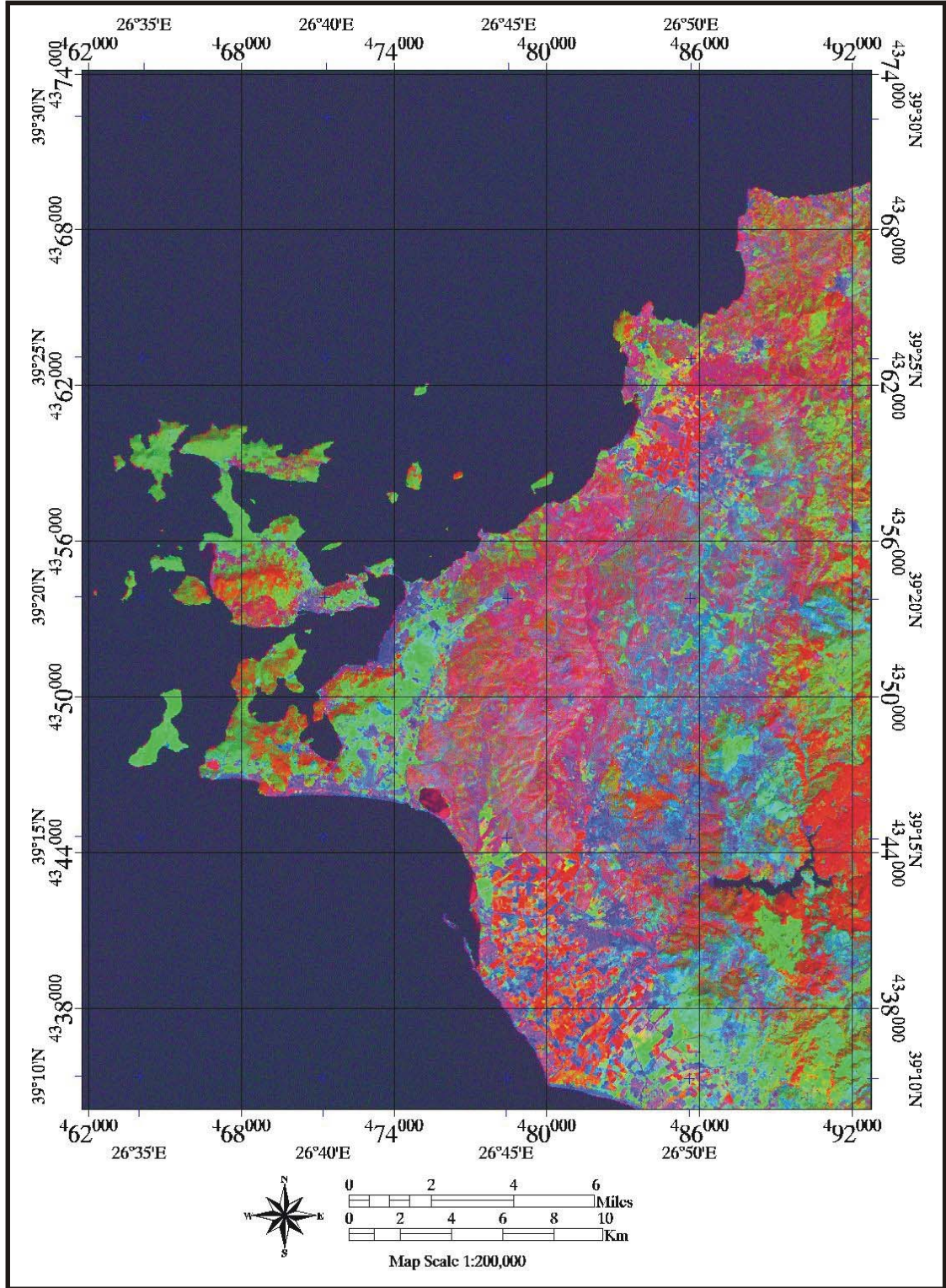
Bileşenler	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Özvektör 1	0.389648	-0.74857	-0.0921	-0.50878	0.143097	0.000952
Özvektör 2	0.415994	-0.20316	-0.21442	0.460727	-0.69399	-0.21405
Özvektör 3	0.417745	-0.08301	-0.00069	0.621443	0.636228	0.166196
Özvektör 4	0.399929	0.501762	-0.67468	-0.2983	0.039629	0.206274
Özvektör 5	0.412655	0.325381	0.352358	-0.18661	0.146708	-0.73712
Özvektör 6	0.412779	0.183949	0.605144	-0.1374	-0.26463	0.583669
Varyans (%)	93.99	4.05	1.25	0.43	0.17	0.11
Özdeğerler	5.64	0.24	0.08	0.03	0.01	0.01

6.4.1.2.2 *Dekorelasyon Germesi.* Dekorelasyon germesi, uzaktan algılama çalışmalarında, görüntü bantlarının renk zenginleştirilmesinde kullanılan bir görüntü işleme tekniğidir. Bu yöntem, bantların klasik kontrast zenginleştirme yöntemlerinden daha fazla olmak üzere, yüzey materyalleri arasındaki spektral özelliklerdeki farkın daha yüksek derecelere abartılarak ortaya çıkarılmasını sağlar. Ayrıca, yüksek derecede korele olan görüntülerdeki renk zenginleştirmesini yapmak için, spektral verinin en az korele olan kısmının özellikle abartılması gerekliliği bulunmaktadır. Spektral verinin korelasyonunun azaltılması, renk dağılımının değiştirilmeden renk doygunluğunun abartılması anlamına gelmektedir (Süzen, 2002).

Dekorelasyon germesi işlemi üç temel adımı içermektedir. Birincisi, yerdeğiştirilmiş özvektör matrisinin sıra ve kolonlarına temel bileşenler analizinin uygulanmasıdır. İkincisi, tüm temel bileşenlere ait histogramların Gauss dağılımına yaklaşması amacıyla Gauss germesi kullanılarak kontrast eşitlemesi uygulanmasıdır. Üçüncüsü, dijital verinin kendi orjinal spektral kanallarına projekte edilsin diye her temel bileşen için ağırlık olarak öz vektör kullanılarak temel bileşen dönüşünün tersi olan bir dönüşümün uygulanmasıdır. Bu ters dönüşüm, yeniden oluşturulan spektral kanallardaki farklı yüzey türlerinin spektral ayrımlanabilirliğini maksimize etmektedir. Bu yöntemle elde edilen görüntüler kullanılarak renkli kompozit görüntüler elde etmek de mümkündür (Gillespie vd, 1987).

Şekil 6.38'de verilen görüntü, Landsat 7 ETM+ bantlarından 457 (RGB) görüntüsüne uygulanan dekorelasyon germesi sonucunda elde edilmiştir. Burada 4, 5

ve 7 bantlarının seçilmesinde, bant 7'nin litolojik ayrılmaya duyarlı olması, bant 4'ün bitki örtüsüne ayrılmaya duyarlı olması ve bant 5'in su kütlelerinin ayrılmaya duyarlı olmasının yanısıra bu bantların Tablo 6.7'de verilen korelasyonlarının en düşük olması hususları dikkate alınmıştır.



Şekil 6.38 Dekorelasyon gemesi işlemi sonucunda elde edilen sonuç görüntü ( $R = 4_{dec}$ ,  $G = 5_{dec}$ ,  $B = 7_{dec}$ ).

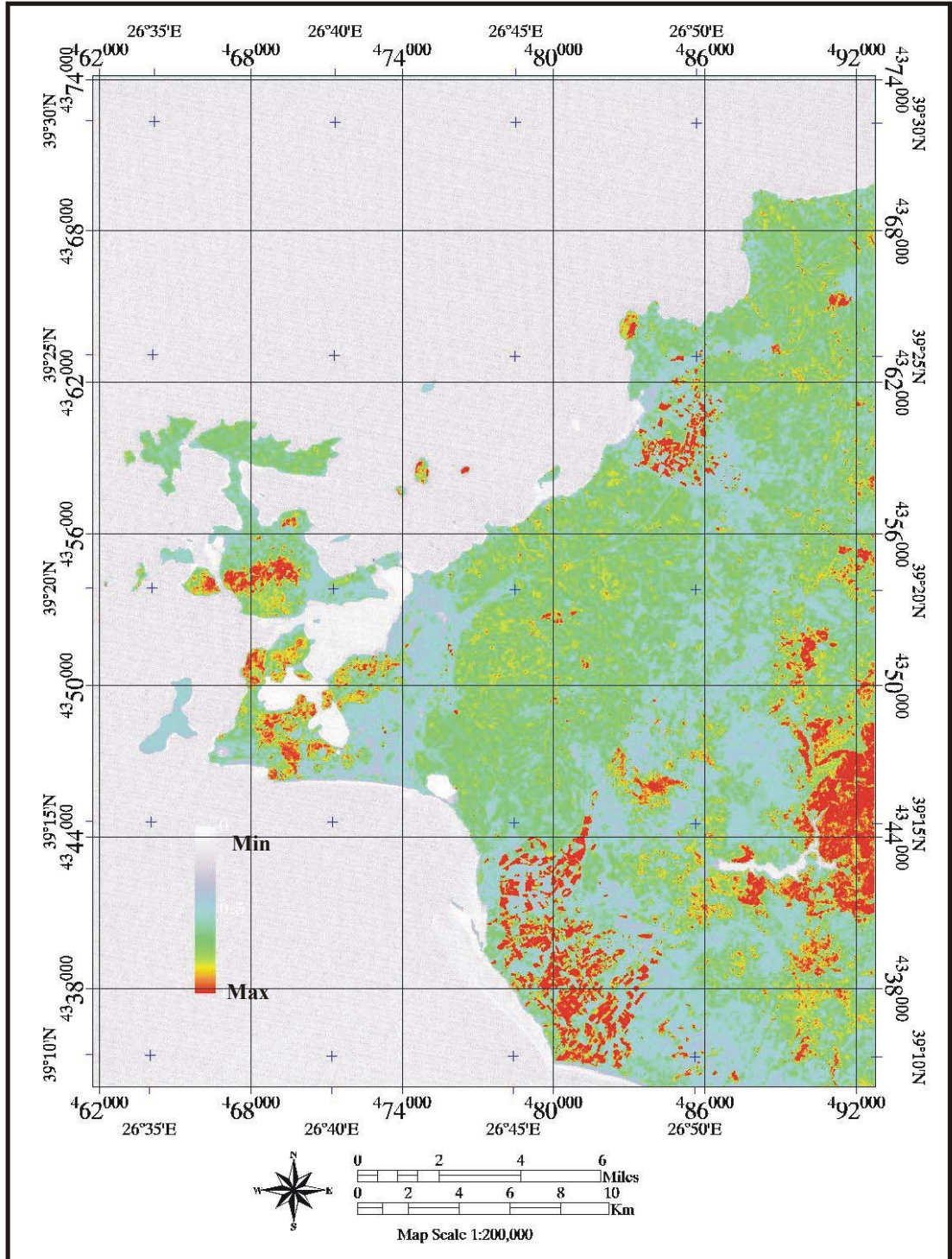
### 6.4.1.3 Bitki Örtüsü İndeksi

Bitkilere ait yaprakların yansıma spektrumları, ışık spektrumunun görünür kısmında düşük bir yansıma değeri (yaklaşık 0.05) vermektedir (Jensen, 2000). Işık, fotosentez için bitkiler tarafından absorbe edilmektedir. Spektrumun yakın kızıl ötesi kısmında (NIR) yaprak, yaklaşık 750 nm’de NIR kısmıyla kırmızı ışık kısmı arasında hızlı bir geçiş ile yüksek bir yansıma değeri (yaklaşık 0.5) vermektedir. Zemin yansıması, zemin türü ve su içeriğine (ıslak zemin, kuru zeminden daha koyudur) göre değişmesine karşın, aynı bölge için yüksek dalga boylarında dereceli olarak artar. Dolayısıyla, 750 nm dolayındaki iki bant arasındaki oran veya fark, mevcut yaprak miktarının bir ölçüsünü verecektir. Bu bantlar, genellikle spektrumun kırmızı bölgesinde 660 nm ve yakın kızıl ötesinde 870 nm ‘de merkezlenmiş olarak seçilir. Bu bilgi ışığında, uzaktan algılama ile elde edilmiş spektral görüntüler, kullanıcıya çeşitli indeks değerlerinin hesaplanması yardımıyla bitki hakkında yararlı bilgiler vermektedir. Bir bitki örtüsü indeksi, bazı bant kombinasyonları ile oluşturulan bir sayıdır ve bu sayı, incelenen alandaki belirli bir piksel değeri için bitki örtüsü yoğunluğu ile ilişkili olabilmektedir. Bu amaçla bilinen 20’nin üzerinde bitki örtüsü indeks değeri bulunmaktadır (Jensen, 2000). Bunlardan en çok kullanılan 13 tanesi Tablo 6.9’da verilmiştir. Bu indeks değerlerinden en çok kullanılanlardan biri de “Normalize Fark Bitki İndeksi” (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI) olup bu çalışmada kullanılan bitki örtüsü yoğunluk haritası bu yöntemle hazırlanmıştır (Şekil 6.39). Rouse vd. (1974) tarafından ilk kez önerilen NDVI, orjinal Landsat MSS sayısal uzaktan algılama verisine uygulanmış ve uyarlanmıştır. Deering vd. (1975), NDVI değerine 0.5 ekleyerek negatif değerlerden kurtarmış ve varyansı stabilize etmek için çıkan sonucun karekökünü almıştır. Bu değer “Dönüştürülmüş Bitki İndeksi-TVI” olarak adlandırılmıştır. NDVI ve TVI indeksleri, yeşil bitki örtüsü ve klorofil içeriğinin değişim miktarlarının ifadesinde kullanılmaktadır (Jensen, 2000).

NDVI indeksinin belirlenmesi için kullanılan veri setinin seçiminde, mevsim etkisinin oldukça önemli olduğu bilinmektedir (Jensen, 2000). Bu amaçla seçilecek uydu görüntülerinin, bitki örtüsünün doğal halini yansıtabilmeleri amacıyla sonbahar-kış mevsimlerinde olması tercih edilmelidir.

Tablo 6.9 Bazı uzaktan algılama bitki indeksleri (Bu çalışmada kullanılan yöntem olan NDVI gri renk ile işaretlenmiştir).

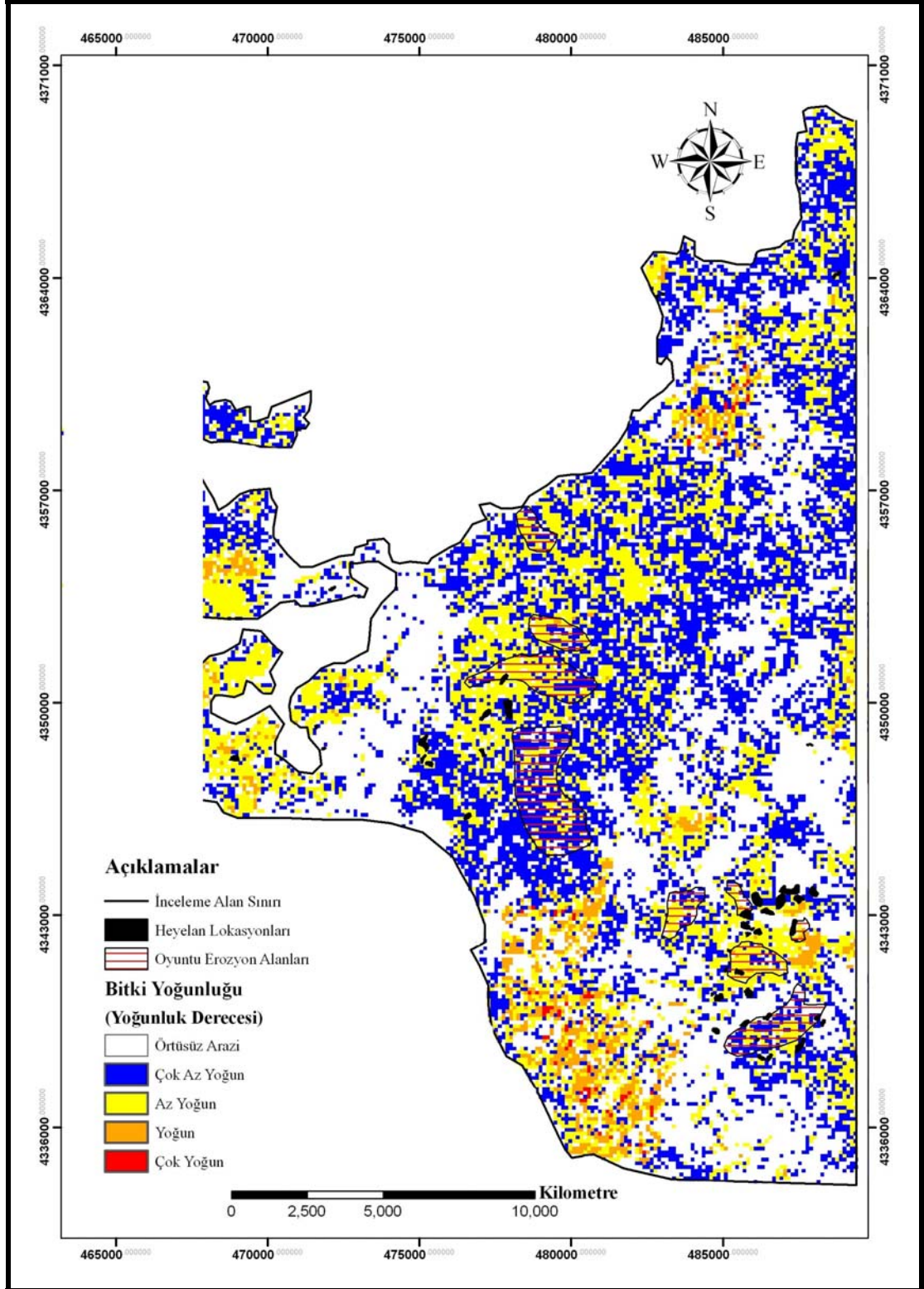
Bitki İndeksi	Denklemi	Referans
Basit Oran	$SR = \frac{NIR}{Red}$	Birth ve McVey, 1968
Normalize Fark Bitki İndeksi	$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$	Rouse vd., 1974; Deering vd., 1975
Kauth-Thomas Dönüşümü Parlaklık Yeşillik Islaklık	Landsat TM için; $B = 0.0243_{TM1} + 0.4158_{TM2} + 0.5524_{TM3} + 0.5741_{TM4} + 3124_{TM5} + 0.2303_{TM7}$ $G = -0.1603_{TM4} - 0.2819_{TM2} - 0.4939_{TM3} + 0.794_{TM4} - 0.0002_{TM5} - 0.1446_{TM7}$ $W = 0.0315_{TM1} + 0.2021_{TM2} + 0.3102_{TM3} + 0.1594_{TM4} - 0.6806_{TM5} - 0.6109_{TM7}$	Kauth ve Thomas, 1976; Crist, 1985
Infrared İndeksi (II)	$II = \frac{NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4} + MidIR_{TM5}}$	Hardisky vd., 1983
Dik Bitki İndeksi (PVI)	$PVI = \sqrt{(0.355_{MSS4} - 0.149_{MSS2})^2 + (0.355_{MSS2} - 0.852_{MSS4})^2}$	Richardson ve Wiegand, 1977
Islaklık Gerilim İndeksi (MSI)	$MSI = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4}}$	Rock vd., 1986
Yaprak Rölatif Su Muhtevası İndeksi (LWCI)	$LWCI = \frac{-\log[1 - (NIR_{TM4} - MidIR_{TM5})]}{-\log[1 - (NIR_{TM4} + MidIR_{TM5})]}$	Hunt vd., 1987
Orta Infrared İndeksi	$MidIR = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM7}}$	Musick ve Pelletier, 1988
Toprak Uyumlu Bitki İndeksi (SAVI)	$SAVI = \frac{(1 + L)x(NIR - red)}{NIR + red + L}$	Huete, 1988; Qi vd., 1995
Atmosferik Dirençli Bitki İndeksi (ARVI)	$ARVI = \left( \frac{p^*_{nir} - p^*_{rb}}{p^*_{nir} + p^*_{rb}} \right)$	Kaufman ve Tanre, 1992; Huete ve Liu, 1994
Toprak ve Atmosferik Dirençli Bitki İndeksi (SARVI)	$SARVI = \frac{p^*_{nir} - p^*_{rb}}{p^*_{nir} + p^*_{rb} + L}$	Huete ve Liu, 1994; Running vd., 1994
Zenginleştirilmiş Bitki İndeksi (EVI)	$EVI = \frac{p^*_{nir} - p^*_{red}}{p^*_{nir} + C_1 p^*_{red} - C_2 p^*_{blue} + L} (1 + L)$	Huete ve Justice, 1999



Şekil 6.39 İnceleme alanına ait normalize fark bitki indeksi (NDVI) haritası.

6.4.1.3.1 *Bitki Örtüsü Yoğunluk Haritası.* Normalize fark bitki indeksi haritası ile elde edilen bitki yoğunluk indeksi haritası kullanılarak bitki örtüsü yoğunluğu tematik bir harita haline dönüştürülmüştür. Bunun için, NDVI haritası, eşit aralık

yöntemi kullanılarak “Örtüsüz Arazi”, “Çok Az Yoğun”, “Az Yoğun”, “Yoğun” ve “Çok Yoğun” olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır (Şekil 6.40).



Şekil 6.40 Yeniden sınıflandırılmış bitki örtüsü yoğunluk haritası.

#### 6.4.2 Sinir Ağları (Neural Network) Sınıflandırması

Arazi örtü sınıflandırması için denetimli sınıflandırma yaklaşımı ve sınıflandırıcı olarak da sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Sinir ağları yöntemi, geçen on yıllık süre içerisinde yaygın olarak kullanılan modern görüntü sınıflandırma yaklaşımlarından biridir (Kavzoğlu ve Mather, 2003; Bruzzone vd., 1999; Paola ve Schowengerdt, 1995). Bu yöntem ile daha az sayıda eğitim alanı kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Kavzoğlu ve Mather, 2003). Çok sayıda sinir ağları yöntemi geliştirilmiş olmasına karşın, çok tabakalı algı (multilayer perceptron-MLP) ve ileri besleme (feed-forward) yapay sinir ağı modelleri en çok kullanılan modeller arasında yer almaktadır (Tso ve Mather, 2001). Özellikle geri yayılım (back propagation) öğrenme algoritmasında kullanılan MLP modeli, en yaygın kullanılan yapay sinir ağı modelidir. MLP modelinde üç veri tabakası vardır ve bu tabakaların herbiri birbirlerine tümüyle bağlı, işlem yapan düğüm noktalarından (nodlardan) oluşmaktadır. Aynı veri tabakaları içerisinde bulunan nodlar ise birbirleriyle bağlantılı değildir. Bu tabakalar sırasıyla, girdi tabakası (input layer), gizlenmiş tabaka (hidden layer) ve çıktı tabakasıdır (output layer). Bir MLP, tipik olarak bir girdi tabakası, bir veya iki gizlenmiş tabaka ve bir çıktı tabakasından oluşmaktadır (Şekil 6.41). Girdi veri tabakası, uydu görüntüsüne ait bantlar gibi özel veri kaynaklarına karşılık gelmektedir. Gizlenmiş tabakalar hesaplamalar için kullanılır ve her bir nod ile ilişkili değerler, o noda bağlı bağlantıların ağırlık değerleri ve girdi nodu arasındaki çarpım değerlerinin toplamı yardımıyla tahmin edilir. Çıktı tabakası ise söz konusu amacı temsil eden değerlerden oluşan bir kodlar grubunu içerir. Bu kodlar grubu, arazi örtüsünün belirlenmesi amaçlı görüntü sınıflandırmasında, her bir arazi sınıfını göstermektedir.

MLP'ler, incelenen verinin çarpıcı özelliklerinin öğretilmesi zorunlu olduğu için, "denetimli (supervised)" olarak tanımlanan yöntemler grubunun bir üyesidir. Dolayısıyla, bir öğrenme algoritması, bir yapay sinir ağı uygulamasının çekirdeğini oluşturmaktadır. Çok sayıda öğrenme algoritması geliştirilmiş olmasına karşın, en popüler kullanılan öğrenme algoritması Rumelhart (1986) tarafından geliştirilen geri

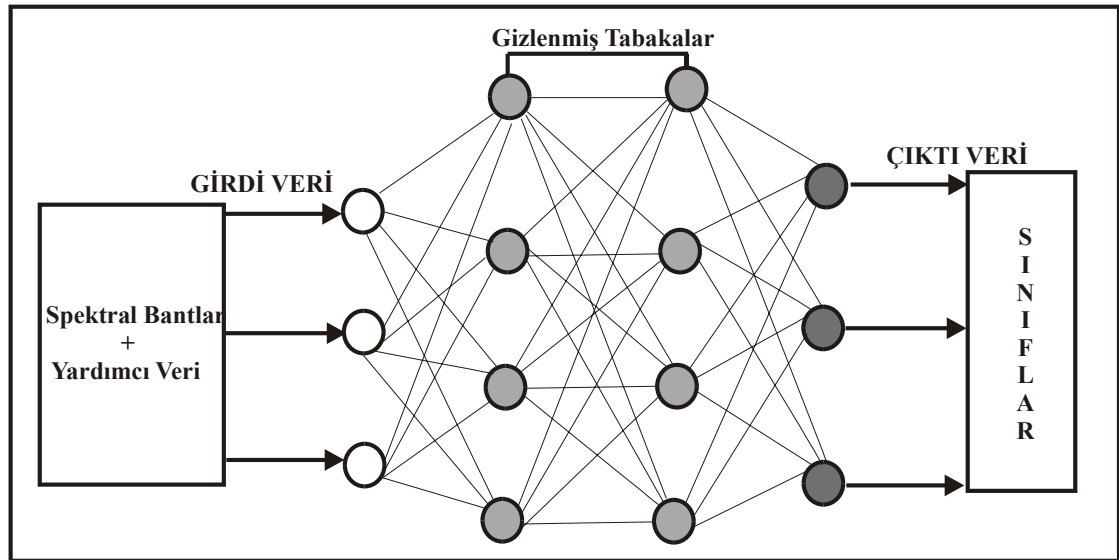


yayılm algoritmasıdır. Genelleştirilmiş delta kuralı olarak adlandırılan aşağıdaki formülü verilen bu algoritma, bir iterasyon eğim azalım eğitim işlemidir.

$$\Delta\omega_{ji(i+1)} = \eta\delta_{ji}o_i + \alpha\Delta\omega_{ji(n)}$$

Burada;  $\eta$  :öğrenme oranını,  $\alpha$  :momentum faktörünü ve  $\delta$  :hesaplanan hatayı ifade etmektedir.

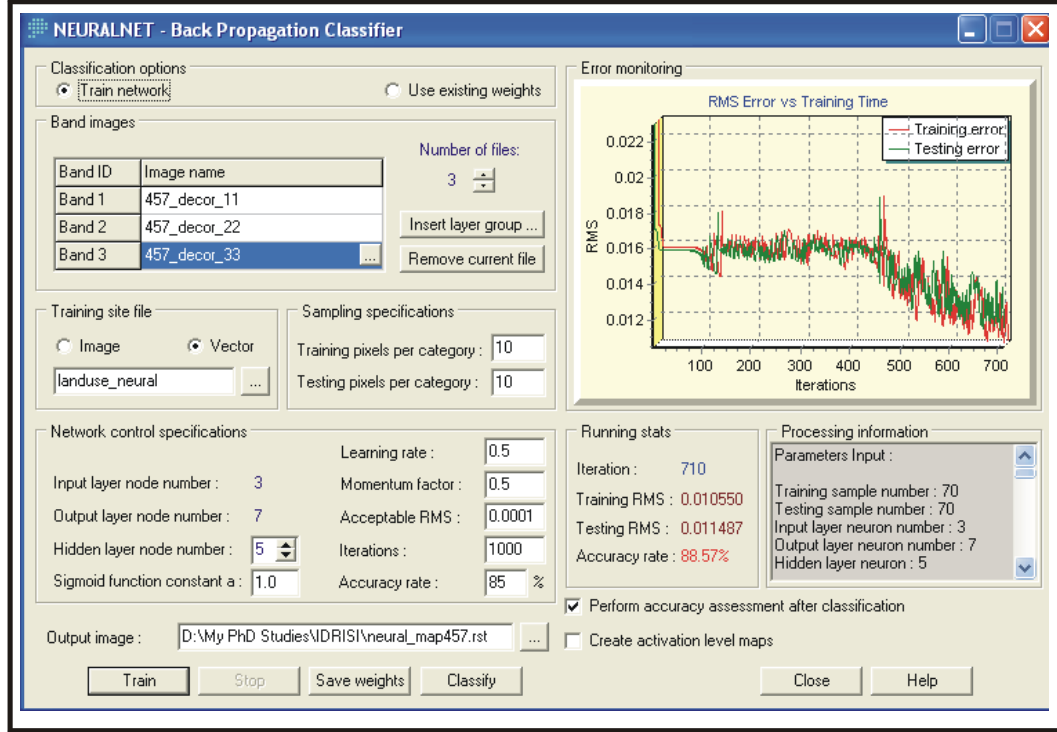
Yapay Sinir Ağı modelinde işlem iki adımda gerçekleştirilir. Birinci adımda, ağ ağırlıkları rastgele biçimde başlatıldığı zaman girdi verisi ağa sunulur ve her eğitim dokui için çıktı değerlerin tahmin edilebilmesi için ileri doğru yayılır. İkinci adımda, bilinen ve tahmin edilen iki çıktı arasındaki fark (hata oranı), ağ'dan geriye doğru beslenir ve düğüm noktaları ile ilişkili ağırlıklar elde edilen ve olması arzu edilen çıktılar arasındaki farkın en aza indirilmesi amacıyla değiştirilir. Bu tüm işlem, her iterasyonda yeniden hesaplanan ağırlıklar ile hata minimum oluncaya veya belirlenen bir eşik değerden daha az olana kadar tekrarlanır.



Şekil 6.41 Dört tabakalı, tamamen bağlanmış, basit bir yapay sinir ağı modeli (Tso ve Mather, 2001).

İnceleme alanındaki arazi örtüsü sınıflandırması için MLP yapay sinir ağı modeli ve geri besleme algoritması kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Girdi tabakası,

düğüm noktası 3 olmak üzere dekorelasyon gemesi uygulanan Landsat 7 ETM+ görüntüsüne ait 4, 5 ve 7 bantları kullanılmıştır.



Şekil 6.42 Yapay sinir ağı sınıflandırıcısı arayüzü ve sınıflandırmada kullanılan parametreler.

Sınıflandırmada eğitici olarak, oluşturulan vektör veri formatındaki eğitim alanları kullanılmıştır. Girdi verideki 3 düğüm noktasına karşılık 5 gizlenmiş tabaka ve 7 çıktı tabaka düğüm noktası oluşturulmuştur. Burada gizlenmiş tabaka sayısı, aşağıdaki formülasyon uyarınca girdi veri tabakasındaki düğüm noktalarına bağlı olarak oluşturulmaktadır (Eastman, 2004).

$$N_h = INT(\sqrt{N_i x N_o})$$

Buradaki  $N_h$ ,  $N_i$  ve  $N_o$  sırasıyla gizlenmiş tabaka, girdi tabaka ve çıktı tabaka sayılarını ifade etmektedir.

Sınıflandırmada öğrenme oranı, kullanılan yazılımın sağlamış olduğu hazır değerlerden 0.5, momentum faktörü 0.5, kabul edilebilir hata oranı 0.0001 ve doğruluk oranı %85 olarak alınmıştır. Bu veriler girildikten sonra eğitim alanlarına göre sistem eğitilmiştir. Eğitim, 1000 iterasyon da 70 örnekleme noktasında

gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktasının sayısının çok az ya da çok fazla olması istenilen bir durum değildir (Kavzoğlu ve Mather, 2003) . Çünkü, çok az sayıdaki örnekleme noktası her bir sınıfı doğru biçimde temsil etmeyebileceği gibi, çok fazla sayıda örnekleme noktasının alınması da eğitim alanlarının üst üste binmesine neden olacaktır. Dolayısıyla her iki durumda da sınıflandırma sonucu istenilen düzeyde olmayacaktır (Tso ve Mather, 2001). Bu işlemden sonra eğitim alanlarına göre dekorelasyon germesine tabi tutulmuş Landsat ETM+ 457 (RGB) bantları üzerinden eğitim yapılmıştır. Eğitim tamamlandıktan sonra görüntü sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 6.42).

#### *6.4.2.1 Doğruluk Değerlendirmesi*

Görüntü sınıflandırma işlemleri dizisinde en son gerçekleştirilmesi gereken adım, sınıflandırılmış görüntünün doğruluk analizinin gerçekleştirilmesidir (Richards, 1995). Doğruluk analizinin gerçekleştirilmesinde iki temel yaklaşım vardır. Birincisi, sınıflandırılan görüntünün, aynı tematik bilgileri taşıyan, fakat arazide birebir ya da sınıflandırmada kullanılan çözünürlükten daha yüksek çözünürlükteki hava fotoğrafı, uydu görüntüsü gibi başka bir referans görüntü ile mukayese edilerek doğruluk analizinin yapılmasıdır. İkinci yaklaşım ise, eğitim alanı amacıyla tanımlanan piksel gruplarının sınıflandırılan görüntü ile karşılaştırılarak doğruluk analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu son yaklaşımda sınıflandırma doğruluğu, herhangi bir sınıfa ait eğitim alanında tanımlanan piksel sayılarının, sınıflandırılan görüntüde aynı sınıfa ait karşılık gelen piksel sayılarına oranı olarak tanımlanmaktadır (ENVI, User Guide, 2004). Bu yaklaşımla elde edilen doğruluk “kullanıcı doğruluğu (user’s accuracy)” olarak isimlendirilip, hesaplama sonucu bulunan değer, iş ya da görev hatasının (commission error) bir ölçüsüdür. Bu değer aynı zamanda, harita üzerinde sınıflandırılmış bir pikselin, arazide bire bir yapılan bir harita üzerinde aynı sınıfa ait olma olasılığını işaret etmektedir (Lunetta vd., 1991).

Elde edilen sınıflandırılmış görüntünün doğruluk analizinde, tematik haritaların doğruluğunun ölçülmesinde çok sıklıkla kullanılan “Kappa Benzerlik Oranı” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, hata matrisindeki doğru sınıflandırılmış piksel

sayısının, sınıflandırılmış toplam piksel sayısına oranı dikkate alınmaktadır (Congalton ve Mead, 1983; Jensen, 2000). Kappa analizi sonucunda bir  $K_{hat}$  istatistik oranı bulunmaktadır. Bu değer, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenmektedir.

$$K_{hat} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}$$

Burada N toplam gözlem sayısını, r hata matrisindeki sıra sayısını,  $x_{ii}$  i'nci kolon ve sıradaki gözlem sayısını,  $x_{i+}$  ve  $x_{+i}$  sırasıyla i'nci sıra ve kolon için sınır toplamlarını vermektedir (Congalton ve Mead, 1983).

Sinir ağları ile sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflandırılmış görüntüye ait gerçekleştirilen doğruluk analizi sonuçları Tablo 6.10' da verilmiştir.

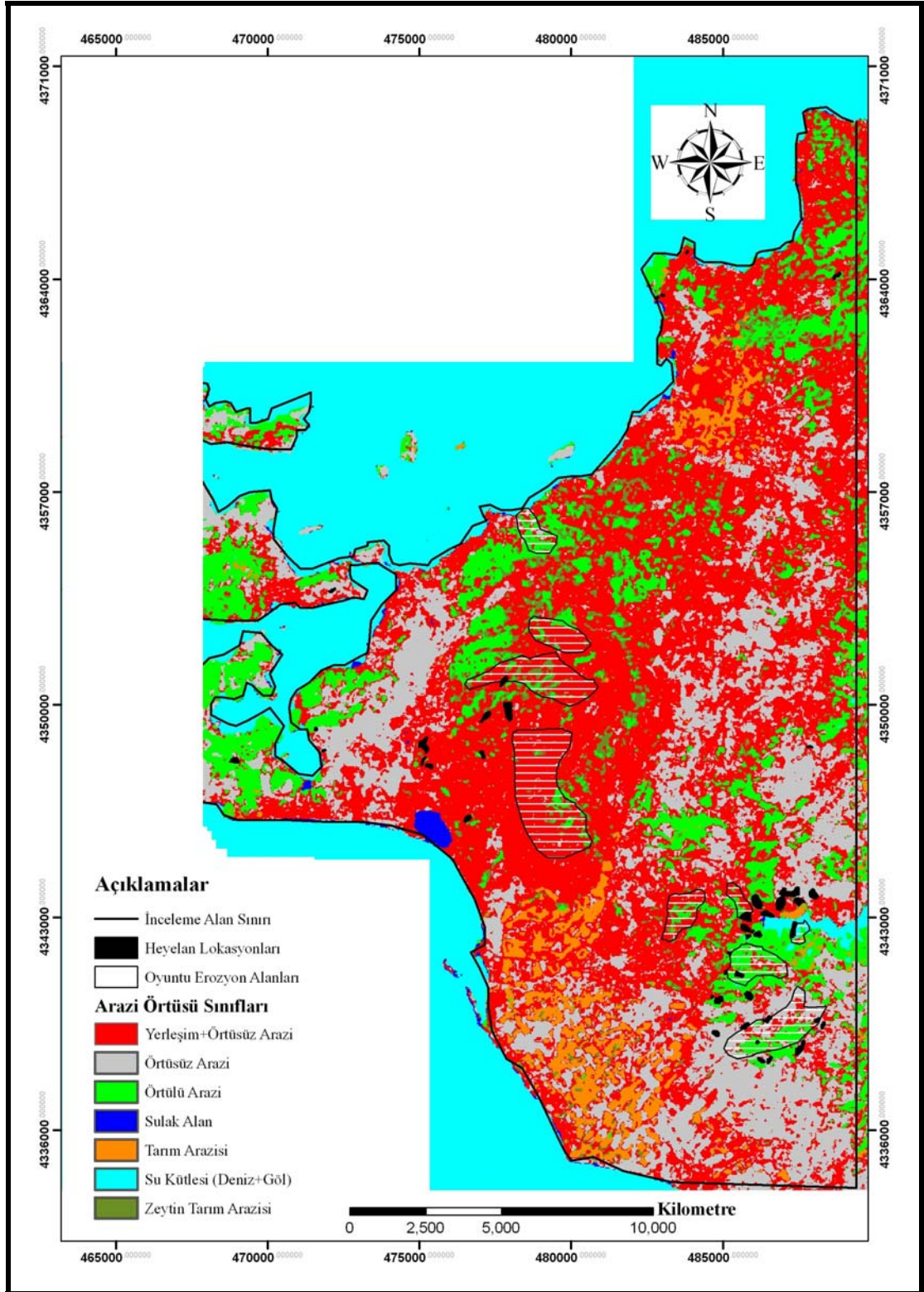
Bu tabloda; 1: Yerleşim ve örtüsüz arazi, 2: Örtüsüz arazi, 3: Örtülü arazi, 4: Sulak alan, 5: Tarım arazisi, 6: Su kütlesi (deniz ve baraj gölü) ve 7: Zeytin tarım arazisi olmak üzere arazi sınıflarına karşılık gelmektedir. Elde edilen doğruluk oranlarına bakıldığı zaman, sulak alan, tarım arazisi ve su kütesine ait sınıflandırma %100 başarılı iken, örtüsüz arazi sınıflandırma başarısı % 99.34'tür. Yerleşim alanı ve örtüsüz arazi sınıfları, denenen hem doğal kompozit görüntülerde ve hem de dekorelasyon gemesi ile elde edilen görüntüde birbirine çok karışmakta olması nedeniyle doğruluk oranı %55.38 olarak bulunmuştur. Sınıflandırma da en kötü oran %26 ile zeytin tarım arazilerinde olmuştur. Zeytin ağaçlarının arasından ana kaya malzemesinin yansımaları ve zeytin bahçeleriyle diğer meyve bahçelerinin birbirlerine çok yakın olması, eğitim alanı seçimini zorlaştırmış, dolayısıyla da sınıflandırma doğruluk yüzdesinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Tüm sınıflandırma doğruluk oranı ise (Overall Kappa Katsayısı) % 94.77 olarak belirlenmiş olup bu değer, %95 güven aralığında sınıflandırmanın istenilen güven düzeyinde olduğunu göstermektedir.

Tablo 6.10 Sınıflandırma doğruluk analizi için oluşturulan hata matrisi

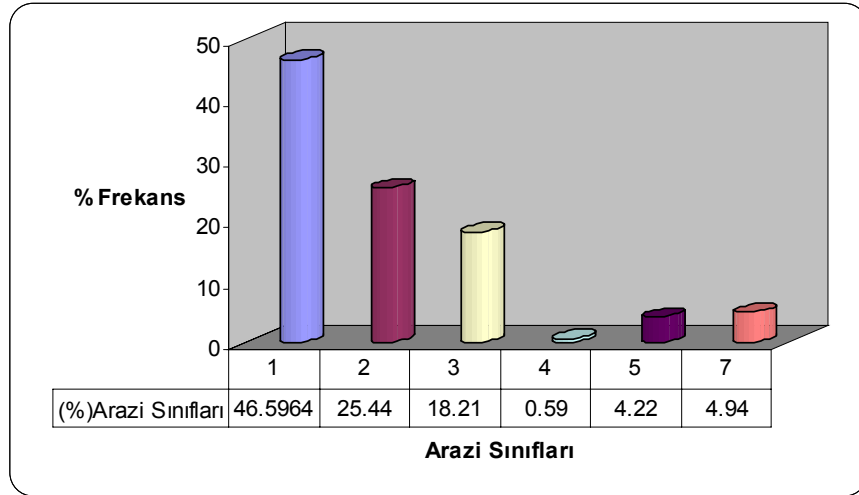
SINIFLANDIRMA HATA MATRİSİ										
SINIF	1	2	3	4	5	6	7	TOPLAM	İŞ HATASI	
1	400	13	13	0	0	0	37	463	0.1361	
2	320	3499	8	0	0	0	0	3827	0.0857	
3	0	10	303	0	0	0	0	472	0.3581	
4	1	0	0	482	0	0	0	483	0.0021	
5	0	0	0	0	165	0	0	165	0.0000	
6	0	0	0	0	0	209335	0	209335	0.0000	
7	0	0	1	0	0	0	69	70	0.0143	
<b>TOPLAM</b>	721	3522	325	482	165	209335	265			
<b>DOĞRULUK (%)</b>	55.38	99.34	93.32	100	100	100	26			
<b>Overall Kappa = 0.9477</b>										

Arazi örtüsü haritasına bakıldığında, inceleme alanının %46.59'unu yerleşim alanı ve örtüsüz arazinin, %25.4'ünün sadece örtüsüz arazinin, %18.21'ni örtülü arazinin, %0.59'nun sulak alanların, %4.22'sinin tarım arazilerinin ve %4.49'unun ise zeytin tarımı yapılan arazilerin kaplamış olduğu görülmektedir (Şekil 6.43). Arazi örtülerinin alansal dağılımlarının hesaplanmasında, su kütlesi olan alanlar maskelenmiş, geri kalan alanların toplamı yüzde değer hesabında kullanılmıştır.

İnceleme alanını büyük bir kısmının örtüsüz arazi olması, erozyon ve heyelan açısından duyarlı olabilecek alanların meydana gelmesi açısından önemli bir veri oluşturmaktadır.



Şekil 6.43 Sinir ağları sınıflandırması ile elde edilen, inceleme alanına ait arazi örtüsü haritası.



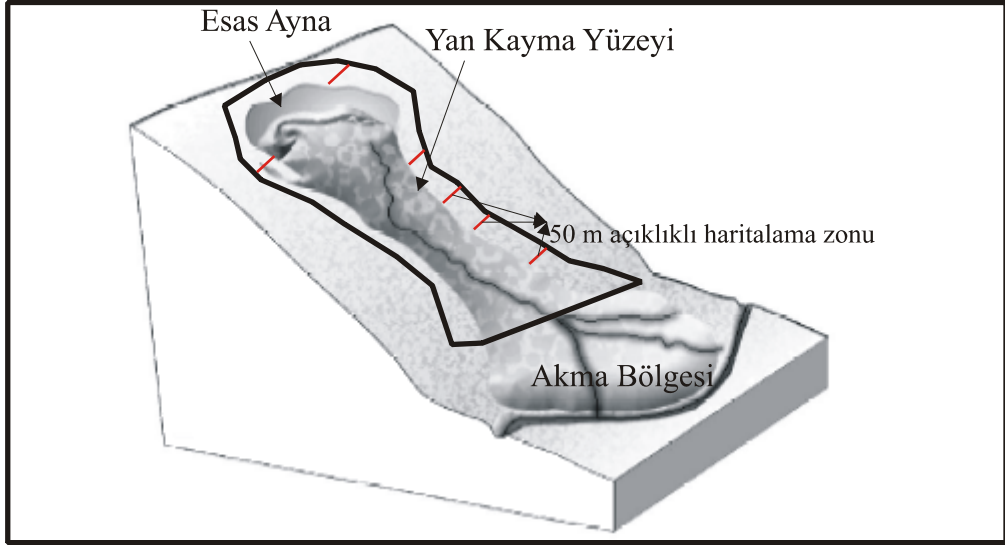
Şekil 6.44 Arazi örtüsünün alansal dağılımı.

### 6.5 Heyelan Envanter Haritalaması

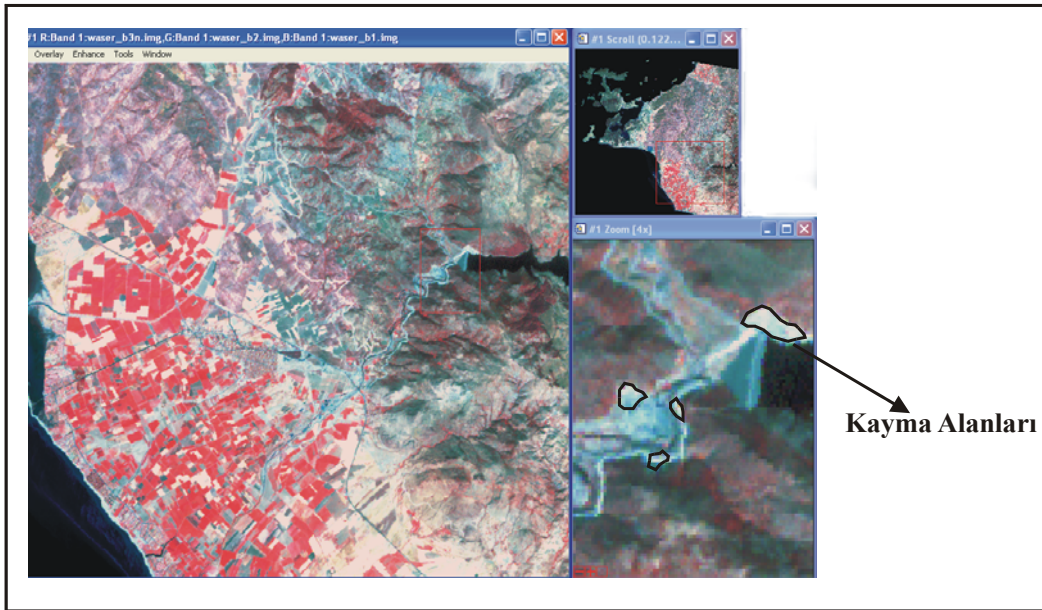
İnceleme alanında meydana gelen kütle hareketleri, ayrıntılı arazi gözlemleri, 1/35000 ölçekli 1995 yılına ait stereo pankromatik hava fotoğrafları ve 15 m yersel çözünürlüklü, 2004 yılına ait Aster 3A01 uydu görüntüsü kullanılarak haritalanmıştır. Ayrıca, 1987 yılına ait 30 m çözünürlüklü ve 2001 yılına ait yine 15 m çözünürlüklü (pansharped) Landsat 7 ETM+ görüntüleri üzerindeki değişim lokasyonları dikkate alınmıştır.

Envanter haritalaması yapılırken hareketin türü, Varnes (1978) tarafından önerilen kütle hareketi sınıflamasına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre inceleme alanında haritalanan 45 kütle hareketi, dairesel kayma, düzlemsel kayma ve düşme olarak ayıtlanmıştır. Hareket alanlarının harita üzerine aktarılması sırasında heyelan kütlelerinin esas ayna (main scarp) yüzeyi ve yan kayma yüzeylerinden itibaren 50'şer metrelik bir zon dikkate alınmış, düzlemsel kayma ve düşme türü hareketlerin haritalanmasında ise hareketin meydana gelmiş olduğu yüzeyden itibaren yine 50 m'lik bir zon göz önüne alınmıştır (Şekil 6.45).

Buna göre ayırt edilen heyelanların %51'nin dairesel kayma, %45'nin düzlemsel kayma ve %4'ünün ise düşme türü kütle hareketi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.47).

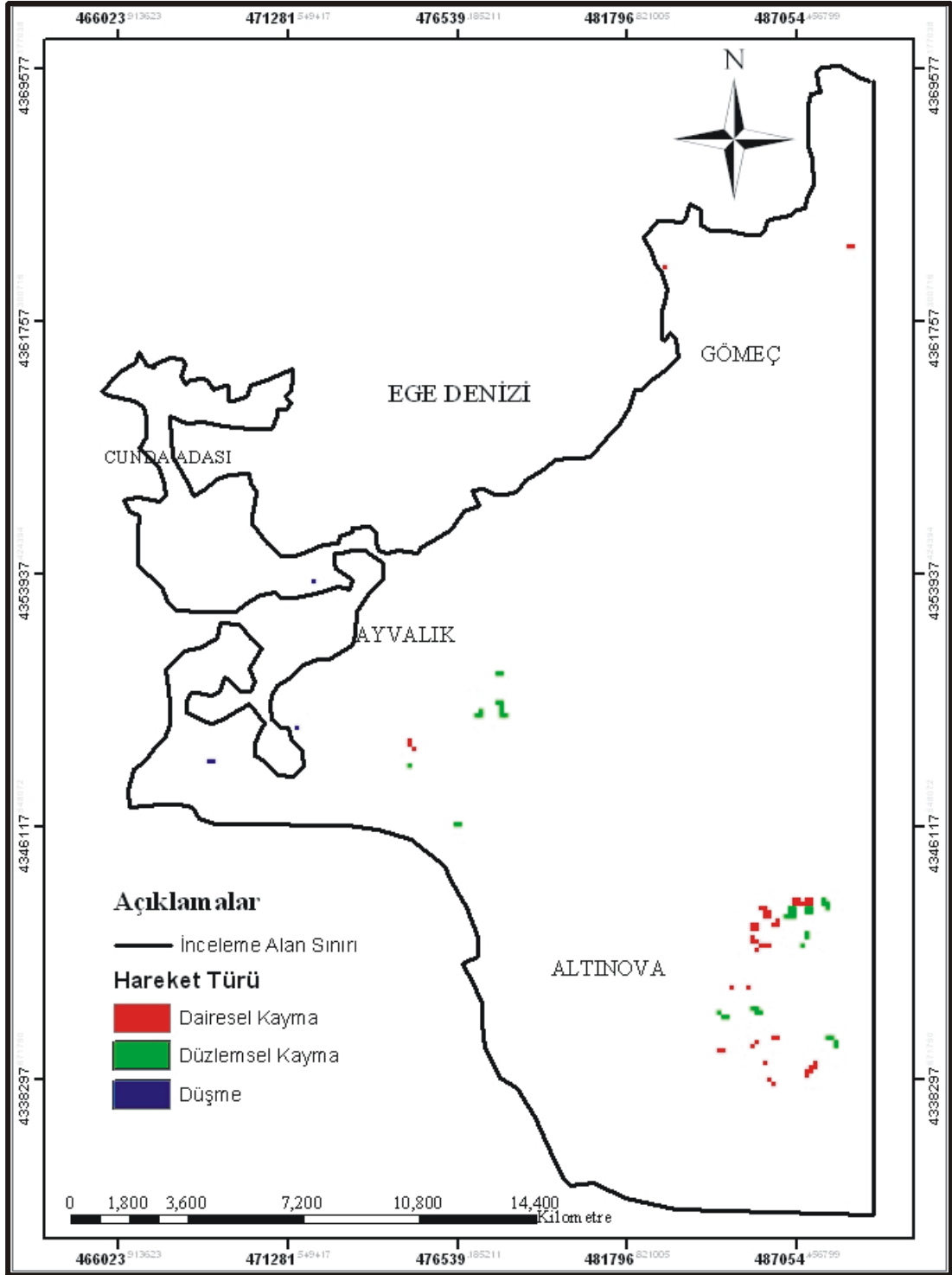


Şekil 6.45 Heyelan kütleinin haritalanması sırasında dikkate alınan haritalama prensibi (Süzen, 2004 a'dan değiştirilerek çizilmiştir).

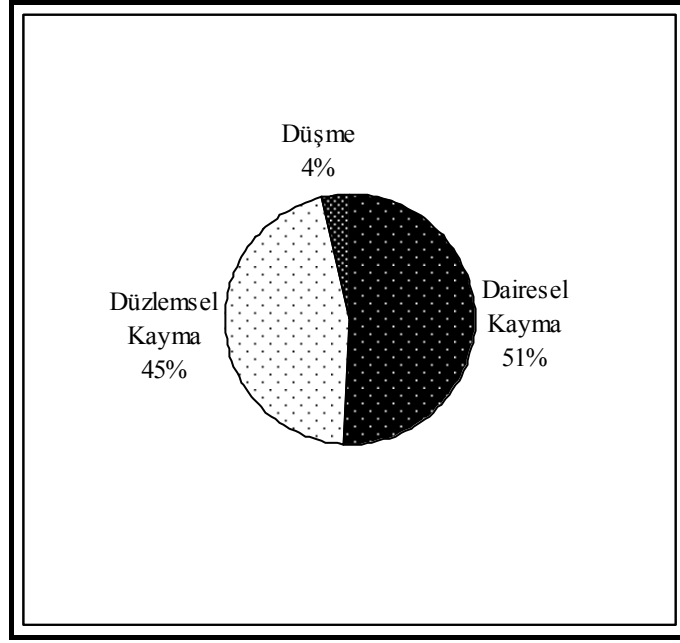


Şekil 6.46 Aster 3A01 uydu görüntüsü üzerinde kayan alanların eğitim alanı oluşturulması amacıyla vektör veri türünde (poligon veri) sayısallaştırılması.





Şekil 6.47 İnceleme alanında belirlenen kütle hareketi lokasyonlarını gösteren envanter haritası.



Şekil 6.48 İnceleme alanında haritalanan kütle hareketi türlerinin alansal dağılımları.

Envanter haritası, kütle hareketi görülen alanların vektör olarak sayısallaştırılması ile oluşturulmuştur. Heyelan alanları poligon olarak sayısallaştırılmış, daha sonra tüm poligon vektör formatındaki veriler, analizde kullanılmak amacıyla, daha önce oluşturulan verilerle aynı kolon ve sıra sayısında (940 kolon-1214 sıra) raster veri formatına dönüştürülmüştür.

Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin her biri ile, haritalanan heyelan lokasyonları karşılaştırılmış, her bir parametre için ayrılan alt parametre grupları ile heyelan oluşumları arasındaki alansal ilişkiler ortaya konulmuştur (Tablo 6.11). Bu ilişkiler, aynı zamanda Şekil 6.49'dan Şekil 6.55'e kadar grafik olarak sunulmuştur.

Tablo 6.11 Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin ve inceleme alanında ayrıtlanan heyelanların bu parametrelerle olan alansal ilişkileri.

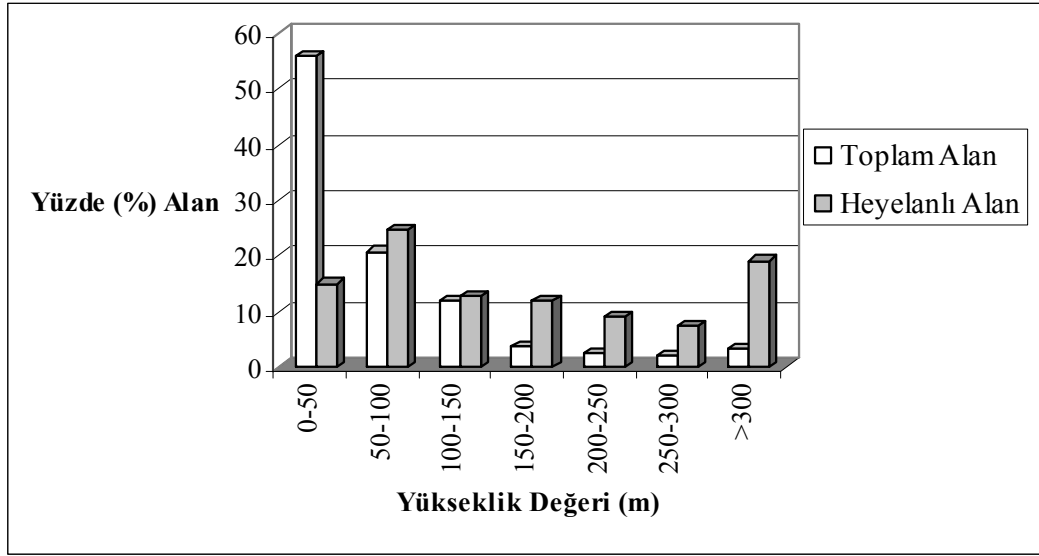
PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN	
		PIKSEL SAYISI	ORAN (%)	PIKSEL SAYISI	ORAN (%)
<b>Yükseklik (m)</b>	0-50	217615	55.89	248	15.02
	50-100	80727	20.73	407	24.65
	100-150	46301	11.89	211	12.78
	150-200	14557	3.73	198	11.99
	200-250	9386	2.41	148	8.96
	250-300	7757	1.99	124	7.51
	>300	13007	3.34	315	19.07
	<b>Toplam</b>		389350		1651
<b>Eğim (°)</b>	0-10	340165	87.36	646	39.12
	10_20	38985	10.01	357	21.26
	20-30	8679	2.22	481	29.13
	30-40	1077	0.27	166	10.05
	40-50	154	0.03	1	0.06
	>50	290	0.07	0	0
	<b>Yamaç Yönelimi (°)</b>	0	29842	7.66	0
	0-45	31104	7.98	112	6.78
	45-90	25164	6.46	77	4.66
	90-135	25860	6.64	130	7.87
	135-180	36762	9.44	299	18.11
	180-225	58518	15.02	413	25.01
	225-270	73729	18.93	242	14.65
	270-315	63380	16.27	219	13.26
	315-360	44991	11.55	159	9.63
<b>Litoloji</b>	Alüvyon	102011	26.2	0	0
	Tüf	36851	9.46	79	4.78
	Andezit	48465	12.44	417	25.25
	Silisifiye Tüf	582	0.14	0	0
	Gölsel Tortullar	151021	38.78	353	21.38
	Bazalt	41963	10.77	655	39.67

Tablo 6.11'in devamı.

PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN	
		PİKSEL SAYISI	ORAN (%)	PİKSEL SAYISI	ORAN (%)
	Konglomera	3112	0.79	20	1.21
	Aglomera	3689	0.94	127	7.69
	Metasedimanter- Metavolkanik	1541	0.39	0	0
	Trakiandezit	115	0.02	0	0
<b>Bozunma</b>	Taze	1518	0.38	9	0.54
	Az Bozunmuş	20376	5.23	470	28.46
	Orta Derece Bozunmuş	10694	2.74	18	1.09
	Yüksek Derece Bozunmuş	74361	19.09	750	45.42
	Tamamen Bozunmuş	145338	37.32	389	23.56
	Alüvyon Zemin	137063	35.2	15	0.9
<b>Bitki Yoğunluğu</b>	Örtüsüz	157516	40.45	611	37
	Çok Az	129623	33.29	469	28.4
	Az	85238	21.89	545	33.01
	Yüksek	15806	4.05	26	1.57
	Çok Yüksek	1167	0.29	0	0
<b>Drenaj Yoğunluğu</b>	Az	222065	57.03	529	32.04
	Orta	117323	30.13	380	23.01
	Yüksek	49962	12.83	742	44.94
<b>Drenaj Hatlarına Uzaklık</b>	0-100	58320	14.97	458	27.74
	100-200	49802	12.79	414	25.07
	200-300	44213	11.35	260	15.74
	300-400	37235	9.56	94	5.69
	>400	199780	51.31	425	25.74
	Sulak Alan	2063	0.52	12	0.72
<b>Arazi Örtüsü</b>	Yerleşim+Örtüsüz Arazi	195854	50.3	674	40.82
	Örtüsüz Arazi	101082	25.96	416	25.19
	Örtülü Arazi	52975	13.6	468	28.34
	Tarım Arazisi	16490	4.23	25	1.51
	Su Kütlesi (Deniz+Göl)	2910	0.74	0	0

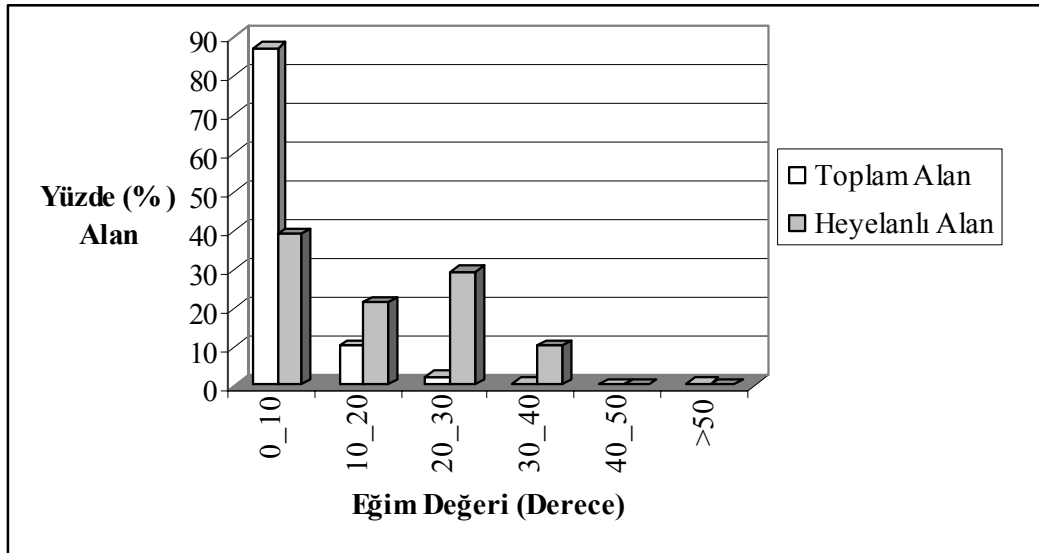
Tablo 6.11'in devamı.

PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN	
		PİKSEL SAYISI	ORAN (%)	PİKSEL SAYISI	ORAN (%)
	Zeytin Tarım Arazisi	17979	4.61	56	3.39
<b>Süreksizlik Yoğunluğu</b>	Veri Yok	259121	66.55	0	0
	Az	32455	8.33	209	12.65
	Orta	28701	7.37	400	24.22
	Yüksek	23867	6.12	65	3.93
	Çok Yüksek	45206	11.61	625	37.85
	10_20	61349	15.75	351	21.25
<b>Akarsu Güç İndeksi</b>	0_10	246418	63.28	420	25.43
	20_30	26170	6.72	152	9.2
	30_40	13015	3.34	111	6.72
	40_50	7885	2.02	87	5.26
	50_60	5304	1.36	68	4.11
	60_70	3873	0.99	51	3.08
	70_80	2933	0.75	52	3.14
	80_90	2339	0.6	62	3.75
	90_100	20064	5.15	297	17.98
<b>Topoğrafik Islaklık</b>	1_4	3389	0.87	136	8.23
	4_8	211825	54.4	1379	83.52
	8_12	157839	40.53	128	7.75
	12_16	15455	3.96	8	0.48
	16_20	833	0.21	0	0
	20-24	9	0.002	0	0
<b>Yamaç Şekli</b>	İç Bükey	6471	1.66	106	6.42
	Düz	376257	96.93	1329	84.31
	Dış Bükey	6622	1.7	153	9.26

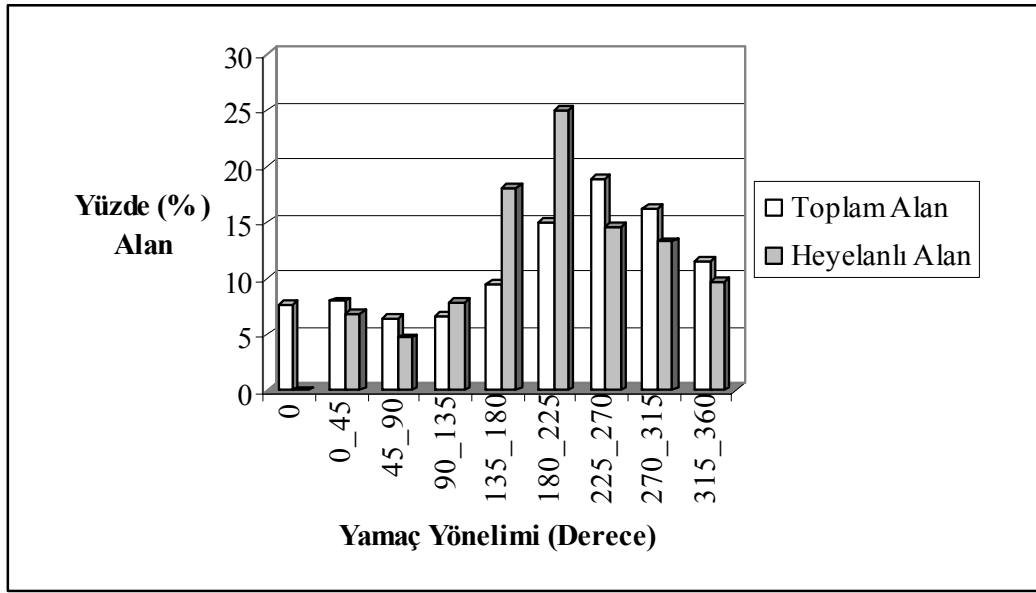


Şekil 6.49 Heyelanların yükseklik değerleri ile ilişkisi.

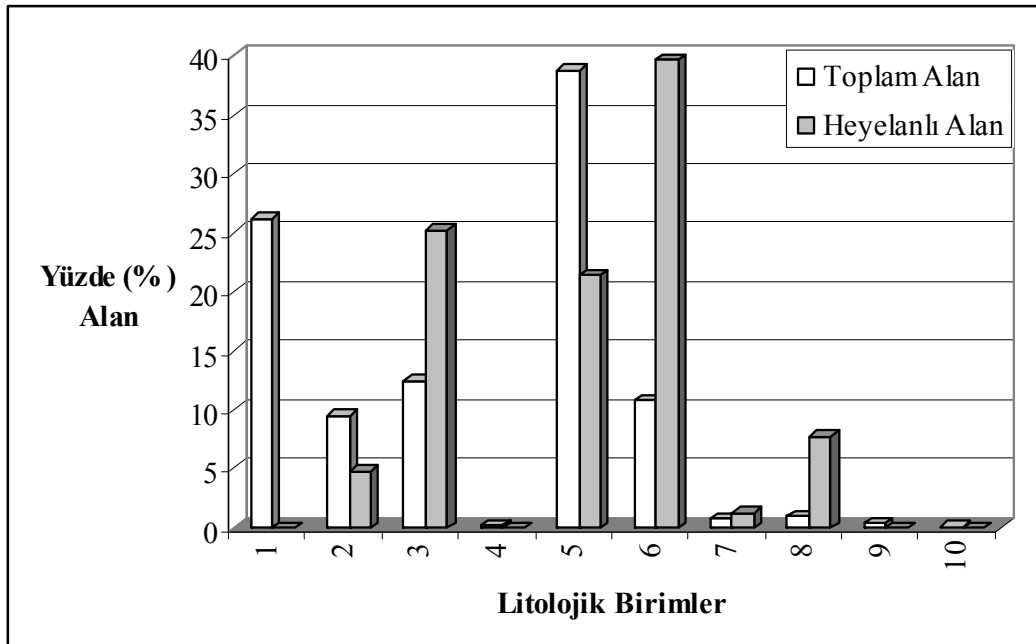
Burada yükseklik değeri, heyelan duyarlılık analizinde bir girdi veri olarak kullanılmamış, ancak topoğrafik yükseklik-heyelan gelişimi arasındaki ilişkiyi ortaya koyması amacıyla Tablo 6.9'da verilmiştir.



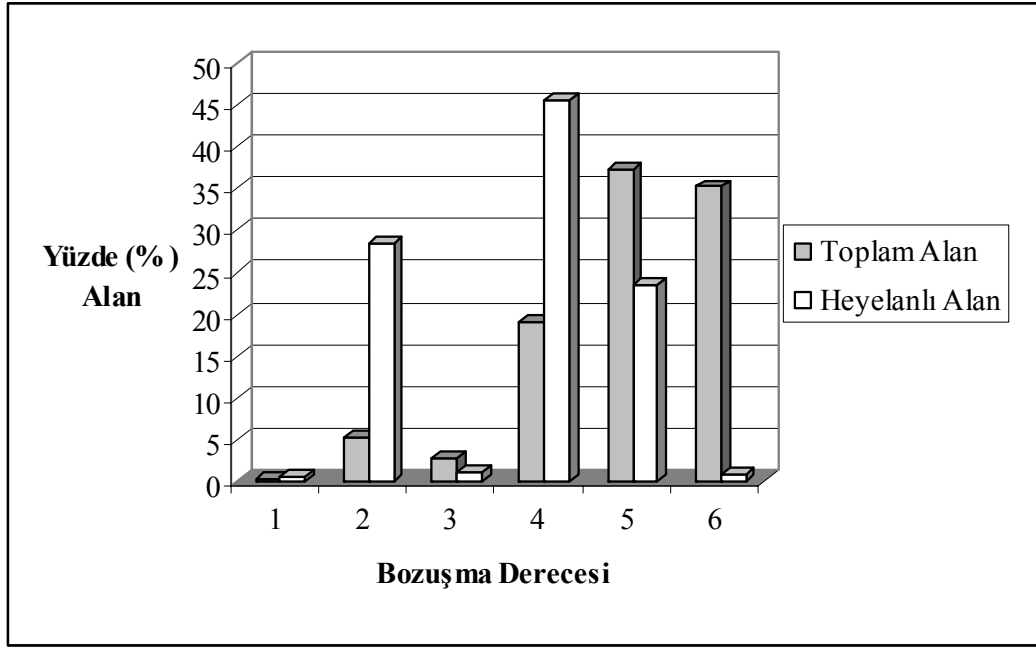
Şekil 6.50 Heyelanların yamaç eğimleri ile ilişkisi.



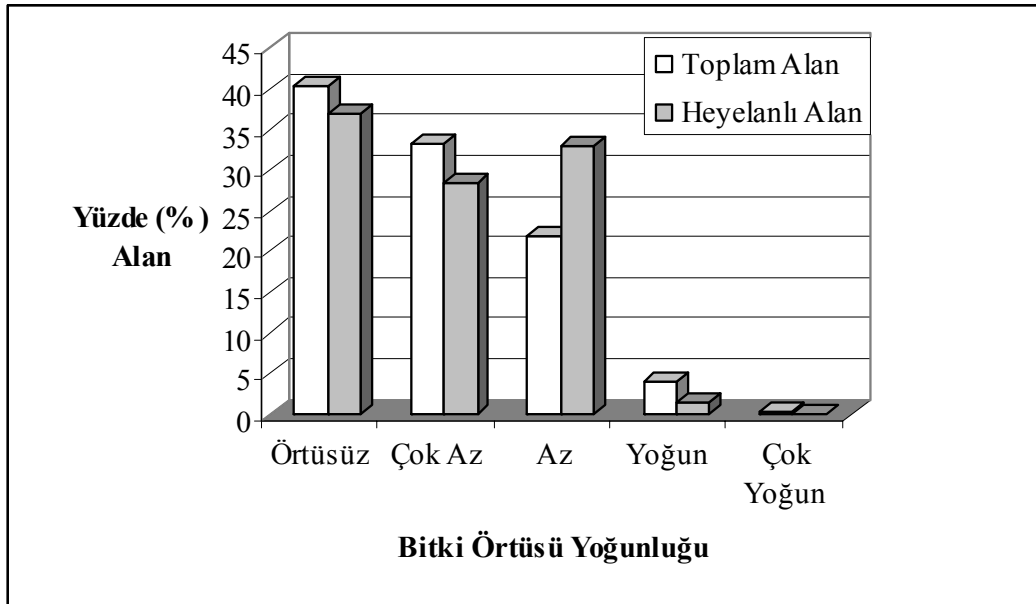
Şekil 6.51 Heyelanların yamaç yönelimleri ile ilişkisi.



Şekil 6.52 Heyelanların litolojik birimler ile ilişkisi. 1: Alüvyon, 2:Tüf, 3: Andezit, 4: Silisifiye Tüf, 5: Gösel Tortullar (Marn, Kıltaşı, Kireçtaşı), 6: Bazalt, 7: Konglomera, 8: Aglomera, 9: Metasedimanter-Metavolkanik, 10: Trakiandezit.

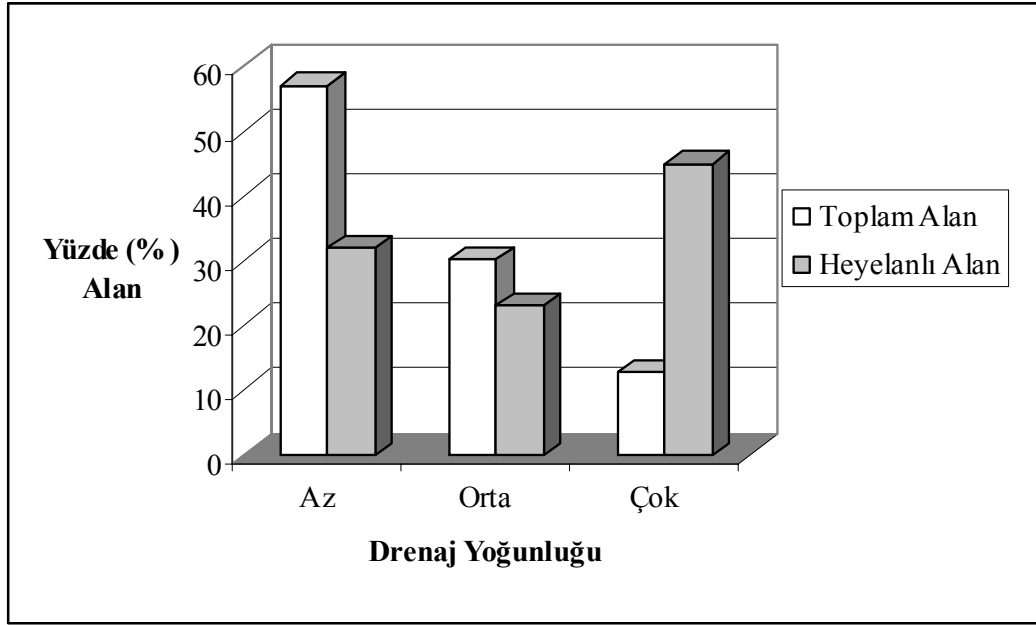


Şekil 6.53 Heyelanların bozunma dereceleri ile ilişkisi. 1. Bozunmamış, 2: Az Bozunmuş, 3: Orta Derece Bozunmuş, 4: Yüksek Derece Bozunmuş, 5: Tamamen Bozunmuş, 6: Alüvyon Zemin

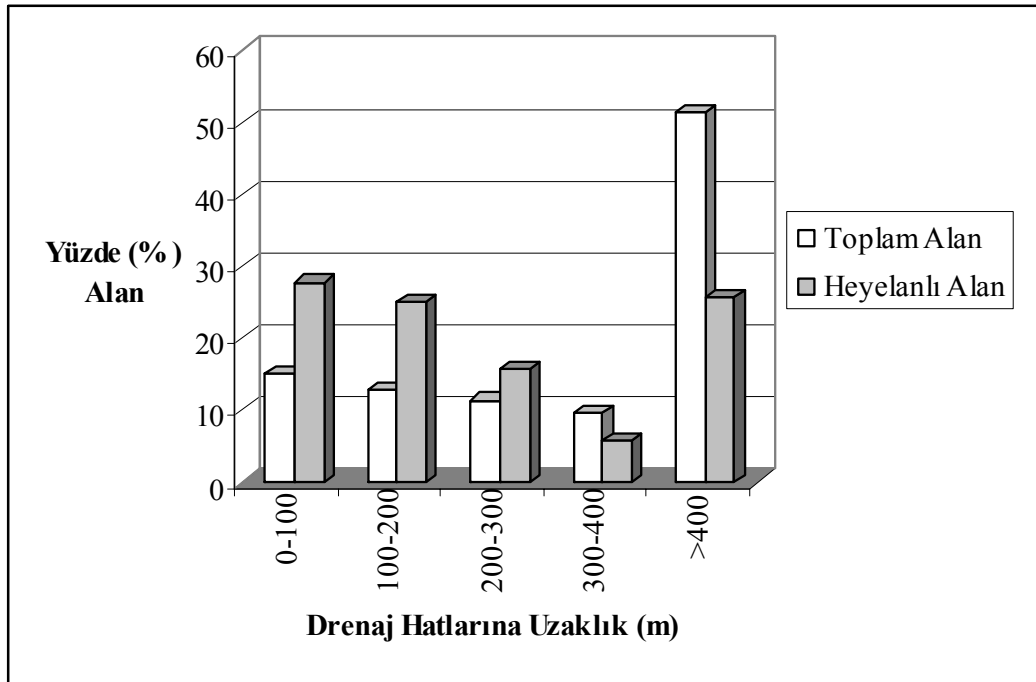


Şekil 6.54 Heyelanların bitki örtüsü yoğunluğu ile ilişkisi.

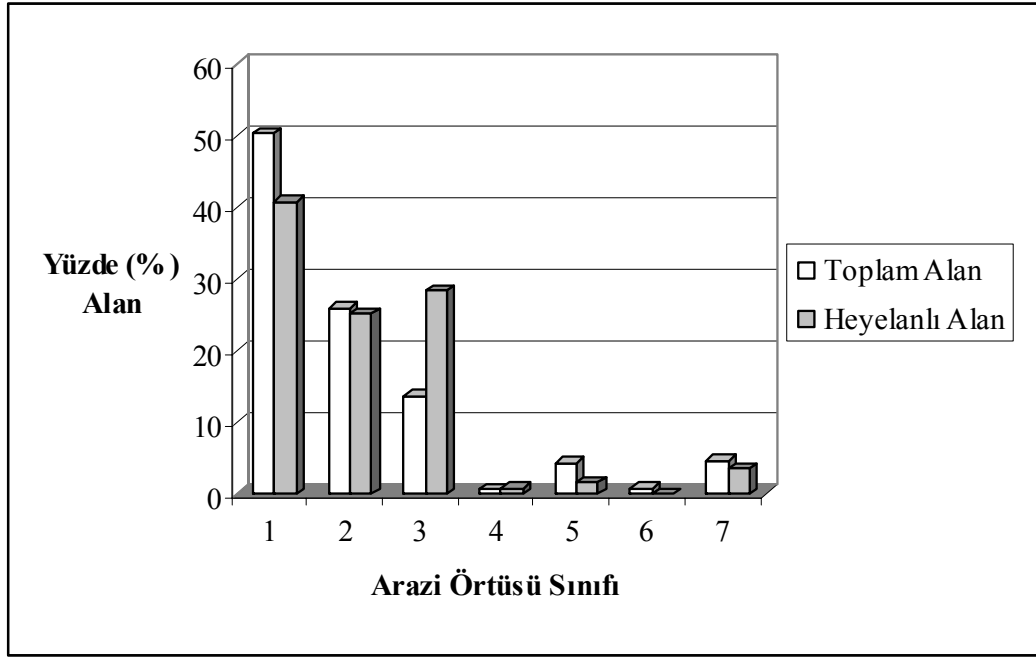




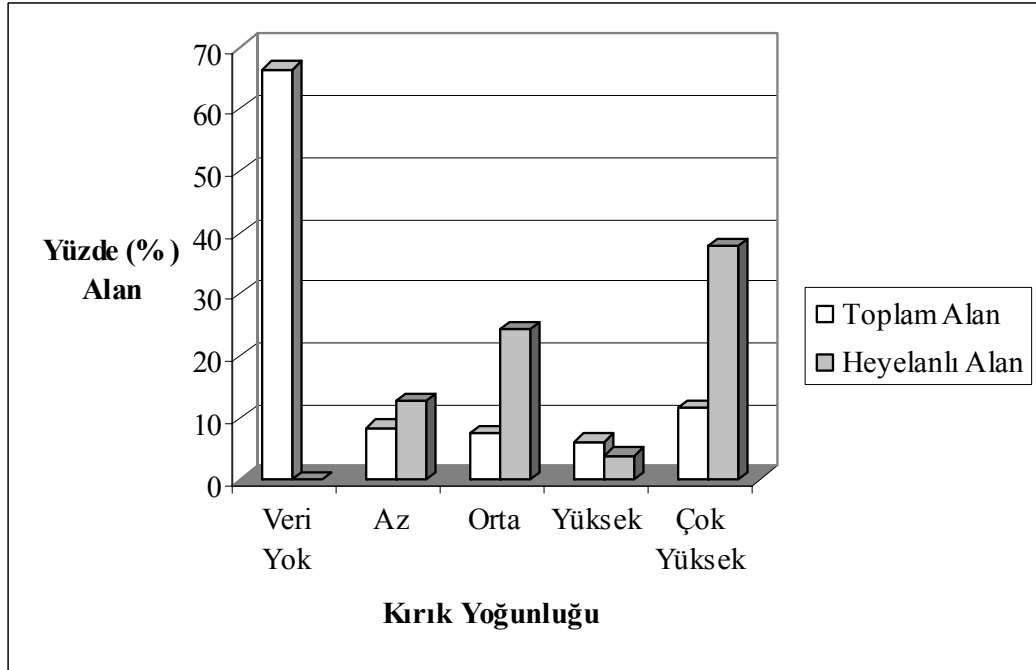
Şekil 6.55 Heyelanların drenaj yoğunluğu ile ilişkisi.



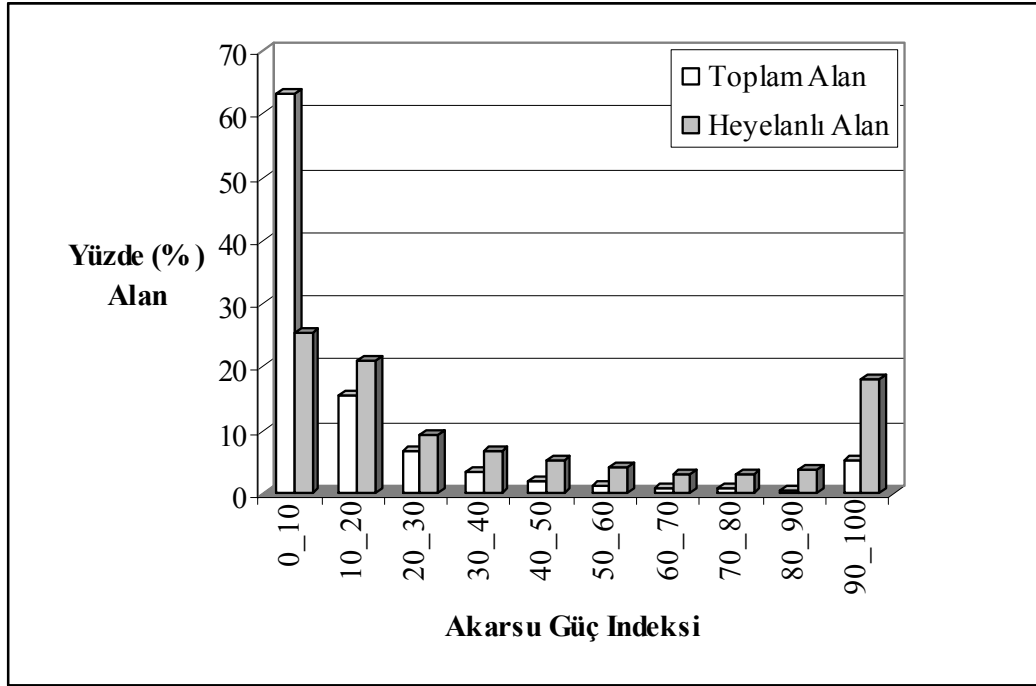
Şekil 6.56 Heyelanların drenaj hatlarına uzaklık ile ilişkisi.



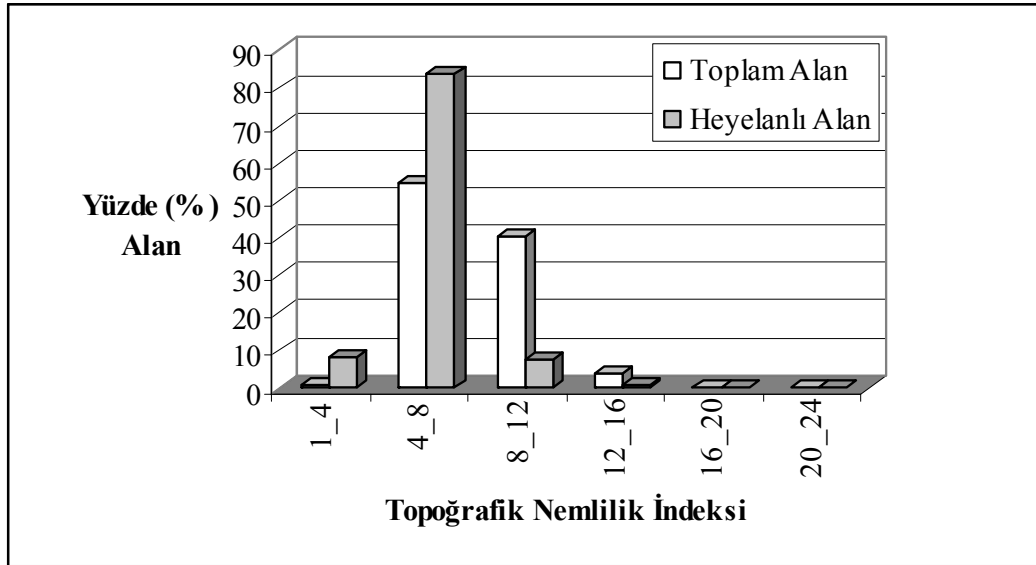
Şekil 6.57 Heyelanların arazi örtüsü sınıfları ile ilişkisi.



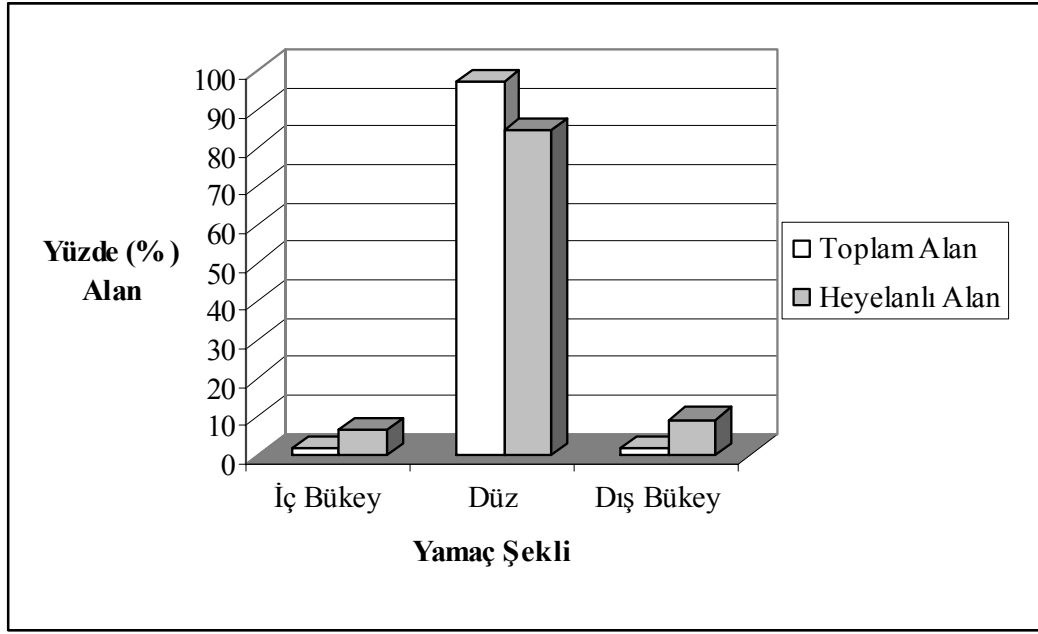
Şekil 6.58 Heyelanların süreksizlik yoğunluğu ile ilişkisi.



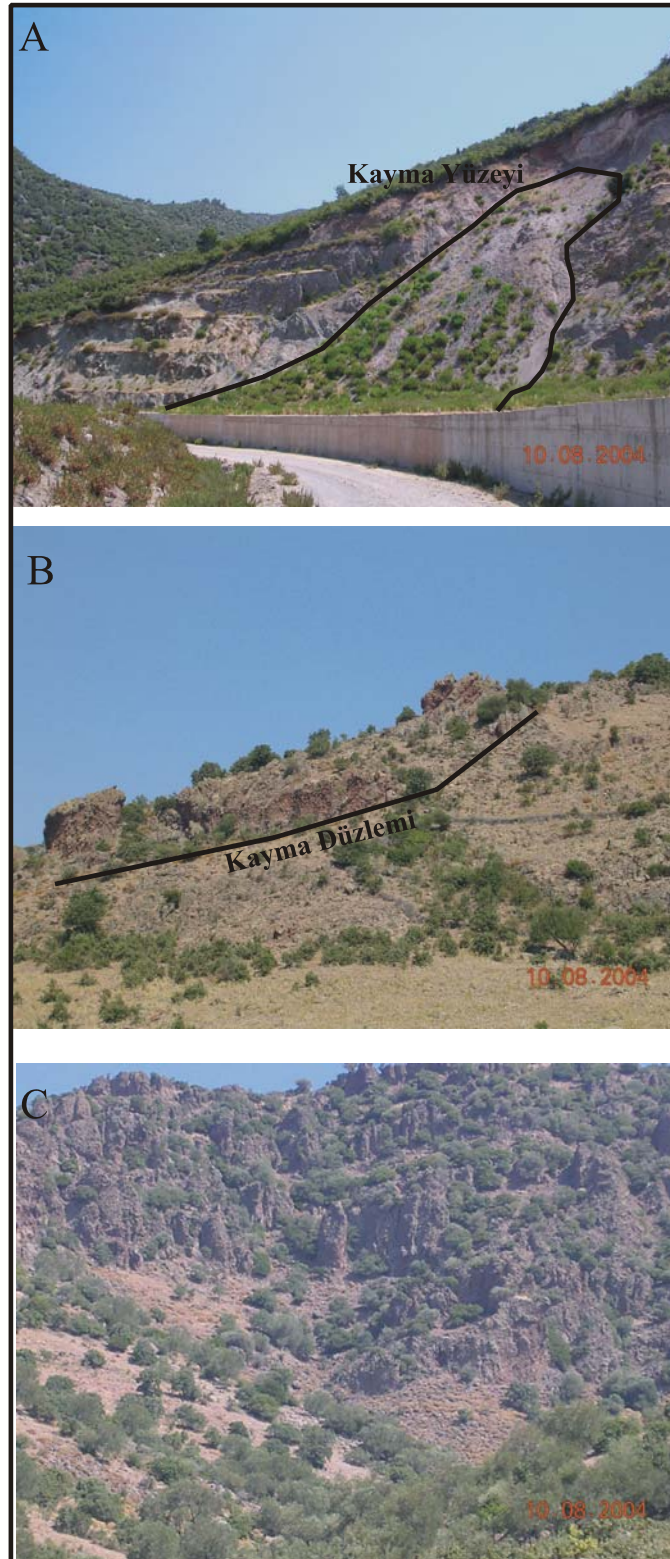
Şekil 6.59 Heyelanların akarsu güç indeksi değerleri ile ilişkisi.



Şekil 6.60 Heyelanların topoğrafik ıslaklık indeksi değerleri ile ilişkisi.



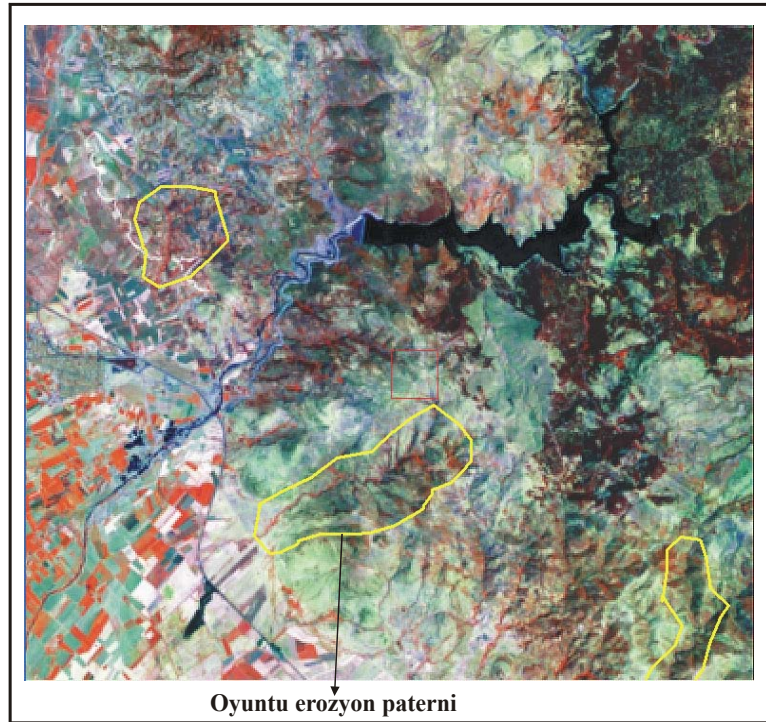
Şekil 6.61 Heyelanların yamaç şekilleri ile ilişkisi.



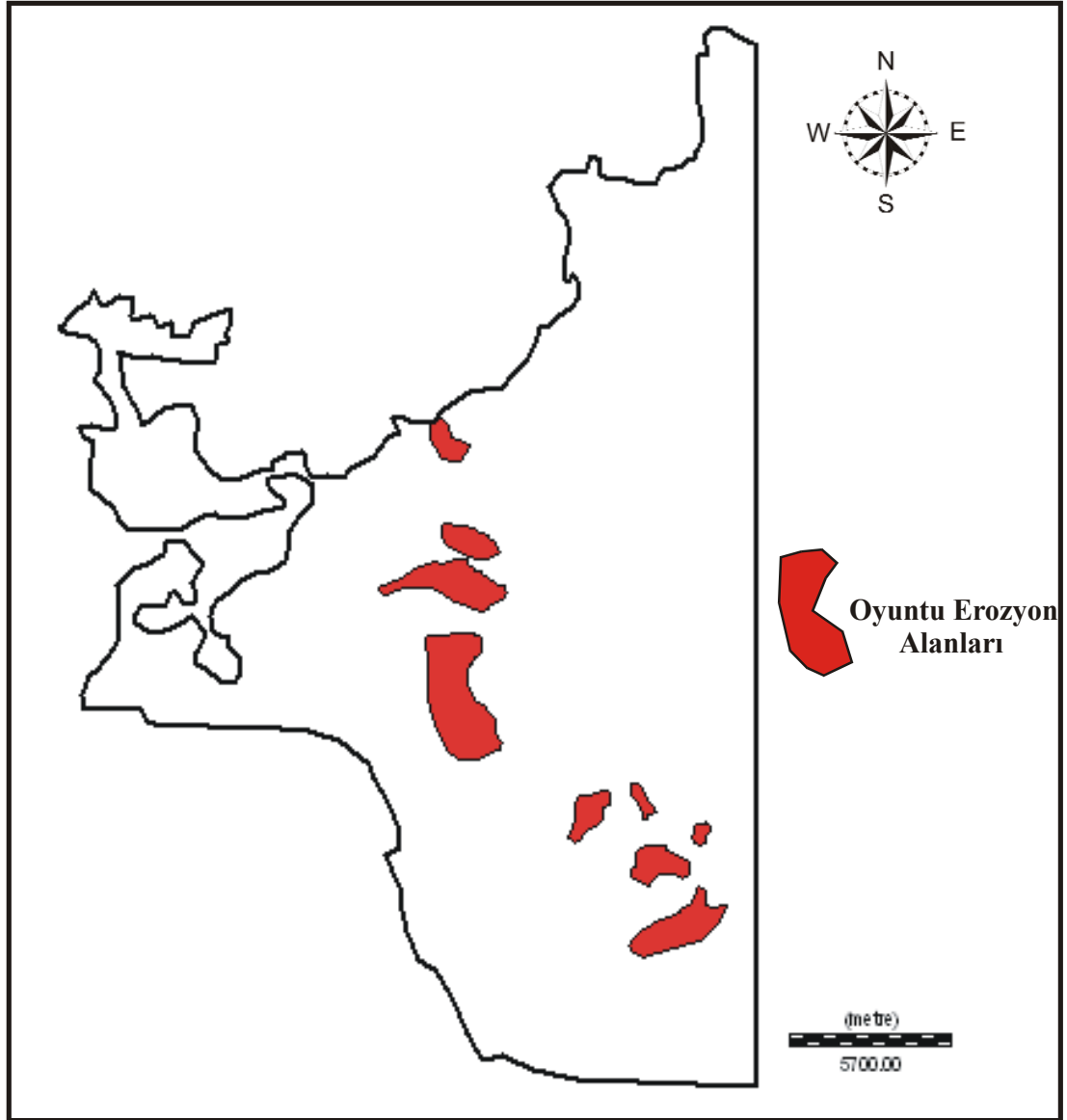
Şekil 6.62 A) Dairesel Kayma (Tamamen Bozunmuş andezit'te), B) Düzlemsel Kayma (Çok Bozunmuş aglomera'da) ve C) Düşme (Orta derece Bozunmuş andezitte) hareketlerine inceleme alanından bazı örnekler.

## 6.6 Oyuntu Erozyon Haritalaması

İnceleme alanında gelişen erozyon dokusu, erozyon duyarlılık analizinde kullanılmak amacıyla veri olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, Landsat 7 ETM + ve Aster 3A0 görüntülerinden faydalanılmıştır (Şekil 6.63). Söz konusu uydu görüntüleri üzerinden belirlenen ve oyuntu erozyonu (gully erosion) olarak isimlendirilen erozyon dokusu, ENVI 4.0 uzaktan algılama yazılımında alansal olarak vektör poligon olarak sayısallaştırılmış (Şekil 6.64), shape file formatında saklanmış ve bu formattan Idrisi yazılımına aktarılmıştır. Elde edilen vektör poligon verisi, analizde kullanılmak üzere heyelan envanter haritalamasında olduğu gibi raster formatına dönüştürülmüştür. Burada heyelan envanter haritalamasından farklı olarak, arazi üzerinde gözlenen tüm oyuntu erozyon dokusu sayısallaştırılmamış, duyarlılık modellemesinde inceleme alanının bütünü temsil edecek alanlardaki erozyon şekilleri seçilmiştir.



Şekil 6.63 1999 yılına ait Landsat 7 ETM+ görüntüsü üzerinden oyuntu erozyon (gully erosion) dokusu görülen alanlara ait eğitim alanı belirlenmesi.



Şekil 6.64 İnceleme alanında gelişen oyuntu erozyon alanlarını temsil eden vektör veri haritası.

## BÖLÜM 7

### EROZYON VE HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ

#### 7.1 Giriş

Bu bölümde, inceleme alanındaki kayaların erozyon ve kütle hareketlerine duyarlılıkları, elde edilişleri Bölüm 6’da anlatılan verilerden bozunma dereceleri, eğim, yamaç yönelimi, bitki örtüsü, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına uzaklık, süreksizlik yoğunluğu, süreksizlik hatlarına uzaklık, jeoloji ve akarsu akış gücü indeksi parametreleri kullanılarak irdelenmiştir. Duyarlılık analizinde kullanılan yöntemler lojistik regresyon, benzerlik oranı (likelihood ratio) ve çok ölçütlü karar analizi (multi-criteria decision analysis) yöntemleridir.

#### 7.2 Lojistik Regresyon Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi

Lojistik regresyon yöntemiyle heyelan duyarlılık değerlendirmesi, ilk olarak inceleme alanındaki kütle hareketlerinin kaya ve zemin hareketleri ayrımı olmaksızın hareketin olduğu lokasyonların alansal dağılımının gösterildiği envanter haritalaması ile başlamıştır. Envanter haritalama, lojistik regresyon yöntemiyle heyelan duyarlılık değerlendirmesi yönteminde önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. Doğru envanter haritalaması, çok parametrelilik olarak gerçekleştirilen lojistik regresyon yöntemiyle yapılan olasılık tahmininin doğruluğunu da etkilemektedir (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin seçimi de, elde edilecek olasılık tahminini etkileyen ikincil önemli husustur. Parametre seçimi, çalışılan alandaki heyelan oluşumuna doğrudan etkide bulunan faktörlerden seçilmesi ile heyelan oluşumuna çok önemli etkide bulunmayan parametrelerin duyarlılık değerlendirmesinde kullanılması da elde edilecek sonucu etkileyecek hususlardan bir diğeri olarak görülebilir. Dolayısıyla, bu noktada, çalışılan arazinin iyi etüt edilerek, heyelana neden olan başlıca faktörlerin arazi gözlemleri sonucunda seçilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.



İnceleme alanında meydana gelen gerek zemin kütlelerindeki kaymalarda ve gerekse de kaya kütlelerinde meydana gelen kaymalarda neden olucu faktörler yamaç eğimi, litoloji, yüzeylenen kayaların bozunma dereceleri, yamaç yönelimleri, bitki örtüsü yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına yakınlık-uzaklık ve arazi örtüsü/arazi kullanımı olarak seçilmiştir.

Seçilen bu parametrelerin gerek arazi çalışmalarıyla ve gerekse ofis ortamında harita formatına dönüştürülmesi hedeflenmiş, bununla birlikte elde edilen haritaların standart bir formata dönüştürülmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

### ***7.2.1 Parametre Haritalarının Standartlaştırılması***

Lojistik regresyon analizi için kullanılan parametre haritalarının standart hale getirilmesi için mevcut olan bazı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında puanlama ya da “Rating” olarak bilinen yöntem, standartlaştırma ve bulanık mantık yöntemleri gelmektedir (Eastman, 2004). Bu çalışmada söz konusu yöntemlerden son yıllarda yaygın kullanıma sahip olması ve verilerin standartlaştırılmasında sahip olduğu esnek hesaplama yaklaşımı dolayısıyla bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemi kullanılmıştır (Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Gemitzi vd., 2006). Bu yöntemin temel yaklaşımı ve uygulamada kullanımı aşağıda ilgili bölümde anlatılacaktır.

#### ***7.2.1.1 Bulanık Mantık Yöntemi***

İngilizcede “fuzzy set” kavramıyla tanımlanan bulanık kümelerin matematiksel işlemcileri, ilk olarak Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bir kavramdır. Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat çekmesi, Mamdani ve Assilian (1975) tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu araştırmacılar, ilk kez bir buhar makinası kontrolünün bulanık sistem ile modellenmesini başarmıştır. Daha sonraki yıllarda özellikle iklimlendirme cihazları, asansör, çamaşır makinaları gibi elektronik cihazların çalışma prensiplerinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır (Şen, 2001).

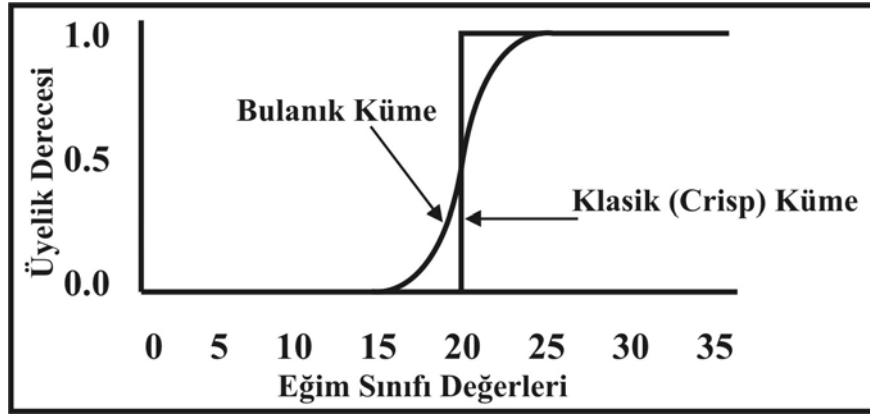
Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan biri incelenen olayın çok karmaşık olması ve bu olayla ilgili yeterli bilgi bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesidir. İkincisi ise, insanın algılayış, muhakeme ve karar vermesine ihtiyaç gösteren durumlardır. Bulanık mantık ile karmaşık olan her problemin çözüleceği sonucu da çıkarılmamalıdır. Ancak, en azından insan düşüncesinin incelenen olayla ilgili olarak bazı sözel çıkarımlarda bulunması dolayısıyla daha iyi anlaşılabilceği sonucuna varılabilmektedir (Şen, 2001).

Yer bilimlerinde bulanık küme uygulamaları da son yıllarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002 ve 2004), Yenice (Batı Karadeniz) bölgesinde yapmış oldukları çalışmada, heyelan duyarlılık haritalaması amacıyla eğim, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, yamaç yönelimi, yeraltı su koşulları ve bozunma derinliği parametrelerini kullanmış, bu parametre haritalarını, heyelana duyarlılık durumlarını dikkate alarak oluşturdukları bulanık küme kuralları kullanarak standart skorlar altında birleştirmişlerdir. Gemitzi vd. (2005), bulanık mantık ve çok ölçütlü karar analizi (MCDM-Multicriteria Decision Making) yöntemlerini yeraltı su kirliliği duyarlılık haritalaması amacıyla kullanmıştır. Bu çalışmada bulanık mantık uygulamasındaki amaç yine kullanılan parametre haritalarının standart skorlara dönüştürülmesidir. Liu vd. (2004)'de Güney Doğu İspanya'da yaptıkları çalışmada, inceleme alanındaki erozyon gelişimin belirlenmesinde kullandıkları parametrelerin standartlaştırılmasında bulanık mantık yönteminden yararlanmışlardır.

Bu çalışma kapsamında da heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin standartlaştırılması için bulanık mantık yöntemi kullanılmış, bu amaçla IDRISI Kilimanjaro yazılımında yer alan FUZZY modülünden yararlanılmıştır. Bu modülde kullanılan yöntem, yaklaşım ve kabuller ile ilgili bilgiler aşağıda ilgili bölümde verilmiştir.

*7.2.1.1.1 Bulanık Kümeler.* Bulanık kümeler, sınırları kesin olarak belirli olmayan kümeler olup, kümedeki bir elemanın üyeliği ya da üye olmaması arasındaki geçiş derecesidir (Zadeh, 1965; Schmucker, 1982). Bir bulanık küme, bir bulanık üyelik

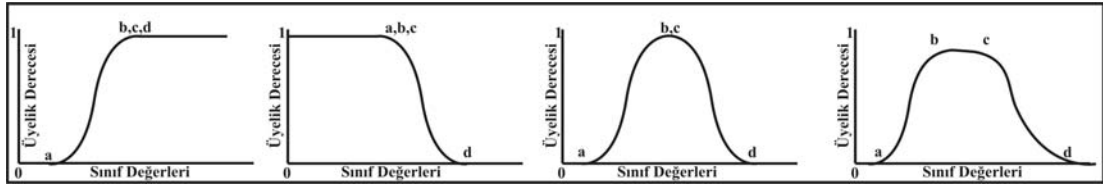
derecesi (ya da olasılığı) ile karakterize edilirken bu üyelik derecesi 0'dan 1'e kadar bir aralıkta değişmektedir. Bu aralık, küme elemanın hiç üye olmamasında, tam üye olmasına kadar sürekli artan bir gösterimdedir. Örneğin, bir şevin eğiminin dik olup olmaması durumu değerlendirilirse, %10 eğime sahip bu şevin üyelik derecesini 0, %25 eğime sahip yamacın üyelik derecesini ise 1 olarak belirlenebilir. % 10 ile % 25 arasında bu şevin bulanık üyelik derecesi, 0-1 arasında dereceli olarak artmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Klasik kümeye karşılık bulanık küme'ye ait üyelik fonksiyonlarının gösterimi (Şen, 2001).

Bulanık küme teorisi, karar problemlerinin anlaşılmasında ve kriter değerlendirme ve birleştirmede karar kurallarının oluşturulmasında zengin bir matematiksel altlık oluşturmaktadır. Genel kullanımda, bulanık küme üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde 4 temel yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki ilgili olan kısımda anlatılmaktadır.

*7.2.1.1.1 Sigmoidal Fonksiyon.* Sigmoidal ya da “s-şekilli” üyelik fonksiyonu, muhtemelen bulanık küme teorisinde en yaygın kullanılan fonksiyon olarak bilinmektedir (Eastman, 2004). Bu fonksiyon, kosinüs fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Kullanımda, eğrinin şeklini belirleyen 4 çekme noktasının X eksenini boyunca olan konumu gerekmektedir. Bu noktalar, Şekil 7.2’de verildiği gibi a,b,c ve d noktaları olarak çekme noktalarını temsil etmekte ve bu çekme noktaları üyelik fonksiyonunu ifade eden 0’ın üstüne doğru çıkıp, 1’e yaklaşır, tekrar 1’den aşağıya doğru inip son olarak 0’a yaklaşır.

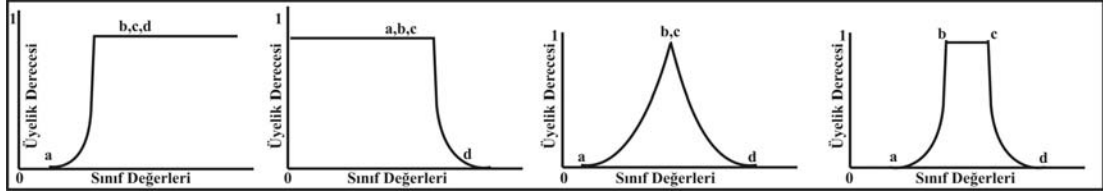


Şekil 7. 2 Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

Şekil 7.2 ‘de, tüm olasılıklar gösterilmektedir. Soldan en baştaki şekilde, “monoton artan” fonksiyon şekli 0’dan başlayıp 1’e yükselir ve tekrar 0’a düşmez. Daha önce verilen şev eğimi örneği , monoton artan üyelik fonksiyonuna en güzel örnektir. Bu örnekte, birinci çekme noktası a %10 eğimi ve b çekme noktası %25 eğime karşılık gelmektedir. Bu fonksiyonda, eğim değeri yeniden aşağı inmeyeceği için c ve d çekme noktaları da b çekme noktası ile aynı değeri almaktadır. Dolayısıyla, kullanılan Idrisi yazılımındaki FUZZY modülü çekme noktası olarak sadece a ve b noktalarını sormaktadır. Şekil 7.2’deki ikinci eğri “monoton azalan” üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Bu fonksiyonda üyelik derecesi 1’den başlayıp daha sonra 0’ a inip orada kalmaktadır. Burada üyelik fonksiyonunun 1’den başlayıp 0’a düştüğü ve tekrardan yükselmediği durumda a ve b çekme noktaları c ‘nin yerine ve d noktası, eğrinin 0 değerine ulaştığı noktaya verilebilmektedir. FUZZY modulu, bu fonksiyon türü için sadece c ve d noktalarını sormaktadır. Şekil 7.2’deki son iki fonksiyon yükseklik yeniden düştükleri için “simetrik” olarak isimlendirilmektedir. Burada üyelik fonksiyonu önce yükseklik sonra hemen düşmekte (Şekil 7.2’deki üçüncü üyelik fonksiyonu türü), b ve c noktaları aynı değeri almaktadır. Dördüncü üyelik fonksiyon şeklinde ise fonksiyon önce yükselmekte, kısa bir süre 1’de kalmakta ve yeniden azalıp 0 değerine inmektedir. Buradaki a, b, c ve d değerlerinin tümü birbirinden farklı değer almaktadır.

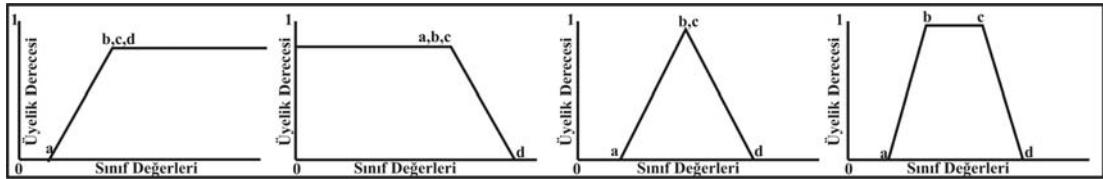
*7.2.1.1.1.2 J-Şekilli Fonksiyon.* Pek çok durumda sigmoidal üyelik fonksiyon türü daha iyi olmasına karşın, J-şekilli fonksiyon türü de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 7.3’de J-şekilli fonksiyon türlerinin ve çekme noktalarının farklı durumları gösterilmiştir. Burada ifade edilmesi gerekli olan bir durum, J-şekilli fonksiyonda fonksiyon 0 değerine yaklaştığı fakat sadece sonsuzda 0 değerine

ulaştığı hususudur. Dolayısıyla, a ve d çekme noktaları, fonksiyonun 0'dan ziyade 0.5'e ulaştığı noktaları işaret etmektedir.



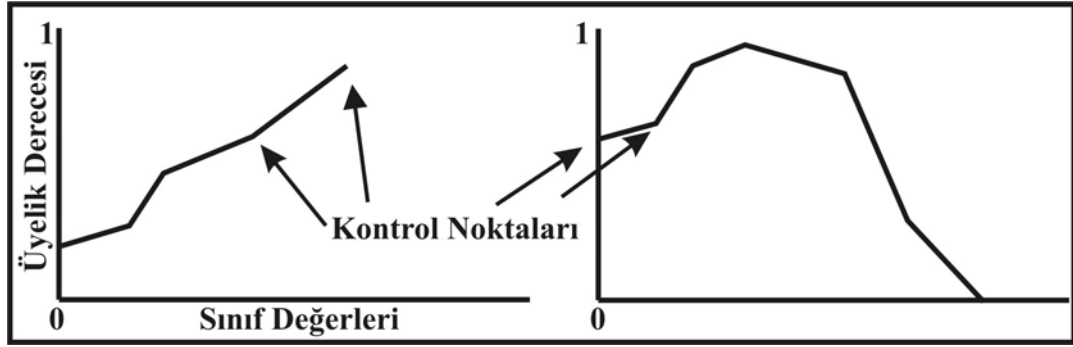
Şekil 7.3 J-Şekilli Üyelik Fonksiyonu

7.2.1.1.3 *Linear Fonksiyon*. Linear fonksiyon tipi daha çok bulanık küme mantığı kullanan elektronik aletlerin çalışma prensiplerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bundan amaç, fonksiyon türünün basit olması ve temel olarak linear algılayıcılardan aletin oluşturduğu çıktılarının izlenme ihtiyacıdır. Aşağıdaki Şekil 7.4'de bu fonksiyon türüne ait çekme noktalarının değişik varyasyonları verilmiştir.



Şekil 7.4 Linear Üyelik Fonksiyonu

7.2.1.1.4 *Kullanıcı Tanımlı Üyelik Fonksiyonu*. Bu fonksiyon türü, problem çözümünde kullanılan parametredeki değişim değerleri ile bulanık üyelik derecesi arasındaki ilişkinin diğer üyelik fonksiyon türleri ile tam olarak tanımlanamadığı durumlarda kullanılmaktadır. Sınırsız sayıda kontrol noktası bulanık üyelik derecesi eğrisini tanımlamak için bu fonksiyonda kullanılabilir. Herhangi iki kontrol noktası ile bulanık üyelik derecesi arasındaki ilişki çizgisel olarak interpolate edilebilmektedir. Bu ilişki aşağıdaki Şekil 7.5' de verilmiştir.



Şekil 7.5. Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonları

### 7.2.1.2 Faktörlerin Bulanıklaştırılması

Çalışmanın bu aşamasında, duyarlılık değerlendirmesi yapılan faktörlerin standart skorlara dönüştürülmesi amacıyla her bir faktöre ait kural oluşturulması hedeflenmiştir. Kural tabanlı bir bulanık modelde anlam çıkarmak için sonuç çıkarıcı bir fonksiyona ihtiyaç vardır. Bu fonksiyon “eger-o zaman (if-then)” veya bir bulanık durum ifadesi olarak adlandırılmaktadır (Alvarez Grima, 2000).

Bulanık bir küme, bir üye çiftleri kümesi olup, bu üyeler için “güven” veya “dayanak” ‘ın derecelerinden oluşmaktadır. “Yaklaşık 7” kavramı için bir bulanık küme örneği (0.1/5, 0.7/6, 1/7, 0.7/8, 0.9/0.1) olarak ifade edilebilir. Bir bulanık küme notasyonunda bölüm (/) işaretinden sonra gelen üyeler kümenin üyeleri, bölme işaretinden önce gelen sayılar ise kümeye ait üyelerin o kümeye aitlik derecelerini ifade etmektedir. Dilsel terimleri ifade etmek için bulanık kümelerin kullanımı, söz konusu şeyin tutarlı ve daha doğru bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır (Juang vd., 1992). Değerleri kelimeler, ifadeler veya cümleler olan dilsel değişkenler, bulanık bir kümenin etiketleri olarak kabul edilmektedir (Zadeh, 1973).

Bu noktadan hareketle, heyelan duyarlılık değerlendirmesinde de kullanılan faktörlerin bulanık mantık yöntemiyle bulanıklaştırılarak standart bir tip veri oluşturulması amaçlanmıştır. Bu veriler aynı zamanda erozyon duyarlılık analizinde de kullanılacaktır.

Bu aşamada, duyarlılık analizinde kullanılan eğim, yamaç yönelimi, bozunma, jeoloji, bitki örtüsü, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına yakınlık, akarsu güç indeksi ve topoğrafik ıslaklık indeksi parametlerinin herbiri için heyelana en çok ve en az duyarlı oldukları değerleri dikkate alınarak bir kural oluşturulmuştur. Bu kurallar oluşturulurken, Bölüm 6'da verilen ve her bir parametre grubu için heyelan oluşum frekansı değerleri ve arazi gözlemleri dikkate alınmıştır. Bu kurallarda göz önünde bulundurulmuş ifadeler aşağıdaki verildiği biçimde düzenlenmiştir.

***Kural 1 (Eğim faktörü için)***

1. Eğer yamaç eğimi düşük (3 derece) veya orta derecede dikse (15 derece), erozyon ve heyelan duyarlılığı de düşüktür.
2. 2. Eğer yamaç eğimi yüksekse (>15) erozyon ve heyelan karşı duyarlılığı de yüksektir.

***Kural 2 (Yamaç Yönelim faktörü için)***

1. Eğer yamaçlar Kuzeybatı'ya eğimli iseler erozyon ve heyelan duyarlılığı yüksektir.
2. Eğer yamaçlar Kuzeybatı'ya doğru eğimli değilse erozyon ve heyelan duyarlılığı düşüktür.

Burada yamaç yönelimlerinin kuzeybatıya alınmasındaki amaç, 1964-2001 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre inceleme alanındaki yıllık en fazla hakim yağış ve rüzgar alım yönünün kuzey batı olmasıdır (Tablo 3.3).

***Kural 3 (Bozunma faktörü için)***

Eğer kayaların bozunma derecesi çok düşükse erozyon ve heyelan duyarlılıkları de çok düşüktür.

1. Eğer kayaların bozunma dereceleri orta, yüksek ve çok yüksekse erozyon ve heyelan duyarlılıkları de yüksektir.

***Kural 4 (Bitki yoğunluk faktörü için)***

1. Eğer bitki yoğunluğu yüksek ise erozyon ve heyelan duyarlılıkları düşüktür.

2. Eğer bitki yoğunluğu düşükse ve tamamen örtüsüz bir arazi ise erozyon ve heyelan duyarlılık yüksektir.

***Kural 5 (Drenaj yoğunluk faktörü için)***

1. Eğer drenaj yoğunluğu düşükse erozyon ve heyelan duyarlılığı de düşüktür.
2. Eğer drenaj yoğunluğu yüksekse, erozyon ve heyelan duyarlılığı de yüksektir.

***Kural 6 (Drenaj hatlarına uzaklık faktörü için)***

1. Eğer drenaj hatlarına uzaklık 50 metreden fazla ise erozyon ve heyelan duyarlılık düşüktür.
2. Eğer drenaj hatlarına olan mesafe 50 metreden az ise erozyon ve heyelan duyarlılık yüksektir.

***Kural 7 (Jeoloji faktörü için)***

1. Eğer litolojik birimler, konglomera, aglomera, silisifiye tuf, metamorfik, trakiandezit ve güncel çökeller ise erozyon ve heyelan duyarlılık düşüktür.
2. Eğer litolojik birimler andezit, bazalt ve bazaltik andezit, tuf ve gösel tortullar ise erozyon ve heyelan duyarlılık yüksektir.

Burada kural oluşturulurken güncel heyelan oluşumlarının en çok hangi birimler içerisinde yer aldığı dikkate alınmıştır (Tablo 6.11).

***Kural 8 (Arazi örtüsü faktörü için)***

1. Arazi örtüsü örtülü, tarım ve zeytin tarımı yapıyorsa, sulak alansa ve su kütlesi bulunuyorsa heyela ve erozyon duyarlılığı düşüktür.
2. Arazi örtüsüz ve yerleşim alanı ise erozyon ve heyelan duyarlılığı yüksektir.

***Kural 9 (Akarsu güç indeksi faktörü için)***

1. Akarsu güç indeksi değeri düşükse erozyon ve heyelan duyarlılığı düşüktür.
2. Akarsu güç indeksi değeri yüksekse erozyon ve heyelan duyarlılığı yüksektir.

Yukarıda verilen kurallar ışığında her bir faktör haritası için bulanıklaştırma kuralları oluşturulduktan sonra hangi bulanık küme fonksiyonun seçilmesi gerektiği



konusu gündeme gelmiştir. Bu amaçla yukarıda Bölüm 7.2.1.1.1 altında anlatılan üyelik fonksiyon tiplerinden, kullanılan faktörlerin bulanıklaştırılmasında en uygun fonksiyon türleri seçilmiştir. Aşağıda verilen Tablo 7.1’de, faktörlerin bulanıklaştırılması amacıyla kullanılan fonksiyon türleri ve bu fonksiyonlarda kullanılan “a, b, c ve d” kontrol noktalarına karşılık gelen değer grupları verilmiştir

Tablo 7.1. Faktörlerin standartlaştırılmasında bulanıklaştırma işleminde kullanılan fonksiyon türleri ve kontrol noktaları.

<i>Parametreler</i>	<i>Bulanıklaştırma Özellikleri</i>	<i>Üyelik Fonksiyonu</i>	<i>Üyelik Fonksiyon Tipi</i>	<i>Kontrol Noktaları</i>
Eğim		Sigmoidal	Monoton Artan	$a=3^0, b=10^0$
Yamaç Yönelimi		Sigmoidal	Monoton Azalan	$c=90^0, d=360^0$
Bozunma		Sigmoidal	Monoton Artan	$a=2, b=5$
Bitki Yoğunluğu		Sigmoidal	Monoton Azalan	$c=1, d=5$
Drenaj Yoğunluğu		Sigmoidal	Monoton Artan	$a=1, b=3 (*)$
Drenaj Hatlarına Uzaklık		Sigmoidal	Monoton Azalan	$c=50, d=1000$
Jeoloji		Kullanıcı Tanımlı	(a)	
Arazi Örtüsü		Kullanıcı Tanımlı	(b)	
Akarsu Güç İndisi		Sigmoidal	Monoton Artan	$a=0, b=255$
Topoğrafik Eğrilik		Sigmoidal	Monoton Artan	$a=-0.51, b=0$
Süreksizlik Yoğunluğu		Kullanıcı Tanımlı	(c)	

(\*) 1: Çok Az Yoğunluk, 3: Yüksek Yoğunluk

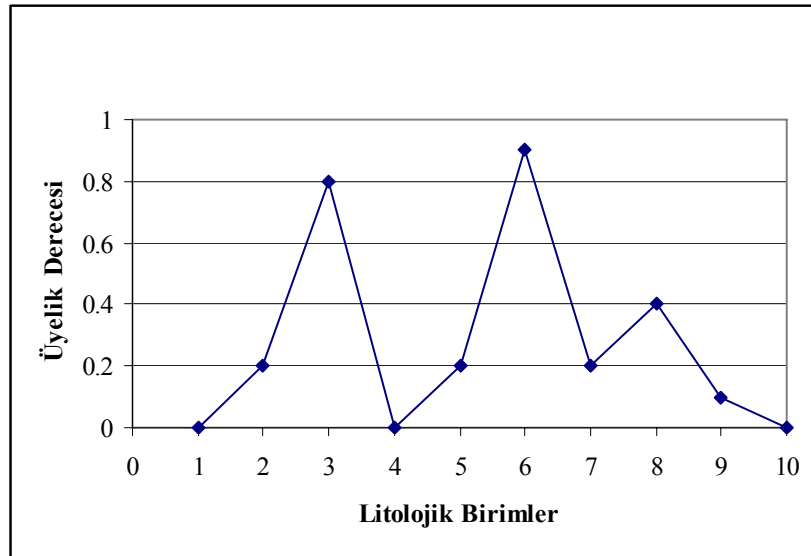
Yukarıdaki tabloda verilen jeoloji ve arazi örtüsü parametreleri için iki kontrol noktası tanımlanarak parametrenin standartlaştırılması mümkün olmadığı için bu aşamada kullanıcı tanımlı fonksiyon türünün seçilmesi uygun görülmüştür. Bu amaçla, her iki parametre haritasında heyelan açısından duyarlı olan alt sınıflar belirlenmiş, bunlara ait üyelik dereceleri atanmıştır. Bu üyelik dereceleri aşağıdaki bulanık küme gösterimiyle verilmiştir. Ayrıca, Şekil 7.6, 7.7 ve 7.8'de grafik gösterim ile bulanık küme üyelik dereceleri gösterilmiştir.

$$(a) \mu_{(Jeoloji)} = \{0/1, 0.2/2, 0.8/3, 0/4, 0.2/5, 0.9/6, 0.2/7, 0.4/8, 0.1/9, 0/10\}$$

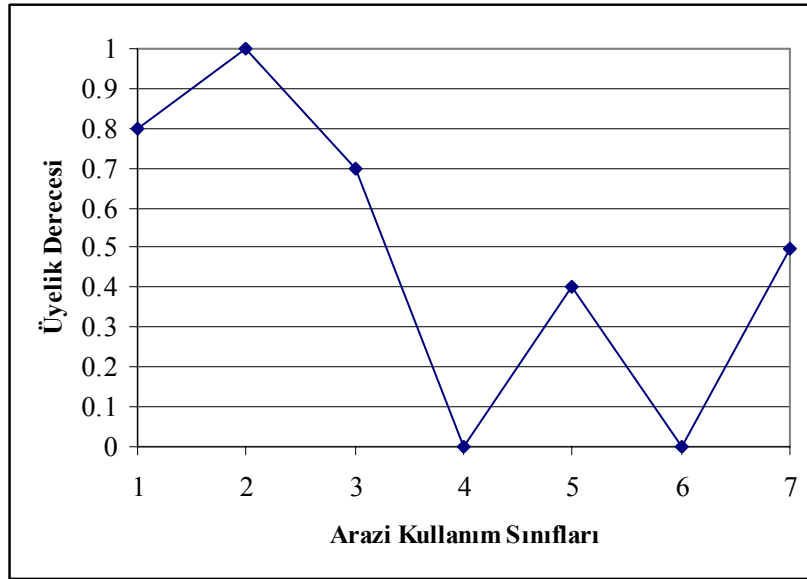
$$(b) \mu_{(Arazi Kullanım)} = \{0.8/1, 1/2, 0.7/3, 0/4, 0.4/5, 0/6, 0.5/7\}$$

$$(c) \mu_{(Süreksizlik Yoğunluğu)} = \{0.3/1, 0.8/2, 0.2/3, 1/4\}$$

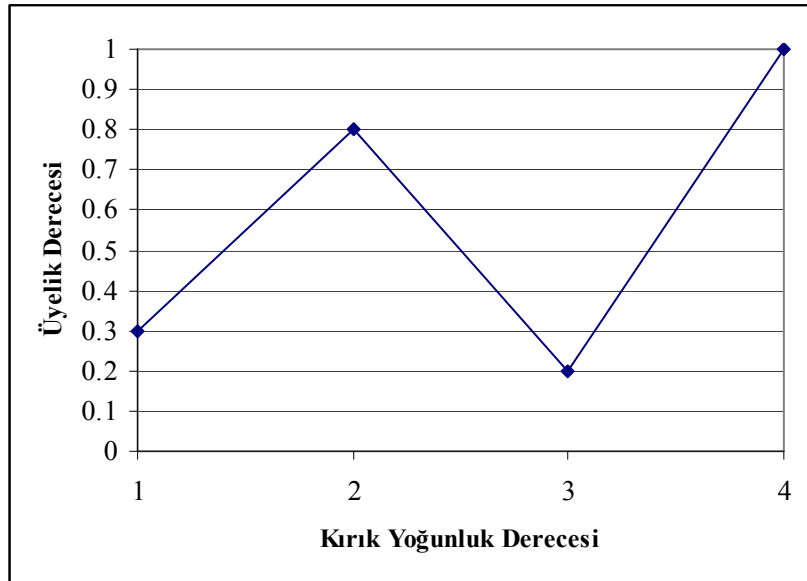
Burada bölüm işaretinin sağındaki rakamlar, ilgili faktör haritasındaki alt sınıfları göstermektedir.



Şekil 7.6 Litolojik birimlere atanan bulanık küme üyelik dereceleri (1: Alüvyon, 2: Tüf, 3: Andezit, 4: Silisifiye Tüf, 5: Gölsel Tortul, 6: Bazalt-Bazaltik Andezit, 7: Konglomera, 8: Aglomera, 9: Metamorfik Birim, 10: Trakiandezit).

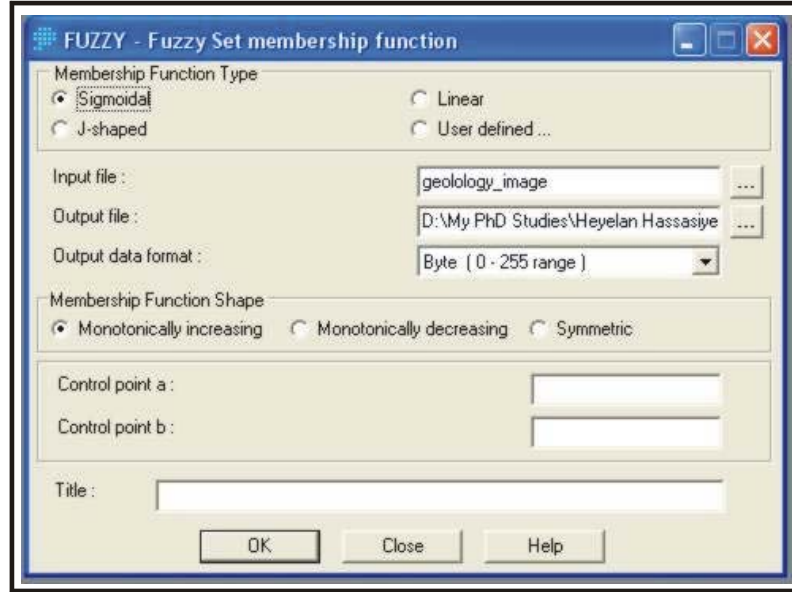


Şekil 7.7 Arazi örtüsü sınıflarına atanan bulanık küme üyelik dereceleri (1: Yerleşim+Örtüsüz Arazi, 2: Örtüsüz Arazi, 3: Örtülü Arazi, 4: Tarım Arazisi, 5: Sulak Alan, 6: Su Kütlesi (Deniz+Göl), 7: Zeytin Tarım Arazisi).



Şekil 7.8 Süreksizlik yoğunluğuna atanan bulanık küme üyelik dereceleri (1: Çok Az Yoğun, 2: Az Yoğun, 3: Yüksek Yoğun, 4: Çok Yüksek Yoğun).

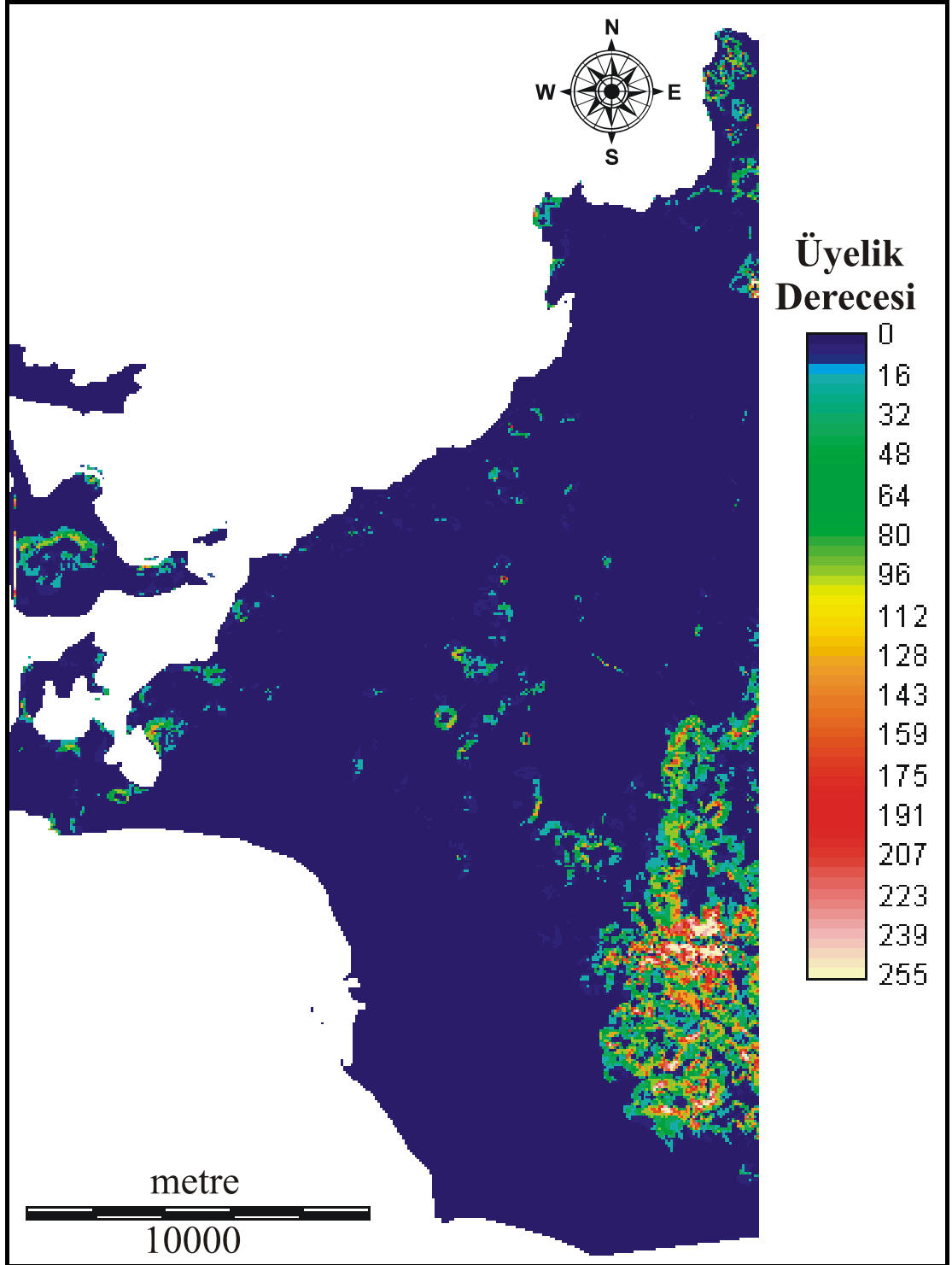
Aşağıdaki Şekil 7.9'da, kullanılan yazılımdaki FUZZY alt menüsü'nün ve burada istenilen parametelerin girildiği arayüz gösterilmiştir.



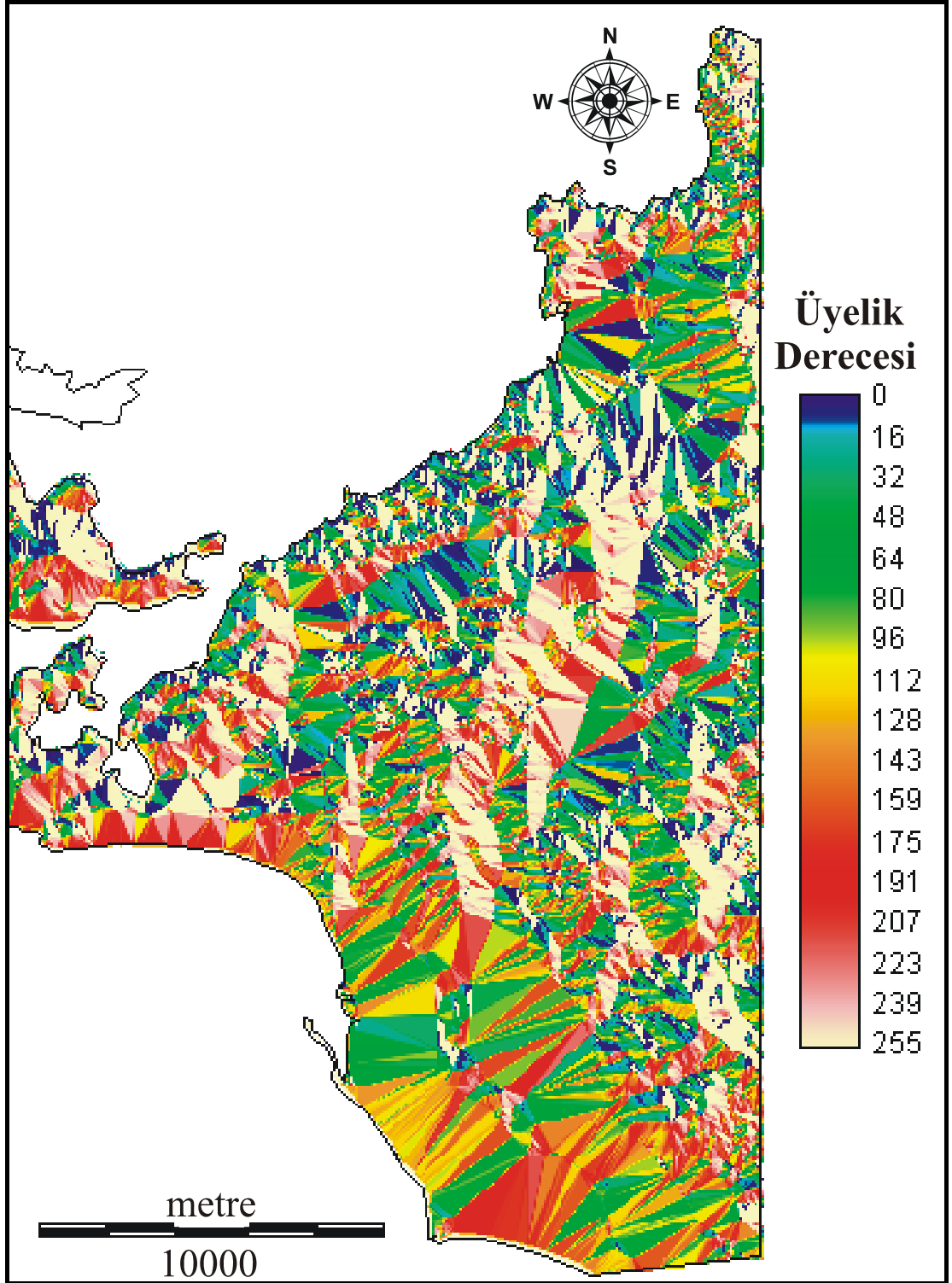
Şekil 7.9 Idrisi Kilimanjaro yazılımında Bulanık Küme uygulaması ile verilerin standartlaştırıldığı FUZZY alt menüsü.

Bu işlemler sonucunda heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin hepsi heyelan oluşumuna uygunlukları açısından 0'dan 255'e kadar değişen bir aralıkta ölçeklendirilmiştir. "0" değeri en az uygun, "255" ise en çok uygun değeri göstermektedir.

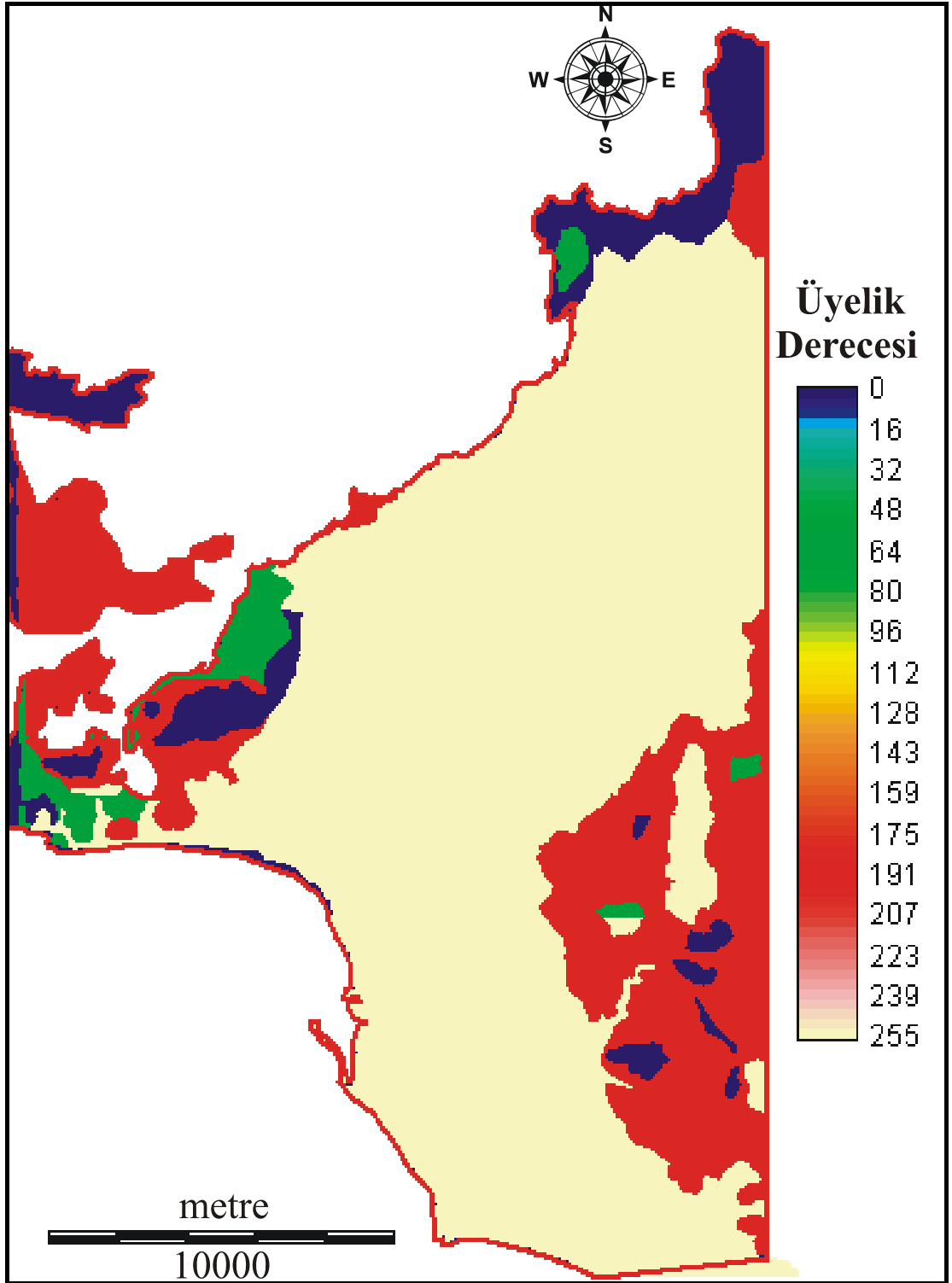
Bulanıklaştırma yöntemiyle elde edilen standartlaştırılmış haritalar aşağıda Şekil 7.10'dan Şekil 7.18'e kadar verilmiştir.



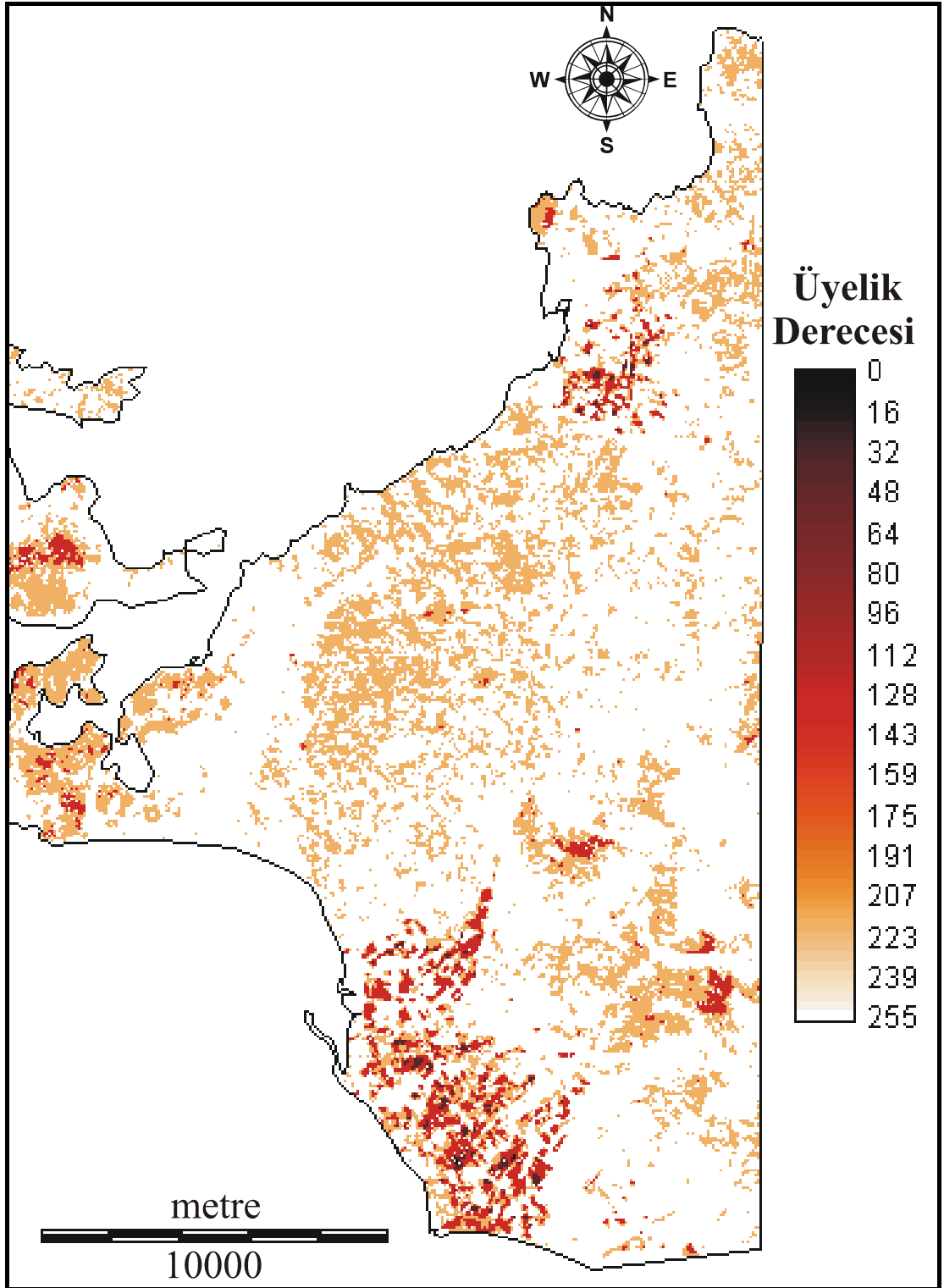
Şekil 7.10 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış eğim haritası.



Şekil 7.11 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış yamaç yönelim haritası.

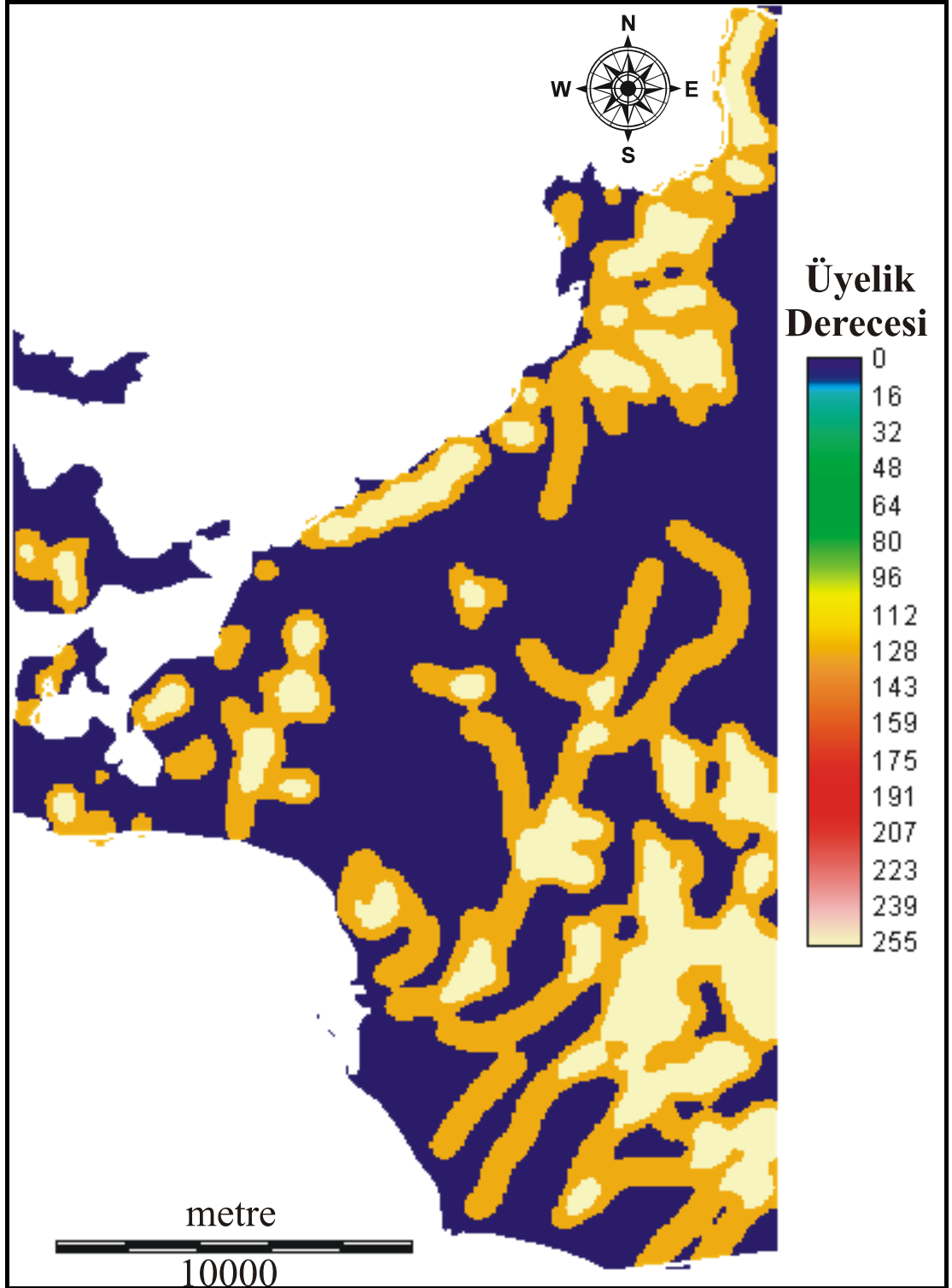


Şekil 7.12 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış bozunma derecesi haritası.

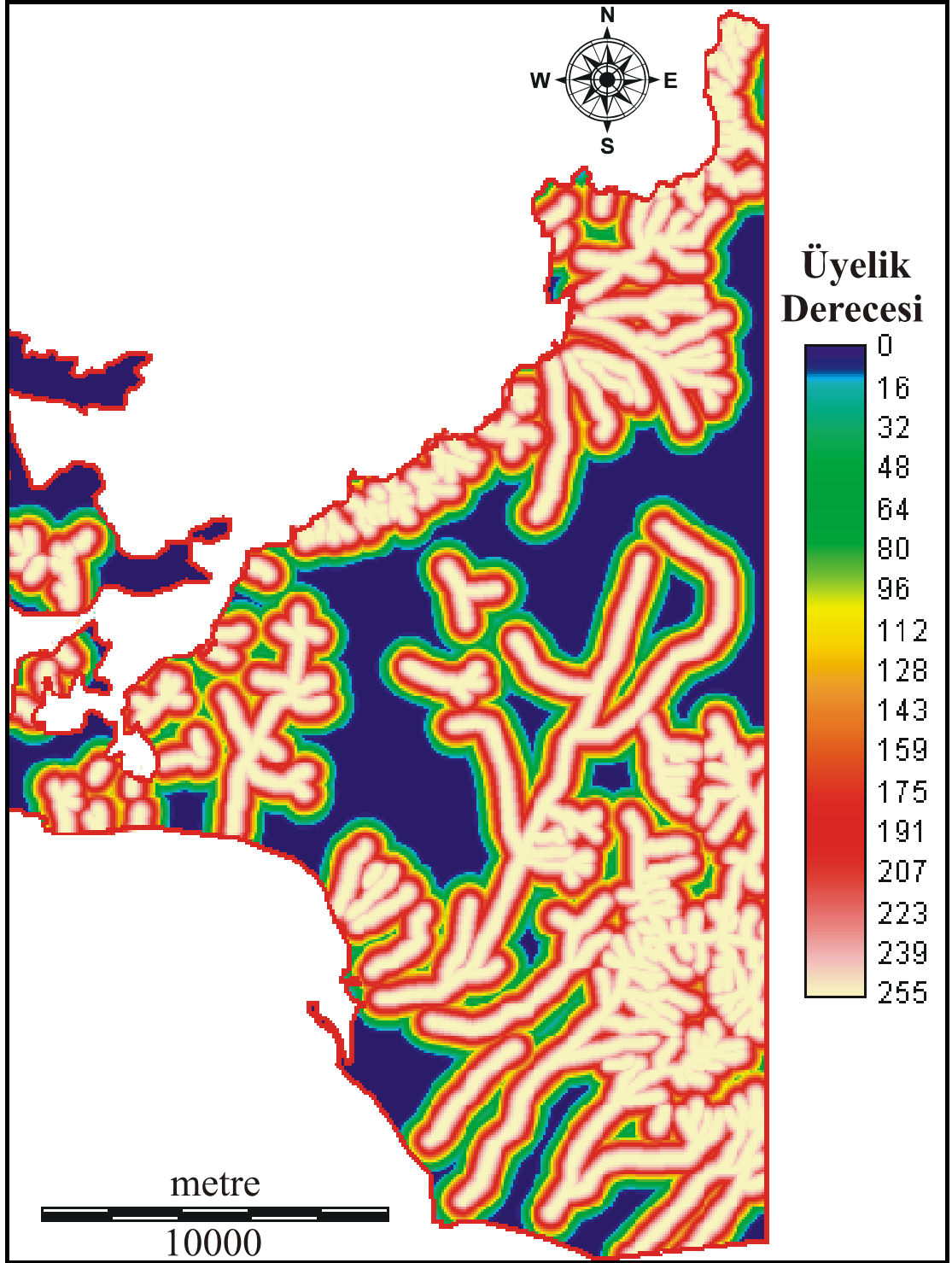


Şekil 7.13 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış bitki yoğunluk haritası.

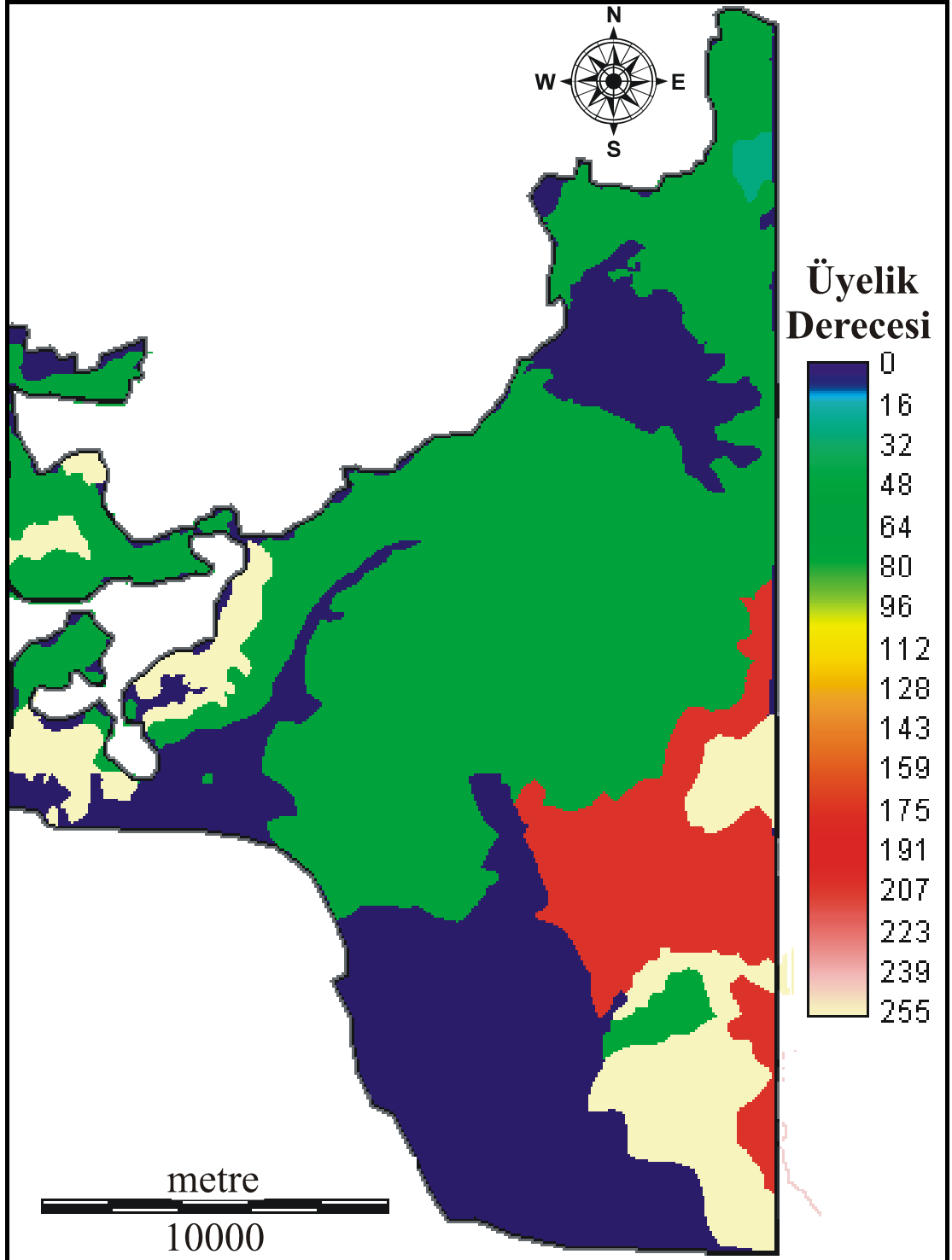




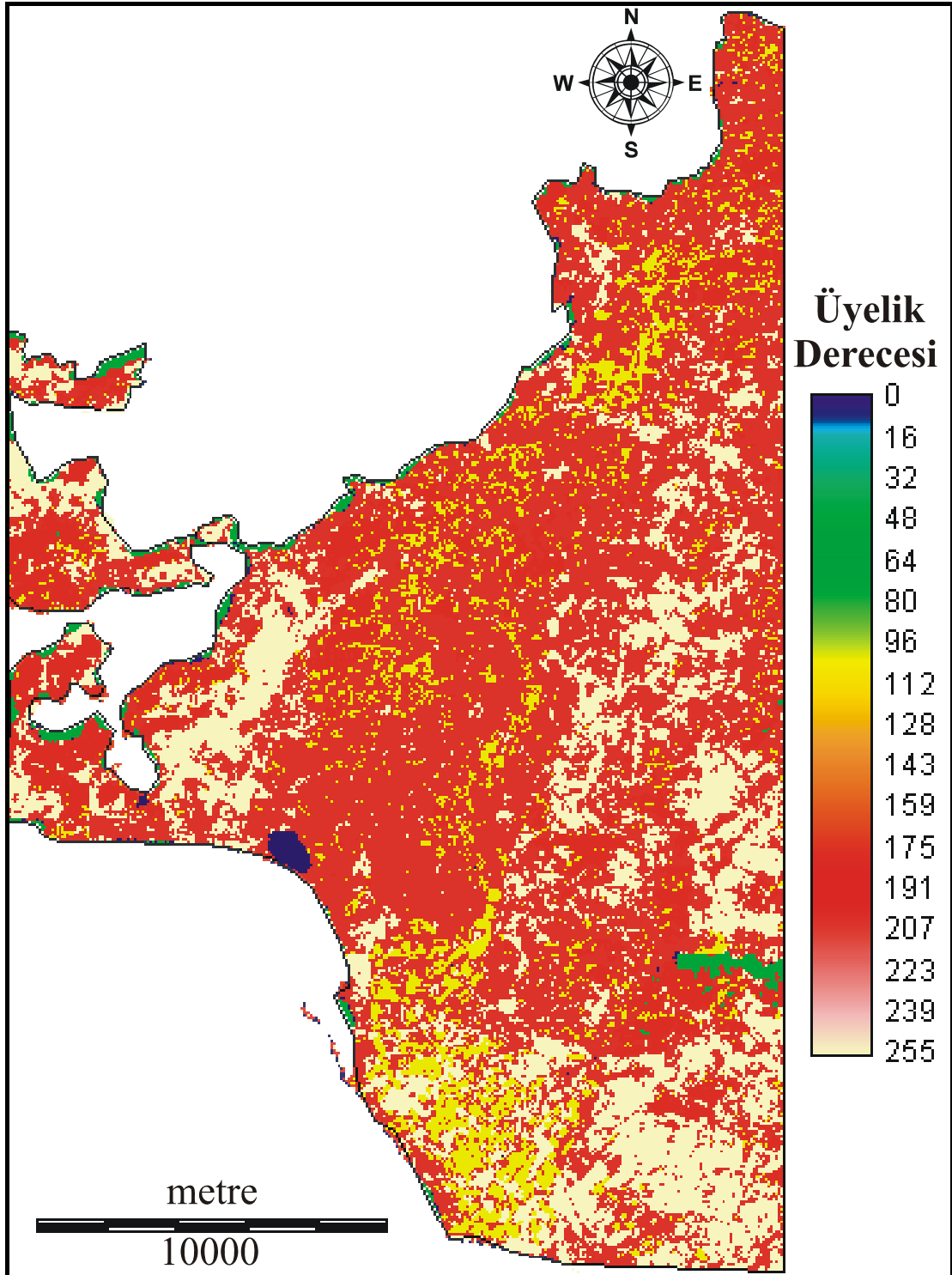
Şekil 7.14 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış drenaj yoğunluk haritası.



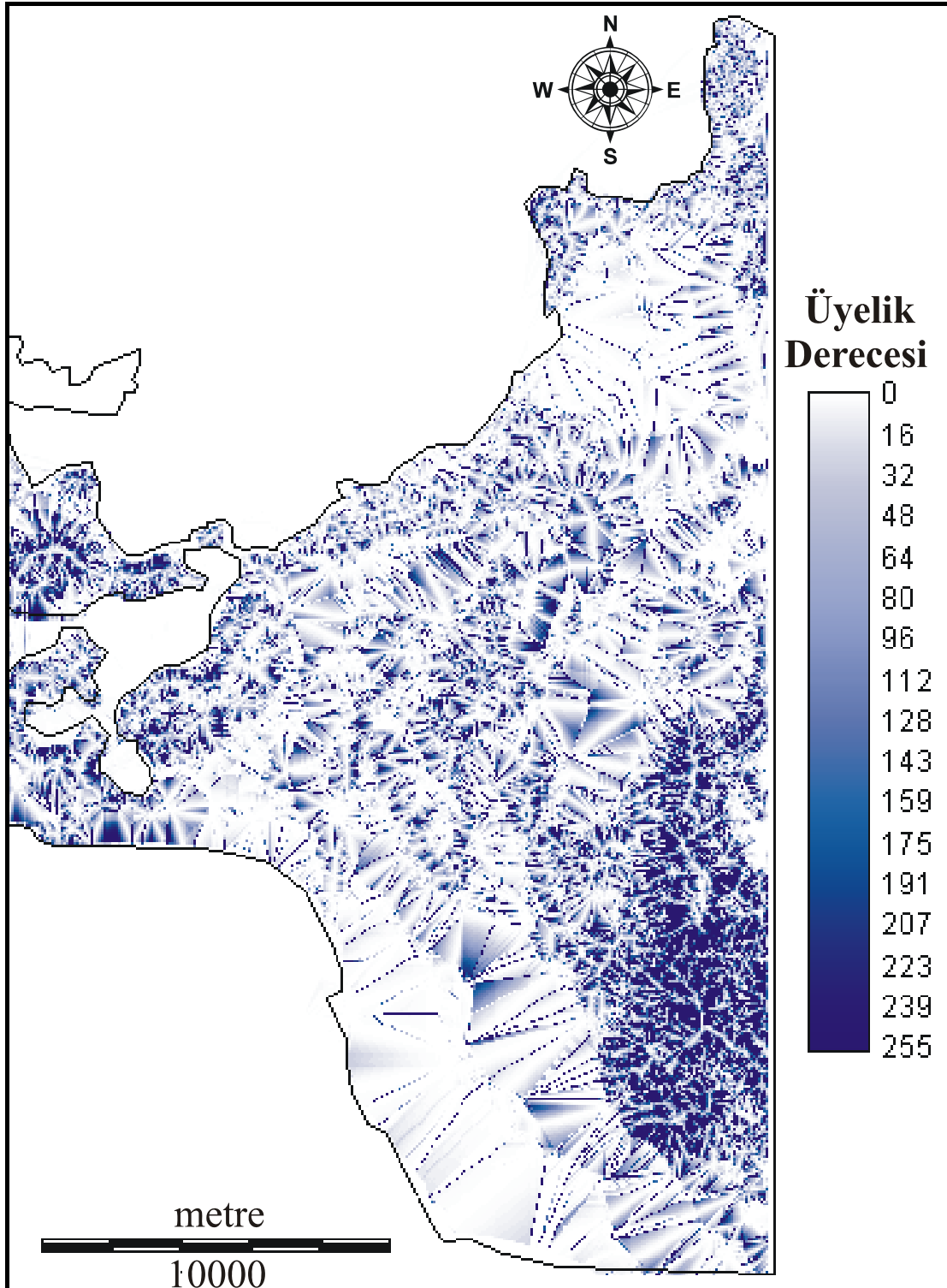
Şekil 7.15 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış drenaj hatlarına uzaklık haritası.



Şekil 7.16 Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış litoloji haritası.



Şekil 7.17. Bulanık küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış arazi örtüsü haritası.



Şekil 7.18 Bulankıyama küme üyelik derecesine göre standartlaştırılmış akarsu güç indeksi haritası.

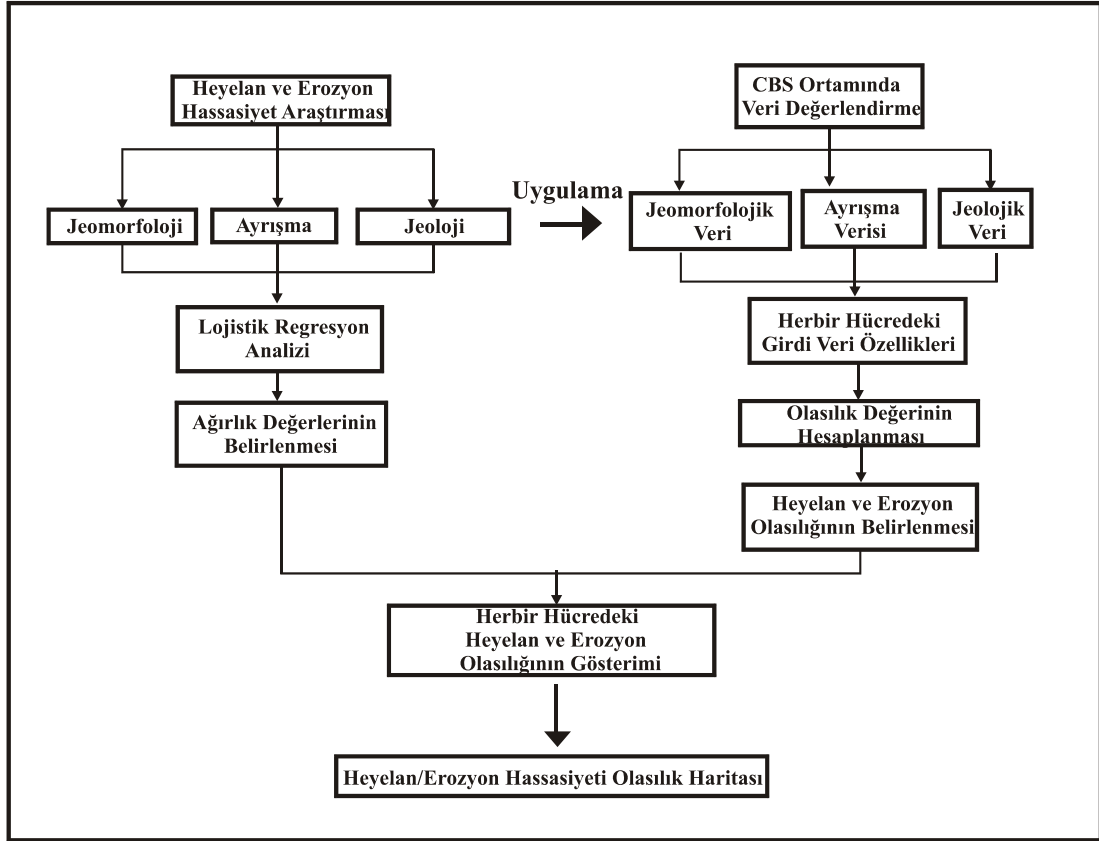
### 7.2.2 Lojistik Regresyon Uygulaması

Lojistik regresyon (mantıksal regresyon), bağımlı bir değişken ile incelenen olayın (heyelan, erozyon, çığ düşmesi vb. gibi) olasılık durumunu etkileyebilecek bağımsız birden fazla değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi oluşturmaya imkan tanıyan bir yöntemdir. Lee ve Min, 2001; Atkinson ve Masari, 1998 ve Dai vd., 2001'e göre incelenen değişken ikili bir çıktıya (1 ve 0 gibi) sahipse, tahmin edici değışkensiz en iyi yöntem lojistik regresyondur.

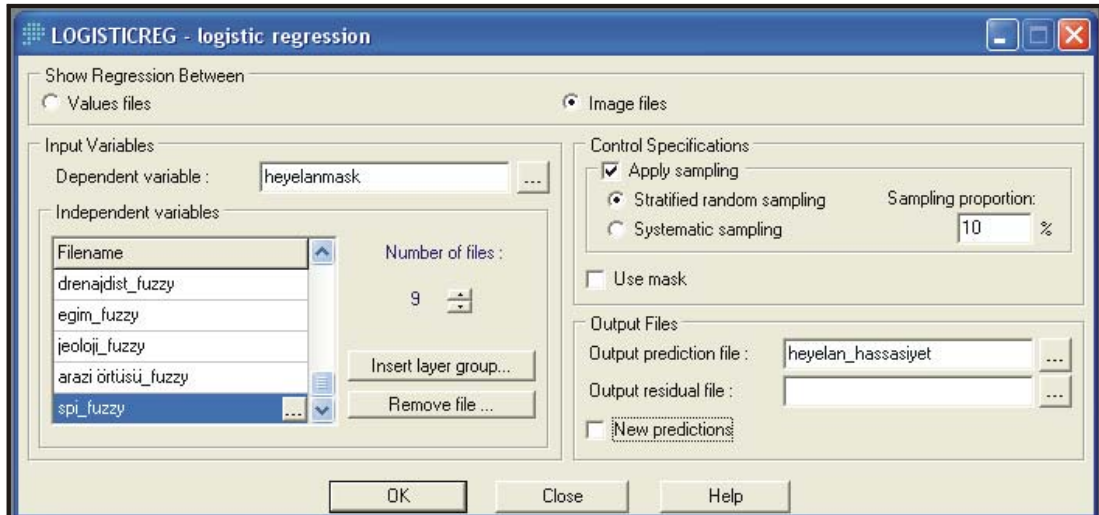
İkili (Binominal) lojistik regresyon bağımlı değişkenin ikili bir sınıfta olması ve bağımsız değişkenlerin herhangi bir türde olması durumunda kullanılan regresyon türüdür. Multinomial lojistik regresyon ise bağımlı değişkeninin ikiden fazla sınıfa sahip olması durumunda kullanılmaktadır. Bağımlı değişkenin sınıfları derecelendirilebildiği zaman sıra belirten (ordinal) lojistik regresyon multinomial lojistik regresyona tercih edilmektedir (Hosmer ve Lemeshow, 1989). Lojistik regresyon, bağımlı değişkenin bir logaritmik değışkene (bağımsız değişkenin olup olmayacağı ihtimalinin doğal logaritması) dönüşümünden sonra en fazla benzerlik tahmini yöntemini uygular. Bu sayede lojistik regresyon belirli bir olayın olup olmayacağı ihtimalini tahmin eder. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus da lojistik regresyonun, “Olağan En Küçük Kareler (OLS-Ordinary Least Square)” regresyonu yönteminde olduğu gibi bağımlı değışkendeki değışimleri değil, logaritmik olasılık değeriindeki değışimleri hesapladığı konusudur (Hosmer ve Lemeshow, 1989). Lojistik regresyonun hesaplama yöntemleri ile ilgili bilgi Bölüm 2.1.9.5’de verilmiş olduğundan burada yinelenmeyecektir.

Lojistik regresyonun, çoklu regresyona göre üstünlüğü değışkenlerin ya sürekli veya kategorik olabilmesi ya da bu iki türün karışımı olabilmesinden kaynaklanmaktadır (Lee, 2005). Genelde lojistik regresyonun çoklu regresyon ve diskriminant analizi gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemlere göre üstünlüğü, bağımlı değışkenin yalnızca iki değer alabilmesi ve tahmin edilen değerlerin 0 ile 1 arasında bir aralığa düşerek sınırlandırıldığı için olasılık değerleri olarak yorumlanabilmesidir (Kleinbaum, 1991). Lojistik regresyon, pek çok açıdan Olağan

En Küçük Kareler regresyonu yöntemine benzerlik göstermesine karşın farklılıklarda göstermektedir. Örneğin, lojistik regresyon bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusallığını varsaymaz, normal dağılım gösteren değişkenler gerektirmez, tahmin edici değişkenin tüm değerleri için regresyon hattı çevresindeki değişim değerlerinin aynı olduğunu varsaymaz ve genel olarak daha az katı gereksimlere sahiptir. Lojistik regresyonun başarısının değerlendirilmesi ile ilgili değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan birisi ikili, sıralı veya çok sayıda kategorik veri içeren bağımsız değişkenin doğru ya da yanlış sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını gösteren sınıflandırma tablosunun kullanılmasıdır (Afifi ve Clark, 1998). Menard (1995) lojistik regresyon modelinin veri setine ne kadar uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla  $1 - (\ln L / \ln L_0)$  değerinden hesaplanan pseudo  $R^2$  değeri kullanmayı önermiştir. Pseudo  $R^2$  değeri 1'e eşit olması mükemmel bir uyumu, 0'a eşit olması ise hiç bir ilişki olmadığını göstermektedir. Pseudo  $R^2$ 'nin 0.2'den büyük olması durumu göreceli olarak iyi bir uyumu ifade etmektedir (Clark ve Hoskin, 1986). Bu yöntemlere alternatif bir yaklaşım da elde edilen modelin gerçek anlamda bağımlı değişkeni nasıl tahmin ettiğidir. Bu durum, bu çalışmada lojistik regresyon yönteminin gerçekleştirildiği IDRISI yazılımının da kullandığı "Göreceli Çalıştırma Özellikleri (Relative Operating Characteristic (ROC))" yöntemi ile de yorumlanmaktadır. Bu yöntem, Boolean formatında olan "heyelan var/yok" haritası ile olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC değeri 0.5 ile 1 arasında değişmekte olup 1 değeri mükemmel uyumu, 0.5 ise rastgele bir uyumu işaret etmektedir (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Bu çalışmada lojistik regresyon metoduyla elde edilen heyelan duyarlılık tahmin haritasının değerlendirilmesinde de pseudo  $R^2$  ve ROC değerleri kullanılmıştır.



Şekil 7.19 Lojistik regresyon ile erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmesinde takip edilen işlemlere ait ana akış diyagramı.



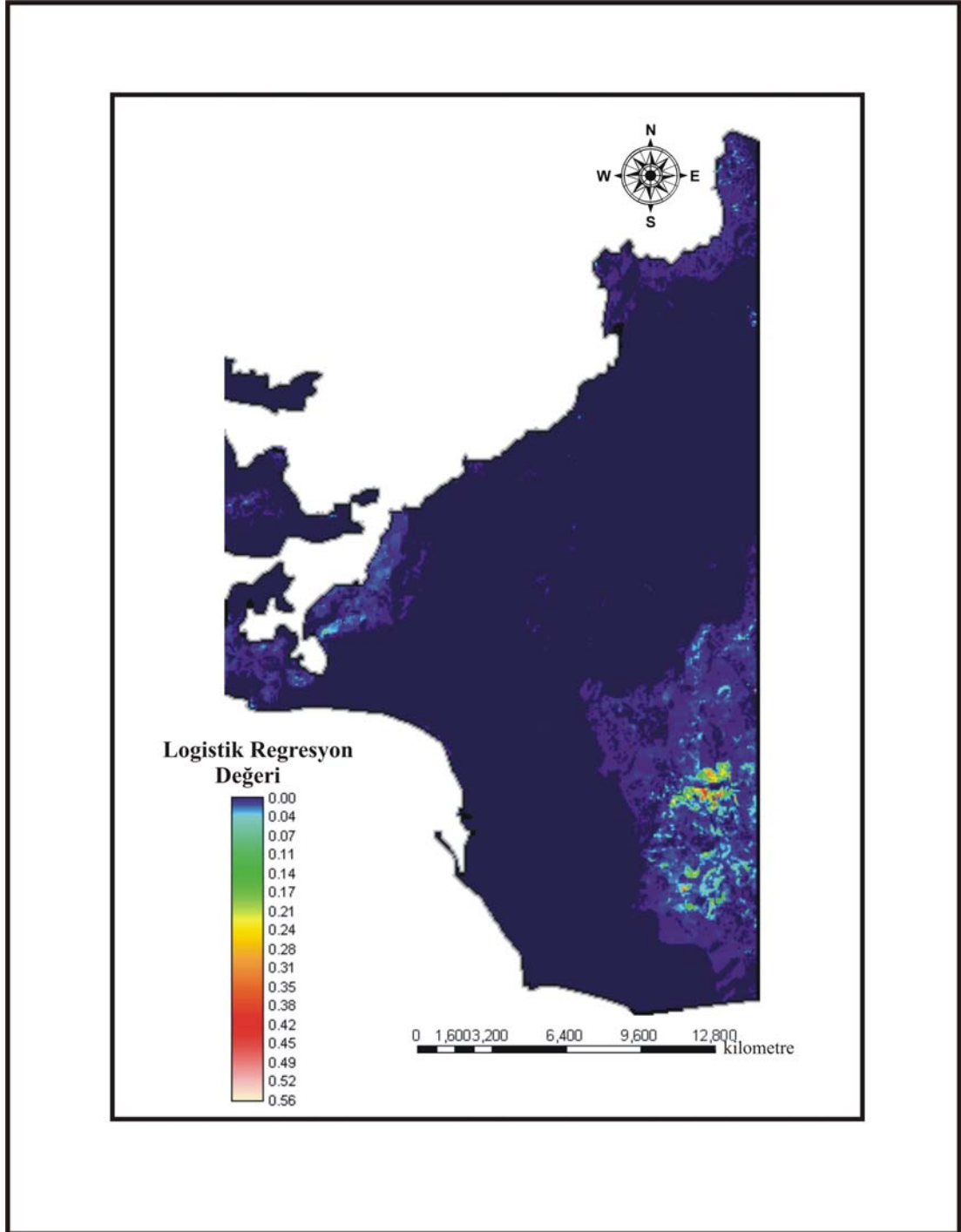
Şekil 7.20 Lojistik regresyon yöntemi için kullanılan yazılıma ait alt menü.

Şekil 7.19’da, çalışma kapsamında lojistik regresyonun kullanımının bir özeti verilmiştir. Burada verilen işlem adımları, Şekil 7.20’de verilen ve IDRISI yazılımında bir alt menü olarak yer alan LOGISTICREG arayüzü işleyiş mantığını



da özetlemektedir. Bu kapsamda ilk adımda, heyelan envanter haritası olarak hazırlanan ve lojistik regresyon işleminde bağımsız değişken olarak yer alan veri girilmiştir. Daha sonra, heyelan gelişimine katkıda bulunduğu düşünülen jeolojik, jeomorfolojik ve bozunma derecesi olarak tanımlanan bağımlı değişkenler girdi veri olarak tanıtılmıştır. Kontrol parametreleri olarak, tabakalandırılmış rastgele örnekleme yöntemi seçilmiş ve örnekleme oranı %10 olarak alınmıştır (Eastman, 2004). İşlem sonucunda iki tür veri elde edilmiştir. Birincisi, heyelan tahmin değerlerinin gösterildiği olasılık görüntüsü (Şekil 7.21), ikincisi ise lojistik regresyon sırasında elde edilen istatistiksel veri gruplarıdır (Tablo 7.2, 7.3 ve 7.4). Bu işlemler sonucunda elde edilen regresyon denklemi de aşağıda verilmiştir.

Elde edilen regresyon denklemindeki bağımsız değişkenlere ait katsayılar, ait oldukları bağımsız değişkenin, heyelan gelişimindeki görece ağırlık değerini ifade etmektedir.



Şekil 7.21 Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan olasılık haritası.

Regresyon Denklemi :

$$\text{logit(heyelan)} = -8.3514 - 0.003681 * \text{yamaç yönelim} - 0.004523 * \text{bozunma} + 0.009711 * \text{bitki yoğunluğu} + 0.001479 * \text{drenaj hatlarına uzaklık} + 0.001067 *$$

drenaj yoğunluğu + 0.014592 \* egim + 0.005673 \* jeoloji - 0.000781 \* arazi örtüsü  
+ 0.002566 \* akarsu güç indeksi

Tablo 7. 2 Lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar.

<b>Regresyon Katsayıları</b>	
<b>Değişkenler</b>	<b>Katsayılar</b>
Regresyon Katsayısı	-8.35144905
Eğim	-0.01459249
Yamaç Yönelimi	-0.00368137
Bozunma	-0.00452347
Bitki Yoğunluğu	0.00971051
Drenaj Yoğunluğu	0.00106672
Drenaj Hatlarına Uzaklık	0.00147943
Jeoloji	0.00567346
Arazi Örtüsü	-0.00078101
Akarsu Aşındırma İndisi	0.00256588

Tablo 7. 3 Lojistik regresyon istatistik sonuçları

<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	387699
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	1651
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	99.5760
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	0.4240
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38847
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	38694
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	153
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	99.6061
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	0.3939
-2logL0	1999.7023
-2log(likelihood)	1540.4105
Pseudo R <sup>2</sup>	0.2297
Goodness of Fit	43302.9414
Model ChiSquare	459.2917
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	84.57

Tablo 7. 4 Bağımsız değişkenlere ait ortalama ve standart sapma değerleri

<b>Bağımsız Değişkenler</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>
Eğim	7.632790	29.674486
Yamaç Yönelimi	142.155075	92.465378
Bozunma	201.997711	89.346352
Bitki Yoğunluğu	241.102203	29.560799
Drenaj Yoğunluğu	71.655159	90.668098
Drenaj Hatlarına Uzaklık	141.914673	101.92743
Jeoloji	79.611397	87.064056
Arazi Örtüsü	202.631378	44.816143
Akarsu Aşındırma İndisi	83.842720	97.186432

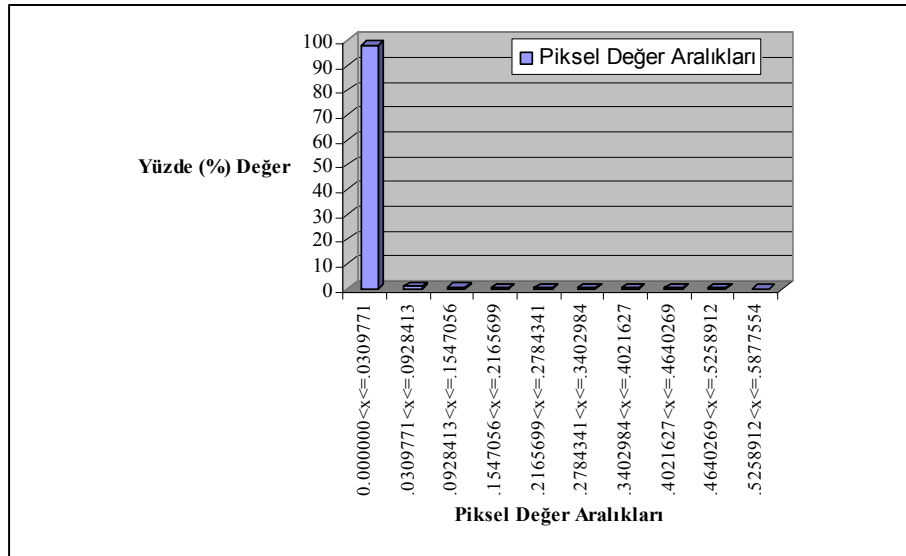
Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen olasılık haritasının elde edilmesinden sonra bu haritanın anlamlandırılması ve heyelan duyarlılık derecelerinin verilmesi amacıyla yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Sürekli verilerden oluşan bu tür verilerin sınıflandırılması amacıyla literatürde araştırmacılar değişik yöntemler önermiştir. (Sturges, 1926; Scott, 1992; Emerson ve Hoaglin, 1983). Süzen (2002), bu yöntemlerin büyük çoğunluğunun bazı olumsuz tarafları olduğunu belirtmiş, bunları gidermek amacıyla kullanılan parametrelerin herbirinin kaynak hücrelerinin persantillerini (yüzdeler) kullanarak yeniden sınıflandırma yöntemini önermiştir. Guzzetti vd. (1999), Lee ve Min (2001), Ohlmacher ve Davis (2003) ve Ayalew ve Yamagishi (2005)'de bu amaçla değişik yöntemler önermiş, bu yöntemlerde doğal kırılım, kantil (seri ayracı), eşit aralık ve standart sapma'ya bağlı yöntemler kullanmıştır. Standart sapma yöntemi, sınıf eşik değerlerini oluşturmak için ortalamayı kullanarak olasılık haritasını duyarlılık değerlerine bölmeyi mümkün kılmaktadır (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Bu çalışmada eşit aralık yaklaşımı kullanılarak yeniden sınıflandırma yapılmış ve lojistik regresyon yöntemiyle belirlenen heyelan olasık haritası, heyelan duyarlılık haritasına dönüştürülmüştür (Şekil 7.23).

Aşağıda Tablo 7.5'de lojistik regresyon olasılık haritası sonucunda elde edilen değerlerin frekans değerleri hücre sayısı ve % değer olarak verilmiştir. Tablo 7.5'den

de görüleceği üzere, toplam 389350 pikselden 383057 piksel en düşük olasılık değerine sahip olup inceleme alanının % 98.38'ini oluşturmaktadır. Bu durum, Bölüm 8'de tartışmalar kısmında ayrıca irdelenecektir. Tablo 7.6'da ise lojistik regresyon sonucu elde edilen olasılık değerlerini gösteren piksellere ait tanımsal istatistik değerleri verilmiştir.

Tablo 7.5 Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen olasılık haritasındaki değerlere ait frekans tablosu

Değer Aralıkları	Piksel Sayısı	%
0.000000<x<=.0309771	383057	98.38372
.0309771<x<=.0928413	3529	0.90638
.0928413<x<=.1547056	1140	0.29280
.1547056<x<=.2165699	630	0.16181
.2165699<x<=.2784341	519	0.13330
.2784341<x<=.3402984	220	0.05650
.3402984<x<=.4021627	111	0.02851
.4021627<x<=.4640269	75	0.01926
.4640269<x<=.5258912	61	0.01567
.5258912<x<=.5877554	8	0.00205
<b>Toplam</b>	<b>389350</b>	<b>100.0000</b>



Şekil 7.22 Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen olasılık haritasındaki olasılık değerlerine ait piksel sayılarının frekans değerleri.

Tablo 7.6 Lojistik regresyon olasılık haritasındaki piksel değerlerinin tanımsal istatistiksel parametreleri

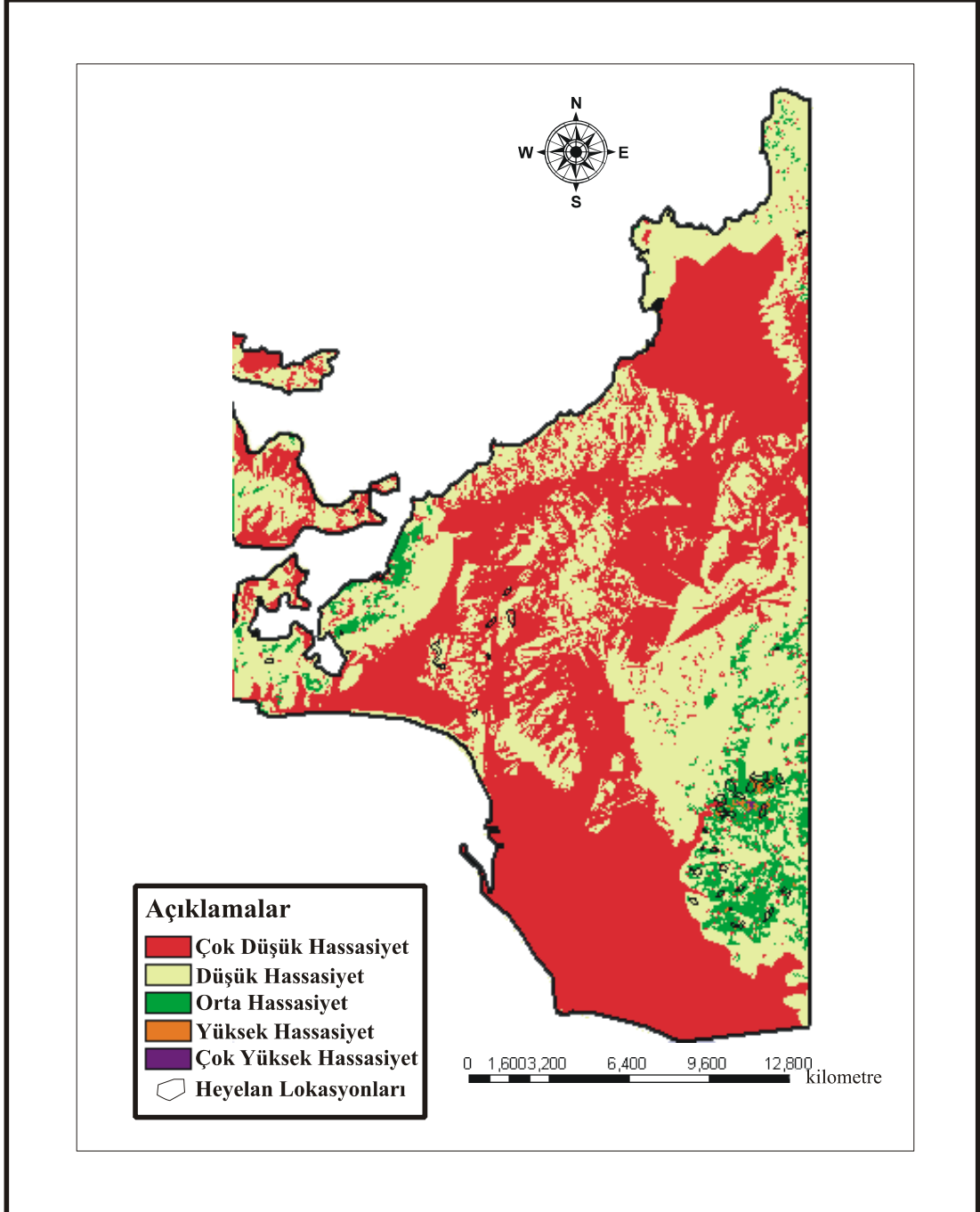
	<b>Piksel Sayısı</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>En fazla</b>	<b>Std. Sapma</b>	<b>Eğiklik</b>
<b>Log Reg</b>	389350	0.004356	0.000045	0.556823	0.019483	13.65669

### 7.2.2.1 Duyarlılık Haritalamasının Doğrulaması

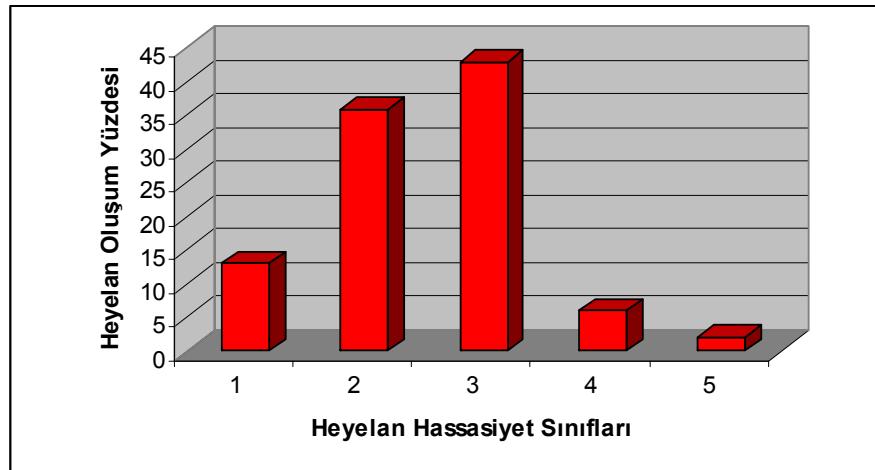
Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun irdelenmesi için literatürde farklı uygulamalar görülmektedir. Lee (2005), lojistik regresyon ile elde etmiş olduğu heyelan duyarlılık haritasını doğrulamak amacıyla “Eğri altındaki alan (Area Under Curvature-AUC)” yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem daha bilinen adıyla “Relative Operation Characteristics (ROC)-Göreceli İşlem Özellikleri” olarak literatürde görülmektedir (Yeşilnacar ve Topal, 2005). ROC eğrisi, deterministik, olasılık belirleme ve tahmin sistemlerinin kalitesini ifade eden çok kullanışlı bir yöntemdir (Swets, 1988). ROC eğrisinin altında kalan kalan (AUC), sistemin, daha önceden tanımlanan “olayların” meydana gelme ya da gelmeme durumunu doğru bir şekilde bekleme yeteneğini kullanarak bir tahmin sisteminin kalitesini karakterize etmektedir. Ayalew vd. (2005), lojistik regresyon yöntemiyle oluşturmuş oldukları heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu için ROC eğrisinin yanısıra basit karşılaştırma yöntemini de kullanmışlardır. Bu yöntemde, duyarlılık haritası ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmış, belirlenen duyarlılık sınıfı alanları içerisine ne kadar heyelan düştüğü tespit edilmiştir. Süzen ve Doyuran (2004a) bu amaçla “seed cell area index (kaynak hücre alan indeksi)” yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemde duyarlılık alanlarına ait piksel değer yüzdeleri, heyelanlı kaynak hücre yüzde değerlerine bölünerek duyarlılık sınıflarındaki heyelan yoğunluğunu veren bir indeks değeri oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu basit karşılaştırma ve ROC değeri ile irdelenmiştir. Bunun için, heyelan duyarlılık haritası ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmış, her bir duyarlılık sınıfı içindeki heyelan yüzdesi belirlenmiştir. Buna göre heyelanların % 13’ü çok düşük duyarlılık sınıfında, % 36’sı düşük duyarlılık sınıfında, % 43’ü orta derece duyarlılık sınıfında, % 6’ sı yüksek duyarlılık sınıfında ve %2 si ise çok

yüksek duyarlılık sınıfında yer aldığı görülmüştür (Şekil 7.24). Bir diğer değerlendirme yöntemi ise ROC eğrisi olarak alınmıştır. Tablo 7.3’de verilen değerlere bakıldığında bu çalışma için ROC değeri 84.57 (%) olarak belirlenmiştir. Bu değer 0.5 ‘den (Diğer bir ifadeyle % 50’den) büyük ve 1’e yakın olduğu için elde edilen heyelan duyarlılık haritalamasının başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 7.23 Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası (EK 2).



Şekil 7.24 Heyelan duyarlılık sınıflarına göre heyelan oluşum yüzdeleri. (1: Çok Düşük Duyarlılık, 2: Düşük Duyarlılık, 3: Orta Duyarlılık, 4: Yüksek Duyarlılık, 5: Çok Yüksek Duyarlılık)

### 7.3 Benzerlik Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi

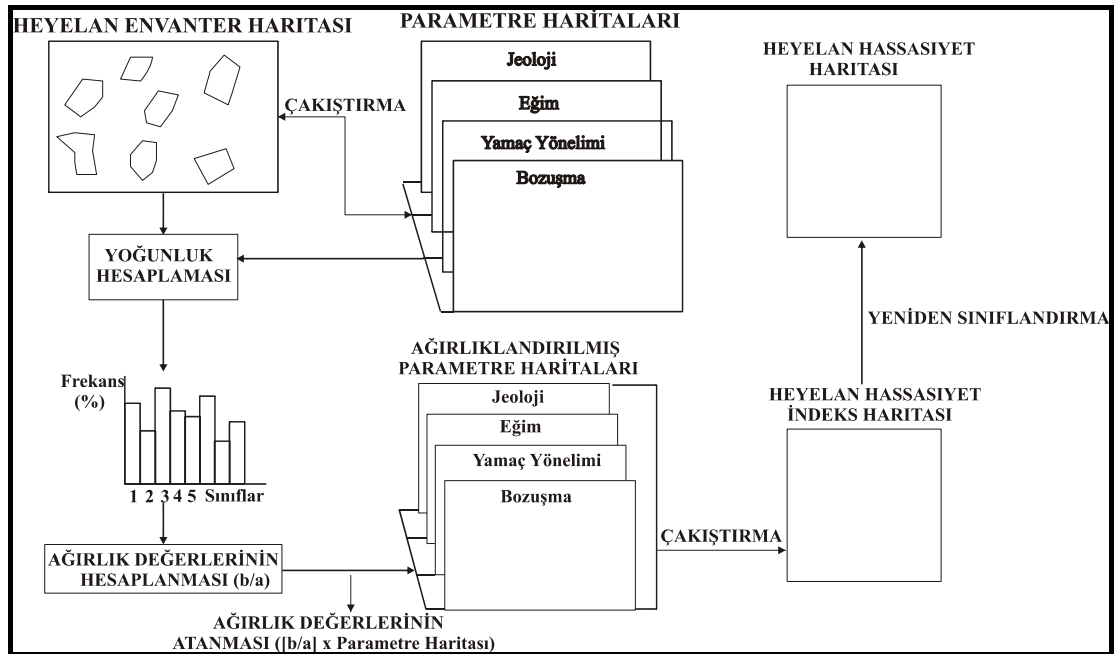
Genelde, heyelanların oluşumunu tahmin etmek için şu yaklaşıma gereksinim duyulmaktadır: geçmişte, heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerden dolayı meydana gelmiş bir heyelan, gelecekte aynı faktörlerden dolayı yeni heyelanların meydana gelmesi konusunda ışık tutacaktır (Chung ve Fabbri, 1999). Bu yaklaşıma bağlı olarak, heyelanın meydana geldiği alanlar ile bu alanlardaki heyelan neden olan faktörler arasındaki ilişki, geçmişte heyelan olmamış alanlar ile heyelan neden olan faktörler arasındaki ilişkilerden ayırt edilebilir (Lee, Choi ve Min, 2004).

Sayısal olarak bu ayrımı göstermek için, bu tez kapsamında olasılık-benzerlik oranı yöntemi de kullanılmıştır. Bu oran, belirli bir doğal olayın meydana gelmesinin, aynı olayın meydana gelmemesine oranının olasılığını ifade etmektedir (Bonham-Carter, 1994). Söz konusu doğal olayın heyelan olması durumunda, şayet heyelan olma olayını B ve heyelan neden olduğu düşünülen parametreleri de D olarak gruplandırırsak, D'deki olasılık-benzerlik oranı, şartlı olasılık olacaktır. Eğer bu oran 1'den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1'den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır.



Bu yaklaşımdan hareketle, olasılık-benzerlik oranı değerlerini hesaplamak için Bölüm 6'da da verilen heyelan oluşumu ve ilgili parametre ilişkileri kullanılarak bir olasılık tablosu hazırlanmıştır (Tablo 7.7).

Benzerlik oranı yönteminde izlenen işlem adımlarına ait bir iş akım şeması aşağıda Şekil 7.25'de verilmiştir.



Şekil 7.25 Benzerlik Oranı yönteminde izlenen iş akım şeması.

Tablo 7.7'de, her bir parametreye ait alt parametre sınıfındaki piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (a) ile, bu alt parametre alt sınıflarında meydana gelen heyelanlı alanlara ait piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (b) hesaplanarak elde edilen a ve b değerlerinden olasılık-benzerlik oranı  $[(b/a)]$  oranları hesaplanmıştır. Elde edilen bu olasılık-benzerlik değerleri her bir parametre için toplanmış ve ait oldukları parametre haritaları için parametre puanı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu parametre puanları, ilgili oldukları parametre haritaları ile çarpılmış, puanlandırılmış parametre haritaları elde edilmiştir. Daha sonra, puanlandırılmış parametre haritaları toplanarak bir olasılık-benzerlik oranı indeks haritası elde edilmiştir (Şekil 7.26). Bu harita, heyelan duyarlılık durumunun yorumlanması için eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılmış ve sonuçta çok

düşük duyarlılık derecesinden, çok yüksek duyarlılık derecesine kadar beş heyelan duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 7.27). Şekil 7.28'e bakıldığı zaman, inceleme alanının % 34.27'si çok düşük duyarlılık, % 52.44'ü düşük duyarlılık, % 9.84'ü orta derece duyarlılık, % 2.73'ü yüksek duyarlılık ve % 0.72'si ise çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu görülmektedir.

Olasılık-benzerlik oranı yöntemiyle elde edilen ve Şekil 7.27'de sunulan heyelan duyarlılık haritasının performans analizi için yine bir önceki bölümde anlatıldığı gibi heyelan envanter haritası ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmış, elde edilen her bir duyarlılık sınıfına, haritalanan heyelanların hangi oranda düştükleri tespit edilmiştir. Buna göre, inceleme alanında haritalanmış olan heyelanların % 17.57'sinin çok düşük duyarlılık, % 24.83'ünün düşük duyarlılık, % 15.32'si orta derece duyarlılık, % 22.53'ünün yüksek duyarlılık ve % 19.75'nin ise çok yüksek duyarlılık sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 7.28).

Tablo 7.7 Olasılık-benzerlik oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri.

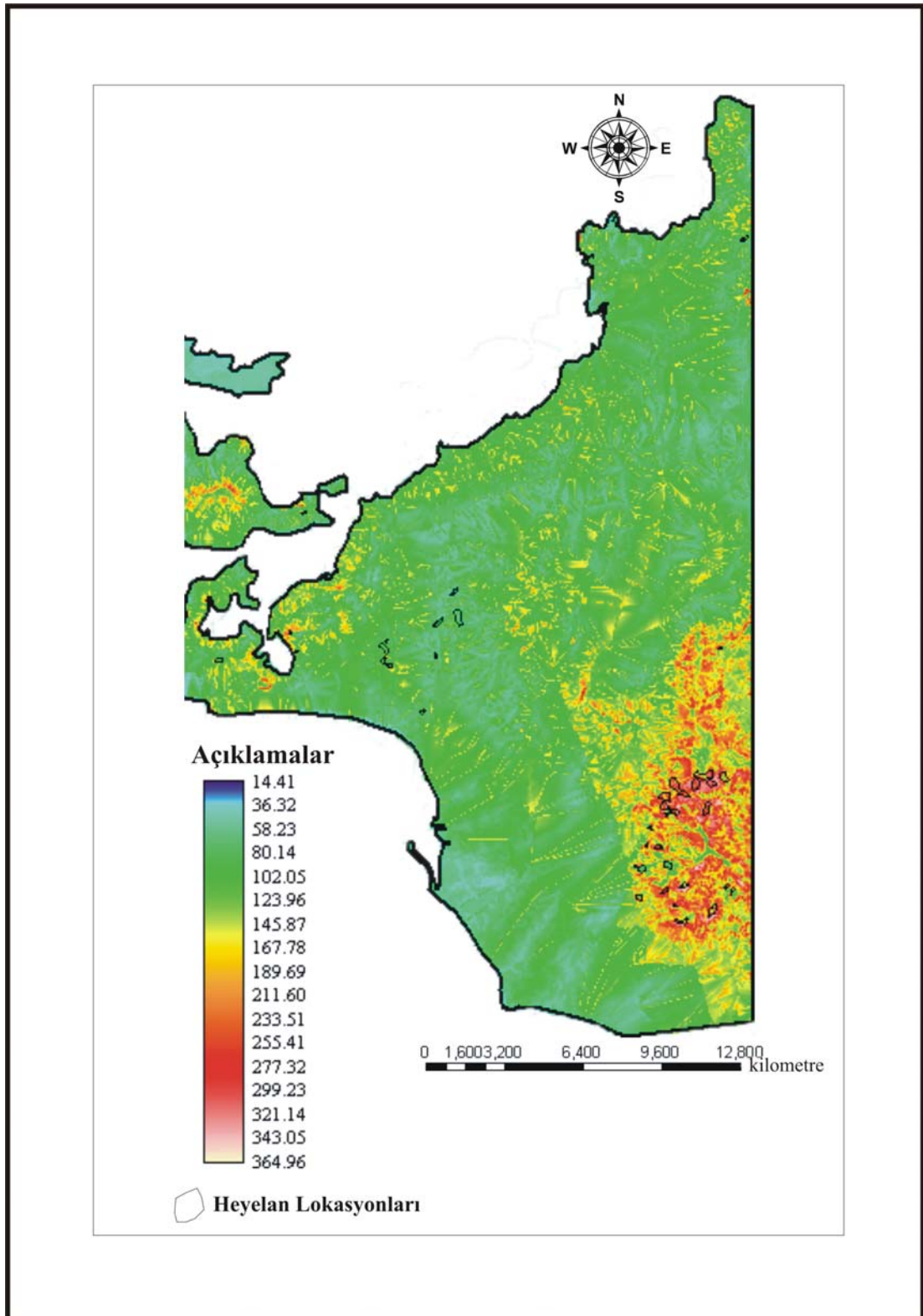
PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		(b/a)
		PİKSEL SAYISI	ORAN (%) <sup>(a)</sup>	PİKSEL SAYISI	ORAN (%) <sup>(b)</sup>	
Eğim (°)	0-10	340165	87.36	646	39.12	0.44
	10_20	38985	10.01	357	21.26	2.15
	20-30	8679	2.22	481	29.13	13.12
	30-40	1077	0.27	166	10.05	37.22
	40-50	154	0.03	1	0.06	2
	>50	290	0.07	0	0	0
Yamaç Yönelimi (°)	0	29842	7.66	0	0	0
	0-45	31104	7.98	112	6.78	0.85
	45-90	25164	6.46	77	4.66	0.72
	90-135	25860	6.64	130	7.87	1.18
	135-180	36762	9.44	299	18.11	1.91
	180-225	58518	15.02	413	25.01	1.66
	225-270	73729	18.93	242	14.65	0.77
	270-315	63380	16.27	219	13.26	0.81
	315-360	44991	11.55	159	9.63	0.83
	Litoloji	Alüvyon	102011	26.2	0	0
Tüf		36851	9.46	79	4.78	0.5
Andezit		48465	12.44	417	25.25	2.02
Silisifiye Tüf		582	0.14	0	0	0
Gösel Tortullar		151021	38.78	353	21.38	0.55
Bazalt		41963	10.77	655	39.67	3.68
Konglmera		3112	0.79	20	1.21	1.53
Aglomera		3689	0.94	127	7.69	8.18
Metasedimanter-Metavolkanik		1541	0.39	0	0	0
Trakiandezit		115	0.02	0	0	0

Tablo 7.7'nin devamı.

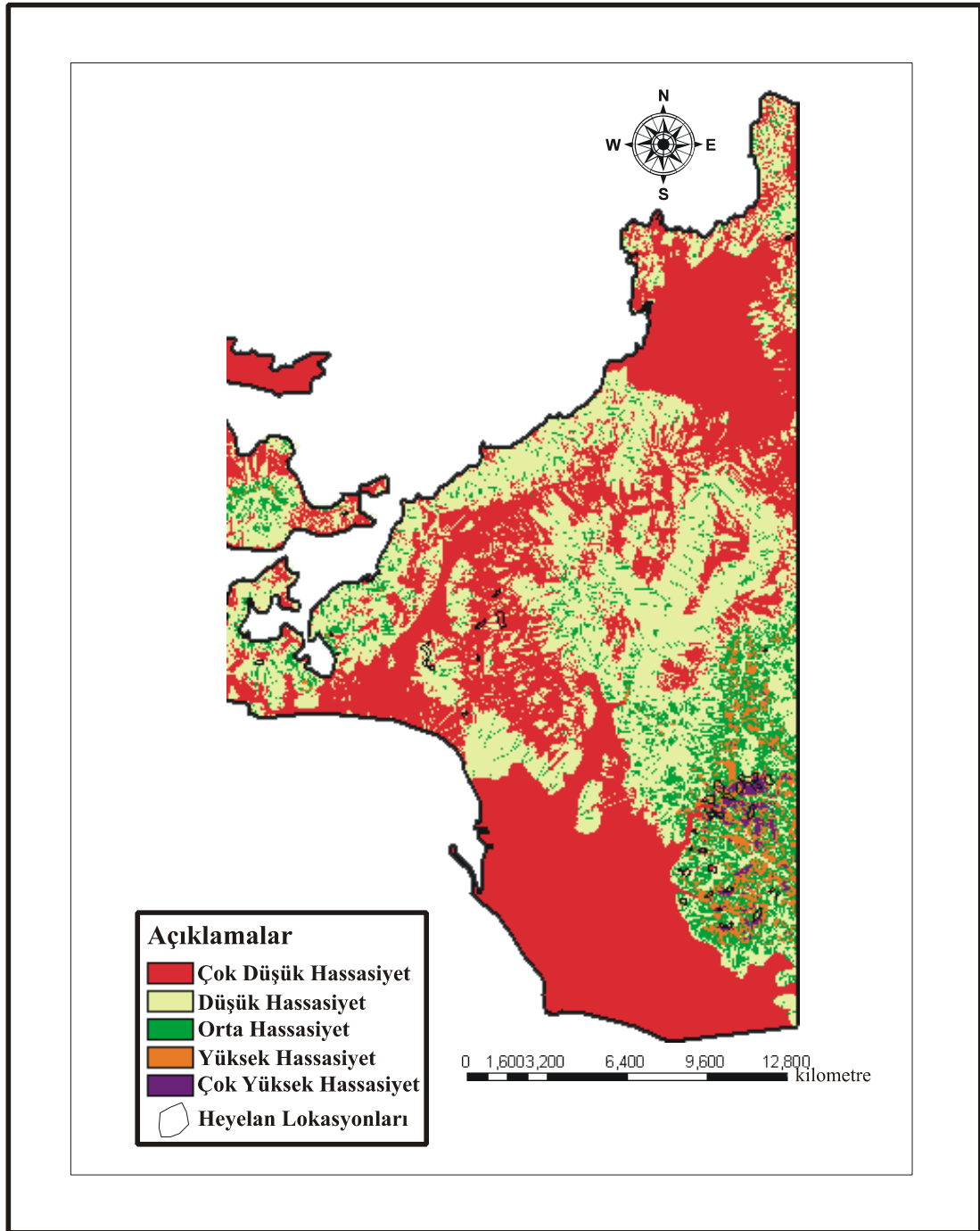
PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		(b/a)
		PİKSEL SAYISI	ORAN (%) <sup>(a)</sup>	PİKSEL SAYISI	ORAN (%) <sup>(b)</sup>	
Bozunma	Taze	1518	0.38	9	0.54	1.42
	Az Bozunmuş	20376	5.23	470	28.46	5.44
	Orta Derece Bozunmuş	10694	2.74	18	1.09	0.39
	Yüksek Derece Bozunmuş	74361	19.09	750	45.42	2.37
	Tamamen Bozunmuş	145338	37.32	389	23.56	0.63
	Alüvyon Zemin	137063	35.2	15	0.9	0.02
Bitki Yoğunluğu	Örtüsüz	157516	40.45	611	37	0.91
	Çok Az	129623	33.29	469	28.4	0.85
	Az	85238	21.89	545	33.01	1.5
	Yüksek	15806	4.05	26	1.57	0.38
	Çok Yüksek	1167	0.29	0	0	0
Drenaj Yoğunluğu	Az	222065	57.03	529	32.04	0.56
	Orta	117323	30.13	380	23.01	0.76
	Yüksek	49962	12.83	742	44.94	3.5
Drenaj Hatlarına Uzaklık	0-100	58320	14.97	458	27.74	1.85
	100-200	49802	12.79	414	25.07	1.96
	200-300	44213	11.35	260	15.74	1.38
	300-400	37235	9.56	94	5.69	0.59
	>400	199780	51.31	425	25.74	0.5
Arazi Örtüsü	Yerleşim+Örtüsüz Arazi	195854	50.3	674	40.82	0.81
	Örtüsüz Arazi	101082	25.96	416	25.19	0.97
	Örtülü Arazi	52975	13.6	468	28.34	2.08
	Sulak Alan	2063	0.52	12	0.72	1.38
	Tarım Arazisi	16490	4.23	25	1.51	0.35
	Su Kütlesi (Deniz+Göl)	2910	0.74	0	0	0
	Zeytin Tarım Arazisi	17979	4.61	56	3.39	0.73

Tablo 7.7'nin devamı.

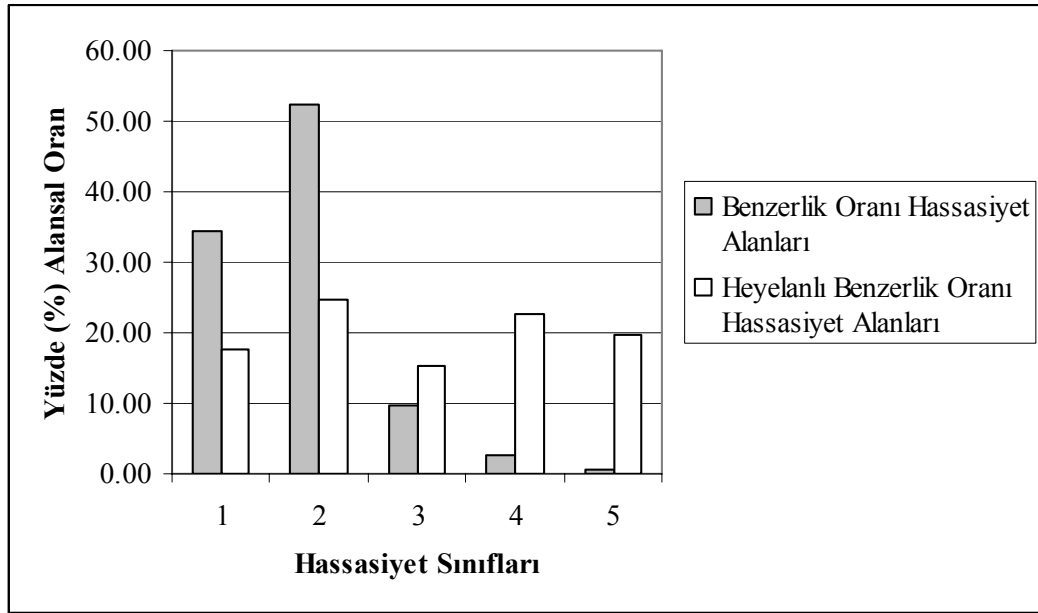
PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		(b/a)
		PİKSEL SAYISI	ORAN (%) <sup>(a)</sup>	PİKSEL SAYISI	ORAN (%) <sup>(b)</sup>	
Kırık Yoğunluğu	Az	32455	8.33	209	12.65	1.51
	Orta	28701	7.37	400	24.22	3.28
	Yüksek	23867	6.12	65	3.93	0.64
	Çok Yüksek	45206	11.61	625	37.85	3.26
Akarsu Güç İndeksi	0_10	246418	63.28	420	25.43	0.4
	10_20	61349	15.75	351	21.25	1.34
	20_30	26170	6.72	152	9.2	1.36
	30_40	13015	3.34	111	6.72	2.01
	40_50	7885	2.02	87	5.26	2.6
	50_60	5304	1.36	68	4.11	3.02
	60_70	3873	0.99	51	3.08	3.11
	70_80	2933	0.75	52	3.14	4.18
	80_90	2339	0.6	62	3.75	6.25
	90_100	20064	5.15	297	17.98	3.49
Topoğrafik Islaklık	1_4	3389	0.87	136	8.23	9.45
	4_8	211825	54.4	1379	83.52	1.53
	8_12	157839	40.53	128	7.75	0.19
	12_16	15455	3.96	8	0.48	0.12
	16_20	833	0.21	0	0	0
	20-24	9	0.002	0	0	0
Yamaç Şekli	İç Bükey	6471	1.66	106	6.42	3.86
	Düz	376257	96.93	1329	84.31	0.87
	Dış Bükey	6622	1.7	153	9.26	5.44



Şekil 7.26 Olasılık-benzerlik oranı indeks haritası.



Şekil 7.27 Olasılık-benzerlik oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (EK 3).



Şekil 7.28 Olasılık-benzerlik oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri.

#### 7.4 Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi

Erozyon ve heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlardan bir diğeri de çok ölçütlü karar analizi yöntemidir. Mühendislik jeolojisi disiplini altındaki pek çok çalışmada ÇÖKA yöntemi kullanılarak yer seçimi (Şener vd., 2006), heyelan duyarlılık haritalaması (Ayalew vd., 2004; 2005), yeraltı su kirlenabilirliği değerlendirmesi (Gemitzi vd., 2005) gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

##### 7.4.1 Konumsal Çok Ölçütlü Karar Analizi

Karar analizi, karmaşık karar problemlerinin analizi için kullanılan sistematik işlemler toplamıdır. Bu işlemler, karar problemlerini daha anlaşılabilir daha küçük parçalara bölmeyi, her bir parçayı analiz etmeyi ve bu parçaları anlamlı bir çözüm üretebilmek için mantıksal bir çerçevede bir araya getirmeyi kapsamaktadır (Malczewski, 1999). Genel olarak ÇÖKA problemleri altı bileşeni içermektedir (Keeney ve Raiffa, 1976):

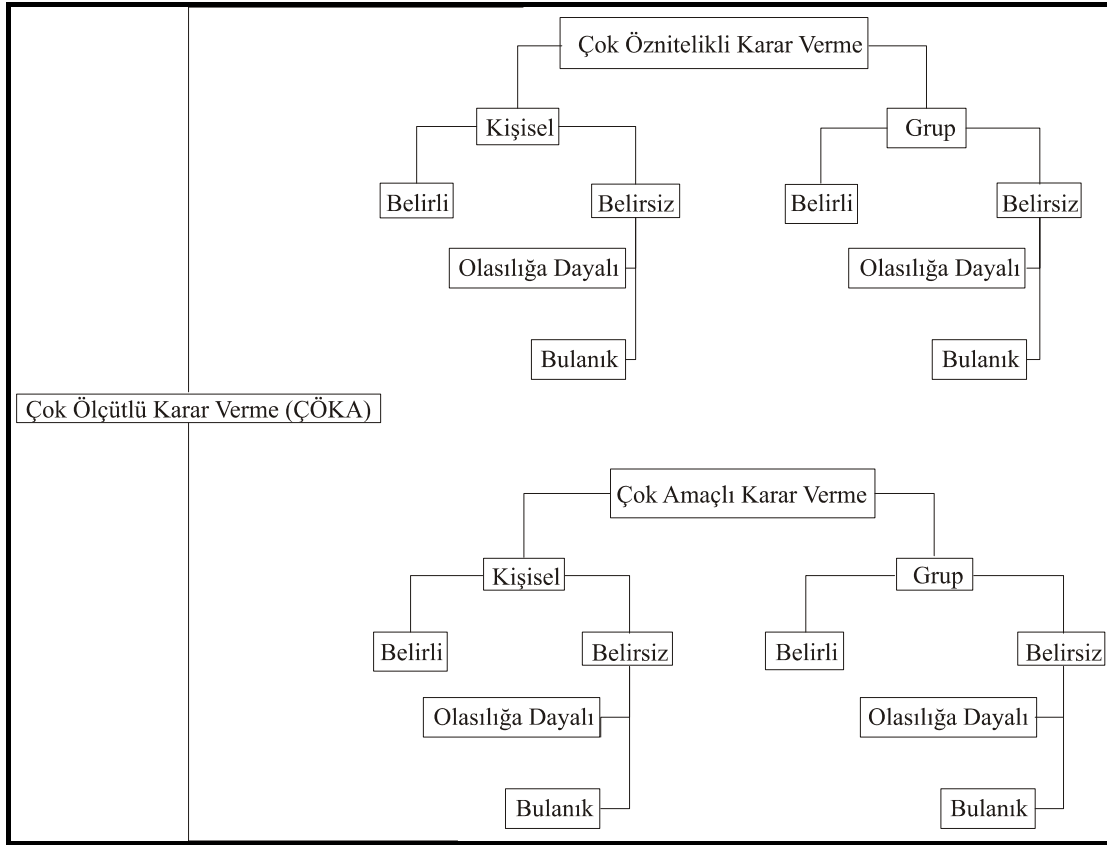


1. Karar vericinin elde etmek istediği bir hedef ya da hedefler,
2. Değerlendirme kriteri ile ilgili tercihleri olan karar verici veya karar vericiler grubu,
3. Bir değerlendirme kriteri grubu (amaçlar, ve/veya fiziksel öznitelikler),
4. Karar alternatifleri grubu,
5. Kontrol edilemeyen (bağımsız) değişkenler veya karar ortamı,
6. Her alternatif öznitelik çifti ile ilgili sonuçlar ve çıktılar grubu.

ÇÖKA yöntemleri en çok tercih edilen tek bir seçeneği tanımlamada, seçenekleri puanlama, sonraki ayrıntılı değerlendirme için seçeneklerin sayısını belirlemek veya kabul edilemez olasılıklardan kabul edilebilir olanları ayırt etmek için kullanılabilir (Dodgson vd., 2000).

Bilinen pek çok ÇÖKA yaklaşımı olup, bunlar birbirlerinden veriyi nasıl birleştirdikleri ve kullandıklarına göre ayrılmaktadır. ÇÖKA yaklaşımları, temel çok ölçütlü karar analizi bileşenlerine dayandırılarak sınıflandırılabilir. Üç farklı sınıflandırma aşağıda verildiği biçimde yapılmaktadır (Şekil 7.29).

1. Çok öznitelikli karar vermeye karşı çok amaçlı karar verme
2. Grup karar verici problemlerine karşılık kişisel karar problemleri
3. Belirsizlik altındaki karara karşılık belirli durumdaki kararlar.



Şekil 7.29 Çok ölçütlü karar problemlerinin sınıflandırılması (Malczewski, 1999).

Çok öznitelikli karar verme ile çok amaçlı karar verem arasındaki fark, istenebilirliklerine göre puanlanan alternatifler üzerindeki kurallar veya hükümlerin standartları olan değerlendirme kriterlerine dayanmaktadır. Kriter genel bir terim olup öznitelik ve hedefler kavramlarının her ikisini de içine almaktadır.

Öznitelik ölçülebilir bir özellik olup değeri özel bir amacın başarıma derecesini ifade etmektedir. Amaç ise incelenen sistemin arzu edilme durumu hakkındaki bir ifadedir (Chankong ve Haimes, 1983).

Hem çok öznitelikli karar verme ve hemde çok amaçlı karar analizi problemleri amaç-tercih yapısına bağlı olarak tek ya da grup karar verme olarak sınıflandırılabilir. Eğer tek bir karar tercihi varsa problemler işlemdeki karar verici sayısından bağımsız olarak tekil karar verme olarak düşünülmektedir. Dolayısıyla, şayet tekil ya da ilgi grupları farklı amaç tercihleri ile karakterize edilirse, problem grup karar verme problemi olmaktadır (Malczewski, 1999).

Diğer sınıflandırma, kararın belirlilik durumuna bağlıdır. Eğer karar verici, karar ortamı hakkında mükemmel bilgiye sahipse ve elinde yeterli miktarda bilgi varsa bu durumda karar belirlilik altındaki karar olarak görülür. Bunun yanısıra, gerçek dünya kararlarının büyük çoğunluğu tahmin edilmesi güç ve bilinmeyen yönlere sahiptir. Belirsizlik altındaki kararlar, daha sonra kendi içlerinde bulanık ve olasılık karar verme gibi alt sınıflara ayrılabilir (Leung, 1988; Eastman, 1993). Olasılık kararları, olasılık teorisi ve istatistik yöntemleriyle ele alınmaktadır. Stokastik (tahmini) bir olayın çıktısı ya doğrudur ya da yanlıştır. Dolayısıyla, şayet durum belirsiz ise, problem, o olayın bir sınıfa hangi derecede ait olduğu biçiminde yapılandırılmaktadır. Bu tür problemler bulanık küme teorisi ile ele alınmaktadır (Zadeh, 1965).

#### *7.4.1.1 Çok Ölçütlü Konumsal Karar Analizi Adımları*

Herhangi bir karar problemi üç ana kısımda yapılandırılabilir (Malczewski, 1999):

1. Zeka: Problemin varlığını ve değişim imkanını inceler.
2. Tasarım: Alternatifleri belirler.
3. Seçim: En iyi alternatife karar verir.

Konumsal karar verme sürecinde yer alan ana bileşenler ise aşağıdaki verilmektedir.

*7.4.1.1.1 Problemin Tanımlanması.* Bir karar problemi, gerçek dünyada var olan durumla, bu durum için beklenen arasındaki farktır. Bu, karar verici tarafından onaylanan bir boşluktur. Herhangi bir karar verme süreci, problemin tanınması ve tanımlanması ile başlar. Bu aşama, karar verme işleminde “zeka” kısmında yer alır ve problemleri tanımlamak için ham verinin elde edilmesi, işlenmesi ve incelenmesi amacıyla karar ortamının araştırılmasını kapsar. Bu aşamada, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yetenekleri verinin saklanması, yönetilmesi, değerlendirilmesi ve analizi için kullanılır (Malczewski, 1999).

*7.4.1.1.2 Değerlendirme Kriteri.* Problemi tanımından sonra öznelik ve hedefleri kapsayan değerlendirme kriteri grubu oluşturulmalıdır (Keeney ve Raiffa, 1976). Bu aşama, kapsamlı bir hedefler grubunu tanımlamayı içermektedir. Karar kriteri, coğrafi nesnelere ve bunlar arasındaki ilişkilerle ilgili olduğu için harita formatında gösterilebilir. CBS verisi, konumsal karar analizine girdi veri oluşturmak için kullanılmaktadır (Malczewski, 1999).

*7.4.1.1.3 Kriter Ağırlıkları.* Ağırlık değeri, bir değerlendirme kriterine atanan ve dikkate alınan diğer kriterlere göre göreceli önemini ifade eden bir değer olarak tanımlanmaktadır (Malczewski, 1999). Değerlendirme kriterine önem ağırlıklarını atamak, her bir değerlendirme kriteri için değişim aralığında meydana gelen farklılıkları ve bu değişim aralıklarına bağlanan farklı derecelerdeki önem değerlerini dikkate almaktadır (Kirkwood, 1997). Bu kapsamda, dört değişik ağırlık belirleme yöntemi bulunmaktadır: Derecelendirme (ranking), puanlama (rating), ikili karşılaştırma (pair-wise comparison) ve ödün verme analizi (trade-off analysis) yöntemleridir.

*7.4.1.1.3.1 Derecelendirme Yöntemi.* Ağırlık tayininde en basit yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntemde, dikkate alınan her bir kriter karar vericinin öngörülerine göre bir önem sırasını derecelendirilir. Basitliğinden dolayı bu yöntem çok çekici görünmektedir. Bununla birlikte, çok sayıda değerlendirme kriteri kullanıldığında yöntem daha az uygunluk göstermektedir. Yöntemin bir diğer dezavantajı ise teorik bir temeli olmamasıdır.

*7.4.1.1.3.2 Puanlama Yöntemi.* Bu yöntem, karar vericinin daha önceden belirlenmiş bir ölçeğe dayalı ağırlık ağırlıkları tahmin etmesini gerektirmektedir. En basit puanlama yöntemlerinden birisi nokta ayırma (point allocation) yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, noktaların 0'dan 100'e değişen bir ayırlama yapılmasına dayanmaktadır. Burada 0 değeri, kriterin ihmal edilebileceğini, 100 değeri ise dikkate alınması gereken sadece bir kriter ihtiyacı olduğu durumunu göstermektedir. Diğer yaklaşım oran tahmini yöntemidir. Bu yöntem, nokta ayırma yönteminin değiştirilmiş bir şeklidir. 100 değeri, en önemli kriter atılır ve oransal olarak daha

küçük ağırlıklar daha düşük sıradaki diğer kriterlere verilir. Bu yöntemin, derecelendirme yöntemine benzer şekildeki dezavantajı teorik bir temeli olmamasıdır. Ayrıca, atanan ağırlıkların doğruluğunu kanıtlamak zor olabilmektedir.

*7.4.1.1.3.3 İkili Karşılaştırma Yöntemi (Analitik Hiyerarşi Yöntemi).* Bu yöntem, bir oran matrisi oluşturmak için ikili karşılaştırmaları kullanmaktadır (Malczewski, 1999; Eastman, 2004). Yöntem, girdi veri olarak ikili karşılaştırmaları alır ve çıktı olarak bunların göreceli ağırlıklarını üretir. İkili karşılaştırma yöntemi üç temel adımı içermektedir:

1. İkili karşılaştırma matrisinin geliştirilmesi: Yöntem, 1'den 9'a değişen değerlere sahip bir ölçek kullanır. Olası değerler Tablo 7.8'de verilmektedir.

2. Ağırlıkların hesaplanması: Ağırlıkların hesaplanması üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, matristeki her bir kolonda yer alan değerlerin toplanmasıdır. Daha sonra, matristeki her bir eleman, ait olduğu kolonun toplamına bölünmelidir. Elde edilen matris normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisine karşılık gelmektedir. Normalize edilmiş matrisin her bir kolonundaki elemanların ortalamasının hesaplanması gerçekleştirilmelidir. Elde edilen matris, her bir eleman için normalize edilmiş skorların kriter sayısı ile toplanmasını kapsamaktadır. Bu ortalamalar dikkate alınan kriterin göreceli ağırlık değerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

3. Tutarlılık oranının tahmin edilmesi: Bu aşamanın amacı, ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını belirlemektir. Bu aşama aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

a) Orjinal ikili karşılaştırma matrisinin birinci kolonu ile birinci kriteri çarpmak suretiyle ağırlıklandırılmış toplam vektör belirlenir. Daha sonra, ikinci kolonla ikinci kriter, üçüncü kolonla üçüncü kriter çarpılır ve sonuçta sıra üzerindeki tüm değerler toplanır.

b) Daha önceden belirlenmiş kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılmış toplam vektör bölünerek tutarlılık vektörü belirlenir.

c) Lambda ( $\lambda$ ) değeri hesaplanır. Bu değer tutarlılık vektörünün ve tutarlılık indeksi'nin (CI) ortalama değeridir. CI değeri, tutarlılıktan sapmanın bir ölçüsüdür ve aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir:

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)}$$

d) Tutarlılık oranı (CR), aşağıdaki formül ile belirlenebilir.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Burada RI, rastgele indekstir ve karşılaştırılan elemanların sayısına bağlıdır (Tablo 7.9). Eğer,  $CR < 0.10$  ise, oran ikili karşılaştırmadaki tutarlılığın kabul edilebilir bir seviyede olduğunu söylenebilir. Buna karşın şayet  $CR > 0.10$  ise oran değerleri tutarsız hükümlerin verildiğini işaret etmektedir.

Tablo 7.8 İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1980).

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit derece önemli
2	Eşit-orta derece önemli
3	Orta derece önemli
4	Orta-yüksek derece önemli
5	Yüksek önemli
6	Yüksek-çok yüksek önemli
7	Çok Yüksek önemli
8	Çok yüksek-aşırı yüksek önemli
9	Aşırı yüksek önemli

Tablo 7.9 n =1....15 eleman için rastgele tutarsızlık indisleri (RI) (Saaty, 1980).

n	RI	n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

*7.4.1.1.3.4 Trade-off (Ödün verme) Analizi Yöntemi.* Bu yöntemde, karar vericinin iki kriter ile bağlantılı olan iki alternatifini karşılaştırmak ve tercih edilen alternatifini değerlendirmesi gerekir (Malczewski, 1999). Trade-off, aynı değeri almak için verilen ödünlere eşit olarak tercih edilen alternatiflerin tümüne imkan tanıyacak tek bir ağırlık kümesini tanımlar. Bu yöntemde bir kabul söz konusu olup ödün veren karar verici, diğer kriter seviyelerine bağlı olmayan herhangi iki kriter arasında seçim yapmaya gönüllüdür (Malczewski, 1999). Bu yöntemin zayıf yönü, karar vericinin aksiyonlara bağlı kaldığının ve kararlar arasında ince ayrımlar yapabilir olmasının varsayılmasıdır (Kirkwood, 1997).

*7.4.1.1.4 Karar Kuralları.* Kriter haritaları ve ağırlıklandırma işlemi, değerlendirme için bir arada ele alınmak durumundadır. Bu işlem, uygun bir karar kuralı veya birleştirme fonksiyonu ile birlikte gerçekleştirilmektedir (Chankong ve Haimes, 1983). Bir karar kuralı, değerlendirme kriter kümesi ile ilişkili olarak tüm alternatiflerin performanslarına bağlı olarak sıralanmasına imkan tanıdığı için, karar problemi, en iyi ürünün seçilmesine bağlıdır.

*7.4.1.1.4.1 Ağırlıklandırılmış Lineer Birleştirme Yöntemi.* Çok ölçütlü karar analizinde bir çok veriden, tek bir değerlendirme indeksinin oluşturulması için bilgilerin nasıl birleştirileceği önemli bir konudur. Bunun için ilk kez Voogd (1983) tarafından ifade edilen ve “ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyon” olarak tanımlanan yöntem önerilmiştir. Bu yöntem aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$S = \sum w_i x_i \quad (7.1)$$

Burada; S: duruma uygunluk,  $w_i$ : i parametresinin ağırlık değeri ve  $x_i$ : i parametresini kriter skoru değerlerini ifade etmektedir. Bu yöntemin coğrafi bilgi sisteminde çok bilinen bir yöntem olmaması ve bir regresyon denkleminin yapısına çok benzemesi nedeniyle Eastman (2004)'de aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

$$S = \sum w_i x_i * \Pi c_j \quad (7.2)$$

Burada;  $c_j$ : j sınırlandırılmış parametresinin kriter skoru,  $\Pi$ : çarpım değerlerini ifade etmektedir.

Bu eşitlik, sınırlandırılmış Boolean parametrelerinin olması durumunda eşitlik (7.1)'de verilen ifadenin, heyelana neden olduğu düşünülen parametreler ile sınırlandırılmış parametrelerin çarpımından hesaplanan bir uygunluk değeri olarak yeniden şekillendirilmesinden ibarettir. Burada sınırlandırılmış Boolean parametreleri, her bir parametre için oluşturulan ve söz konusu parametrenin, incelenen olaya uygun olan ve uygun olmayan alanlarının maskelenmesi ile oluşturulan iki değişkenli parametrelerdir. Uygun alanlar "1", uygun olmayan alanlar ise "0" ile kodlanmaktadır.

#### **7.4.2 Çok Ölçütlü Karar Analizi Yönteminin Uygulanması**

Bu çalışmada, Voogd (1983) tarafından önerilen eşitlik (7.1) ve Eastman (2004) tarafından önerilen eşitlik (7.2)'nin her ikisinde kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sınırlandırılmış faktörler, her bir parametre haritasında, heyelan açısından hiç bir sakınca teşkil etmeyecek alanların "0", diğer alanların ise "1" değeri aldığı yeniden sınıflandırılmış Boolean haritalarından oluşturulmuştur. Kullanılan her bir parametreye ait ağırlık değerlerinin bulunmasında analitik hiyerarşi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen ikili karşılaştırma matrisi ve bu matris'den elde edilen ağırlık değerleri aşağıdaki Tablo 7.10'da verilmiştir. Söz konusu ikili karşılaştırmalar yapılırken, Bölüm 6, Tablo 6.9'da verilen her bir parametredeki



heyelan oluşum sıklığı değerleri ve ayrıntılı arazi gözlemleri göz önünde bulundurulmuş, rastgele bir önem derecelendirmesi yapılmamıştır. Tablo 7.10'nun oluşturulması için Idrisi Kilimanjaro yazılımında bulunan "WEIGHT" arayüz programından yararlanılmış ve ayrıntıları yukarıda anlatılan Analitik Hiyerarşi İşlemi yöntemi kullanılmıştır. Burada oluşturulan her bir parametre çifti için atanan karşılaştırma ölçekleri için yazılımın sağlamış olduğu ve Tablo 7.8'de anlatılan değerler ile bu değerlerin karşıtları (2'ye karşılık 1/2, 9'a karşılık 1/9 gibi...) kullanılmıştır ve oluşturulan matris ile her bir parametre için ağırlık değeri belirlenmiştir. Oluşturulan matrisin ve hesaplanan parametre ağırlık değerlerinin mantıklı ve tutarlı olup olmadığının ölçütü olan "Tutarlılık Oranı" (T.O) değeri 0.04 olup, bu değer literatürde de belirtildiği üzere 0.1' den küçüktür (Saaty, 1980; Malczewski, 1999). Dolayısıyla, üretilen matris ve hesaplanmış olan ağırlık değerlerinin tutarlı olduğunu söylemek mümkündür. Elde edilen ağırlık değerleri, heyelana neden olduğu düşünülen parametre haritaları ile çarpılmış ve böylece ağırlıklandırılmış parametre olarak isimlendirilen veri seti elde edilmiştir.

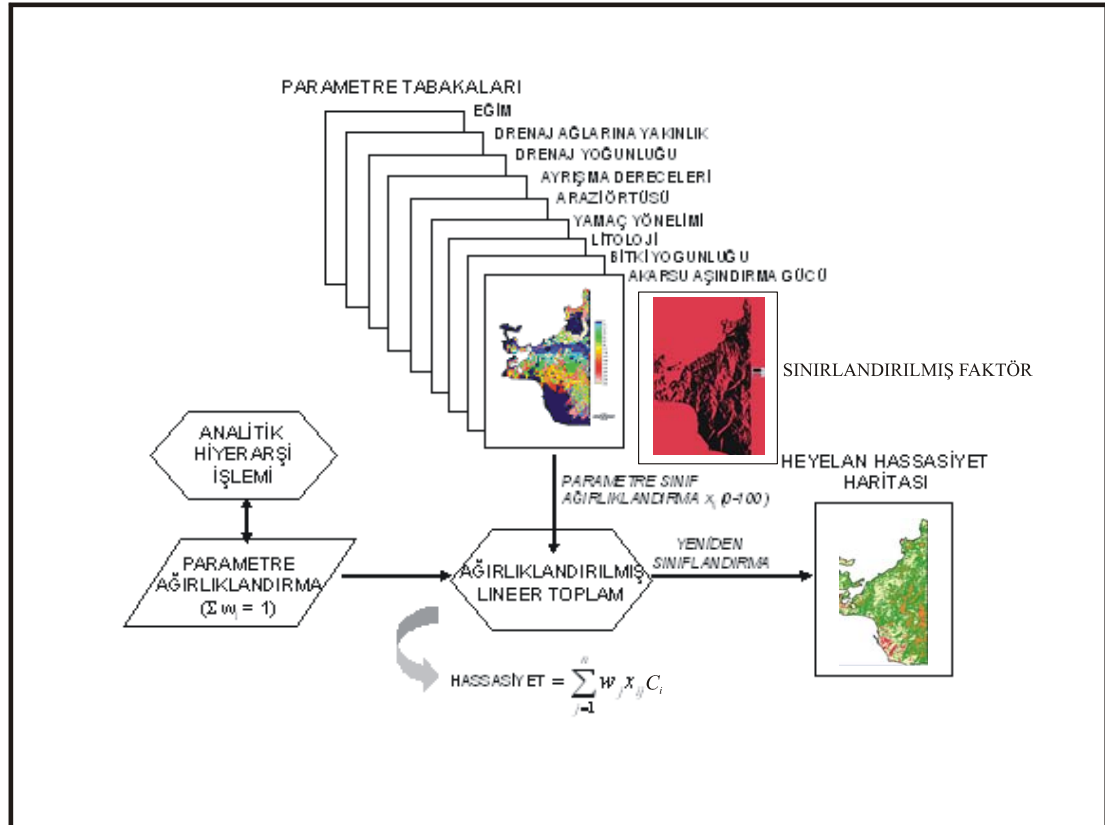
Eşitlik (7.1)'e göre ağırlıklandırılmış parametreler birbirleriyle çarpılmış ve Şekil 7.31'de verilen heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir.

Aşağıda Şekil 7.30' da, bu çalışma kapsamında uygulanan ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yöntemine ait basit bir iş akış diyagramı verilmiştir. Bu işlem akışı, Eşitlik 7.2'de verilen formülasyonu karşılamaktadır. Eşitlik (7.2)'nin uygulanması için, yukarıda da belirtildiği gibi sınırlandırılmış parametreler üretilmiş ve ağırlıklandırılmış parametrelerle çarpılarak toplanmıştır. Sonuçta, Şekil 7.32 'de verilen heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir.

Tablo 7.10 Heyelan duyarlılık analizi için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı (T.O: Tutarlılık Oranı, AGİ: Akarsu Güç İndisi, TWI: Topoğrafik Islaklık İndisi)

Parametre	Yamaç Yönelim	Bozuşma	Bitki Örtüsü	Drenaj Yoğunluğu	Drenaja Uzaklık	Eğim	Litoloji	Arazi Örtüsü	AGİ	TWI	Ağırlık Değerleri
Yamaç Yönelim	1										0.0348
Bozuşma	5	1									0.1716
Bitki Örtüsü	1/3	1/5	1								0.0296
Drenaj Yoğunluğu	2	1/3	2	1							0.0472
Drenaja Uzaklık	2	1/3	2	2	1						0.0501
Eğim	7	3	6	4	5	1					0.2840
Litoloji	5	1/2	4	3	4	1/3	1				0.1424
Arazi Örtüsü	2	1/3	2	2	2	1/6	1/3	1			0.0595
AGİ	3	1/3	3	2	3	1/3	1/2	2	1		0.0991
TWI	3	1/2	2	2	2	1/3	1/2	2		1	0.0818

**T.O = 0.04 < 0.1**



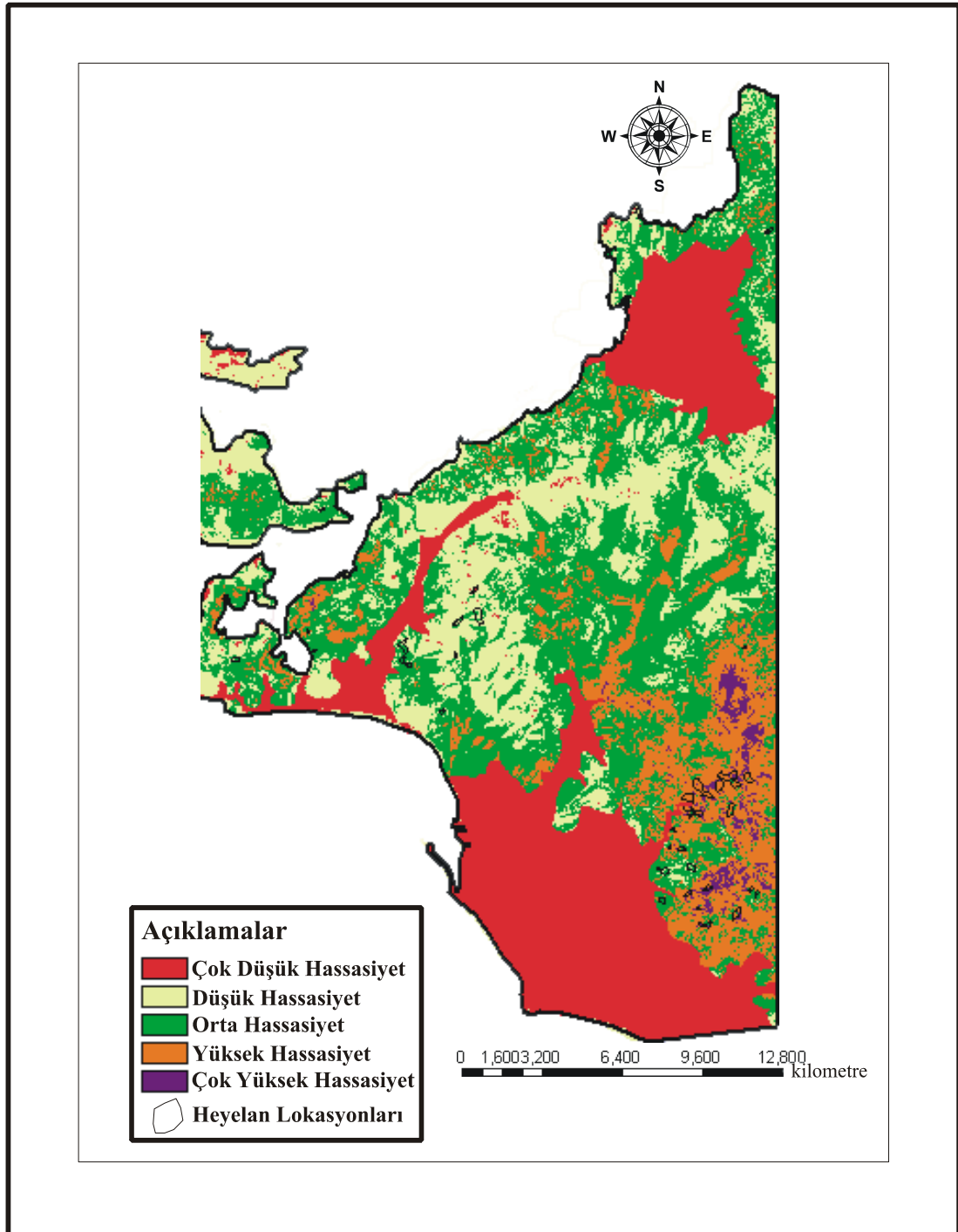
Şekil 7.30 Ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yönteminin iş akış diyagramı.

Her iki eşitlik kullanılarak elde edilen haritalar indeks haritaları olup Bölüm 7.2.2’de anlatıldığı üzere bu haritaların duyarlılık derecelendirmesi eşit aralık

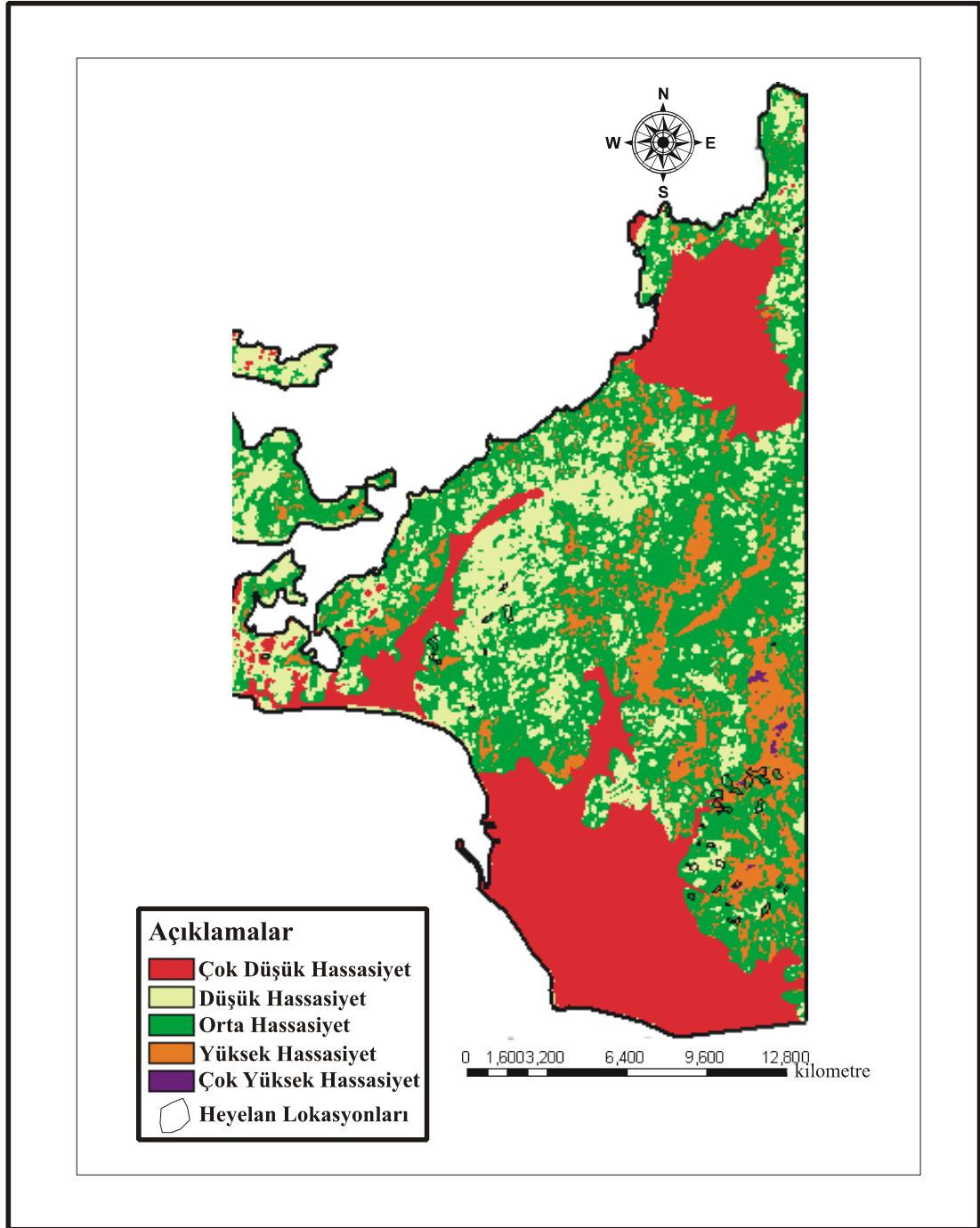
yaklaşımı kullanılarak “çok düşük duyarlılık”, “düşük duyarlılık”, “orta derece duyarlılık”, “yüksek duyarlılık” ve “çok yüksek duyarlılık” olarak yapılmış ve beş heyelan duyarlılık sınıfına ayırt edilmiştir (Şekil 7.31).

Elde edilen haritaların, arazide gözlenen mevcut heyelan lokasyonları ile karşılaştırılması ve performans değerlendirmesi yapılabilmesi için Bölüm 7.2.2.1’de verilen basit çakıştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu işlem sonucunda, her iki yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritasında elde edilen duyarlılık sınıflarına düşen heyelan yüzdeleri belirlenmiş ve aşağıda Şekil 7.33’de grafik olarak verilmiştir. İnceleme alanındaki alüvyon alanları söz konusu iki heyelan duyarlılık haritası içinde maskelenmiş ve geri kalan alanların duyarlılık dereceleri değerlendirilmiştir.

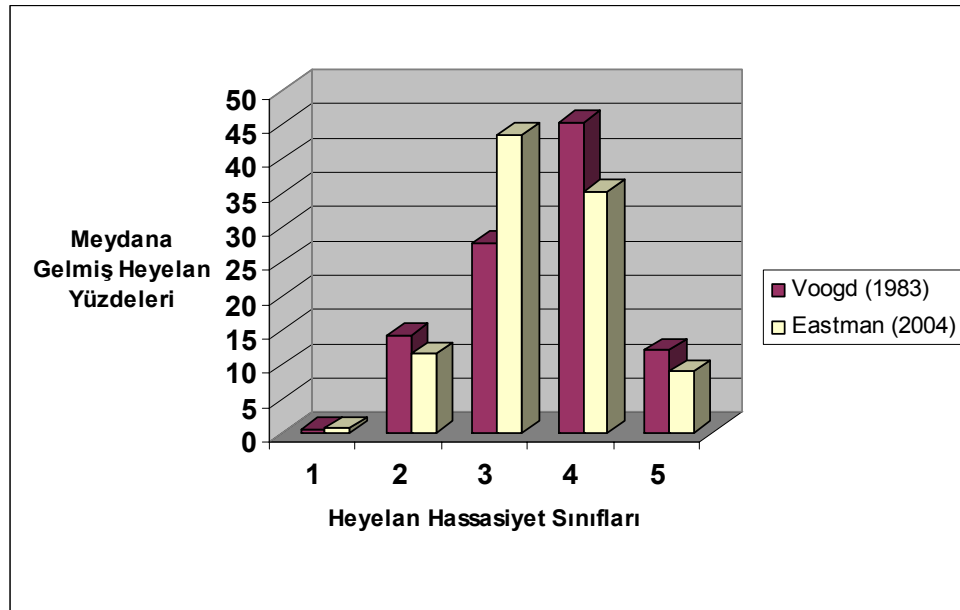
Buna göre, Voogd (1983)’e göre elde edilen heyelan duyarlılık haritasındaki “çok düşük duyarlılık” sınıfına mevcut heyelanların % 0.56’sı, “düşük duyarlılık” sınıfına % 14.32’si, “orta derece duyarlılık” sınıfına % 27.70’i, “yüksek duyarlılık sınıfına” % 45.33 ve “çok yüksek duyarlılık” sınıfına ise % 12.07’si düşmekte olduğu görülmüştür (Şekil 7.33). Eastman (2004)’ e göre elde edilen duyarlılık sınıflarından “çok düşük duyarlılık” sınıfına mevcut heyelanların % 0.74’ü, “düşük duyarlılık” sınıfına % 11.58’ i, “orta derece duyarlılık” sınıfına % 43.39’u, “yüksek duyarlılık sınıfına” % 35.24’ü ve “çok yüksek duyarlılık” sınıfına ise % 9.02’si düştüğü belirlenmiştir (Şekil 7.33).



Şekil 7.31 Voogd (1983)'e göre ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası (EK 4).



Şekil 7.32 Eastman (2004)'e göre ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yaklaşımıyla üretilen heyelan duyarlılık haritası (EK 5).



Şekil 7.33 Voogd (1983) ve Eastman (2004)'e göre üretilen iki heyelan duyarlılık haritasındaki duyarlılık sınıflarına düşen güncel heyelan lokasyonlarının yüzdeleri.

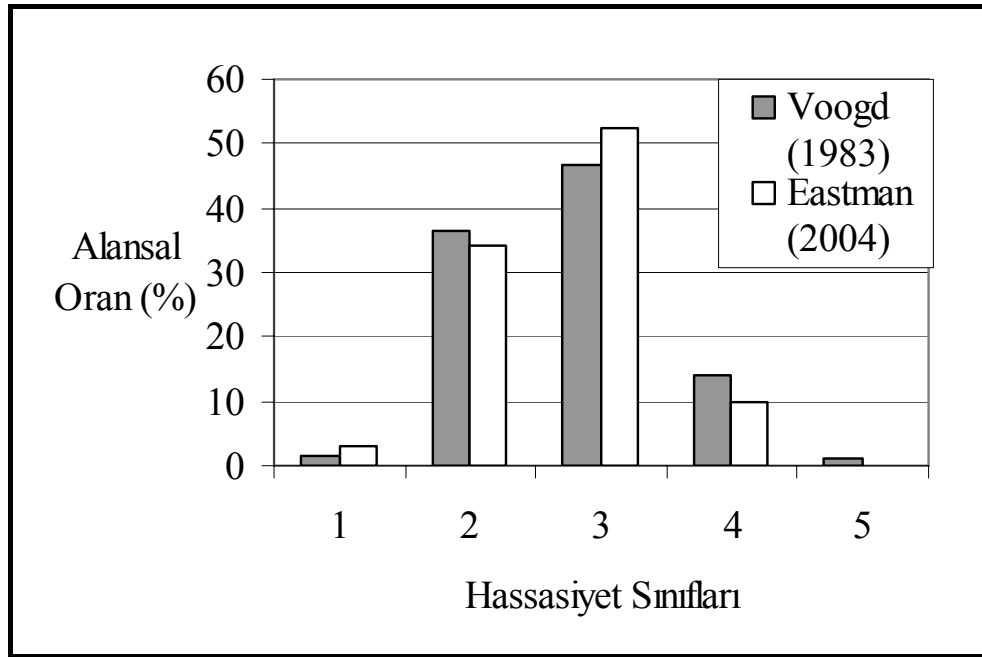
Şekil 7.33'e bakıldığında, her iki yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritasındaki duyarlılık sınıflarına düşen heyelanlı alan yüzdelerinin normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Voogd (1983)'e göre üretilen duyarlılık haritasında orta derece duyarlı alanlara düşen heyelanlı alanların, Eastman (2004)'e göre üretilen duyarlılık haritasındaki orta derece duyarlılık sınıfına düşen heyelanlı alanlardan daha az olması, heyelan duyarlılık haritasındaki duyarlılık sınıflarının alansal farklılıklarından ileri gelmektedir.

Tablo 7.11 Voogd (1983) ve Eastman (2004) yöntemleriyle elde edilen heyelan duyarlılık haritaları arasındaki korelasyon matrisi

Heyelan Duyarlılık Haritaları	Voogd (1983)	Eastman (2004)
Voogd (1983)	1.00	
Eastman (2004)	0.60	1.00

Yukarıda Tablo 7.11'de görüldüğü üzere, elde edilen farklı iki duyarlılık haritasının benzerliğini oraya koymak amacıyla korelasyonu yapılmış ve bunun sonucunda iki haritanın %60 oranında benzerlik gösterdiği ortaya konulmuştur. Bu

benzerlik oranı, tüm harita alanı için elde edilen benzerlik olup, orta, yüksek ve çok yüksek derece duyarlılık sınıflarının alansal olarak birbirine yakın değerlerde tahmin edildiği görülmüştür (Şekil 7.34). Burada, çok düşük duyarlılık sınıfı, her iki heyelan duyarlılık haritasına, alüvyon alanlara maskeleyerek elde edilmiş duyarlılık alanlarını ifade etmektedir.



Şekil 7.34 Voogd (1983) ve Eastman (2004) yöntemlerine göre elde edilen heyelan duyarlılık haritalarında belirlenen duyarlılık sınıflarının alansal oranları.

## 7.5 Lojistik Regresyon Yöntemiyle Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi

Ayvalık ve yakın çevresinin erozyon duyarlılık haritalaması amacıyla, heyelan duyarlılık analizinde olduğu gibi lojistik regresyon yönteminden de yararlanılmıştır. Bu amaçla, gerekli olan envanter verisinin elde edilmesi Bölüm 6 da ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu bölümde, erozyon duyarlılığının belirlenmesi amacıyla lojistik regresyon yönteminin uygulama biçimi ve sonuçlarına değinilecektir.

### 7.5.1 Farklı Parametre Gruplarının Oluşturulması

Lojistik regresyon ile erozyon duyarlılık haritalaması amacıyla bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj hatlarına uzaklık, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü ve

topoğrafik eğiklik olmak üzere yedi jeolojik ve jeomorfolojik parametre göz önüne alınmıştır. Dikkate alınan bu parametreler arasında sekiz değişik kombinasyon oluşturulmuş ve bu kombinasyonlara göre lojistik regresyon yöntemi uygulanmıştır. Bundan amaç, kullanılan parametrelerin birbirlerine göre oluşturulan modele katkılarının ortaya konulmasıdır. Çünkü, seçilen ve dikkate alınan her parametrenin oluşturulacak model içerisindeki etkinliğinin aynı olmadığı ve tartışılabilir olduğu düşünülmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Buna göre aşağıda verilen Şekil 7.35'den Şekil 7.64'e kadar lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan erozyon duyarlılık indeks haritaları ve bunların yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritaları sunulmuştur. Ayrıca, hesaplanan her bir lojistik regresyon denklemi ve ilgili istatistik bilgileri de aşağıda verilen ilgili tablolarda verilmiştir.

Tablo 7.12 Gruplarda kullanılan parametreler (A.G.İ.: Akarsu Güç İndeksi)

GRUP	PARAMETRE						
	Bozunma	Eğim	A.G.İ	Drenaj Hatlarına Uzaklık	Süreksizlik Yoğunluğu	Arazi Örtüsü	Topoğrafik Eğrilik
1	X	X					
2	X	X	X				
3	X		X				
4	X	X	X	X			
5	X	X	X	X	X		
6	X	X	X	X	X	X	
7	X	X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X		X	X

#### 7.5.1.1 Grup 1 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Oluşturulan bu grupta, sadece bozunma ve eğim parametreleri dikkate alınmış ve lojistik regresyon yöntemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda aşağıda verilen Denklem 7.3'deki regresyon denklemi elde edilmiş, buna bağlı olarak Şekil 7.35 ve Şekil 7.36'daki haritalar üretilmiştir.



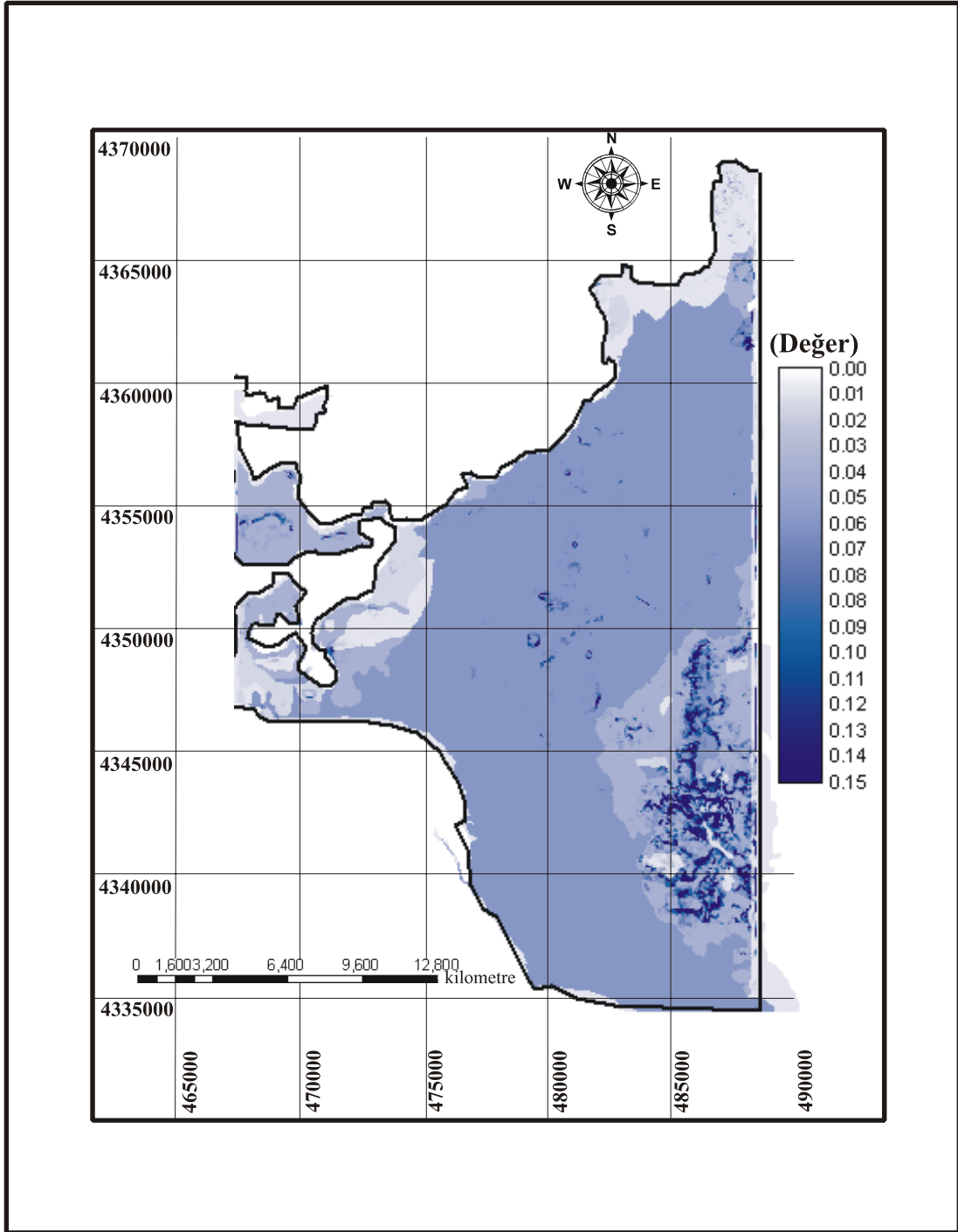
$$\text{logit (erozyon duyarlılık)} = -4.6998 + 0.007284 * \text{bozunma\_fuzzy} + 0.011160 * \text{egim\_fuzzy} \quad (7.3)$$

Tablo 7.13 Grup 1 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

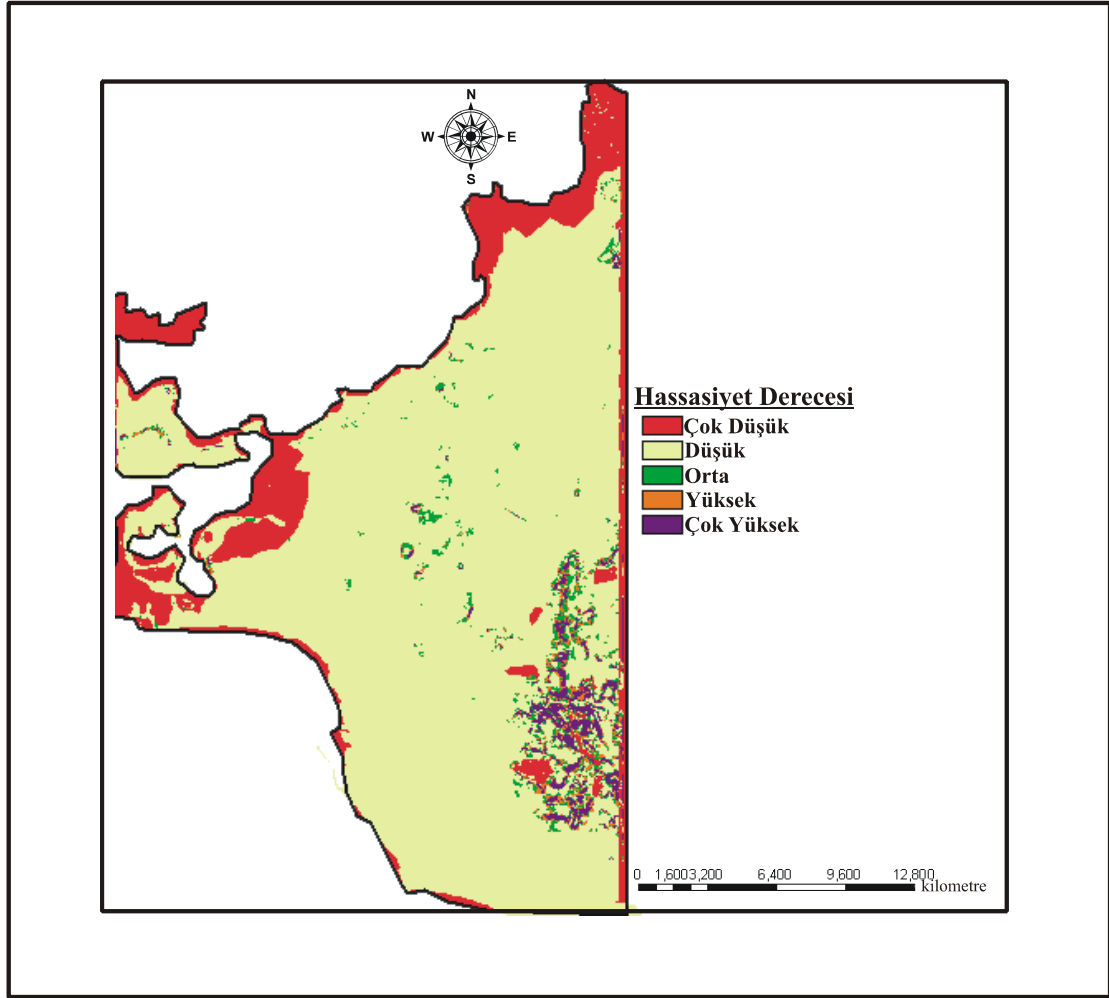
<b>Regresyon Katsayıları</b>	
<b>Değişkenler (Parametreler)</b>	<b>Katsayılar</b>
Regresyon Katsayısı	-4.6998
Bozunma	0.007284
Eğim	0.011160

Tablo 7.14 Grup 1 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

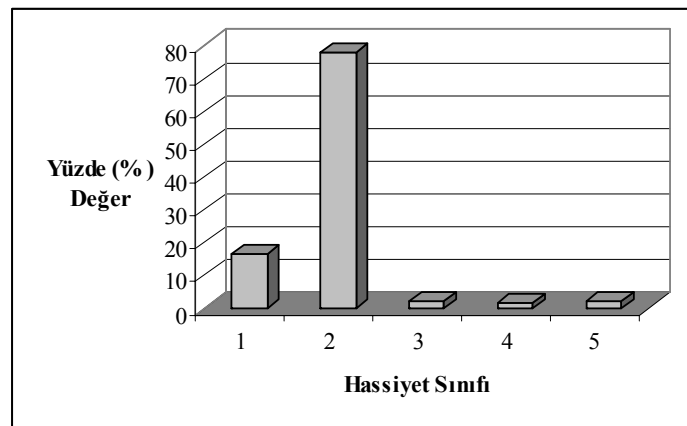
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38987
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	37085
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1902
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.1215
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.8785
-2logL0	15198.9678
-2log(likelihood)	14589.2764
Pseudo R <sup>2</sup>	0.0401
Goodness of Fit	36112.6289
Model ChiSquare	609.6914
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	61.68



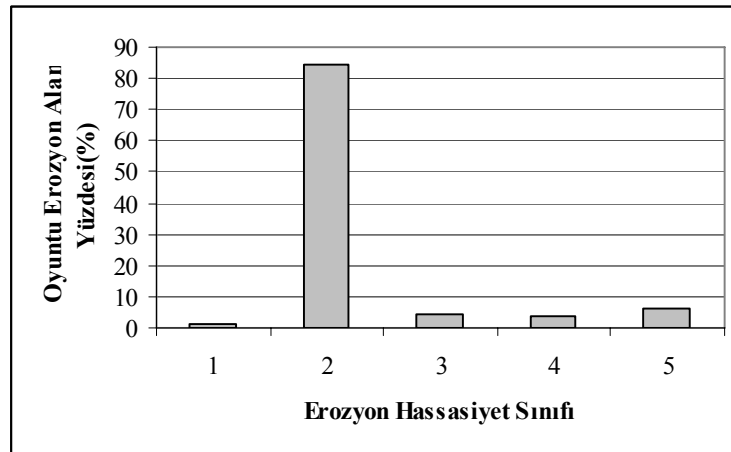
Şekil 7.35 Grup 1 için lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan erozyon duyarlılık indeks haritası (0'dan 0.15'e erozyon duyarlılığının arttığını göstermektedir).



Şekil 7.36 Grup 1 için yukarıda verilen Şekil 7.30'un yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.37 Grup 1 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.38 Grup 1 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

#### 7.5.1.2 Grup 2 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Erozyon duyarlılık analizi için oluşturulan ikinci grupta erozyona etki edici parametre olarak bozunma, eğim ve akarsu güç indeksi alınmıştır. Elde edilen regresyon denklemi Eşitlik 7.4'de, istatistik değerleri ise Tablo 7.15 ve Tablo 7.16'da sunulmuştur. Elde edilen erozyon duyarlılık indeks ve tematik haritaları ise sırasıyla Şekil 7.39 ve Şekil 7.40'da verilmiştir.

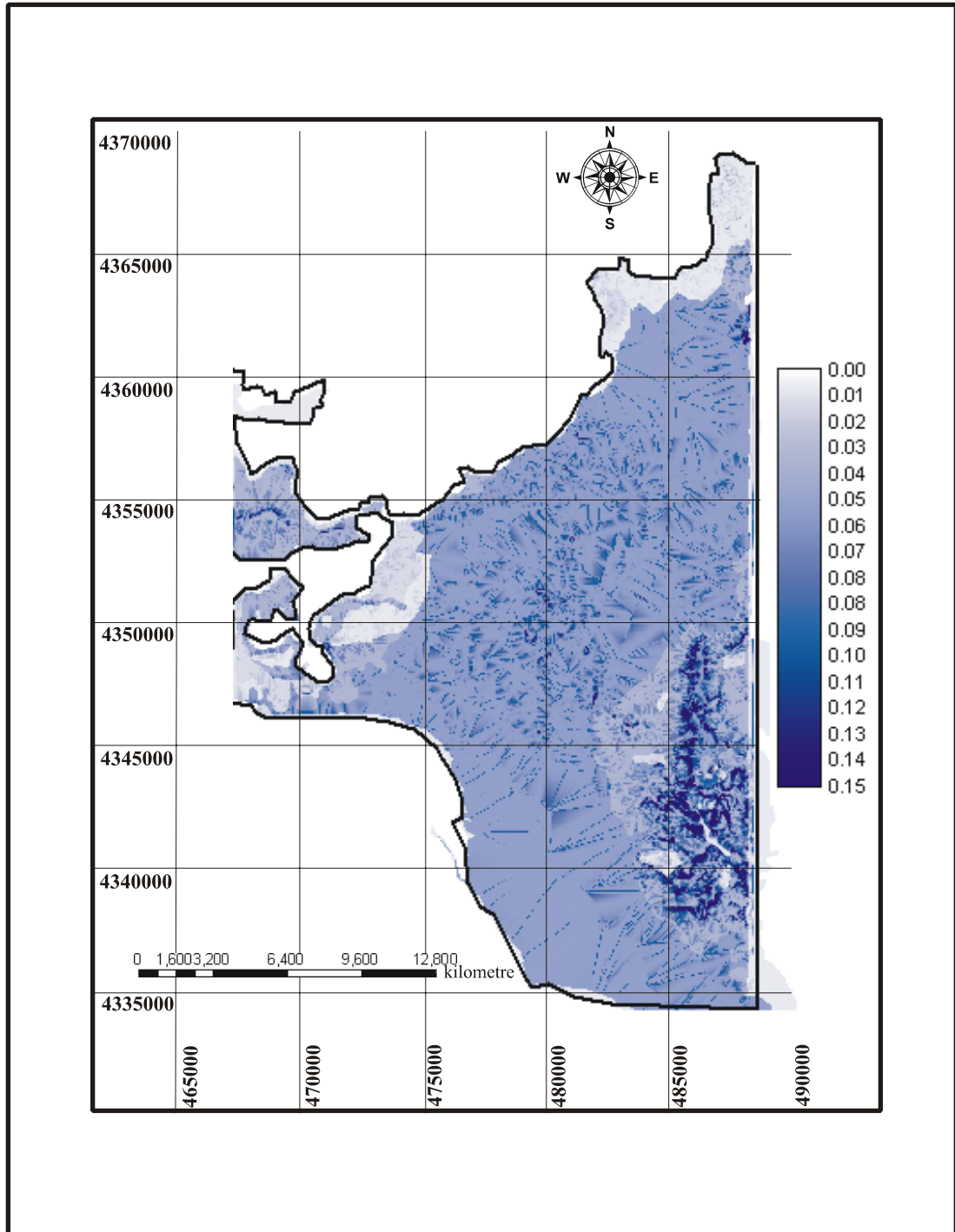
$$\text{logit(erozyon duyarlılık)} = -4.9167 + 0.007658 * \text{bozunma\_fuzzy} + 0.007679 * \text{eğim\_fuzzy} + 0.003052 * \text{akarsu güç indeksi\_fuzzy} \quad (7.4)$$

Tablo 7.15 Grup 1 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

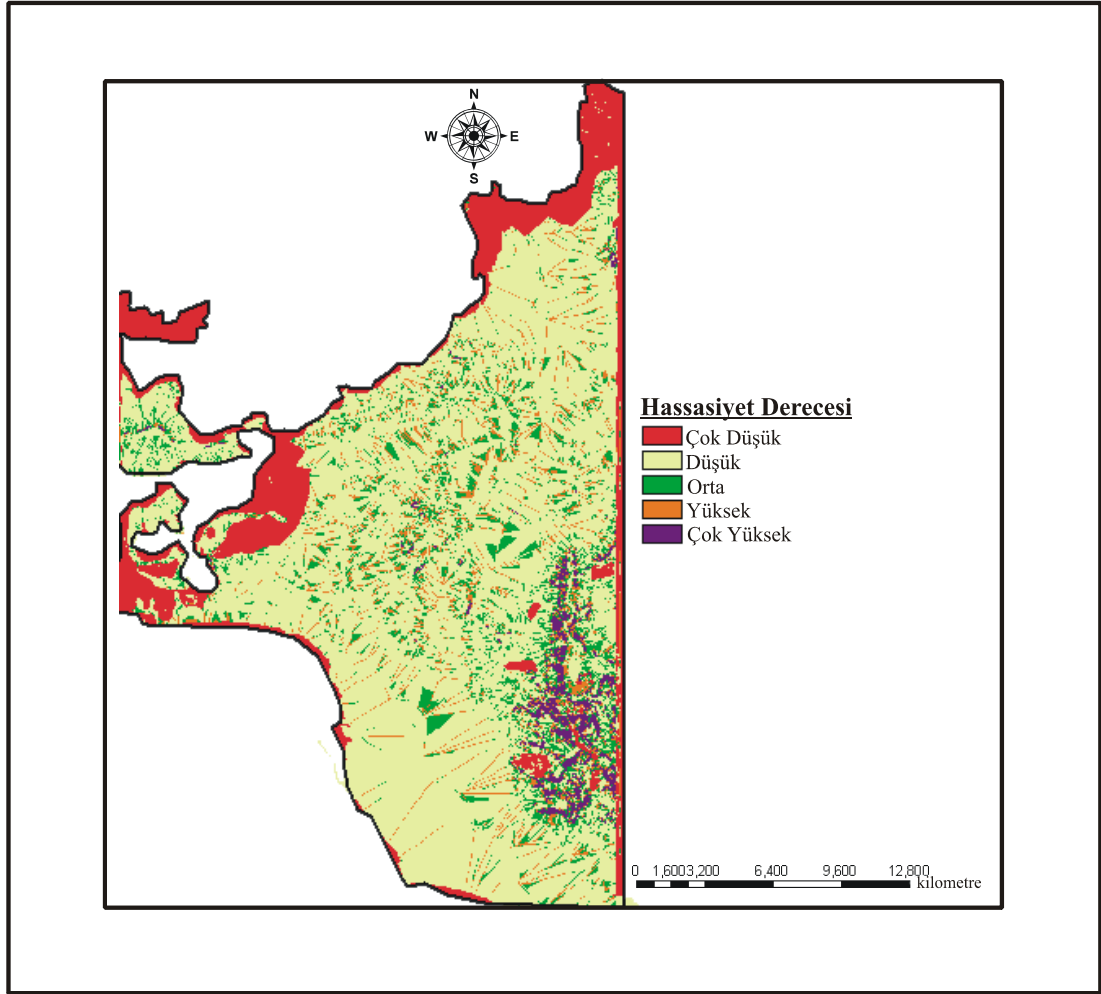
<b>Regresyon Katsayıları</b>	
<b>Değişkenler (Parametreler)</b>	<b>Katsayılar</b>
Regresyon Katsayısı	-4.9167
Bozunma	0.007658
Eğim	0.007679
Akarsu Güç İndeksi	0.003052

Tablo 7.16 Grup 1 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

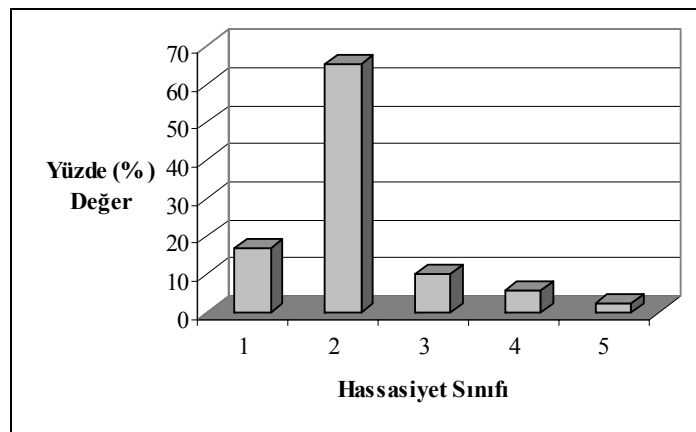
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38924
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	36978
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1946
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0005
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9995
-2logL0	15452.83 89
-2log(likelihood)	14719.38 09
Pseudo R <sup>2</sup>	0.0475
Goodness of Fit	35720.64 45
Model ChiSquare	733.4580
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	67.44



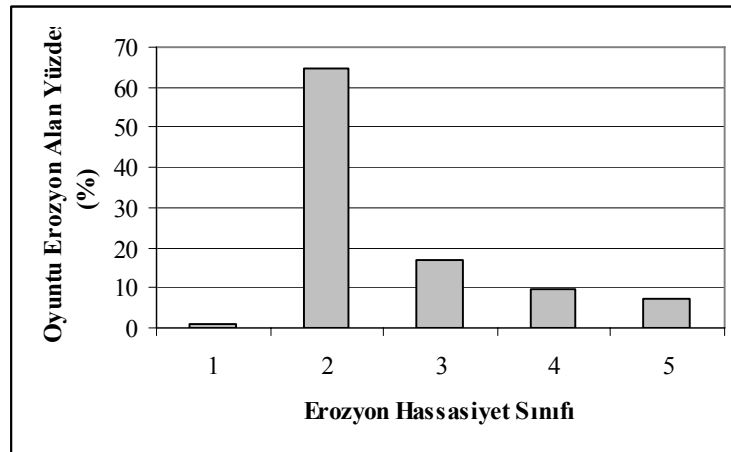
Şekil 7.39 Grup 2 için lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.40 Grup 2 için yukarıda verilen Şekil 7.31'in yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.41 Grup 2 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.42 Grup 2 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

### 7.5.1.3 Grup 3 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Bu grupta sadece bozunma ve akarsu güç indeksi parametreleri kullanılmıştır. Drenaj ağına bağlı olarak akarsu akış gücü ile bozunmuş litoloji arasındaki ilişkinin ortaya konulması açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

$$\text{Logit (erozyon duyarlılık)} = -4.5913 + 0.006256 * \text{bozunma\_fuzzy} + 0.004392 * \text{akarsu güç indeksi\_fuzzy} \quad (7.5)$$

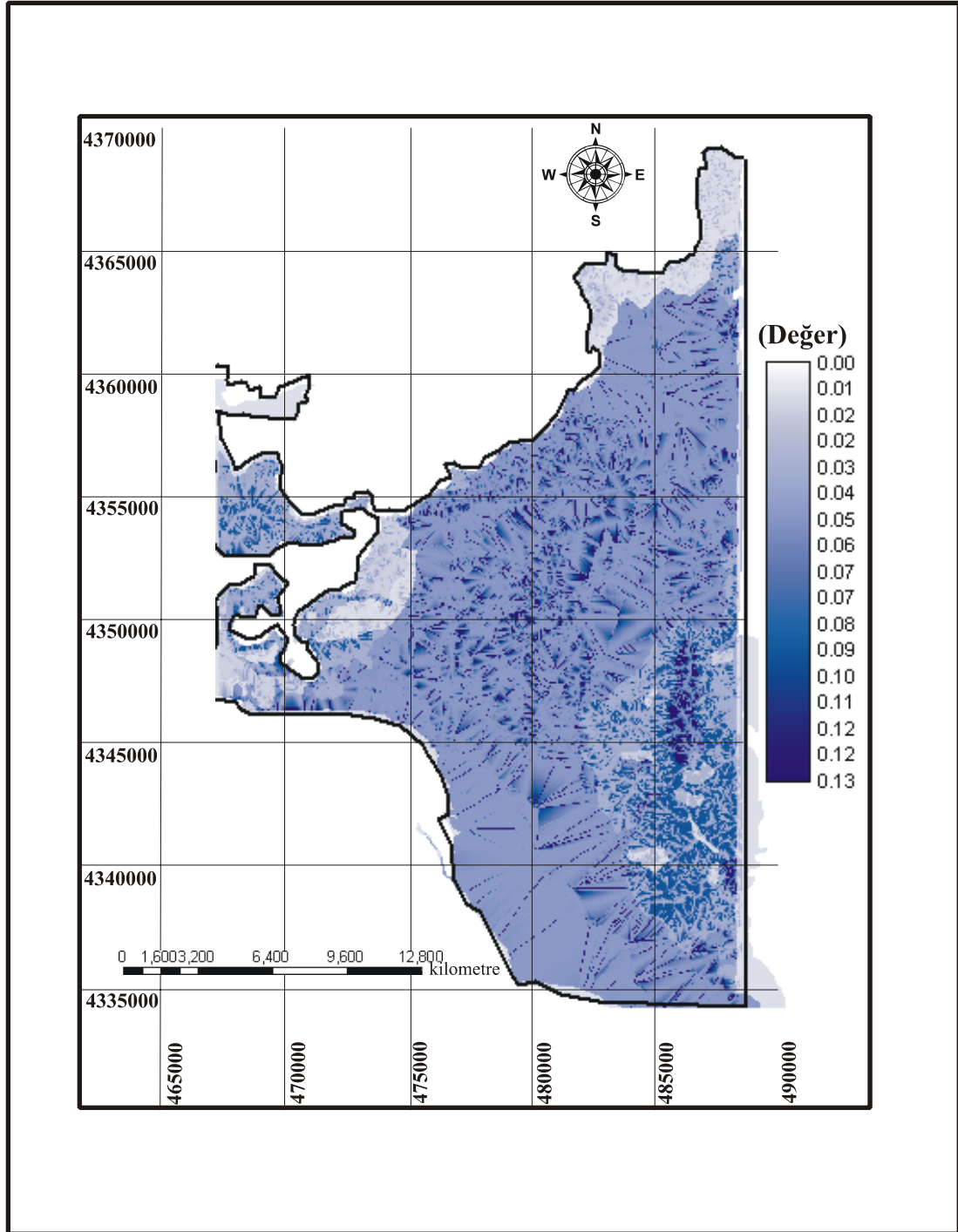
Tablo 7.17. Grup 3 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

Regresyon Katsayıları	
Değişkenler (Parametreler)	Katsayılar
Regresyon Katsayısı	-4.5913
Bozunma	0.006256
Akarsu Güç İndeksi	0.004392

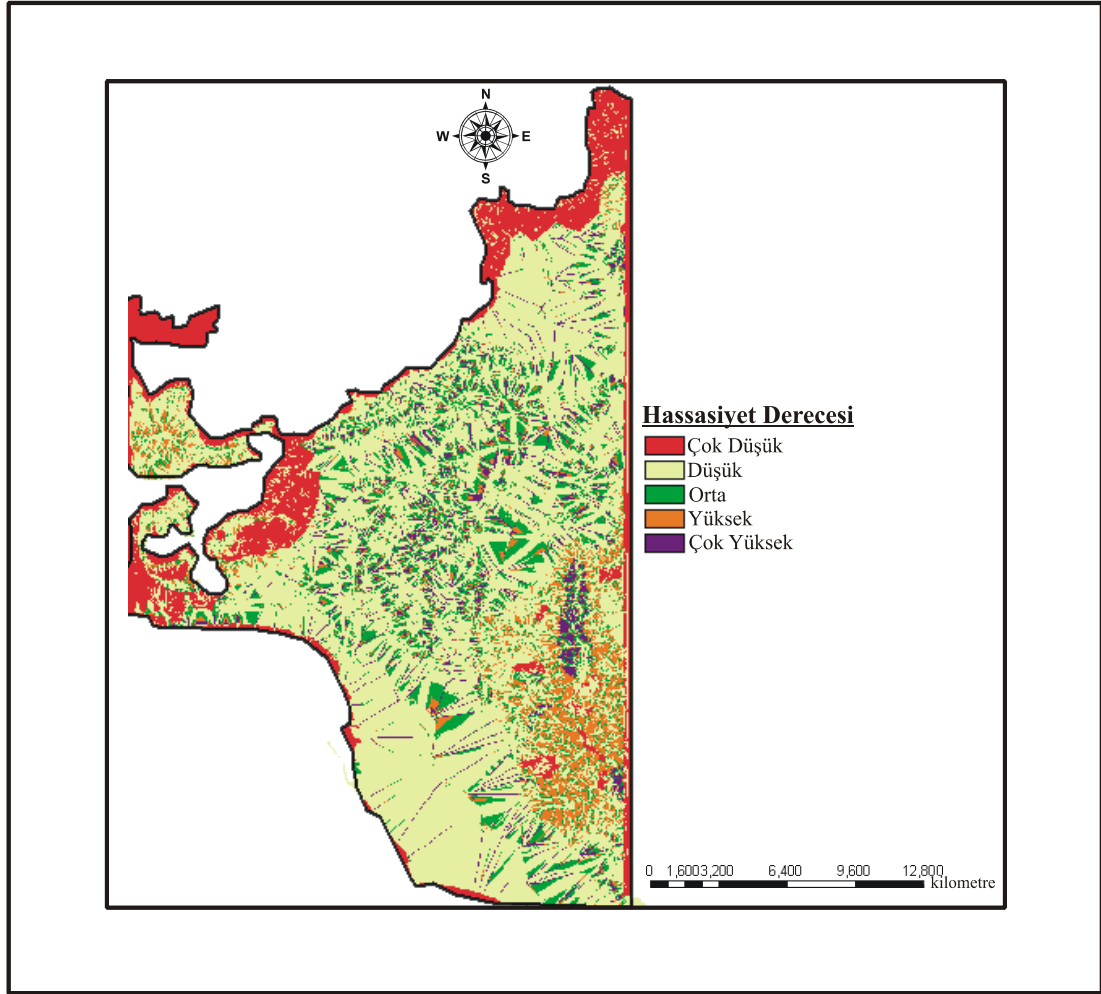


Tablo 7.18. Grup 3 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

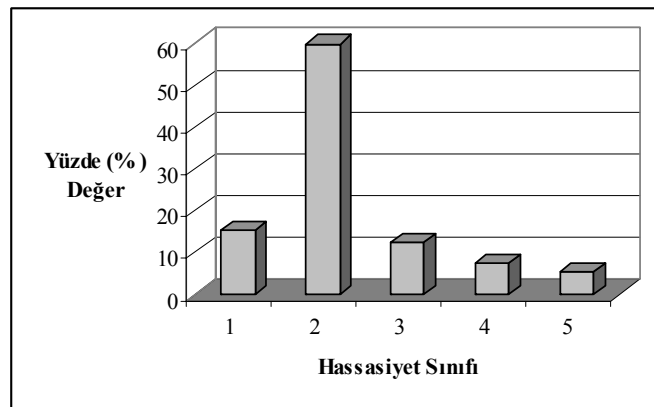
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38873
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	36922
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1951
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	94.9811
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	5.0189
-2logL0	15477.01 86
-2log(likelihood)	14895.72 75
Pseudo R <sup>2</sup>	0.0376
Goodness of Fit	36425.06 64
Model ChiSquare	581.2910
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	65.82



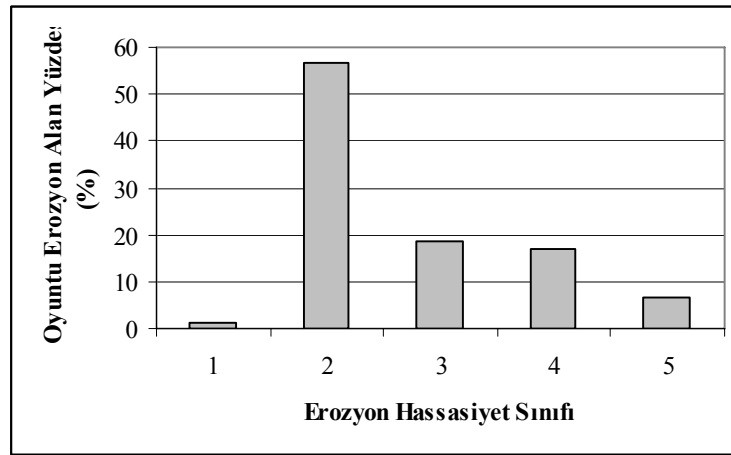
Şekil 7.43 Grup 3 için lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.44 Grup 3 için elde edilen erozyon duyarlılık indeks haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.45 Grup 3 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.46 Grup 3 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

#### 7.5.1.4 Grup 4 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Bu grup için seçilen parametreler bozunma, eğim, akarsu güç indeksi ve drenaj hatlarına uzaklık olarak seçilmiştir. Bu bölümde drenaj hatlarına uzaklık parametresi, bu grup ile birlikte lojistik regresyon uygulamasında ilk kez kullanılmaktadır. Böylelikle, akarsu güç indeksi ile birlikte modele olan etkisinin görülmesini hedeflenmiştir.

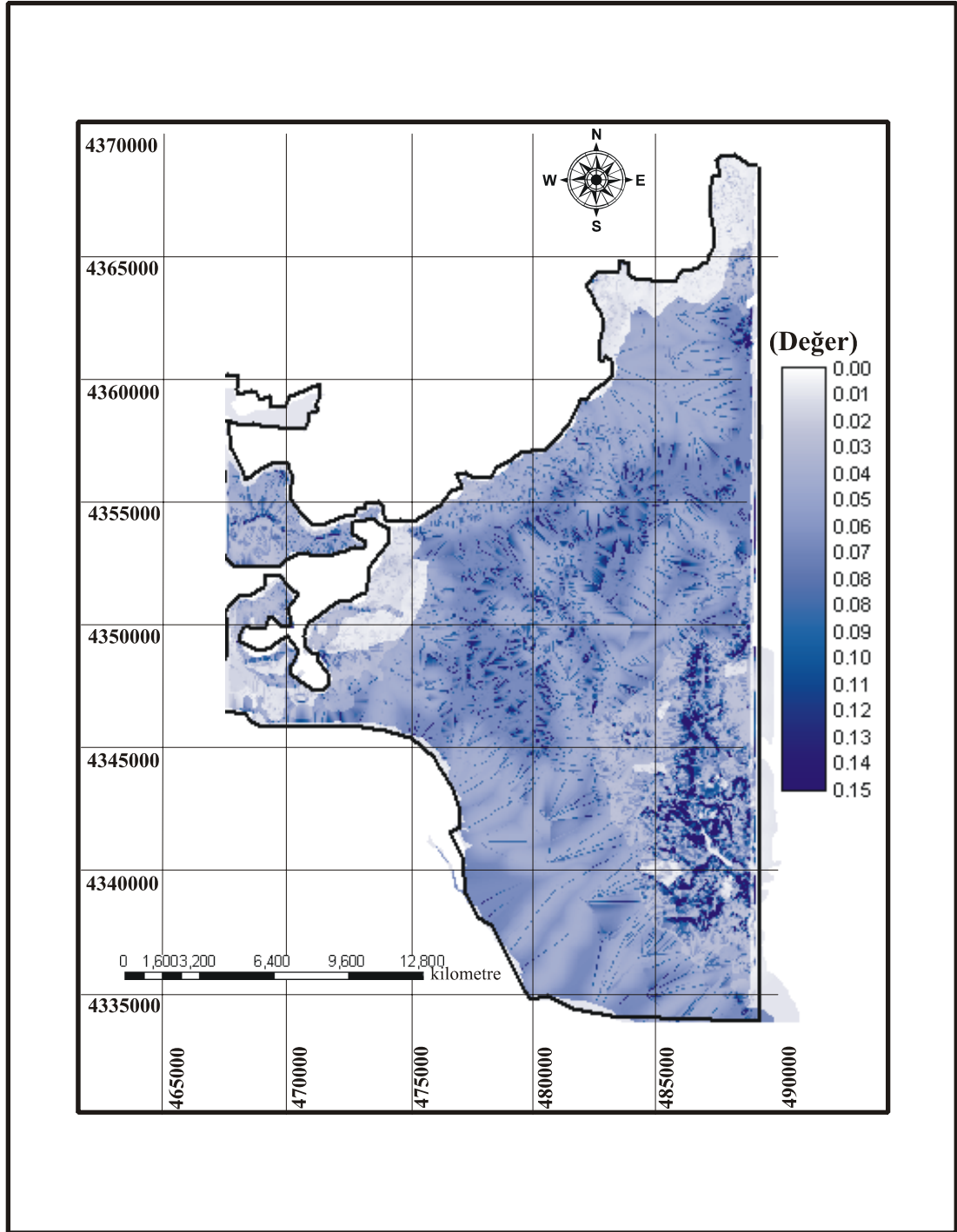
$$\text{logit (erozyon duyarlılık)} = -4.6943 + 0.007721 * \text{ayrısma} + 0.003420 * \text{akarsu güç indeksi} + 0.008474 * \text{egim} - 0.002021 * \text{drenaj hatlarına uzaklık} \quad (7.6)$$

Tablo 7.19 Grup 3 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

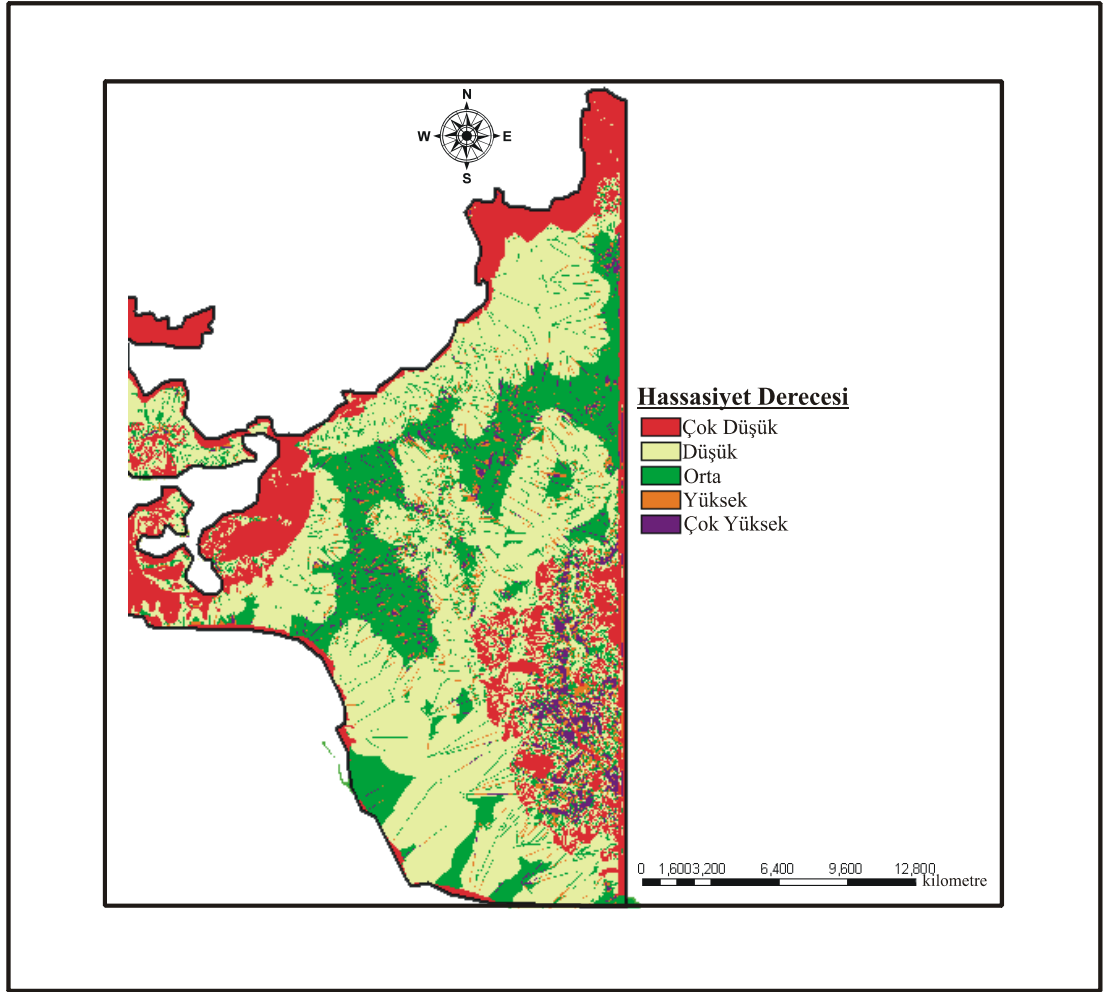
Regresyon Katsayıları	
Değişkenler (Parametreler)	Katsayı r
Regresyon Katsayısı	-4.6943
Bozunma	0.007721
Akarsu Güç İndeksi	0.003420
Eğim	0.008474
Drenaj Hatlarına Uzaklık	0.002021

Tablo 7.20 Grup 1 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

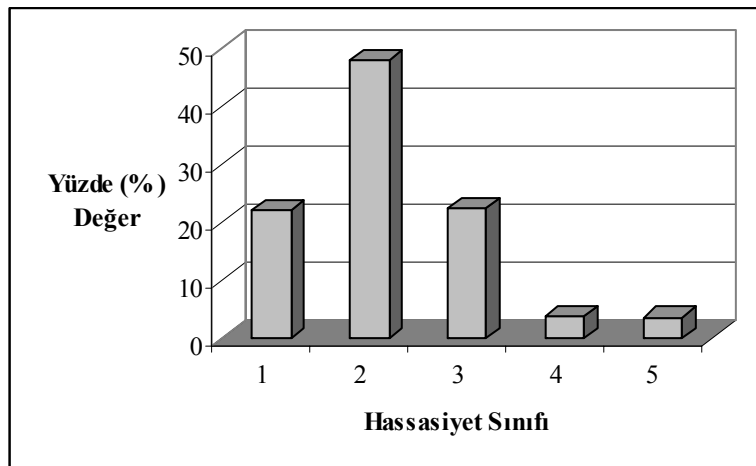
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38939
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	37007
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1932
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0384
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9616
-2logL0	15371.81 25
-2log(likelihood)	14556.51 07
Pseudo R <sup>2</sup>	0.0530
Goodness of Fit	36646.78 52
Model ChiSquare	815.3018
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	69.04



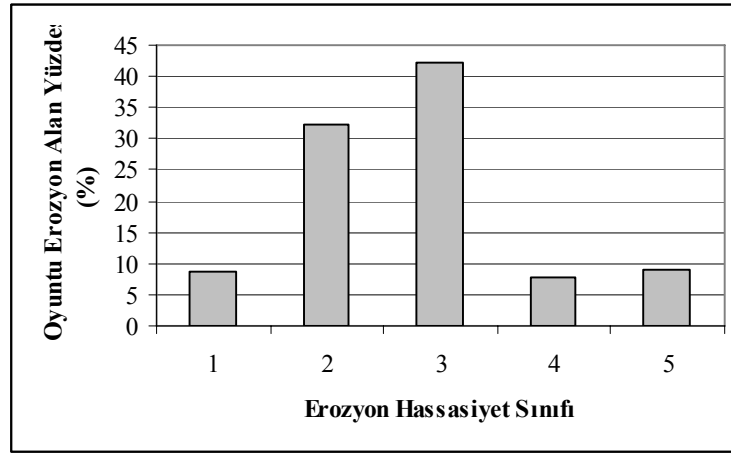
Şekil 7.47 Grup 4 için lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.48 Grup 4 için oluşturulan tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.49 Grup 4 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.50 Grup 4 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

#### 7.5.1.5 Grup 5 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Bu grubu oluşturan parametreler bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj hatlarına uzaklık ve süreksizlik hatlarına uzaklıktır. Süreksizlik hatlarının bu grup içinde seçilmiş olması, kayaların çatlaklı ve parçalı olması durumunda diğer yan faktörler ile erozyon duyarlılığının belirlenmesinde ne derece katkıda bulunduğunu irdelemektir.

$$\text{Logit (erozyon)} = -6.6498 + 0.009398 * \text{ayrisma\_fuzzy} + 0.001165 * \text{akarsu güç indeksi\_fuzzy} + 0.002067 * \text{egim\_fuzzy} - 0.002744 * \text{drenaj hatlarına uzaklık\_fuzzy} + 0.980175 * \text{süreksizlik yoğunluk\_fuzzy} \quad (7.7)$$

Tablo 7.21 Grup 5 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

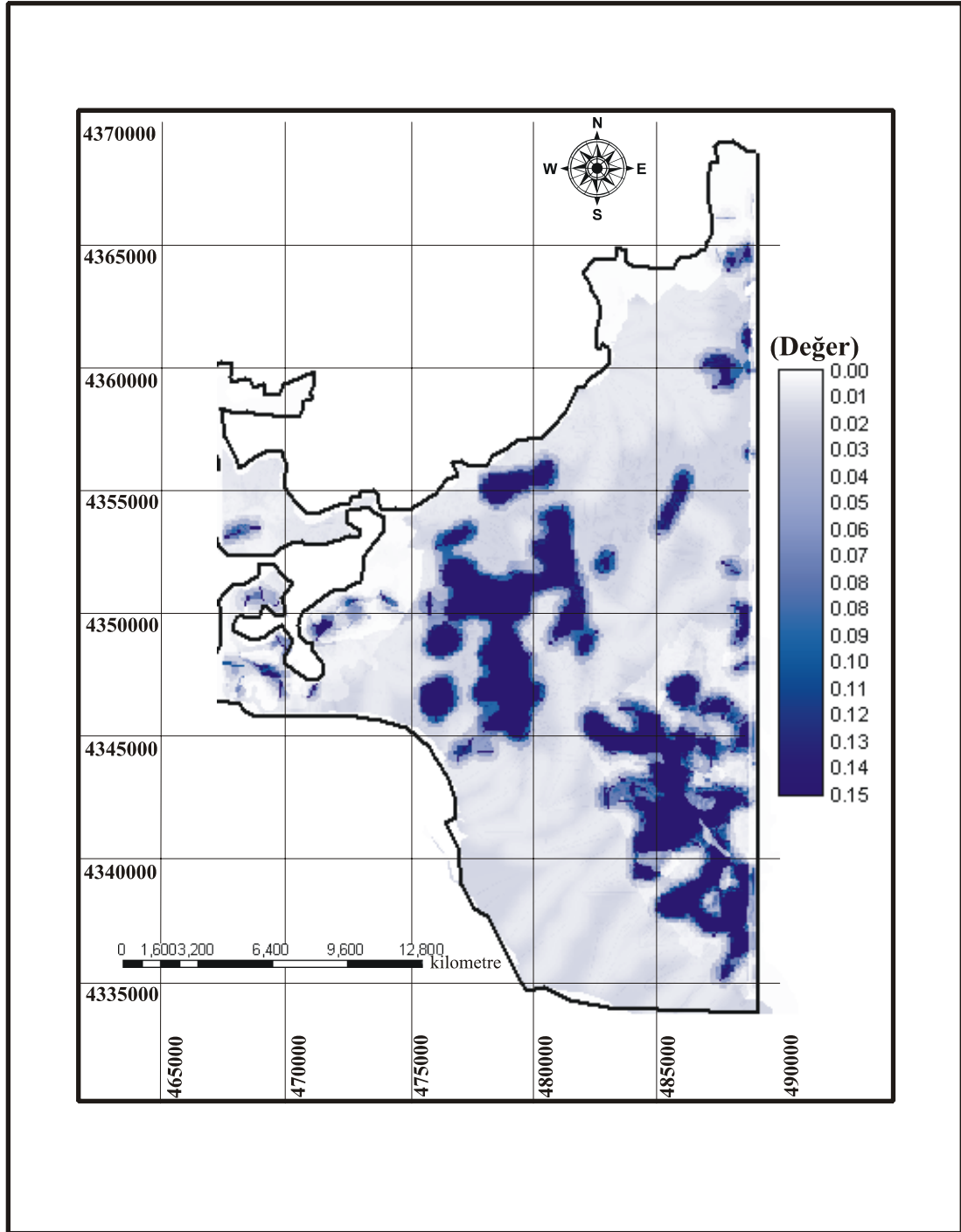
Regresyon Katsayıları	
Değişkenler (Parametreler)	Katsayı r
Regresyon Katsayısı	-6.6498
Bozunma	0.009398
Akarsu Güç İndisi	0.001165
Eğim	0.002067
Drenaj Hatlarına Uzaklık	0.002744



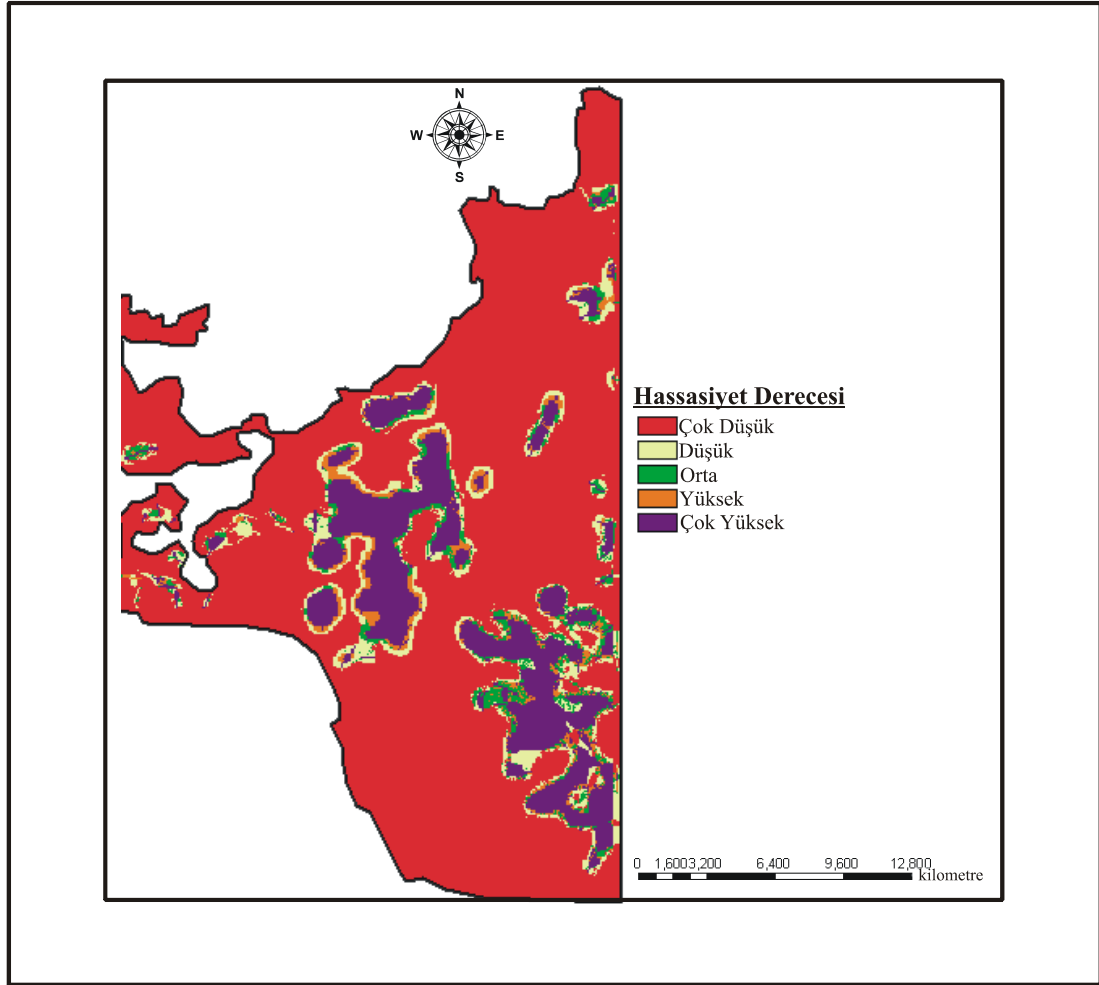
Süreksizlik Yoğunluk	0.980175
----------------------	----------

Tablo 7.22 Grup 5 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

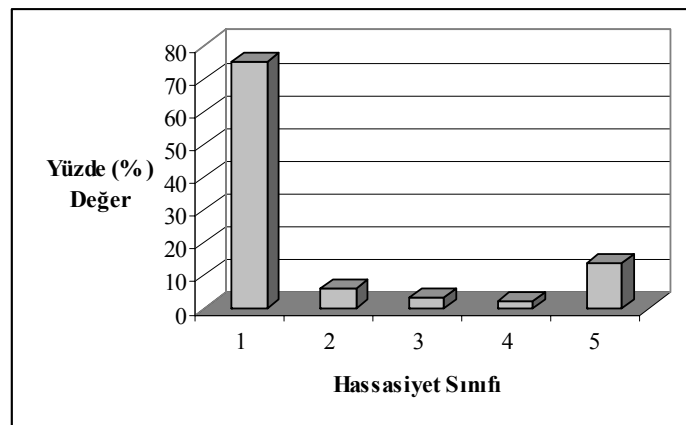
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38912
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	36968
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1944
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0041
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9959
-2logL0	15439.8262
-2log(likelihood)	10736.5479
Pseudo R <sup>2</sup>	0.3046
Goodness of Fit	28130.5918
Model ChiSquare	4703.2783
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	90.34



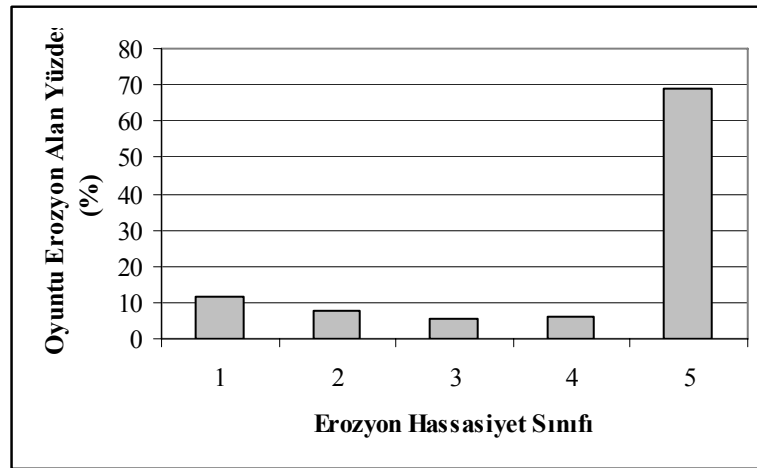
Şekil 7.51 Grup 5 için lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.52 Erozyon duyarlılık indeks haritasının yeniden sınıflandırılması ile elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.53 Grup 5 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.54 Grup 5 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

#### 7.5.1.6 Grup 6 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Bu grupta değerlendirilen parametreler bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj hatlarına uzaklık, süreksizlik yoğunluğu ve arazi örtüsü olarak seçilmiştir. Arazi örtüsünün, erozyonu etkileyen başlıca faktörlerden biri olarak bilinmesinden dolayı bu parametrenin inceleme alanındaki etkinliğinin irdelenmesi hedeflenmiştir.

$$\text{logit (erozyon duyarlılık)} = -6.1766 + 0.008749 * \text{bozunma} + 0.001328 * \text{akarsu güç indeksi} + 0.002472 * \text{egim} - 0.002748 * \text{drenaj hatlarına uzaklık} + 0.972126 * \text{süreksizlik yoğunluğu} - 0.001757 * \text{araziörtüsü} \quad (7.8)$$

Tablo 7.23 Grup 6 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

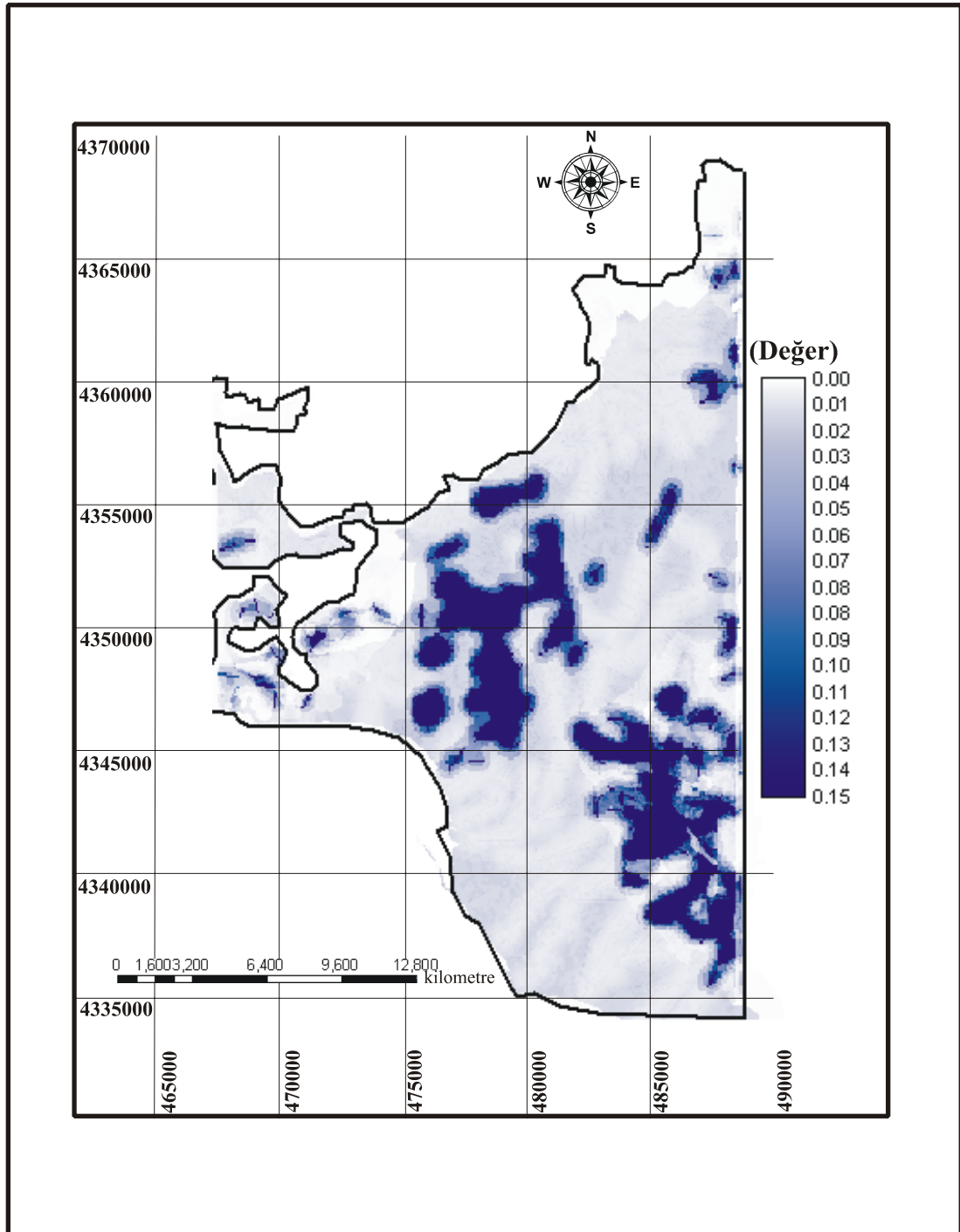
Regresyon Katsayıları	
Değişkenler (Parametreler)	Katsayılar
Regresyon Katsayısı	-6.1766
Bozunma	0.008749
Akarsu Güç İndeksi	0.001328
Eğim	0.002472

Tablo 7.23'ün devamı.

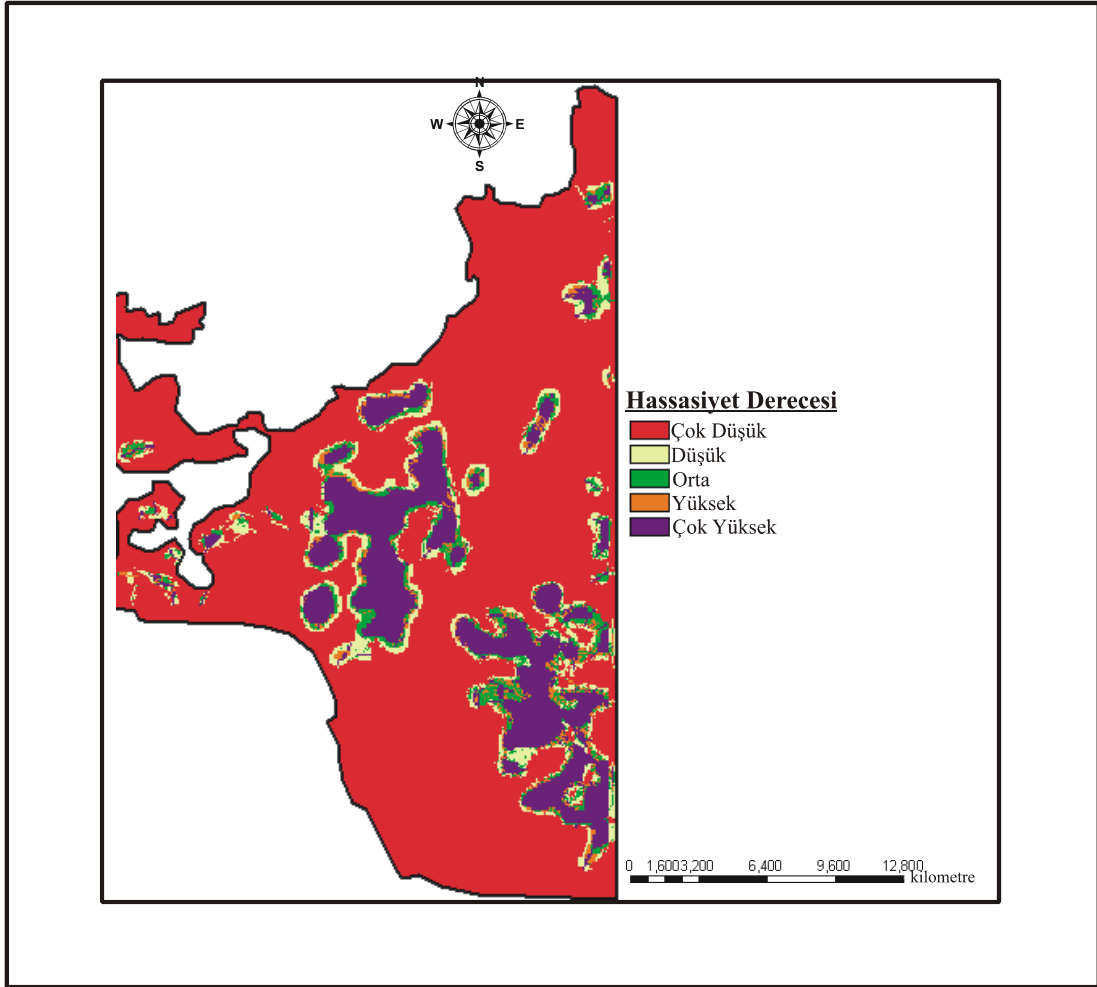
Drenaj Hatlarına Uzaklık	0.002748
Süreksizlik Yoğunluğu	0.972126
Arazi Örtüsü	0.001757

Tablo 7.24 Grup 6 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

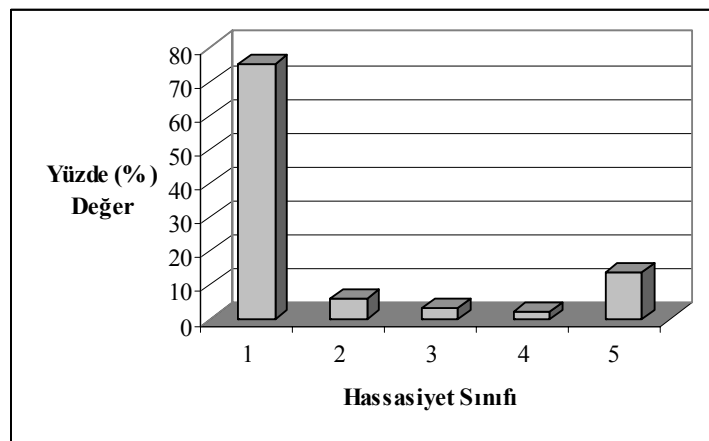
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38881
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	36961
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1920
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0619
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9381
-2logL0	15294.99 71
-2log(likelihood)	10676.10 84
Pseudo R <sup>2</sup>	0.3020
Goodness of Fit	27862.67 38
Model ChiSquare	4618.888 7
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	90.29



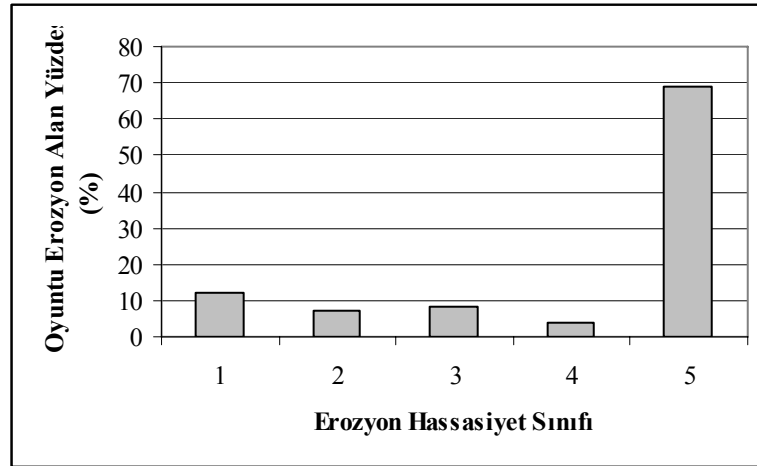
Şekil 7.55 Grup 6 için lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.56 Erozyon duyarlılık indeks haritasının yeniden sınıflandırılması ile elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.57 Grup 6 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.58 Grup 6 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

#### 7.5.1.7 Grup 7 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Bu grupta bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj hatlarına uzaklık, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü ve topoğrafik eğrilik parametreleri değerlendirilmiştir. Topoğrafik eğriliğin pozitif veya negatif olması erozyon sürecini etkileyen önemli bir parametre olması nedeniyle bu grup içerisindeki etkinliği konusunda fikir edinilmeye çalışılmıştır.

$$\text{logit (erozyon duyarlılık)} = -5.9164 + 0.008357 * \text{bozunma\_fuzzy} + 0.001264 * \text{akarsu güç indeksi\_fuzzy} + 0.001821 * \text{egim\_fuzzy} - 0.002798 * \text{drenaj hatlarına uzaklık\_fuzzy} + 0.951699 * \text{süreksizlik yoğunluğu\_fuzzy} - 0.002235 * \text{arazi örtüsü\_fuzzy} - 0.000722 * \text{topoğrafik eğrilik\_fuzzy} \quad (7.9)$$

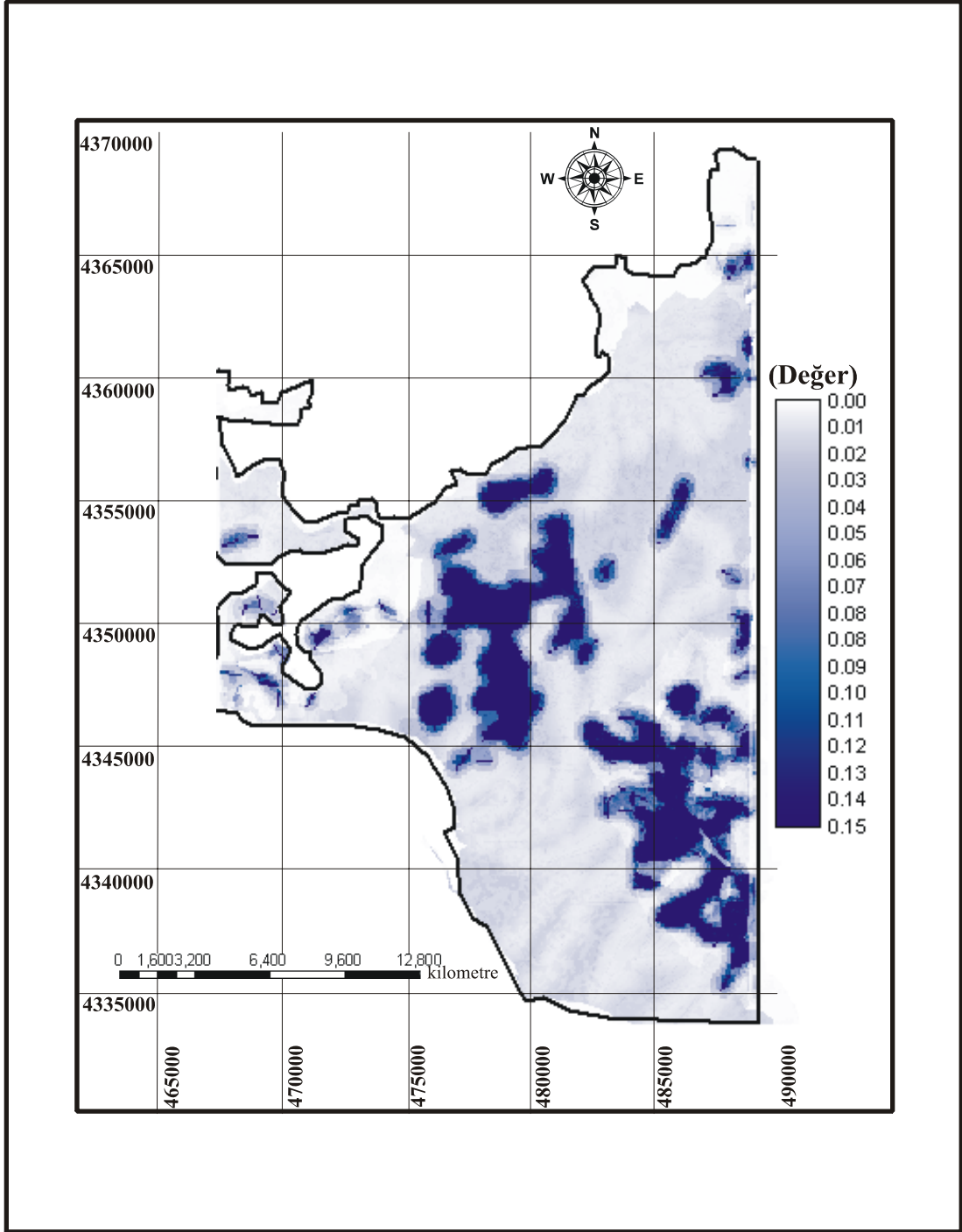


Tablo 7.25 Grup 7 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

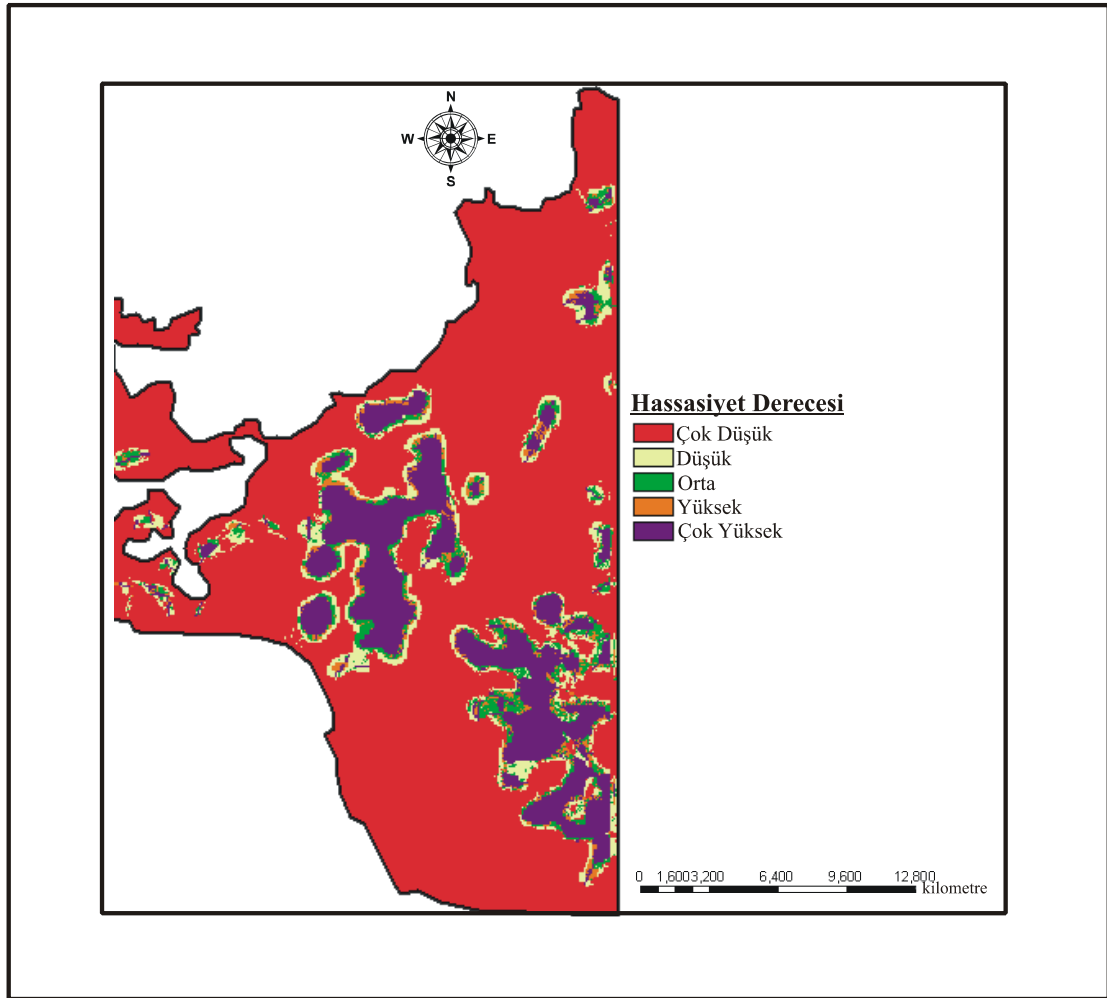
<b>Regresyon Katsayıları</b>	
<b>Değişkenler (Parametreler)</b>	<b>Katsayılar</b>
Regresyon Katsayısı	-5.9164
Bozunma	0.008357
Akarsu Güç İndeksi	0.001264
Eğim	0.001821
Drenaj Hatlarına Uzaklık	-0.002798
Süreksizlik Yoğunluğu	0.951699
Arazi Örtüsü	-0.002235
Topoğrafik Eğrilik	-0.000722

Tablo 7.26 Grup 5 için lojistik regresyon istatistik sonuçları

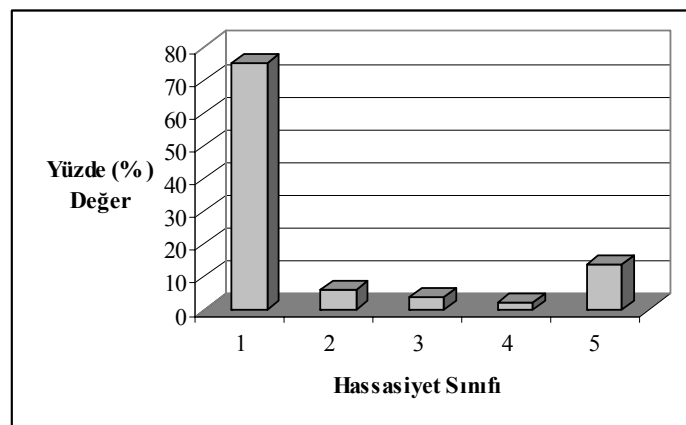
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38901
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	37013
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1888
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.1467
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.8533
-2logL0	15107.1465
-2log(likelihood)	10729.5332
Pseudo R <sup>2</sup>	0.2898
Goodness of Fit	27965.8223
Model ChiSquare	4377.6133
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	89.81



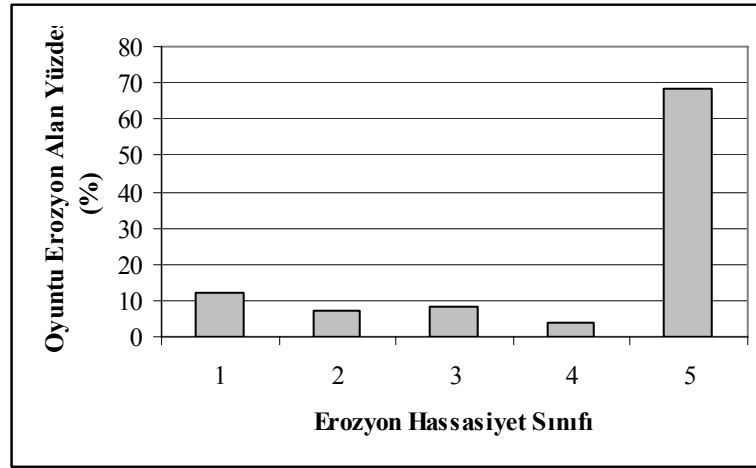
Şekil 7.59 Grup 7 için lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.60 Erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılması ile elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.61 Grup 7 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.62 Grup 7 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

#### 7.5.1.8 Grup 8 İçin Lojistik Regresyon Uygulaması

Bu grupta bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj hatlarına uzaklık, arazi örtüsü ve topoğrafik eğrilik parametreleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye ilgili istatistik bilgileri ve üretilen haritalar aşağıda sunulmuştur.

$$\text{logit (erozyon duyarlılık)} = -3.9730 + 0.007663 * \text{bozunma\_fuzzy} + 0.002797 * \text{akarsu güç indeksi\_fuzzy} + 0.008115 * \text{egim\_fuzzy} - 0.001890 * \text{drenaj hatlarına uzaklık\_fuzzy} - 0.003547 * \text{arazi örtüsü\_fuzzy} + 0.002616 * \text{topoğrafik eğrilik\_fuzzy} \quad (7.10)$$

Tablo 7.27 Grup 8 için lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar

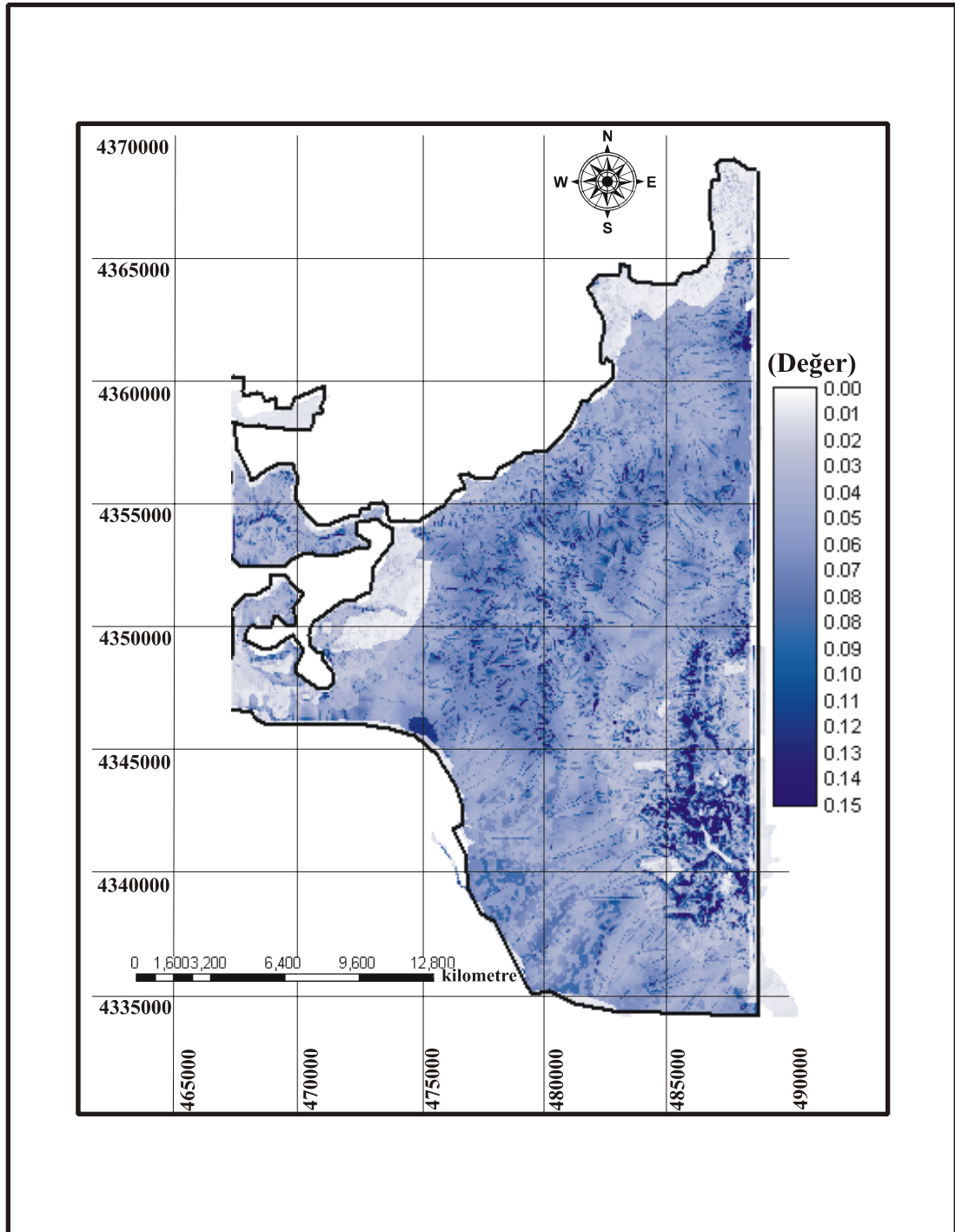
Regresyon Katsayıları	
Değişkenler (Parametreler)	Katsayılar
Regresyon Katsayısı	-3.9730
Bozunma	0.007663
Akarsu Güç İndeksi	0.002797
Eğim	0.008115
Drenaj Hatlarına Uzaklık	-0.001890

Tablo 7.27'in devamı.

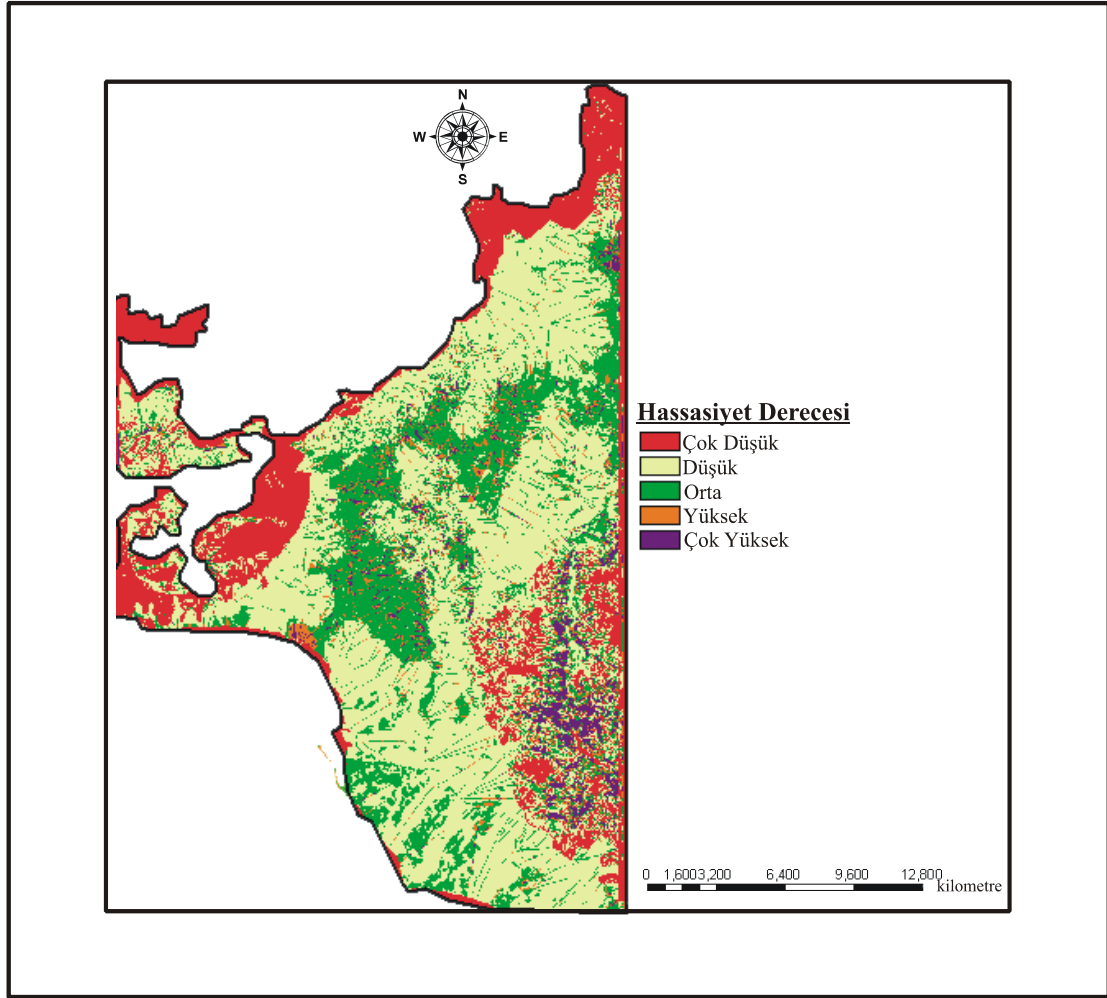
Arazi Örtüsü	-0.003547
Topoğrafik Eğrilik	0.002616

Tablo 7.28 Grup 5 için lojistik regresyon istatistik sonuçları.

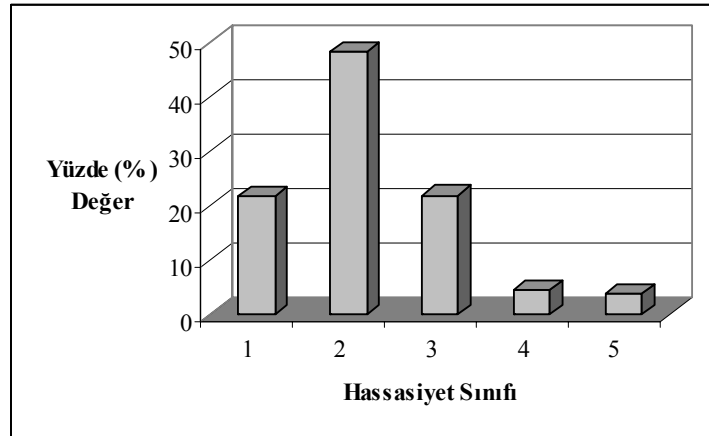
<b>İstatistik Sonuçları</b>	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	370061
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	19289
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	95.0458
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	4.9542
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	39018
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	37039
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	1979
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	94.9280
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	5.0720
-2logL0	15656.39 16
-2log(likelihood)	14784.41 70
Pseudo R <sup>2</sup>	0.0557
Goodness of Fit	36529.47 66
Model ChiSquare	871.9746
ROC (Relative Operating Characteristics) (%)	69.89



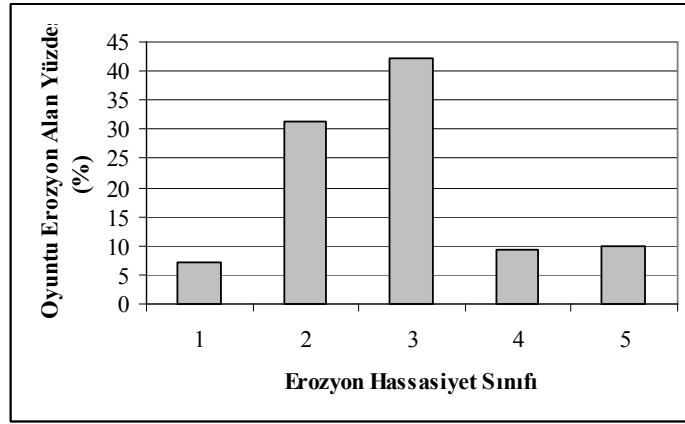
Şekil 7.63 Grup 8 için lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulmuş erozyon duyarlılık indeks haritası.



Şekil 7.64 Grup 8 için indeks haritasının yeniden sınıflandırılması ile oluşturulmuş tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.65 Grup 8 için elde edilen duyarlılık sınıflarının alansal yüzde değerleri.



Şekil 7.66 Grup 8 için elde edilen erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alan oranları.

### 7.5.2 Lojistik Regresyonla Üretilen Erozyon Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırması

Farklı parametre kombinasyonları ile lojistik regresyon yöntemi kullanılarak oluşturulan sekiz tematik erozyon duyarlılık haritası IDRISI Kilimanjaro yazılımında ASCII formatına dönüştürülerek Statistica 6.0 istatistik yazılımına yollanmıştır. Burada, oluşturulan sekiz erozyon duyarlılık haritası arasındaki benzerliklerin ortaya konulması amacıyla her bir erozyon duyarlılık haritası arasındaki korelasyonlara bakılmıştır. Bu amaçla oluşturulan korelasyon matrisi aşağıda Tablo 7.29'da verilmiştir. Burada verilen korelasyon katsayıları “R<sup>2</sup>” olarak verilmiştir.

Tablo 7.29 Lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan tematik erozyon duyarlılık haritaları arasında oluşturulan korelasyon matrisi.

Harita Grubu	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.00	0.79	0.51	0.68	0.31	0.32	0.31	0.67
2	0.79	1.00	0.87	0.82	0.30	0.30	0.30	0.79
3	0.51	0.87	1.00	0.75	0.24	0.25	0.24	0.72
4	0.68	0.82	0.75	1.00	0.26	0.26	0.25	0.90



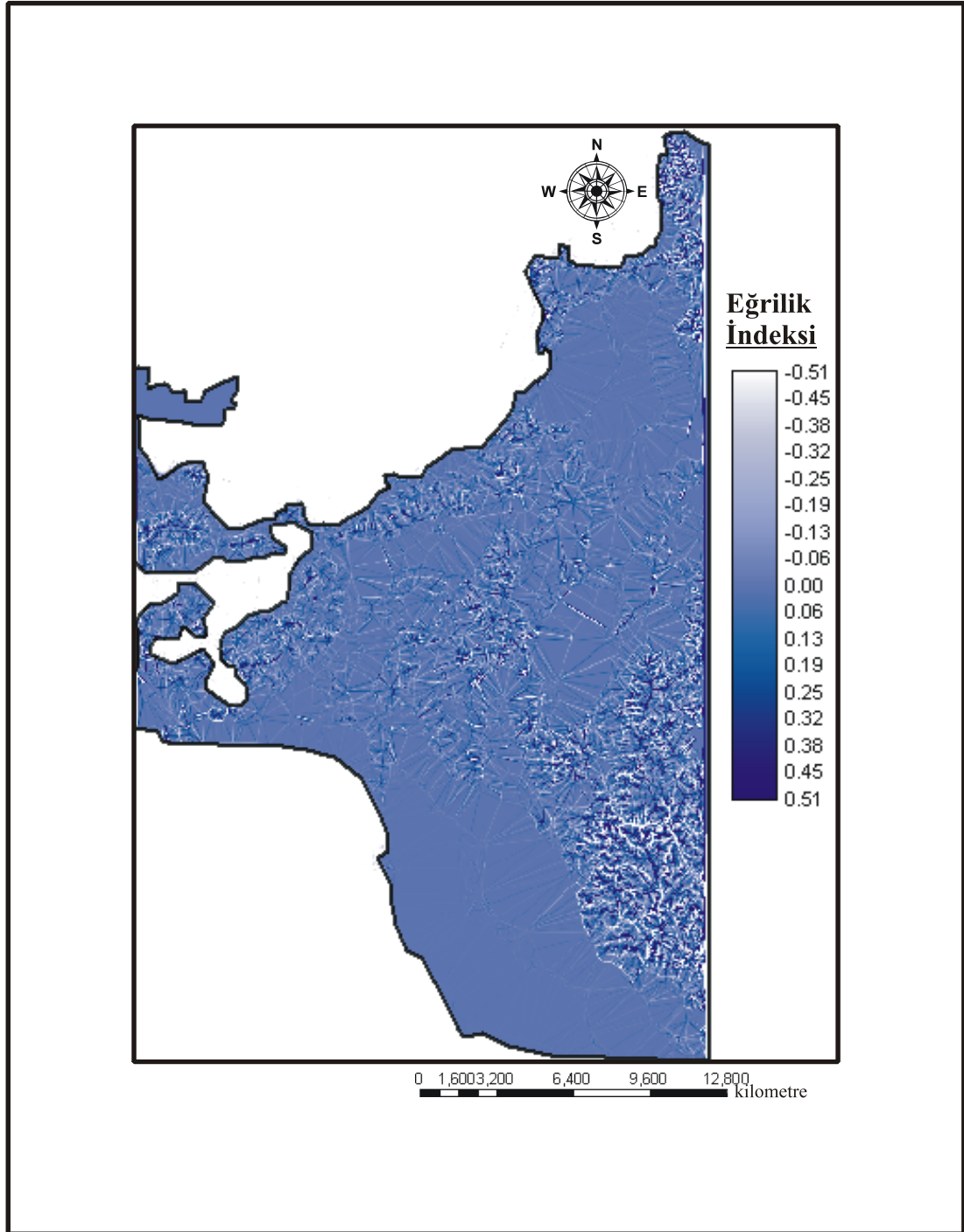
5	0. 31	0. 30	0. 24	0. 26	1. 00	0. 99	0. 99	0. 29
6	0. 32	0. 30	0. 25	0. 26	0. 99	1. 00	1. 00	0. 29
7	0. 31	0. 30	0. 24	0. 25	0. 99	1. 00	1. 00	0. 29
8	0. 67	0. 79	0. 72	0. 90	0. 29	0. 29	0. 29	1. 00

Tablo 7.29 incelendiğinde, en yüksek korelasyonun 1.00 ile Grup 6 ve Grup 7 arasında olduğu, Grup 5-Grup 6 ve Grup 5-Grup 7 arasında da 0.99 korelasyon katsayısı ile yüksek bir benzeşim olduğu görülmektedir. Grup 2-Grup 3 ve Grup 3-Grup 4 arasında da yüksek benzerlik oranı sahip bir ilişki olduğu göze çarpmaktadır.

## 7.6 Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi

Ayvalık ve yakın çevresindeki kayaların erozyon duyarlılık analizinin yapılması aşamasında da, heyelan duyarlılık analizinde olduğu gibi çok ölçütlü karar analizi yöntemi de kullanılmıştır. Erozyon duyarlılık değerlendirme için, heyelan duyarlılık değerlendirmesinden farklı olarak dikkate alınan parametrelerin farklı kombinasyonları yapılmış, elde edilen sonuçlar arazi gözlemleri ile denştirilerek inceleme alanı için en uygun erozyon duyarlılık haritasının elde edilmesi hedeflenmiştir.

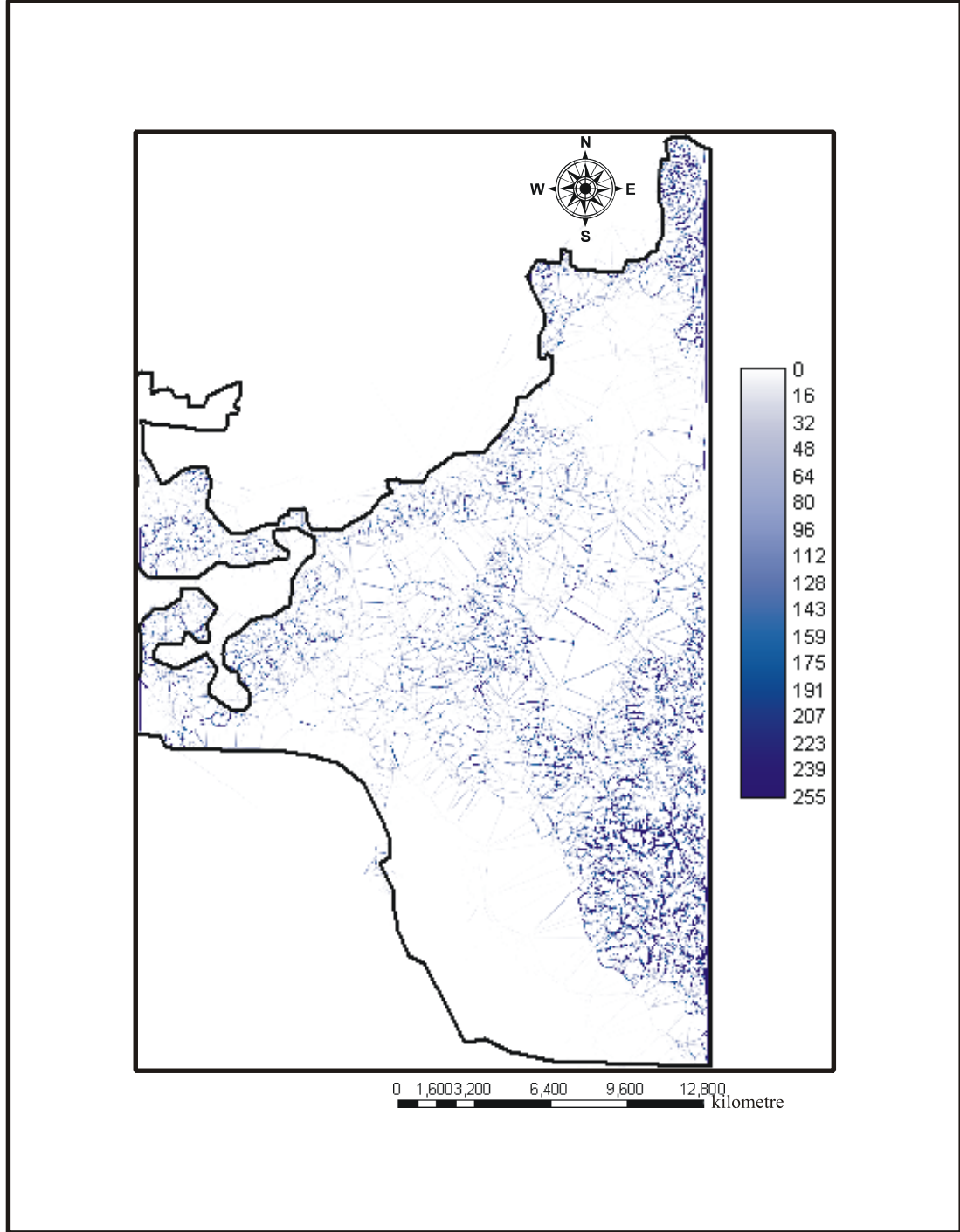
Erozyon duyarlılık analizi yapılırken, Bölüm 7.2.1.2’de anlatılan, bulanık mantık yöntemiyle standartlaştırılan parametreler kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık analizinden farklı olarak “Topoğrafik eğrilik (curvature)” parametresi de duyarlılık analizine dahil edilmiştir. Topoğrafik eğrilik, yamacın iç bükey veya dış bükey olduğunu gösteren bir topoğrafik indeks verisi olup, negatif eğrilik iç bükey eğriliği, pozitif eğrilik ise dış bükey eğriliği temsil etmektedir (Şekil 7.67) (Lee, 2004). Yamacın dış bükey kısmı, değişen topoğrafik eğim ile aşınmaya daha fazla duyarlı iken, iç bükey kısmı ise aşınan malzemenin biriktirilmesine duyarlılık gösterecektir. Bu nedenle, bu çalışmada topoğrafik eğriliğin dış bükey olduğu kısımlar erozyona duyarlı olan bölgeler olarak dikkate alınmış ve değerlendirilmiştir.



Şekil 7.67 Topoğrafik eğrilik indeks haritası. (Negatif değerler iç bükey, pozitif değerler dış bükey yamaç şeklini ifade etmektedir.

Aşağıda verilen Şekil 7.68'deki bulanık mantık yöntemine göre standartlaştırılan topoğrafik eğrilik haritasında, bulanık küme üyelik fonksiyonu sigmoidal ve üyelik fonksiyon tipi ise monoton artan olarak alınmış, buna bağlı olarak kontrol noktaları;  $a = -0.51$  ve  $b = 0$  olarak kullanılmıştır. Bu değerler belirlenirler, yine inceleme

alanında meydana gelmiş heyelan lokasyonları ile topoğrafik eğrilik (yamaç şekli) sınıfları arasında heyelan oluşum frekansı (Tablo 6.9) ilişkilerinden yararlanılmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen ve duyarlılık analizinde kullanılan standartlaştırılmış topoğrafik eğrilik indeksi haritası elde edilmiştir.



Şekil 7.68 Topoğrafik eğrilik indeksi haritasının bulanık mantık yöntemine göre standartlaştırılması.

Erozyon duyarlılık değerlendirmesi amacıyla bozunma, eğim, akarsu güç indeksi (AGİ), drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü ve topoğrafik eğiklik olmak üzere yedi parametre değerlendirilmiştir. Bu parametreler seçilirken, erozyon gelişimine doğrudan etkide bulunduğu düşünülen litolojik, topoğrafik ve morfolojik parametreler göz önüne alınmıştır.

Değerlendirme aşamasına gelindiğinde, dikkate alınan parametrelerin hepsinin olduğu tek bir kombinasyon yaparak bunun sonucunu irdelemek yerine, farklı parametrelerin bir arada olduğu farklı parametre kombinasyonlarının değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Çünkü, inceleme alanında erozyona duyarlılık teşkil edecek arazi parçalarının gelişimine değişik parametre gruplarının etkilerinin de farklı olacağı düşünülmelidir. Bu sebeple, aşağıda Tablo 7.30’ dan Tablo 7.35’e kadar verilen tablolarda, farklı sayıda parametre içeren gruplara ait ikili karşılaştırma matrisleri ve bu matrislerden elde edilen ağırlık değerleriyle birlikte yapılan ikili karşılaştırmalara ait tutarlılık oranı değerleri sunulmuştur.

Tablo 7.30 Erozyon duyarlılık analizi için dikkate alınan üç parametre için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı (T.O).

<b>Parametre</b>	Bozunma	Eğim	AGİ	<i>Ağırlık Değeri</i>
Bozunma	1			<b>0.3325</b>
Eğim	2	1		<b>0.5278</b>
AGİ	1/3	1/3	1	<b>0.1396</b>
T.O. = 0.05 < 0.1				

Tablo 7.31 Erozyon duyarlılık analizi için dikkate alınan dört parametre için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.

<b>Parametre</b>	Bozunma	Eğim	AGİ	Drenaj Yoğunluğu	<i>Ağırlık Değeri</i>
Bozunma	1				<b>0.3117</b>
Eğim	2	1			<b>0.4572</b>
AGİ	1/3	1/3	1		<b>0.1646</b>
Drenaj Yoğunluğu	1/4	1/5	1/4	1	<b>0.0664</b>
T.O. = 0.06<0.1					

Tablo 7.32 Erozyon duyarlılık analizi için dikkate alınan beş parametre için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

<b>Parametre</b>	Bozunma	Eğim	AGİ	Drenaj Yoğunluğu	Süreksizlik Yoğunluğu	<i>Ağırlık Değeri</i>
Bozunma	1					<b>0.2937</b>
Eğim	2	1				<b>0.4242</b>
AGİ	1/3	1/3	1			<b>0.1610</b>
Drenaj Yoğunluğu	1/4	1/5	¼	1		<b>0.0712</b>
Süreksizlik Yoğunluğu	1/5	1/7	1/3	1/2	1	<b>0.0498</b>
T.O. = 0.04<0.1						

Tablo 7.33 Erozyon duyarlılık analizi için dikkate alınan altı parametre için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

<b>Parametre</b>	Bozunma	Eğim	AGİ	Drenaj Yoğunluğu	Süreksizlik Yoğunluğu	Arazi Örtüsü	<i>Ağırlık Değeri</i>
Bozunma	1						<b>0.2585</b>
Eğim	2	1					<b>0.3722</b>
AGİ	1/3	1/3	1				<b>0.1555</b>
Drenaj Yoğunluğu	1/4	1/5	1/4	1			<b>0.0622</b>
Süreksizlik Yoğunluğu	1/5	1/7	1/3	1/2	1		<b>0.0463</b>
Arazi Örtüsü	1/2	1/3	1/2	2	2	1	<b>0.1054</b>
T.O. = 0.03<0.1							

Tablo 7.34 Erozyon duyarlılık analizi için dikkate alınan ikinci bir altı parametre grubunun “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

<b>Parametre</b>	Bozunma	Eğim	AGİ	Drenaj Yoğunluğu	Arazi Örtüsü	Topoğrafik Eğrilik	<i>Ağırlık Değeri</i>
Bozunma	1						<b>0.2029</b>
Eğim	2	1					<b>0.3214</b>
AGİ	1/3	1/3	1				<b>0.1640</b>
Drenaj Yoğunluğu	1/4	1/5	1/4	1			<b>0.0475</b>
Arazi Örtüsü	1/2	1/3	1/2	2	1		<b>0.0870</b>
Topoğrafik Eğrilik	2	1/2	1/2	3	2	1	<b>0.1772</b>
T.O. = 0.07<0.1							

Tablo 7.35 Erozyon duyarlılık analizi için dikkate alınan yedi parametre için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

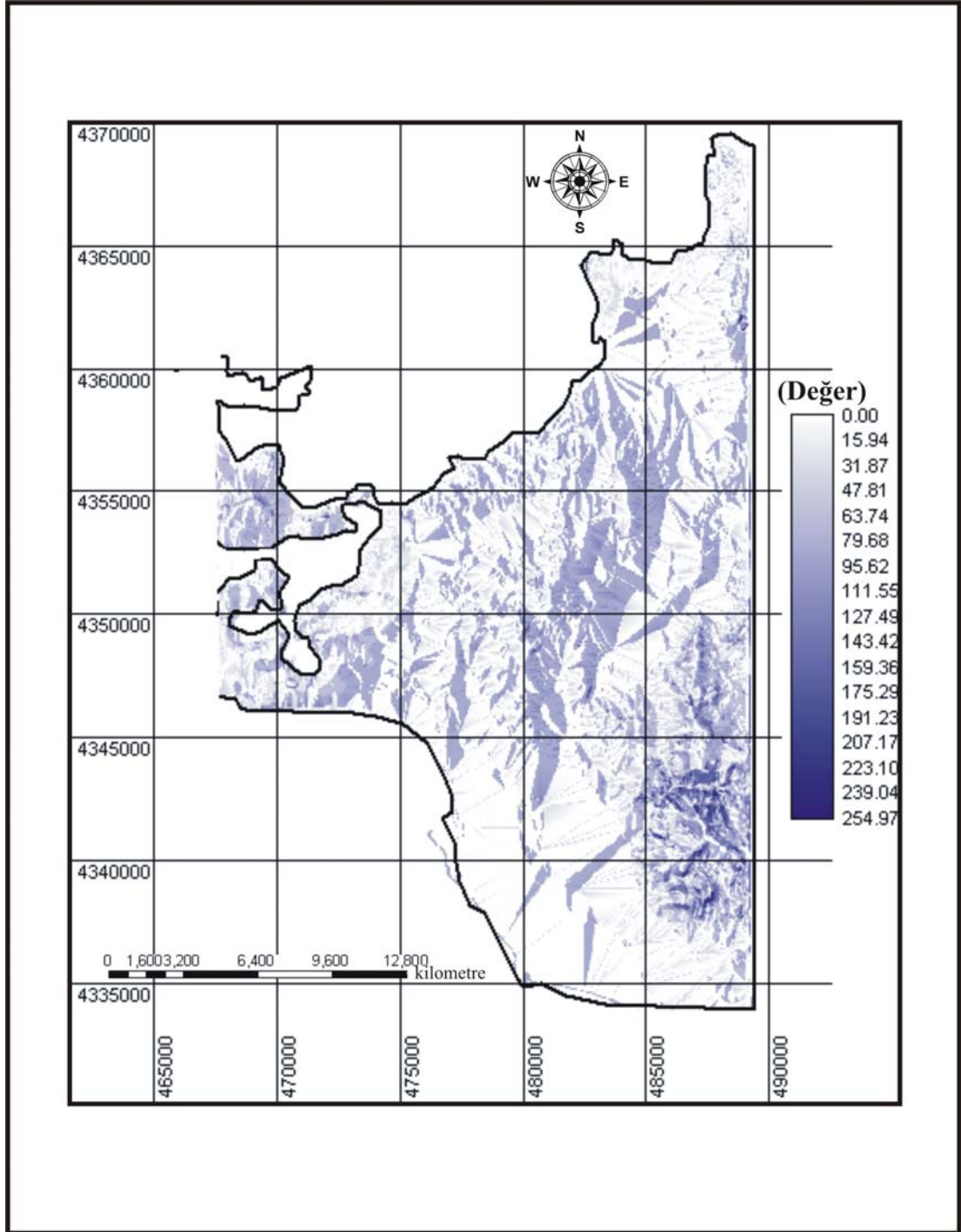
Parametre	Bozunma	Eğim	AGİ	Drenaj Yoğunluğu	Süreksizlik Yoğunluğu	Arazi Örtüsü	Topoğrafik Eğrilik	Ağırlık Değeri
Bozunma	1							<b>0.1976</b>
Eğim	2	1						<b>0.3072</b>
AGİ	1/3	1/3	1					<b>0.1542</b>
Drenaj Yoğunluğu	1/4	1/5	1/4	1				<b>0.0508</b>
Süreksizlik Yoğunluğu	1/5	1/7	1/3	1/2	1			<b>0.0400</b>
Arazi Örtüsü	1/2	1/3	1/2	2	2	1		<b>0.0844</b>
Topoğrafik Eğrilik	2	1/2	1/2	3	3	2	1	<b>0.1658</b>
T.O. = 0.05 < 0.1								

Yukarıda tablolarda verilen ikili karşılaştırma matrislerinden elde edilen ağırlık değerleri, ilgili parametre haritası ile çarpılarak ağırlıklandırılmış parametre haritası elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra, ağırlıklandırılmış parametrelerin çakıştırılması aşaması gelmiş ve bu amaçla Bölüm 7.4.2’ de verilen ve Eastman (2004) tarafından önerilen Eşitlik 7.2 uygulanmıştır. Bu amaçla, her bir parametreye ilişkin sınırlandırılmış parametre haritaları hazırlanmış ve parametre çakıştırma işlemi aşamasında kullanılmıştır. Birleştirme işlemi sonucunda erozyon duyarlılık indeks haritaları ve bu indeks haritalarının eşit aralık yöntemiyle tematik haritalara dönüştürülmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir ve çok az duyarlılık’ten çok yüksek duyarlılık kadar beş erozyon duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir. Elde edilen indeks ve yeniden sınıflandırılmış tematik haritalar aşağıda Şekil 7.69 ile Şekil 7.86’ arasında verilmiştir.

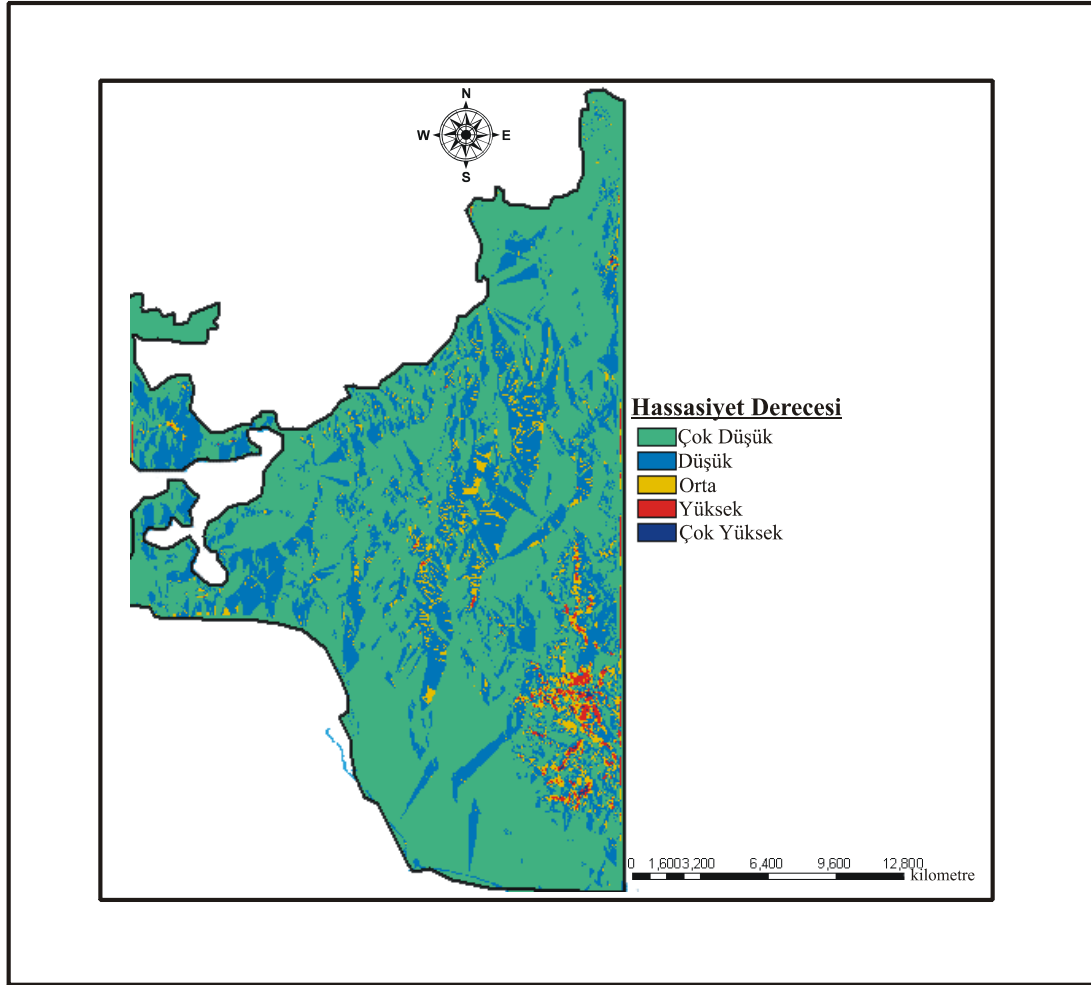
Sonuçta altı adet erozyon duyarlılık haritası elde edilmiştir. Üretilen bu haritaların birbirleriyle nasıl bir benzerlik gösterdiğini anlamak amacıyla en son üretilen yeniden sınıflandırılmış tematik haritalar karşılaştırmıştır. Bu amaçla, elde edilen altı tematik erozyon duyarlılık haritası yine “ASCII” (American Standard Code for Information Interchange) dosya formatına dönüştürülmüş ve dönüştürülen veriler Statistica 6.0 istatistik yazılımına gönderilmiştir. Bu yazılımda, tematik haritadaki

her bir piksel ve bu piksele karşılık gelen duyarlılık sınıfı kodu (1,2,3,4 ve 5) bir çalışma sayfasına ait (worksheet) tek bir hücre ile temsil edilmekte olup 389350 adet piksel bu amaçla incelenmiştir. Altı erozyon duyarlılık haritasına ait frekans verileri de üretilen tematik erozyon duyarlılık haritası altında tablo olarak verilmiştir. Söz konusu altı duyarlılık haritasına ait bir korelasyon matrisi oluşturulmuş, böylece üretilen tematik duyarlılık haritalarının birbirlerine olan benzerlikleri test edilmiştir. Oluşturulan korelasyon matrisi Tablo 7.36'da sunulmuştur.

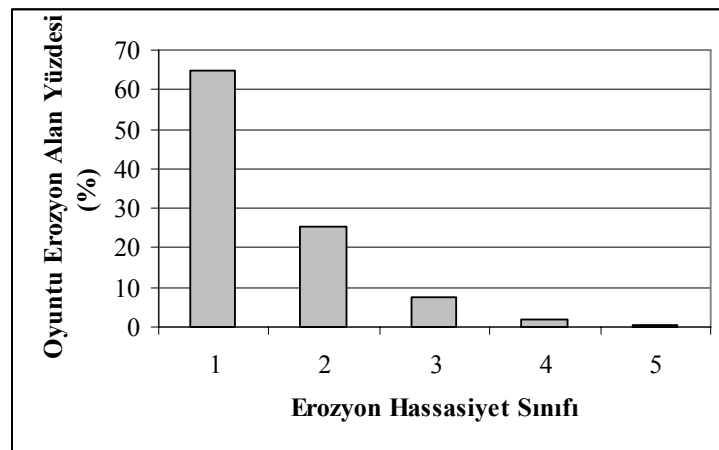




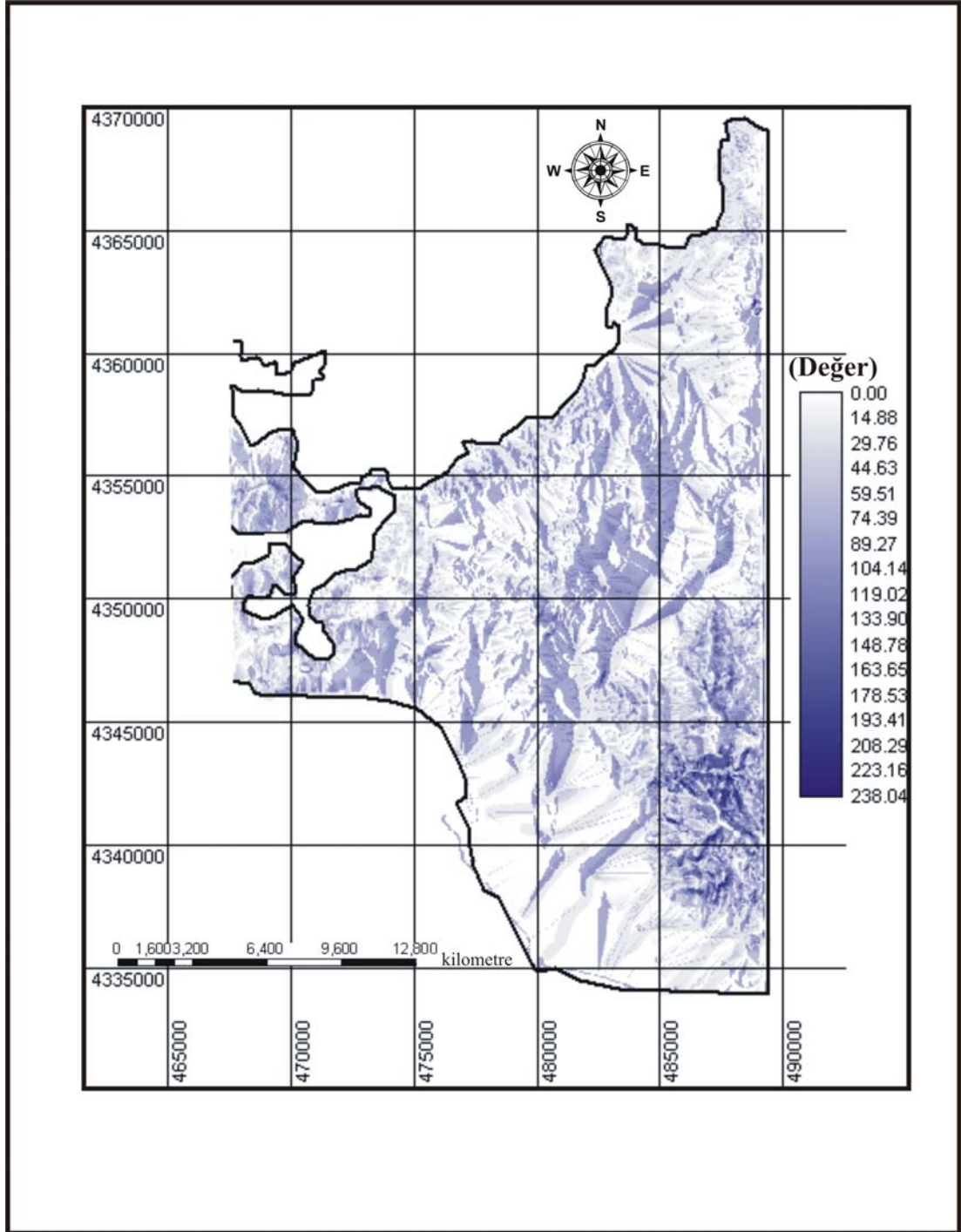
Şekil 7.69 Bozunma, Eğim ve Akarsu Güç İndisine göre belirlenmiş erozyon duyarlılık indeks haritası (Duyarlılık 0'dan 254'e doğru artmaktadır).



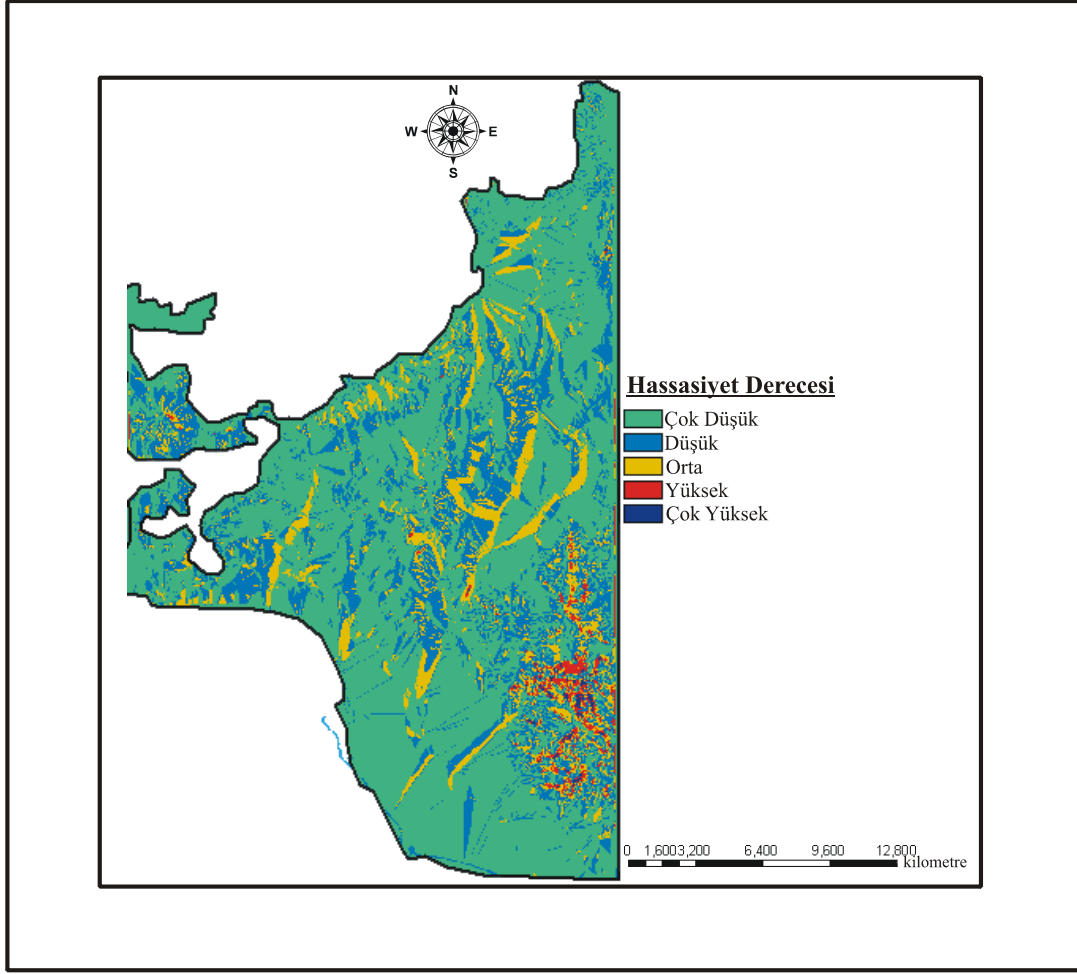
Şekil 7.70 Şekil 7.69'da verilen erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



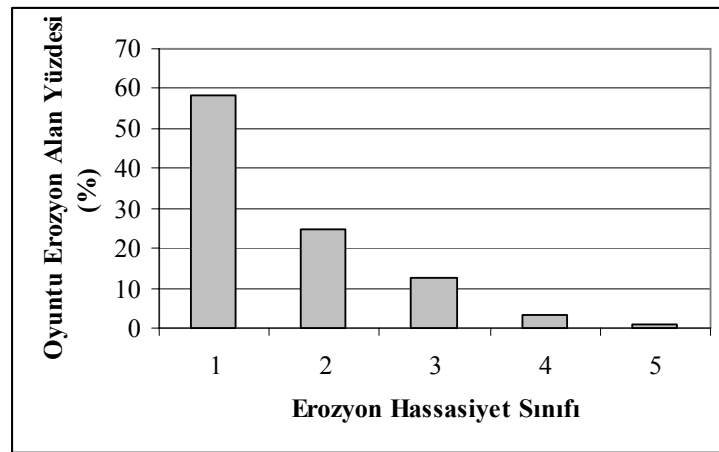
Şekil 7.71. Erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alanlarının yüzde dağılımları.



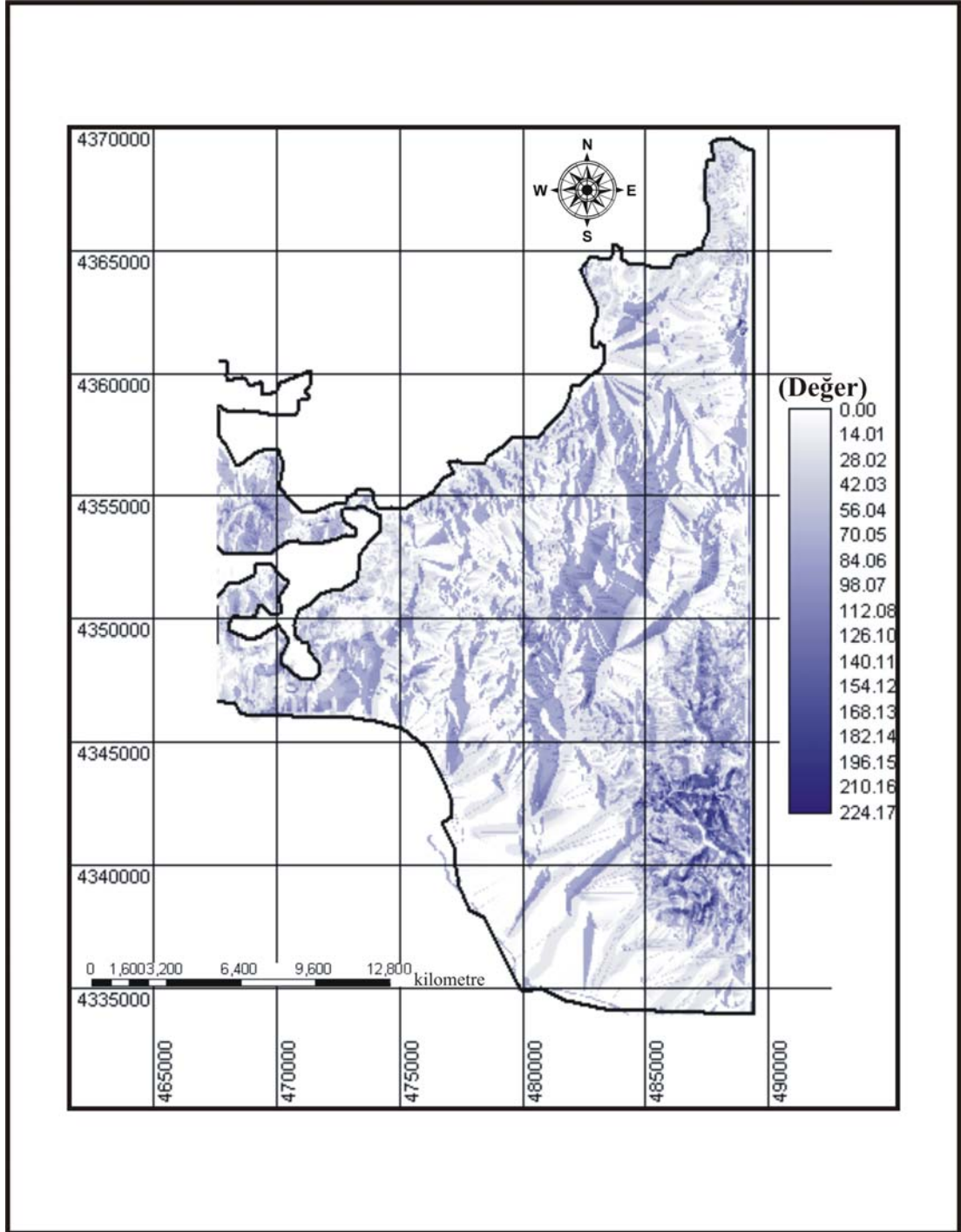
Şekil 7.72 Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi ve drenaj yoğunluğu parametreleri dikkate alınarak elde edilmiş erozyon duyarlılık indeks haritası.



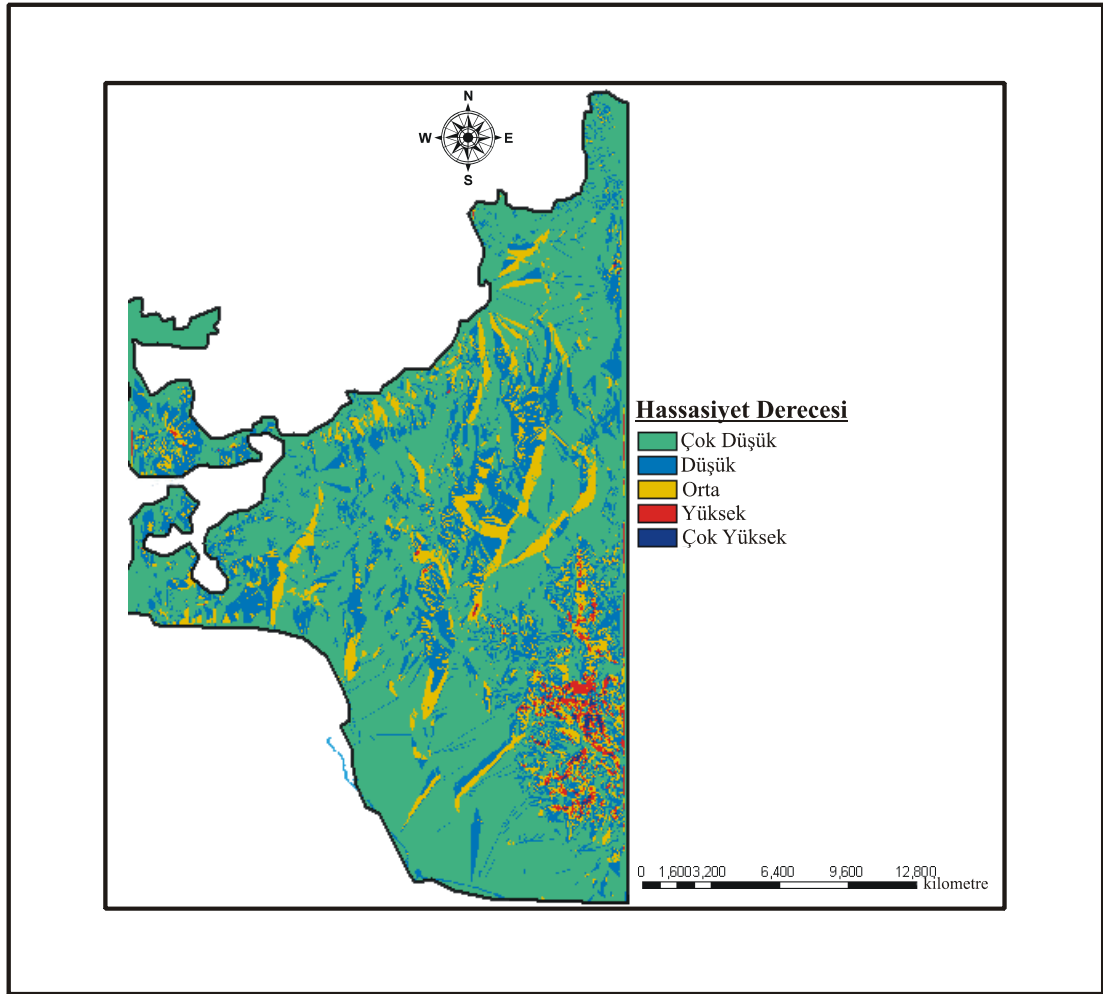
Şekil 7.73 Şekil 7.72’de verilen erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



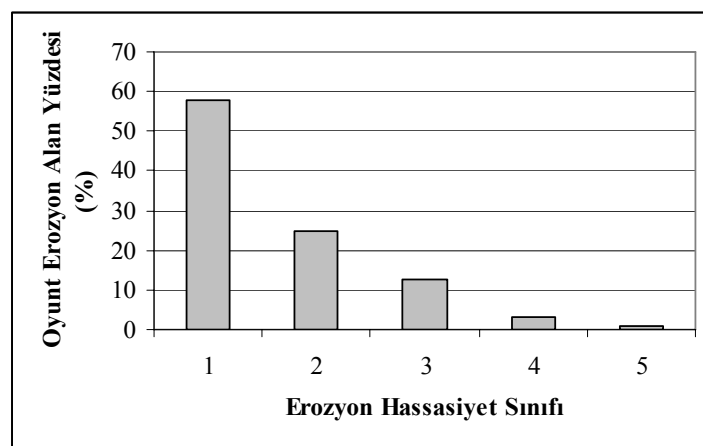
Şekil 7.74 Erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alanlarının yüzde dağılımları.



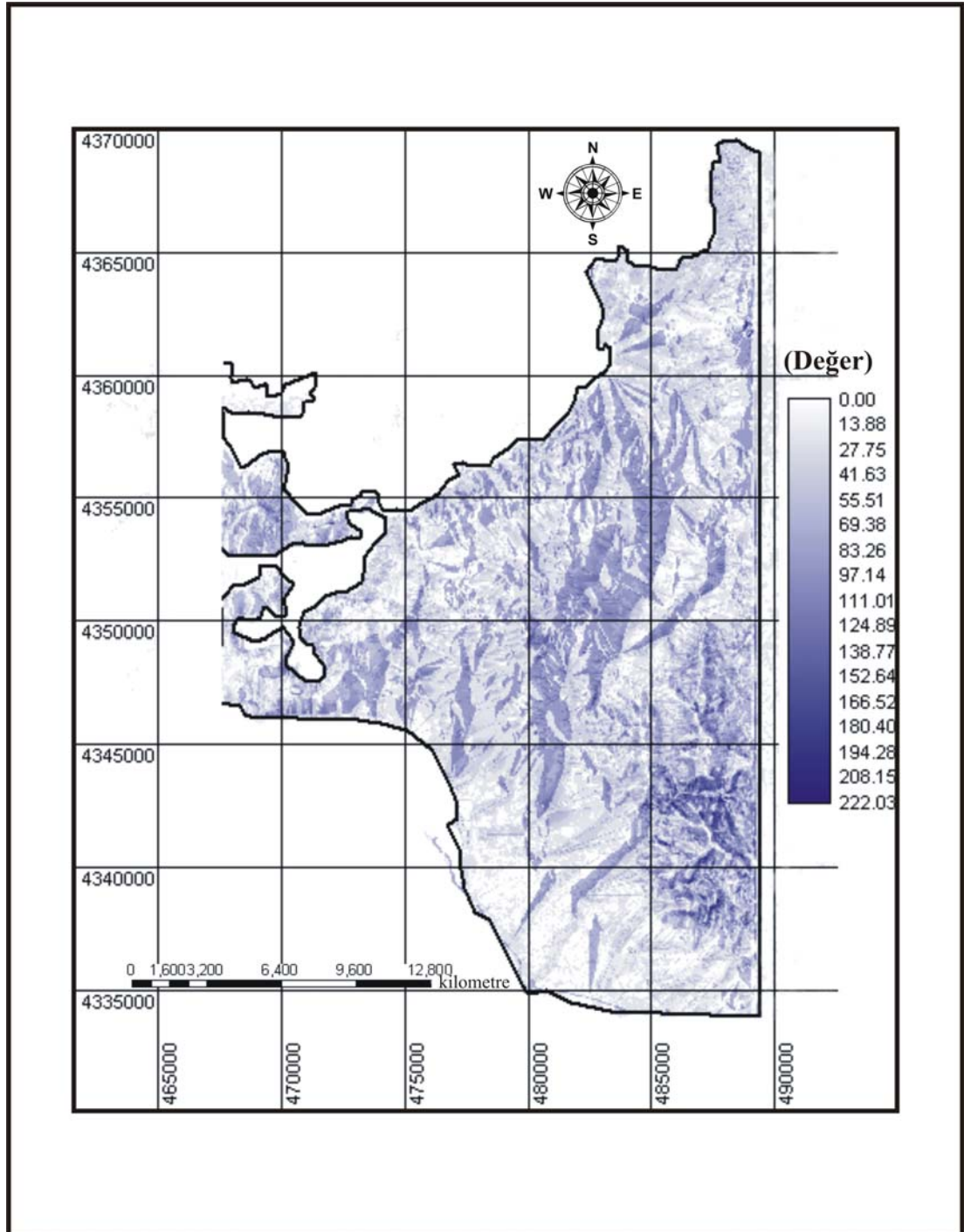
Şekil 7.75 Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu ve süreksizlik yoğunluğu parametreleri dikkate alınarak elde edilmiş erozyon duyarlılık indeksi haritası.



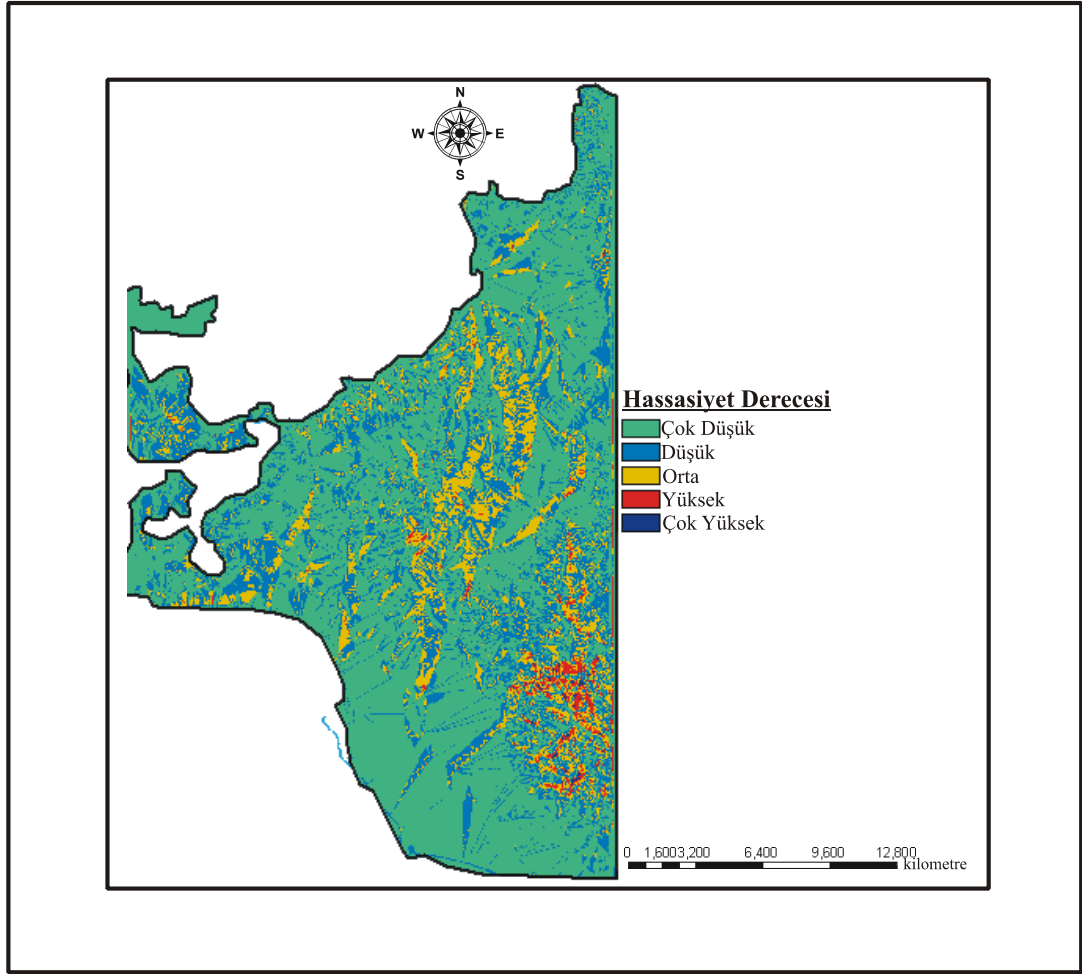
Şekil 7.76 Şekil 7.75’ de verilen erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



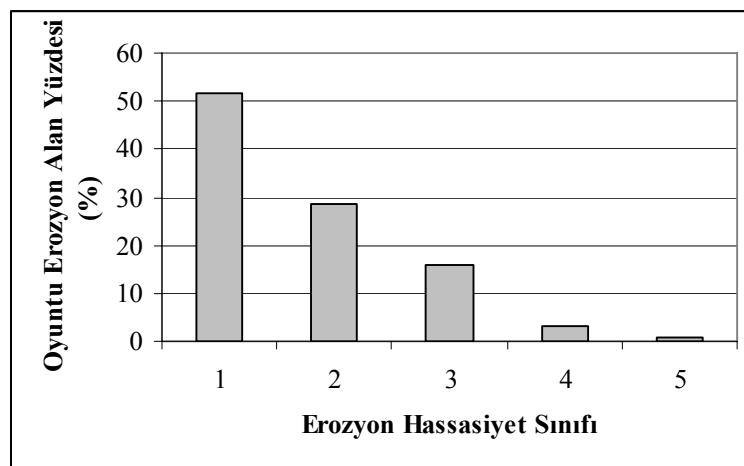
Şekil 7.77. Erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alanlarının yüzde dağılımları.



Şekil 7.78 Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu ve arazi örtüsü parametreleri dikkate alınarak elde edilen erozyon duyarlılık indeksi haritası.

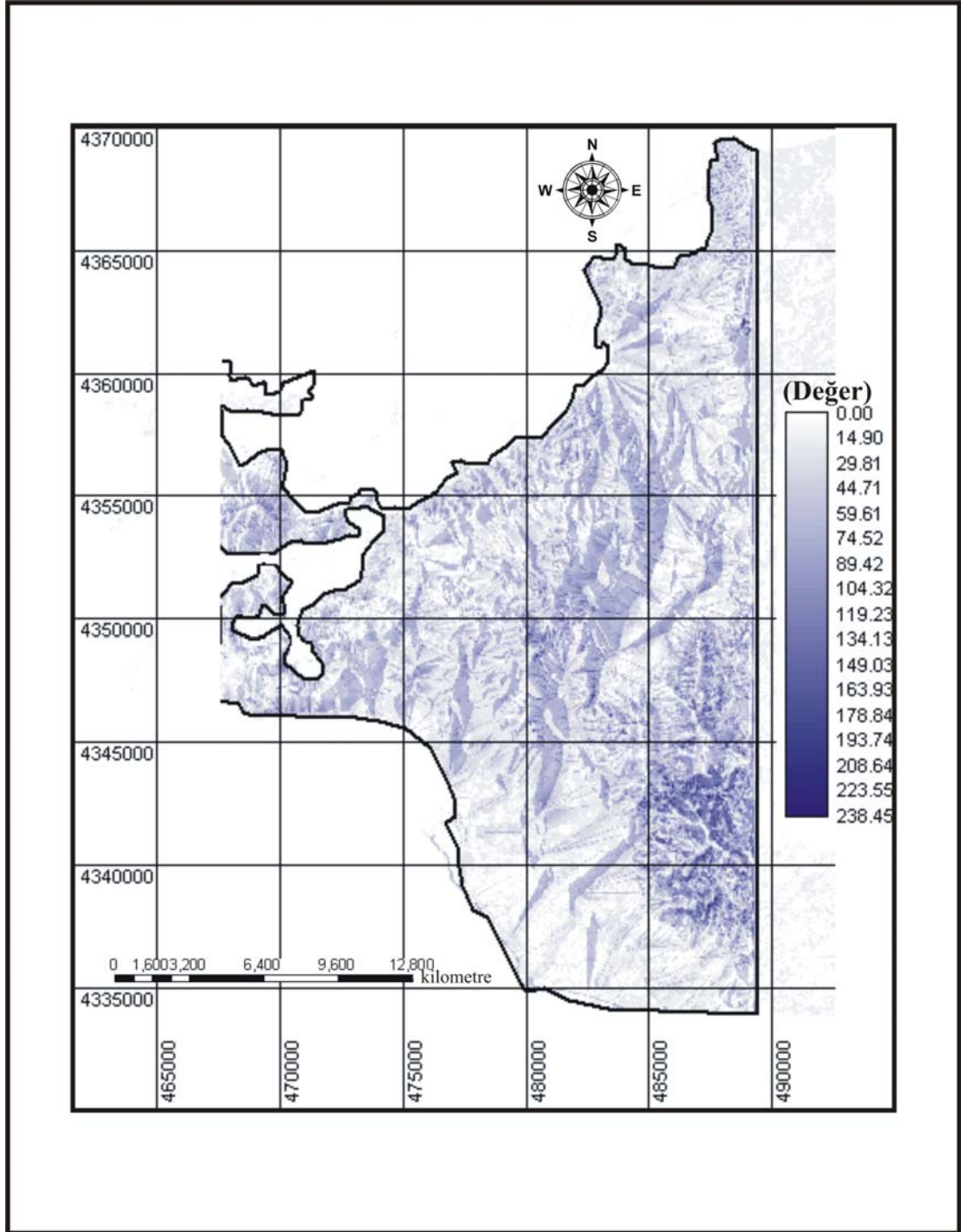


Şekil 7.79 Şekil 7.78’ de verilen erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.

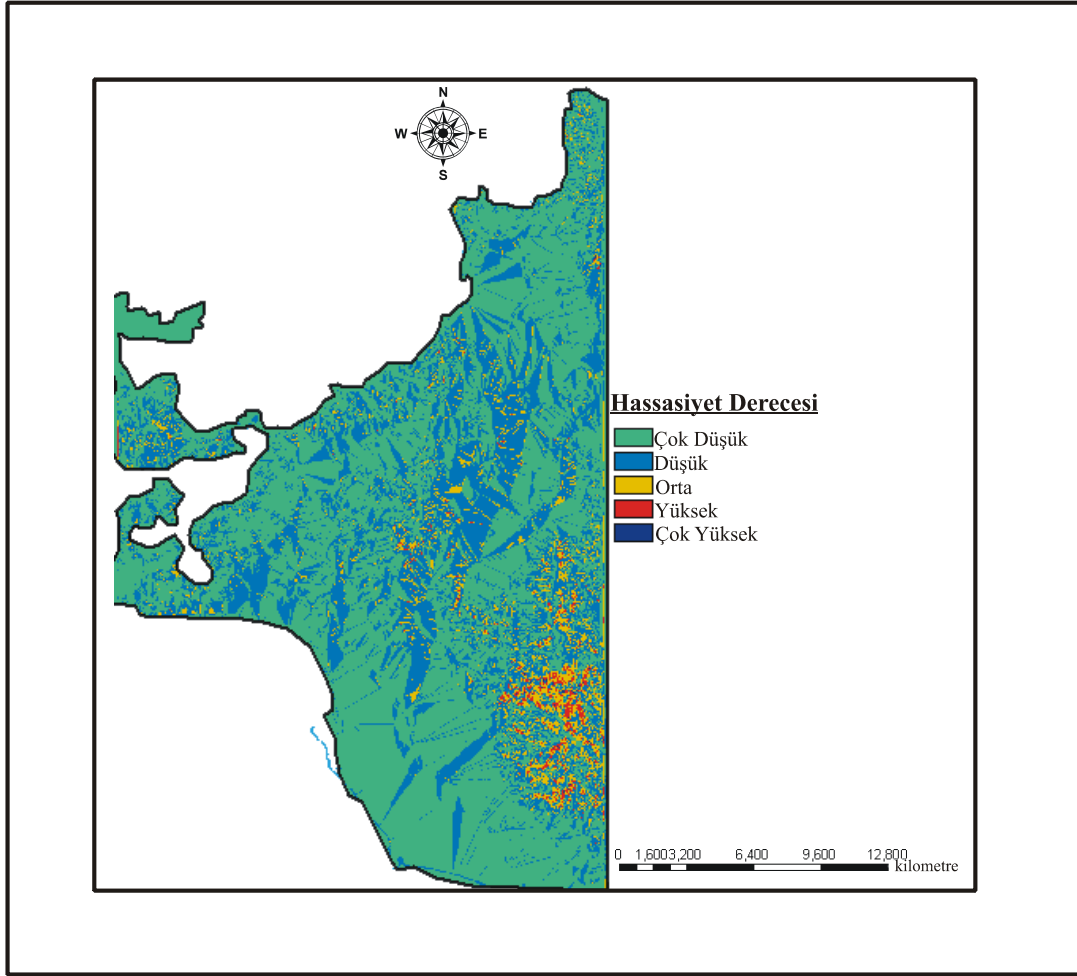


Şekil 7.80 Erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alanlarının yüzde dağılımları.

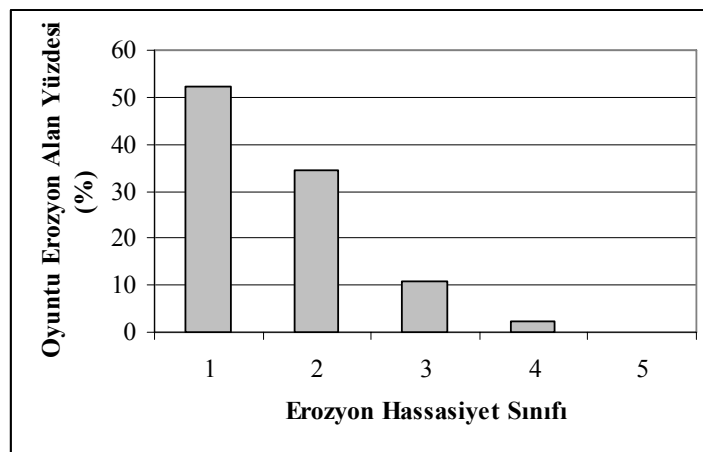




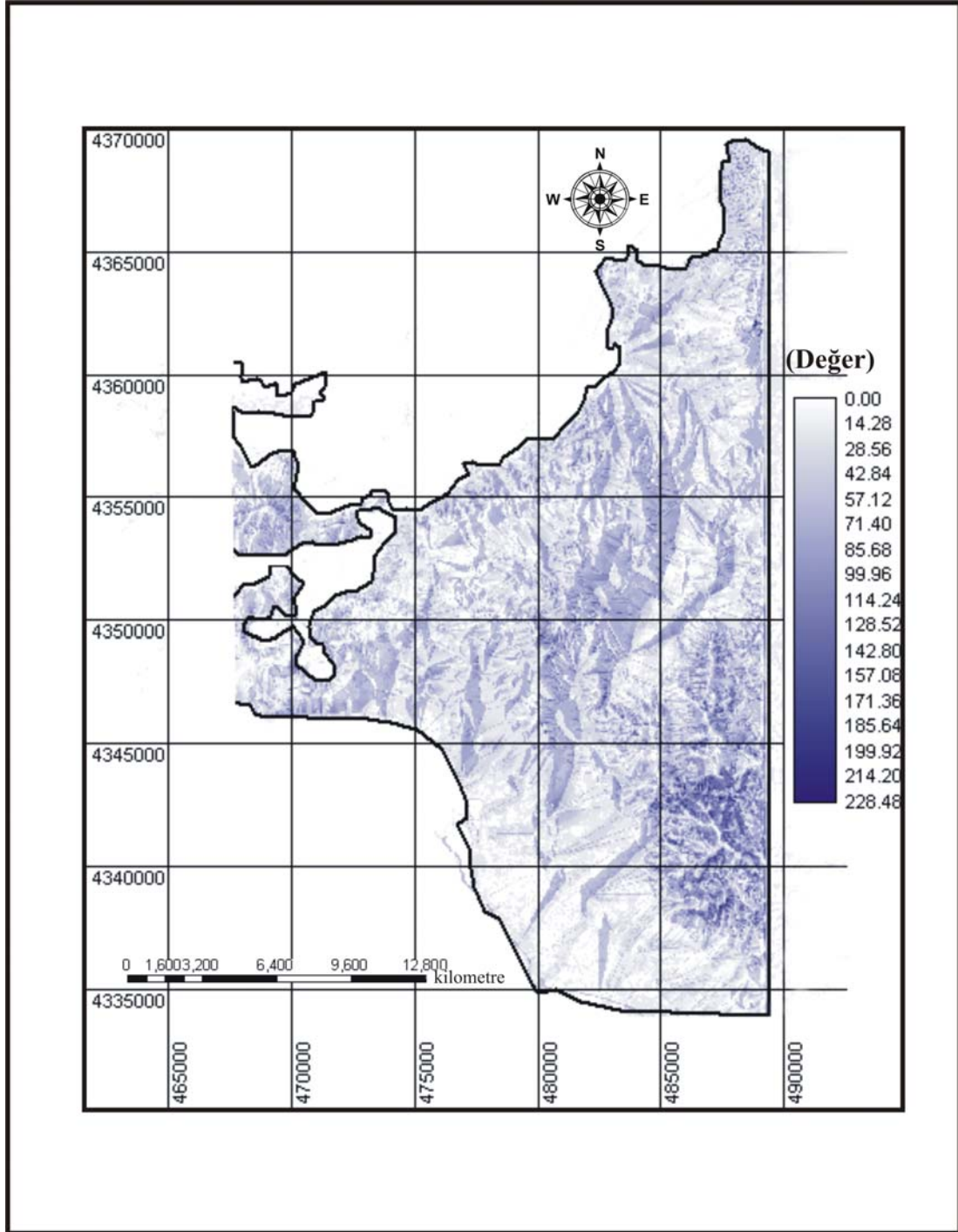
Şekil 7.81 Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, arazi örtüsü ve topoğrafik eğrilik parametreleri dikkate alınarak elde edilmiş erozyon duyarlılık indeks haritası.



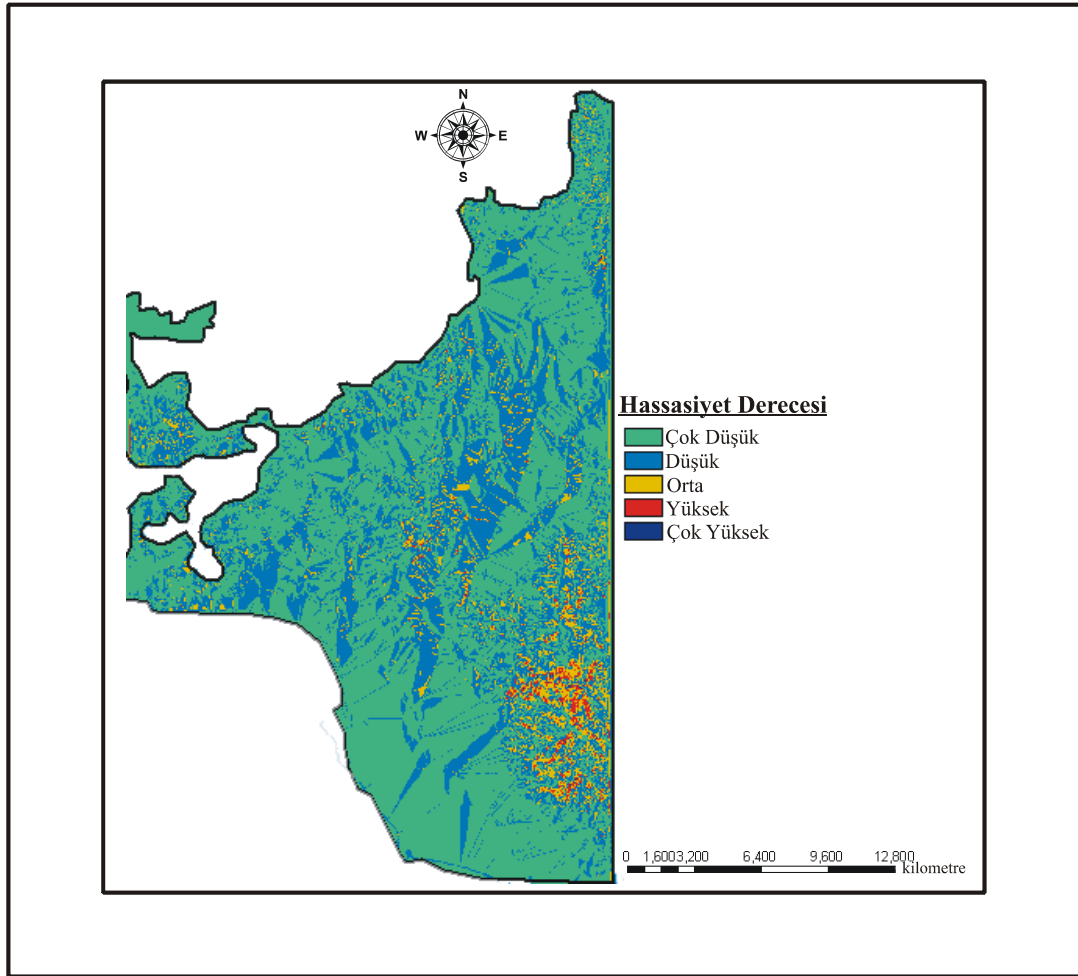
Şekil 7.82 Şekil 7.81’ de verilen erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



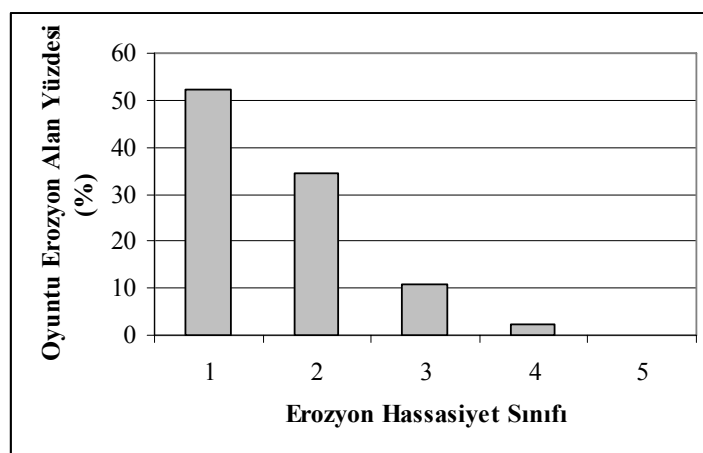
Şekil 7.83 Erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alanlarının yüzde dağılımları.



Şekil 7.84 Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü ve topoğrafik eğrilik parametreleri dikkate alınarak elde edilen erozyon duyarlılık indeksi haritası.



Şekil 7.85 Şekil 7.84’ de verilen erozyon duyarlılık indeksi haritasının yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen tematik erozyon duyarlılık haritası.



Şekil 7.86 Erozyon duyarlılık sınıflarına düşen oyuntu erozyon alanlarının yüzde dağılımları.

Tablo 7.37 Çok ölçütlü karar analizi ile elde edilen erozyon duyarlılık haritaları arasında oluşturulan korelasyon matrisi.

Parametre Kombinasyonları	A	B	C	D	E	F
A	1.00	0.98	0.97	0.93	0.89	0.89
B	0.98	1.00	1.00	0.96	0.92	0.92
C	0.97	1.00	1.00	0.96	0.93	0.92
D	0.93	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96
E	0.89	0.92	0.93	0.96	1.00	1.00
F	0.89	0.92	0.92	0.96	1.00	1.00

Tablo 7.37’de verilen değerler, aşağıdaki parametre kombinasyonlarını ifade etmektedir.

*A: Bozunma-Eğim-Akarsu Güç İndeksi*

*B: Bozunma-Eğim-Akarsu Güç İndeksi-Drenaj Yoğunluğu*

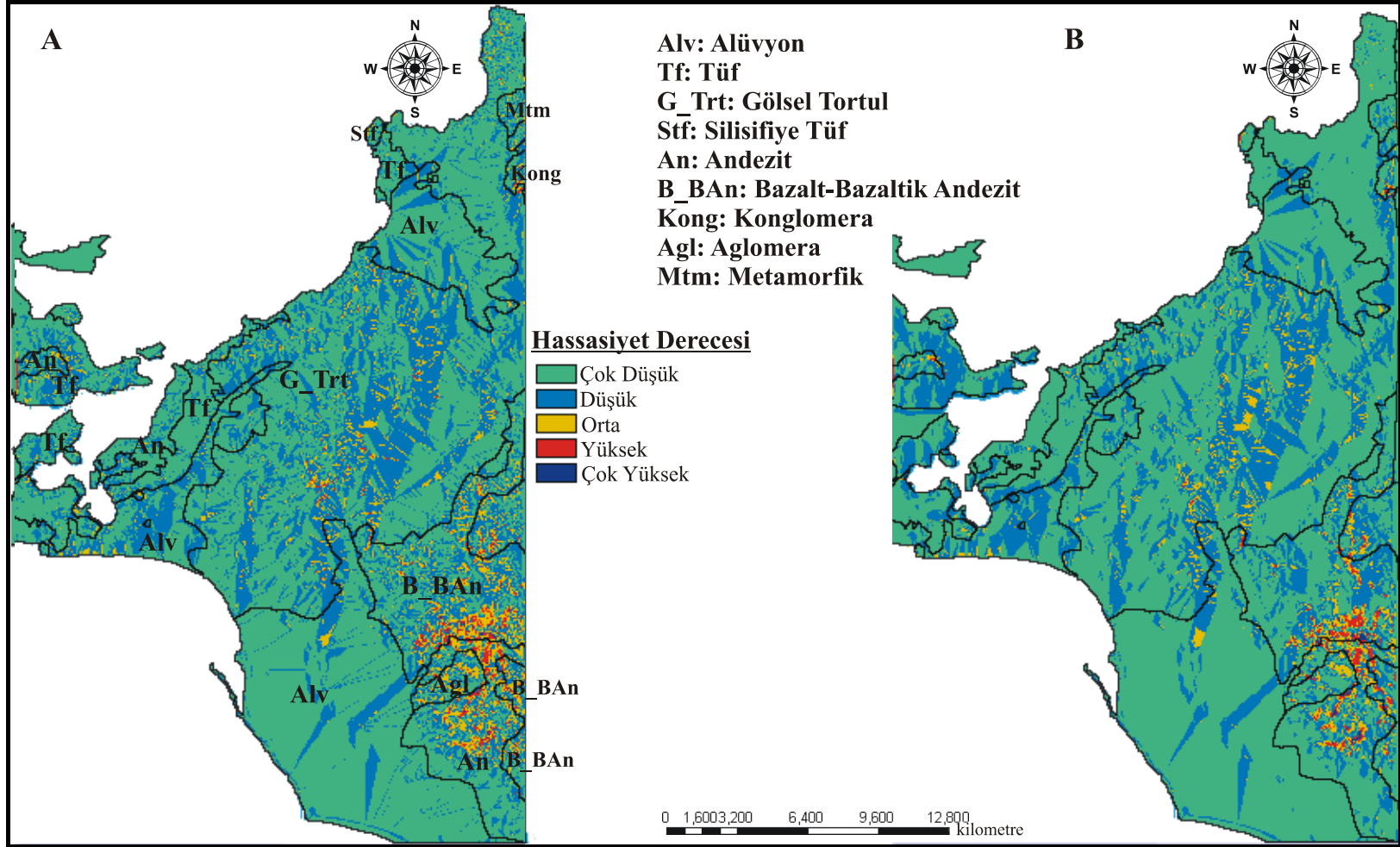
*C: Bozunma-Eğim-Akarsu Güç İndeksi-Drenaj Yoğunluğu-Süreksizlik Yoğunluğu*

*D: Bozunma-Eğim-Akarsu Güç İndeksi-Drenaj Yoğunluğu-Süreksizlik Yoğunluğu-Arazi Örtüsü*

*E: Bozunma-Eğim-Akarsu Güç İndeksi-Drenaj Yoğunluğu-Süreksizlik Yoğunluğu-Arazi Örtüsü-Topografik Eğrilik*

*F: Bozunma-Eğim-Akarsu Güç İndeksi-Drenaj Yoğunluğu-Arazi Örtüsü-Topografik Eğrilik*

Yukarıda verilen tematik erozyon duyarlılık haritalarına bakıldığı zaman, inceleme alanının %60’dan fazla bir kısmının çok düşük erozyon duyarlılığına sahip olduğu ve bu alanların çoğunlukla marn, kıltaşı ve killi kireçtaşı gibi düşük direçli yumuşak kayaların yüzeylendiği alanlar olduğu görülmektedir (Şekil 7.87). Orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık gösteren alanların, eğimin 15 dereceden yüksek, bozunma derecesi yüksek volkanik kökenli kayaların ve az-çok az yoğunlukta bitki örtüsü olduğu bölgelerde yoğunlaştığı izlenmektedir.



Şekil 7.87 A: Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü, topoğrafik eğrilik ve B: Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi parametreleri ile hazırlanmış erozyon duyarlılık haritaları ve bunların litoloji ile ilişkileri (EK 6).

Üretilen erozyon duyarlılık haritalarının birbirleriyle olan ilişkilerine bakıldığında, üretilen duyarlılık haritalarının benzerlik oranlarında da bir azalmanın olduğu görülmektedir (Tablo 7.37). Bu durumun, kullanılan parametrelerden mi yoksa yöntemden mi kaynaklandığı düşünüldüğünde, yöntemlerin, uygulamayı farklı ele alışlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, aynı parametrelerden aynı amaç için üretilen iki harita arasındaki benzerliğin çok düşük olmasının, kullanılan harita üretim yöntemlerinden kaynaklandığı ilk akla gelen neden olarak görülmektedir.

Yukarıda belirtilen iki konuyla ilgili ayrıntılı tartışma, Bölüm 8’de tartışmalar kısmında ele alınacaktır.

Tablo 7.37 Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi ile oluşturulan erozyon duyarlılık haritaları arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi.

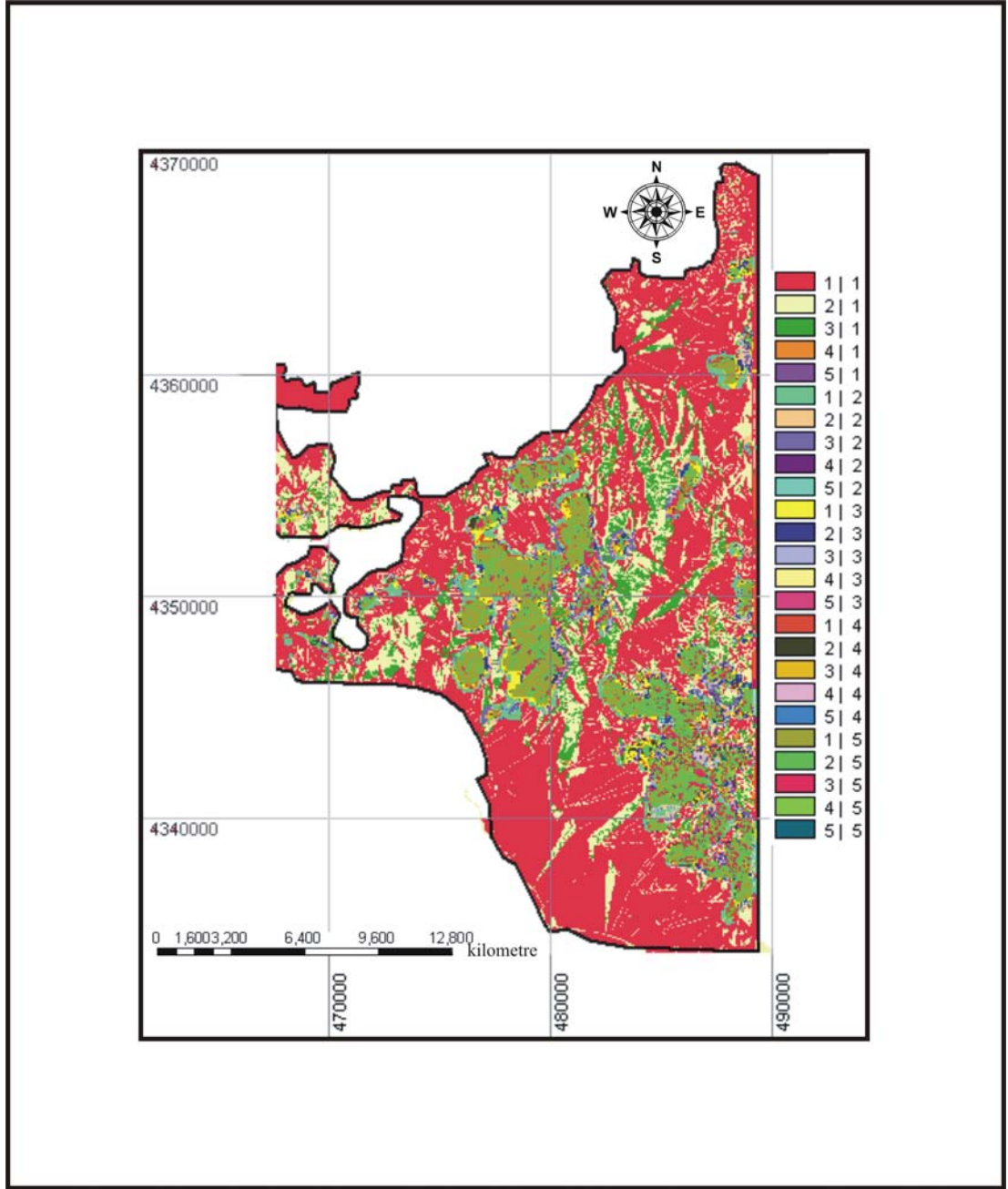
SONUÇ HARİTALARI	LR1	LR2	LR3	LR4	LR5	LR6	LR7	LR8
ÇÖKA1	0.46	0.55	0.49	0.43	0.21	0.22	0.21	0.48
ÇÖKA2	0.47	0.52	0.44	0.41	0.18	0.19	0.18	0.41
ÇÖKA3	0.51	0.49	0.38	0.37	0.17	0.18	0.17	0.37
ÇÖKA4	0.46	0.55	0.49	0.44	0.21	0.22	0.21	0.48
ÇÖKA5	0.51	0.49	0.38	0.37	0.17	0.18	0.17	0.38
ÇÖKA6	0.55	0.47	0.31	0.40	0.17	0.18	0.17	0.39

### 7.6.1 Çapraz Karşılaştırma/Çapraz Tablolama

İki sayısal görüntü arasındaki değişim analizi, IDRISI Kilimanjaro yazılımında “CROSSTAB” menüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çapraz sınıflandırma tablosu hangi sınıfların aynı kaldığını, hangi sınıfların değiştiğini gösteren frekans verilerini göstermektedir. Bu karşılaştırmanın sonucunda Kappa Benzerlik İndeksi (KIA) hesaplanıp, iki harita arasındaki benzerlik derecesi ifade edilmektedir. KIA değeri iki haritanın hem tüm benzerlik (overall), hem de her bir sınıf bazında benzerliklerinin ifade edilmesi için hesaplanmaktadır.

Buna göre hem lojistik regresyon, hem de çok ölçütlü karar analizi ile elde edilen erozyon duyarlılık haritalarına ait çapraz karşılaştırmalar yapılmış, karşılaştırma sonucunda elde edilen “karşılaştırma haritaları” Şekil 7.88’den Şekil 7.87’ye kadar, hesaplanmış sınıf benzerlik oranları ve Kappa Benzerlik İndeksleri (KIA) ise Tablo 7.38’den Tablo 7.41’e kadar sunulmuştur. KIA değerlerinin hesaplanmasına ilişkin bilgi daha önce Bölüm 6.4.2.1’de verilmiştir. Burada, KIA değerleri hesaplanırken, bir haritanın referans olarak düşülmesi gerektiğinden ve inceleme alanına ait doğrudan arazi gözlemlerine tabanlı bir erozyon duyarlılık haritası bulunmadığından dolayı çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) yöntemiyle elde edilen harita, arazi gözlemleri ve uzman deneyimine bağlı olarak üretilmiş olması nedeniyle referans harita olarak alınmıştır.

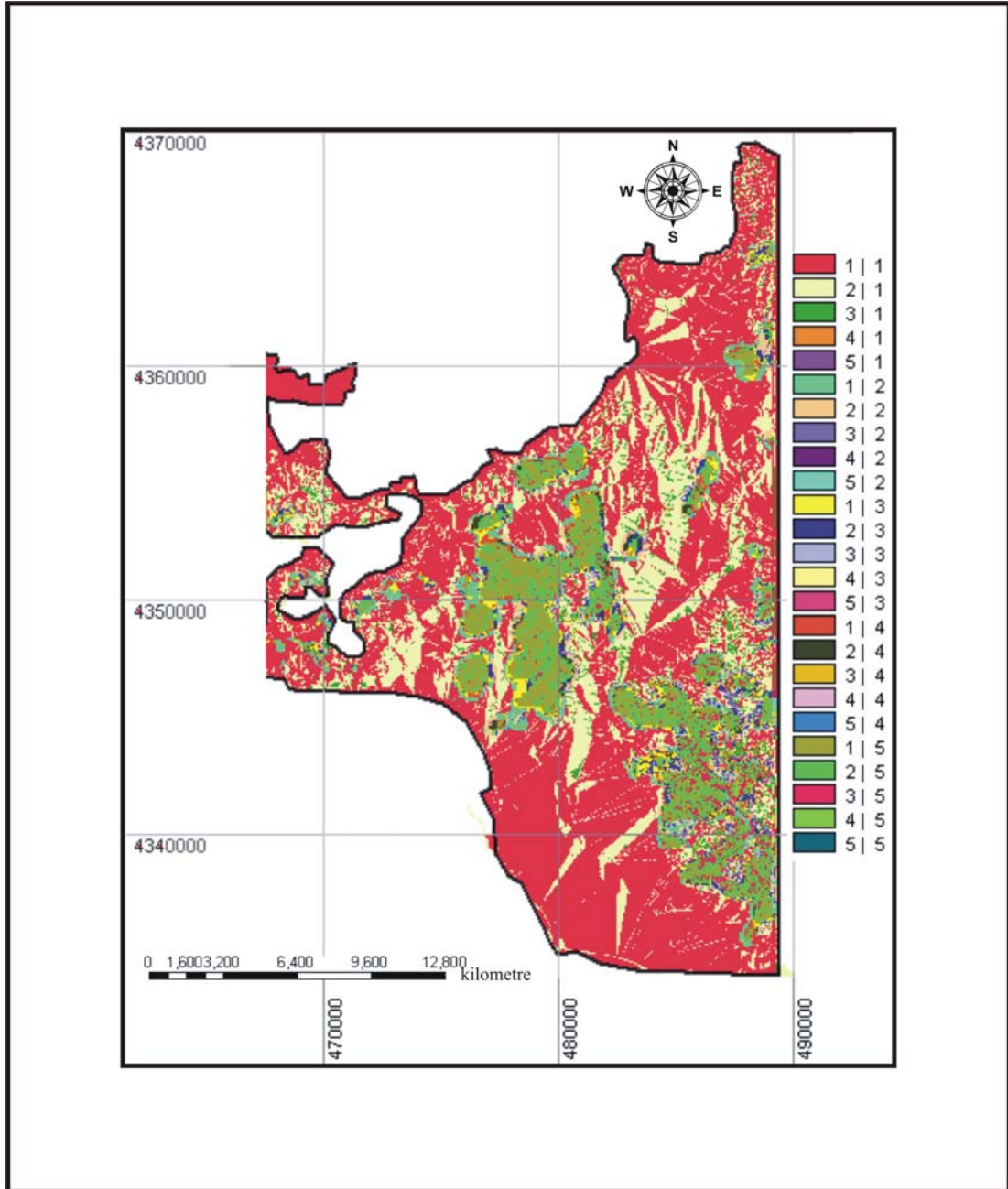




Şekil 7.88 Bozunma derecesi, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu ve arazi kullanım parametrelerine göre elde edilen haritaların çapraz karşılaştırması.

Tablo 7.38 Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi sonuçlarına göre elde edilen çapraz karşılaştırma sonuçları (KIA: Kappa Index of Agreement).

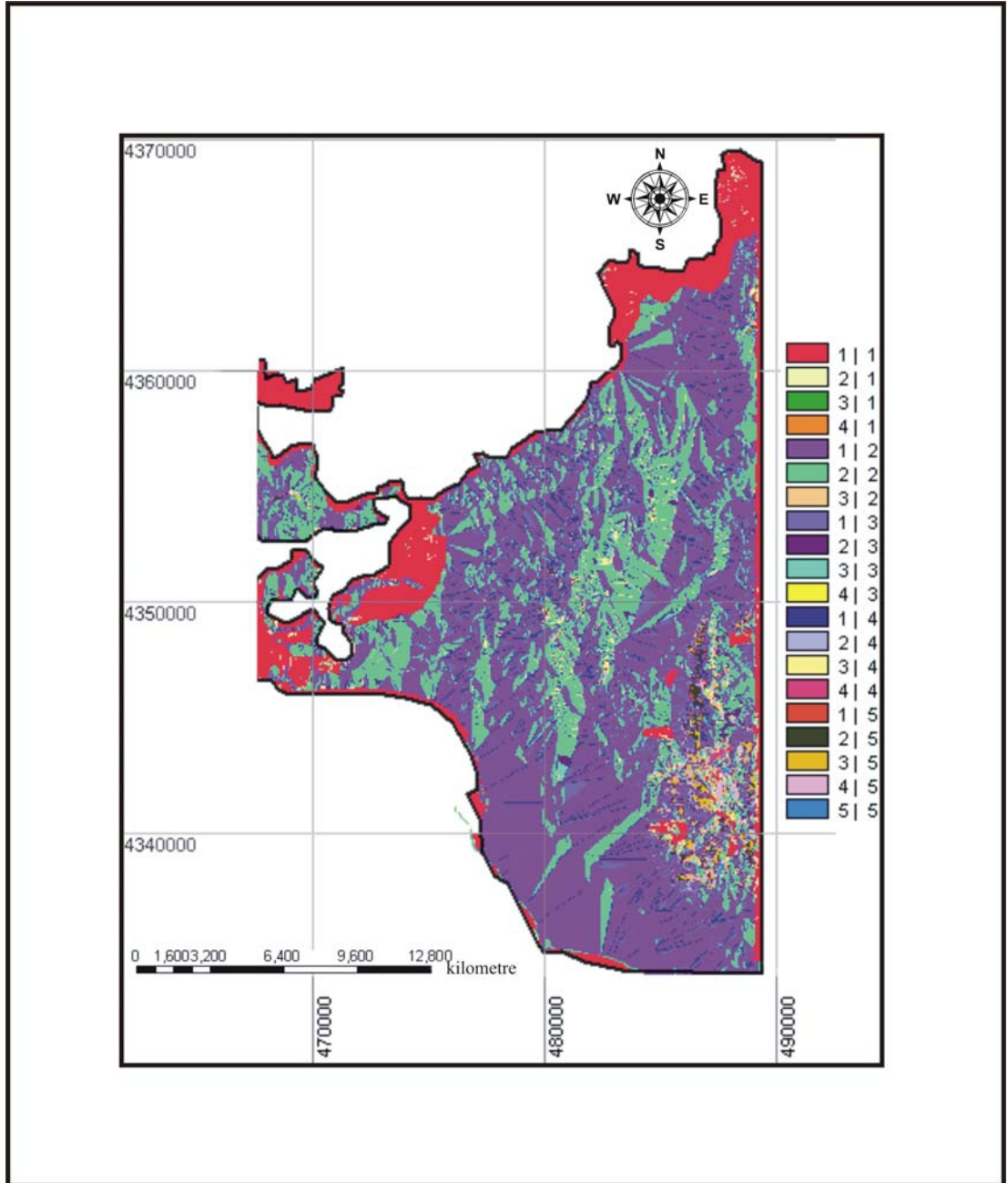
<b>Duyarlılık Sınıfları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
<b>1</b>	0.8300	0.0580	0.0254	0.0020	0.0001	0.9155	0.4549
<b>2</b>	0.0101	0.0053	0.0035	0.0005	0.0000	0.0195	0.0448
<b>3</b>	0.0059	0.0044	0.0017	0.0003	0.0001	0.0123	0.0307
<b>4</b>	0.0022	0.0019	0.0018	0.0004	0.0000	0.0064	0.0766
<b>5</b>	0.0218	0.0145	0.0077	0.0020	0.0004	0.0463	0.6391
<b>Toplam</b>	0.8700	0.0841	0.0402	0.0051	0.0005	1.0000	<b>Overall</b>
							<b>Kappa:</b> 0.1945



Şekil 7.89 Bozunma derecesi, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, arazi kullanım ve topoğrafik eğrilik parametrelerine göre elde edilen haritaların çapraz karşılaştırması.

Tablo 7.39 Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi sonuçlarına göre elde edilen çapraz karşılaştırma sonuçları (KIA: Kappa Index of Agreement).

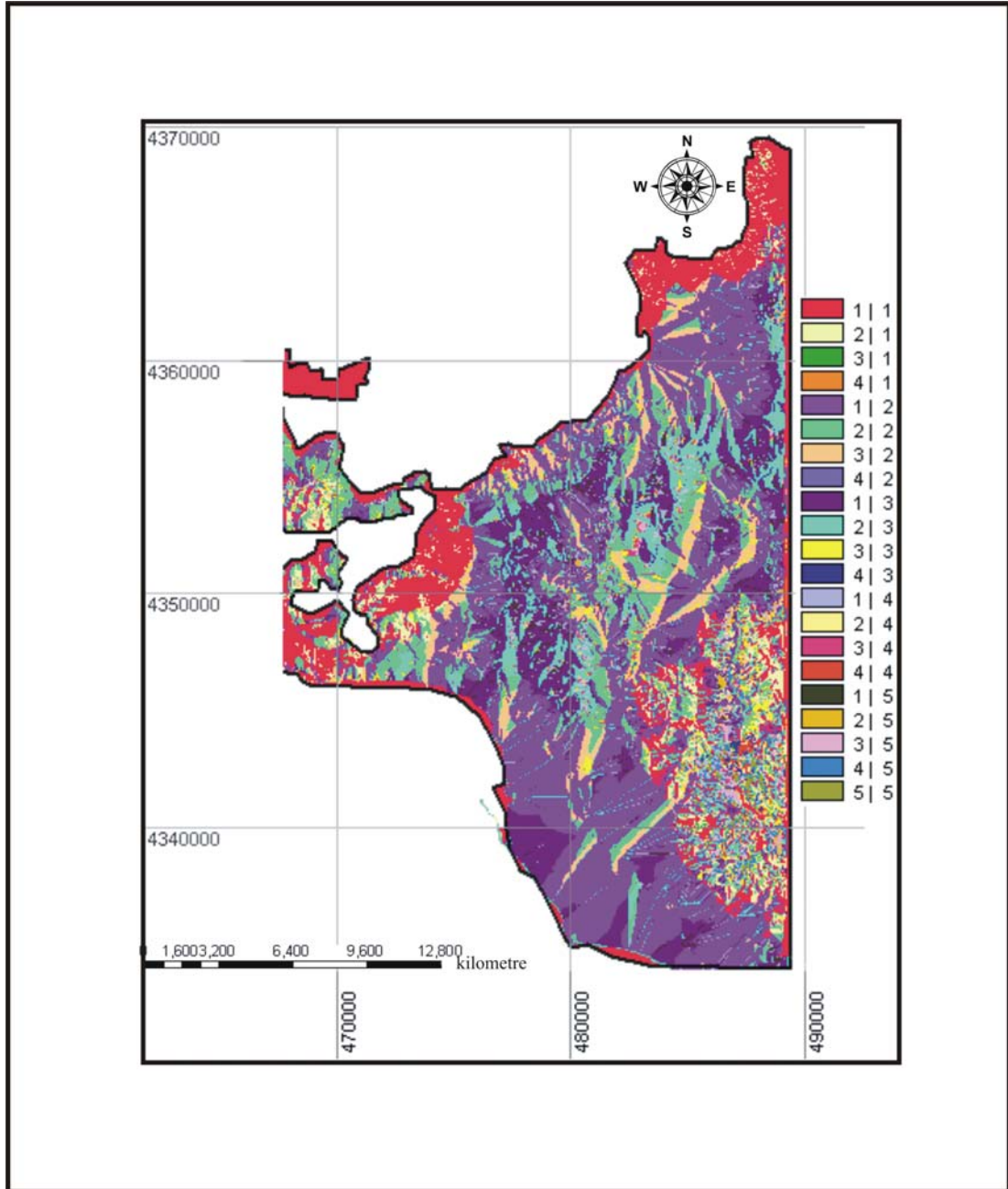
<b>Duyarlılık Sınıfları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
<b>1</b>	0.8333	0.0709	0.0097	0.0009	0.0000	0.9149	0.4438
<b>2</b>	0.0107	0.0773	0.0019	0.0004	0.0000	0.0203	0.0518
<b>3</b>	0.0060	0.0050	0.0012	0.0002	0.0000	0.0124	0.0492
<b>4</b>	0.0026	0.0026	0.0010	0.0002	0.0000	0.0065	0.0497
<b>5</b>	0.0221	0.0164	0.0057	0.0014	0.0001	0.0458	0.4966
<b>Toplam</b>	0.8747	0.1023	0.0196	0.0032	0.0002	1.0000	<b>Overall</b>
							<b>Kappa:</b> 0.1945



Şekil 7.90 Bozunma derecesi, eğim ve akarsu güç indeksi parametrelerine göre elde edilen haritaların çapraz karşılaştırması.

Tablo 7.40. Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi sonuçlarına göre elde edilen çapraz karşılaştırma sonuçları (KIA: Kappa Index of Agreement).

<b>Duyarlılık Sınıfları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
<b>1</b>	0.7123	0.0030	0.0000	0.0001	0.0000	0.7154	0.2840
<b>2</b>	0.1512	0.0714	0.0008	0.0000	0.0000	0.2234	0.7545
<b>3</b>	0.0199	0.0096	0.0042	0.0001	0.0000	0.0338	0.2810
<b>4</b>	0.0109	0.0020	0.0055	0.0009	0.0000	0.0193	0.2674
<b>5</b>	0.0003	0.0021	0.0031	0.0021	0.0004	0.0081	1.0000
<b>Toplam</b>	0.8946	0.0883	0.0136	0.0031	0.0004	1.0000	<b>Overall Kappa:</b> 0.3795

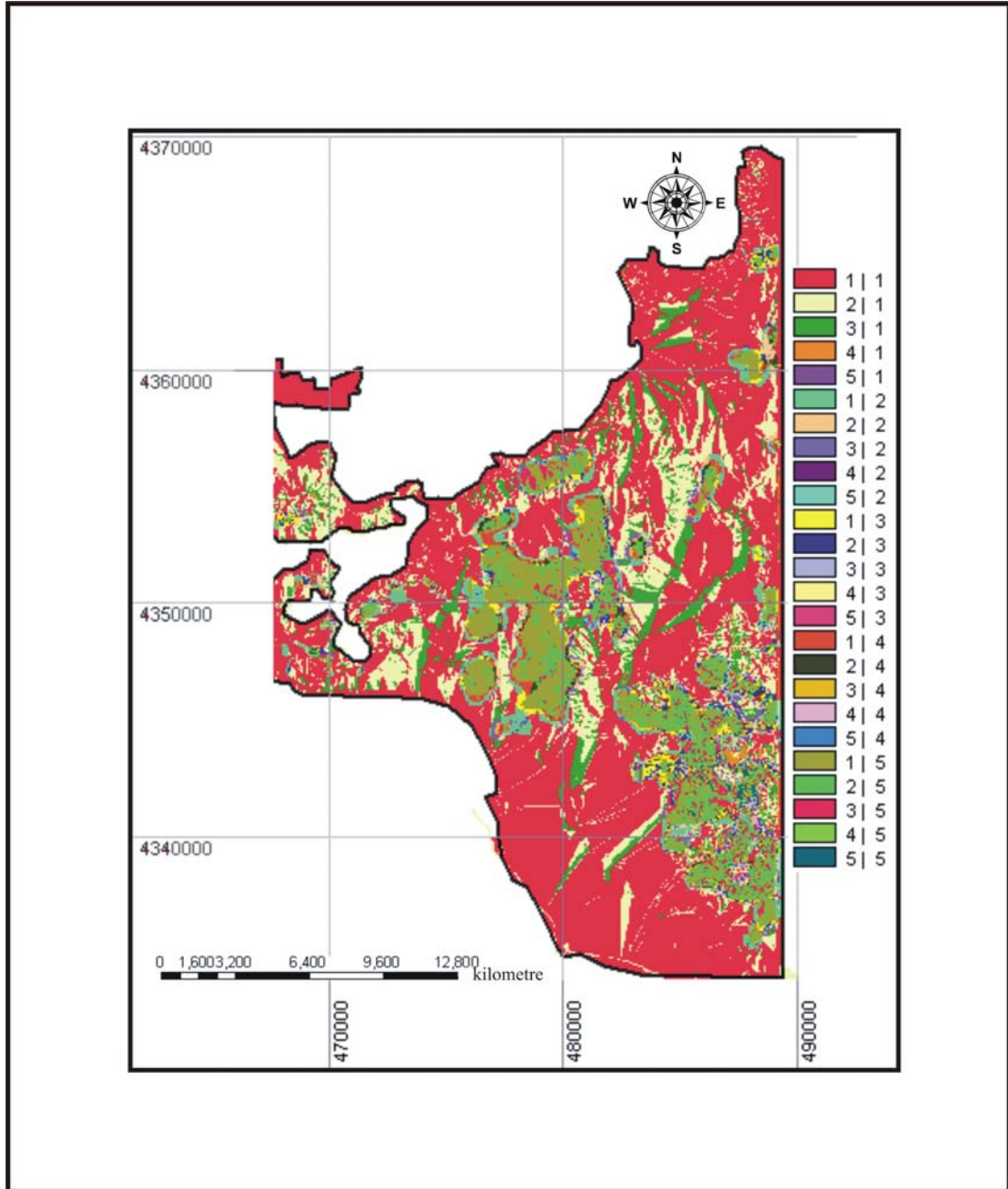


Şekil 7.91 Bozunma derecesi, eğim, akarsu güç indeksi ve drenaj yoğunluğu parametrelerine göre elde edilen haritaların çapraz karşılaştırması.

Tablo 7.41 Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi sonuçlarına göre elde edilen çapraz karşılaştırma sonuçları (KIA: Kappa Index of Agreement).

<b>Duyarlılık Sınıfları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
<b>1</b>	0.7212	0.0130	0.0004	0.0001	0.0000	0.7346	0.3085
<b>2</b>	0.1099	0.0342	0.0196	0.0000	0.0000	0.1637	0.3448
<b>3</b>	0.0430	0.0259	0.0072	0.0008	0.0000	0.0769	0.1379
<b>4</b>	0.0056	0.0015	0.0042	0.0014	0.0000	0.0128	0.2972
<b>5</b>	0.0035	0.0011	0.0040	0.0023	0.0001	0.0120	1.0000
<b>Toplam</b>	0.8833	0.0757	0.0354	0.0046	0.0010	1.0000	<b>Overall Kappa:0.3006</b>

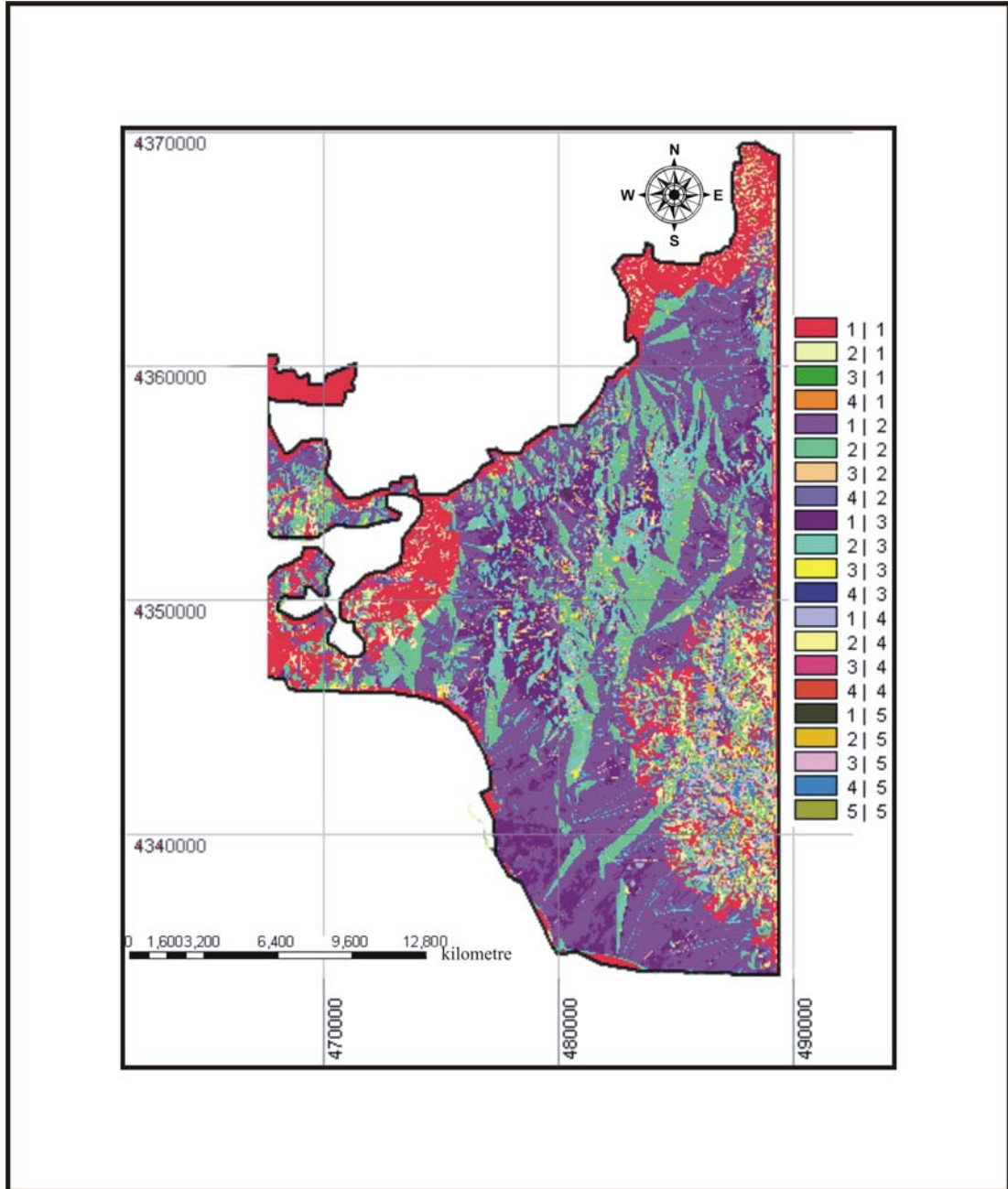




Şekil 7.92 Bozunma derecesi, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu ve süreksizlik yoğunluğu parametrelerine göre elde edilen haritaların çapraz karşılaştırması.

Tablo 7.42 Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi sonuçlarına göre elde edilen çapraz karşılaştırma sonuçları (KIA: Kappa Index of Agreement).

<b>Duyarlılık Sınıfları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
<b>1</b>	0.8383	0.0560	0.0244	0.0016	0.0001	0.9150	0.9150
<b>2</b>	0.0111	0.0053	0.0031	0.0005	0.0001	0.0200	0.0200
<b>3</b>	0.0050	0.0036	0.0009	0.0004	0.0001	0.0100	0.0100
<b>4</b>	0.0034	0.0025	0.0015	0.0004	0.0000	0.0078	0.0078
<b>5</b>	0.0247	0.0133	0.0066	0.0018	0.0007	0.0471	0.0471
<b>Toplam</b>	0.8825	0.0753	0.0365	0.0046	0.0010	1.0000	<b>Overall</b>
							<b>Kappa:0.1898</b>



Şekil 7.93 Bozunma derecesi, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, arazi kullanım ve topoğrafik eğrilik parametrelerine göre elde edilen haritaların çapraz karşılaştırması.

Tablo 7.43 Lojistik regresyon ve çok ölçütlü karar analizi sonuçlarına göre elde edilen çapraz karşılaştırma sonuçları (KIA: Kappa Index of Agreement).

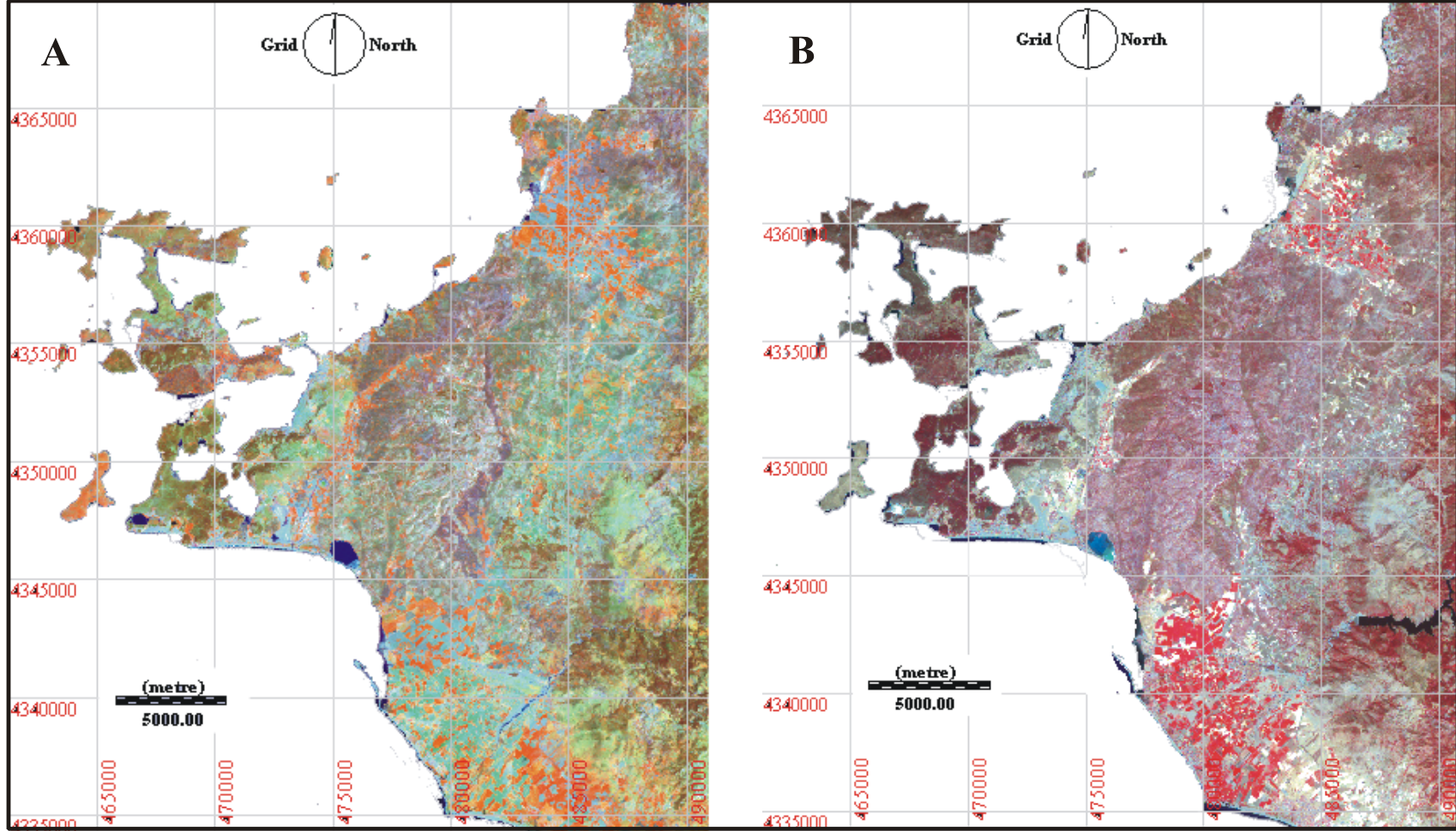
<b>Duyarlılık Sınıfları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
<b>1</b>	0.7197	0.0128	0.0006	0.0000	0.0000	0.7330	0.3339
<b>2</b>	0.1117	0.0501	0.0030	0.0000	0.0000	0.1649	0.3898
<b>3</b>	0.0401	0.0289	0.0055	0.0002	0.0000	0.0746	0.2275
<b>4</b>	0.0029	0.0070	0.0048	0.0005	0.0000	0.0152	0.1354
<b>5</b>	0.0009	0.0035	0.0053	0.0024	0.0000	0.0123	1.0000
<b>Toplam</b>	0.8753	0.1023	0.0191	0.0031	0.0002	1.0000	<b>Overall Kappa:0.3410</b>

### **7.7 Arazi Örtüsü'nün Zamansal Değişimi ve Erozyon Gelişimi**

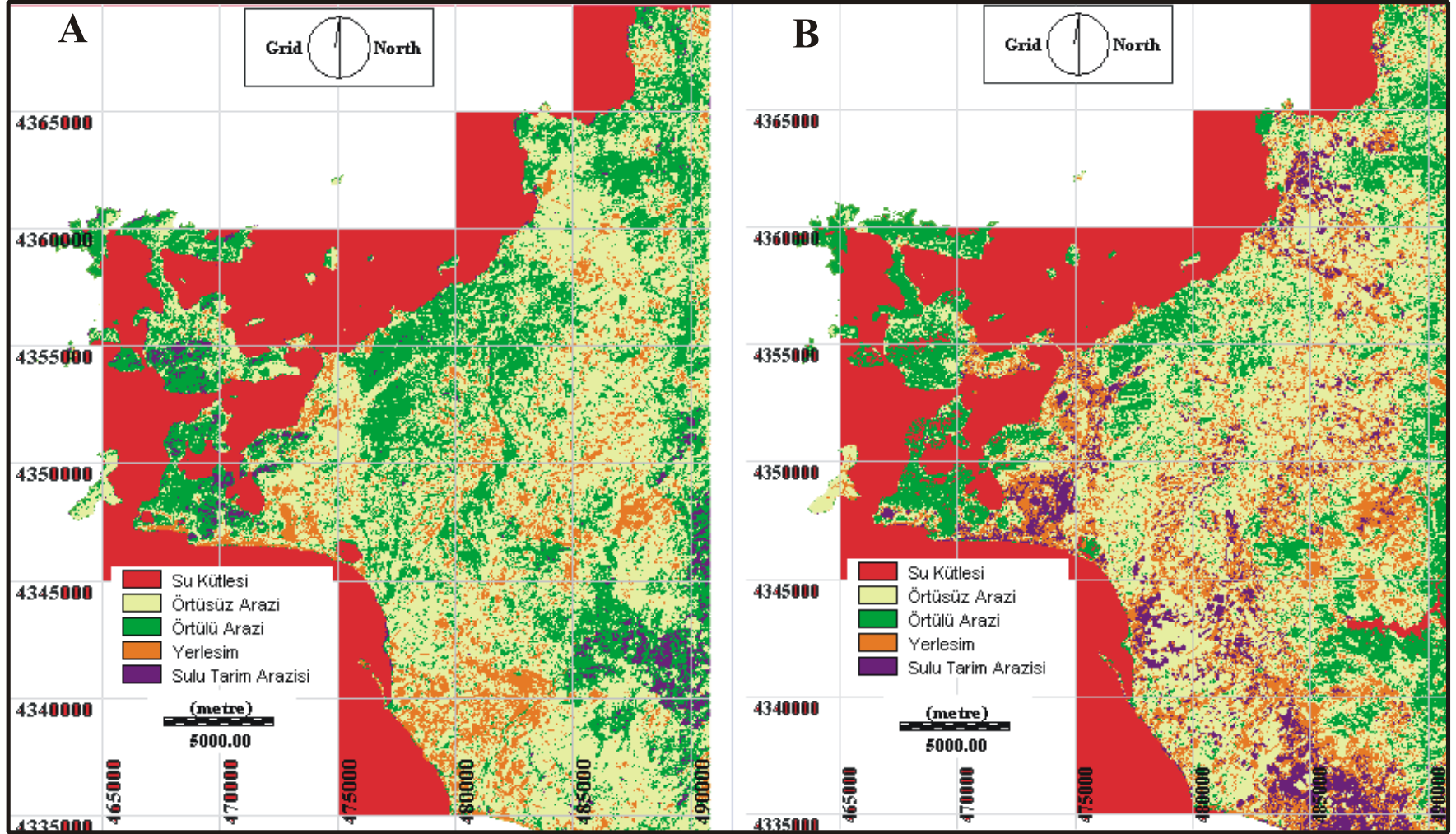
İnceleme alanında zamana bağlı gelişen arazi örtüsü değişiminin ve buna bağlı olarak erozyon gelişiminin irdelenmesi amacıyla 17 senelik bir zaman dilimi dikkate alınmış ve bu zaman dilimini temsil eden uydu görüntüleri kullanılmıştır.

İnceleme alanına ait 05.11.1987 tarihinde alınmış Landsat 5 TM ve 03.10.2004 tarihinde alınmış Aster Level 3A0 uydu görüntüleri kullanılarak (Şekil 7.94), arazi örtüsünde ve morfolojide gözlenebilen değişimler irdelenmiştir.

Bunun için, her iki görüntü seti kullanılarak “denetimsiz sınıflandırma (unsupervised classification)” yöntemiyle arazi örtüsü sınıfları tespit edilmiş, elde edilen iki sınıflandırılmış görüntü üzerinde çapraz karşılaştırma ve lineer regresyon ilişkileri ile iki dönem arasında arazi örtüsü üzerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.



Şekil 7.94 A) 05.11.1987 tarihinde alınmış Landsat 5 TM (R=4, G=5, B=3) ve B) 03.10.2004 tarihinde alınmış Aster 3AO (R=3,G=2,B=1) uydu görüntüleri.



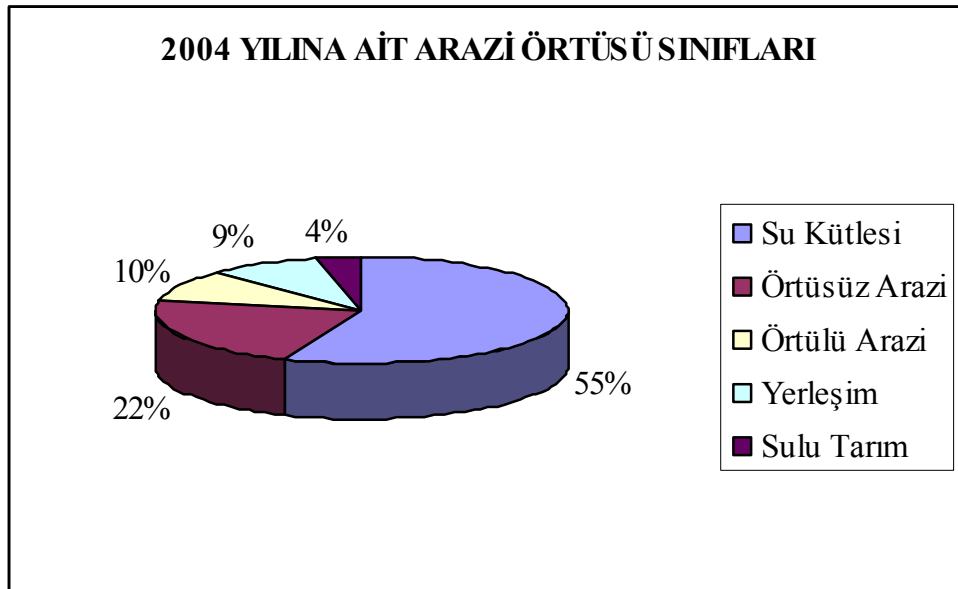
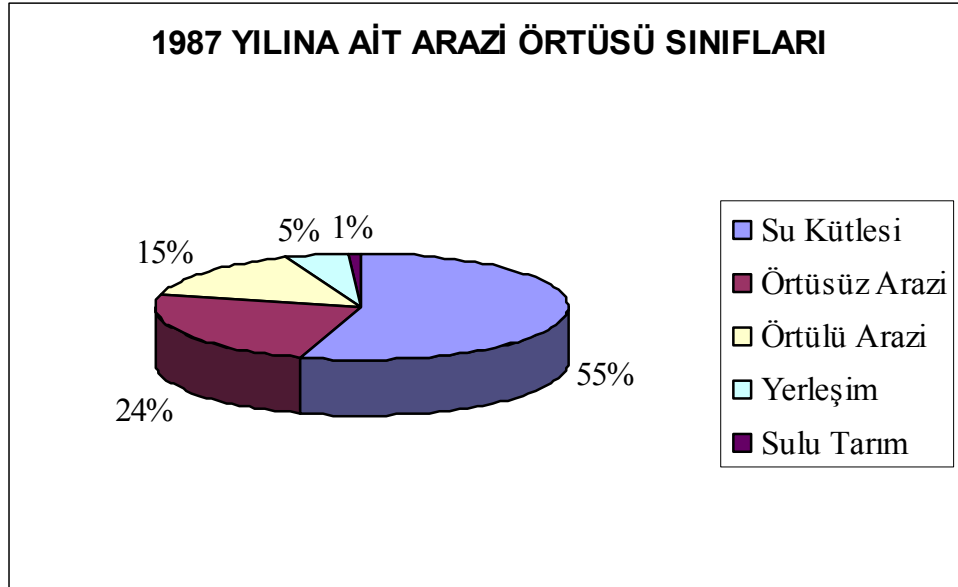
Şekil 7.95 A: 05.11.1987 yılına ait Landsat 5 TM görüntüsüne ait ve B: 03.10. 2004 yılına ait ASTER 3A0 görüntüsüne ait denetimsiz sınıflandırma ile ayırt edilmiş arazi örtüsü haritaları.

Aster uydu görüntüsü'nün 15 m yersel çözünürlüklü görünür yakın kızılötesi (visible near infrared) bantları (1., 2. ve 3. bantlar) ve Landsat 5 TM uydu görüntüsünün ise 30 m yersel çözünürlüklü 3, 4 ve 5. bantları kullanılmıştır. Sınıflandırma sonrası istatistiksel karşılaştırma yapılabilmesi için her iki görüntü setinin aynı konumsal çözünürlüğe getirilmesi gerekliliği nedeniyle Aster görüntüsüne ait bantlar ENVI 4.0 uzaktan algılama yazılımı kullanılarak 30 m olarak yeniden düzenlenmiştir. Sınıflandırma, Idrisi Kilimanjaro CBS ve uzaktan algılama yazılımında gerçekleştirilmiştir. Denetimsiz sınıflandırma ile 1987 ve 2004 yıllarına ait 5 arazi örtüsü sınıfı ayırtlanmıştır. Sınıflandırma sonucunda ayırtlanan bu sınıflar, su kütlesi, örtüsüz arazi, örtülü arazi, yerleşim ve sulu tarım olarak isimlendirilmiş ve arazi çalışmaları ile teyit edilmiştir (Şekil 7.95). Sınıflandırma sonucunda elde edilen sınıflandırılmış görüntüler ASCII formatına dönüştürülerek Statistica 6.0 istatistik yazılımına aktarılmış ve burada her iki sınıflandırılmış görüntü arasındaki korelasyon katsayısı % 63 olarak belirlenmiştir. Ayırt edilen sınıfların inceleme alanında kapladıkları alansal yüzde değerleri Şekil 7.96' da verilmiştir. Elde edilen iki arazi örtüsü haritası arasındaki alansal değişimleri ortaya koyabilmek amacıyla çapraz karşılaştırma yöntemi de uygulanmış, iki harita arasındaki benzerlik Kappa indeks değerine göre ortaya konulmuştur (KIA = 0.56).

17 senelik zaman dilimi içindeki değişimlere bakıldığında zaman, 1987 yılından 2004 yılına kadar yerleşim ve sulu tarım arazilerinde bir artışın, örtüsüz ve örtülü arazilerde ise bir artışın olduğu belirlenmiştir. Örtüsüz arazilerin büyük bir kısmının yerleşim alanına dönüştüğü, geri kalan kısımda ise bitki örtüsünün artmış olduğu görülmektedir (Şekil 7.96). Sulu tarım arazilerinin 2004 yılında artış gösterdiği, 1987 yılında örtüsüz arazi olarak tespit edilen alanların yerleşim ile benzer biçimde sulu tarım arazisine dönüştüğü göze çarpmaktadır. Özellikle tarım arazilerindeki artışın yamaç eğiminin 5-10 derece arasında olduğu bölgelerde (inceleme alanının orta kısımları) litolojinin'de nispeten düşük dirençli (marn, killi kireçtaşı gibi) olduğu alanlara karşılık gelmesi, bu bölgelerdeki erozyon gelişimini hızlandırıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. İnceleme alanının güneydoğusuna bakıldığında bu kısımlarda örtüsüz arazilerin diğer alanlara oranla daha fazla geliştiği, bu nedenle de erozyon sürecine daha duyarlı geldiğinden söz edilebilir. Bahsedilen bu alanların,



daha önceki bölümlerde duyarlılık analizi yapılan bölgelerle karşılaştırıldığında, erozyon duyarlılığının yüksek ve çok yüksek olduğu alanlarla örtüşmekte oldukları da göze çarpmaktadır.



Şekil 7.97 1987 ve 2004 yıllarına ait arazi örtüsü sınıflarına ait alansal dağılım değerleri.

Tablo 7.44 1987 ve 2004 yıllarına ait arazi örtüsü sınıflarındaki değişimleri gösteren Çapraz karşılaştırma sonuçları ve Kappa Benzerlik İndeksi(KIA) (Yatay sınıflar 2004, Düşey Sınıflar 1987 yılına aittir).

<b>Arazi Sınıfları</b>	1	2	3	4	5	<b>Toplam</b>	<b>KIA</b>
1	0.4729	0.0042	0.0081	0.002	0.0019	0.4891	0.9358
2	0.0034	0.1364	0.0762	0.0237	0.0041	0.2438	0.4059
3	0.0052	0.0387	0.0792	0.0041	0.0178	0.145	0.4448
4	0.0013	0.0553	0.0148	0.015	0.0006	0.0869	0.1238
5	0.0005	0.024	0.0047	0.0058	0.0001	0.0351	-0.0210
<b>Toplam</b>	0.4832	0.2587	0.183	0.0506	0.0245	1	<b>Overall Kappa:</b> 0.5569

### 7.8 Morfolojik Değişim ve Erozyon Gelişimi

İnceleme alanındaki morfolojik değişimlerin belirlenmesi amacıyla, Landsat 5 TM ve Aster 3A0 görüntüleri üzerine matematiksel morfolojik filtre uygulanarak aşınmış ve aşınma potansiyeli olan alanların belirlenmesi hedeflenmiştir. Matematiksel morfoloji filtrelemesi, biçime dayalı olarak dijital görüntüleri işleyen lineer olmayan bir görüntü işleme algoritmasıdır. Bu yöntemin temel amacı, geometrik yapıların sayısal bir formata dönüştürülmesidir (Haralick, Sternberg ve Zhuang, 1987). Bunun için ENVI 4.0 yazılımının “Convolution and Morphology Tool” yardımcı menüsü kullanılmıştır. Bu menüde yer alan “erode” filtreleme algoritması yardımıyla aşınmış ve aşınması muhtemel alanlar belirlenmiştir. Bu filtreleme yöntemi, incelenen dijital görüntü üzerinde yer alan yapısal unsurlardan daha küçük olan piksel değerlerini çıkartarak bunları bir ikili (binary) veya gri ölçekli bir görüntü biçimine dönüştürmektedir (ENVI User Guide, 2004). Bu işlemlerden ikili (binary) ölçekte filtreleme işleminin matematiksel ifadesi:

$$\text{Erozyon: } (f \ominus k)(x) = \max_{z \in K} \{f(x+z) - k(z)\} \quad (7.11) \text{ şeklindedir.}$$

Burada  $k(z)$ ,  $K$  kümesinde tanımlanan gri ölçekli yapılandırma eleman fonksiyonudur (Song, Stevenson ve Delp, 1990).

Gri ölçekte filtreleme işleminin matematiksel işlemi ise aşağıda verildiği şekildedir:

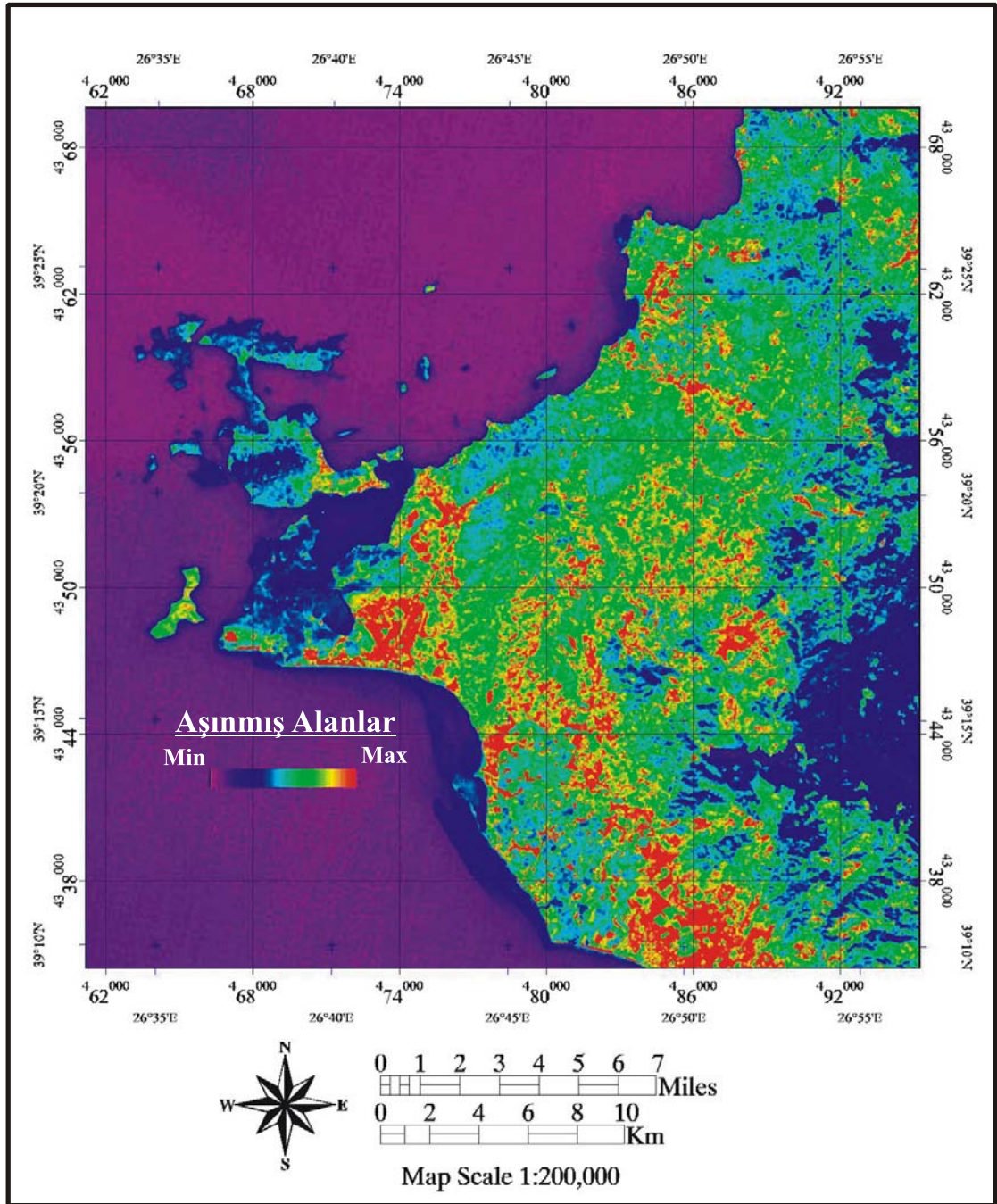
$$\text{Erozyon: } A \ominus K = \{z: K_z \subseteq A\} = \bigcap_{b \in K} A_{-b} \quad (7.12)$$

Burada  $A$  bir binary görüntü,  $K$  binary yapılandırma elemanı,  $A_b$   $K$  kümesindeki  $b$  elemanı yardımıyla  $A$ 'nın dönüştürülmüş şekli ve  $-b$ ,  $b$ 'nin tersi'ni ifade etmektedir.

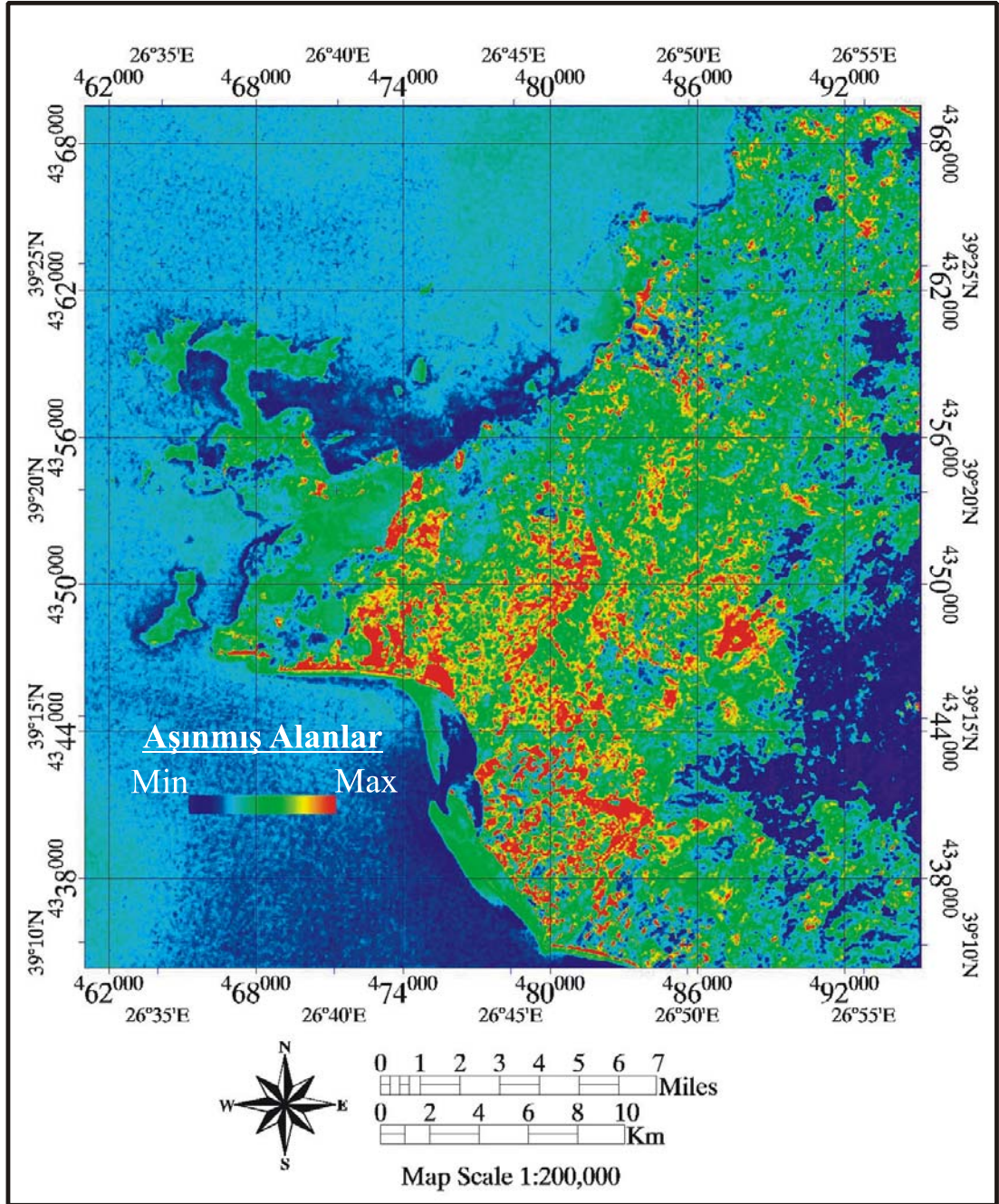
Morfolojik filtreleme işlemi için Aster uydu görüntüsünün 1. bandı ve Landsat 5 TM uydu görüntüsünün ise yine 1. bandı kullanılmıştır. Bu işlem için bant seçilmesi sırasında literatürde spesifik bir öneri bulunmamakla birlikte, kullanılan görüntünün tek bir bant olması istenmektedir (ENVI User Guide, 2004).

Şekil 7.98' de Aster görüntüsü kullanılarak elde edilen ve yapay olarak renklendirilen filtrelenmiş görüntü incelendiğinde, ova ve düz alanlar en fazla aşınmış alanlar (kırmızıya doğru) ve yüksekliğin gittikçe arttığı kısımlar ise minimum (mavi'ye doğru) aşınmış yüzeyler olarak görülmektedir. Deniz olan alanlar ise eflatundan mavi'ye doğru kodlanmış olarak görülmektedir. Bu alanların, inceleme alanına ait sayısal topoğrafya ile karşılaştırılması durumunda, yükselti alanlarının, morfolojik filtreleme ile elde edilen aşınmış alanlarla yüksek bir oranla çakıştığı görülmekte, dolayısıyla morfolojik filtreleme sonucunun başarılı olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

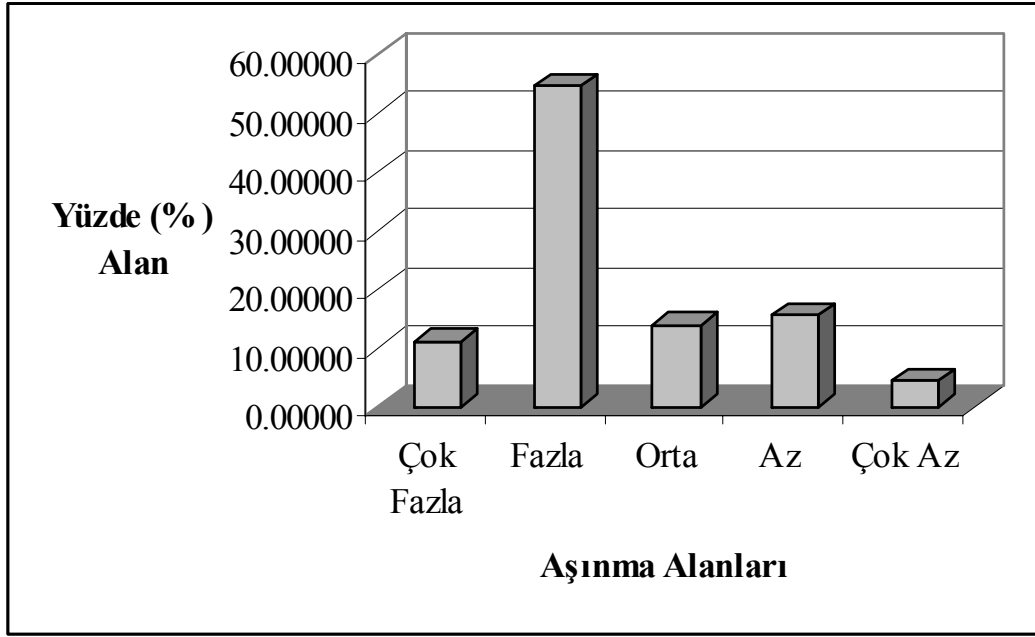
Landsat 5 TM görüntüsü içinde aynı filtreleme işlemi uygulanmış, buna göre aşınmış ve aşınmamış bölgeler bu görüntü seti için de oluşturulmuştur (Şekil 7.99).



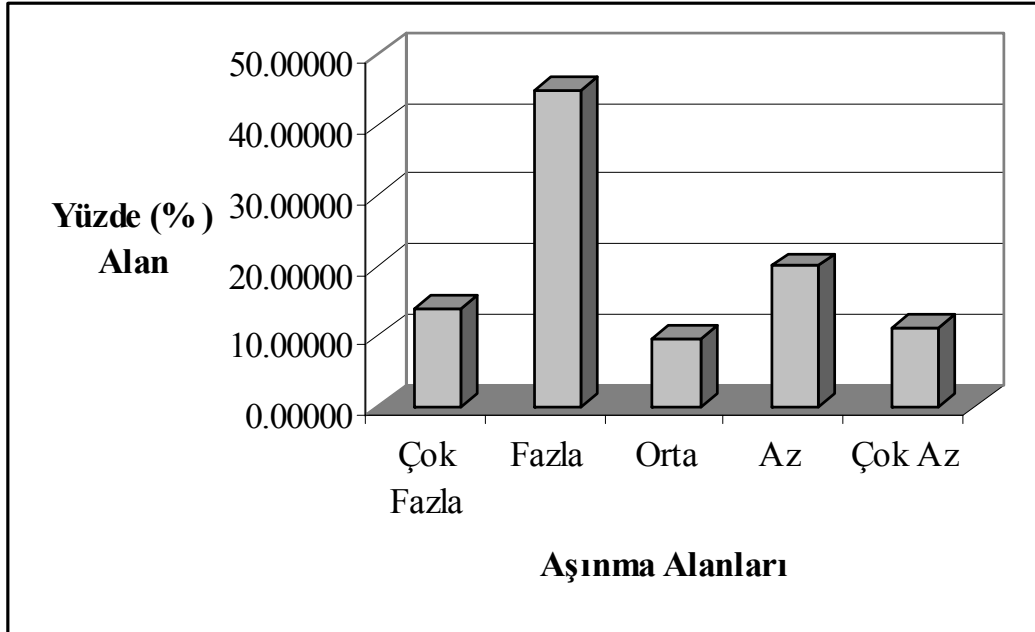
Şekil 7.98 Aster 3A0 görüntüsü üzerine uygulanan morfolojik filtre ile inceleme alanındaki aşınma alanları



Şekil 7.99 Landsat 5 TM görüntüsü üzerine uygulanan morfolojik filtre ile inceleme alanındaki aşınma alanları.



Şekil 7.100 1987 Yılına ait Landsat 5 TM görüntüsünden morfolojik filtrelenmiş görüntünün eş aralıklı sınıflandırma alanlarının dağılım yüzdeleri.



Şekil 7.101 2004 Yılına ait Aster görüntüsünden morfolojik filtrelenmiş görüntünün eş aralıklı sınıflandırma alanlarının dağılım yüzdeleri.

## BÖLÜM 8

### TARTIŞMALAR

#### 8.1 Giriş

Bu bölümde, erozyon ve heyelan duyarlılık analizi sırasında kullanılan yöntem, parametre ve yaklaşımların amaca yönelik kullanılabilirliği, olası hataların neler olabileceği ve bunların nasıl en aza indirgenebileceği, üretilen farklı erozyon ve heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının karşılaştırılması, üretilen haritalardan hangilerinin son kullanıcıya sunulacağı üzerine tartışmalara yer verilmektedir.

#### 8.2 Parametre Seçimi

Erozyon ve heyelan duyarlılık analizi ilgili son yirmi yılda yapılan çalışmalar incelendiğinde, bağımsız parametrelerin seçimlerinde çok sayıda alternatif olduğu görülmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Erozyon ve heyelan duyarlılık analizi için uygun parametre seçilirken, incelenen alandaki heyelan-erozyon ve bu süreçleri kontrol eden etkenlerin ilişkisi, öncelikli ve en önemli konu olarak dikkate alınmalıdır. Literatüre bakıldığı zaman (Tablo 2.3), çalışmaların bütününde jeoloji ve eğim parametreleri hemen hemen bütün çalışmalarda kullanıldığı, yapısal unsurlara (faylara) yakınlık, yamaç yönü, arazi kullanımı/örtüsü gibi faktörlerin de yoğun olarak dikkate alındığı görülmektedir. Burada dikkate alınması gereken önemli hususlardan birisi de tetikleyici faktörlerdir. Yağış ve deprensellik, özellikle heyelan oluşumundaki en önemli tetikleyici faktörlerden biri olmasına karşın, incelenen çalışmaların çok azında bunların kullanıldığı görülmektedir. Bunun temel nedeni, söz konusu faktörlere ilişkin girdi veri olarak kullanılabilir nitelik ve miktarda kayıt altına alınmış bilginin eksikliğidir. Buna karşın, diğer jeolojik, topoğrafik ve çevresel faktörlerin elde edilmesi görece olarak daha kolaydır. Bu nedenle üretilen haritalara tehlike haritası değil, duyarlılık haritası adı verilmektedir. Çünkü bu haritalar, ortamsal koşulları dikkate alarak çalışılan alanları zonlara ayırmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında da litoloji, bozunma dereceleri, eğim, yamaç yönelimi, arazi örtüsü, bitki yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık, süreksizlik hatlarına uzaklık, akarsu güç indeksi, topoğrafik eğrilik ve topoğrafik ıslaklık indeksi, başlangıçta erozyon ve heyelan süreçlerini kontrol edebilecek nitelikteki olası ortamsal parametreler olarak seçilmiştir. İnceleme alanının yağış durumuna dikkate alındığında, meydana gelen heyelanların yağış ile doğrudan bağlantılı olabileceği, bunun yanısıra bölgenin birinci derece deprem bölgesinde yer alması ve sismisitenin yoğun olması nedeniyle deprenselliğin de önemli bir tetikleyici parametre olduğu düşünülmektedir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi, yeterli bilgi ve verinin bulunmaması, diğer bir ifadeyle deprensellik-heyelan gelişimi arasında doğrudan bir ilişkinin varlığının ortaya konulmamasından dolayı, deprensellik parametresi heyelan duyarlılık değerlendirmesinde bir parametre olarak kullanılmamıştır. Bunun yanısıra, inceleme alanında yer alan sadece Ayvalık ve Altınova meteoroloji istasyonlarının bulunması ve dolayısıyla yağış verisinin alansal dağılım açısından kullanılabilir nitelikte olmaması ve bu verinin aslında ortamsal değil, tetikleyici bir faktör olduğu da dikkate alınarak, yağış verisi de heyelan duyarlılık analizinde girdi veri olarak kullanılmamıştır. Bu eksikliği bir ölçüde giderebilmek amacıyla, özellikle heyelan-erozyon ilişkisinde önemli yer tutan drenaj yoğunluğu ve akarsu güç indeksi gibi parametreler kullanılmıştır. Ancak, bu parametrelerin kullanımı, yüzey akışı verisi ile doğrudan karşılaştırılmamalıdır.

İnceleme alanında litolojik parametrelerin yanısıra, bozunma derecesi de ikincil litolojik parametre olarak kullanılmıştır. İnceleme alanındaki heyelan lokasyonlarının ve oyuntu erozyon dokusunun gelişmiş olduğu bölgelerde, bozunma derecelerinin orta-tamamen Bozunmuş arasında olması, bu parametrenin de duyarlılık modellerinde kullanılmasını gerektiğine işaret etmektedir. Bozunma derinliğinin bu modellerde önemli bir veri olduğu bilinmektedir. Ancak bu verinin, yapılan çalışmanın ölçeği ile doğrudan bağlantılı olduğu düşünülmelidir. Çünkü, 400 km<sup>2</sup>'nin üzerinde yüzey alanına sahip bir çalışma sahasında, 1/25.000 ölçekte çalışılması durumunda, bozunma derinliğinin her litoloji için belirlenmesi ve bu verinin haritalanması hemen hemen olanaksızdır. Bu çalışma kapsamında yapılan



bozunma dereceleri haritası yapılırken, dere yatakları ve gözlenen heyelan lokasyonlarındaki ana ve tali aynalar görece bozunma derinlikleri hakkında fikir sahibi olunmasına kısmen de olsa olanak tanımıştır.

Yamaç eğimi hem heyelan hem de erozyon oluşumunu denetleyen en önemli parametrelerden birisidir. Yamaç yönelimi de gerek yağış yönü ve yamacın nemliliği, gerekse güneş radyasyonuna maruz kalma açısından son derece önemli ve dikkate alınması gereken bir parametre olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu verinin kullanımı sırasında, yamaç yöneliminin analizlerde kullanılan diğer hangi parametrelerle birlikte etkili olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, inceleme alanındaki yamaç yönleri ile hakim yağış ve rüzgar esme yönleri arasındaki ilişkinin, erozyon ve heyelan gelişimi ile nasıl bir ilişkide olduğu da dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında erozyon ve heyelan duyarlılık modelleri oluşturulurken, 1964-2001 yılları arasındaki ortalama en yüksek yağış ve rüzgar alma yönleri, erozyon açısından dikkate alınmış ve yamaç yönelim verisi ile ilgili ağırlıklandırma ve bulanık standartlaştırma aşamalarında bu bilgilerden yararlanılmıştır.

Arazi örtüsü ve bitki yoğunluğu parametreleri birlikte değerlendirilebilen parametreler olmasına karşın, bu çalışmada arazi örtüsü ve bitki örtüsü yoğunluğu ayrı birer değişken olarak ele alınmıştır. Arazi örtüsü haritalaması için belirlenen sınıflar içerisinde bitki örtüsü ile ilgili bilginin bulunması kaçınılmazdır. Ancak, bitki örtüsünün yoğunluk açısından bir sınıflandırılmasının yapılması için ayrıca belirlenecek bir bitki örtüsü indeks verisine gereksinim vardır. Bu durumda, bitki örtüsü yoğunluğu-erozyon ve heyelan ilişkisinin daha sağlıklı bir biçimde ortaya konulması mümkün olacaktır. Dolayısıyla, erozyon ve heyelan duyarlılık çalışmalarında, NDVI, TVI gibi bitki örtüsü yoğunluk indeks verilerinin kullanılmasının gerektiği düşünülmektedir. Arazi örtüsü verisi ile belirlenen diğer bilgiler arasında yerleşim, tarımsal uygulama alanları gibi insan faktörünün yer aldığı sınıflar gelmektedir. Bu sınıfların, erozyon ve heyelan gelişimindeki rollerinin gözardı edilemez derecede olduğu düşünüldüğünde, duyarlılık haritalamasında arazi örtüsü parametresinin seçimi büyük önem kazanmaktadır. Ancak burada dikkat

edilemesi gereken bir konu, arazi örtüsü parametresinin nasıl elde edildiğidir. Arazide, doğrudan gözlemsel haritalama kuşkusuz en ideal bilgi elde etme biçimi olarak görülebilir. Ancak, çalışma ölçeği ve incelenen arazinin boyutları göz önüne alındığında, bu işlemi gerçekleştirmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda da, kullanılan hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin kullanımı söz konusu olmaktadır. Tabiki bu noktada da, kullanılan hava fotoğrafının ölçeği, ya da uydu görüntüsünün konumsal ve spektral çözünürlükleri sonucu etkileyen diğer faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle, orta ölçekli çalışmalar için arazi kullanım haritalamasında orta çözünürlükteki (15-30 m gibi) Landsat, Aster, IRS gibi görüntüler etkin sonuçlar verebilmektedir. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan Ikonos, Quickbird, SPOT gibi konumsal çözünürlüğü yüksek olan (0.6 cm-5 m) görüntülerin kullanımı, orta ölçekli çalışmalarda yüksek maliyet gerektirmesi dolayısıyla, orta çözünürlüklü görüntülerin kullanımını daha yaygın kılmaktadır.

Erozyon ve heyelan süreçlerinin gelişmesinde etkin rol oynadığı düşünülen diğer parametre grubu drenaj yoğunluğu ve drenaj hatlarına olan uzaklıktır. Yamaçlarda topuk erozyonuna neden olan yüzey akışı ve bunun sonucunda topuktan yük kalkması neticesinde meydana gelen heyelan, erozyon-heyelan ilişkisini ortaya koyan en iyi örnek olmalıdır. Bu noktada, gerek akış debisinin daha yüksek olduğu ana drenaj kollarının, gerekse yamaçlarda gelişen ve ana kollara malzeme taşınımını sağlayan yan kolların yamaçlarla olan ilişkisi önemli ve hem heyelan, hem de erozyon duyarlılığının tespitinde belirleyici faktör olarak kullanılmalıdır. Burada akla gelebilecek olan bir soru, drenaj yoğunluğu ile drenaj hatlarına uzaklık arasında nasıl bir fark olduğudur. Drenaj yoğunluğu, daha çok litolojik farklılık ve yapısal unsur gelişiminin (süreksizlik hatları gibi) ayırt edilmesinde yardımcı olurken, drenaj hatlarına uzaklık, yukarıda değinildiği gibi yamaç-drenaj hattı ve erozyon-heyelan gelişimi arasındaki ilişkinin ortaya konulmasında yarar sağlamaktadır.

Benzer şekilde süreksizlik hatlarına uzaklık ve süreksizlik yoğunluğu da, erozyon ve heyelan oluşumunda benzer etkinliklere sahiptir. Tektonik aktivitelerin sonucu olarak yoğun süreksizlik oluşumu, litolojik birimlerde zayıf zonların gelişmesine, bu birimlerin fiziksel ve kimyasal bozunma süreçlerine daha duyarlı hale gelmesine,

vadi gelişimi ve bu vadilerin yamaçlarındaki eğim değişimlerinde de önemli etkiye sahiptir. Bu noktada süreksizlik yoğunluğu zonlarının bilinmesi önem oluşturmaktadır. Aktif süreksizlik zonlarının varlığı da, yoğun sismik aktivitenin gelişimine neden olacağından, özellikle heyelan oluşumuna önemli katkıda bulunacaktır. Dolayısıyla, zayıf litolojik birimlerin ve yüksek eğimli yamaçların önemli süreksizlik hatlarına olan uzaklıklarının bilinmesi de önem teşkil etmektedir.

Topoğrafya'nın erozyon ve heyelan gelişimine etkisi yamaç eğimi ve yamaç yönelimi ile başlamaktadır. Ancak, topoğrafik veriden üretilen ve literatürde ikincil topoğrafik veri olarak kabul edilen topoğrafik eğrilik (yamaç şekli), akarsu güç indeksi ve topoğrafik ıslaklık indeksi verileri de erozyon ve heyelan gelişiminin izlenmesinde oldukça dikkate alınması gereken parametreler olarak kullanılmaktadır (Lee, Choi ve Min, 2004; Gökçeoğlu vd., 2005). Yamaç şeklinin iç bükey, düz ya da dış bükey olması, heyelan veya erozyon gelişimini, özellikle yamaca etkiyen gerilme dağılımı üzerinde etkiye sahip olması bu çalışmada dikkate alınmıştır. Akarsu güç indeksi verisi, akarsuların aşındırıcı etkisinin topoğrafik eğime bağlı olarak ifade edildiği, topoğrafik ıslaklık indeksi ise yine yamaç eğimi ve mikrohavza ilişkisine bağlı olarak yamaçların göreceli ıslaklık durumunu ifade eden ikincil topoğrafik veriler olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen tüm bu veriler belirlenirken yapılan ayrıntılı jeolojik, jeomorfolojik ve arazi gözlemleri ile, inceleme alanında erozyon ve heyelan dokusu gösteren lokasyonlarının esas olarak eğim, litoloji, yapısal unsur parametrelerinden etkilendiği ve bu ana parametrelere bağlı türetilebilen ve yukarıdaki paragraflarda katkıları tartışılan ikincil parametrelere bağlı geliştikleri düşünülmüş ve duyarlılık değerlendirmelerinde girdi parametreler olarak seçilmelerine karar verilmiştir.

### **8.3 Yöntem Seçimi**

Erozyon ve heyelan duyarlılık analizi ile ilgili literatürde önerilen bir çok değerlendirme yöntemi olmasına karşın erozyon ve heyelan duyarlılık analizlerinde genellikle istatistiksel ve veri tabanlı yöntemlerin yanı sıra son yıllarda uzman

görüşünü de dikkate alan, zaman zaman yarı-kantitatif olarak da tanımlanan sayısal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin, sonuç elde etmede etkinliğinin hala tartışıldığı ve üzerinde bir görüş birliği sağlanamaması dolayısıyla bu çalışmada, veriye dayalı istatistik yöntemlerden olan lojistik regresyon ve benzerlik oranı ile uzman görüşünü dikkate alan çok ölçütlü karar analizi gibi bir sayısal yöntemin kullanılması ve sonuçlarının karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Erozyon ve heyelan duyarlılık analizlerinde istatistiksel yöntemlerin uygulanabilirliğinde, yeterli miktarda ve güvenilir envanter veri sağlamanın güçlüğü dikkate alındığında, bu envanter verisinin istatistiksel analizlerinin yapılacağı bağımsız verilerin, Diğer bir ifadeyle problemin oluşmasına neden olduğu düşünülen parametrelerin seçimi ve bunların elde edilmesi konusu da gündeme gelmektedir. Bu durum, yukarıda ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Böyle durumlarda, alternatif bir yöntemin seçilmesinin gerektiği de düşünülmelidir. Çünkü, envanter verisinin toplanmasının uzun zaman ve yüksek iş gücü gerektirmesi, çalışmanın zamansal değerlendirmesi açısından zorluklar doğuracağı gibi, maddi anlamda da ciddi güçlüklerin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Mühendislik açısından düşünüldüğünde, bir problemin çözümünün en kısa zamanda, en güvenilir veri ile ve en ekonomik biçimde gerçekleştirilmesi gerekliliği, yöntem seçiminde de titiz ve duyarlı davranılması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.

Uzman görüşüne dayalı sayısal yöntemlerin kullanılmasında da benzer sorunlarla karşılaşılması beklenmelidir. Çünkü, problemin çözülmesinde problem çözücünün, en uygun parametreleri seçmesi ve bunları analizde kullanmaya karar vermesi için ayrıntılı arazi gözlemleri ile erozyon ve heyelan gelişimi, bunlara neden olduğu/olacağı düşünülen parametrelerle ilişkilerini ortaya koymak durumundadır. Son yıllarda, uydu ve uzay teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak büyük ölçekli hava fotoğrafları ve yüksek yersel çözünürlüklü uydu görüntülerinin varlığı, özellikle arazi çalışmaları için ayrılan zaman ve işgücünü önemli ölçüde azaltmakta ve etkin çözümler üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu veri kaynakları, aynı zamanda arazi kullanımı, litolojik haritalama, morfolojik veri elde etme gibi parametre verilerinin elde edilmesinde de büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Tüm bu hususlar dikkate alındığında, problem çözücünün, elinde bulunan olanakları ve gereksinim duyduğu zaman faktörlerini de dikkate alarak, kendisi için en uygun yöntemi seçmelidir. Burada vurgulanması gereken en önemli hususlardan birisi de, problemin iyi tanımlanmış olmasıdır. İyi tanımlanmamış bir problem, çözüm aşaması için gerekli veri ve bilginin nasıl, nereden ve ne şekilde elde edileceği konularının çözümlenmesinde de büyük sorunlara neden olacaktır. Gereğinden çok veri elde edilmesi durumunda zaman ve iş gücü kaybından söz edilebilecek iken, yetersiz veri toplanması ya da problem ile ilgisiz veri ve bilgi elde edilmesi durumunda da yanlış ve gerçeği yansıtmayan sonuçların elde edilmesi durumu ortaya çıkacaktır. Her iki koşulda da, mühendislik anlamda hedeften uzaklaşılması söz konusudur.

Bu çalışma kapsamında da vurgulanan bu husus dikkate alınmış, öncelikli olarak problem tanımlanmış, çözüm için gerekli verilerin neler olabileceği saptanmış, bu verilere en kısa ve en ekonomik olarak nasıl ve nerelerden ulaşılacağı konuları tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılık analizi için gerek arazide ve gerekse uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları kullanarak envanter verisinin elde edilmesi, istatistiksel değerlendirme yönteminin kullanılmasını mümkün kıldığı gibi, uzman görüşüne dayalı, çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) yönteminde ağırlıklandırma işleminin yapılmasına da imkan tanımıştır. Çünkü, ÇÖKA gibi uzman görüşüne dayalı yöntemlerde, öznel karar verilmesinin bu sayede büyük ölçüde önüne geçildiği düşünülmektedir. Böylelikle, farklı bakış açısına sahip iki heyelan duyarlılık değerlendirme yönteminin kullanılması durumunda ne gibi sonuçların elde edilebileceğinin görülmesi ve bu sonuçların birbirleriyle karşılaştırılarak kullanılan yöntemlerin performans analizlerinin yapılması mümkün olmuştur.

Bölüm 2, Tablo 2.3’de verilmiş olan, 1990 yılından 2006 yılına kadar yapılan çalışmalardan seçilen 41 literatürde kullanılan yöntemlere bakıldığında, son 5-6 yıl içerisinde özellikle çoklu regresyon analizi yönteminin kullanımında belirgin bir artış gözlenmektedir. Bunu, bulanık mantık ve yapay zeka uygulamaları izlemektedir. Özellikle bu çalışmalardan ülkemizde yapılanlar incelendiğinde, hemen hepsinin Batı ve Doğu Karadeniz Bölgelerinde gerçekleştirildiği, çalışılan alanlara ait envanter

verisinin bulunduğu, dolayısıyla envanter verisi gerektiren çoklu regresyon yönteminin kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Bu gelişmenin, envanter haritalamasının, gelişen uydu teknolojilerinin ürettiği yüksek çözünürlüklü görüntüler yardımıyla etkin biçimde yapılabilir olmasından dolayı, daha kısa zamanda ve daha kolay kolay yapılabilme imkanından kaynaklandığı düşünülebilir. Çünkü, yüzlerce kilometre karelik bir arazide yüzlerce heyelan lokasyonunun belirlenmesi ve bunların değerlendirilmesi için zaman ve iş gücü açısından oldukça güç imkanların aşılması gereklidir.

#### **8.4 Girdi Veri Üretimi**

Yukarıda bahsedilen parametrelerin elde edilebilmesi için üç ana veri bileşeni gerekmektedir: Jeolojik veri, Topoğrafik veri ve Uzaktan Algılama verisi. Bu üç verinin bir uyum içerisinde değerlendirilebilmesi ise önemli bir konuyu oluşturmaktadır. Birinci adımda, oluşturulacak tüm verilerin ortak veri formatında olması ve bu veri formatında ortak bir büyüklüğe sahip olmaları gerekmektedir. Bu nedenle, veri formatı “raster” olarak bilinen grid ya da hücre formatı, birim hücre büyüklüğü Diğer bir ifadeyle konumsal çözünürlük ise 30x30 m olarak seçilmiştir. Bu çözünürlük değeri seçilirken, kullanılan uydu görüntüsünün sahip olduğu konumsal çözünürlük dikkate alınmıştır.

Jeolojik veri üretimi, üç ana parametre grubundan oluşmaktadır: Litolojik birimler, bozunma dereceleri ve süreksizlik hatları. Bu parametrelerin oluşturulması için ayrıntılı arazi gözlem ve çalışmalarından önce uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları incelenmiş, özellikle süreksizlik hatlarının dağılımları büyük oranda bu aşamada belirlenmiştir. Uydu görüntülerine ait farklı spektral özelliklere ait bantlar kullanılarak farklı bant kombinasyonları ile kompozit (birleşik) görüntüler elde edilmiş ve bu görüntüler üzerindeki renk tonlamaları ve farklı drenaj dokularından görsel yorumlamalarla farklı litolojiler algılanmaya çalışılmıştır. Arazi uygulamaları aşamasında, daha önceden MTA tarafından hazırlanmış 1/100.000 ölçekli jeolojik harita dikkate alınarak litolojik sınırlar, 1/25.000 ölçekte topoğrafik harita üzerine aktarılmıştır. Bu veri, sayısal litoloji verisini temsil etmektedir.

Litolojik haritanın derlenmesi ile eş zamanlı olarak, arazide gözlenen birimlerin bozunma dereceleri de yine 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerine aktarılmıştır. İnceleme alanında 10 farklı litolojik biriminin herbiri için 6 bozunma sınıfından 28 bozunma zonu ayırt edilmiştir. Burada her bir birimde ideal bozunma profili taze kayatan kalıntı toprağa kadar gözlenemediğinden 28 bozunma sınıfı haritalanmıştır. Arazide üretilen bozunma dereceleri haritası da yine litoloji haritası gibi sayısallaştırılmıştır. Uydu görüntüleri ile yorumlanan süreksizlik hatları arazi gözlemleri ile doğrulanmış, sayısallaştırılarak Bölüm 6'da anlatıldığı biçimde süreksizlik yoğunluk ve süreksizlik hatlarına uzaklık verileri üretilmiştir.

Üretilen girdi verilerin büyük bir kısmını topoğrafik verilerin oluşturduğu söylenebilir. Sayısallaştırılan topoğrafik haritadan ikincil olarak elde edilen yamaç eğimi, yamaç yönelimi, akarsu güç indeksi, topoğrafik ıslaklık indeksi ve topoğrafik eğrilik (yamaç şekli) verileri ile topoğrafik harita üzerinden doğrudan sayısallaştırılan drenaj hatları ve bundan türetilen yoğunluk ve drenaj hatlarına uzaklık haritalarıdır. Bu verilerin doğrudan 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden üretilmiş olması, verinin güvenilirliğinin yeterli düzeyde olmasını sağlamıştır. Bu verilerin üretimi sırasında seçilen alt parametre sınıflarının mümkün olduğunca arazi koşullarını yansıtmaya, arazide gözlenen erozyon ve heyelan dokusu gösteren lokasyonları ile mantıksal uyum içindeki sınıflar olmasına özen gösterilmiştir.

Uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen veriler arazi örtüsü ve bitki örtüsü yoğunluk parametreleri olup, bu verilerin üretilme yöntemleri Bölüm 6'da ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Burada, arazi kullanım haritası üretilirken, hangi arazi sınıflarının ayırt edilmesi gerektiğinin bilinmesidir. Bu çalışmada CORINE tarafından önerilen arazi sınıflaması dikkate alınmıştır. Bu sınıflamaya bakıldığında, üç ayrıntı düzeyinde arazi sınıflarının ayırt edilmesi önerilmektedir. Ancak, önerilen tüm sınıfların ayırt edilmesi, incelenen problem türüne göre seçilmelidir. Bu noktadan hareketle, çalışma alanında erozyon ve heyelan gelişimine neden olduğu düşünülen sınıflar ayırt edilmeye çalışılmıştır. Bu sınıflar ayırt edilirken, kullanılan

görüntünün spektral yansıma özellikleri nedeniyle birtakım zorluklar yaşanmıştır. Örneğin, yerleşim alanı ile örtüsüz alanların büyük oranda birbirine karıştığı, dolayısıyla sınıflandırılmış görüntüde yerleşim ile örtüsüz arazinin birlikte değerlendirilmesi zorunluluğunu doğurmuştur. Bunun dışında kalan örtüsüz arazi sınıfı ayrıca ayırt edilmiştir. Söz konusu karışmanın nedeni, inceleme alanındaki yerleşim birimlerinin çatıları ile örtüsüz arazideki toprak örtüsünün yansıma değerlerinin birbirlerine çok yakın olmasından ileri gelmektedir. Bu sorunun giderilmesi için sınıflandırmada kullanılan bantlara temel bileşenler analizi ve dekorelasyon germe işlemleri uygulanmasına karşın karışma oranı ancak % 50 oranından bertaraf edilebilmiştir.

Bu sonuç, sınıflandırma performansının değerlendirildiği hata matrisinde de açıkça görülmekte, yerleşim alanının % 55, sadece örtüsüz arazinin ise % 99 başarı oranı ile ayırt edilebildiğini ortaya koymaktadır.

Girdi veri üretilirken tüm verilerin ortak bir koordinat sisteminde konumlandırılması için yapılan rektifikasyon (jeoreferanslama) işlemi, çalışmada kullanılan 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde, ortalama hata oranını ifade eden RMSE (Root Mean Square Error) oranının, kullanılan ölçeğe göre kabul edilebilir oranlarda olması gerekmektedir. Söz konusu rektifikasyon işlemi uygulanan topoğrafik haritalar, uydu görüntüleri, litoloji ve bozunma dereceleri haritaları için seçilen 30 m konumsal çözünürlüğe göre hata oranının en fazla 0.5 piksel (= 15 m) olması sağlanmış, bu değer de kabul edilebilir değer düzeyinde olduğu görülmüştür.

## **8.5 Verilerin Değerlendirilmesi**

### ***8.5.1 Heyelan Duyarlılık Analizlerinin Değerlendirilmesi***

Günümüze kadar yapılan heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında, genel olarak değerlendirme yöntemlerinden birisi seçilmiş ve benzer sayı ve nitelikteki girdi verileri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan sadece birkaçında birden fazla yöntem



kullanılarak, bu yöntemlerin etkinliği ve performansı açısından bir karşılaştırma yapılmıştır (Süzen, 2002; Ercanoğlu, 2002; Lee, 2005; Ayalew vd., 2005; Akgün ve Bulut, 2006). Bu çalışma kapsamında da, literatürde önerilmiş olan veriye dayalı istatistik yöntem ile uzman görüşüne dayalı sayısal analiz yöntemleri karşılaştırılmış ve bu yöntemlerin uygulamadaki sınırlamaları da tanımlamaya çalışılmıştır.

İlk olarak istatistiksel analiz yöntemlerinden, çok değişkenli istatistik yöntemlerinden biri olan lojistik regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile heyelan duyarlılık haritası üretimi üzerine son 5 yılda birçok çalışma yapılması, bu yöntemin etkinliğini açısından önemli bir sonuçtur. Ancak uygulama aşamasında, birtakım sorunlarla karşılaşılması da mümkündür. Örneğin, lojistik regresyon yönteminde, bağımsız değişkenlerine ait sınıfların seçiminde tartışma yarattığı için, kullanılan bağımsız değişkenlerin sürekli veriler olması istenmesine karşın Atkinson ve Massari (1998), Dai vd. (2001), Lee (2005), Ayalew vd. (2005) ve Akgün ve Bulut (2006), kategorik verilerin de lojistik regresyon analizinde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışma sırasında, lojistik regresyon analizinde kullanılan parametreler genellikle bulanık matematikte kullanılan üyelik dereceleri kullanılarak standartlaştırılmış ve veriler sürekli hale dönüştürülmüştür. Bir diğer ve önemli sorun, lojistik regresyon sırasında gerçekleştirilen örnekleme veya kontrol spesifikasyonlarının uygulanmasıdır. King ve Zeng (2001), olağan lojistik regresyon yönteminin, (1) olayının, (0) olayına göre çok az sayıda yer aldığı durumlarda olasılık değerinin net bir şekilde tahmin edilemediğini ifade etmiştir. Bu durum, literatürde “nadir olay (rare event)” olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da aynı sorun ile karşılaşılmıştır. Çünkü, 424 km<sup>2</sup> olan inceleme alanının 389350 piksel ile ifade edilmesine karşılık, heyelanlı alanları (Diğer bir ifadeyle 1 durumu) sadece 1651 piksel ifade etmektedir ki bu durumda 0/1 oranı oldukça yüksektir ve nadir olay durumuna örnek teşkil etmektedir. Eechaut vd. (2006) yaptıkları çalışmada, söz konusu bu sorunun giderilmesi için veri setinin, King ve Zeng (2001) tarafında önerilen seviyelendirilmiş örnekleme (stratified sampling) yöntemiyle düzeltilmesini önermişlerdir. Bu yaklaşımda, temsil edici örneklemede eşit sayıda heyelanlı ve heyelansız piksel seçilmesi yerine, 1 heyelanlı piksele karşılık 5 heyelansız piksel seçilmesini Diğer bir ifadeyle % 20 örnekleme oranını önermiştir.

Bu çalışma kapsamında da tabakalandırılmış örnekleme yöntemi kullanılmış ve örnekleme oranı olarak daha duyarlı bir değerlendirme yapılabilmesi amacıyla % 10 oranı seçilmiştir. Lojistik regresyon ile heyelan duyarlılık analizinde benzer soruna Çan vd. (2005) 'in yaptığı çalışmada da değinilmiştir. Bu çalışmada, sığ derinlikli akma zonlarının bölgesel ölçekte (1/25.000) haritalanmasının mümkün olmadığından dolayı harita üzerine nokta ile işaret edildiği, bundan dolayı akma alanlarının, akma olmayan alanlara göre çok az sayıda piksel ile ifade edilmesini zorunlu kıldığını belirtmiştir. Bu sorunun çözümü için farklı 0/1 oranlarını seçmiş, dikkate aldığı her bir oran için farklı duyarlılık haritaları üretmiş ve elde ettiği bu haritaların performans analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde, duyarlılık haritalarının yüksek doğruluk performansı göstermesini ve en az duyarlılıktan en yüksek duyarlılık kadar tüm akma duyarlılığı sınıflarının içermesini karar kuralı olarak seçmiştir. Bu konu ile ilgili ayrıntılı veriler Bölüm 7'de lojistik regresyon uygulamalarında verilmiştir.

İkinci yöntem olarak iki değişkenli istatistik yöntemlerinden olan ve ayrıntısı Bölüm 6'da verilen olasılık-benzerlik oranı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, heyelan duyarlılık analizi için dikkate alınan parametrelere ait her bir alt parametre sınıfı ile heyelan lokasyonları karşılaştırılmış ve her bir sınıfa ait heyelan meydana gelme olasılık değeri hesaplanmıştır. Her bir sınıf için hesaplanan olasılık değerlerinin toplanması ile, o sınıfların ait olduğu ana parametrelerin de ağırlık değeri elde edilmiş olmaktadır (Lee ve Min, 2001). Bu yöntem, öznel karar verme durumunu ortadan kaldırdığı için heyelan duyarlılık analizinde uygun bir yöntem olarak görülmektedir (Süzen ve Doyuran, 2004a,b; Lee, Choi ve Min, 2004; Lee, 2005). Ancak, Süzen (2002), bazı parametre ağırlık değerlerinin, diğerlerine göre çok daha yüksek çıkması durumunun söz konusu olabileceği için, parametre haritalarının değerlendirmelerinin duyarlı bir şekilde yapılması gerektiğine dikkat çekmiştir.

Üçüncü yöntem olarak, uzman görüşünün göreceli olarak daha baskın olduğu, Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ilk aşamada, uzman görüşüne dayalı olmasından dolayı öznel kararların verildiği ve dolayısıyla heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanım açısından sakıncalı bir yöntem

olarak düşünülebilir. Ancak, özellikle analitik hiyerarşi yöntemi (AHY), olası özelliğin ortadan kalkmasına olanak sağlamaktadır. Analitik hiyerarşi için oluşturulan ikili parametre karşılaştırma gruplarının birbirlerine göre önem derecelerinin verilmesi için, ayrıntılı bir arazi gözlemi ile heyelan ve ilgili parametre arasındaki ilişkilerin de fiziksel olarak iyi tanımlanmış olmasını gerektirmektedir. Özellikle AHY yöntemi uygulanarak yapılan heyelan duyarlılık haritalaması ile ilgili çalışmalarda bu konunun öneminin vurgulanmamış olduğu da görülmektedir. Dolayısıyla bu yöntemin, istatistiksel bir başka yöntem ile birlikte kullanılmasının daha yararlı olabileceği açıktır.

### ***8.5.2 Erozyon Duyarlılık Analizlerinin Değerlendirilmesi***

Bu çalışma ile, erozyon duyarlılık analizi için dünya literatüründe ilk kez lojistik regresyon yöntemi ve ÇÖKA yöntemi uygulanmıştır. Lojistik regresyon uygulaması için, Bölüm 6’da anlatıldığı üzere inceleme alanında tanımlanan litolojik birimleri ayrı ayrı temsil eden oyuntu erozyon alanları, bağımlı parametre olarak kullanılmıştır. Bağımsız parametrelerin, sonucu nasıl etkilediklerini incelemek amacıyla 8 farklı grup oluşturulmuştur. Sonuç haritalara bakıldığında, süreksizlik yoğunluğunun kullanıldığı gruplardan elde edilen erozyon duyarlılık haritalarında, çok yüksek duyarlılık sahip alanların, süreksizlik yoğunluğu olan alanlarla önemli ölçüde örtüştüğü gözlenmektedir. Bu noktada süreksizlik yoğunluğu parametresi, regresyon ilişkisini en baskın olarak denetleyen parametre olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, saha gözlemlerine göre sadece bu alanlarda değil, inceleme alanındaki diğer bölgelerde de erozyona çok duyarlı bölgelerin varlığı da beklenmektedir. Süreksizlik yoğunluğunun yer almadığı değerlendirme gruplarından elde edilen diğer erozyon duyarlılık haritaları ile oyuntu erozyon alanları karşılaştırıldığında, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık alanların en iyi olarak sırasıyla Grup 4 (Bozunma, Eğim, Akarsu Güç İndeksi ve Drenaj Hatlarına Uzaklık), Grup 8 (Bozunma, Eğim, Akarsu Güç İndeksi, Drenaj Hatlarına Uzaklık, Arazi Örtüsü ve Topoğrafik Eğrilik), Grup 1 (Bozunma ve Eğim), Grup 3 (Bozunma ve Akarsu Güç İndeksi) ve Grup 2 (Bozunma, Eğim ve Akarsu Güç İndeksi) (Tablo 7.12) ile oluşturulan duyarlılık haritaları ile tahmin edilebildiği görülmüştür.

İkinci olarak, ÇÖKA yöntemiyle yapılan erozyon duyarlılık analizleri değerlendirildiğinde, lojistik regresyon uygulamasında olduğu gibi, farklı parametrelerin dikkate alındığı altı grup oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Bu gruplar ile, lojistik regresyon yönteminde kullanılan oyuntu erozyon alanları karşılaştırıldığında, çok az duyarlı ve az duyarlı sınıfları ile oyuntu erozyon alanlarının daha fazla çakıştıkları görülmüştür. Bu durum, oluşturulan model sonucunda, erozyona çok az ve az duyarlı alanların daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Orta derece, yüksek ve çok yüksek duyarlılıkta sahip alanların nispeten daha az oldukları da göze çarpmaktadır. Bu durumun, seçilen parametrelerin, inceleme alanındaki erozyon duyarlılığına neden olduğu düşünülen parametre gruplarının sahip ağırlık değerleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Çünkü, inceleme alanındaki erozyonu denetleyen en önemli parametrelerin eğim ve bozunma derecesi olduğu arazi gözlemleri ile belirlenmiş, bu parametrelerin etkin biçimde değişim gösterdikleri alanların ise yüksek eğim derecesi ve yüksek bozunma derecesi gösteren yerlerde oldukları oluşturulan modelle ortaya konulmuştur. Dolayısıyla, güncel olarak gelişmiş oyuntu erozyon alanlarının düşük eğime sahip alanlarda temsil edilmeleri, ÇÖKA ile elde edilen erozyon duyarlılık alanları ile karşılaştırılabilirliğini zorlaştırmaktadır.

ÇÖKA ile oluşturulan erozyon duyarlılık haritaları birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, büyük oranda benzerlik gösterdikleri, dolayısıyla dikkate alınan parametrelerden eğim ve bozunma dışında diğer parametrelerin sonucu fazla etkilemedikleri görülmüştür. Ancak, topoğrafik eğrilik veya diğer ifadeyle yamaç şekli ve akarsu güç indeksi parametrelerinin de erozyon sürecine etkin olarak katkı koyduğu ve dolayısıyla dikkate alınması gerektiği sonucu da elde edilmiştir.

## **8.6 Sonuç Haritalarının Karşılaştırılması**

Çalışma süresince elde edilen “birçok erozyon ve heyelan duyarlılık haritalarından, uygulamada hangilerinin kullanılacağı?” sorusu yanıtlanması gereken önemli bir sorudur. Bu soruyu yanıtlayabilmek için, farklı yaklaşımlarla üretilen

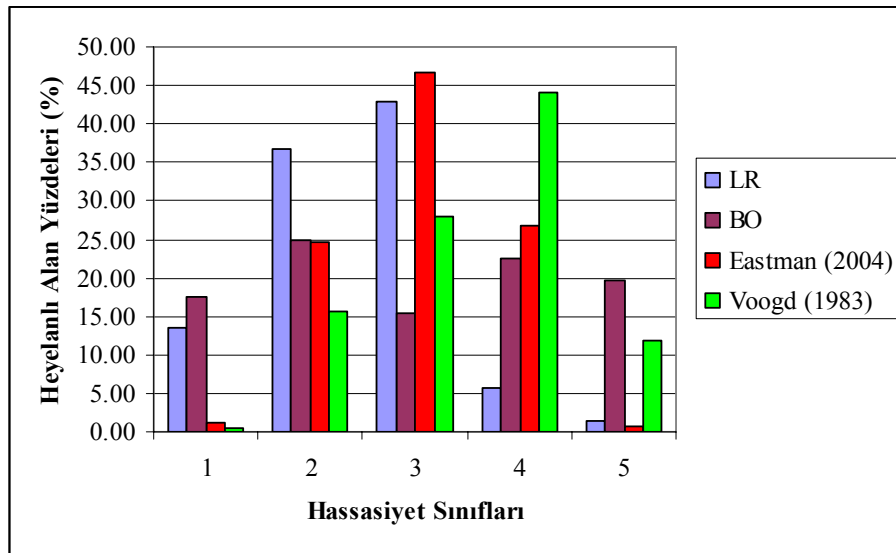
heyelan duyarlılık haritalarının birbirlerine göre üstünlükleri, haritalardan elde edilen heyelan duyarlılık alanları ile inceleme alanında güncel olarak gözlenen heyelan lokasyonlarının uyumu göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Benzer yaklaşım, erozyon duyarlılık haritalarına uygulanmış, elde edilen erozyon duyarlılık alanları, güncel oyuntu erozyon alanları ile karşılaştırılmıştır.

Buna ek olarak, suyun kayalar üzerindeki aşındırma etkilerini ortaya koyan suda dağılmaya karşı duyarlılık indeksi ve donma-çözünme kaybı parametreleri, üretilen erozyon duyarlılık haritaları ile karşılaştırılmış ve üretilen haritaların güncel duruma uygunluk ve doğruluk analizleri yapılmıştır.

### **8.6.1 Heyelan Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırılması**

Üç farklı yaklaşımla, dört farklı heyelan duyarlılık haritası ile, inceleme alanında gözlenen heyelan lokasyonları karşılaştırılmış ve elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk analizleri yapılmıştır. Şekil 8.1'deki grafikte dört farklı heyelan duyarlılık haritasından elde edilen duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların yüzdeleri verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında, heyelanlı alanların en fazla ÇÖKA yönteminde Voogd (1983) tarafından önerilen yaklaşım ile tahmin edildiği, bunu yine ÇÖKA yönteminde Eastman (2004) tarafından önerilen yöntemin izlediği görülmektedir. Bunları lojistik regresyon ile üretilen duyarlılık haritası ve en son olarak da benzerlik oranı yöntemi takip etmektedir. Duyarlılık haritalarının benzerliklerini ortaya koymak amacıyla elde edilen korelasyon matrisinde ise (Tablo 8.2), Eastman (2004) yaklaşımına göre elde edilen duyarlılık haritasının, benzerlik oranı yöntemiyle elde edilen duyarlılık haritası ile yüksek korelasyona sahip ( $R^2 = 0.81$ ) olduğu ve yine benzerlik oranı ile lojistik regresyon yöntemleriyle üretilen duyarlılık haritalarının önemli ölçüde benzer ( $R^2=0.76$ ) oldukları görülmektedir. Söz konusu bu karşılaştırmalar, haritaların bütününe benzerliğini ortaya koymasının yanı sıra, özellikle yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının tüm haritalarda büyük oranda benzedikleri de görülmektedir.

Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, ÇÖKA yöntemi, her ne kadar öznel ölçütlere dayandırılarak elde edilirse edilsin, analitik hiyerşi gibi güvenilirliği kanıtlanmış matematik modeller yardımıyla güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemin güvenilirliği, literatürde bir çok çalışmayla da desteklenmektedir (Siddiqui, 1996; Malzewski, 1999; Komac, 2006, Akgün ve Bulut, 2006; Akgün, 2006). Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen heyelan duyarlılık haritalarından ÇÖKA yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritalarının son kullanıcıya problem çözümünde bir altlık olarak önerilmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir.



Şekil 8.1 Dört farklı yaklaşımla üretilen heyelan duyarlılık haritalarında elde edilen duyarlılık sınıflarına düşen heyelanlı alan yüzdeleri.

Tablo 8.2 Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının benzerlik durumunu gösteren korelasyon matrisi (korelasyonlar  $R^2$  olarak ifade edilmiştir.) \* : Benzerlik Oranı, \*\* : Lojistik Regresyon

HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI	B.O*	L.R**	EASTMAN (2004)	VOOGD (1983)
BO	1.00	0.76	0.81	0.56
L.R	0.76	1.00	0.65	0.43
EASTMAN (2004)	0.81	0.65	1.00	0.65
VOOGD (1983)	0.56	0.43	0.65	1.00

### 8.6.2 Erozyon Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırılması

İki farklı yöntemle ve farklı parametre gruplarının kombinasyonlarıyla elde edilen erozyon duyarlılık haritalarının doğruluklarını ortaya koyabilmek amacıyla, üretilen duyarlılık haritaları ilk olarak güncel erozyon şekillerini oluşturan oyuntu erozyon alanları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, güncel oyuntu erozyon alanlarının, üretilen erozyon duyarlılık haritalarındaki çok düşük ve düşük duyarlılık alanları ile çakışmaları gözlenmiştir. Bu sonuç, üretilen erozyon duyarlılık haritalarının ilk değerlendirilmede başarılı olmadığını izlenimini vermektedir. Ancak, dikkate alınan oyuntu erozyon alanları, eğimin çok düşük olduğu alanlara karşılık gelmektedir ve buna karşın hem lojistik regresyon ve hem de ÇÖKA modellerinde eğim, erozyon duyarlılığını denetleyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Dolayısıyla, bu karşılaştırmaların, üretilen erozyon duyarlılık haritalarını doğrulamada yeterli olmadığı kanaatini uyandırmıştır. Bundan dolayı, elde edilen erozyon duyarlılık haritaları, kayaların suya ve iklimsel değişimlere olan duyarlılıklarını kantitatif olarak belirleyen suda dağılmaya karşı dayanım indeksi ( $I_d$ ) ve donma- çözünme sonrası kütle kaybı parametreleri kullanılarak oluşturulan ve ayrıntılı üretim süreçleri Bölüm 6'da anlatılan parametrelerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, suda dağılmaya karşı duyarlılık indeksi değeri düşük ve çok düşük olan alanların, yüksek ve çok yüksek erozyon duyarlılık sınıfı ile temsil edilen alanlarla uyumlu oldukları, yine donma-çözünme sonrası kütle kaybının yüksek ve çok yüksek olduğu alanlarla (ağırlıkça % 60'dan fazla kütle kaybı) yüksek ve çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip alanların birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Dolayısıyla özellikle ÇÖKA yöntemi kullanılarak, B (Bozunma, Eğim, Akarsu Güç İndeksi ve Drenaj Yoğunluğu), C (Bozunma, Eğim, Akarsu Güç İndeksi ve Drenaj Yoğunluğu ve Süreksizlik Yoğunluğu) ve D (Bozunma, Eğim, Akarsu Güç İndeksi ve Drenaj Yoğunluğu ve Süreksizlik Yoğunluğu ve Arazi Örtüsü) grubu parametreler (Tablo 7.37) ile üretilen erozyon duyarlılık haritalarının, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanları tahmin etmede oldukça başarılı oldukları görülmüştür.

## BÖLÜM 9

### SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında yapılan inceleme ve gözlemler ile elde edilen sonuçlar inceleme alanındaki yüzey erozyonu ve heyelan duyarlılıklarının belirlenmesi olmak üzere iki ana gruba ayrılarak değerlendirilmiştir.

#### A. Ayvalık ve Yakın Çevresinin Heyelan Duyarlılığı

1. Ayvalık ve yakın çevresinde meydana gelmiş olan 44 adet heyelan lokasyonunda yapılan ayrıntılı arazi gözlemleri, 1999-2001 ve 2004 yıllarına ait uydu görüntüleri yardımıyla da haritalanmış ve coğrafi bilgi sistemleri ortamında depolanmıştır. Tanımlanan heyelanların % 70'den fazlası dairesel ve düzlemsel kayma şeklinde olup kayan malzeme çok-tamamen bozunmuş veya aglomera türü, zayıf çimentolu litolojiler içinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Kalan kısım ise yine orta-yüksek derece bozunmuş litolojiler içinde meydana gelmiş kaya düşmesi ve devrilme şeklinde yenilmelerdir.

2. Heyelanların oluşmasında tetikleyici ana faktörler olarak yüzey suları (yağış) ve sismisite ile neden olucu faktörler olarak kayalarda gözlenen etkin bozunma süreci, topoğrafik eğim ve kontrolsüz arazi kullanımı (antropojenik etkiler) planlaması olarak belirlenmiştir.

3. İnceleme alanına ait üç temel olmak üzere dört farklı yaklaşım ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu yöntemler: veriye dayalı iki değişkenli istatistik yaklaşım, çok değişkenli istatistik yaklaşım ve veri/arazi gözlemi-uzman deneyimi destekli sayısal analiz yaklaşım olan Çok Ölçütlü Karar Analizi'dir.

4. İstatistiksel analiz yöntemi olarak "Lojistik Regresyon" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre elde edilen sonuçlara bakıldığında, inceleme alanının % 13'ü çok düşük, % 36'sı düşük, % 43'ü orta, % 6 yüksek ve % 2'si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olarak belirlenmiştir. Orta, yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı olan alanlar, inceleme alanının güneydoğusunda, andezit, bazalt, trakiandezit, riyodasit lav ve piroklastik kayalarını içeren alanlarda içerisinde



yoğunlaştıkları gözlenmektedir. Bu alanların, aynı zamanda süreksizlik hatlarının ve drenaj dokusunun yoğun olduğu alanlarla örtüştüğü de gözlenmektedir.

5. İki değişkenli istatistik yaklaşımında “Benzerlik-Frekans Oranı” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre inceleme alanın % 34.27’si çok düşük, % 52.44’ü düşük, % 9.84’ü orta, % 2.73’ü yüksek ve % 0.72’si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfına sahip olarak belirlenmiştir.

6. Uzman görüşüne dayalı sayısal analiz yöntemi olarak “Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA)” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde de iki değişik yaklaşım uygulanmıştır. Bu yaklaşımlar, Voogd (1983) tarafından önerilen ve diğeri de Eastman (2004) tarafından önerilen yaklaşımdır. Bu yöntemlerden Voogd (1983) tarafından önerilen yöntem de inceleme alanının % 1.67’si çok düşük, 36.53’ü düşük, % 46.62’si orta, % 13.91’i yüksek ve % 1.24’ü ise çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olarak belirlenmiştir. Eastman (2004) tarafında önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, inceleme alanın % 3.15’i çok düşük, % 34.22’si düşük, % 52.48’i orta, % 9.97’si yüksek ve % 0.16’si ise çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olarak tespit edilmiştir.

7. Dört değişik yöntem ile elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının birbirleriyle olan uyumları ve arazide gözlenen heyelan lokasyonları ile uyumları karşılaştırılmıştır. Buna göre oluşturulan dört heyelan duyarlılık haritasındaki orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların, güncel heyelan lokasyonları ile uyumlu oldukları, dolayısıyla üretilen heyelan duyarlılık haritalarının başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanılan yöntemlerin başarı sıralaması ise güncel saha koşullarını yansıtan en uyumlu sonuçtan başlamak üzere Voogd (1983), Eastman (2004), Lojistik regresyon ve benzerlik-frekans oranı yöntemi olarak tespit edilmiştir.

Tablo 9.1 Lojistik Regresyon, Benzerlik Oranı ve Çok Ölçütlü Karar Analizi ile elde edilen heyelana duyarlı alan yüzdeleri.

YÖNTEM		Heyelan Duyarlılık Dereceleri				
		Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
1.Lojistik Regresyon		13	36	43	6	2
2.Benzerlik Oranı		34.27	52.44	9.84	2.73	0.72
ÇÖKA	3.Voogd (1983)	1.67	36.53	46.62	13.91	1.24
	4.Eastman (2004)	3.15	34.22	52.48	9.97	0.16

### B. Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon Duyarlılığı

1. Ayvalık ve yakın çevresine ait kayalara ait sahanın yüzey erozyon duyarlılığını belirleyen ana faktörlerin yüzey suyu, litoloji, eğim ve bozunma derecesi olduğu belirlenmiştir.

2. İnceleme alanının güney doğusunda ve batısında yüzeylenen andezit, dasit, trakiandezit, riyolit, bazaltik andezit, bazalt ve bunların piroklastik türevleri olan tuf ve aglomera türü litolojilerde, bölgenin tektonik yapısı ve klimatolojik (yağış ve sıcaklık) özellikleri dolayısıyla yoğun bir fiziksel ve kimyasal bozunma gözlenmektedir.

3. Söz konusu bu zayıf litolojilerin topoğrafik eğimlerinin yüksek olması, yüzeyel akışla birlikte aşınma ve dolayısıyla taşınma açısından duyarlılık oluşturmaktadır.

4. Erozyona karşı zayıf karakterli olan ve marn, kireçtaşı, tuf, kiltası ar dalanmasından oluşan gölsel çökeller, sahip oldukları nispeten daha yumuşak topoğrafya nedeniyle erozyona daha az duyarlı gibi görünmesine karşın, güncel erozyon açısından diğer birimlere göre daha yüksek duyarlılık derecesine sahiptir. Arazi gözlemleri, oyuntu (gully) erozyon dokusunun özellikle bu tür litolojiler

içerisinde yaygın olduklarını desteklemektedir. Özellikle zeytin tarımının, söz konusu karbonat içeriği yüksek olan bu litoloji üzerinde konuşlandırılmış olması, güncel erozyon ile kaybın önlenmesine olumlu katkı sağlamıştır.

5. CBS yardımıyla erozyon duyarlılık haritaları elde edilirken heyelan duyarlılık haritalamasında olduğu gibi hem lojistik regresyon, hem de çok ölçütlü karar analizi yöntemleri kullanılmıştır.

6. Bu yöntemler ile ele alınan parametrelerin, erozyon duyarlılığına hangi ölçüde etki ettiğini anlayabilmek için, lojistik regresyon yönteminde sekiz, çok ölçütlü karar analizinde ise altı farklı parametre kombinasyonu yapılmıştır.

7. Buna göre lojistik regresyon yöntemi kullanıldığında en iyi sonucun arazi gözlemleri, güncel erozyon şekilleri ve kayaların su ve donma-çözünmeye karşı duraylılık özelliklerine göre; bozunma, eğim, akarsu aşındırma indeksi, drenaj hatlarına uzaklık, kayalardaki süreksizlik yoğunluğu ve arazi kullanım parametreleri ile elde edilebildiği belirlenmiştir.

8. Çok ölçütlü karar analizi yönteminin kullanılması durumunda ise en iyi sonucun yine arazide gözlenen güncel erozyon şekillerine ve laboratuvar destekli su ve donma-çözünmeye karşı duraylılık özelliklerine göre ; bozunma, eğim, akarsu aşındırma indeksi, drenaj hatlarına uzaklık ve kayalardaki süreksizlik yoğunluğu parametreleri ile elde edildiği belirlenmiştir.

### **C. Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması**

1. Tez çalışması boyunca erozyon ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla istatistiksel yöntem ve uzman görüşüne dayalı sayısal yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar incelendiğinde, çok ölçütlü karar analizi yönteminin, lojistik regresyon yöntemine göre daha etkin sonuçlar verdiği, arazi gözlemleri ve güncel heyelan-erozyon şekilleriyle olan uyumları yardımıyla belirlenmiştir.

2. Çok ölçütlü karar analizi yönteminin lojistik regresyona göre başarısının, seçilen parametrelerin ayrıntılı arazi gözlem ve incelemelerine ve buna bağlı olarak da bu parametrelerin uzman deneyimine göre değerlendirilmesi ile ilişkili olduğu

sonucuna varılmıştır. Ancak bu değerlendirmeden, lojistik regresyon analizinin duyarlılık haritalarının üretilmesinde yararlanılmaması gerektiği anlamı çıkarılmamalıdır. Çünkü, veri miktarı ve kalitesi sahayı temsil edebilecek düzeyde olduğunda, kuşkusuz ki, lojistik regresyon sonucunda elde edilecek haritalar da pratik anlamda kullanılabilir düzeyde sonuçlar üretebilecek nitelikte etkin bir araçtır.

3. Lojistik regresyon yönteminin genelde çok iyi sonuçlar vermesine karşın çok ölçütlü karar analizine göre daha az başarılı olmasının nedeni, değerlendirme aşamasında heyelan lokasyonlarının kullanılmasından ileri gelmektedir. Burada, arazide haritalanan heyelan lokasyonlarının nicel olarak az olması ve birkaçının da düşük topoğrafik eğim derecelerinde gözlenmiş olması, yöntemin bu lokasyonları tam olarak tespit edememesine, eğimin yüksek ve bozunma derecelerinin yüksek olduğu alanlardaki heyelan lokasyonlarını ise daha iyi tespit edebilmesine olanak sağlamıştır. Sonuç olarak bu durum, yöntemin başarısını etkilemiştir.

#### **D. Erozyon-Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişki**

1. Elde edilen erozyon duyarlılık haritaları ile araziden alınan kaya örnekleri üzerinde belirlenen fiziksel özellikler arasında nasıl bir ilişki olduğu araştırılmıştır.

2. Buna göre, kayaların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ve donma-çözünme sonrası kütle kaybı indeksi değerleriyle, elde edilen erozyon duyarlılık haritaları arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

3. Bu karşılaştırmalarda, özellikle donma-çözünme / erozyon duyarlılığı arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülmüştür.

#### **E. Heyelan/Erozyon-Jeomorfoloji İlişkisi**

1. İnceleme alanı için elde edilen heyelan duyarlılık haritaları ile jeomorfolojik yapı incelendiği zaman, duyarlılığın orta ve yüksek olduğu alanların, ana tektonik hatlara yakın alanlar olduğu belirlenmiştir. Söz konusu hatların aktif tektonik hatlar olması, heyelan-sismik aktivite ilişkisinin ayrıntılı araştırılması gerektiği sonucunu çıkartmaktadır.

2. Eğimin yüksek, yamaç şeklinin iç bükey olduğu yamaçların heyelan açısından daha yüksek duyarlılık gösterdiği gözlenmiştir. Bunun temel gerekçesi, bu tür yamaçların genellikle paleoheyelan alanları olmasından kaynaklanmaktadır.

3. Yamaç şeklinin dış bükey ve litolojinin yüksek derece bozunmuş olması durumunda ise erozyon duyarlılığının arttığı gözlenmiştir.

## BÖLÜM 10

### ÖNERİLER

Elde edilen tüm bu sonuçlara dayandırılarak bazı önerilerin getirilmesi uygun görülmüştür. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. İnceleme alanına ait değişik tarihli, daha büyük ölçekli (1/5,000-1/10,000) ve daha yüksek çözünürlüklü (60 cm-2.5 m) LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) ürünü sayısal yükseklik modelleri veya InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) görüntüleri ile topoğrafyadaki zamana bağlı değişimlerin daha duyarlı olarak ölçülmesi ile inceleme alanına ait daha ayrıntılı bir erozyon duyarlılık modeli kurulması mümkündür.

2. İnceleme alanının güney batısındaki örtüsüz arazi yüzeylerinin acil olarak ağaçlandırılması için ilgili birimlerin hareket geçirilmesi gerekmektedir.

3. Erozyon duyarlılığı olan yerlerde yapılacak ek çalışmalarla kurulacak yeni modellerde, erozyon hızının ve miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Böylelikle alınması gereken önlemlerin aciliyet planlarının yapılması kolaylaştırılmalıdır.

4. Heyelan duyarlılık analizi için bölgenin yüksek sismik aktivitesi dikkate alınarak sismik veri tabanlı bir heyelan duyarlılık analizi yapılması gereklidir. Ayrıca, yağış verisinin inceleme alanı içerisinde daha fazla noktadan gözlenerek elde edilecek verilerin, yeni kurulacak modele girdi veri olarak sağlanması düşünülmelidir.

## KAYNAKLAR

- Afifi, A.A. and Clark, V. (1998). *Computer aided multivariate analysis*. Chapman-Hall, London, 455p.
- Abdolmasov, B. and Obradovic, I. (1997). Evaluation of geological parameters for landslide hazard mapping. Proc. of the International Symp. On Engineering Geology and Env. 23-27 June 1997, Athens, Greece, P.G. Marinou, G.C. Koukis, G.C. Tsiambos and G.C. Stournaras (eds.), Balkema, 471-476.
- Akay, E. (2000). Magmatic and Tectonic Evolution of the Yuntdağ Volcanic Complex (Western Anatolia). D.E.Ü. Fen Bilm. Ens. Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.
- Akgün, A. and Bulut, F. (2006). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, A. (2006). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yönteminin kullanımı: Ayvalık (Balıkesir) Örneği. *Geosound* 48-49, 87-101.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1978). Kırkağaç-Soma (Manisa) Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir)-Bergama (İzmir) civarının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enst. Rap., 6432 (yayımlanmamış).
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1981). Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeolojik özellikleri. *M.T.A. Dergisi*, 95-96, 1-13.
- Akyürek, B. (1989). 1:100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi: Ayvalık G 3 Paftası. M.T.A. Genel Müd. Yayınları.

- Akyürek, Z. and Okalp, K. (2006). A fuzzy-based tool for spatial reasoning: A case study on soil erosion hazard prediction. 7<sup>th</sup>. Int. Symp. On Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Science, Lizbon, Portugal.
- Alegria, R.M., Galan, C.O. and Castro, J.T. (2000). Determination of Landslide Prone Areas in the Pisuerga Watershed Using Multicriteria Analysis. 2<sup>nd</sup>. International Conference for GIS Earth Applications, 11-14 September 2000, Menemen, İzmir, Turkey. 1-7.
- Altunkaynak, Ş. (1997). Bergama-Ayvalik Dolayında Genç Volkanizma Plutonizma İlişkilerinin Jeolojik ve Petrolojik Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altunkaynak, Ş. and Yılmaz, Y. (1998). The Mount Kozak magmatic complex, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 211-231.
- Alvarez Grima, M. (2000). *Neuro-fuzzy Modelling in Engineering Geology*. Balkema, Rotterdam, 244 p.
- Anbalagan, R. (1992). Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.* 32, 269-277.
- Anon. (1995). The Description and Classification of Weathered Rocks for Engineering Purposes. Geological Society Engineering Group Working Party Report, *Q.J. Eng.Geo.*, 28, 207-242.
- Aslaner, M. (1965). Etude geologique et petrographique de la region d'Edremit-Havran (Turquie). M.T.A.. Publ., no. 119, Ankara.



- Ataman, G. (1975). Plutonisme calcoalkalin d'âge alpin en Anatolie du Nort-Ouest: C.R.Ac. Sci. Paris, t. 280, serie D.PP., 2065-2068.
- Atkinson, P.M. and Massari, R. (1998). Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Appennines, Italy. *Computers and Geoscience*, 24 (4), 373-385.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides* 1, 73-81.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65, 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. and Kanno, T. (2005). Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications. *Engineering Geology* 81, 432-445.
- Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.*, 24, 43-69.
- Bingöl, E., Delaloye, M. and Ataman, G. (1982). Granitic Intrusions in Western Anatolia: A Contribution to the Geodynamic of This Area. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 75 (2), 437-446.
- Birth, G. S. and McVey, G. (1968). Measuring the color growing turf with a reflectance spectrophotometer, *Agronomy J.*, 60, 640-643.
- Bonham-Carter, G.F. (1996). *Geographic information systems for geoscientists, modelling with GIS*. Pergamon Press, Canada, 398 p.

- Brabb, E.E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. In Proc., Fourth International Symposium on Landslides, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, vol: 1, pp. 307-324.
- Bromhead, E.N. (1986). *The stability of slopes*. Surrey University Press, Surrey.
- Brown, E.T. (1981). *Rock characterization, Testing and Monitoring*. Pergamon, Oxford.
- Brunsdon, D., Doornkamp, J.C., Fookes, P.G., Jones, D.K.C. and Kelly, J.M.H. (1975). Large scale geomorphological mapping for highway engineering. *Q. J. of Eng. Geol.*, 8, 227-53.
- Bruzzone, L., Fernandez, D., Serpico, S.B. (1999). A Neural-Statistical Approach to Multitemporal and Multisource Remote-Sensing Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, (3) 1350-1359
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F. and Ataoğlu, E. (2000). Reliability of landslide isopleth maps. *Bull. Eng. Geol. Env.* 58, 95-98.
- Burrough, P.A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessments*. Oxford: Clarendon Press.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Byrne, E.F., Crapper, P.F. and Mayo, K.K. (1980). Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat Data. *Remote Sensing of Environment*, 10, 175-184.
- Caroll, D. (1970). *Rock Weathering*. Plenum Press, New York.

- Carrara, A. and Merenda, L. (1974). Metodologia per un censimento degli eventio franso in Calabria. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 10, 237-255.
- Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, 15 (.3), 403-427.
- Carrara, A. (1989). *Landslide hazard mapping by statistical methods: A black box approach*. Proc. Int. Workshop Natural Disasters in Europ.-Mediterr. Countries, Perugia, June 27 – July 1, 1988, CNR-USNSF, 205-224.
- Carrara, A., Cardinalli, M., Detti, R., Guzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf. Proc. Land*. 16 (5), 427-445.
- Carrara A. (1993). *Uncertainty in evaluating landslide hazard and risk, in Prediction and Percention of Natural Hazards*. ed. Nemeç, J., Nigs, J.M. and Siccardi, F., Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 101-111.
- Carver, S.J. (1991). Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 5 (3), 321-339.
- Casasnovas, J.A.M. and Zaragosa, T.C. (1996). *Gully Erosion Mapping by Remote Sensing Techniques: A Case Study in the Anoiia-Penedés region (NE Spain)*. Primer Congreso Europeo sobre le Control de la Erosion Sitges, Barcelona.
- Ceryan, Ş. (1998). Harşit Granitoyidi'nin Bozunması, Sınıflandırılması, Bozunmanın Mühendislik Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Jeoloji Müh. A.B.D., Trabzon.

- Çevik, E. and Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology* 44, 949-962.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005). Türkiye Erozyon Şiddeti Haritası. 19.07.2006, <http://www.cevreorman.gov.tr>.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2006). Türkiye İklim Bölgeleri Haritası. 19.07.2006, <http://www.cevreorman.gov.tr>.
- Chandler, J.H. and Brunsten, D. (1995). Steady state behaviour of the Black Ven Mudslide: the application of archival analytical photogrammetry to studies of landform change. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, 255-275.
- Chang, S.C., (1992). *The simprecise mapping and evaluation system for engineering geological and landslide hazard zonation*. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 905-910.
- Chankong, V. and Haimes, Y.Y. (1983). *Multiobjective decision making: Theory and methodology*. New York: Elsevier.
- Chavres, P.S., Jr., Stuart C: Sides and Jefferey A. Anderson. (1991). Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 295-303.
- Choubey, V.D. and Litoria, P.K. (1990). *Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, A terrain evaluation approach*. Proceedings of 6th International Association of Engineering Geology Congress, 6-10 August 1990, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 65-72.

- Choubey V.D., Chaudhari, S. and Litoria, P.K. (1992). *Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri districts, U.P. Himalaya, India*. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 911-917.
- Chung, C.F. and Fabbri, A.G. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Eng. And Remote Sen.*, 65 (12), 1388-1399.
- Chowdhury, R.N. and Flentje, P.N. (1997). *Relevance of mapping for slope stability in Greater Wollongong area, New South Wales, Australia*. Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and the Environment. 23-27 June 1997, Athens, Greece, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (eds.), Balkema, 569-574.
- Clark, W.A.V. and Hoskin, P.L. (1986). *Statistical Methods for Geographers*. New York: John Wiley and Sons.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. and Vescovi, P. (2002). A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48, 349-364.
- Congalton, R.G., and Mead, R.A. (1983). A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49, 69-74.
- CORINE, (1995). Land Cover Technical Guide, European Commission, Luxemburg, 21-53.
- Crist, E.P. (1985). A Thematic Mapper Tasseled Cap Equivalent for Reflectance Factor Data. *Remote Sensing of Environment*, 17, 301-306.

- Crosta, A.P. and Moore, J.M. (1989). *Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Geritas State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain*. Proceedings of the Seventh Thematic conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, Alberta, Canada, 2-6 October 1989 (Ann Arbor, MI: Environmental Reserach Institute of Michigan), pp. 1173-1187.
- Crosta, A.P. and De Souza Filho, C.R., Azevedo, F., Brodie, C. (2003). Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *Int. J. Remote Sensing*, 24 (21), 4233–4240
- Crozier, M.J. (1986). *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. Croom Helm, London, 245 pp.
- Cruden, D.M. (1991). A simple definiton of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27-29.
- Czerewko, M.A. and Cripps, J.C. (2001). Assessing the durability of mudrocks using the modified jar slake index test. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 34, 153-163.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Duman, T.Y. (2005). Susceptibility assessment of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72, 250-271.
- D.S.İ. (1990). Ayvalık ve Altınova (Balıkesir) Ovalarının Hidrolojisi Raporu (yayınlanmamış). 1-22 syf.
- Dai, F.C., Lee, C.F. and Xu, Z.W. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ. Geol*, 40 (3), 381-391.

- Davis, J. C. (1986). *Statistics and data analysis in geology*. Wiley, New York.
- Dearman, W.R. (1974). Weathering Classification in the Characterization of Rock for Engineering Purposes in British Practice. *Bull.Int.Assoc. Eng. Geo.*, 9, 33-42.
- Dearman, W.R., Baynes, F.J. and Irfan, T.Y. (1978). Engineering grading of weathered granite. *Eng Geol* 12 : 345–374.
- Dearman, W.R. (1995). Description and classification of weathered rocks for engineering purposes: the background to the BS5930:1981 proposals. *Q. J.of Engineering Geology*, 28 (3), 267-277.
- Deering, D.W., Rouse, J. W., Haas, R.H. and Schell, J.A. (1975). Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data. Proc. Tenth International Symposium on Remote Sens.of Env., Ann Arbor, ERIM, 2, 1169-1178.
- Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A.D., (2000). *Multi-criteria analysis manual*. Department of the Environment, Transport and Regions, London. ([http://www.communities.gov.uk/pub/252/ Multicriteria analysis manual PDF 1380 Kb\\_id 1142252.pdf](http://www.communities.gov.uk/pub/252/Multicriteria%20analysis%20manual%20PDF%201380%20Kb_id%201142252.pdf)).
- Dora, Ö. ve Savaşçın, Y. (1982). *Alibey-Maden adaları (Ayvalık) bölgesi magmatizması*. Tübitak 7. Bilim Kongresi Yerbilimleri Seksiyonu Tebliğler Kitabı, 11-83.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K., Toledano, J. and Jin, W. (1993). *GIS and Decision Making*. UNITAR, Geneva.
- Eastman, J.R. (1993). *Decision Theory and GIS*. Proceedings, Africa GIS 93, UNITAR, Geneva.

- Eastman, J.R. (1996). Uncertainty and Decision of an Integrated Spatial Information System for Multiobjective Land-Use Planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 15, 205-214.
- Eastman, J.R. and Jiang, H. (1996). *Fuzzy measures in multi-criteria evaluation*. Proceedings, Second International Symposium on Natural Resources and Environmental Studies, May 21-23, Fort Collins, Colorado, pp. 527-534.
- Eastman, J.R. (2004). *IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing*. Clark Labs, Clark University, Worcester, USA, pp 328.
- Eechaut, M.V.D., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. and Vandekerckhove, L. (2006). Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology*, 76, 392-410.
- Emerson, J.D. and Hoaglin, D.C. (1983). *Stem and leaf displays*. In: *Understanding robust and exploratory data analysis*. Hoaglin, D.C., Mosstelier, F. and Tukey, J.W., Wiley and Sons, New York.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2006). Türkiye Rüzgar Şiddeti Haritası. 19.07.2006, [http:// www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr).
- ENVI, (2004). *ENVI User's Guide-The Environment for Visualizing Images*. Version 4.0., U.S.A.
- Environmental System Research Institute (ESRI), (2002). *Using ArcGIS 8.2*. Redlands CA. ESRI, Inc.



- Ercan, T., Türkecan, A., Akyürek, B., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B., Erkan, M. ve Özkirişçi, C. (1984). The geology of the Dikili-Bergama-Çandarlı area (Western Anatolia) and petrology of the magmatic rocks. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20, 47-60.
- Ercan, T., Satır, M., Türkecan, A., Akyürel, B., Çevikbaş, A., Günay, E., Ateş, M. ve Can, B. (1986). Ayvalık çevresinin jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 11-19.
- Ercanoğlu, M. and Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology* 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M. and Gokceoglu, C. (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology* 75, 229-250.
- Ercanoğlu, M. (2005). Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 979-992.
- Ermini, L., Filippo, C. and Casagli, N. (2005). Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology* 66, 327-343.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., ve Değirmenci, E., (1991). *Türkiye Büyük Depremleri Makrosismik Rehberi (1900-1988)*. İstanbul Üniversitesi Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 198s.
- Fadul, H.M., Salih, A.A., Ali, I.A. and Inanaga, S. (1999). Use of remote sensing to map gully erosion along the Atbara River, Sudan. *JAG*, 1, (3-4), 175-180.

- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R. and Montero, J.C. (1999). Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surface Proc. and Landf.*, 24, 537-544.
- Foody, G.M. (2004). Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy. *Photog. Eng. and Remote Sensing*, 70 (5), 627-633.
- Fookes, P.G., Dearman, W.R. and Franklin, J.A. (1971). Some engineering aspect of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 4, 139-185.
- Fookes, P.G., Dale, S.G. and Land, J.M. (1991). Some observations on a comparative aerial photography interpretation of a landslipped area. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 249-265.
- Fowler, R. and Petersen, J. (2004). *A spatial representation of Louis Peltier's weathering, erosion, and climatic graphs using geographical information systems (GIS)*. ESRI User's Conference, 9-13 August 2004, 1-32.
- Franklin, J.A. and Chandra, A. (1972). The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mineral Science*, 9, 325-341.
- Fung, T. and Le Drew, E. (1987). Application of principal components analysis for change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53, 649-1658.
- Gamble, J.C. (1971). Durability-placticity classification of shales and other argillaceous rocks. Ph.D. Thesis, University of Illinois.
- Gary, M., Mc Afee, R. and Wolf, C.L. (1972). *Glossary of Geology*. Washington, D.C., American Geological Institute.

- Gemitzi, A., Petalas, C., Tsihrintzis, V.A. and Pisinaras, V. (2006). Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. *Environmental Geology*, 49 (5), 653-673.
- Gillespie, A.R., Kahle, A.B. and Walker, R.E. (1987). Color enhancement of highly correlated images. I.Decorrelation and HSI contrast stretches. *Remote Sensing of Environment*, 20, 209-235.
- Gökçeoğlu, C. and Aksoy, H. (1996). Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. and Sönmez H. (2000). Factors affecting durability of selected weak and clay bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57 (3-4), 215-237.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y. and Çan, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology* 81, 65-83
- Görçelioğlu, E. (2003). *Sel ve Çığ Kontrolü*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No.4415, O.F.Yayın No.473, İstanbul, 384 s.
- Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowicz, J., Deffontaines, B., et Parrot, J.F. (1993). Cartographie automatique de zones a aleas de mouvement de terrain sur l'Île de Tahiti a partir de donnees digitales. *Bulletin Societe Geologique de France*, 164 (4), 577-583.

- Gupta, A. S. and Rao, K. S. (2001). Weathering indices and their applicability for crystalline rocks. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 60, 201–221.
- Guzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181-216.
- Hammond, C.J., Prellwitz, R.W. and Miller, S.M. (1992). *Landslide hazard assessment using Monte Carlo simulation*. Proc. 6th International Symp.on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2, 959-964.
- Haralick, R., Sternberg, S. and Zhuang, X. (1987). Image analysis using mathematical morphology. *IEEE Transactions PAMI*, 9,532-550.
- Hardisky, M.A., Klemas, V. and Smart, M. (1983). The Influence of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Radiance of *Spartina Alterniflora* Canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49, 77-83.
- Hartlen, J. and Viberg, L. (1988). *General report: evaluation of landslide hazard*. In Proc., Fifth International Symposium in Landslides (C.Bonnard ed), Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol.1, pp. 3-35.
- Hencher, S. R. and Martin, R. P. (1982). *The description and classification of weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes*. Proc. 7th Southeast Asian Geotechnical Conf., 125–142.
- Hochella M.F., Jr. and Banfield J. (1995). Chemical weathering of silicates in nature: A microscopic perspective with theoretical considerations. In: Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals (A. White and S. Brantley, eds.), *Reviews in Mineralogy*, 31, 353-406.

- Hosmer, D.W., Lemeshow, S. (1989). *Applied regression analysis*. Wiley, New York.
- Huete, A.R. (1988). A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- Huete, A.F. and Liu, H.Q. (1994). An Error and Sensitivity Analysis of the Atmospheric and Soil Correcting Variants of the Normalized Difference Vegetation Index for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32 (4), 897-905.
- Huete, A. and Justice, C. (1999). *MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document*. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation-indices>, 129 pp.
- Hunt, E.R., Rock, B.N. and Nobel, P.S. (1987). Measurement of Leaf Relative Water Content by Infrared Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22, 4210-4235.
- IAEG. (1976). *Engineering Geological Maps: A Guid to Their Preparation*. UNESCO Press, Paris, 77.
- Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R., Chacon, J., (2006). Evaluation and validation of landslide-susceptibility obtained by GIS matrix method: examples from the Betic Cordillera (southern Spain). *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-006-9027-8.
- ISRM. (1979). Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption, and related properties and swelling and slake durability index properties. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And Geomech. Abstr.*, 16 (2), 141-156.
- ISRM. (1981). *Rock characterization, testing and monitoring- ISRM suggested methods*. In: Brown ET (ed) Pergamon Press, Oxford.

- İrfan, Y., (1981). *Bozunma ve Bozunma Sınıflandırmaları*. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Dizisi, No:19.
- İzdar, E., 1968. Kozak intruzif masifi petrolojisi ve Paleozoyik çevre kayaları ile jeolojik bağıntıları. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, XI, 1-2, 140-179.
- Jade, S. and Sarkar, S., 1993. Statistical models for slope instability classification. *Engineering Geology*, 36, 91–98.
- Jankowski, P., 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. *Int. J. Geo. Inform. Sys.*, 9 (3), 251-273.
- Jensen, J.R., 2000. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Inc., 319 pp.
- Jiang, H. and Eastman, J.R., 2000. Application of fuzzy measures in multicriteria evaluation in GIS. *Int. J. Geog. Inf. Sci.*, 14, 173-184.
- Juang C.H. and Lee, D.H., Sheu, C., 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *J. Geotech. Eng.*, 118, 475–494.
- Keeney R. L., and Raiffa, H., (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley & Sons New York.
- Kam, Tin-Seong , 1995, Integrating GIS & RS techniques for urban land cover and land use analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.57, 655-668.
- Kansu, E., 1998. A Remote Sensing Study Using Landsat 5 TM Imagery For Geological Mapping Around Sungurlu (Çorum). MSc. Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.

- Kaufman, Y.J. and Tanre, D., 1992. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30 (2), 261-270.
- Kauth, R.J. and Thomas, G.S., 1976. *The Tasseled Cap-A Graphic Description of the Spectral –Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat. Proc. Machine Processing of Remotely Sensed Data*. West Lafayette, IN: Laboratory for the Applications of Remote Sensing, 41-51.
- Kavzoglu T. and Mather, P. M., 2003. The Use of Backpropagating Artificial Neural Networks in Land Cover Classification. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 4907-4938.
- Kaya, O. ve Savaşın, Y. (1981). Petrologic significance of the Miocene volcanic rocks in Menemen, West Anatolia. *Aegean Earth Sciences*, 1, 45-58.
- Kayan, İ. (2003). *Yeldeğirmeni höyüğü ve çevresinde (Altınova-Ayvalık) Kuaterner stratigrafisi, alüvyal jeomorfoloji ve jeoarkeolojik değerlendirmeler*. Türkiye Kuvaterneri Çalıştayı 4. İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü. - Bildiriler Kitabı, 67-77. İstanbul
- Kienholz, H. (1977). Kombinierte geomorphologische gefahrenkarte 1:10,000 von Grindelwald. *Catena*, 3, 265-294.
- Kienholz, H. (1984). *Hangstabilitatas un gefahrenbeurteilung im nepalischen mittelgebirge*. Proceedings INTRAPRAEVENT, Villach, Austria, Band 2, p. 331-342.
- King, G. and Zeng, L. (2001). Logistic regression in rare events data. *Political Analysis*, 9, 137-163.
- Kirkwood, C.W. (1997). *Strategic decision making: multiobjective decision analysis with spreadsheets*. Belmont, CA: Duxbury Press.

- Kleinbaum, D.G. (1991). *Logistic regression a self learning text*. Springer Verlag, New York.
- Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74, 17-28.
- Knill, J.L. and Jones, K.S. (1965). The recording and interpretation of geological conditions in the foundations of the Roseires, Kariba and Latiyan Dams. *Geotechnique*, 15 (1), 94-124.
- Le Bass, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lee, S. and Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40, 1095-1113
- Lee, S., Choi, J. and Min, K. (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology*, 43, 120-131.
- Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression model for landslide susceptibility mapping using GIS. *Environ Manage* 34, 223-232.
- Lee, S., Choi, J. and Min, K. (2004). Landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *Int J Remote Sensing* 25, 2037-2052
- Lee, S., Choi, J. and Min, K. (2004). Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *Int. J. Remote Sens.*, 25, 2037-2052.



- Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing* 26, 1477-1491.
- Lee, S.G. and Freitas, M.H. (1988). Quantitative definition of highly weathered granite using the slake durability test. *Geotechnique*, 38 (44), 635-640.
- Lee, S.G. and Freitas, M.H. (1989). A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granite in Korea. *Q. J. Eng. Geo.*, 22, 31-34.
- Leung, C.H.C. (1988). *Quantitative Analysis of Computer Systems*. Wiley&Sons Ltd.
- Little, E.A.L. (1969). *The engineering classification of residual tropical soils*. Proc. of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, 1, 1-10.
- Liu, J.G., Mason, P., Hilton, F. and Lee, H. (2004). Detection of Rapid Erosion in SE Spain: A GIS Approach Based on ERS SAR Coherence Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (10), 1197-1185.
- Loughlin, W.P. (1991). Principal components analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 1163-1169.
- Lunetta, Ross S., Congalton, and Russell G., 1991. Remote sensing and geographic information systems data integration: error sources and research issues. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57( 6), 677- 687.
- Luzi, L. and Pergalani, F. (1999). Slope instability in static and dynamic condition for urban planning: the “Oltre Po Pavese” case history (Regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20, 57-82.

- Maharaj, R. (1993). Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: A case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. *Engineering Geology*, 34, 53-79.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Mamdani, E.H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int. J. Man Mach. Studies*, 7(1), 1-3.
- Mehrota, G.S., Sarkar, S. and Dharmaraju, R. (1992). *Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India*. Proc. Of 6th Int. Symp. On the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 1001-1007.
- Mejina-Navarro, M. and Wohl, E.E. (1994). Geological hazard and risk evaluation using GIS: methodology and model applied to Medellin, Colombia. *Bull. of Assoc. of Eng. Geo.*, XXXI (4), 459-481.
- Menard, S. (1995). *Applied logistic regression analysis*. Sage university paper series o quantitative applications in social sciences, vol. 106. Thousand Oaks, California, pp. 98.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2001). [http:// www.meteor.gov.tr](http://www.meteor.gov.tr).
- Mollard, J.D. (1986). Early regional photointerpretation and geological studies of landslide terrain along the south Saskatchewan and Qu'appelle River valleys. *Canadian Geotechnical Journal*, 23, 79-83.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.

- Mulder, H.F.H.M. (1991). Assessment of landslide hazard, Ph.D. Thesis, University of Utrecht, Netherlands, pp.150.
- Mulder, H.F.H.M, and van Asch, T.W.J. (1988). *A stochastic approach to landslide hazard determination in a forested area*. In Proc., Fifth International Symposium in Landslides (C.Bonnard ed), Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol.2, pp. 1207-1210.
- Musick, H. B. and Pelletier, R.E. (1988). Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in Thematic Mapper wavebands. *Remote Sensing of Environment*, 25, 167-184.
- Nagarajan, R., Roy, A., Kumar, V., Mukherjee, A., Khire, M.V. (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58, 275-287.
- Ohlmacher, G.C. and Davis, C.J. (2003). Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Eng. Geol.*, 69, 331-343.
- Olier, C. (1984). *Weathering, Geomorphology Text*. 2nd ed., Longman, London.
- Olier, C. (1991). *Ancient Landforms*. Belhaven Press.
- Öngür, T. (1972). *Dikili-Bergama jeotermal araştırma sahasına ilişkin jeoloji raporu*. Maden Tetkik ve Arama Enst.Rap., 5444 (yayımlanmamış).
- Özen, T. (2002). *Dikili Sıcak ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelemesi*. D.E.Ü. Fen Bil. Enst. Jeo. Müh. Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 104s. (yayımlanmamış).

- Pachauri, A.K. and Pant, M. (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Paola, J. D. and Schowengerdt, R. A. (1995). A Detailed Comparison of Backpropagation Neural Network and Maximum-Likelihood Classifiers for Urban Land Use Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33 (4), 981-996.
- Pereira, J.M.C. and Duckstein, L. (1993). A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *Int.J.Geographic Information Systems* 7 (5). 407-424.
- Peltier, L. C. (1950). *The Geographic Cycle in Periglacial Regions as it is Related to Climatic Geomorphology*. Annals of the Association of American Geographers, 40, 214-236.
- Price, D.G. (1995). Weathering and Weathering Processes. *Q. J. Eng. Geol.*, 28, 234-252.
- Qi, J., Cabot, F., Moran, M.S. and Dedieu, G. (1995). Biophysical Parameter Estimations Using Multidirectional Spectral Measurements. *Remote Sensing of Environment*, 54, 71-83.
- Reiche, P. (1950). *A Survey of Weathering Process and Products*. New Mexico University Publication in Geology, No:3.
- Rib, H.T. and Liang, T. (1978). Recognition and identification, In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J.,(eds.). Landslides analysis and control. National Academy of Science, Trans. Resear. Board Special Report, 176, p.34-80, Washington D.C.
- Richards, J.A. (1995). *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction*. Springer, Berlin.

- Richardson, A.J. and Wiegand, C.L. (1977). Distinguishing Vegetation from Soil Background Information. *Remote Sensing of Environment*, 8, 307-312.
- Rock, B.N., Vogelmann, J.E., Williams, D.L., Voglemann, A.F., Hoshizaki, T. (1986). Remote Detection of Forest Damage. *Bio Science*, 36, 439 pp.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-317.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J. (1986). Learning internal representations by error propagation. In Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., editors, *Parallel Distributed Processing*, 1, 318-362.
- Running, S.W., Justice, C.O., Solomonson, V., Hall, D., Barker, J., Kaufmann, Y.J., Strahler, A.H., Huete, A.R., Muller, J.P., Vanderbilt, V., Wan, Z.M., Teillet, P., Carneggie, D. (1994). Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithm Planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 15 (17), 3587-3620.
- Ruxton, P.B. and Berry, L. (1957). Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong . *Geol. Soc. America Bull*, 68, 1263–1292.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York. 350 pp.
- Schmucker, K.J. (1982). *Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis*. Computer Science Press.
- Scott, D.W. (1992). *Multivariate density estimation*. John Wiley, New York.

- Seijmonsberger, A.C. (1992). Geomorphological evolution of an Alpine area and its application to geotechnical and natural hazard appraisal in the NW. Ratikon mountains and S. Walgau (Vrarlberg, Austria). PhD.
- Selby, M.J. (1982). Rock Mass Strength and the Form Inselberg in the Central Namib Desert. *Earth Surf. Procc. and Landf.*, 7, 489-497.
- Selby, M.J. (1993). *Hillslope Materials and Processes*, 2nd ed. Oxford University Press, Oxford.
- Siddiqui, M.Z., Everett, J.W., Vieux, B.E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Journal of Environ. Eng.* 122 (6), 515-523.
- Singh, T.N., Verma, A.K., Singh, V., Sahu, A. (2005). Slake durability study of shaly rock and its predictions. *Environmental Geology*, 47 (2), 246-253.
- Singh, A., Harrison, A. (1985). Standardized Principal Components. *International Journal of Remote Sensing*, 6 (6), 883-896.
- Soeters, R. and van Westen, C.J. (1996). *Slope instability recognition analysis and zonation*. In: Turner K.T., Schuster, R.L. (eds.). *Landslides: investigation and mitigation* . Transportation Research Board National Research Council, Special Report No: 247, Washington, DC, pp 129-177.
- Song, J., Stevenson, R. L., Delp, E. J. (1990). The use of mathematical morphology in image enhancement, Proceedings of the 32nd Midwest Symposium on Circuits and Systems, Urbana-Champaign, IL, pp. 67–70, Aug. 1990.
- Statistica (2004). *Version 6.0*, StatSoft Inc., Tulsa, USA.

- Sturges, H.A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21, 65-66.
- Strandberg, C.A. (1967). *Aerial Discovery manual*. Wiley and Sons, New York, 249 p.
- Sütgibi, S. (2003). Madra Çayı ve Çevresinin Vejetasyon Coğrafyası. Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya A.B.D., Doktora Tezi.
- Süzen, M.L. (2002). Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information Systems and Remote Sensing., Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Ankara.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V. (2004a). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology* 71, 303-321.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V. (2004b). A Comparison of the GIS Based Landslide Susceptibility Assessment Methods: Multivariate Versus Bivariate. *Environmental Geology* 45, 665-679.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.
- Şen, Z. (2001). *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*. Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 176 s.
- Sener, B., Süzen, M. L., Doyuran, V., (2006). Landfill Site Selection by using Geographical Information Systems. *Environmental Geology*, 49, 376-388.
- T.S.E. (1987). Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Tarhan, F. (2002). *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, 3.Baskı, Trabzon.
- Taylor, R.K. (1988). Coal Measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 21, 85-99.
- Tso, B. and Mather, P. M. (2001). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. London: Taylor & Francis.
- Tuğrul, A. (1995). Niksar Yöresindeki Bazaltların Mühendislik Özelliklerine Bozunmanın Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uromeihy, A. and MahdaviFar, M.R. (2000). Landslide hazard zonation of Khorshrostan area, Iran. *Bull. of Eng. Geol. and Env.*, 58, 207-213.
- Valeton, I. (1970). *Paleoenvironment of Lateritic Bauxites with Vertical and Lateral Differentiation*. In Wilson, R.C.K, (ed). Residual Deposits, Surface Related Weathering Process and Materials, Geological Society London, Special Publication, 11, 77-90.
- Van Westen, C.J. and Bonilla, J.B.A. (1990). *Mountain hazard analysis using PC-based GIS*. 6th IAEG Congress, vol.1. Balkema, Rotterdam, pp.265-271.
- Van Westen, C.J. (1993). *Application of geographic information systems to landslide hazard zonation*. ITC Publication no: 15. International Institute for Aerospace and Earth Resources Survey, Enschede, The Netherlands, 245 pp.
- Van Westen, C.J., Rengers, N. and Terlien, M.T.J. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geol. Rundsch.*, 86, 404-414.

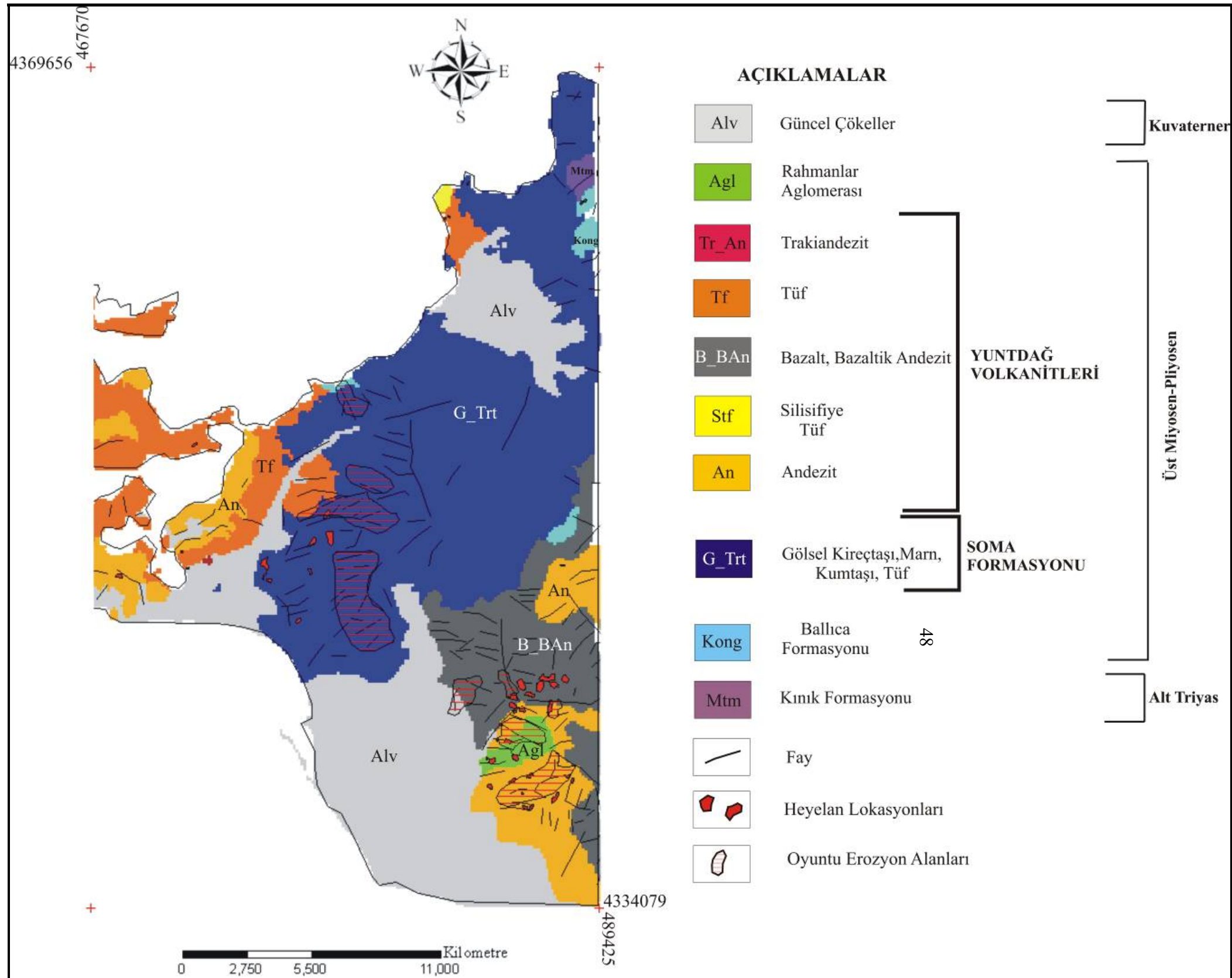


- Vargas, G.C. (1992). *Methodologia pour l'établissement de cartes de sensibilite aux mouvements de terrain fonde sur l'utilisation d'un couple stereographique SPOT XS/TM. Application a la region de Palz del Rio (Colombie)*. Proceedings 1st Simposio Internacional sobre sensors remotos y sistemas de informacion geografica (SIG) para el estudio de riesgos naturales, Bogota, Colombia, 201-220.
- Varnes, D.J. (1978). *Slope movement types and processes*. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides Analysis and Control*. Special Report, vol. 176. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, New York, pp.12-33.
- Varnes, D.J. (1984). *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris, 63pp.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion, London.
- Wachal, D. J. and P. F. Hudak. (2000). Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal*, 51 (3), 245-253.
- Wieczorek, G.F. (1984). Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. *Bull. of Assoc. of Eng. Geologist*, 21 (3), 337-342.
- Wright, R.H., Campbell, R.H. and Nilsen, T.H. (1974). Preparation and Use of Isopleth Maps of Landslide Deposits. *Geology*, 2, (10), 483-485.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilim. Enst., Trabzon.
- Yavuz, A.B. (2005). Sözlü görüşme.

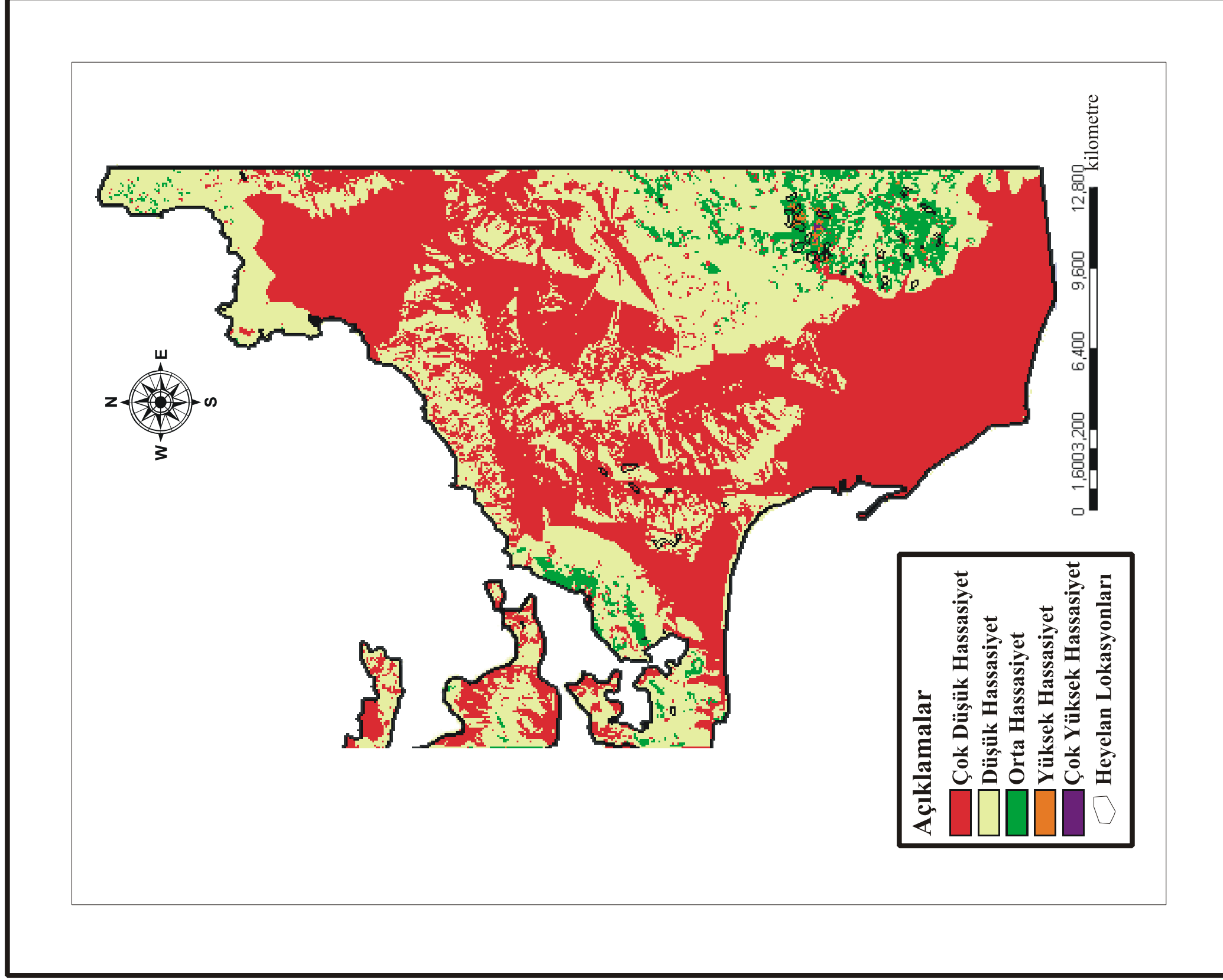
- Yeşilnacar, E. and Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology* 79, 251-266.
- Yıldız, N. (1992). Ayvalık, Altınova, Dikili Ovaları ve Çevresinin Uygulamalı Jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Ens., İzmir.
- Yılığör, T. (1999). Aksaray ve Kozak Yöresi Granitlerinin Isı Karşısındaki Davranışı ve Bozunma Profilleri. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Ens., İzmir.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, Ö.F., Elmas, A., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Güleç, N. (1997). *Ayvalık-Dikili-Çandarlı-Bergama arasında (Edremit ve Bergama grabenleri çevresinde) genç magmatizmanın jeolojik ve petrolojik araştırılması*. TUBİTAK Report No: YDABÇAG-228G/420G, 74 pp.
- Yılmaz, Y. (2000). *Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği*. Batı Anadolunun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM), 24-27 Mayıs 2000, İzmir.
- Yin, K.L. and Yan, T.Z. (1988). *Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks*. Proc.5th. Int. Symp. on Landslides, Balkema, Netherlands, 2, 1269-1272.
- Yomralıoğlu, T. (2001). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Seçil Ofset, İstanbul, 479 syf.
- Zadeh, L.A. (1965). *Fuzzy sets. Information and Control*. 12 (2), 94-102.
- Zadeh, L.A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. SMC-3, 1*, 28-46.

**EKLER**

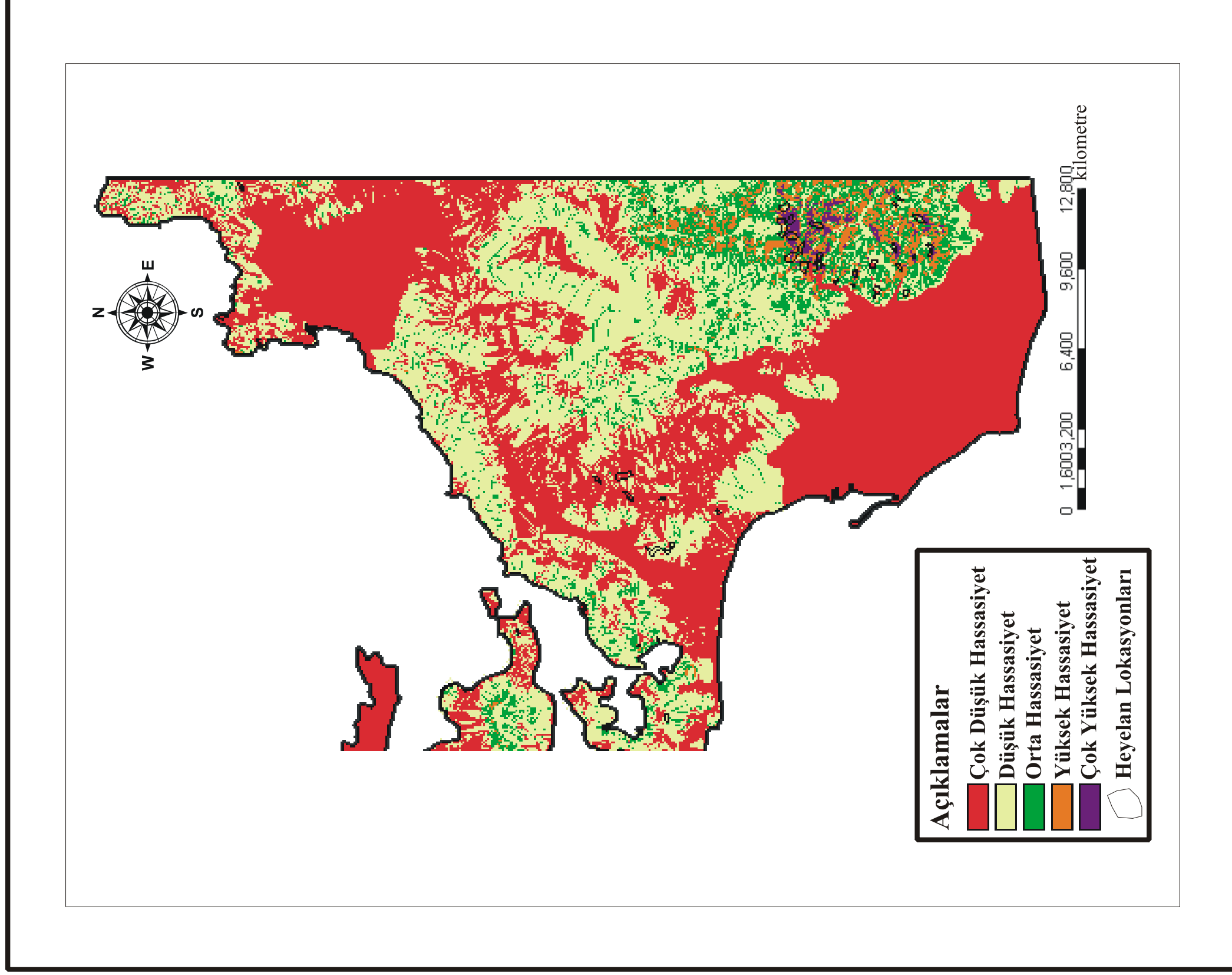
EK 1. İnceleme alanına ait genel jeoloji haritası (Akyürek, 1989' dan değiştirilerek hazırlanmıştır)



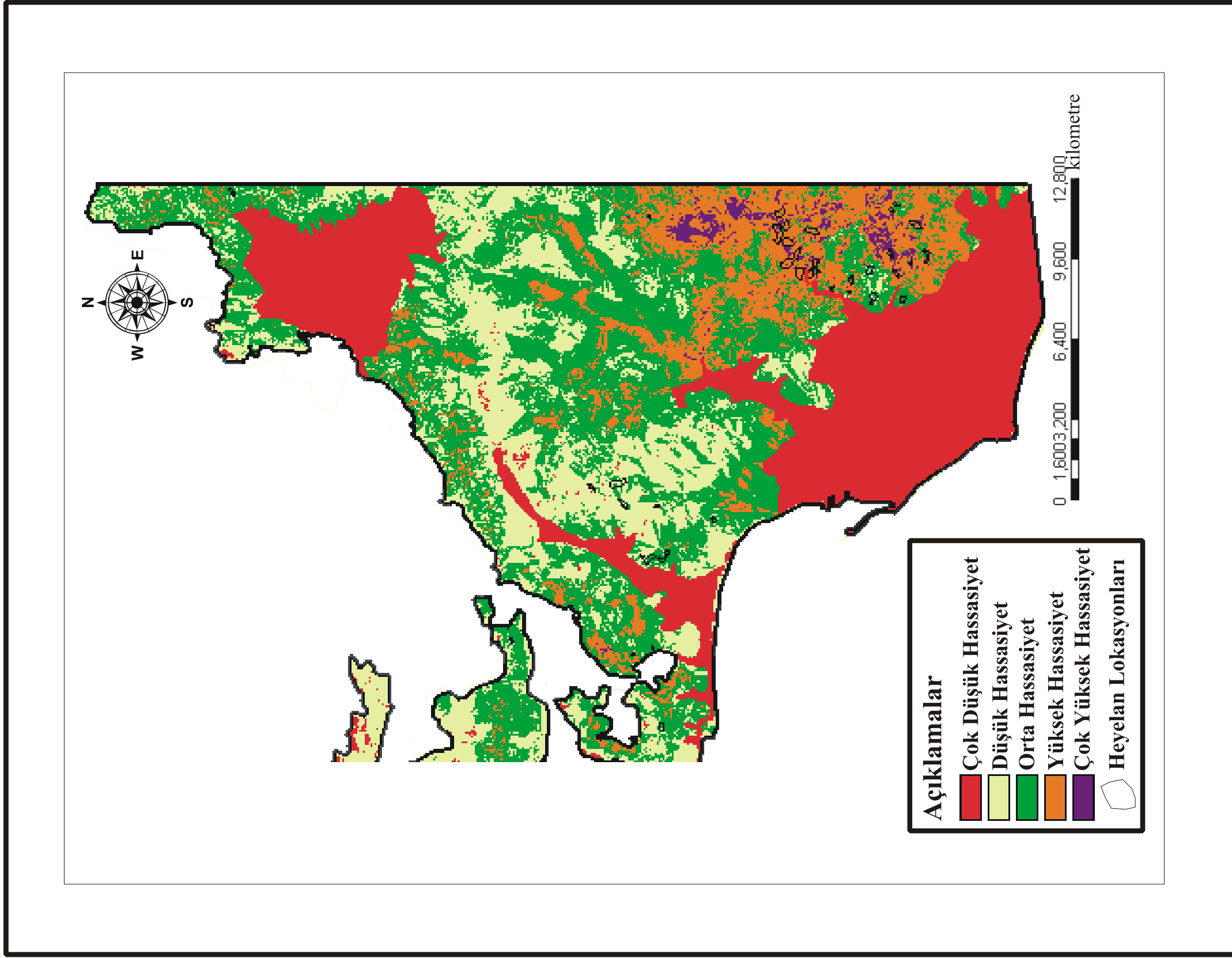
EK 2. Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası.



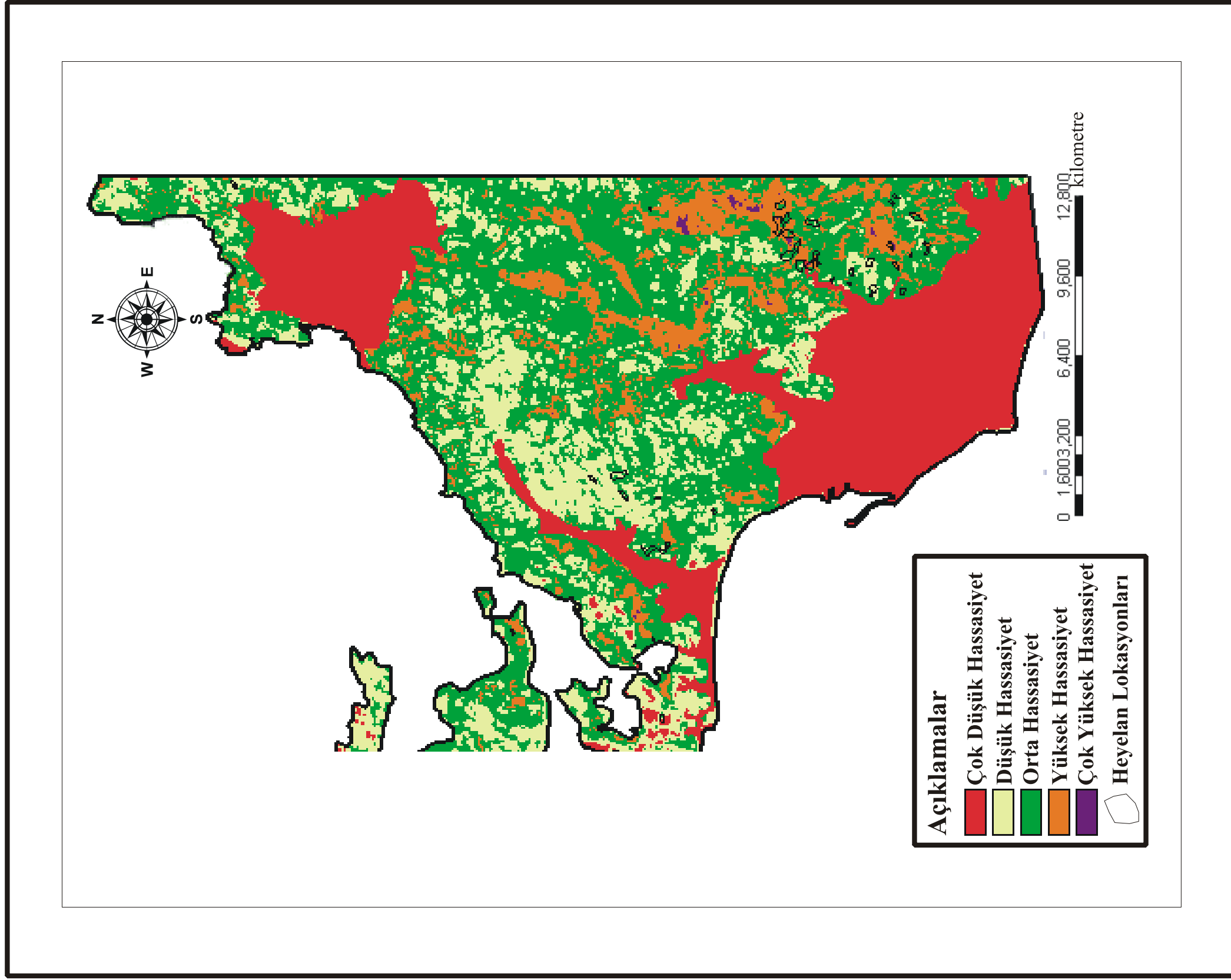
EK 3. Olasılık-benzerlik oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası



EK 4. Voogd (1983)'e göre ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası



EK 5. Eastman (2004)'e göre ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yaklaşımıyla üretilen heyelan duyarlılık haritası





EK 6. A: Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi, drenaj yoğunluğu, süreksizlik yoğunluğu, arazi örtüsü, topoğrafik eğrilik ve B: Bozunma, eğim, akarsu güç indeksi parametreleri ile hazırlanmış erozyon duyarlılık haritaları ve bunların litoloji ile ilişkileri

