

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RİZE İL MERKEZİ VE YAKIN ÇEVRESİNİN HEYELAN
DUYARLILIĞI AÇISINDAN ARAŞTIRILMASI

FATİH KAHYA

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AYBERK KAYA
TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. ALİ OSMAN YILMAZ
PROF. DR. ORHAN KARSLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİZE İL MERKEZİ VE YAKIN ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIĞI
AÇISINDAN ARAŞTIRILMASI**

Doç. Dr. Ayberk KAYA danışmanlığında, Fatih KAHYA tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/04/2019 tarihinde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ

Üye : Prof. Dr. Orhan KARSLI

Üye : Doç. Dr. Ayberk KAYA

[Handwritten signatures of Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ, Prof. Dr. Orhan KARSLI, and Doç. Dr. Ayberk KAYA]


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Doç. Dr. Ayberk KAYA'ya şükranlarımı sunarım. Yüksek lisans tez jürisinde yer alarak katkıda bulunan Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ'a ve Prof. Dr. Orhan KARSLI'ya teşekkür ederim.

Çalışmanın değişik aşamalarında bilgi ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Aykut AKGÜN'e, Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ'a, Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BOSTANCI'ya içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Literatür çalışmaları sırasında desteğini esirgemeyen Jeoloji Müh. Yaşar ÖZDOĞAN'a, Jeoloji Müh. Nurten HUT'a, Harita Müh. Yalçın ŞAHİN'e ve Jeoloji Müh. Emrah YILDIZ'a teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışmanın yürütülmesinde desteğini gördüğüm Rize Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'ne (AFAD) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında her zaman yanımda olan ve desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hazırlanan bu Yüksek lisans tezi Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından 2014.109.01.01 nolu proje ile desteklenmiştir.

Fatih KAHYA

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Rize İl Merkezi ve Yakın Çevresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından Araştırılması” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 29/04/2019



Fatih KAHYA

***Uyarı:** Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

ÖZET

RİZE İL MERKEZİ VE YAKIN ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIĞI AÇISINDAN ARAŞTIRILMASI

Fatih KAHYA

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Ayberk KAYA**

Bu çalışmada, Rize il merkezi ve yakın çevresi için istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanlara ait envanter haritası arazi çalışmaları neticesinde ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile farklı kaynaklardan toplanan veriler değerlendirilmiştir. Mantıksal regresyon analizi kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen duyarlılık haritalarında, çok az duyarlı, az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı duyarlılık alanı ayırtlanmıştır. Üretilen duyarlılık haritalarının performans analizleri, mevcut heyelanlarla duyarlılık haritaları karşılaştırılarak yapılmıştır. Mantıksal regresyonla üretilen heyelan duyarlılık haritasında, toplam alanın % 70'i orta ve yüksek ve çok yüksek duyarlı alan olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üretilen duyarlılık haritalarının performans analizleri, haritaların kullanılabilirliğini göstermektedir.

2019, 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Heyelan Duyarlılık Haritası, Envanter Haritası, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Mantıksal Regresyon Analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE RİZE CENTRAL DISTRICT AND SURROUNDINGS IN TERMS OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY

Fatih KAHYA

**Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayberk KAYA**

In this study, landslide susceptibility analysis of the Rize central district and surroundings was performed by using statistical analysis methods. Inventory maps of landslides occurred in the region were prepared by field works and using the high resolution satellite image. The data obtained from different sources were evaluated by Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques. Landslide susceptibility maps were produced using logistic regression analysis (LRA). On these susceptibility maps, five different susceptibility area were separated. These are as follows; very low, low, medium, high and very high susceptible area. Performance analysis of these maps was carried out by comparing the actual landslides. On susceptibility maps, produced with LRA 70 % of the total area were determined as susceptible, high and very high susceptible areas. According to the results, performance analysis of susceptibility maps showed that these produced maps are suitable for use.

2019, 48 pages

Keywords: Landslide Susceptibility Map, Inventory Map, Geographical Information Systems, Logistic Regression Analysis

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Kapsam ve Amacı	2
1.3. Genel Bilgiler	3
1.3.1. Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları.....	3
1.3.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi.....	6
1.3.2.1. Andezit Bazalt ve Piroklastları	7
1.3.2.2. Tortul Kayaçlar.....	7
1.3.2.3. Alüvyonlar	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	10
2. Rize İli Merkez İlçesine Ait Heyelan Duyarlılık Analizi	10
2.1. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler.....	10
2.1.1. Heyelan Envanteri	10
2.1.2. Litoloji	15
2.1.3. Eğim.....	16
2.1.4. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)	18
2.1.5. Yükseklik.....	20
2.1.6. Topoğrafik Nemlilik İndeksi	22
2.1.7. Akarsu Güç İndeksi	24
2.1.8. Yamaç Eğriselliği	26
2.1.9. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi (LS)	28
3. BULGULAR	30
3.1. Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi.....	30

3.2.	Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz	30
3.2.1.	Mantıksal Regresyon Analizi	32
3.2.2.	Çalışma Kapsamında Mantıksal Regresyon Analizi Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi.....	36
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	41
5.	ÖNERİLER	44
	KAYNAKLAR	45
	ÖZGEÇMİŞ	48



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Çalışma alanının (beyaz renkli alan) uydu fotoğrafındaki görünümü.....	3
Şekil 2.	Rize ili merkez ilçesinin jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilmiştir)....	9
Şekil 3.	Rize ili merkez ilçesine ait jeoloji haritasının üç boyutlu arazi modeli üzerindeki görünümü.....	9
Şekil 4.	08.10.2011 tarihli WorldView 2 uydu görüntüsü üzerinde görsel yorumlama yöntemiyle heyelan lokasyonlarının haritalanması	12
Şekil 5.	Görüntü üzerinden tespit edilen güncel kütleli yenilme alanlarının (a) görünümü ve (b) sayısallaştırılması.....	13
Şekil 6.	Heyelan envanter haritasında hazırlanan veri tabanı bilgisi (ID: Heyelan lokasyonuna verilen sayı, Type: Heyelan türünün aktif olduğunu gösteren etiket. Burada, tüm heyelanlar 1 ile etiketlenmiştir)	14
Şekil 7.	İnceleme alanına ait 2005 öncesi, 2011 ve 2015 yılları için elde edilen heyelan lokasyonları haritası	14
Şekil 8.	Haritalanan heyelan lokasyonlarının, litoloji haritası üzerinde gösterimi....	16
Şekil 9.	Rize ili merkez ilçesinin eğim haritası	18
Şekil 10.	Rize ili merkez ilçesinin eğim yönü (bakı) haritası.....	20
Şekil 11.	Rize ili merkez ilçesinin yükseklik haritası.....	22
Şekil 12.	Rize ili merkez ilçesi nemlilik indeksi haritası	24
Şekil 13.	Rize ili merkez ilçesi akarsu güç indeksi haritası	25
Şekil 14.	Rize ili merkez ilçesi yamaç eğriselliği haritası	27
Şekil 15.	Rize ili merkez ilçesi sediman taşıma kapasite (LS) haritası	29
Şekil 16.	Mantıksal regresyon yöntemiyle hazırlanmış olan, inceleme alanına ait heyelan duyarlılık haritası.....	37
Şekil 17.	Duyarlılık sınıflarının inceleme alanı içerisindeki % dağılımı	38
Şekil 18.	Duyarlılık analizine ilişkin performans analizi histogramı	39
Şekil 19.	Mantıksal regresyon modeline göre geliştirilen eğri altındaki alan (EAA-ROC) eğrisi (EAA= 0,61)	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Jeolojik birimlerin inceleme alanındaki dağılımları ve heyelanlarla ilişkileri	16
Tablo 2. İnceleme alanının eğim sınıfları inceleme alanındaki dağılımları ve heyelanlarla ilişkileri	18
Tablo 3. İnceleme alanının eğim yönü sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı	20
Tablo 4. İnceleme alanının yükseklik sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı	22
Tablo 5. Nemlilik indeksi sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı	24
Tablo 6. Akarsu güç indeksi sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı	26
Tablo 7. Yamaç eğriselliği sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı	27
Tablo 8. Sediman taşıma kapasite (LS) sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı	29

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AFAD	Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
A _s	Özgöl Havza Alanı
A _s	Spesifik Havza Alanı
Assoc. Prof. Dr.	Associate Professor Doctor
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
Doç. Dr.	Doçent Doktor
LS	Sediman Taşıma Kapasite
LS	Sediman Taşıma Kapasite Endeksi
MEUS	Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi
MTA	Maden Tetkik Arama
q	Suyun Debisi
RABİS	Rize Afet Bilgi Sistemi Projesi
SINMAP	Duraylılık İndeksi
SPI	Akarsu Güç İndeksi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TWI	Topoğrafik Nemlilik İndeksi
UA	Uzaktan Algılama
B	Yamaç Eğimini

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

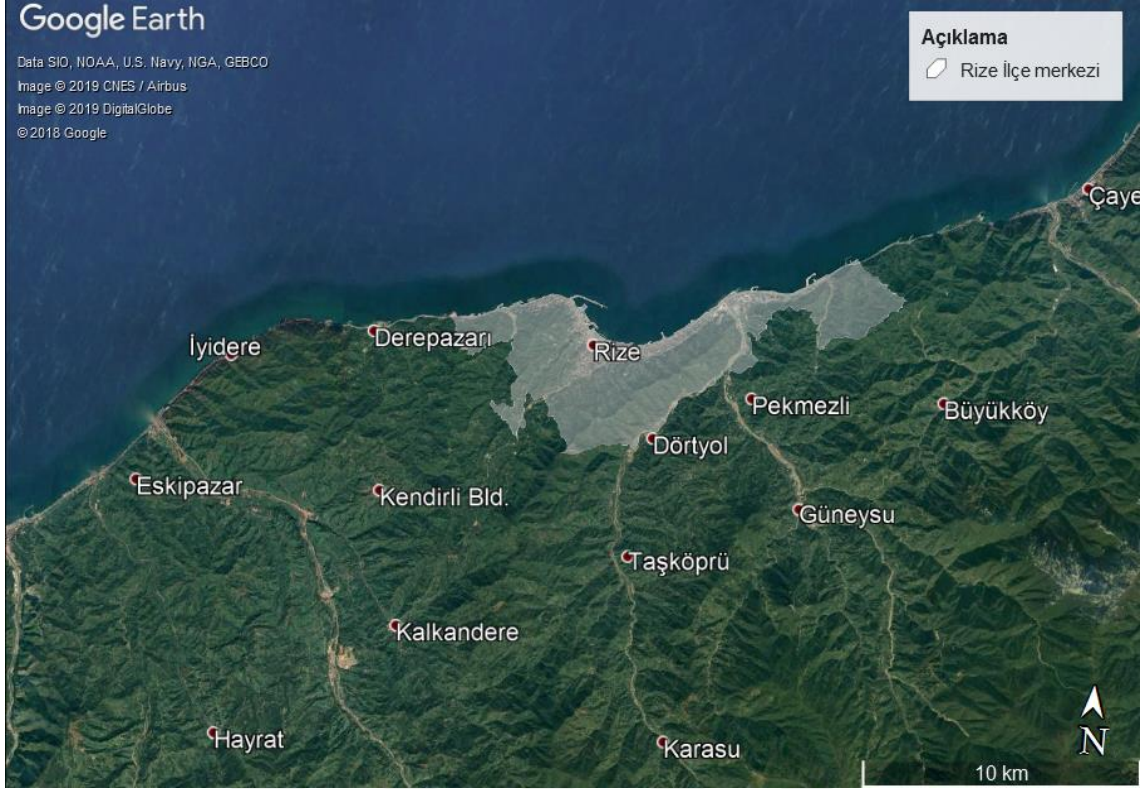
Dünyada meydana gelen doğa olayları insan hayatı ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkilediği takdirde doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Deprem, heyelan, volkanik aktivite, çığ, fırtına ve sel olayları başlıca doğal afetleri oluşturmaktadır. 20. yüzyılın başlarından itibaren dünyada yaşanan teknolojik gelişmeler ve sanayileşmenin artması sonucunda gelişen bir kentleşme süreci yaşanmaktadır. Buna paralel olarak nüfus artışı ile birlikte yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde yerleşim alanlarının zorunlu nedenlerden dolayı fakat bilinçsizce genişlemesi, yaşanan doğal afetlerin can ve mal kaybı şeklindeki olumsuz etkilerini önemli derecede artırmaktadır (Dağ, 2007).

Ülkemizde plansız yerleşmenin sonucunda birçok yerleşim birimi heyelan ve diğer doğal afet tehditleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Yerleşim amaçlı kırsal ve kentsel yer seçimi kararlarının da sürdürülebilir planlama anlayışı çerçevesinde düşünülmemesi, plansız ve çarpık yapılaşma, heyelan ve sel gibi doğal afetlere maruz kalma gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Devlet Planlama Teşkilatı tarafından hazırlanan VIII. ve IX. Beş Yıllık Kalkınma Planlarında afet zararlarını en aza indirmek için kentsel ve kırsal alanlardaki yerleşmelerin afet riskleri de dikkate alınarak hazırlanacak planlara göre yönlendirilmesi hedef olarak belirlenmiştir. Bölgesel ölçekteki çalışmalar daha çok bölge, alt bölge ve il ölçeğinde mekânsal ve/veya sosyo-ekonomik planlamanın hazırlanması aşamasında yapılmaktadır. Bu tür çalışmaların arzu edilen düzeyde gerçekleşmemesinin en önemli nedeni yoğun veri gereksinimi, zaman ve emektir. Ayrıca planlamaya girdi oluşturan kurumlar arası eşgüdümün olmayışıdır. Doğu Karadeniz Bölgesi gibi özellikle topografyadan kaynaklanan arazi kullanımındaki kısıtlamalar, yerleşim yerlerinin seçiminde de ortaya çıkmaktadır. Bu bölge için sürdürülebilir yerleşim alanlarına yönelik yapılacak planlamalarda, heyelan riski oldukça önem arz etmektedir (Dağ, 2007).

1.2. Çalışmanın Kapsam ve Amacı

Dağınık yerleşime sahip Doğu Karadeniz Bölgesi gibi bölgelerde ortaya çıkan plansız yol ve buna bağlı plansız yapı talebi heyelanı tetikleyen temel faktörler arasında gelmektedir. Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Rize ili, jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları açısından heyelan oluşumuna uygun bir yöredir. Bugüne kadar bu yörede olan kayıplar bunun en iyi göstergesidir. Bununla birlikte Rize ilinde her geçen gün gerek kıyı boyunca görülen kentleşme nedeniyle, gerekse bölgenin kırsala (orijinleriyle) olan ilişkilerinden kaynaklı olarak yeni konut alanlarına gereksinim olmakta, bu da yeni yerleşim yerlerinin yapılaşmaya açılması anlamına gelmektedir. Ancak gerek yerleşim yerleri gerekse yerleşim yerlerine hizmet amaçlı yapılan mühendislik yapılarının inşasında yerleşim planına yönelik herhangi bir projelendirme yapılmamaktadır. Gerekli analitik etüt ve buna bağlı bir planlama çalışması yapılmadan yerleşime açılan alanlarda, doğal afetleri tetikleyen (heyelan ve sel gibi) unsurlar kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, bu tür problemlerin önüne geçilebilmesi için Rize il merkezi ve çevresinin (Şekil 1) heyelan duyarlılığı ve sürdürülebilir yerleşim yerleri açısından değerlendirilmesi yapılmış, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile doğal afet yönetiminin, özellikle afet öncesi planlama çalışmalarının etkili bir biçimde yürütülebilmesi için gerekli harita altlıkları oluşturulmuştur. Bu amaçla, bölgenin jeoloji, topoğrafya, arazi örtüsü\kullanımı, toprak, yağış, yol, akarsu vb. gibi konuma dayalı bilgileri toplanarak bir veri tabanı altında birleştirilmiş, doğal afet için gerekli ham veriler CBS ortamına analiz edilmek üzere aktarılmıştır. Çalışma sonucunda heyelana yönelik risk bölgeleri ve yerleşime uygun alanlar çok kriterli karar destek metotlarından biri olan Mantıksal Regresyon ile belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının (beyaz renkli alan) uydu fotoğrafındaki görünümü

1.3. Genel Bilgiler

1.3.1. Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

Rize İli ve çevresinde meydana gelen heyelanların oluşum mekanizmasını, etken faktörleri, yerleşim için riskli olan veya uygun olan alanları belirlemeye yönelik yaklaşık son 25 yılı kapsayan ve henüz başlangıç düzeyinde olan sınırlı sayıda akademik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan Rize merkez ilçesinde ise detay bir araştırma henüz gerçekleştirilmemiştir. Yörede araştırmacılar tarafından yapılan ulusal ve uluslararası düzeydeki çalışmalar aşağıda sunulmuştur;

Tarhan (1991), “Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış” isimli çalışmasında; değişik orijinli kayalarda meydana gelen farklı türdeki 100’e yakın kütle hareketini jeolojik ve jeoteknik açıdan incelemiş ve bu hareketlerin nedenlerini ortaya koymaya çalışmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde, kütle hareketlerinin meydana gelmesinde, bölgenin morfolojisi, jeolojisi, iklim karakteristikleri ve bunlara ilaveten

kayaçların ayrışması, değişik amaçlı kazılar, bitki örtüsünün tahribi ve yapay sarsıntıların etkili olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1995), “Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları” isimli çalışmasında; bölgede heyelanları etkileyen faktörlerin başlıcalarını; morfolojik durum, yağışlar, kazılar ve akarsu oymaları, kayaçların ayrışmaları, bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve değiştirilmesi, zemin özellikleri ve diğer nedenler (kaynaklar, atık sular, yükleme vb.) olarak belirlemiştir. Ayrıca aktif veya potansiyel heyelanların önlenmesi için yapılacak ilk işin, bu alanlarda morfoloji göz önüne alınarak yüzey ve yeraltı suyu drenajı olduğunu açıklamış ve gerekli olan diğer önlemleri sıralamıştır.

Bulut vd. (2000), aşırı yağışlar sebebiyle Rize İli Fındıklı İlçesi’nde yüzeyleyen tamamen ayrılmış andezit, bazalt ve granit ile yamaç molozlarında gelişmiş 109 adet heyelanı inceleyerek, 25 km²’lik bir alanı kapsayan çalışma alanının heyelan sonrasına ait topoğrafik haritasını hazırlamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda heyelan risk zonlaması yapmada izopleth eğrilerinin çok uygun bir araç olduğunu belirlemiştir.

Demir (2004), Ocak (Pazar-Rize) Köyü yerleşim alanındaki yamaçların duraylılığını belirlemek amacıyla Bishop ve Janbu Yöntemlerini kullanarak Limit-Denge Analizleri yapmıştır. Analizler sonucunda yamaçların duraylı olduğunu ve heyelan riski taşımadığını tespit etmiştir.

Dağ (2007), Mantıksal Regresyon ve İki Değişkenli İstatistiksel Analiz yöntemlerini kullanarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile Rize İli Çayeli İlçesi ve çevresinde heyelan duyarlılık çalışmaları gerçekleştirmiştir. Heyelanların oluşmasında; litoloji-bozunma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, topoğrafik yükseklik, akarsuya yakınlık ve arazi örtüsü parametrelerinin etkili olduğunu belirlemiştir. İki Değişkenli İstatistiksel Analiz yöntemiyle ürettiği duyarlılık haritasında, toplam alanın % 15’inin, Mantıksal Regresyonla ürettiği duyarlılık haritasında ise toplam alanın % 19’unun heyelanlara yüksek ve çok yüksek duyarlı olduğunu saptamıştır.

MTA (2007), “Türkiye Heyelan Envanteri Projesi” çalışması kapsamında bölgesel ve ulusal ölçekte heyelan envanter haritalarının üretilmesi amacıyla Rize İli’ni de içine alan bölgenin 1/500000 ölçekli bölgesel ve 1/25000 ölçekli ulusal heyelan envanter haritalarını hazırlamıştır.

Tarı vd. (2007), “Rize İl Genelinde Afet Bilgi ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi Kurulması (RABİS)” isimli TÜBİTAK projesi kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (MEUS) yöntemlerini kullanarak Rize İli’ni etkileyebilecek afetler karşısında insan kaybının ve maddi zararın en aza indirilmesi için bir sistemin kurulması amacıyla çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla, bölgenin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı 1/100.000 ölçekli temel harita altlıklarını üretmiştir.

Akgün vd. (2008), Olabilirlik Frekans Oranı ve Ağırlıklı Lineer Kombinasyon yöntemlerini kullanarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniği ile Rize İli Fındıklı İlçesi’nin heyelan duyarlılık haritasını hazırlamıştır. Olabilirlik Frekans Oranı yöntemine göre hazırladığı heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara bölgedeki heyelanların % 49’unun düştüğünü, Ağırlıklı Lineer Kombinasyon yöntemine göre hazırlanan duyarlılık haritasında ise % 79’unun düştüğünü belirlemiştir.

Menteşe (2009), Rize İli’ni kapsayan TÜBİTAK’ın RABİS projesi için heyelan tahmin sisteminin iyileştirilmesinde altlık olacak teknik analizleri yapmıştır. Elde ettiği verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında bir araya getirmiş ve proje kapsamında üretilen çıktıları inceleyerek heyelan tahminine olan etkisini araştırmıştır.

Nefeslioğlu vd. (2011), sığ heyelanların analizi için yeni bir risk değerlendirme tekniği geliştirmek amacıyla 1955-2007 yılları arasında Büyükköy (Çayeli-Rize) Yöresinde meydana gelmiş 251 adet sığ heyelanı incelemiştir. Sığ heyelanların geliştiği bölge için duyarlılık çalışmalarında Dairesel Örneklem Yaklaşımını kullanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniğini kullanarak oluşturduğu duyarlılık haritasının performansını test etmek için Yapay Sinir Ağları yönteminden yararlanmış ve bölgedeki

sıg heyelanların 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık periyotlarla tekrarlanma olasılığını tespit etmiştir.

Dağ ve Bulut (2012), Rize İli Çayeli İlçesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile heyelan duyarlılık haritası hazırlamıştır. Ürettiği heyelan duyarlılık haritasındaki riskli bölgeleri ve yerleşime uygun alanları saptamak amacıyla frekans oranı değerlerinden yararlanmıştır. Heyelanların oluşmasında; litoloji-bozunma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, topografik yükseklik, akarsuya yakınlık ve arazi örtüsü parametrelerinin etkili olduğunu tespit etmiştir. Çalışma kapsamında üretilen duyarlılık haritasında, mevcut heyelanların % 81'inin duyarlı-çok yüksek duyarlı alanlara karşılık geldiğini belirlemiştir.

1.3.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Bu çalışma kapsamında Rize merkez ilçesine ait 1/25000 ölçekli dijital genel jeoloji haritasının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu haritanın iyileştirilmesinde, daha önceki akademik çalışmalar ve MTA'nın maden araştırmalarına (1/10000 ve 1/25000 haritalar) yönelik yapılan çalışmalara ait veriler kullanılmıştır. Böylece, Rize merkez ilçesini kapsayacak 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritasının detaylandırılması hedeflenmiştir. Çalışma alanını da kapsayan bölgede Korkmaz ve Gedik (1988), Gedik vd. (1992) tarafından detaylı jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanı sıra MTA tarafından tüm bölgeyi kapsayacak çalışmalar yapılarak 1/100000 ölçekli genel jeoloji haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca, bölgede daha küçük alanları kapsayan akademik çalışmalar ve yine MTA tarafından maden araştırmalarına yönelik detaylı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada jeolojik çalışmalar kapsamında, gerek daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler gerekse bu inceleme kapsamında yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda elde edilen veriler birleştirilerek Rize merkez ilçesinin kapsayacak 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası üretilmiştir. Bu haritanın üretiminde, MTA tarafından maden araştırmaları için hazırlanan 1/25000 ölçekli haritalar, akademik amaçlı yapılan çalışmalarda üretilen haritalar ve inceleme kapsamında yapılan arazi çalışmalarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Elde edilen tüm bu veriler sayısal ortama aktarılarak bütünleştirilmiş ve çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası üretilmiştir (Şekil 2 ve 3). Bu çalışmalar

kapsamında bölgenin jeolojisi incelenmiş ve heyelan duyarlılık analizlerinde anlamlı olabilmesi için sadeleştirilmeye gidilmiş ve bileşim olarak birbirine yakın jeolojik birimler aynı kategoride değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda aşağıda sunulan 3 farklı jeolojik birim ayırtlanmıştır.

1.3.2.1. Andezit Bazalt ve Piroklastları

Genel olarak Merkez ilçesinin batısındaki ve doğusundaki genişçe bir alanda yüzeyleme vermektedirler. Formasyon olarak batı yönünde yüzeyleme veren Geç Kretase yaşlı volkanik kayalar Çağlayan Formasyonu, doğu yönündeki Eosen yaşlı volkanik kayalar ise Kabaköy Formasyonu olarak ilk defa Güven (1993) tarafından tanımlanmıştır. Birimler arazide sağlam kayadan tamamen ayrılmış kayaya kadar değişik ayrışma derecelerini sunmaktadır. Bu grupta yer alan, ayrışmamış sağlam kayalar masif görümlü, gri, koyu gri ve siyahımsı renk tonları sunmaktadır. Kayaçta ayrışmanın artmasıyla çatlakların geliştiği izlenmiş fakat bu çatlak gelişiminin geliş güzel olması hakim çatlak yüzeylerinin doğrultusunun tespitini olanaksızlaştırmıştır. Bu çatlaklar da kil gibi ince taneli malzemelerle doludur. Yine bu birim içerisinde çok yönlü kırıklar gelişerek karmaşık bir yapı oluşturmuş ve kayacın direncini azaltarak ayrışma sürecini hızlandırmıştır. Gelişen ayrışmaya bağlı olarak kayaçta çok farklı renk değişimleri gözlenmiştir. Bu kayaçlarda, yeşil, yeşilimsi siyah ve siyah, çatlakların çevresinde sarı, sarımsı kırmızı ve kırmızıya dönük renkler belirgindir. Bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşan birimde genelde piroklastlar egemendir. Tabakalı yapı göstermezler. Kayaçlarda yer yer kolonsu yapılar gözlemek mümkündür.

1.3.2.2. Tortul Kayaçlar

Çalışma alanında volkanik kayaların içerisinde ara katmanlar şeklinde tortul kayalar yer almaktadır. Formasyon olarak çalışma alanının ortasında yüzeyleme veren Geç Kretase yaşlı tortul kayalar Bakırköy Formasyonu, Eosen yaşlı volkanik kayaların tabanını oluşturan tortul kayalar ise Kabaköy Formasyonu olarak ilk defa Güven (1993) tarafından tanımlanmıştır. Bu kayalar, ince taneli tuf, tüfit, kumtaşı, kireçtaşı ve marn türündedirler. Bu birimler, merkezde kuzey güney hattı boyunca volkanik kayalarının arasında yüzeyleme vermektedirler. Tabakalı birimin rengi gri ve

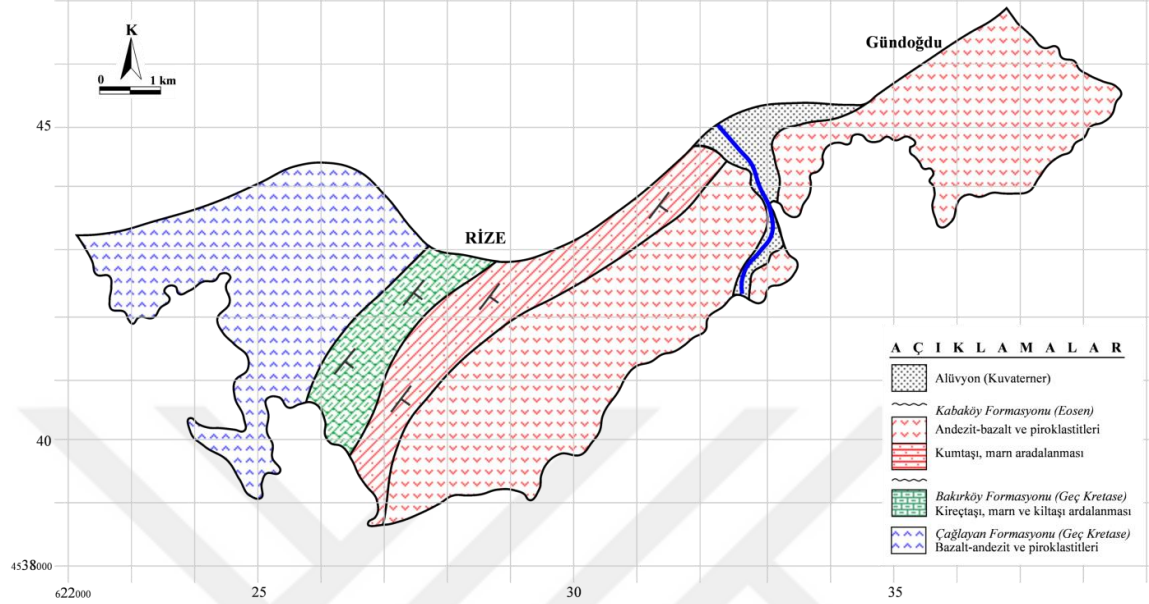
grimsi yeşil renkte olup kalınlıkları 30 cm. ile 100 cm. arasında ve katmanların genel duruşu ise 350/53'tür. Tüflerin ayrışması sonucu oluşan hematitleşmenin hakim olduğu alanlarda kırmızı renk hakimdir. Ayrıca ayrı birim olarak nitelendirilen diğer bir tortul birim olan kireçtaşları, açık gri renkli resifal kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından meydana gelmektedir.

1.3.2.3. Alüvyonlar

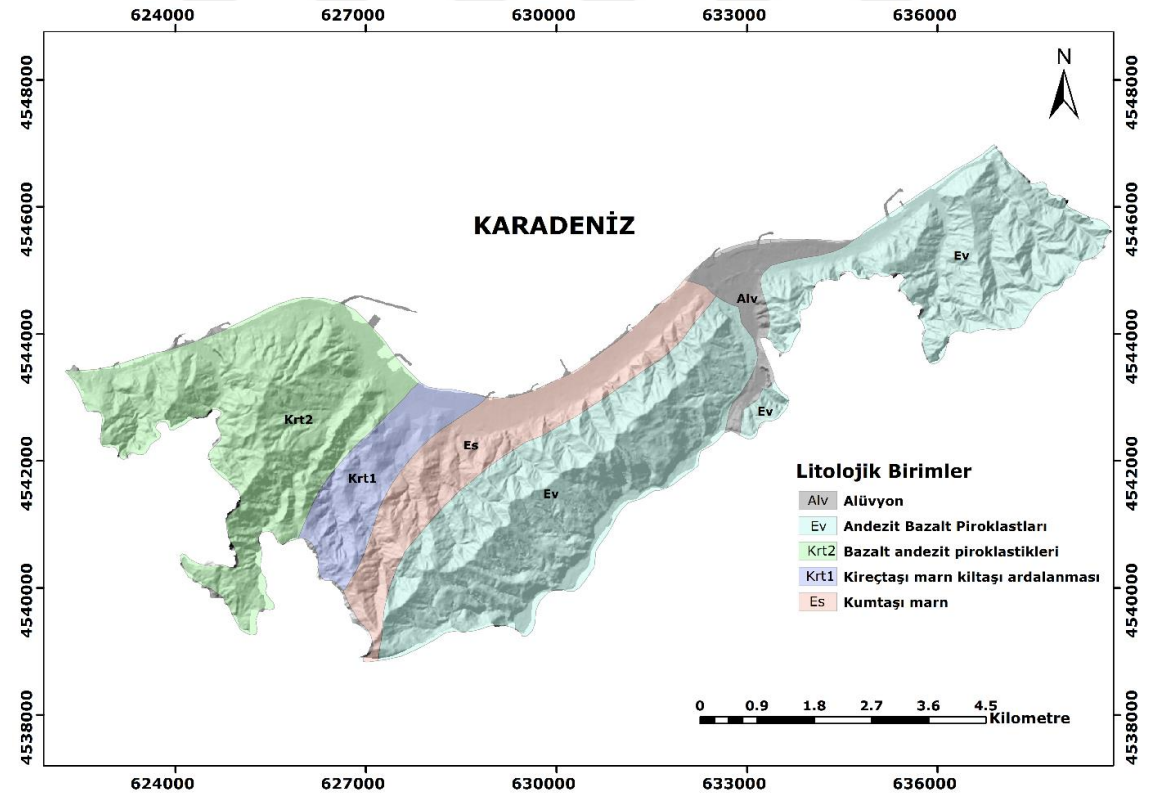
Alüvyonlar, Güneysu Deresi akarsularının denizden itibaren oluşturduğu deltalarında yüzeilenmektedir. Kil, silt, kum, çakıl ve blokların oluşturduğu alüvyonun genişliği 250-1500 m., uzunluğu 5 km.'dir. Genel olarak alüvyon malzemesinin % 75'inin blok ve çakıldan, geriye kalanın da daha ince malzemeden oluştuğu tespit edilmiş ve mikroskobik olarak yapılan incelemede malzemeyi oluşturan elemanların volkanik kayalardan oluştuğu olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanı ve yakın çevresi yapılan arazi çalışmaları ile jeolojik açıdan araştırılmıştır. Araştırma öncesinde MTA'nın hazırladığı jeoloji haritaları ile daha önce bölgede yapılmış çalışmalar bir araya getirilerek saha çalışması ile kontrol edilmiştir. Böylece sahada denetlenmiş ve eldeki bilgilere göre güncellenmiş bir jeoloji haritası elde edilmiştir. Farklı kişi ve kurumlar tarafından üretilmiş olan jeoloji haritasında görülen farklılık ve tutarsızlıklar imkânlar ve süre nispetinde düzeltilmeye çalışılmıştır. Ancak sahada yapılan gözlemlere göre bölgenin jeoloji haritası, her ne kadar bu çalışma sınırları içerisinde yeterli görülse de, uzun soluklu bir revizyona ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bölgenin yoğun bitki örtüsü, şiddetli ayrışma, topoğrafik koşullar ve ulaşım sorunları yüzünden bu tür bir revizyonun bilhassa magmatik kayalar üzerinde tecrübeli bir grupla ancak uzun yıllar içerisinde gerçekleştirilebileceği aşîkârdır. Bu çalışma büyük ölçüde jeolojik koşulların doğal afetler üzerindeki etkilerini konu almaktadır. Bu nedenle sahada yapılan gözlemler bilhassa jeolojik yapının afeti nasıl etkileyebileceği konusuna yoğunlaştırılmıştır. Bu açıdan ele alındığında Şekil 2'de verilen düzeltilmiş jeoloji haritası çalışmanın amaçları açısından uygun hale getirilmiş bir harita olarak değerlendirilebilir. Arazi gözlemleri ışığında bu çalışmaya ilaveler yapılmış olmakla birlikte temel olarak formasyonlarda ve bunların özelliklerinde önemli bir değişiklik

yoktur. Formasyonların üç boyutlu arazi modeli üzerindeki görünümü Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. Rize ili merkez ilçesinin jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilmiştir)



Şekil 3. Rize ili merkez ilçesine ait jeoloji haritasının üç boyutlu arazi modeli üzerindeki görünümü

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2. Rize İli Merkez İlçesine Ait Heyelan Duyarlılık Analizi

2.1. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile ilgili çalışmaların ilk aşaması duyarlılık haritalarının hazırlanmasıdır. Bu haritalar hazırlanırken, heyelanların oluşumunda etkili olan, çalışılan bölgenin özelliklerini yansıtan ve her biri haritalanabilir nitelikte olan parametreler kullanılmaktadır.

Farklı çalışma alanları için farklı parametrelerin etkili olması, kullanıcıların veri elde etmede karşılaştıkları sorunlar, ölçek, haritaların üretilmesinde kullanılan yöntemler gibi değişik nedenler parametre sayısında etkili olmaktadır. Litoloji, eğim, arazi örtüsü gibi parametreler, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında en fazla kullanılan parametreleri oluşturmaktadır. Bunların dışında kalan diğer parametreler ise, çalışılan bölgenin özelliklerine bağlı olup ayrıntıya yönelik değerlendirilen parametrelerdir. Bu tür parametreler belli bölgeler için büyük önem taşımakta ve az kullanılıyor olmaları, heyelan oluşumunda önemsiz oldukları anlamına gelmemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Çalışmanın bu aşamasında, yöredeki heyelanların meydana gelmesinde etkili oldukları düşünülen, jeolojik faktörlerden litoloji ile topografik faktörlerden eğim, yamaç eğim yönü (bakı), yükseklik, akarsuya yakınlık, su toplama havzası, topografik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi ve yamaç eğriselliği parametreleri kullanılarak tematik haritalar hazırlanmıştır.

2.1.1. Heyelan Envanteri

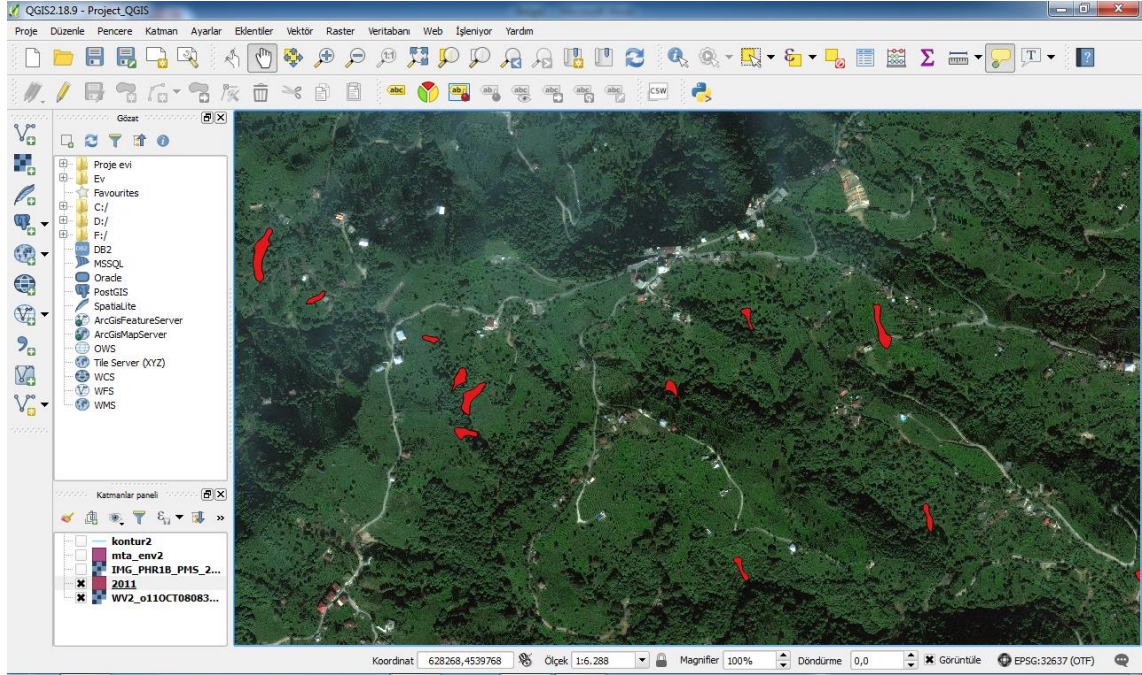
Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelanların alansal dağılımını gösteren haritalardır. Heyelan duyarlılık haritası hazırlamada başarılı bir çalışma yapabilmek açısından daha önce meydana gelmiş heyelanların alanlarının tespiti edilmesi önemlidir. Envanter haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda daha

önceki benzer çalışmalardan elde edilen bilgiler önem arz etmektedir. Genel olarak envanter haritalarının temelini çalışılan alana yönelik hava fotoğraflarının analizi oluşturmaktadır. Bu aşamada Orman Genel Müdürlüğü veya MTA Genel Müdürlüğü hava fotoğrafı arşivlerinden temin edilebilen değişik dönemlere ait ve farklı ölçeklerdeki (1/20000-1/35000) hava fotoğrafları değerlendirilebilir. Bu incelemeler özellikle farklı zamanlarda bitki örtüsüne yapılan müdahaleleri, ormanlık alanlardaki tahribatları göstermesi açısından önemlidir.

Bölgesel olarak bakıldığında çalışma alanındaki heyelanların büyük çoğunluğunu toprak akmaları oluşturmaktadır. Önceki çalışmalarda bu tür heyelanların özellikle çaylık alanlar içerisinde, nispeten orta derecede eğimli ve ayrışma derinliğinin çok fazla olmadığı alanlarda geliştiği ifade edilmiştir. Yörede gerçekleşen heyelanlar kil boyutundan silt, kum ve çakıl boyutlarında değişen taneler içeren malzeme içerisinde meydana gelmiştir. Yine saha gözlemleri ile çoğunlukla bu tür heyelanların hareket yönüne dik olarak su akışının mevcut olduğu belirlenmiştir. Aşırı yağışlardan sonra artan yüzey sularının bu tür heyelanların oluşumunda önemli derecede etkileri olduğu düşünülmektedir (Dağ ve Bulut, 2012).

Yukarda bahsi geçen yöntemlerden de yararlanmakla beraber çalışma kapsamında heyelan envanterinin oluşturulmasında asıl olarak yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Bu amaca yönelik farklı dönemlere ait uydu görüntüleri alınmıştır. Daha sonra çalışma alanına ait heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Envanter haritası çalışmada kullanılan parametre haritaları ile birlikte değerlendirilerek heyelan yoğunlukları, frekans oranı ve parametre ağırlıkları gibi heyelan duyarlılık haritasının üretilmesine yönelik veriler elde edilmiştir.

Çalışma alanına ait temin edilen 18.06.2015 tarihli Pleiades ve 08.10.2011 tarihli World View 2 çok bantlı yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden yararlanılarak çok zamanlı heyelan envanter haritalaması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ilk olarak 2011 yılına ait WorldView 2 görüntüsü üzerinden görsel yorumlama yöntemi kullanılarak alanda gelişen, çoğunlukla sığ akma ve kayma karakterine sahip heyelan alanlarına ait lokasyon haritası üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).

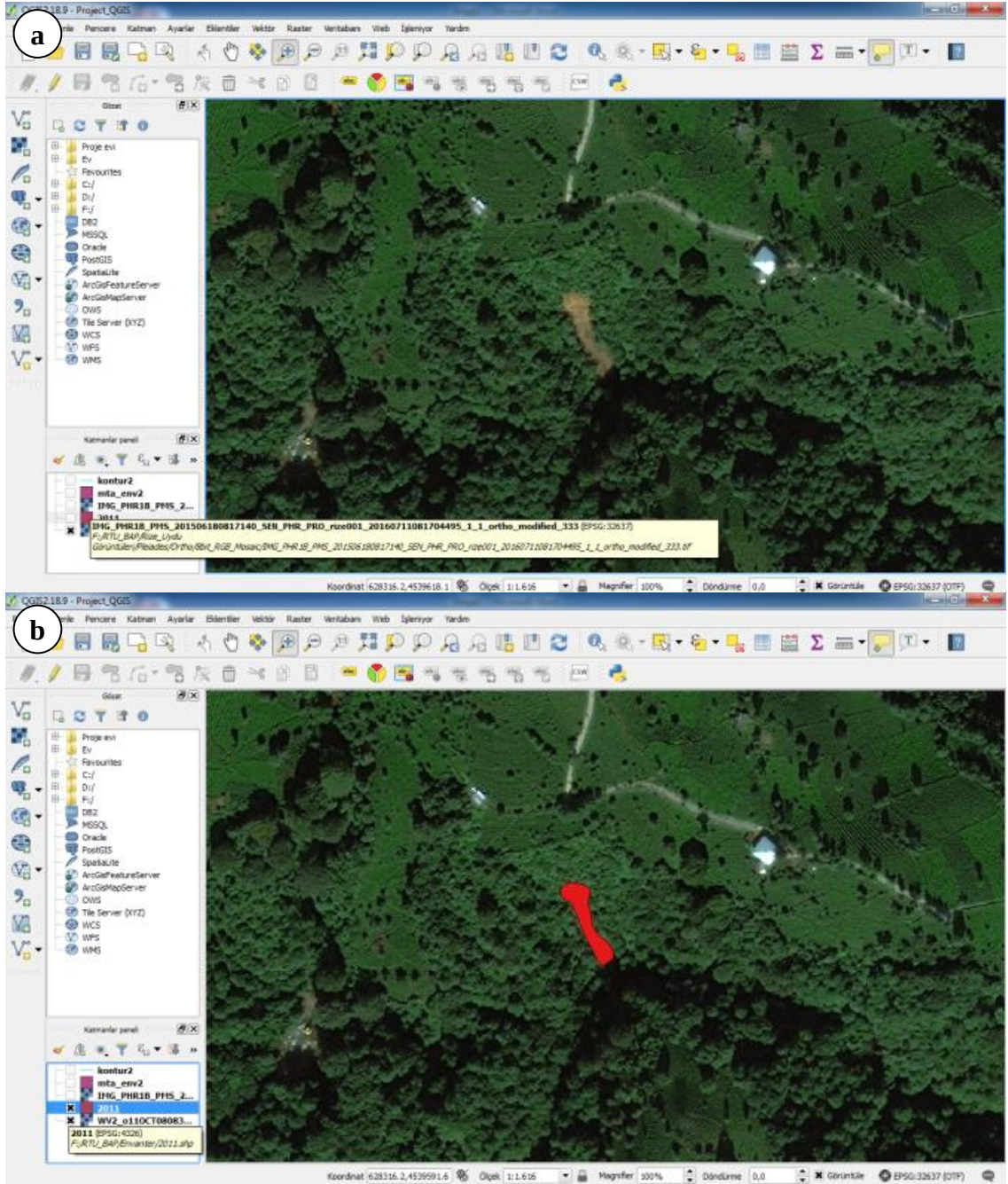


Şekil 4. 08.10.2011 tarihli WorldView 2 uydu görüntüsü üzerinde görsel yorumlama yöntemiyle heyelan lokasyonlarının haritalanması

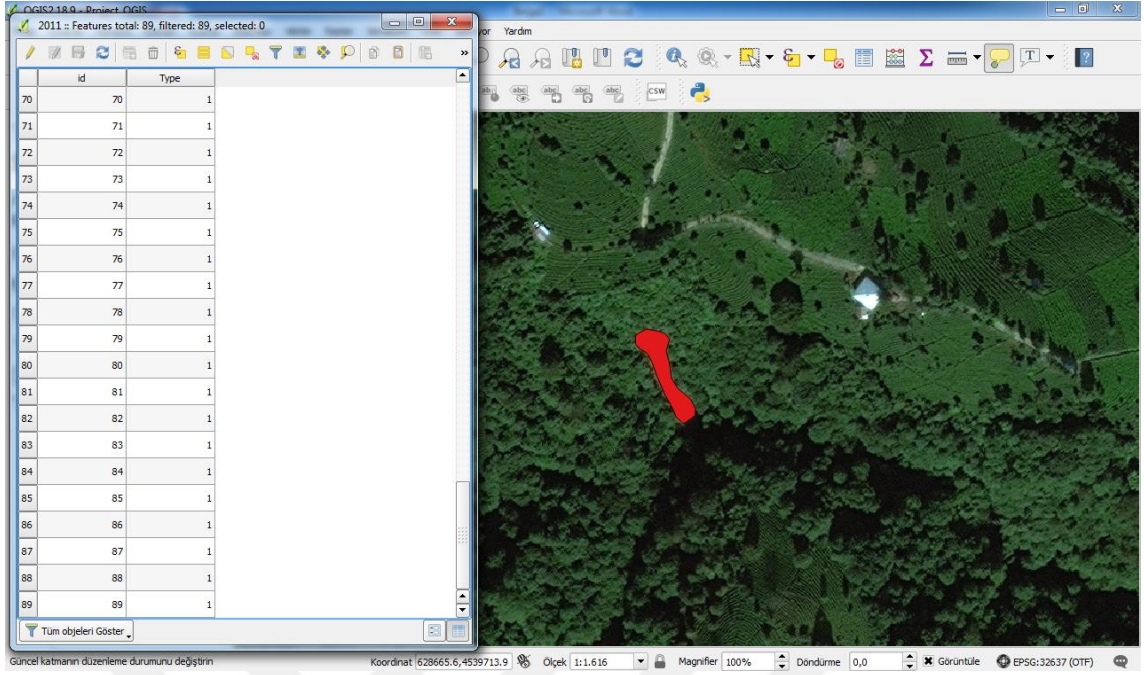
Bu amaçla, açık kaynak kodlu bir coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olan QGIS v2.18'den yararlanılmıştır. Bu kapsamda, alanda 2011 yılında meydana gelişmiş sığ akma ve kayma alanları görüntü üzerinden net olarak gözlenmiş ve vektör veri formatında olmak üzere sayısallaştırılmıştır (Şekil 5 ve 6). Sayısallaştırılan vektör veriler, ArcGIS CBS yazılımında da kullanılabilmesi amacıyla *.shape dosya formatında saklanmıştır.

Sayısallaştırma yapılırken, eşlenik olarak bir veri tabanı üretimi de sağlanmaktadır. Bu veri tabanında, sahada ayırt edilen heyelan lokasyonları, bünyesinde 2005 öncesinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye Heyelan Envanter Haritasında ayırtlanan heyelan lokasyonlarının da eklendiği bütünleşik heyelan envanter haritasında 2011 heyelanları olarak gösterilmiştir.

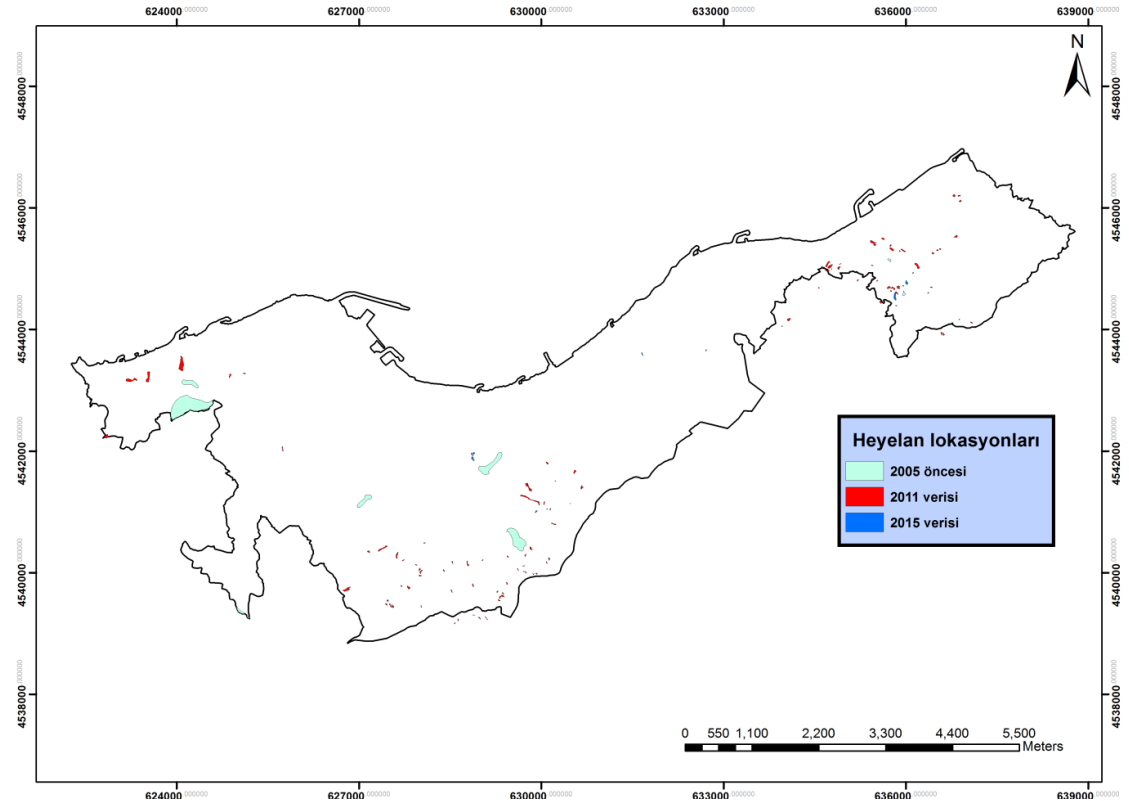
2011 yılına ait heyelan lokasyon haritalama çalışmalarının ardından, 2015 yılına ait lokasyon haritalama çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu sayede heyelan lokasyon haritalama çalışmaları tamamlanarak bütünleşik heyelan envanter haritasının hazırlanması ile çalışma alanında heyelan oluşumu açısından hangi parametrelerin hangi oranda öneme sahip olduğunu belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 5. Görüntü üzerinden tespit edilen güncel kütsel yenilme alanlarının (a) görünümü ve (b) sayısallaştırılması



Şekil 6. Heyelan envanter haritasında hazırlanan veri tabanı bilgisi (ID: Heyelan lokasyonuna verilen sayı, Type: Heyelan türünün aktif olduğunu gösteren etiket. Burada, tüm heyelanlar 1 ile etiketlenmiştir)



Şekil 7. İnceleme alanına ait 2005 öncesi, 2011 ve 2015 yılları için elde edilen heyelan lokasyonları haritası

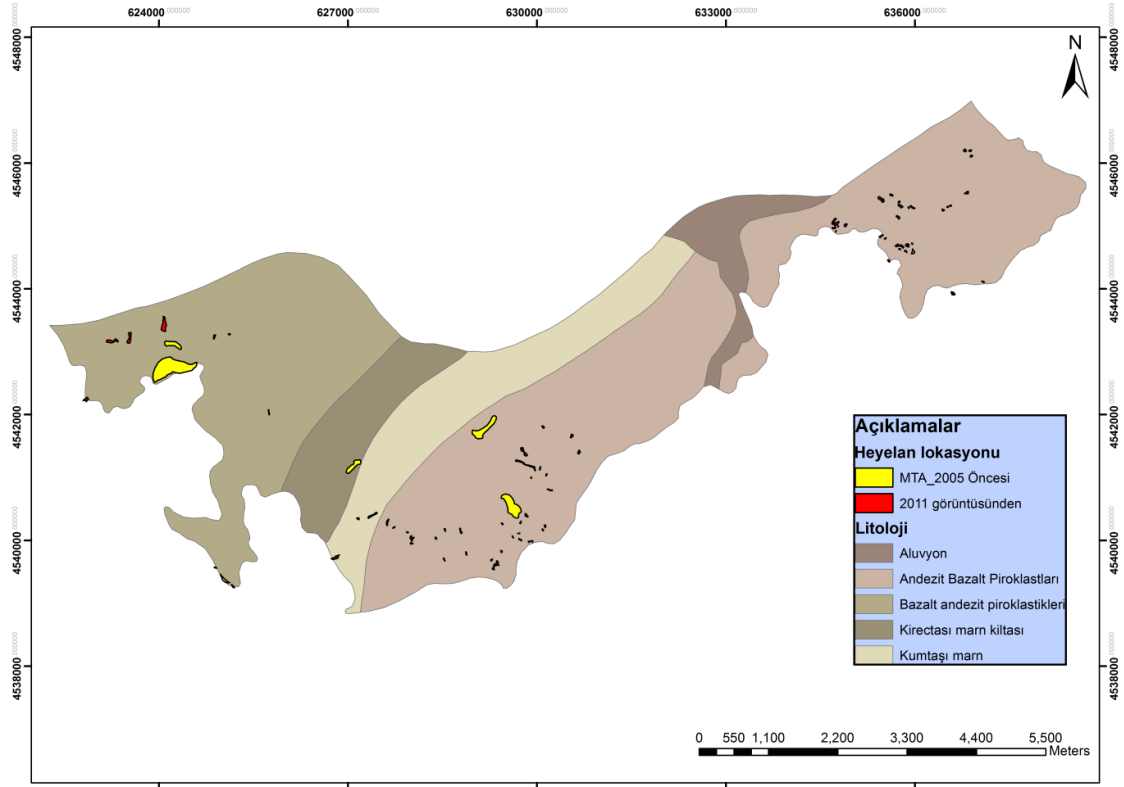
Çalışma kapsamında duyarlılık değerlendirilmesinde kullanılan parametre haritaları ile bu parametrelere ait alt sınıfların çalışma alanı içerisindeki dağılımları ve heyelanların parametre alt sınıfları içerisindeki dağılımlarını içeren tablolar aşağıda sıra ile verilmiştir.

2.1.2. Litoloji

Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma gerilmeleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı da farklı olacaktır.

Litolojik anlamda dikkate alınan önemli bir durum da kayaların ayrışmalarıdır. Aynı litolojiye sahip birimler ayrışma derecelerindeki değişimlere göre farklı duraylılık özelliklerine sahip olmaktadır. Dolayısıyla ayrışma durumu da kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak dikkate alınmalı ve değerlendirilmelidir. Çalışmanın bu aşamasında inceleme alanına ait jeoloji haritası üç boyutlu topografik model üzerine aktarılmıştır (Şekil 8) ve bu haritada yer alan birimler ile bu birimlerde heyelan içeren ve içermeyen piksellerin çalışma alanındaki alansal dağılımı belirlenmiştir (Tablo 1).

Çalışma alanı içerisinde en fazla yayılıma sahip olan birimler sıra ile andezit-bazalt ve piroklastitleri (% 41,1) ve bazalt-andezit ve piroklastitleri (% 37,9). Heyelanların alansal dağılımları dikkate alındığında da alan içerisinde meydana gelmiş olan heyelanların % 92 sinin 2 ve 3 nolu jeoloji sınıfları olarak numaralandırılan, Eosen yaşlı andezit-bazalt ve piroklastitleri ile Geç Kretase yaşlı bazalt-andezit ve piroklastitleri olarak nitelendirilen volkanik karakterli litolojilerde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 8. Haritalanan heyelan lokasyonlarının, litoloji haritası üzerinde gösterimi

Tablo 1. Jeolojik birimlerin inceleme alanındaki dağılımları ve heyelanlarla ilişkileri

Jeoloji	Piksel sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı piksel sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	18500	3,7	0	0
2	207100	41,1	626	65,14
3	191100	37,9	258	26,84
4	29500	5,8	0	0
5	58076	11,5	77	8,02
Toplam	504276	100	961	100

Tablo1'de jeoloji sınıfları; 1- Alüvyon, 2- Andezit-bazalt ve piroklastitleri, 3- Bazalt-andezit ve piroklastitleri 4- Kireçtaşı, marn, kilaşı, 5- Kumtaşı, marn.

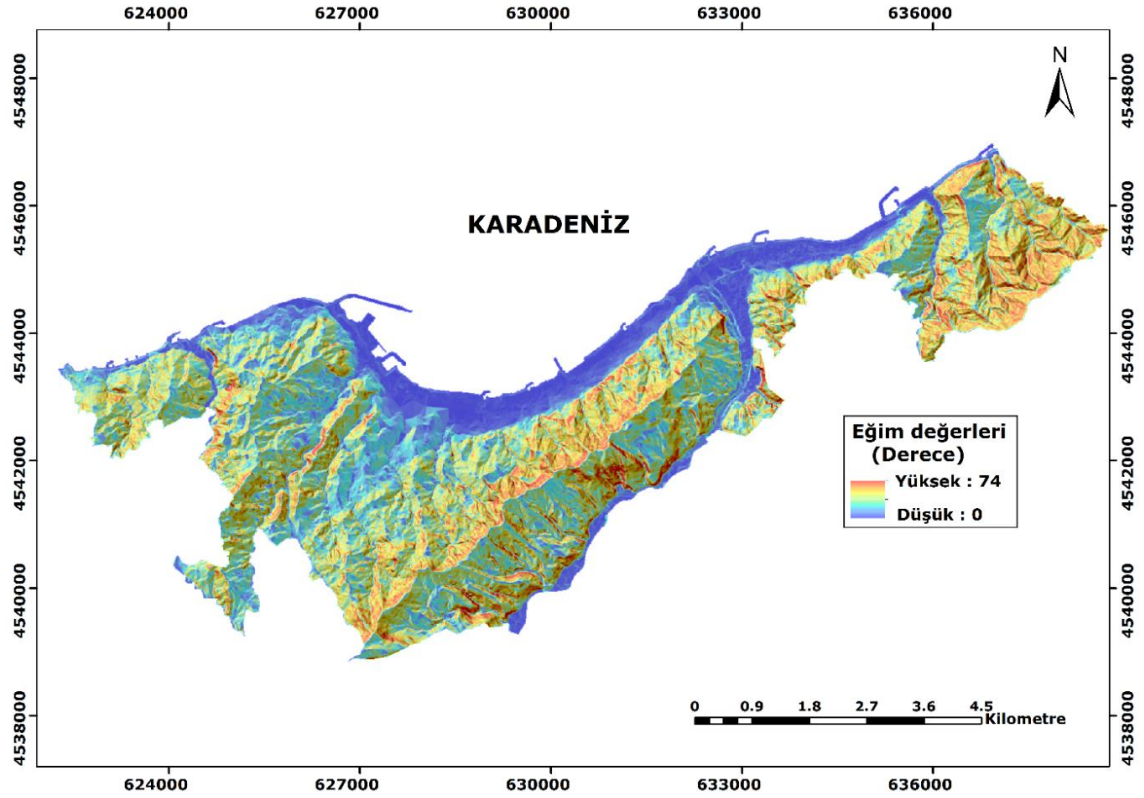
2.1.3. Eğim

Yamaç yada şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda direk etkili olup stabilite çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl stabilite faktörüdür. Ayrıca bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenidir. Araştırmalarda çok yaygın olarak kullanılan bu parametre üzerinde, araştırmacılar arasında bir fikir birliği oluşmuştur. Bu durum orta

derecede eğim değerine sahip (20° - 45°) yamaçlar için geçerlidir. Bu tür yamaçlarda artan eğim değeri zeminin kayma gerilmesini artıracığından, yamaçların duraylılığını olumsuz olarak etkilemektedir. Eğim değerinin 45° 'yi geçtiği yüksek eğim değerine sahip yamaçlar zemin özelliğindeki ayrıışmış malzemeden ziyade, sağlam kayalardan oluşmaktadır ve bu tür kayalarda stabilite açısından duraylıdır (Santacana vd., 2003). Çok düşük eğim değerine sahip alanlarda kayma gerilmeleri daha düşük olacağından dolayı, bu eğim değerleri heyelan açısından daha az duyarlıdır (Dai vd., 2001).

Çalışmanın bu aşamasında inceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim haritası oluşturulmuş (Şekil 9) ve eğim haritası farklı sınıflara ayrılarak farklı eğim aralıkları belirlenmiştir. Bu haritada yer alan sınıfların çalışma alanındaki alansal dağılımı ve bu eğim sınıflarında heyelan içeren ve içermeyen piksellerin alansal dağılımları belirlenmiştir (Tablo 2).

Çalışma alanı içerisinde en fazla yayılıma sahip olan eğim değerleri düşük ve orta eğim değerleridir. $0-45^{\circ}$ arası değerleri içeren bu eğim değerleri inceleme alanının yaklaşık % 90'ını oluşturmaktadır. Meydana gelmiş heyelanların alansal dağılımlarını dikkate aldığımız zaman yaklaşık % 68'inin $17-34^{\circ}$ arasında orta eğimli yamaçlarda geliştiği söylenebilir. Daha önce meydana gelmiş olan heyelanların dağılımını da dikkate aldığımızda inceleme sahası için orta eğim değerlerinin heyelan açısından hassas olduğu bir gerçektir.



Şekil 9. Rize ili merkez ilçesinin eğim haritası

Tablo 2. İnceleme alanının eğim sınıfları inceleme alanındaki dağılımları ve heyelanlarla ilişkileri

Eğim Sınıfları	Eğim (°)	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı piksel sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	0-7	82100	18,99	20	2,08
2	7-17	90100	20,84	155	16,13
3	17-25	105076	24,31	369	38,40
4	25-34	95000	21,98	286	29,76
5	34-74	60000	13,88	131	13,63
Toplam		432276	100	961	100

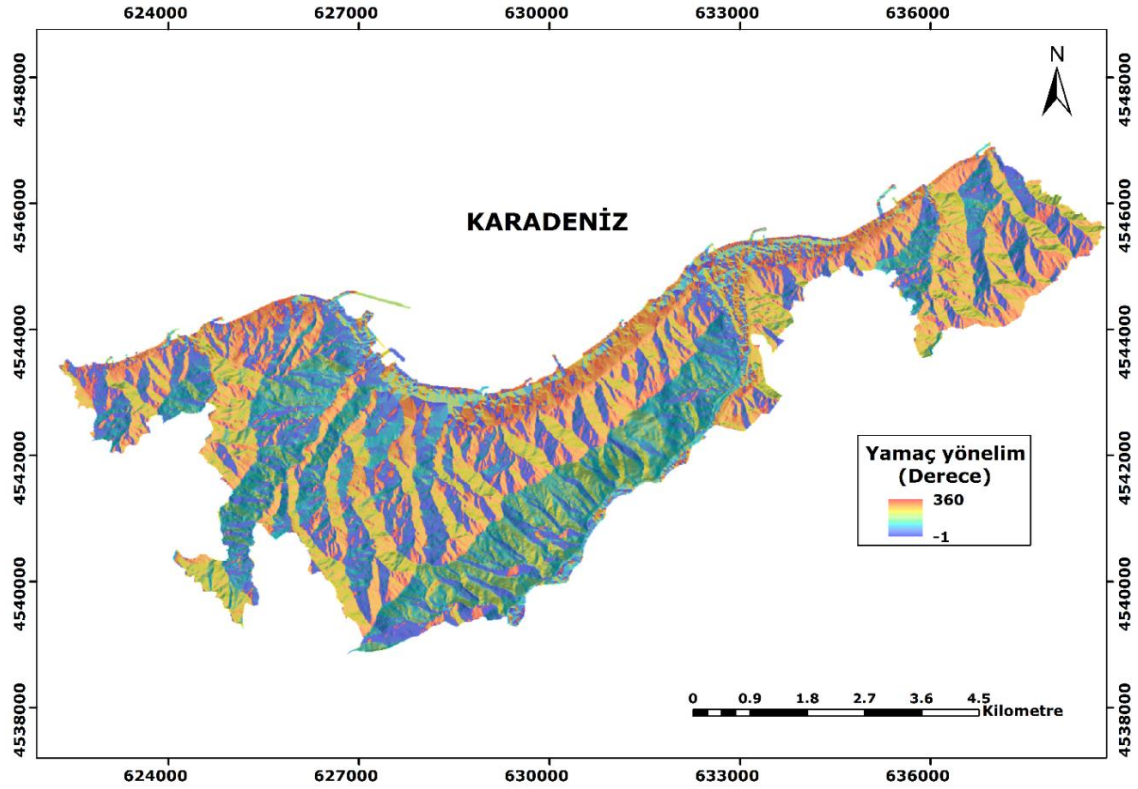
2.1.4. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve herhangi bir noktadaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıkça kullanılan önemli bir parametredir. Koukis ve Ziourkas, (1991), Gökçeoğlu ve Aksoy, (1996), Dai vd. (2001) ve Lee vd. (2002) heyelanların belirli yönelimlerde yoğunlaşmasının nedenini ağırlıklı olarak yağışla ilişkilendirirken, Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi (2004) bu

durumu sahanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmektedir. Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasının nedenlerini, özellikle bölgenin genel yağış yönü, sahanın genel morfolojik yapısı, güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, değişik nedenlerden dolayı (topoğrafik eğim ile zeminin türü, geçirgenliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim) daha az yağış alan yamaçlara oranla doygunluğa daha çabuk ulaşmaktadır. Zemin içerisinde oluşan boşluk suyu basınçları, bu tür yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu nedenle yamaç eğim yönü parametresinin kullanımında, yoğun yağış alan yamaçların daha duyarlı olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında inceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim yönü (bakı) haritası oluşturulmuş (Şekil 10) ve 9 farklı bakı yönüne göre sınıflandırılmıştır. Bu haritada yer alan sınıfların ve bu sınıflardaki heyelanların çalışma sahasındaki alansal dağılımı belirlenmiştir (Tablo 3).

Çalışma alanı içerisinde yamaç yönelimleri çok çeşitlilik sunmaktadır. Bununla birlikte tablodaki rakamsal değerler dikkate alındığı zaman kuzey ve kuzeye yönelimli yamaçların güneye yönelimli yamaçlara oranla çalışma sahası içerisinde daha fazla görüldüğü söylenebilir. Heyelanların dağılımı dikkate alındığı zaman hemen hemen eğim yönü sınıflarında oransal olarak benzer bir dağılım gösterdikleri, belirli yönlere bakan yamaçlarda heyelan açısından bir yoğunlaşmanın olmadığı ifade edilebilir.



Şekil 10. Rize ili merkez ilçesinin eğim yönü (bakı) haritası

Tablo 3. İnceleme alanının eğim yönü sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı

Sınıflar	Eğim Yönü	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	Düz	57103	13,21	0	0
2	Kuzey	58132	13,45	139	14,46
3	Kuzeydoğu	50136	11,60	100	10,41
4	Doğu	40121	9,28	113	11,76
5	Güneydoğu	27178	6,29	141	14,67
6	Güney	27395	6,34	141	14,67
7	Güneybatı	47219	10,92	129	13,42
8	Batı	59558	13,78	90	9,37
9	Kuzeybatı	65434	15,13	108	11,24
Toplam		432276	100	961	100

2.1.5. Yükseklik

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır. Genel olarak çok düşük kotlardaki alanlar (0-150 m.), yamaç eğiminin az ve kalın örtü malzemesi bulunması nedeniyle, heyelanlara karşı daha az duyarlı olarak değerlendirilmektedirler. Orta yüksekliklerdeki kotlar (150-400 m.), daha yüksek

kotlardan gelen malzeme ve ayrışma dolayısıyla oluşacak toprak örtüsü nedeniyle, heyelanlara karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir. Yüksek kotlardaki birimler ise (>400m.), kayaç türü malzemelerden oluştuğu ve daha alt kotlardaki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip oldukları için, heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları kabul edilmektedir (Dai vd., 2001).

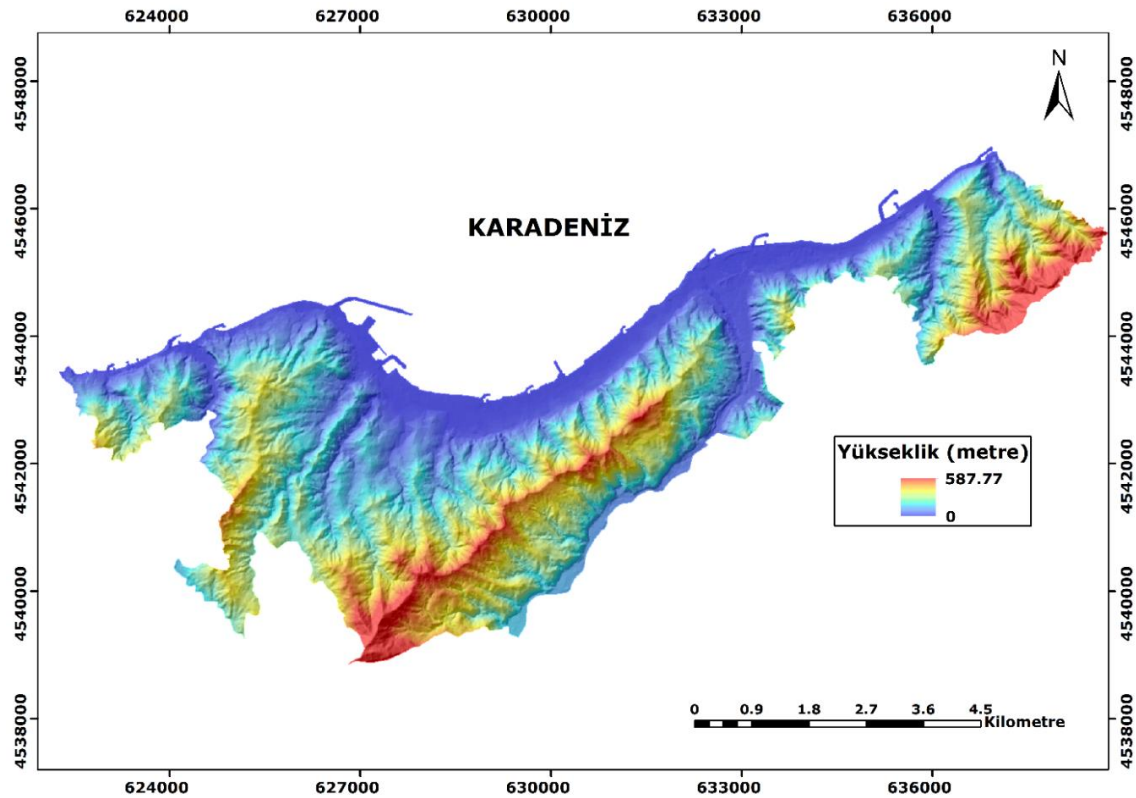
Ancak bu durumun aksine, Koukis ve Ziourkas (1991), tarafından yapılan çalışmada heyelanlar en fazla 600-1000 m. arasında yükseklik değerine sahip alanlarda gözlenmiştir. Araştırmacılar bu durumu, dağlık bölgelerdeki yüksek kesimlerin, daha fazla yağış alması ile ilişkilendirmiştir. Dağ ve Bulut (2012) ise bu durumun aksine çalışma sahasına da yakın olan Çayeli civarında gerçekleştirdikleri çalışmada heyelanların yaklaşık % 78'inin 0-200 m. yükseklikler arasında oluştuğunu belirtmiştir. Bu durumu da yörede düşük kotlarda gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerle ilişkilendirmiştir.

Yapılan araştırmalar değerlendirilecek olursa; yükseklik parametresi, duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok kullanılan bir parametre olmasına rağmen, morfoloji, bitki örtüsü ve yağış gibi diğer bazı parametrelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir. Dolayısıyla herhangi bir bölgede meydana gelecek heyelanların hangi yüksekliklerde olacağının belirlenmesi, sadece ön fikir verebilecek nitelikte bir veri olarak kabul edilebilir.

Bu çalışmada inceleme sahasına ait yükseklik haritası sayısal yükseklik modelinden üretilmiş (Şekil 11) ve 6 farklı sınıfa ayrılmıştır. Yükseklik haritasında yer alan sınıflar ve bu sınıflardaki heyelanların alansal dağılımı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4'teki yükseklik değerleri incelendiğinde, çalışma alanında yaklaşık % 80'in üzerinde bir kesiminin yüksekliğinin 0-250 m. arasında değiştiği görülmektedir. Çalışma sahasının hemen hemen tamamına yakınının düşük ve orta yüksekliklerdeki kotlardan (0-400 m.) oluştuğu ifade edilebilir. Daha önce meydana gelen heyelanların yaklaşık %90'ı 250 m. ve daha düşük yükseklik değerlerine sahip alanlarda oluşmuştur. Bu alanlar yerleşim alanı olarak kullanılan ve insan müdahalesinin fazlaca etkili olduğu

yerlerdir. Heyelanların büyük bir çoğunluğunun bu yükseklik değerlerinde meydana gelmiş olması bu durum ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 11. Rize ili merkez ilçesinin yükseklik haritası

Tablo 4. İnceleme alanının yükseklik sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı

Sınıflar	Yükseklik k (m)	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı piksel sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	0-64	120000	27,76	170	17,69
2	64-151	125000	28,92	476	49,53
3	151-246	105000	24,29	196	20,40
4	246-371	62000	14,34	106	11,03
5	371-587	14000	3,24	9	0,94
6	>587	6276	1,45	4	0,41
Toplam		432276	100	961	100

2.1.6. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

Topoğrafik nemlilik indeksi haritası (TWI) (Şekil 12), sayısal arazi modeli kullanılarak üretilen bir topoğrafik veridir. Bu veri, beslenme alanının üst kısmını oluşturan alandan hesaplanan bir topoğrafik indeks olup, Beven ve Kirkby (1979)

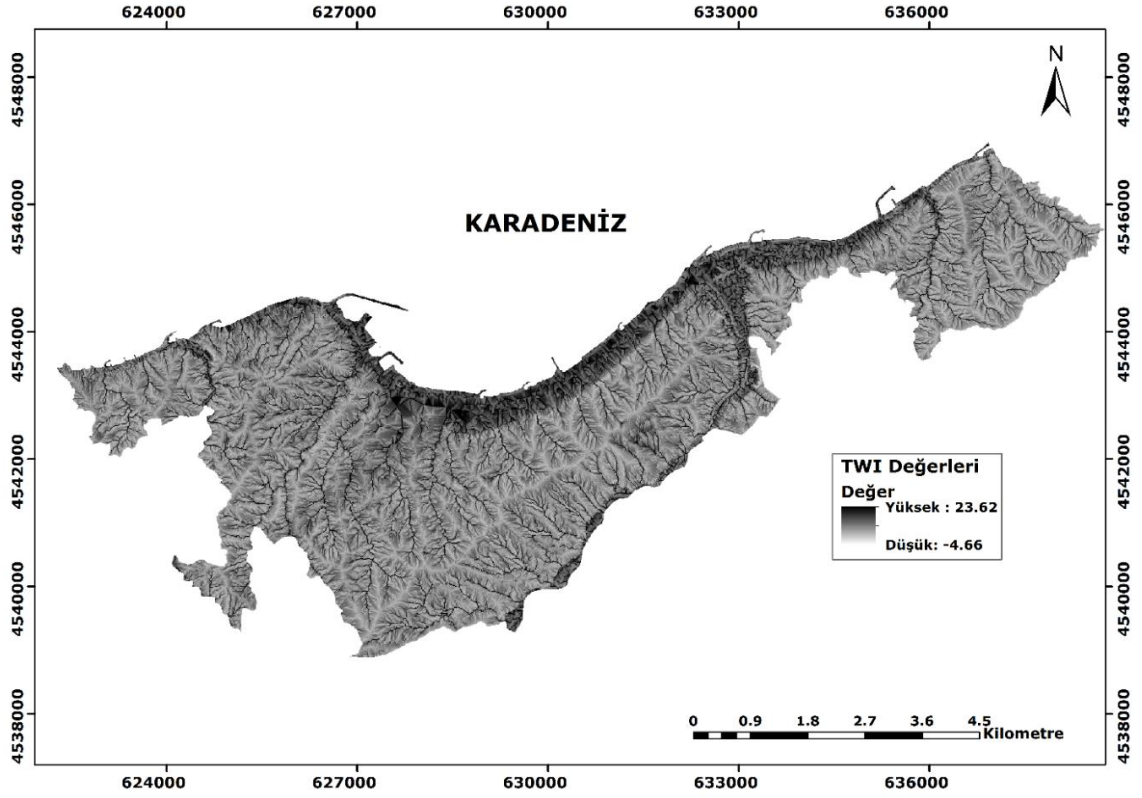
tarafından tanımlanmıştır. Topoğrafik nemlilik indeksi, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$TWI = \ln(A_s/\tan\beta) \quad (1)$$

Buradaki A_s değeri spesifik havza alanını (m^2/m), β 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 doygun, 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).

Bu çalışma kapsamında inceleme alanına ait üretilen sayısal yükseklik modelinden itibaren elde edilen TWI haritası Şekil 12’de sunulmuştur. TWI haritasında elde edilen değerler yeniden sınıflandırılarak 5 sınıf ayırtlanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5’de verilen değerlere bakıldığında, alanda topoğrafik olarak yüzey akışının yoğun olduğu alanların daha çok negatif değerli TWI indeksi değerine sahip alanlar olduğu görülmektedir. Bu alanlar aynı zamanda heyelanlarında alansal dağılımının çok fazla olduğu (% 98) alanlara karşılık gelmektedir.



Şekil 12. Rize ili merkez ilçesi nemlilik indeksi haritası

Tablo 5. Nemlilik indeksi sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı

Sınıflar	Nemlilik İndeksi	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	-4 / -2	8855	2,05	598	62,23
2	-2 / 4,54	360547	83,41	348	36,21
3	4,54-6,87	55814	12,91	13	1,35
4	6,87-11,08	6359	1,47	2	0,21
5	11,08-23,50	701	0,16	0	0
Toplam		432276	100	961	100

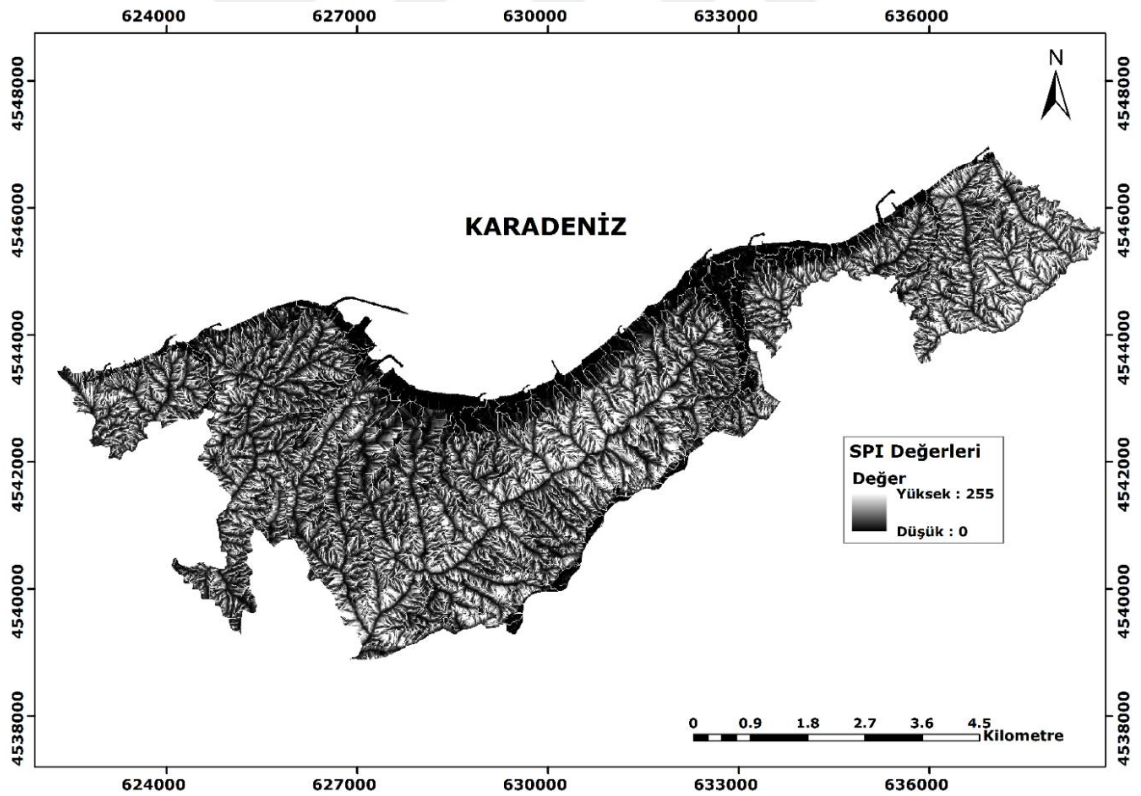
2.1.7. Akarsu Güç İndeksi

Yine sayısal arazi modeli tabanlı verilerden bir diğeri de akarsu güç indeksi (SPI) haritasıdır (Şekil 13). SPI, yüzey sularının aşındırıcı etkisinin, suyun debisinin (q) spesifik havza alanına (A_s) oranına dayandırılarak ifade edilmesidir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$SPI = A_s \times \tan\beta \quad (2)$$

Buradaki A_s değeri spesifik havza alanını (m^2/m), β 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 yanı sıra, heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla sıklıkla kullanılan parametreler arasında da yer almaktadır (Gökçeoğlu vd., 2005; Lee ve Min, 2001).

Şekil 13'te verilen SPI haritası ve Tablo 6 incelendiğinde, düşük SPI indeksi değerine sahip alanların, inceleme alanının yarısından fazla bir alanı kapladığı görülmektedir. Buna karşın, yüksek SPI indeksi değerine sahip alanlarında yaklaşık % 13 gibi bir alansal yayılım gösterdiği görülmektedir. Heyelanların alansal dağılımına bakıldığında oransal olarak yaklaşık % 75'inin, SPI indeksi 100'den daha düşük olan alanlarda gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 13. Rize ili merkez ilçesi akarsu güç indeksi haritası

Tablo 6. Akarsu güç indeksi sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı

Sınıflar	SPI İndeksi	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	0-50	257823	59,64	542	56,40
2	50-100	73363	16,97	159	16,54
3	100-150	29531	6,83	67	6,97
4	150-200	14186	3,28	28	2,92
5	200-255	57373	13,28	165	17,17
Toplam		432276	100	961	100

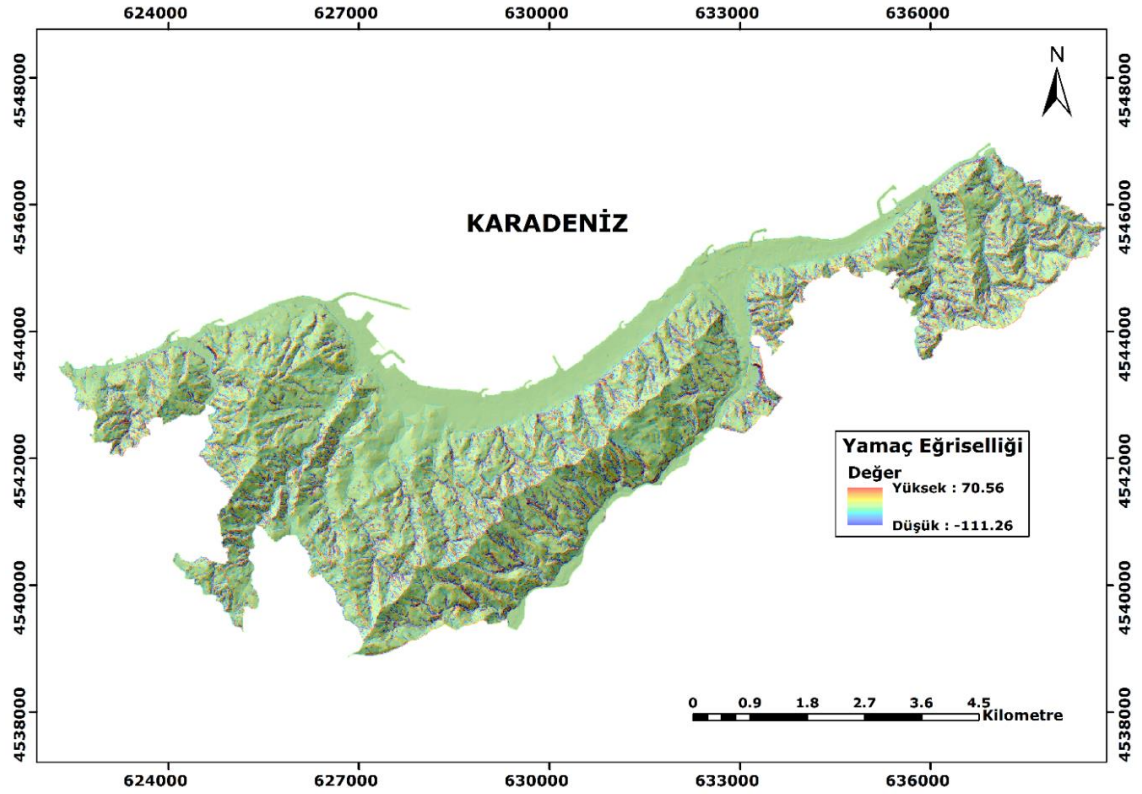
2.1.8. Yamaç Eğriselliği

Topoğrafik olarak bir yamaç biriminin iç bükey, dış bükey veya düz şekilli olması durumunda gerek yüzey suyu akışı, gerekse de yamacı oluşturan birimin jeoteknik özelliklerine bağlı kütle hareketi gelişimin farklı biçimde denetlendiği bilinmektedir. Bu noktadan hareketle, birçok heyelan duyarlılık çalışmasında yamaç eğriselliği hareketi denetleyici parametre olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Bu inceleme kapsamında çalışma alanına ait yamaç eğriselliği haritası yine ArcGIS 10,0 yazılımının Spatial Analyst eklentisi kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 14’te verilen harita üretilmiştir. Bu haritaya göre negatif (-) olarak elde edilen değerler iç bükey (konkav), pozitif (+) değerler ise dış bükey (konveks) şekilli yamaç birimlerini ifade etmekte, 0 değerli alanlar ise düz yüzeyli yamaç birimlerini ifade etmektedir. Bu veriye ilave olarak, Kesit (Profile) ve Düzlem (Plan) eğrisellik verileri de üretilmiş, heyelan duyarlılık analizi aşamasında girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Kesit yamaç eğriselliği; suyun yüzeydeki akış hızı ve sedimentlerin yamaç boyunca taşınımı ve böylece gelişen erozyonu, eğim değişim oranını ifade ederek ortaya koyar. Profil bileşeni negatif ise konkav-içbükey (çukur), pozitif değerler ise konveks-dışbükey (tepe) yapıyı gösterir.

Düzlem yamaç eğriselliği ise topoğrafik konverjans ve diverjans alanlarını ortaya koyarak yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. Negatif değerli plan yamaç eğriselliği akışın toplandığını, pozitif değerler dağıldığını belirtir.



Şekil 14. Rize ili merkez ilçesi yamaç eğriselliği haritası

Tablo 7. Yamaç eğriselliği sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı

Sınıflar	Eğrisellik İndeksi	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	-111,26 / -6,44	10000	2,40	740	77,00
2	-6,44 / -2,16	50000	12,02	142	14,78
3	-2,16 / 0,68	224000	53,85	59	6,14
4	0,68 / 4,24	110000	26,44	14	1,46
5	4,24 / 70,56	22000	5,29	2	0,62
Toplam		416000	100	961	100

Üretilen yamaç eğriselliği haritası (Şekil 14) ile Tablo 7’de verilen değerler incelendiğinde, alanda negatif değerli yani iç bükey şekilli yamaçların daha fazla gelişmiş olduğu görülmektedir. Heyelanların alansal dağılımına bakıldığında zaman da yaklaşık % 92 oranda heyelanların iç bükey yamaçlarda gerçekleştiği görülmektedir. Alanda yoğun şekilde gelişen kayma türü hareketler nedeniyle yamaç şekillerinin iç bükey olmasının beklenen bir sonuç olabileceğini söylemek mümkündür. Buna karşın, dış bükey şekilli yamaçların da yeni veya potansiyel hareket gelişimi gözlenebilecek alanlar olarak öngörülebileceğini de söylemek mümkündür.

2.1.9. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi (LS)

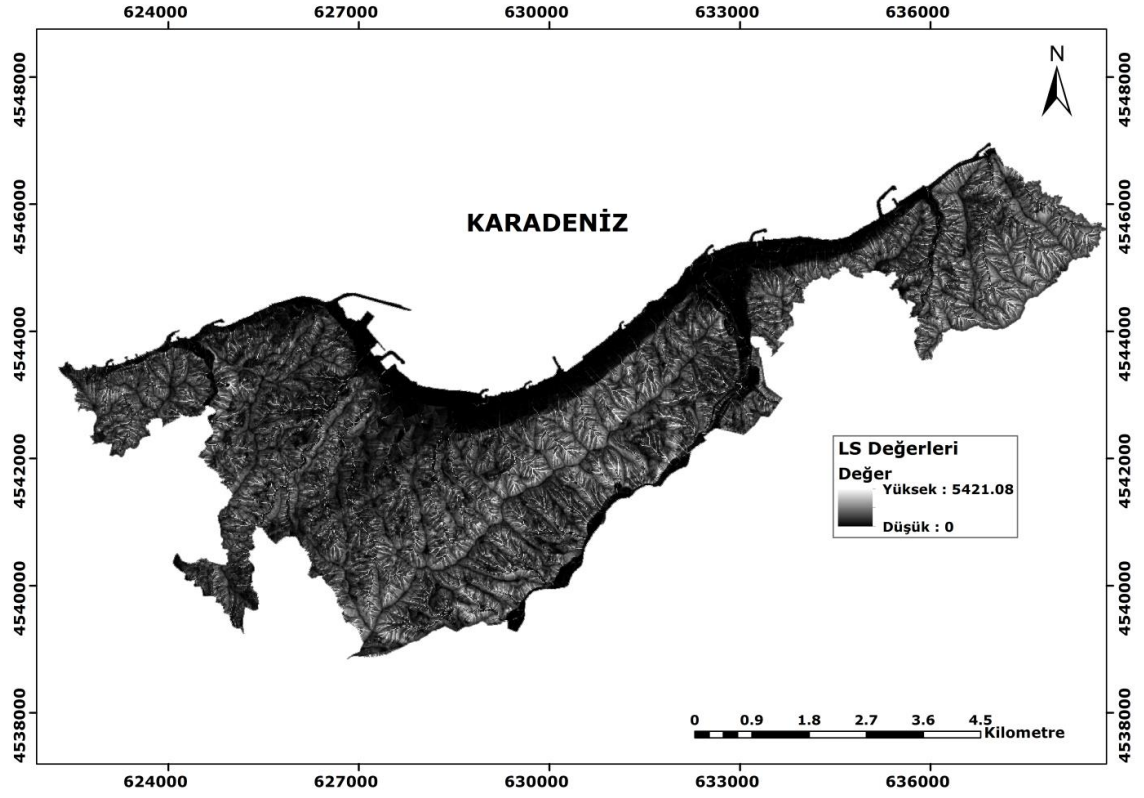
Wilson and Gallant (2000) birim nehir aşındırma gücü teorisine bağlı olarak geliştirilen sediman taşıma kapasite endeks (LS) parametresinin, yamaç uzunluğunun 100 m'den daha kısa ve yamaç eğiminin 14°'den küçük olduğu koşullar altında revize edilmiş evrensel toprak kaybı denklemi içerisindeki yamaç uzunluğu faktörüne denk olduğunu ifade etmektedirler. Çalışma kapsamında değerlendirilmesi muhtemel uygulama sahalarında söz konusu koşulların her zaman sağlanmasının mümkün olmaması nedeni ile sözü edilen parametrenin yamaç uzunluğu faktörü yerine sediman taşıma kapasite endeksi olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Moore and Burch (1986), sediman taşıma kapasite endeksinin (LS) hesaplanmasına yönelik olarak aşağıda verilen eşitliği önermiştir. Burada m ve n değerleri sırasıyla 0,4 ve 1,3 olarak verilmektedir.

Yükseklik raster verisi üzerinde özgül havza alanı ve yamaç eğimi üzerinden aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$LS = (m+1) (A_s/22.13)^m (\sin\beta/0.0896)^n \quad (3)$$

Burada; A_s : özgül havza alanı, β : yamaç eğimini ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanına ait üretilen sayısal yükseklik modelinden itibaren elde edilen Sediman taşıma kapasite endeksi (LS) haritası Şekil 15'de sunulmuştur. LS haritasında elde edilen değerler yeniden sınıflandırılarak 5 sınıf ayırtlanmıştır (Tablo 8).



Şekil 15. Rize ili merkez ilçesi sediman taşıma kapasite (LS) haritası

Tablo 8. Sediman taşıma kapasite (LS) sınıfları ve heyelanların alansal dağılımı

Sınıflar	LS İndeksi	Piksel Sayısı (A)	Alansal Dağılım % (A)	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Alansal Dağılım % (B)
1	0-1084	326416	78,46	714	74,29
2	1084-2168	76787	18,46	201	20,92
3	2168-3252	6988	1,68	35	3,64
4	3252-4336	2947	0,71	7	0,73
5	4336-5421	2862	0,69	4	0,42
Toplam		416000	100	916	100

Heyelanların alansal dağılımına bakıldığında zaman yaklaşık % 95 oranda heyelanların ilk iki sınıfta gerçekleştiği görülmektedir.

3. BULGULAR

3.1. Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Sayısal yöntemlerle heyelan duyarlılık haritaları üretilirken öncelikle, yamaçların duraylılığını kontrol eden ya da heyelanlara neden olabilecek bir takım parametrelerin ve bunların ağırlık değerlerinin (heyelana olan etkilerinin) belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için heyelanların alansal dağılımları ile heyelana neden olabilecek faktörler arasındaki ilişkiler istatistiksel yaklaşımlarla belirlenebilmektedir.

Çalışma parametreleri bir arada değerlendirerek ağırlıklandıran çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden mantıksal regresyon analizi uygulanmış ve çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Son olarak üretilen duyarlılık haritasının performans analizi gerçekleştirilmiştir.

3.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz

Çok değişkenli istatistiksel analiz, incelenen olay ve çevresindeki çok sayıdaki faktörleri dikkate alarak, mevcut problemi doğasındaki yapısına ilişkin bilgilere göre (gerçek oluşumuna göre) incelemek ve çözümlere ulaşmak için geliştirilmiş yöntemler bütünüdür (Özdamar, 2002).

Tek değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri, incelenen değişken üzerindeki faktörleri toplumdaki tüm birimler için sabit ya da benzer türde kabul ederek çözümleme yoluna gitmeyi amaçlamaktadır. Oysa bu tür koşulları sağlamak çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle problemin çözümünde çok sayıda değişkeni dikkate alarak çözüm üretmek daha gerçekçi bir yaklaşımdır (Özdamar, 2002).

Genel olarak çok değişkenli istatistiksel analizlerin amacı, diğer istatistiksel işlemlerle benzer olup, herhangi bir konu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların sayısal olarak ifade edilebilen sonuçlarının özetlenmesi, yorumlanması ve konu ile ilgili olarak karar verilirken bu sonuçların kullanılmasının sağlanmasıdır. Özellikle bilimsel çalışmalarda ele alınan olaylar tek bir nedenle sınırlı kalmayıp, birçok nedenin etkisi

altındadır. Bununla beraber, gözleme konu olan nesnelerin özellikleri de birbirleriyle ilişkilidir. Bundan dolayı da bu tür çalışmalarda her hangi bir olay araştırılırken, konu ile ilişkili çok sayıda değişkenle karşılaşmaktadır. Yapılan çalışmaların geçerliliği ve güvenilirliği, incelenen olayın bütün yönleriyle değerlendirilmesine bağlıdır. Bu zorunluluk sonucunda her hangi bir konuda araştırma yapan araştırmacı, çok değişkenli veri setleri kullanma ve bunların analizini yapma ihtiyacı duymaktadır (Tatlídil, 2002, Dağ, 2007).

Çok değişkenli istatistiksel işlemlerde, birbiriyle ilişkili ya da ilişkisiz çok sayıdaki değişken göz önünde bulundurularak, değişkenler arasındaki bağımlılık yapısı analiz edilmektedir. Bilimsel araştırmalarda incelenen olayın analizinde tek değişkenli istatistik kullanmak yeterli değildir. Çünkü bu tür yöntemler, sınırlayıcı varsayımlar altında geçerlidir. En önemli sınırlayıcı ise olaydaki birçok faktörün deneysel olarak kontrol altında tutulması ve her seferinde tek bir faktörün incelenmesidir. Oysa çok değişkenli istatistikte bazı kontrollü denemeler dışında böyle bir kısıtlayıcıdan söz edilmemektedir. Çünkü çok değişkenli istatistikler, genellikle kendi doğal çevrelerinde birçok yönleriyle gözlenirler. Bu durum, gözlenen özellikler arasındaki bağımlılık yapısının incelenmesini ön plana çıkarmaktadır. Bir başka ifade ile çok değişkenli istatistik, incelenen olayı bütün olarak ele almakta ve bütünlüğü sağlayan değişkenlerin bağımlılık yapısını açıklamaya çalışmaktadır (Tatlídil, 2002).

Çok değişkenli istatistik, birden çok özelliğin analizi ile ilgilendiği için uygulamalarda değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bu durum uygulama alanlarına da yansımakta, jeoloji, tıp, kimya, biyoloji, ziraat, sosyoloji, ekonomi, eğitim ve arkeoloji gibi çok sayıda bilim dalında yapılan araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Çok değişkenli istatistiksel yöntemleri değişik amaçlı uygulamalarda kullanmak mümkündür. Bu amaçların başlıcaları;

Veri indirgeme: P sayıda değişken içeren veri setinin değişimini açıklayan ve aralarında ilişki bulunmayan daha az sayıda değişkenle veri yapısını açıklamayı sağlamak.

Kümeleme ve sınıflama: Popülasyon özelliği bilinmeyen yapılar hakkında prototip kümeler belirleme çalışmalarına yardımcı olmak. Daha önceden belirlenmiş gruplara yeni birimlerin atanmasını sağlamak.

Ölçekleme: P sayıda değişken içeren p boyutlu ölçümlemelerden daha az sayıda değişken kullanarak birimlerin gösterilmesini, tanımlanmasını sağlamak. Birimlerin birbirleri ile benzerlik ve farklılıklarını incelemek.

Çok değişkenli hipotezlerin test edilmesi: k toplumun çok değişkenli ortalamalar vektörünün eşitliği veya farklılığı üzerine kurulacak hipotezleri test etmek (Özdamar, 2002).

Bu bölümde konu ile ilgili bazı temel kavramlar aşağıda tanımlanmıştır.

- Değişken: Nicel ya da nitel anlamda farklı durumlar gösteren bir öge olup, deney birimlerinden gözlem ya da ölçüm yoluyla elde edilen özelliklere denir.
- Bağımlı değişken (sonuç-cevap değişkeni): Araştırmacının değiştiremediği bağımsız değişkene göre ortaya çıkan ve araştırmanın sonucu olan değişkendir.
- Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken): Araştırmacının değiştirebildiği ve sonucu etkileyebilecek olan değişken ya da değişkenlerdir.
- Nicel değişken: Miktar olarak ölçeklendirilebilen değişkenlere denir.
- Nitel değişken: Belirli özelliğine göre sınıflanabilen değişkenlere denir.
- Sürekli (kesiksiz) değişken: İki ölçüm arasında sonsuz sayıda değer alabilen bireylerin ya da objelerin özelliklerini miktar olarak gösteren ve miktarları kesirli sayılarla ifade edilen değişkendir.
- Süreksiz (kesikli) değişken: Sadece sınırlı sayıda değer alabilen bir değişkendir.
- Veri: Değişkenin aldığı değere denir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

3.2.1 Mantıksal Regresyon Analizi

Mantıksal regresyon analizi, iki değerli bağımlı değişken (sonuç değişkeni) ile hem sürekli hem de kesikli değişkenlerden oluşabilen bağımsız (açıklayıcı) değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemidir.

Mantıksal regresyon analizinin kullanım amacı istatistikte kullanılan diğer model yapılandırma teknikleri ile benzer olup, en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen kabul edilebilir bir model kurmaktır.

Hemen hemen her bilim dalında araştırmacılar eldeki verilere bağlı olarak sistemlerin çalışma kurallarını saptamak isterler. Bu amaçla sistemi açıklamaya yarayacak soyut yapılara yönelmektedirler. Bu türdeki soyutlama model sözcüğü ile tanımlanmaktadır. Model, bir olayla ilgili bilgi ya da düşüncelerin belirlenen kurallara bağlı olarak şekillendirilmesidir (Tatlıdil, 2002).

Model kavramı altında değişkenler arasındaki ilişkiler söz konusu olduğunda, işlevsel ve istatistiksel ilişkiler gibi iki farklı yaklaşımı ayırt etmek gerekir. İki değişken arasındaki işlevsel ilişki matematiksel bir eşitlikle belirlenir. $y=f(x)$ şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte x bağımsız, y de bağımlı değişkenlerdir. x değeri bilindiği takdirde eşitliğe bağlı olarak y değeri kesin olarak bulunur.

Ancak istatistiksel ilişkilerde ise bu tür kesinlik her zaman söz konusu değildir. Bu durumda bağımsız değişkenin bilinen bir değerine karşılık y değeri ancak belli bir hata payı ile tahmin edilebilir. Buna göre bir istatistiksel ilişki, θ parametreyi, ϵ hata terimini gösterdiğinde $y=f(x, \theta)+\epsilon$ eşitliği ile ifade edilir (Tatlıdil, 2002).

Değişkenler arasındaki ilişkileri incelemeye en çok kullanılan istatistik yöntemlerinden biri regresyon analizidir. Regresyon analizinin çözümüne başlamadan önce yapılması gereken şey, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenin en iyi şekilde tayin edilmesidir. Genelde bilinen, bağımlı değişken ölçülebilir nitelikte olup sürekli bir değişkendir. Ancak bağımlı değişken her zaman ölçülebilir nitelikte olmayabilir. Örneğin; yamaç eğiminin artmasının heyelan oluşumuna neden olup, olmadığının belirlenmesi amaçlandığında, öncelikle bilinmesi gereken durum bağımlı değişkenin kesikli bir değişken olduğudur. Örnekteki bağımlı değişken heyelanın oluşması (1) ya da heyelanın oluşmaması (0) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Dağ, 2007).

Son yıllarda farklı bilim dallarında sıklıkla kullanılan mantıksal regresyon analizi, gözlemlerin gruplara atanmasında sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Kümeleme analizinde gözlemlerin atanacağı grup sayısı tam bilinmezken, diskriminant ve mantıksal regresyon analizinde grup sayısı bilinmekte ve mevcut veriler kullanılarak bir ayırimsama modeli elde edilmekte ve kurulan bu model yardımıyla veri kümesine eklenen yeni gözlemlerin gruplara atanması mümkün olabilmektedir.

Mantıksal regresyon analizi, çeşitli varsayım bozulmaları (normal dağılıma ve ortak kovaryansa sahip olmama) durumunda diskriminant analizi ve çapraz tablolara alternatif olurken, bağımlı değişkenin 0 ve 1 gibi ikili (binary) ya da ikiden çok düzey içeren kesikli değişken (polychotomous) olması durumunda normallik varsayımının bozulması nedeniyle doğrusal regresyon analizine alternatif olmaktadır.

Doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişkenin değeri kestirilirken, mantıksal regresyon analizinde bağımlı değişkenin alabileceği değerlerden birinin gerçekleşme olasılığı belirlenmektedir. Bu olasılık değeri aşağıdaki eşitlikle elde edilir.

$$P(Y) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X)} = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 X)} \quad (4)$$

Mantıksal regresyon modeli yazıldıktan sonra modeldeki katsayılar,

$$\ln \left[\frac{P(Y)}{Q(Y)} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (5)$$

ve

$$\frac{P(Y)}{Q(Y)} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p} = e^{\beta_0} e^{\beta_1 X_1} e^{\beta_2 X_2} \dots e^{\beta_p X_p} \quad (6)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır.

Burada $Q(Y)$, olayın meydana gelmeme olasılığını vermektedir ve

$$Q(Y) = 1 - P(Y) \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır.

Olasılık oranı $OR = \frac{P(Y)}{Q(Y)}$ şeklinde hesaplandığı hatırlanacak olursa, her bir parametrenin $\exp(\beta)$ değerleri *olasılık oranları* olarak ele alınırlar (Özdamar, 2002).

İki sonuçlu mantıksal regresyon modelinin katsayı kestirimlerinde en çok olabilirlik (maksimum likelihood), yeniden ağırlıklandırılmış en küçük kareler (re-weighted iterative least square) ile tekrarlı veri durumlarında kullanılan minimum lojit khi-kare (minimum logit chi-square) sık kullanılan yöntemlerdir. En çok olabilirlik yöntemi her zaman tutarlı ve etkin kestirimler vermektedir.

Genel anlamda en çok olabilirlik yöntemi, gözlenen veri kümesini elde etmenin olasılığını maksimum yapan, bilinmeyen parametrelerin değerlerini vermektedir. Yöntemi uygulayabilmek için öncelikle en çok olabilirlik fonksiyonunun oluşturulması gerekmektedir. Bu fonksiyon bilinmeyen parametrelerin bir fonksiyonu olarak, gözlenen verinin olasılığını verir. Bu parametrelerin en çok olabilirlik kestiricileri, fonksiyonu maksimum yapacak şekilde seçilir. Bu nedenle sonuçta elde edilen tahminciler (tahmin edilen veriler) gözlenen verilerle çok yakın değerlere sahip olacaktır.

Mantıksal regresyon analizinin kullanım amaçlarından en önemlisi bağımlı değişkenin iki düzey içerdiği (0-1) bağımsız değişkenlerin ise hem kesikli hem de sürekli olabildiği durumlarda verileri ait oldukları gruplara en doğru şekilde atayarak olaya ilişkin (heyelan oluşumuna neden olabilecek) risk faktörlerini belirleyebilecek modeli kurmaktır.

Mantıksal regresyonu doğrusal regresyondan ayıran en belirgin özellik ise mantıksal regresyonda sonuç değişkeninin ikili olmasıdır. Mantıksal regresyon ve

doğrusal regresyon arasındaki bu fark hem parametrik model seçimine hem de varsayımlara yansımaktadır. Mantıksal regresyonda da, doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi bazı değişken değerlerine dayanarak kestirim yapılmaya çalışılır. Ancak 2 yöntem arasında üç önemli fark vardır. Bunlar;

1-Doğrusal regresyon analizinde tahmin edilecek olan bağımlı değişken sürekli iken, mantıksal regresyon analizinde bağımlı değişken kesikli bir değer almaktadır.

2-Doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişkenin değeri, mantıksal regresyon analizinde ise bağımlı değişkenin alabileceği değerlerden birinin gerçekleşme olasılığı tahmin edilir.

3-Doğrusal regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin çoklu normal dağılım göstermesi koşulu aranırken, mantıksal regresyonun uygulanabilmesi için bağımsız değişkenlerin dağılımına ilişkin bir ön koşul yoktur (Dağ, 2007).

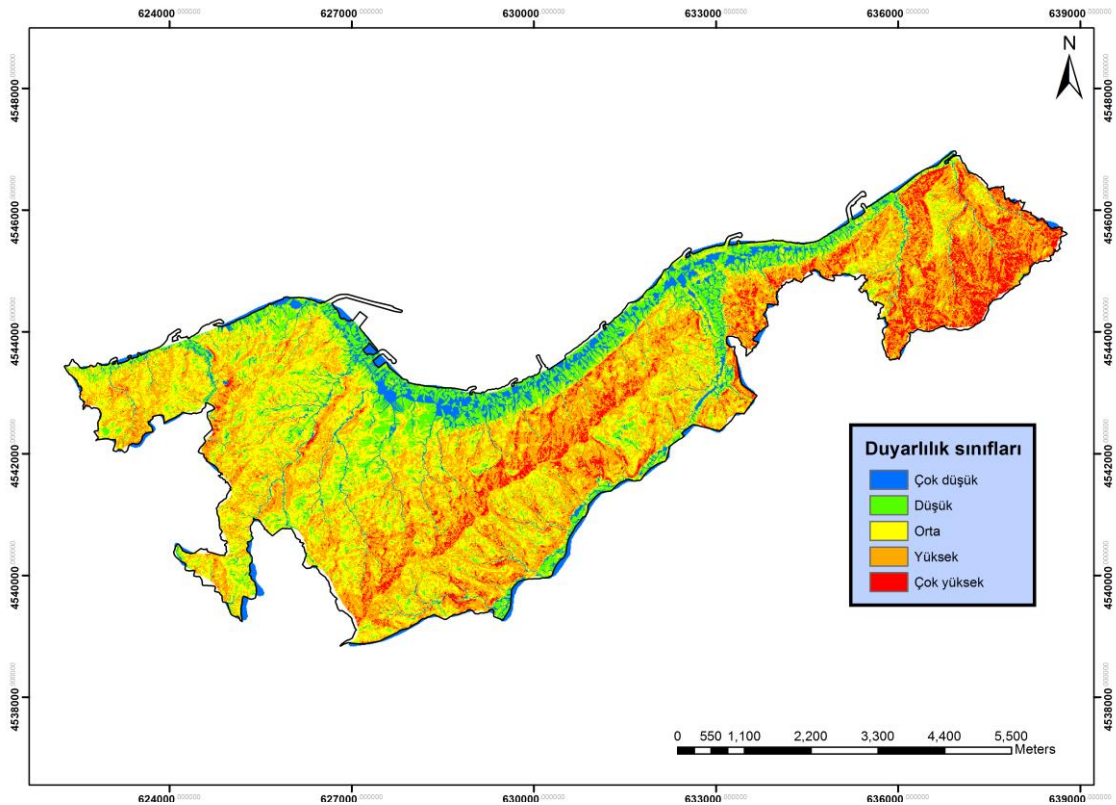
3.2.2. Çalışma Kapsamında Mantıksal Regresyon Analizi Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Çalışma kapsamında heyelan duyarlılığına ilişkin olasılık değerlerinin hesaplanması amacıyla, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden bir tanesi olan mantıksal regresyon analizi uygulanmıştır. Mantıksal regresyonun temeli, ikili (binary; 0, 1) değişkenle ifade edilen bir problemin bir veya birden fazla bağımsız değişken kullanılarak çözülmesi esasına dayanmaktadır (Menard, 1995). Mantıksal regresyon analizinin uygulanmasında öncelikle tanımlanan problemin çözümünde kullanılacak veri matrisi hazırlanmaktadır. Matris içerisinde her bir satır ayrı bir olayı ifade ederken, kolonlar bağımsız değişkenleri ve bağımlı değişkeni ifade etmektedir.

Bununla birlikte, çok değişkenli istatistiksel analizlerin önemli gereksinimlerinden bir tanesi, analizi gerçekleştirilecek veri kümesi içerisinde alıştırma verisi (training data) için ilgili olaya ait yokluk (0) bilgisinin varlık bilgisine (1) eşit olmasıdır. Bir başka deyişle, [varlık bilgisi (1) / yokluk bilgisi (0)] oranının mümkün olduğunca 1'e yakın olması istenmektedir (Nefeslioğlu vd., 2008).

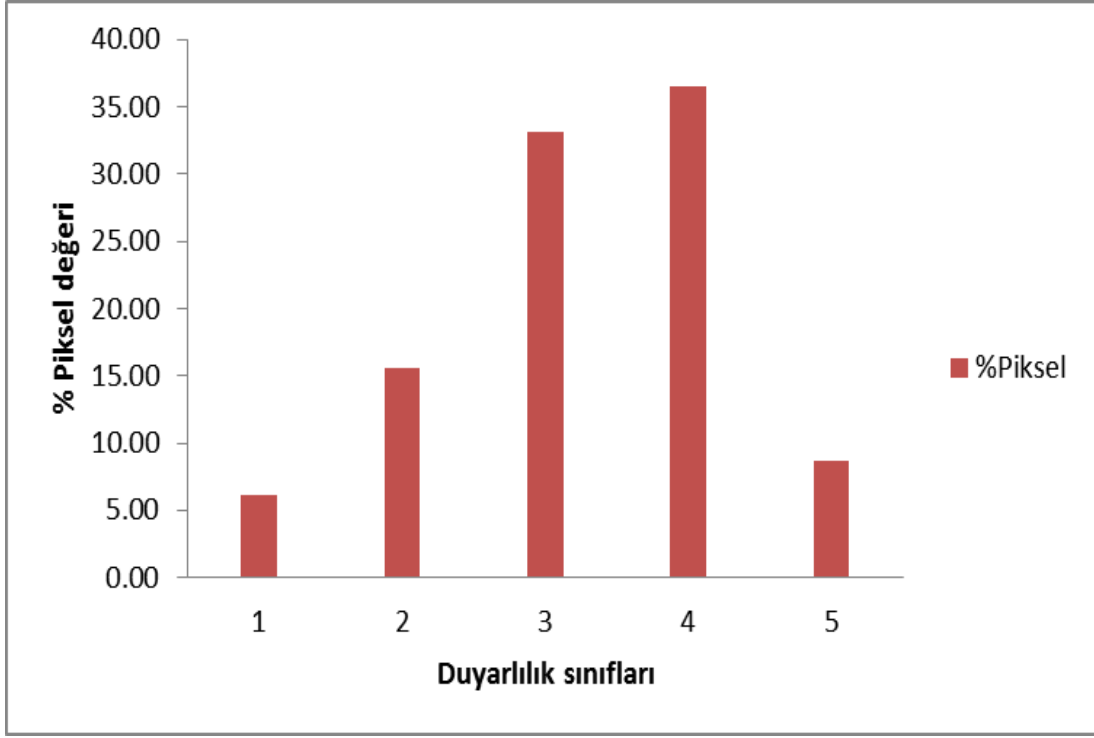
Mantıksal regresyonla üretilen duyarlılık haritasının tahmin performansı teorik olarak % 100 ise, üretilen harita sadece mevcut kütle hareketlerini tahmin edecektir. Başka bir ifade ile haritadaki tüm alan yüksek duyarlı olarak sınıflandırılmış olacaktır. Gerçekte bu duyarlılık haritaları için çelişkili bir durumdur. Kuşkusuz ki, duyarlılık haritasının performansı yüksek olmalıdır, ancak % 100 olmamalıdır. Bununla beraber, 0/1 oranına bağlı olarak, tüm alan yüksek duyarlı olarak sınıflandırılabilir, bu durumda haritanın performansı da % 100 olabilir. Bu problemleri çözmek için Çan vd. (2005) tarafından, uygun 0/1 oranları seçmek için, iki ölçüt sunulmuştur. Bunlar; 1- duyarlılık haritası yüksek performans göstermelidir. 2- üretilen duyarlılık haritası her bir duyarlılık sınıfını içermelidir ve yüksek duyarlılığa sahip alanların yayılımı mümkün olduğunca düşük olmalıdır aksi halde yukarıda belirtilen sorunla karşılaşılması mümkündür.

Bu teorik altlıklar dikkate alınarak çalışma sahasının mantıksal regresyon analizi ile heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 16). Oluşturulan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı duyarlılıkta sınıflandırılmıştır.



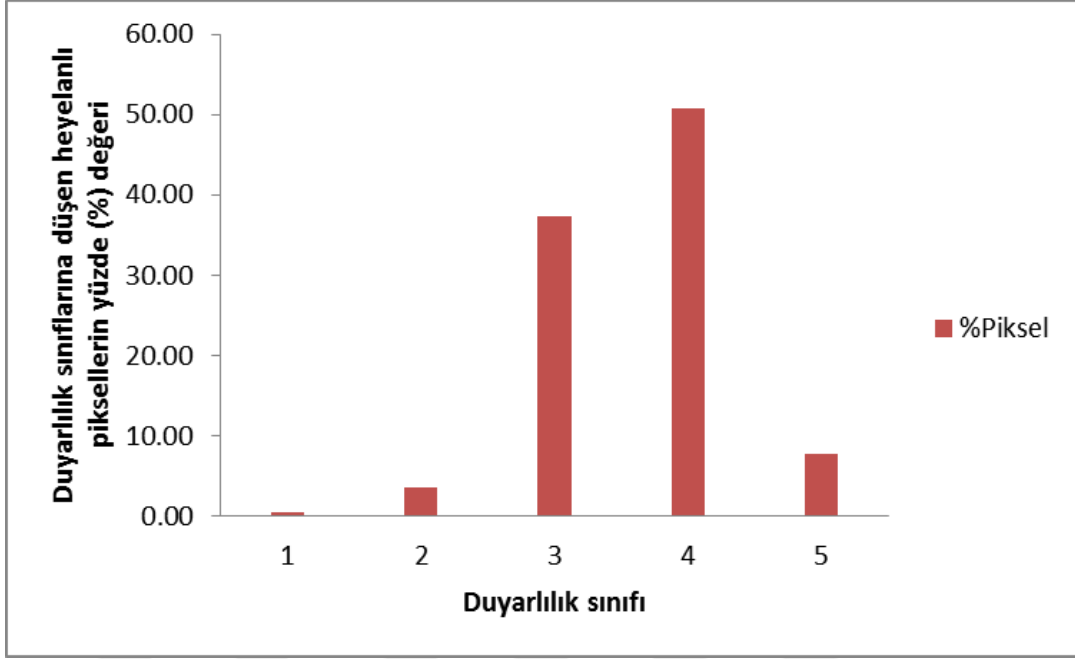
Şekil 16. Mantıksal regresyon yöntemiyle hazırlanmış olan, inceleme alanına ait heyelan duyarlılık haritası

Duyarlılık haritası dikkate alındığında çalışma alanının yaklaşık % 70'i orta ve yüksek ve çok yüksek duyarlı alan olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 17). Bu durumda Rize ili merkez ilçesinin genel olarak heyelan açısından hassasiyet gösterdiğini ifade etmek mümkündür.



Şekil 17. Duyarlılık sınıflarının inceleme alanı içerisindeki % dağılımı

Heyelan duyarlılık haritalarının performansı değişik yöntemlerle test edilmektedir. Bu çalışmada üretilen duyarlılık haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak duyarlılık sınıflarındaki heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır (Şekil 18).

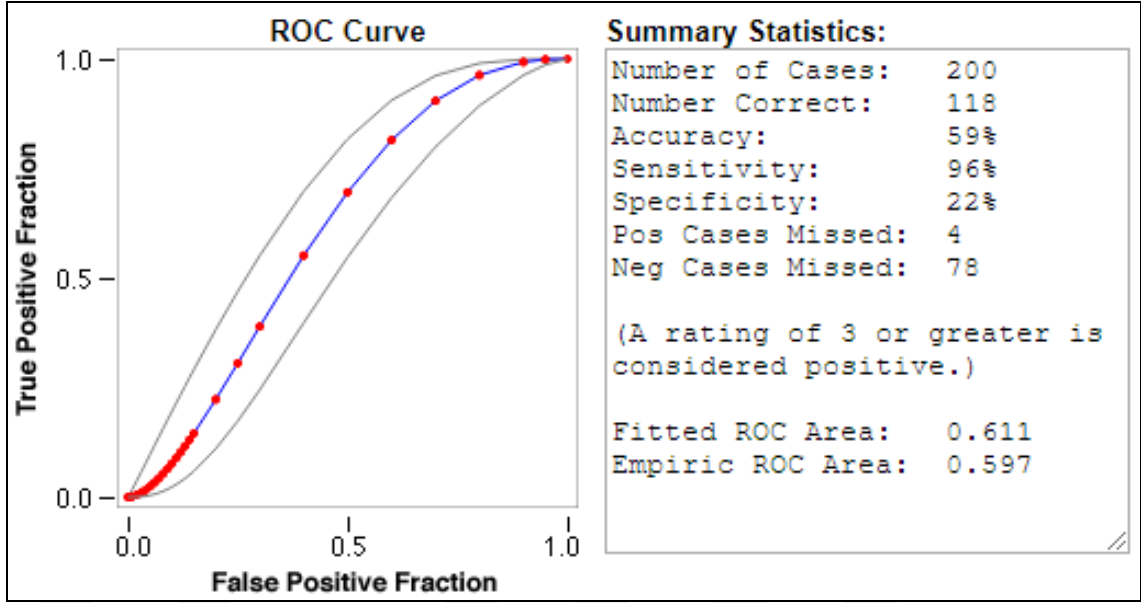


Şekil 18. Duyarlılık analizine ilişkin performans analizi histogramı

Şekil 18 incelendiğinde orta duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düşen heyelanlı piksellerin oranı yaklaşık olarak % 95 gibi önemli bir orandır. Bu oran haritanın performansı açısından önemlidir.

Mantıksal regresyon modelinin uyumluluğunu belirlemek için kullanılan önemli istatistik değerlendirmelerden biri ROC (Relative Operating Characteristic) değeridir. Genel anlamda bu değer mevcut heyelanların olduğu harita (envanter) ile olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC eğrisi altında kalan alana ilişkin değer 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 1 değeri mükemmel, 0,5 değeri de rastgele bir uyumu belirtmektedir. Bu değer 0,5 ile 1 arasında bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. ROC değeri ne kadar büyük olursa aradaki uyumda o kadar iyidir. ROC eğrisi altında kalan alan, heyelan olması muhtemel alanlarla, heyelan olmaması beklenen alanları ayırt edebilme başarısının en iyi göstergesi olarak kabul edilir (Lee, 2005; Dağ, 2007).

Çalışmada yapılan mantıksal regresyon analizi sonucu model uyumluluğunu test etmek için ROC değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 19). ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değeri 0,611 olarak bulunmuştur. Bu değer modelin uyumunun iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 19. Mantıksal regresyon modeline göre geliştirilen eğri altındaki alan (EAA-ROC) eğrisi (EAA= 0,61)

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, Rize ili merkez ilçe sınırları içerisinde orta ölçekli plan ölçeğinde, heyelana duyarlı alanlar Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, konumsal veritabanı oluşturularak, potansiyel heyelan ve yerleşim alanlarının analizi için ihtiyaç duyulan harita altlıkları üretilmiştir. Bu çalışma ile aşağıdaki temel sonuçlara varılmıştır:

1) Rize ili merkez ilçesinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve inceleme alanında yüzeylenen litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru; Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Geç Kretase yaşlı Bakırköy Formasyonu, Eosen yaşlı Kaplıca Formasyonunu, Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon olarak ayırtlanmıştır.

2) Çalışma alanına ait temin edilen 18.06.2015 tarihli Pleiades ve 08.10.2011 tarihli World View 2 çok bantlı yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden yararlanılarak çok zamanlı heyelan envanter haritalaması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları ve gözlemleri neticesinde, çalışma alanında gerçekleşen heyelanların dairesel kayma ve toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir.

3) Çalışma konusu ile ilgili olarak, dünyada bu konudaki son durumu değerlendirmek ve yapılacak olan duyarlılık çalışmasında mevcut gelişmelerden faydalanarak en sağlıklı sonuçları elde edebilmek için ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmıştır. Özellikle duyarlılık çalışmalarında kullanılan yöntem ve parametreler değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntemlere ilişkin olarak;

a. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, son yıllarda en fazla kullanılan yöntem istatistiksel yöntemlerdir. Bu yöntemin sıklıkla kullanılmasında, veri değerlendirmede diğer yöntemlere oranla daha objektif olması ve coğrafi bilgi sistemleri ile bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler paralelinde bu tür işlemlerin daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi etkili olmaktadır.

b. Parametre haritalarının çakıştırılması ile duyarlılık haritalarının hazırlanması yöntemi, daha önceki yıllarda olduğu gibi yaygın olarak kullanımı devam etmektedir.

c. Duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, kullanımı diğer yöntemlere göre daha yeni olmasına rağmen, yapay zeka yöntemleri (bulanık mantık ve yapay sinir ağları) ile hazırlanan duyarlılık haritalarının sayısı da dikkat çekecek düzeydedir.

4) Kullanılan parametrelerle ilgili olarak; eğim, litoloji, yamaç eğim yönü (bakı), arazi kullanımı parametreleri konusunda araştırmacılar arasında hemen hemen bir görüşbirliği sözkonusudur. Özellikle eğim ve litoloji parametreleri bu konuda gerçekleştirilen birkaç çalışma haricindeki tüm çalışmalarda kullanılmıştır. Ayrıca arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametreleri beraber değerlendirildiğinde eğim ve litolojiden sonra en fazla kullanılan parametre olduğu, bakı, yükseklik, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, yamaç eğriselliği ve sediman taşıma kapasite indeksi (LS) parametreleri de sık kullanılan diğer parametreler oldukları görölmüştür.

5) Hem literatür araştırmalarında hem de arazi çalışmaları ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde litoloji, eğim, bakı ve topoğrafik yükseklik parametrelerinin etkili olabilecekleri düşünölmüş ve analizlerde bu parametreler değerlendirilmiştir.

6) alışma alanının mantıksal regresyon analizi ile heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı duyarlılıkta sınıflandırılmıştır. Duyarlılık haritası dikkate alındığında çalışma alanının yaklaşık % 70'i orta ve yüksek ve çok yüksek duyarlı alan olarak sınıflandırılmıştır. Bu durumda Rize ili merkez ilçesinin genel olarak heyelan açısından hassasiyet gösterdiğini ifade etmek mümkündür.

7) Heyelan duyarlılık haritalarının performansını test etmek için üretilen duyarlılık haritası, heyelan envanter haritası ile çakıştırılarak duyarlılık sınıflarındaki heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır. Orta duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düşen heyelanlı piksellerin oranı yaklaşık olarak % 95 gibi önemli bir orandır. Bu oran haritanın performansı açısından önemlidir.

8) Çalışmada yapılan mantıksal regresyon analizi sonucu model uyumluluğunu test etmek için ROC değeri değerlendirilmiştir. ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-egrinin altındaki alan) değeri 0,611 olarak bulunmuştur. Bu değer modelin uyumunun iyi olduğunu göstermektedir.



5. ÖNERİLER

Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerde heyelanlardan kaynaklanan can ve mal kayıplarının azaltılması yönünde yapılan çalışmalar içerisinde, heyelan envanter ve buna bağlı olarak duyarlılık haritalarının hazırlanması ve kullanılması büyük önem arz etmektedir. Doğal afetler içerisinde ülkemiz açısından heyelanların önemli bir yeri olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Ancak heyelan zararlarının azaltılması yönünde yapılan çalışmalar incelendiğinde ülkemizin arzu edilen bir seviyede olmadığı görülmektedir. MTA ve AFAD tarafından yürütülen ülke ölçeğinde gerçekleştirilen heyelan envanter haritası ile ilgili çalışma bu konuda atılan iyi bir adımdır. Benzer şekilde ülke genelinde heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması gerekmektedir.

Heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanması ile oluşturulacak veri tabanının, heyelan çalışmalarının daha ileri aşamalarını oluşturan tehlike ve risk haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalar içinde iyi bir altlık oluşturacağı unutulmamalıdır. Ayrıca yeni yerleşim alanlarının seçiminde, büyük mühendislik yapılarının tasarımında bu tür haritaların hazır ve kullanılabilir durumda olması önemli katkılar sağlayacaktır.

Üretilen duyarlılık haritaları, çalışma ölçeği göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Bu haritalar dikkate alınarak, potansiyel heyelan alanlarında bölgesel ve yerel planlamalar yapılmalıdır. Heyelan duyarlılığının yüksek ya da çok yüksek olduğu alanlarda yeni yerleşim alanları yapılmamalı, mevcut yerleşim alanları içinde gerekli tedbirler alınmalıdır.

Heyelanlar açısından daha duyarlı olan ormanlık alanlar tahrip edilerek tarımsal alanlara dönüştürülmemelidir. Özellikle ayrışmanın ilerlediği alanlarda yapılacak olan projelerde gerekli jeoteknik çalışmalar ayrıntılı bir şekilde yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akgün, A., Dağ, S. and Bulut, F., 2008.** Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Fındıklı, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- 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.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J., 1979.** Towards a simple physically based variable contributing model of catchment hydrology. Working Paper 154, School of Geography, University of Leeds.
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F. and Ataoğlu, E., 2000.** Reliability of landslide isopleth maps. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 2, 95-98.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Duman, T.Y., 2005.** Susceptibility Assessments of Shallow Earthflows Triggered by Heavy Rainfall at Three Catchments by Logistic Regression Analyses. *Geomorphology*, 72, 250-271.
- Dağ, S. ve Bulut, F., 2012.** Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36, 1, 35-62.
- Dağ, S., 2007.** Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duraylılık Analizi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 227 s.
- Dai, F.C., Lee, C.F. and Xu, Z.W., 2001.** Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40, 3, 381-391.
- Demir, G., 2004.** Heyelanlar ve Rize Yöresine Ait Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 125 s.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992.** Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında (Doğu Karadeniz) yer alan mağmatik kayaların petrolojisi ve doğu pontidlerdeki bölgesel dağılımları, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 35, 15-38.
- 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. ve Ercanoğlu, M., 2001.** Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 201-219.
- Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Sönmez, H., Duman, T.Y., Çan, T., Çörekçioğlu, Ş., Durmaz, S., Olgun, Ş., Hamzaçebi, S. ve Elmacı H., 2005.** Bölgesel ve orta ölçekli heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirme. 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 9-23.
- Güven, İ.H., 1993.** Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu. MTA, Ankara.
- Korkmaz, S. ve Gedik, A., 1988.** Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol oluşumları. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 32, 33, 5-15.
- Koukis, G. and Ziourkas, C., 1991.** Slope instability phenomena in greece: a statistical analysis. Bulletin of International Association of Engineering Geologists, 43, 47-60.
- 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, 26,7, 1477-1491.
- 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. and Min, K., 2001.** Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40, 1095-1113.
- Menard, S., 1995.** Applied logistic regression analysis. sage university paper series on quantitative application in social sciences. Thousand Oaks, California, 106, 98.
- Menteşe, E.Y., 2009.** CBS Ortamında Gerçeğe Yakın Zamanlı Heyelan Tahmini-Rize Örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 129 s.
- Moore, I.D. and Burch, G.J., 1986.** Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory. Water Resource Research, 22, 1350-1360.
- MTA, 2007.** Türkiye Heyelan Envanteri Projesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 1/500.00 Ölçekli Trabzon Paftası.
- Nefeslioğlu, H., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Görüm, T., 2011.** Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: The Büyükköy Catchment Area (Çayeli, Rize, Turkey). Landslides, 8, 459-483.

- Özdamar, K., 2002.** Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi (Çok Değişkenli Analizler). 4. Baskı, Kaan Kitapevi, Eskişehir.
- Pachauri, A.K. and Pant, M., 1992.** Landslide hazard mapping based on geological attributes. Engineering Geology, 32, 81-100.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D. and Marturia, J., 2003.** A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain). Natural Hazards, 30, 281-295.
- Tarhan, F., 1991.** Doğu Karadeniz heyelanlarına genel bir bakış. Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 27-29 Kasım, 38-63.
- Tarı, E., Balcı, U., Örmeci, C., Karaca, M. ve Tüysüz, O., 2007.** Rize il genelinde afet bilgi ve meteorolojik erken uyarı sistemi kurulması (RABİS), TÜBİTAK Projesi, Proje No: 106G029.
- Tatlıdil, H., 2002.** Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz. Cem Web Ofset Ltd., Ankara, 424.
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., 2005.** Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, 1. Baskı, KTÜ, Trabzon.
- Wilson, J.P. and Gallant, J.C., 2000.** Terrain Analysis Principles and Application, John Wiley.
- Yılmaz, B.S., 1995.** Doğu Karadeniz Bölgesi heyelanlarının genel özellikleri, nedenleri ve önlenme yolları. MTA. Raporu, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih KAHYA, 15/05/1991 tarihinde Ardeşen’de doğdu. İlköğrenimini 2001 yılında Ardeşen Yavuz Selim İlköğretim Okulu’nda, ortaöğrenim ve lise eğitimini 2009 yılında Ardeşen Türk Telekom Anadolu Lisesi’nde tamamladı ve lisans eğitimini 18/01/2014 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. 10/07/2015 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

