

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ YARDIMIYLA HEYELAN
RİSK ANALİZİ: FINDIKLI (RİZE) ÖRNEĞİ**

**YALÇIN ŞAHİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**GEBZE
2019**

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
YARDIMIYLA HEYELAN RİSK ANALİZİ:
FINDIKLI (RİZE) ÖRNEĞİ**

**YALÇIN ŞAHİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ
PROGRAMI**

**DANIŞMANI
PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU**

GEBZE

2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

LANDSLIDE RISK ANALYSIS BY
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS:
THE CASE OF FINDIKLI (RIZE)

YALÇIN ŞAHİN
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEODESY ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

GEBZE
2019



GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 31.07.2019 tarih ve 2019/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 31/10/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yalçın ŞAHİN'in tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

ÜYE

: Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT

ÜYE

: Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Ülkemizin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesi'nde en çok can ve mal kaybına neden olan doğal afet heyelandır. Bu kayıpların en aza indirilmesi için potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesi ve bu alanlara ilişkin gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu kapsamda heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması; kayıpların azaltılmasında, sosyal yaşamın verimli yürütülmesinde ve mühendislik projeleri planlamalarında kolaylıklar sağlamaktadır. Bu çalışmada, Rize ili, Fındıklı İlçe sınırlarında heyelan duyarlılık (tehlike) haritasının oluşturulması ve Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde belirlenen unsurlara ilişkin zarar görebilirlik ve risk analizleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri bulanık mantık teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada heyelana etki eden topoğrafya, toprak, arazi kullanımı, jeoloji, akarsu, idari sınır, yol, yol sanat yapısı ve duvar yapı verileri kullanılmıştır. Bu veriler ilgili kamu kurumlarından temin edilmiş ve coğrafi veriler uygun topolojik yapıda düzenlenmiştir. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğinin test etmek amacıyla heyelan envanter haritası ve heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının kontrolü ile çok yüksek ve yüksek derecede duyarlı bölgeler bazında toplamda % 81 doğruluk olduğu tespit edilmiştir. Zarar görebilirlik ve risk analizi unsurları olarak, Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde yer alan yol envanteri verileri, yol sanat yapı ve duvar yapı verileri belirlenmiş ve değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rize, Fındıklı, Heyelan, Tehlike, Duyarlılık, Zarar Görebilirlik, Risk, Bulanık Mantık, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

SUMMARY

Landslides are the most common type of natural disaster that leads to loss of life and property in the Black Sea Region which is one of the regions receiving a great deal of rain and which is the roughest one in our country. Potential landslide areas should be defined and necessary precautions should be taken for these areas are the necessary to minimize these losses. According to that, analyzing landslide susceptibility provides conveniences for minimizing the loses, waging the social life efficiently and planning the engineering projects. In this study, preparing the landslide susceptibility map and vulnerability and risk analysis about the defined elements in Rize Provincial Public Authority, in Fındıklı (Rize), are performed by using Geographic Information Systems (GIS) techniques and Fuzzy Logic method. Data of topography, land use, geology, stream, administrative border, roads, road structures and wall structures were used in this study. These data sets were taken from different public institutions and the data sets were arranged in the appropriate topological structure. In order to test the reliability of the hazard susceptibility maps, the hazard inventory map and the hazard susceptibility map were examined. The accuracy of the hazard susceptibility map was calculated 81 percent in the areas, so high and high degree susceptibility areas. As the factor of vulnerability and risk analysis; the road inventory, the road structure, and the wall structure datasets in Rize Provincial Public Authority were defined and evaluated.

Key Words: Rize, Fındıklı, Landslide, Hazard, Susceptibility, Vulnerability, Risk, Fuzzy Logic, Geographic Information Systems.

TEŞEKKÜR

Hem yüksek lisans öğrenimin boyunca hem de tez hazırlama sürecinde her türlü yardımı ve hoşgörüyü esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU'na

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteğini esirgemeyen bölüm başkanımız, değerli hocamız Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU'na,

Yüksek lisans öğrenimin boyunca üzerimde emeği geçen Prof. Dr. M. Halis SAKA, Doç. Dr. İsmail ÇÖLKESEN, Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT ve Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL'e

Hayatımın her anında desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen kıymetlilerim, aile üyelerim, eşim Meltem ŞAHİN ve oğlum Doruk Ata ŞAHİN'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
1.2. Literatür Özeti	3
1.3. Metodoloji	7
2. BULANIK MANTIK	10
2.1. Bulanık Mantık Yöntemi	10
2.1.1. Bulanık Üyelik Fonksiyonları	11
2.1.2. Bulanık Mantık Bindirme İşlemi	15
3. ÇALIŞMA ALANI SEÇİMİ VE VERİ ALTLIKLARININ HAZIRLANMASI	18
3.1. Çalışma Alanı	18
3.1.1. İklim	19
3.1.2. Bitki Örtüsü	19
3.1.3. Hidrografya	21
3.1.4. Topografta	21
3.1.5. Nüfus ve Yerleşme	22
3.2. Verilerin Temini ve Hazırlanması	23
3.2.1. Heyelan Duyarlılık Analizi İçin Gerekli Verilerin Hazırlanması	24
3.2.1.1. Jeoloji	24
3.2.1.2. Eğim	25
3.2.1.3. Bakı	27

3.2.1.4. Yükseklik	28
3.2.1.5. Arazi Kullanımı	30
3.2.1.6. Akarsuya Uzaklık	30
3.2.1.7. Yola Uzaklık	31
3.2.1.8. Heyelan Envanteri	33
3.2.2. Zarar Görebilirlik Analizi İçin Gerekli Verilerin Temini Ve Hazırlanması	33
3.2.2.1. Yol Envanter Verileri	33
3.2.2.2. Yol Sanat Yapıları Envanter Verileri	35
3.2.2.3. Duvar Yapıları Envanter Verileri	36
4. UYGULAMA	37
4.1. Heyelan Envanteri İle Heyelana Etki Eden Faktörler Arasındaki İlişki	37
4.2. Heyelana Etki Eden Faktörlerin Bulanık Mantık Üyeliği	40
4.2.1. Yükseklik Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	42
4.2.2. Eğim Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	42
4.2.3. Yola Uzaklık Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	43
4.2.4. Bakı Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	44
4.2.5. Jeoloji Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	46
4.2.6. Akarsuya Uzaklık Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	48
4.2.7. Arazi Kullanımı Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği	50
4.3. Heyelan Tehlike Haritasının Belirlenmesi İçin Bulanık Bindirme İşlemi	52
4.4. Bulanık Mantık Yöntemi İle Duvar, Yol ve Yol Sanat Yapıları Zarar Görebilirlik Değerlendirmesi	56
4.4.1. Yol Envanteri Verileri Zarar Görebilirlik Analizi	56

4.4.1.1. Yol Envanteri Verileri Kaplama Türü Zarar Görebilirlik Analizi	56
4.1.1.2. Yol Envanteri Verileri Hacimsel Boyut Zarar Görebilirlik Analizi	58
4.1.1.3. Yol Envanteri Verileri Hacimsel Boyut Ve Yol Kaplama Türü Bütünleşik Zarar Görebilirlik Analizi	60
4.4.2. Yol Sanat Yapıları Verileri Zarar Görebilirlik Analizi	61
4.4.2.1. Yol Sanat Yapıları Verileri Sanat Yapısı Türü Zarar Görebilirlik Analizi	62
4.4.2.2. Yol Sanat Yapı Verileri Hacimsel Boyut Zarar Görebilirlik Analizi	64
4.4.2.3. Yol Sanat Yapı Verileri Hacimsel Boyut Ve Sanat Yapı Türü Bütünleşik Zarar Görebilirlik Analizi	65
4.4.3. Duvar Yapıları Verileri Zarar Görebilirlik Analizi	66
4.4.3.1. Duvar Yapı Verileri Yapı Türü Zarar Görebilirlik Analizi	67
4.4.3.2. Duvar Yapı Verileri Hacimsel Boyut Zarar Görebilirlik Analizi	68
4.4.3.3. Duvar Yapı Verileri Hacimsel Boyut Ve Sanat Yapı Türü Bütünleşik Zarar Görebilirlik Analizi	70
4.5. Risk Analizleri	71
4.5.1. Yol Envanteri Heyelan Risk Analizi	71
4.5.2. Yol Sanat Yapıları Heyelan Risk Analizi	72
4.5.3. Duvar Yapıları Heyelan Risk Analizi	74
5. SONUÇ	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar Kısaltmalar

μ	: Bulanık Üyelik Fonksiyonu
FM	: Bulanık Bindirme Fonksiyonu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
UA	: Uzaktan Algılama
AUC	: Area Under The Curve (Eğrinin altındaki alan)
ADB	: Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
RMSE	: Root Mean Square Error
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS 84	: World Geodetic System
TIN	: Triangulated Irregular Network
DEM	: Digital Elevation Model
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
KTB	: Kullanıcı Tabanlı Bölümleme
EDB	: Eşit Dağılımlı Bölümleme

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Çalışma alanındaki mevcut heyelanlar ile ilgili alıcı işletim karakteristiği eğrisi.	6
1.2: Çalışmada yürütülen işlem adımları.	8
2.1: Fuzzy gaussian üyelik fonksiyon grafiği.	11
2.2: Fuzzy large fonksiyon grafiği.	12
2.3: Fuzzy linear grafiği.	13
2.4: Fuzzy near fonksiyonu grafiği.	13
2.5: Fuzzy small fonksiyonu grafiği.	14
3.1: Ortofoto harita.	18
3.2: İdari sınır haritası.	19
3.3: Bitki örtüsünden bir görünüm.	20
3.4: Çağlayan ırmağı.	21
3.5: Yükseklik haritası.	22
3.6: Jeoloji haritası.	25
3.7: Eğim haritası.	26
3.8: Sınıflandırılmış eğim haritası.	26
3.9: Bakı haritası.	27
3.10: Sınıflandırılmış bakı haritası.	28
3.11: Yükseklik haritası.	29
3.12: Sınıflandırılmış yükseklik haritası.	29
3.13: Arazi kullanımı haritası.	30
3.14: Akarsuya uzaklık haritası.	31
3.15: Sınıflandırılmış akarsuya uzaklık haritası.	31
3.16: Yola uzaklık haritası.	32
3.17: Sınıflandırılmış yola uzaklık haritası.	32
3.18: Heyelan envanteri haritası.	33
3.19: Yol envanter verileri.	34
3.20: Yol sanat yapıları envanter verileri.	35
3.21: Duvar yapıları envanter verileri.	36

4.1:	Heyelan faktörleri [a) eğim, b) yola uzaklık, c) yükseklik, d) akarsuya uzaklık, e) arazi kullanımı, f) jeoloji, g) bakı)] frekans yüzde değerleri.	41
4.2:	Yükseklik fuzzy linear üyelik haritası.	42
4.3:	Eğim fuzzy small üyelik haritası.	43
4.4:	Yola uzaklık fuzzy small üyelik haritası.	44
4.5:	Bakı fuzzy near üyelik haritası.	46
4.6:	Jeoloji fuzzy near üyelik haritası.	48
4.7:	Akarsuya uzaklık fuzzy near üyelik haritası.	50
4.8:	Arazi kullanımı fuzzy near üyelik haritası.	52
4.9:	Farklı gamma değerlerine göre oluşturulan heyelan tehlike haritaları.	53
4.10:	Gamma 0.9 değerine göre oluşturulan heyelan tehlike haritası.	55
4.11:	Yol envanteri kaplama türü zarar görebilirlik değerleri haritası.	57
4.12:	Yol envanteri kaplama türü bulanık near üyelik haritası.	58
4.13:	Yol envanteri platform genişliği haritası.	59
4.14:	Yol platform genişliği fuzzy linear üyelik haritası.	59
4.15:	Yol envanteri bütünleşik zarar görebilirlik haritası.	60
4.16:	Yol envanteri bütünleşik zarar görebilirlik haritası – 2.	61
4.17:	Yol sanat yapıları yapı türü zarar görebilirlik değerleri haritası.	63
4.18:	Yol sanat yapıları yapı türü fuzzy near üyelik haritası.	63
4.19:	Yol sanat yapıları hacim haritası.	64
4.20:	Yol sanat yapıları hacim fuzzy linear üyelik haritası.	65
4.21:	Yol sanat yapıları bütünleşik zarar görebilirlik haritası.	66
4.22:	Duvar yapıları yapı türü zarar görebilirlik değerleri haritası.	67
4.23:	Duvar yapıları yapı türü fuzzy near üyelik haritası.	68
4.24:	Duvar yapıları hacim haritası.	69
4.25:	Duvar yapıları hacim fuzzy linear üyelik haritası.	69
4.26:	Duvar yapıları bütünleşik zarar görebilirlik haritası.	70
4.27:	Yol envanteri risk değerlendirmesi.	71
4.28:	Yol sanat yapıları risk değerlendirmesi.	73
4.29:	Duvar yapıları risk değerlendirmesi.	74

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların doğruluk karşılaştırmaları.	4
3.1: Çalışmada kullanılacak veriler.	23
3.2: Yol envanter verileri öznitelik tablosu.	34
3.3: Yol sanat yapıları envanter verileri öznitelik tablosu.	35
3.4: Duvar yapıları envanter verileri öznitelik tablosu.	36
4.1: Bakı sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri.	45
4.2: Jeoloji sınıfları heyelan frekans oranlarına göre yeniden sınıflandırma değerleri.	47
4.3: Akarsuya uzaklık sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri.	49
4.4: Arazi kullanım sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri.	51
4.5: Farklı gamma istatistiksel değerleri.	54
4.6: Çalışma alanında bulunan yol ağı envanterinin kaplama türüne göre sınıflandırılması.	56
4.7: Yol Envanteri heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.	57
4.8: Yol envanteri heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.	58
4.9: Yol envanteri zarar görebilirlik analizi yüzdeler dağılımları.	60
4.10: Yol ağı envanterinin kaplama türüne göre sınıflandırılması.	62
4.11: Yol sanat yapıları heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.	62
4.12: Yol sanat yapıları envanteri heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.	64
4.13: Yol sanat yapıları zarar görebilirlik analizi yüzdeler dağılımları.	65
4.14: Duvar yapı verilerinin yapı türüne göre sınıflandırılması.	66
4.15: Duvar yapıları heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.	67
4.16: Duvar yapıları heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.	68
4.17: Duvar yapıları zarar görebilirlik analizi yüzdeler dağılımları.	70
4.18: Yol envanteri risk değerlendirmesi sonuçları.	72
4.19: Yol sanat yapı verileri risk değerlendirmesi sonuçları.	73
4.20: Duvar yapı verileri risk değerlendirmesi sonuçları.	74

1. GİRİŞ

Heyelanlar, yer yüzeyi toprak örtüsünün çeşitli etkenler doğrultusunda sahip oldukları eğimleri boyunca akması olarak tanımlanabilen, can ve mal kaybı açısından yüksek tahribatlara yol açmasından dolayı en etkili doğal afet olayları arasında yer almaktadır.

Heyelanlar, insanların tabii çevre ve ekonomik etkinlikler için en büyük risk etkenlerinden biri olarak görülmekte olup, neden oldukları can kayıplarının ve maddi zararlarının yanında yerleşim alanlarına zarar vermekte, tarım ve orman alanları ile su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır [1] - [5]. Türkiye’de son 50 yılda oluşan doğal afetlere bakıldığında heyelanların % 45 oranla en sık meydana gelen doğal afet olduğu görülmektedir [4], [5]. Özellikle Türkiye’de en fazla yağış alan ve engebeli bölge olmasından dolayı Karadeniz Bölgesi’nde heyelanlar sıkça meydana gelmektedir.

Genel olarak heyelanlar, bir yamaçtaki kaya, toprak yüzeyin veya molozların yamaç aşağı doğru oynaması olarak tanımlanır [7]. Heyelanlar insanlara ve çevresine etki eden en büyük risk etkenlerinden birisi olarak kabul görmektedir [8]. Heyelan tehlikesi, zarar verici kayma olayının belirli bir alanda belirli bir sıklıkla meydana gelme potansiyelidir [9]. Heyelan tehlike haritalarının birçoğu duyarlılığı belirlemeye yöneliktir [10]. Heyelan riski ise heyelandan oluşacak insan ve ekonomik aktivite kayıplarının ve maddi zarar derecelerinin belirlenmesidir [11].

Heyelan duyarlılık analizinde temel olarak, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmak amaçlanmaktadır. Doğal afet tehlike haritaları daha önceden meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal olayların oluşumlarının belirtildiği ve gelecekte oluşabilecek buna benzer doğal olayların tahmin edildiği bilgileri içerir [12].

Gelişen teknoloji, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında önemli değişiklikler ortaya çıkarmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri bu şekilde haritaların hazırlanmasında çok büyük olanaklar sağlamıştır. Çalışmalarda kullanılan veriler, UA teknikleri yardımıyla kısa sürede ve kolaylıkla toplanıp analizler gerçekleştirilebilir. CBS teknikleri yardımıyla da çok karmaşık yapıdaki ve yüksek hacimdeki verilerin depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi gibi çalışmalar kısa sürede gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla UA ve CBS

birbiriyle yakın ilişki içerisinde. Anlaşıldığı üzere, bu teknikler günümüzde afet yönetimi gibi birçok çalışmada etkin olarak kullanılmaktadır [13].

Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Rize yöresi, jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları açısından heyelan oluşumuna uygun bir yöre konumundadır. Nitekim daha önceki yıllarda da sıkça olduğu gibi Eylül 2016'da meydana gelen şiddetli sel ve heyelan nedeniyle can ve mal kaybı olmuştur. Bu yörede heyelan tehlikesi hala devam etmektedir. Bu nedenle, Fındıklı yöresinde ayrıntılı heyelan araştırmaları yapılarak heyelan açısından tehlikeli alanların belirlenmesi sayesinde, hem yörede yaşayan insanların can ve mal kayıplarına engel olunması hem de gerekli önlemlerin alınması mümkün hale gelecektir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Rize ilinde Fındıklı ilçesinin heyelan duyarlılık (tehlike) haritasını oluşturmak, çalışma için belirlenen unsurların zarar görebilirliklerinin ve heyelan risklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada zarar görebilirlik unsurları olarak, sayısal verileri yetkili idarelerden temini gerçekleştirilen ve köy yerleşke sınırları içerisinde bulunan yollar, yol sanat yapıları (köprü, büz ve menfez) ve duvar yapıları belirlenmiştir. Bu unsurların çeşitli öznitelik bilgileri doğrultusunda bütünlük zarar görebilirliklerinin incelenmesi ve risk değerlendirmelerinin yapılması amaçlanmaktadır.

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, zarar görebilirlik ve risk değerlendirme analizlerinde bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemleri kullanılması amaçlanmaktadır. Uygulamada idari sınır, akarsu, jeoloji, eğim, bakı, arazi kullanım, yükseklik, heyelan envanter, yol, yol sanat yapıları ve duvar yapıları verilerinden faydalanılmaktadır. Zarar görebilirlik ve risk değerlendirilmesinde kullanılan yol, yol sanat yapıları ve duvar yapıları verileri, Rize İl Özel İdaresinden temin edilen Fındıklı ilçesinin köy yerleşke sınırları içerisinde kalan verilerdir. Diğer veriler ise çeşitli diğer kurum ve kuruluşlardan temin edilmektedir.

1.2. Literatür Özeti

Bu çalışmada, duyarlılık, zarar görebilirlik ve risk analizlerini gerçekleştirilmiş ve bu analizler için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Duyarlılık haritaları, zarar görebilirlik ve risk analizleri ve bulanık mantık yöntemi baz alındığında, literatürde değişik alanlarda bol miktarda çalışma olduğu görülmektedir. Bu bölümde, literatürdeki çalışmaların bazıları özetlenmiştir.

Tazik vd. [14] tarafından yapılan çalışmada, heyelan duyarlılık teknikleri değerlendirilmiş ve İran-Dozain bölgesinde bulanık mantık, frekans oranı ve analitik hiyerarşi yöntemleri bütünleşik olarak kullanılarak duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan heyelan envanter verileri 1/40000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulmuştur, diğer veriler (yamaç eğimi, bakı, yükseklik, litoloji, yağış, arazi kullanımı, faylara uzaklık, yollara uzaklık ve nehirlere uzaklık parametreleri) ise farklı kaynaklardan temin edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, çalışma bölgesindeki heyelanların %51'e yakınının yüksek duyarlılıklı bölgede, %26'lık kısmının ise daha düşük duyarlılıklı bölgede kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen duyarlılık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmış ve Area Under The Curve (AUC-Eğrinin altındaki alan) değerinin 0.735 olduğu tespit edilmiş ve sonuçların tatmin edici olduğu kanaatine varılmıştır.

Şahin [15] tarafından yapılan çalışmada, Trabzon ili için çok kriterli karar analizi, lojistik regrasyon ve frekans oranı metodları kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çalışma kapsamında çok kriterli karar analizi detaylı şekilde incelenmiş ve diğer iki metodda ayrıca incelenerek beş duyarlılık sınıfında ve her bir duyarlılık aralığı için elde edilen doğruluk değerleri karşılaştırılarak irdelenmiştir. Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde eğim, litoloji, bakı, topoğrafik ıslaklık indeksi, yükseklik, drenaj yoğunluğu, eğim mesafesi, arazi örtüsü ve yola olan uzaklık faktörlerinden faydalanılmıştır. Çok kriterli karar verme analizi metodunda faktörlerin birbirleri ile toplanarak tek bir risk haritası üretilmesi için bulanık setler kullanılarak normalleştirilmiştir. İkili karşılaştırma yöntemiyle her bir faktör birbirleriyle karşılaştırılarak göreceli değerler (katsayılar/ağırlıklar) atanmış ve her bir faktör için ağırlıklar elde edilmiştir. Faktörlerin ağırlıklarının elde edilmesinden sonra Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (ADB) metodunda faydalanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan ikinci

bir yöntem lojistik regresyon metodudur. Bu yaklaşım ile heyelana neden olan faktörlerin, heyelan olan ve olmayan alanlar arasındaki ilişkiyi inceleyerek matematiksel olarak olası heyelan sahalarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan son yöntem ise frekans oranı metodudur. Bu metotta heyelan envanter haritası ile heyelan olayının incelenmesinde kullanılan faktörlerin karşılaştırılarak elde edilen frekans değerlerine göre her bir sınıfa ait heyelanın meydana gelme olasılığı incelenmiştir. Yapılan tez çalışmasında elde edilen tüm risk haritaları kullanıcı tabanlı bölümlenme ve eşit dağılımlı bölümlenme teknikleri ile duyarlılık alanlarına bölünmüştür. Çalışma sonucunda yapılan analizler sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk karşılaştırmaları Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metodların doğruluk karşılaştırmaları.

Duyarlılık Sınıfları	ÇKKA		Lojistik Regresyon		Frekans Oranı	
	KTB	EDB	KTB	EDB	KTB	EDB
Çok Düşük	2,98	6,09	2,77	2,77	12,71	16,47
Düşük	12,50	16,94	9,55	9,56	15,63	19,86
Orta	13,41	17,39	20,84	20,85	14,95	20,00
Yüksek	38,23	26,69	47,20	30,96	37,25	21,23
Çok Yüksek	32,89	32,89	19,62	35,86	19,47	22,44
TOPLAM (Yüksek ve Çok Yüksek)	71,12	59,58	66,82	66,55	56,72	43,67
KTB: Kullanıcı Tabanlı Bölümlenme						
EDB: Eşit Dağılımlı Bölümlenme						

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu [16] tarafından yapılan çalışmada, bulanık mantık yöntemi kullanılarak Yenice (Karabük) kuzeyinde heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada yamaç eğimi, yükseklik, bakı, bozunma durumu, arazi kullanımı ve su akış koşulları verileri kullanılmıştır. 5 farklı sınıfta haritalar oluşturulmuştur. Çalışma alanının %10’luk bir kesimi heyelana duyarlı olmayan alanlardan oluşurken, %23’lük kesim düşük, %14’lük kesim orta ve %29’lük bir kesim ise çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma

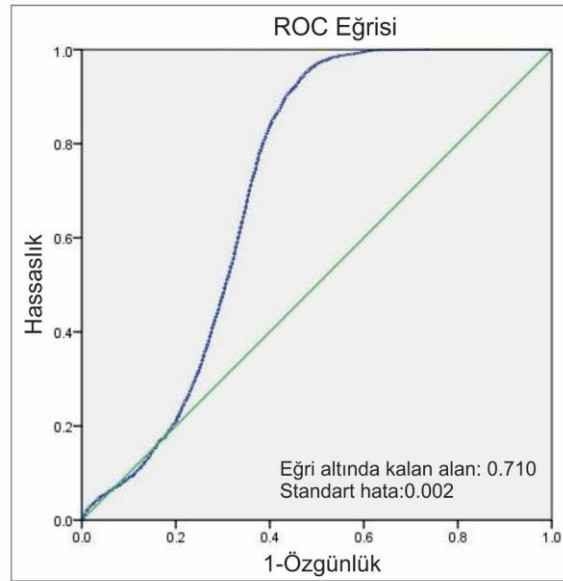
alanının yaklaşık %24'lük bir kesimi ise çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada edinilen sonuçlar doğrultusunda litoloji parametresi sabit olarak kabul edilmiş, yamaç eğiminin heyelanları kontrol eden en önemli parametre olduğu ve aşınma parametresinin ise en az etkili parametre olduğu tespit edilmiştir.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu [17] tarafından yapılan çalışmada, bulanık mantık yöntemi kullanılarak Yenice (Karabük) kuzeyinde heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada saha çalışmaları ve hava fotoğrafları ile toplam 266 adet heyelan lokasyonu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler 3 grupta değerlendirilmiştir. Her ne kadar litoloji önemli bir parametre olsa da çalışma alanındaki heyelanların büyük bir bölümünün Üst Kretase flişlerinde gerçekleşmesinden dolayı bu parametre sabit kabul edilmiş ve girdi olarak kullanılmamıştır. Yamaç eğimi, bakı, drenaj ağlarına uzaklık parametreleri çalışmada topoğrafik girdi verileri olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bitki örtüsü verileri Orman Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan haritaların sayısallaştırılması ile elde edilmiştir. Çalışma sonuçları 5 farklı duyarlılık sınıfında değerlendirilmiştir. Buna göre, çalışma alanının %9.6'sı çok yüksek, %10.3'ü yüksek, %8.9'u orta, %27.5 düşük ve %43.8'lik bir kesim ise çok düşük heyelan duyarlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Root Mean Square Error (RMSE) tekniğiyle, elde edilen heyelan duyarlılık haritasının performansı değerlendirilmiş ve sonuçların tatmin edici düzeyde olduğu belirtilmiştir.

Ahmed vd. [18] tarafından yapılan çalışmada, inşa edilmesi planlanan Tarbela barajı ve çevresindeki heyelan aktivitesini değerlendirilmesi ve ileriye yönelik yatırım planları ile risk unsurlarının belirlenmesi amacı ile 75000 km² yayılıma sahip Pakistan Indus havzasında, bulanık mantık ve ağırlıklı ortalama yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları hazırlanmıştır. Çalışmada heyelan duyarlılığına etki eden parametreler çevresel ve hazırlayıcı parametreler olarak iki grupta dikkate alınmıştır. Çevresel parametreler olarak, yamaç eğimi, bakı, yükseklik ve litoloji dikkate alınmıştır. Çalışma alanında 1897, 1905, 1934 ve 1950 yıllarında büyük ve yıkıcı depremler meydana geldiği vurgulanarak heyelanların depremler ile tetiklendiği yorumlanmaktadır. Çalışma sonucunda ağırlıklı ortalama yöntemi ve bulanık mantık yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen haritaların verimlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile elde edilen duyarlılık

haritasının %80 ve bulanık mantık yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritasının ise %85 performans değerlerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Can ve Duman [19] tarafından yapılan çalışmada, CBS ortamında bulanık mantık yaklaşım yöntemlerinden GAMMA işletimi kullanılarak, Adana il sınırı orojenik Toros dağ sırasının güney eteklerini ve iki büyük nehrin oluşturduğu ova kesimini kapsayan çalışma alanında, heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Heyelanları etki eden faktörler olarak eğim, eğrisellik, pürüzlülük indeksi, eğim-yamaç yönelimi oranı parametreleri kullanılmış ve bu veriler 100x100m grid hücrelerinden elde edilen sayısal yükseklik modeli verisinden oluşturulmuştur. Çalışmada oluşturulan heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 ayrı sınıfa ayrılmıştır. Heyelan envanter haritası ile faktör haritaları karşılaştırılarak her bir faktör için heyelanlara duyarlı oldukları alanlarda frekans değerleri elde edilmiş ve daha sonrasında bulanık mantık yöntemlerinden GAMMA işletimi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan sonuç haritalasının değerlendirilmesinde, doğru pozitiflerin yanlış pozitiflere olan oranı olarak ifade edilen, alıcı işletim karakteristik eğrileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen alıcı işletim karakteristik eğri değeri 0,710 olarak bulunmuş ve çalışma alanındaki mevcut heyelanlar ile ilgili Şekil 1.1'deki alıcı işletim karakteristiği eğrisi elde edilmiştir.

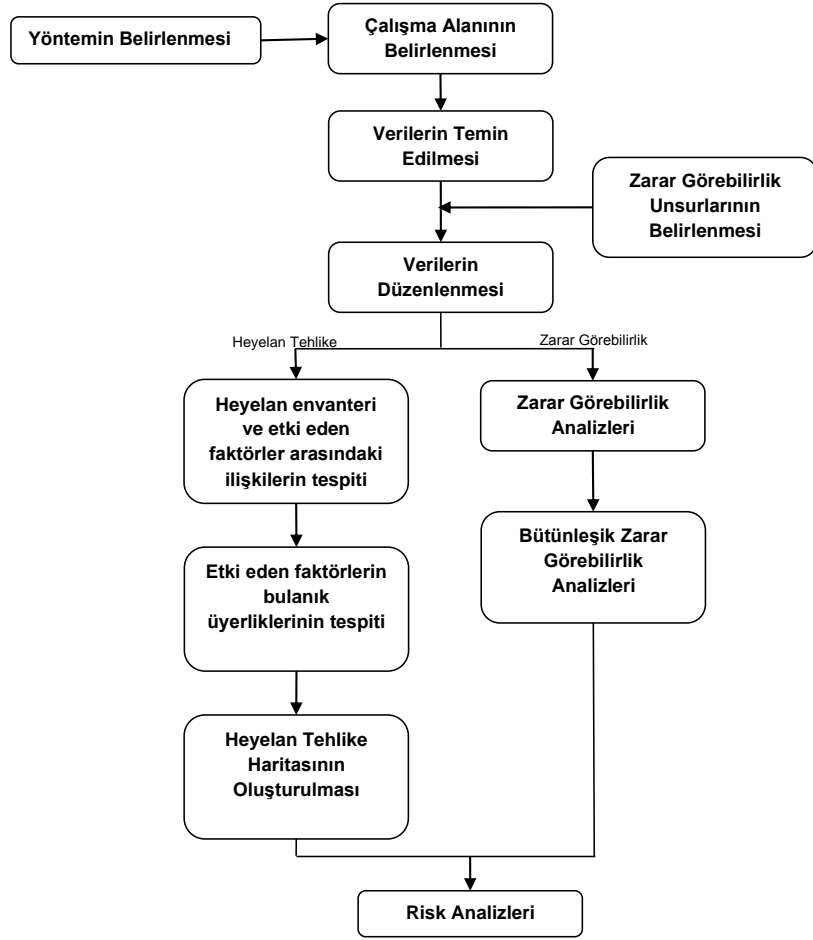


Şekil 1.1: Çalışma alanındaki mevcut heyelanlar ile ilgili alıcı işletim karakteristiği eğrisi.

Arca D. ve Kutoğlu Ő. H. [20] tarafından yapılan çalışmada, Batı Karadeniz bölgesi'nde yer alan Kozlu bölgesi ve çevresinin frekans oranı metodu ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışmada yapılan analizlerde eğim, litoloji, yükseklik, bakı ve arazi kullanım yoğunluğu parametreleri kullanılmıştır. Eğim haritası, sayısal yükseklik modeli verisi üzerinden, risk alanlarının tespiti ve analizi için düz (0° - 2°), hafif eğimli (2° - 5°), eğimli (5° - 10°), çok eğimli (10° - 15°), kısmen dik (15° - 30°),dik (30° - 60°) ve çok dik ($>60^{\circ}$) olmak üzere 7 sınıfa ayrılmıştır. Bakı haritası, -1 ve 360 derece aralığında 10 sınıfı kapsayacak şekilde oluşturulmuştur ve bu haritada haritada -1 olan kısım düzlük bölgeleri (deniz, gl, vs), 0-360 aralığı ise 22,5 o'lik aralıklarda 9 coğrafi yönü (Kuzey, Kuzey Doğu, Doğu vb) kapsamaktadır. Sayısal yükseklik modeli verisi üzerinden 0-450m aralığında 9 eşit sınıfa bölünerek yükseklik haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar ile mevcut heyelan verileri arasındaki ilişkiler incelenerek verilerin frekans oranları tespit edilmiştir. Frekans oranları tespit edildikten sonra frekans oranı yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Çalışmada oluşturulan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derece olarak beş sınıf halinde oluşturulmuş ve her bir sınıf için oluşturulan piksellerin yüzdeleri; %0.17'lik kısım çok düşük, %2.20'lik kısım düşük, %14.90'lık kısım orta, %54.27'lik kısım yüksek ve %28.46'lık kısım çok yüksek olarak tespit edilmiştir. Duyarlılık haritasının güvenirliğini test etmek için heyelan envanter haritasında yer alan heyelan envanterleri duyarlılık haritası ile karşılaştırılmış ve heyelan duyarlılık haritasının çok yüksek duyarlılık %67.16, yüksek %28.95, orta duyarlılık %3.81, düşük duyarlılık %0.08 ve çok düşük heyelan duyarlılığı %0.00 oranında belirlenmiştir.

1.3. Metodoloji

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli işlem adımları Şekil 1.2'de ifade edilmiştir. Yapılan literatür incelemelerinde heyelan duyarlılık, zarar görebilirlik ve risk değerlendirme çalışmalarında çok kriterli karar analizi, analitik hiyerarşı, bulanık mantık ve frekans oranı yöntemi gibi bir çok yöntem kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yapılacak olan analiz çalışmaları için bulanık mantık yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 1.2: Çalışmada yürütülen işlem adımları.

Ülkemizde Doğu Karadeniz Bölgesi oldukça fazla heyelan olaylarına maruz kalması sebebiyle, çalışma alanı olarak Rize ilinin Fındıklı ilçesi seçilmiştir. Literatürde yapılan heyelan analiz çalışmalarında, sıklıkla jeoloji, eğim, bakı, yükseklik, arazi kullanım, akarsuya uzaklık ve yola uzaklık verileri heyelana etki eden faktörler olarak değerlendirildiği gözlemlenmiş ve bu çalışmada da analiz çalışmaları için bu verilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca çalışmada zarar görebilirlik ve risk unsurları olarak yol, yol sanat yapıları ve duvar yapı verileri kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada kullanılması düşünülen verilerin bir kısmı ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilmiş bir kısmı ise temin edilen verilerden üretilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan veriler uygun topolojik yapıda düzenlenmiştir.

Çalışma için hazırlanan veriler kullanılarak, heyelan duyarlılık haritası üretimi ve zarar görebilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması aşamasında önce heyelana etki eden faktörler ile heyelan envanteri verileri arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Daha sonra bu verilerin bulanık mantık

yöntemi kullanılarak üyelik haritaları ve heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Zarar görebilirlik analizi çalışmaları için de belirlenen unsurlar dikkate alınarak zarar görebilirlik ve bütünleşik zarar görebilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise oluşturulan heyelan duyarlılık ve bütünleşik zarar görebilirlik haritaları kullanılarak risk analizi çalışmaları yapılmıştır.

2. BULANIK MANTIK

Literatürde heyelan duyarlılık haritaları, zarar görülebilirlik ve risk değerlendirmeleri çalışmalarında çok kriterli karar analizi, analitik hiyerarşi, bulanık mantık ve frekans oranı yöntemi gibi birçok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilecek analizler için bulanık mantık yöntemi kullanılmaktadır.

2.1. Bulanık Mantık Yöntemi

Klasik küme teorisi birşeyin ya kümenin üyesi olduğu veya olmadığı temel kavramı üzerine kuruludur. Bu teoride keskin, dalgalı ve belirsiz bir fark iyi belirlenmiş varlıkların kümesinde bulunmaktadır ve bir varlığın kümenin elemanı olduğunu göstermek için kesin bir sınır bulunmaktadır. Ancak kümenin kısmi üyeliklerini belirtmekte klasik küme mantığı kullanılamaz. Bulanık küme teorisi kısmi üyelikleri kabul eder. Bu yönüyle klasik küme teorisini bir ölçüde genişletir [21]. Günlük yaşantıda kullanageldiğimiz birçok terim bulanık yapıya sahiptir. Bir şeyi açıklarken, örnek verirken sözel veya sayısal ifadeler bulanıklılık içermektedir. Kısa, uzun, parçalı bulutlu vb. bulanık kavramı Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Bulanık mantık uygulamalarına birçok alanda rastlamak mümkündür. Otomatik kontrol sistemleri, bilgi sistemleri, görüntü tanımlama, optimizasyon, biyolojik süreç kontrolü, nükleer reaktör kontrolü, deprem mühendisliği ve savunma sanayi gibi endüstriyel ağırlıklı uygulamaların yanı sıra sosyal alanlara yönelik uygulamalar da bulunmaktadır [22], [23].

Bulanık mantık gerçek dünyaya daha yakın doğrusal olmayan denetim için alternatif bir metot olarak göze çarpar. Sistemlerin doğrusal olmayan özellikleri; kurallar, üyelik fonksiyonları ve sonuca varma ile gösterilir. Çok girişli kontrol uygulamaları çok sayıda parametrenin tasarlanıp ayarlanmasını gerektirmektedir. Bulanık mantık tabanlı denetleyici kuralları, doğrusal olmayan özellikleri de dikkate alıp çok sayıdaki girdi değeri tekli if... then... sözel ifadeleri ile birleştirip basitleştirir [22].

Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümedir. Bulanık bir küme değişik üyelik yani ait olma derecelerinin sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir küme, elemanlarının her birine 0 ile 1 arasında üyelik atayabilen bir üyelik fonksiyonu

ile karakterize edilebilir [22]. ArcGIS 10 versiyonundan itibaren bulanık mantık aracı kullanılabilir. Bu araçta girdiler bulanık üyeliklere alınabilmekte hem de bulanık bindirme (fuzzy overlay) analizleri yapılabilmektedir. Bulanık üyelik aracı girdi değerini 0 ile 1 arasında bir ölçeğe alarak belirlenen kümenin üyesi olup olmama durumunu ortaya koymaktadır [24].

2.1.1. Bulanık Üyelik Fonksiyonları

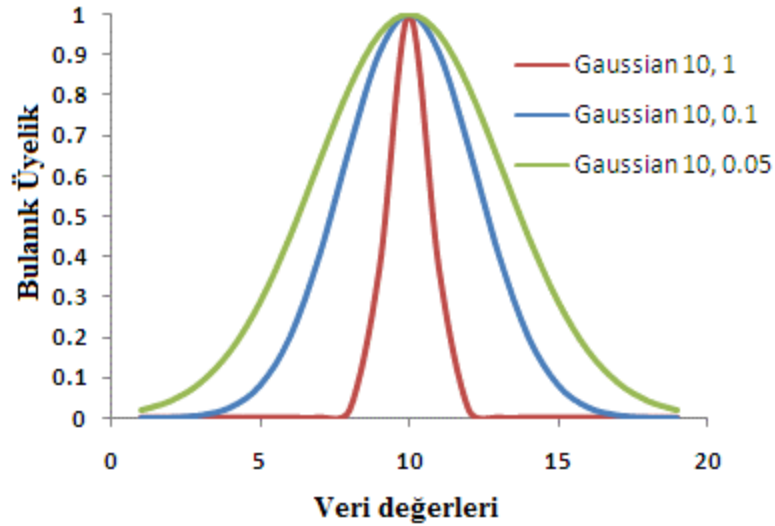
7 farklı bulanık üyelik fonksiyonu bulunmaktadır [24]:

Fuzzy Gaussian: Orijinal değerleri normal dağılıma dönüştürür. Orta nokta küme için ideal bir tanımlı gösterir ve 1 değerini alır [25].

Gaussian üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde formüle edilebilir [25].

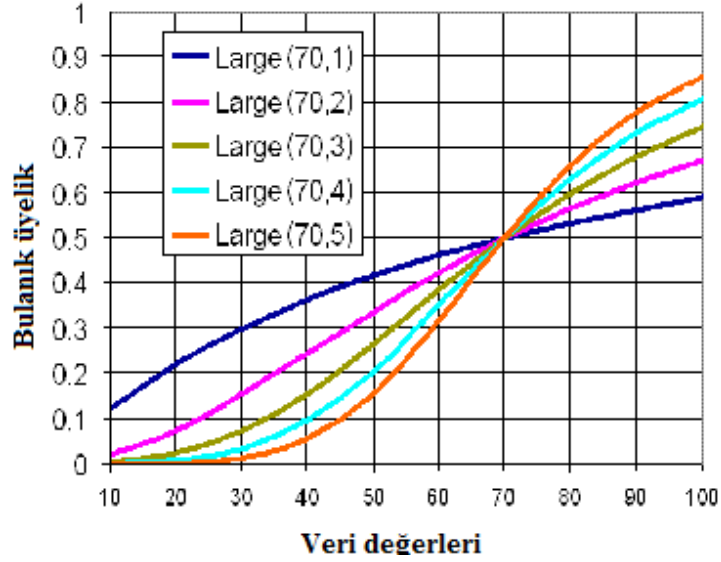
$$\mu(x) = e^{-f1*(x-f2)^2} \quad (2.1)$$

Denklemden; f2 Gauss eğrisinin merkezini, f1 ise genişliği ayarlayan parametredir (Şekil 2.1) [25].



Şekil 2.1: Fuzzy gaussian üyelik fonksiyon grafiği.

Fuzzy Large: Büyük girdi değerler kümenin üyesi olasılığının daha fazla olduğu durumda kullanılır. Orta nokta 0.5 değerini alır. Orta noktadan büyük değerler kümenin üyesi olasılığı daha fazladır. 0.5'ten küçük değerlerin kümenin üyesi olma olasılığı daha azdır (Şekil 2.2) [26].



Şekil 2.2: Fuzzy large fonksiyon grafiği.

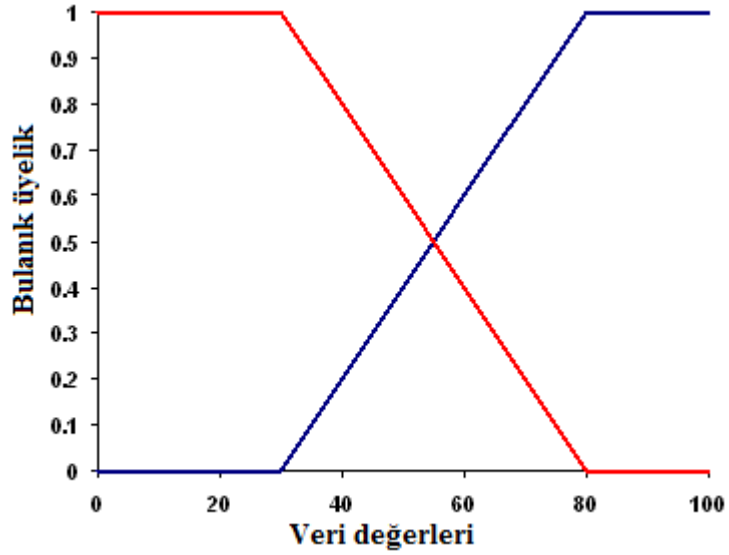
Fuzzy large fonksiyonunun denklemini aşağıdaki şekilde formüle edilebilir [26]:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}} \quad (2.2)$$

Fuzzy Linear: Bulanık doğrusal dönüşüm fonksiyonu kullanıcı belirleyici minimum ve maksimum değerler arasında doğrusal bir fonksiyon uygular. Minimum altındaki değerler ve maksimum üzerindeki değerler 0 değerini alır (Şekil 2.3) [27].

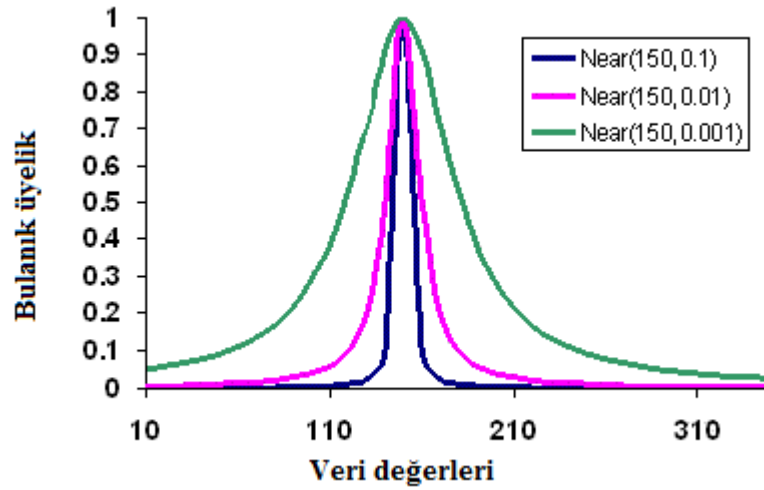
Fuzzy MS Large: Fuzzy large fonksiyonuna benzer ancak standart sapma ve ortalama ile farklılaşır. Çok büyük değerler kümenin üyesi olma ihtimali daha fazla ise kullanılır [28].

Fuzzy MS Small: Ortalama ve standart sapmaya dayalı olması ile fuzzy small fonksiyonundan farklılaşır. Çok küçük değerler kümenin üyesi olma olasılığı daha fazla ise kullanılır [29].



Şekil 2.3: Fuzzy linear grafiği.

Fuzzy Near: Eğer üyelik belirli değere yakınsa yakın dönüşüm fonksiyonu kullanılabilir. Orta nokta kümenin merkezi olarak belirlenir. Negatif ve pozitif yönde orta noktadan uzaklaştıkça üyelik derecesi azalır. Dağılım parametresi değişim zonunun karakterini ve şeklini belirler (Şekil 2.4) [30].

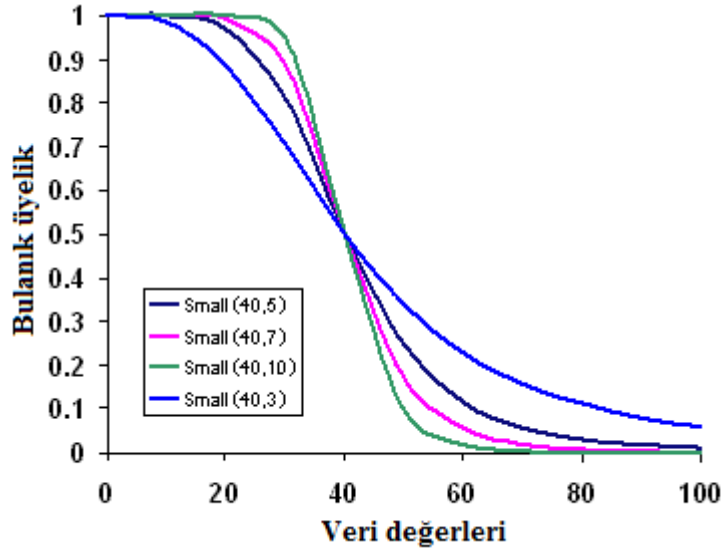


Şekil 2.4: Fuzzy near fonksiyonu grafiği.

Fuzzy Near fonksiyonu aşağıdaki şekilde formüle edilebilir [30].

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + f_1(x - f_2)^2} \quad (2.3)$$

Fuzzy Small: Küçük değerlerin kümenin üyesi olma olasılığı fazla ise fuzzy small dönüşüm fonksiyonu kullanılır. Orta nokta 0.5 değerini alır. Orta noktadan büyük değerlerin kümenin üyesi olma olasılığı daha düşükken, orta noktadan küçük değerlerin kümenin üyesi olma olasılığı daha fazladır. Dağılım parametresi geçiş zonunun şekli ve karakterini belirler (Şekil 2.5) [31].



Şekil 2.5: Fuzzy small fonksiyonu grafiği.

Fuzzy Small fonksiyonunu oluşturan denklem aşağıdaki gibidir [31].

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{x}{f_2} \right\}^{f_1}} \quad (2.4)$$

Heyelan tehlike analizinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla 7 adet veri seti hazırlanmıştır. Bu veri setleri heyelan envanteri ile çakıştırılarak geçmişte yaşanan heyelanların veri setlerindeki hangi sınıflarda daha fazla yoğunlaştığı frekans oranı metoduyla tespit edilmiştir. Faktörler için belirlenen özelliklere göre, veri setlerinde MsSmall, MsLarge, Small, Near, Large vb. bulanık üyelikleri tanımlanmıştır. Bu şekilde hücre bazlı verilerde pikseller 0-1 arasında farklılaşan değerler almaktadır.

2.1.2. Bulanık Mantık Bindirme İşlemi

Bulanık bindirme, bir değerin kümenin üyesi olup olmadığı belirlenen küme teorisi mantığına dayanır. Bulanık mantık olarak bilinen küme teorisindeki değişim verilen bir değerin kümenin üyesi olasılığını belirlemeye yardım eder. Bulanık mantıkta 1 tam üyeliği temsil ederken 0 ise üye olmama durumunu belirtir [32].

Bulanık bindirme, kaynak katman değerleri ve 1'den (çok uygun) 0'a (uygun değil) sürekli bir ölçek üzerindeki uygunluk arasında bir ilişki belirlemeyi içerir. Bu yöntem, belirli bir kriter ile uygunluk arasındaki ilişki iyi tanımlanamadığı zaman kullanışlıdır. Bu yöntem aynı zamanda katmanları birleştirebilmek için matematiksel veya mantıksal operatörler kullanarak bazı seçenekler sunar [32]. Bulanık bindirme aracı çok kriterli bindirme analizinde çoklu setlere ait olasılığın analizine izin verir. Bu işlemi yapabilmek için her bir veri seti için 0 ve 1 arasında değer tanımlanmaktadır [33]. Bulanık bindirme işlemleri ArcGIS'te AND, OR, SUM, PRODUCT ve GAMMA 5 bölüm halinde incelenmektedir. Bu işlemler:

OR: Herhangi bir değeri yüksek olan girdi verisi kullanılarak yüksek değerlerde çıktı almak için kullanılır. Bu bindirme seçeneği hücre konumuna ait olan setlerin maksimum değere dönmesini sağlar. Bu girdi kriterlerinin herhangi biri için en yüksek üyelik değerini belirlemek için kullanılır. Örnek olarak konut uygunluk modelinde, uygun kümede 1 değerine en azından bir kriterle uyan tüm konumları belirlemek istenebilir [33].

AND: Fuzzy And bindirme tipi hücre konumuna ait olan setlerin minimum değere dönmesini sağlayacaktır. Bu teknik bütün girdi kriterlerinin üyeliklerinin ortak paydada buluşturulması istendiğinde kullanışlıdır [33]. Örnek olarak konuta uygun alanların belirlenmesi modelinde tüm kriterler için en azından 0.5'ten daha büyük konumları seçmek için kullanılabilir. Örnek olarak bir katman için özel bir hücre değeri için bulanık üyeliği 0.300, bir başka katman için bulanık üyeliği 0.659 ve bir diğeri için 0.952 ise çıktı katmanında hücreye verilecek değer 0.300 olur [32].

PRODUCT: Bu bindirme tipinde tüm girdi kriterlerindeki her bir hücre için her bulanık üyelik değerinin çarpımı ile oluşacaktır. Bindirme sonucunda elde edilecek veri herhangi bir girdi verisinden küçük olacaktır. Örnek olarak bir katman için bulanık üyeliği 0.8, bir başka katman için 0.9 ise çıktı değeri 0.72 olur. Ortaya çıkan bu değer

her iki hücreden daha küçük olmaktadır. Bu yüzden bu bindirme tipi sıklıkla kullanılmaz [32].

SUM: Hücre konumuna ait olan setlere bulanık değer ekleyen bir yöntemdir. Her bir veri eklendiğinde bindirilmiş veri daha önemli hale gelmektedir. Sonuç olan toplam analizde girilen kriter sayısına dayalı artan doğrusal kombinasyon fonksiyonudur [33]. SUM'ı hesaplamak için hücre için girdi değerler 1'den çıkarılır, sonuç çarpılır. Ürün çıktı değerini elde edebilmek için sonuç 1'den çıkarılır. Örnek olarak bir katmandaki hücre bulanık değeri 0.300, bir başkası 0.952 ve bir diğeri 0.659 ise bulanık üyelik değeri şu şekilde bulunur [32].

$$\begin{aligned} FM &= 1 - ((1-0.300) * (1-0.952) * (1-0.659)) \\ &= 1 - (0.700 * 0.048 * 0.341) \\ &= 1 - 0.011 \\ &= 0.989 \end{aligned} \tag{2.5}$$

GAMMA: Fuzzy Gamma türü, her ikisi de gamma gücüne yükselen fuzzy product ve fuzzy Sum'un cebirsel bir ürünüdür. GAMMA operatörü SUM ya da PRODUCT operatörleri kullanarak istenilen şeyin elde edilebilmesini sağlar [33].

$$\text{Birleştirilmiş bulanık üyeliği} = (\text{SUM})^G * (\text{PRODUCT})^{1-G} \text{ [33]}$$

GAMMA operatörü bulanık üyelik katmanı girdilerinin nasıl birleştirileceği üzerinde ek bir kontrol sağlar. Faktör 1 ile sonuç SUM operatörü aynıdır. Faktör 0 ve PRODUCT operatörü ile ortaya çıkan sonuç aynıdır. GAMMA modelin güzel bir şekilde ayarlanması için özellikle kullanışlıdır. Başlangıçta elde edilen sonuç gözden geçirilerek farklı GAMMA faktörleri modellenen şeyin daha iyi anlaşılabilmesini sağlar. Birkaç farklı aşamada faktörü değiştirerek model uygulanabilir [32].

Örnek olarak bir katmandaki hücre bulanık değeri 0.300, bir başkası 0.952 ve bir diğeri 0.659 ve GAMMA 0.6 değeri ile bulanık üyelik değeri şu şekilde bulunur [32].

$$\begin{aligned} FM (\text{SUM}) &= 1 - ((1-0.300) * (1-0.952) * (1-0.659)) \\ &= 1 - (0.700 * 0.048 * 0.341) \\ &= 1 - 0.011 \\ &= 0.989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
FM(\text{PRODUCT}) &= 0.300 * 0.952 * 0.659 \\
&= 0.188
\end{aligned}
\tag{2.6}$$

$$\begin{aligned}
FM(\text{GAMMA}) &= (0.989)^{0.6} * (0.188)^{1-0.6} \\
&= (0.989)^{0.6} * (0.188)^{0.4} \\
&= 0.993 * 0.513 \\
&= 0.509
\end{aligned}$$

Kullanılması gereken operatör analizin gereksinimlerine bağlı olarak belirlenebilir. Yer seçimi veya farklı bir amaçla yapılan analizde bütün nitelikler uygun ise AND operatörü kullanılabilir. Analizde her hangi bir nitelik uygunsa OR operatörü kullanılır. İki veya daha çok nitelik uygunluk analizini artırıyor ise SUM operatörü kullanılabilir. İki veya daha fazla katman korelasyona sahipse katmanları birleştirmek için matematiksel operatörlerden kaçınmak gerekir [32].

SUM, PRODUCT ve GAMMA değişik girdi değerlerini birleştirdiği için, yer nitelikleri sonuç üzerinde çok fazla etkiye sahip olabilir. Örnek olarak yükseklik ve eğim çoğunlukla korelasyona sahiptir. Model yükseklik, eğim ve bitki katmanlarını içeriyorsa matematiksel operatörlerden biri kullanıldığında yüksekliğin etkisi tüm bulanık üyelik katmanında büyüyebilir [32]. GAMMA fonksiyonu bileşenlerdeki belirleyicilerin en etkili bileşimini sağlar. GAMMA çoklu uygunluk kriterlerinden yüksek ve düşük üyelikleri en iyi şekilde bütünleştirerek bileşim sürecindeki bütün göstergeleri hesaba katar [34]. AND bindirme tekniği bütün girdilerin en düşük değerini alır. OR fonksiyonu bütün girdilerin en yüksekini alır. PRODUCT bütün bulanık girdileri çarpar. SUM girdileri doğrusal olarak birleştirir. Bileşik sonuç herhangi tek girdiden daha önemli olur. GAMMA ise bulanık PRODUCT ile bulanık SUM'ı GAMMA gücü ile çarpar [35]. GAMMA 1 bulanık SUM'a yakındır, ancak 0'a yaklaşan GAMMA değeri bulanık PRODUCT ile eşittir [36].

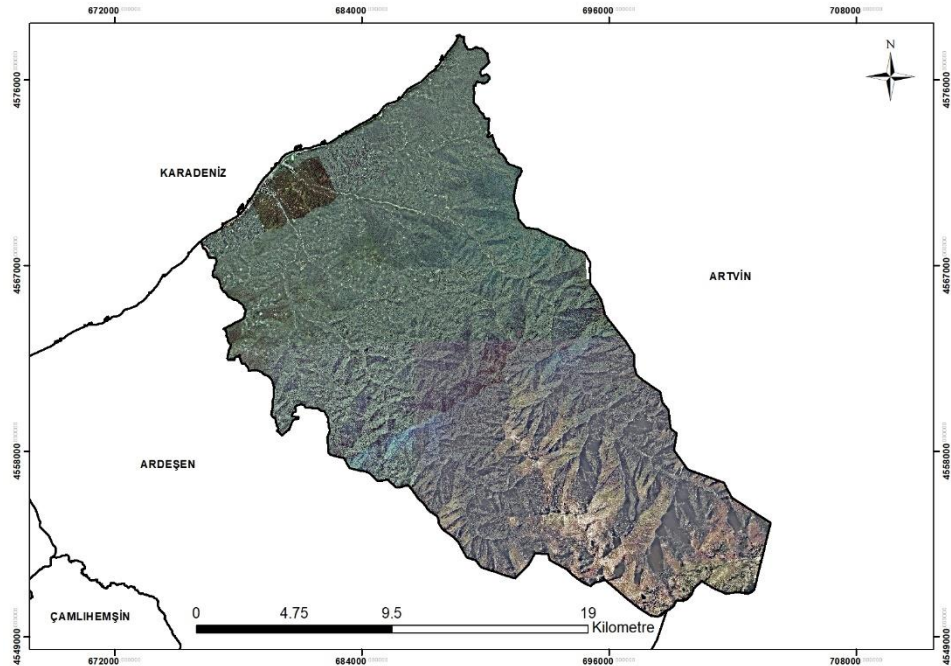
GAMMA fonksiyonu, bulanık PRODUCT ve bulanık SUM'ı birleştiren uygunluğu en iyi şekilde temsil için gereksinim duyulan çoklu girdileri dengelemek için bir yol sunar. Bu yaklaşım faktörleri sınırlayabilmek için bir ağırlık verir. Ancak fazla ağırlığa sahip diğer girdi değerlerine daha fazla değer verir. Bu bağlamda GAMMA fonksiyonu ayrık ve gerçekçi olmayan yüzeylerden ziyade uygunluk gradyanını belirler [37].

3. ÇALIŞMA ALANI SEÇİMİ VE VERİ ALTIKLARININ HAZIRLANMASI

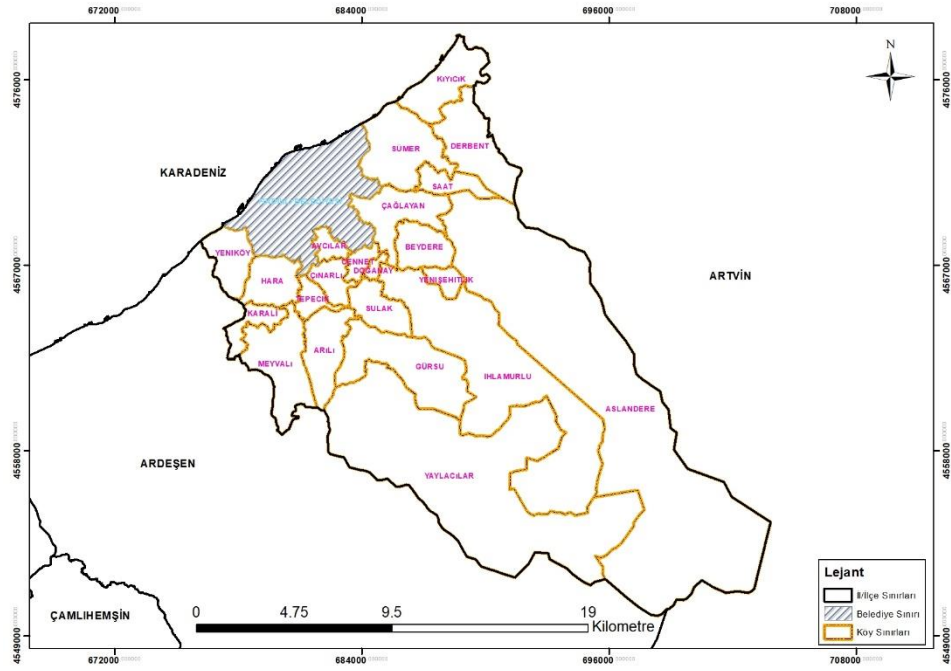
Ülkemizde heyelan olaylarından en çok etkilenen bölgeler arasında ilk sıralarda yer alan Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Rize ilinin Fındıklı ilçesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Rize ilinin Fındıklı ilçesi, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır. Rize'nin son sahil ilçesidir (Şekil 3.1). İlçede 22 köy ve 8 mahalle bulunmaktadır (Şekil 3.2). Eski adı Viçe olan ilçe, doğuda Arhavi, batıda Ardeşen, güneyde Yusufeli ve kuzeyde Karadeniz ile çevrili olup, 13 km kıyı şeridi vardır. Kıyıda çok az olan düzlük alanlar Kaçkarlara doğru, tepeler ve dağlar şeklinde yükselir. Vadiler arasında yer yer düzlükler mevcuttur. İlçe topraklarını Sümer, Arılı ve Çağlayan derelerinin etrafındaki vadiler oluşturur. Bu dereler boyunca otlaklar ve yaylalara rastlanır. Kaçkar eteklerine doğru yükseldikçe daimi kar sınırları ile karşılaşılır.



Şekil 3.1: Ortofoto harita.



Şekil 3.2: İdari sınır haritası.

3.1.1. İklim

Fındıklı İlçesi, tipik Karadeniz arazi yapısı ve iklimine sahip olan ilçede yılın 6 ayı kapalı, 4 ayı çok bulutlu, 1,5 ayı bulutlu, 19 gün açık hava bulunmakta ve 365 günün yarısı yağışlı geçmektedir. Yıllık yağış miktarı 2500 mm'den 3000 mm'ye çıkmakta olup, en yüksek nem oranı % 95, en düşük nem oranı % 40 civarındadır. En yüksek sıcaklık 30 °C, en düşüğü ise -4 °C civarındadır [38], [39].

3.1.2. Bitki Örtüsü

Bol yağış alan ve dengeli bir sıcaklık rejimine sahip olan Rize, sık ve gür bir tabii bitki örtüsüne sahiptir. Kıydan yaklaşık 750 m. yüksekliğe kadar olan saha geniş yapraklı kıyı ormanları ile kaplıdır. Bu sahada yer yer iğne yapraklıların da bazı sırtlar boyunca aşağılara sarktığı görülür. Gür ve sık bir orman formasyonu ile aynı zamanda da zengin bir orman altı formasyonundan oluşan bu yükseklik basamağı "Kelşik Flora" adıyla da tanınmaktadır. Bu basamağın hâkim türü sakallı kızılgaç (*Alnus Barbata*) olup diğer türler kayın, kestane, ıhlamur türleri, gürgen, karaağaç türleri, yabani Trabzon hurması, yabani karayemiş, yabani kiraz, defne, çınar, tesbih ağacı, meşe, dişbudak ve şimşir'dir. Bunlardan sakallı kızılgaç ve yabani karayemiş akarsu vadileri

boyunca orman üst sınırına kadar çıkar. Bu basamağın orman altı bitki örtüsü de çok zengindir. Hâkim tür; yörede "Kumar" adıyla bilinen ve yakacak odun olarak istihsal edilen orman gülü (Rhododendron) olup, sayılamayacak kadar çok otsu ve odunsu bitki türü, orman gülü ile birlikte orman altı bitki örtüsünü oluşturur. Bu yükseklik basamağı aynı zamanda kültür bitkilerinin de yayılış alanıdır. Ancak konunun kapsamı dışına çıkmamak için burada bunlara yer verilmeyecektir. Yaklaşık olarak 800-1400 m yükseklikler arasındaki kuşak karışık orman kuşağıdır. Bu katın yaygın türlerinin geniş yapraklılarından sakallı kızılgağaç, kayın, kestane, gürgen ile iğne yapraklılarından ladin ve çam türleri teşkil eder. Orman altı bitki örtüsünü gene orman gülü ile diğer otsu ve odunsu bitkiler oluşturur. Yüksekliğin daha da artmasıyla yavaş yavaş iğne yapraklı türler hâkim duruma geçer. Hele 1600 m'den sonra iğne yapraklılarının hâkimiyeti kesindir. Hâkim tür doğu ladini (Picea Orientallis) olup, orman üst sınırına yaklaştıkça Kafkas köknarı da yaygın bir şekilde görülür. Karaçam da bu kuşağın yaygın türlerindedir. Orman altı bitki örtüsü bu kuşakta da değişmez (Şekil 3.3) [40], [41].



Şekil 3.3: Bitki örtüsünden bir görünüm.

Rize'de ormanlar yaklaşık olarak 2000-2200 m yüksekliklerde sona erer ve yerini alp çayırlarına bırakır. Turuncu ve beyaz renkli küçük dağ zambakları ile papatyalar gibi çeşitli türlerin yer aldığı bu sahada, çayırların yanında lekeler halinde

yer yer kısa boylu, orman gl çalılıkları da yer almaktadır. Yaylacılık faaliyetlerine sahne olan bu sahada yakacak ihtiyacını karşılamak amacıyla tahrip edilen orman gl çalılıkları gün geçtikçe azalmaktadır [40].

3.1.3. Hidrografya

Rize yağışlı iklimi ve zengin yer altı suyu kaynakları nedeniyle çok zengin hidrografik yapıya sahiptir. Akarsuları kısa boylu, yatak eğimleri ve akış hızları fazladır. Fındıklı ilçesinde iki ana akarsu bulunmaktadır: ağlayan ve Arılı ırmakları. ağlayan ırmağı 34.7 km'dir (şekil 3.4) [42]. Arılı ırmağı ise 31.5 km'dir [40].



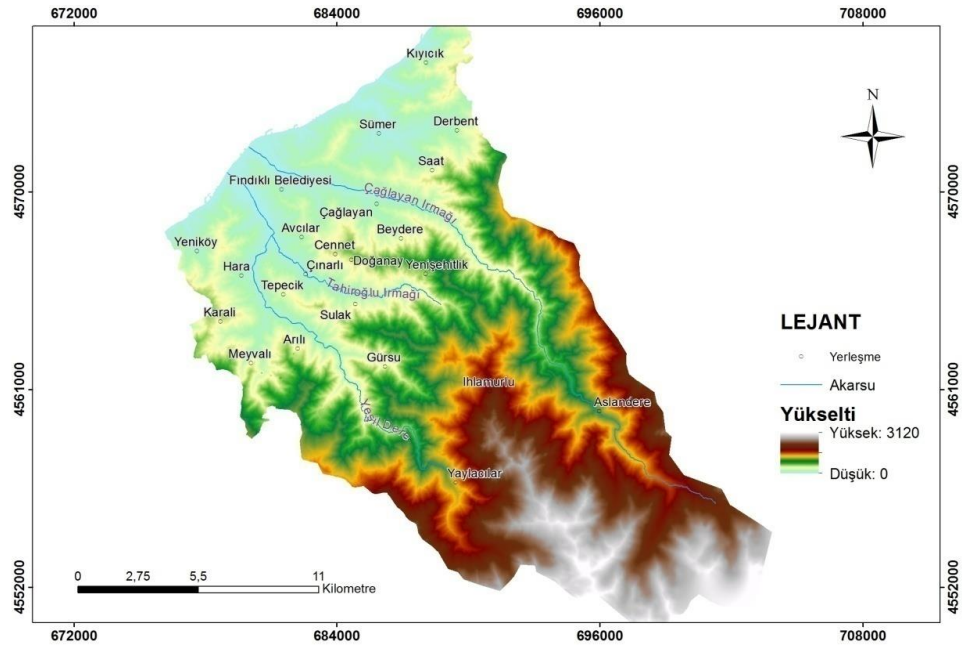
şekil 3.4: ağlayan ırmağı.

3.1.4. Topografya

Fındıklı Karadeniz sahilinde kurulmuş bir yerleşim birimidir. En düşük yükseklik seviyesi 0 metre en yüksek yükseklik ise 3120m'dir (şekil 3.5). İlçe topraklarını Sümer, Arılı ve ağlayan derelerinin etrafındaki vadiler oluşturur. Sahil şeridi oldukça dardır. Yüksek eğimli yamaçlar sahile oldukça yakın bölgeden başlar. Yerleşimin güneyinde Arılı deresi, kuzeyinde ağlayan (Abu) deresi Karadeniz'e

döküldükleri yerde dar sahil şeridini genişleterek yerleşim için uygun alan oluşturmuştur.

Sahil kesimi ve dere boyunca uzayan vadilerde eğim oldukça azdır. Düz alanların dışında etap etap artan bir eğim bulunmamaktadır. Vadi tabanlarında oluşan düzlüklerden hızla çok eğimli yamaçlara doğru bir geçiş söz konusudur. Topografik yapı çok değişkenlik gösterir. Dereler boyunca oluşan vadiler silsilesi topografyayı kıvrımlı hale getirmiştir.



Şekil 3.5: Yükseklik haritası.

3.1.5. Nüfus ve Yerleşme

2007 yılı nüfus sayımına göre ilçede 15556 kişi yaşamaktayken 2018 yılı nüfus verilerine göre 16902 kişi yaşamaktadır [43]. İl genelinde kentsel nüfus büyüklüğü açısından 5. ilçe ve nüfus artışı bakımından da 9. ilçe konumundadır. İlçeye il içinden ve dışından belli oranda göç olmakla beraber, ilçe dışına göç ilçenin önemli bir sorunudur. Göç sorununda ekonomik nedenler birinci sırada yer alır. Ekonomik geçim kaynağının büyük çoğunluğu çay üreticiliği olması sebebiyle yıl içerisinde iki yönlü göç hareketliliği oldukça fazladır.

3.2. Verilerin Temini Ve Hazırlanması

Orta ölçekli heyelan ve risk katmanlarının oluşturulmasında; sayısal yükseklik verileri, jeoloji, arazi kullanımı, akarsu, yol, yol sanat yapıları, duvar yapı verilerinin kullanımı tasarlanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi için idari sınırlar ve geçmiş heyelan envanter verileri de eklenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen veriler Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu 6 derece World Geodetic System (WGS 84) datumundadır. Zarar görülebilirlik ve risk değerlendirmeleri için tasarlanan tüm veriler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılacak veriler.

Üst Grup	Sınıf Adı	İçerik	Açıklama
Topoğrafya	Yükseklik	Yükseklik noktaları	Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir.
	Sayısal yükseklik modeli	10m piksel boyutlu SYM (Grid)	
Arazi Kullanımı/ Arazi örtüsü	Arazi kullanımı/arazi örtüsü(poligon)	İğne yapraklı orman, yerleşin, tarım, mera, kayalık, karışık orman, geniş yapraklı orman, fındık ve çay ile ilgili alanlar	Tarım Bakanlığından temin edilmiştir.
İdari Sınır	İlçe ve köy sınırları (poligon)		Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir.
Jeoloji	Jeoloji (poligon)	Alüvyon, dasit ve piroklastları andesit ve piroklastları, kumtaşı, kil şist, granit granodiyorit	Rize İl Afet Müdürlüğünden Temin Edilmiştir
Heyelan envanteri	Geçmiş yıllara ait heyelan envanteri (Poligon)		
Yol Sanat Yapıları	Yapı nitelikleri(Poligon)	Yapı Tipi, Hacim	Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir.
Duvar Yapıları	Yapı nitelikleri(poligon)	Yapı Tipi, Hacim	
Akarsular	Akarsu (Çizgi)		
Yollar	Yol (Çizgi)	Yol kaplama türü, genişlik	

3.2.1. Heyelan Duyarlılık Analizi İçin Gerekli Verilerin Hazırlanması

3.2.1.1. Jeoloji

Jeoloji, yerin yüzeyinin ve altının fiziksel yapısını inceleyen bilim dalı olarak karşımıza çıkmaktadır. Jeoloji verileri de tanımla paralel olarak yer yüzeyinin veya altının fiziksel çeşitliliğini gösteren verilerdir. Çalışmada kullanılan veriler Rize İl Afet Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Çalışma alanı üst kretase periyodu süresince aktif olarak denizaltı volkanik faaliyetlerinin istilasına uğramıştır. Bu volkanik aktiviteler köken bakımından iki bazik ve iki de asidik olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Öncelikle bazik olaylar gerçekleşmiş, alt asitik seri olarak ayrılan birime yol açmış ve zaman zaman sukunet olsa da ince seviyeler halinde tortullar çökelmiştir. Ardından ikinci asitik volkanizma faaliyet göstermiştir. İnce seviyeler halinde marnlı katmanlar oluşmuştur. Bu evreleri takiben ortamda durulmalarla birlikte fliş serileri oluşmuştur. Böylelikle tortul-volkanik ardalama biçiminde üst kretase serileri tektonizmanın tesirinde kalarak kıvrımlanmış ve yükselme safhasına geçmiştir. Üst kretase devrinden sonra tersiyer yaşlı plütonik faaliyetler bölgede oluşmuştur. Bu faaliyetlerin ürünleri granodiorit ve dioritler mevcuttaki serileri keserek metamorfizmaya uğratmıştır [47].

Çalışma alanındaki jeolojik formasyonlar şu şekildedir [44]:

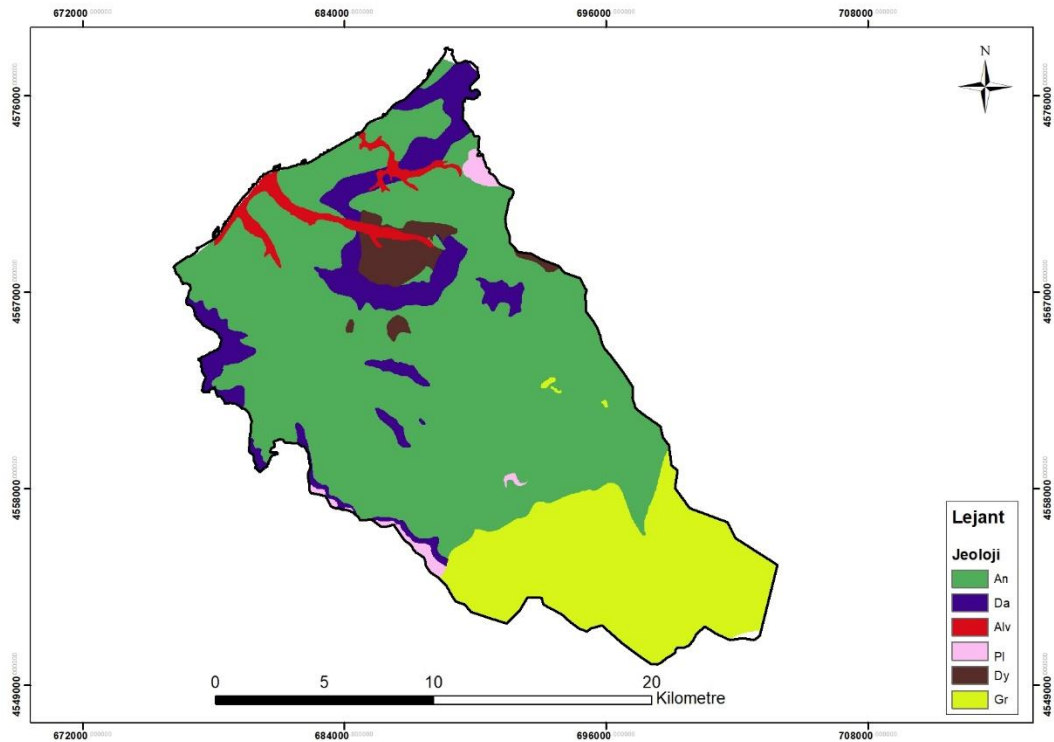
- Hamurkesen formasyonu: Genel olarak gri morumsu renkte basalt lav ve piroklastlardan oluşur. Arakatkılı kum taşı ve siltaşı da mevcuttur.
- Çatak formasyonu: Bazalt-andezit nitelikli lav ve piroklastları ile kum taşı, marn ve siltaşı arakatkılarından meydana gelir.
- Kızılkaya formasyonu: Pembemsi, gri ve beyaz renkli dasitik lav ve piroklastlardan meydana gelir.
- Çağlayan formasyonu: Bazalt, andezit lav ve piroklastları ile beraber aratabakalı kırmızı biyomikrit, marn ve kum taşlarından meydana gelir.
- Çayırbağı formasyonu: Formasyon riyolit ve riyodasitlerden meydana gelir. Yer yer tersiyer yaşlı granitik kayaçlarla kesintiye uğramıştır.
- Kaçkar granitoyidi: Rize graniti ve Kaçkar graniti olarak isimlendirilmiştir.
- Kabaköy formasyonu

- Hamidiye formasyonu

Alüvyonlar: Fırtına ve Çağlayan derelerinin vadilerinde kum ve çakıl biçiminde bloklardan meydana gelmiştir.

Bölge yapısal jeoloji olarak doğu pontid tektonik birliği içinde bulunur. Alp orojenezi etkili olup kıvrımlı, kırıklı yapılar blok faylanmalar ve bindirmeler orojeneze bağlı olarak oluşmuştur. Kıvrımlı yapılar yaşlı volcano tortul serilerde daha iyi gözlenir [44].

Çalışma alanı jeoloji haritası katmanları 6 sınıfta temsil edilmiştir (Şekil 3.6). Bu sınıfların haritadaki sembolleri ve açıklamaları şu şekildedir: 1-Alv-alüvyon, 2-An-andezit ve piroklastlar, 3- Da-dasit ve piroklastlar, 4- Dy-diyorit ve granodiyorit, 5- Gr-granit, 6- Pl-kum taşı, çakıltaşı, kiltası.

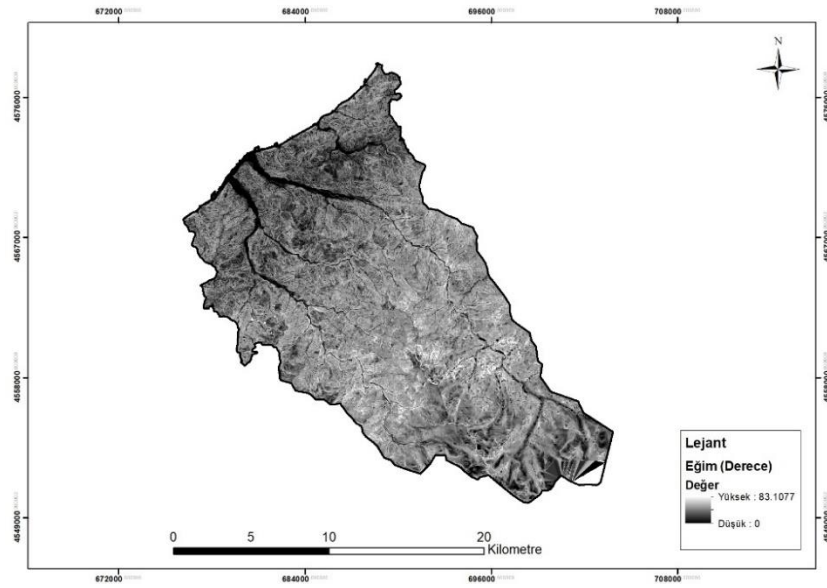


Şekil 3.6: Jeoloji haritası.

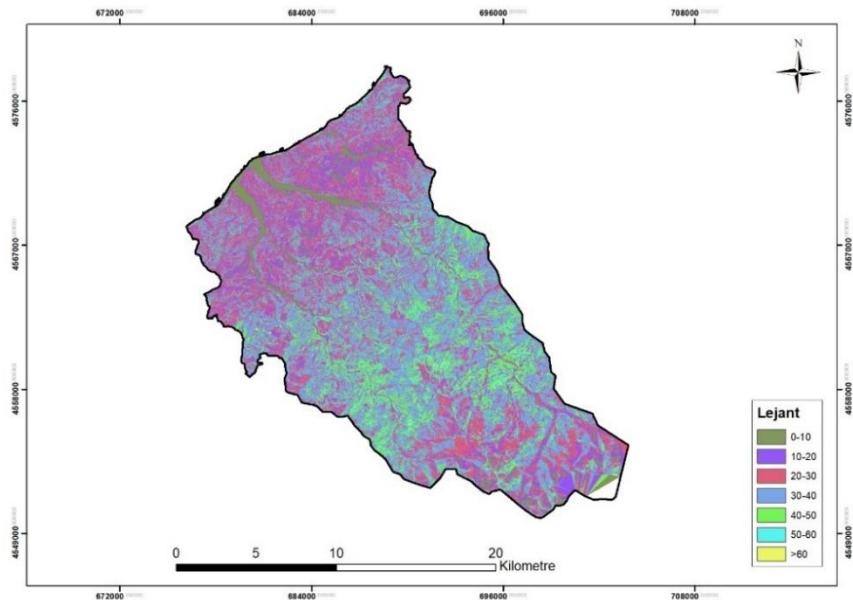
3.2.1.2. Eğim

Eğim, iki nokta arasındaki yatay mesafenin düşey kot farkına oranı olarak bilinmektedir. Topografyanın eğim durumu da heyelan oluşumunu denetleyen ve kontrol eden ana faktörlerden birisidir [48], [49]. Zira eğim arttıkça yerçekimi kuvveti

artacağı için heyelan oluşma potansiyeli de yükselir ve eğimli topografyada, su ile doygun killi tabakaların yaygın olduğu sahalarda heyelan olaylarının her zaman meydana gelebilir [50]. Eğim haritası Rize İl Özel İdaresinden temin edilen sayısal yükseklik modelinden (Digital Elevation Model-DEM) üretilip (Şekil 3.7) yeniden sınıflandırılarak 7 sınıf halinde (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, >60) oluşturulmuştur. Eğim haritasında en düşük eğim derecesi 0 iken en yüksek eğim derecesi 83.1077'dir (Şekil 3.8).



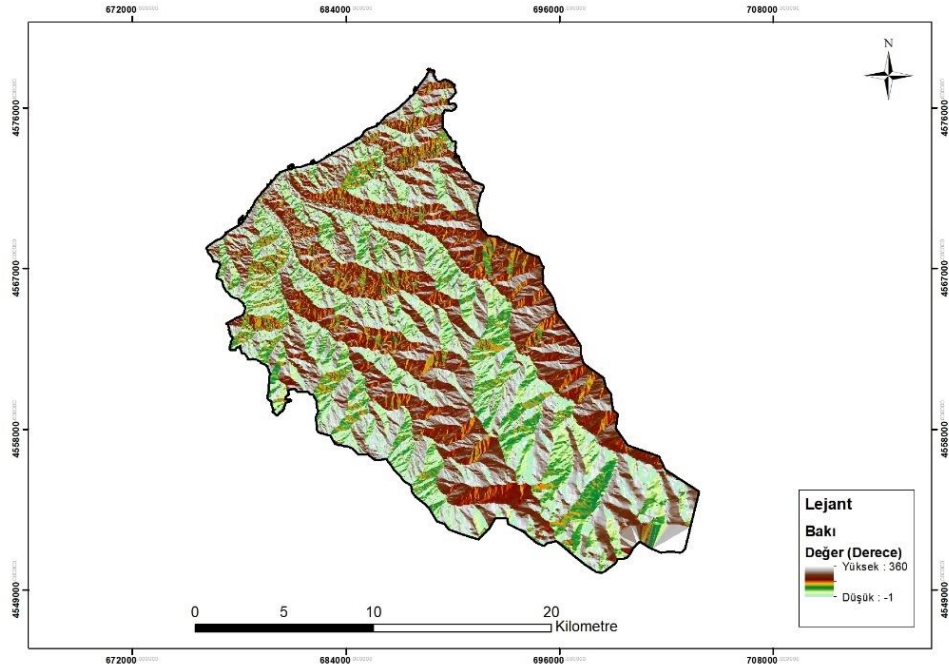
Şekil 3.7: Eğim haritası.



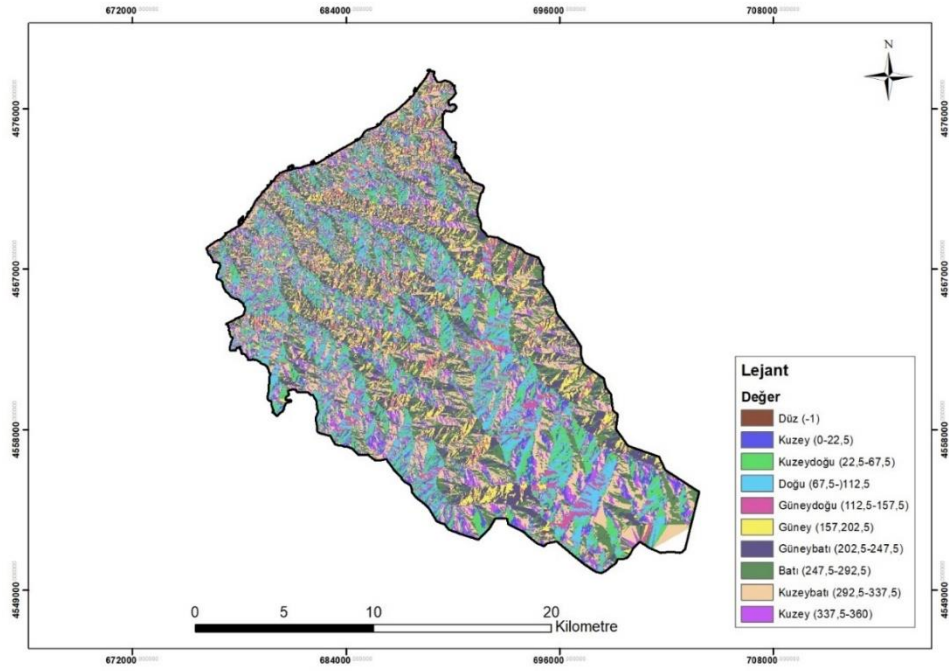
Şekil 3.8: Sınıflandırılmış eğim haritası.

3.2.1.3. Bakı

Bakı, bir yüzeyin veya yamacın bakış yönü/açısı olarak tanımlanabilir. Bakı ya da topoğrafik yön özellikleri topraktaki nem tutma oranı ve arazi örtüsü gelişimi üzerinde etkiye sahiptir [51]. Bakı etkisiyle günlenme, fön rüzgârları ve neme doygunluk heyelan oluşumuna tesir eder [52]. Çalışma alanı bakı haritası Rize İl Özel İdaresinden temin edilen sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (Şekil 3.9). Bakı bölgeleri bakı sınıflarına bağlı olarak; düz (-1°), kuzey ($0^\circ-22.5^\circ$; $337.5^\circ-360^\circ$), kuzeydoğu ($22.5^\circ-67.5^\circ$), doğu ($67.5^\circ-112.5^\circ$), güneydoğu ($112.5^\circ-157.5^\circ$), güney ($157.5^\circ-202.5^\circ$), güneybatı ($202.5^\circ-247.5^\circ$), batı ($247.5^\circ-292.5^\circ$), ve kuzeybatı ($292.5^\circ-337.5^\circ$) olarak 9 sınıfta gösterilmiştir (Şekil 3.10).



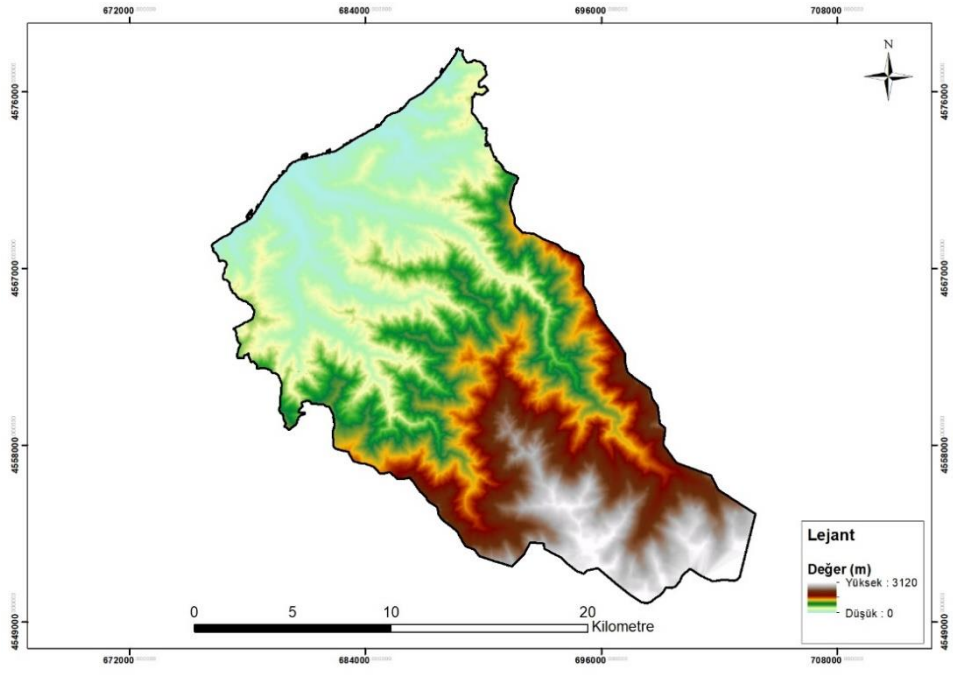
Şekil 3.9: Bakı haritası.



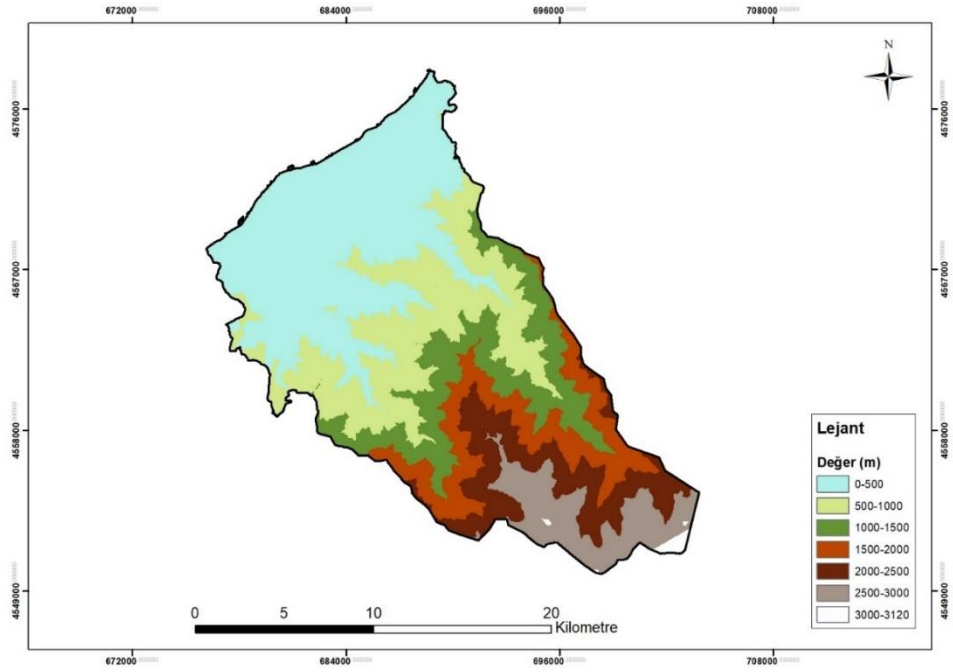
Şekil 3.10: Sınıflandırılmış bakı haritası.

3.2.1.4. Yükseklik

Yüzeyler, kapsamları boyunca her noktada değerlere sahip olan olguları temsil eder. Yüzeyde sınırsız sayıdaki nokta sayısı değerleri sınırlı sayıdaki örnek değerler kümesinden elde edilir. Yüzeyler eş yükselti eğrileri, nokta dizileri, Triangulated Irregular Network (TIN)'ler, rasterlar, eş çizgiler kullanılarak temsil edilebilir. Noktalar yüzeyde düzenli veya düzensiz dağılmış olabilir. Yüzeyi oluşturabilmek için ölçülen nokta konumlarında depolanan interpolasyon değerleri dahil olmak üzere, bir alandaki özelliklerin sayılarından belirli bir özellik yoğunluğunun veya özellik tipinin interpolasyonu dahil olmak üzere, bir alandaki mesafenin (veya yönün) yüzeylerini türeten yüzeyler oluşturmanın birkaç yolu vardır [38]. Çalışma alanının topografik verileri (arazideki kot noktaları) kullanılarak Sayısal Arazi Modeli (SAM) veri modeli oluşturulmuş (Şekil 3.11), SAM raster veri modeli 500 metre aralıklarla 7 yükseklik sınıfına bölünmüştür. Çalışma alanında yükseklik değerleri 0'dan 3120 metreye kadar değişmektedir (Şekil 3.12).



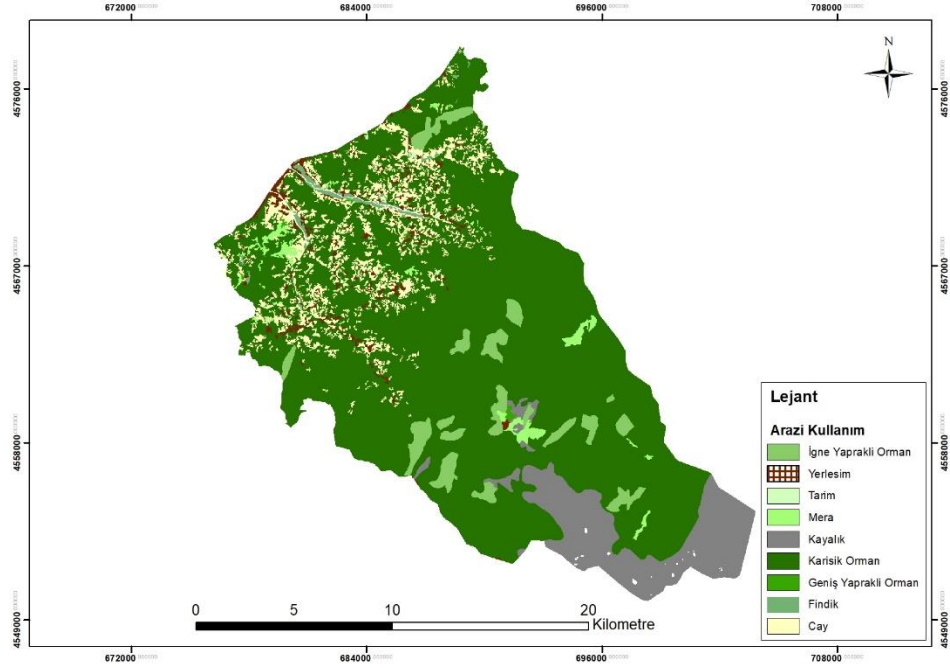
Şekil 3.11: Yükseklik haritası.



Şekil 3.12: Sınıflandırılmış yükseklik haritası.

3.2.1.5. Arazi Kullanımı

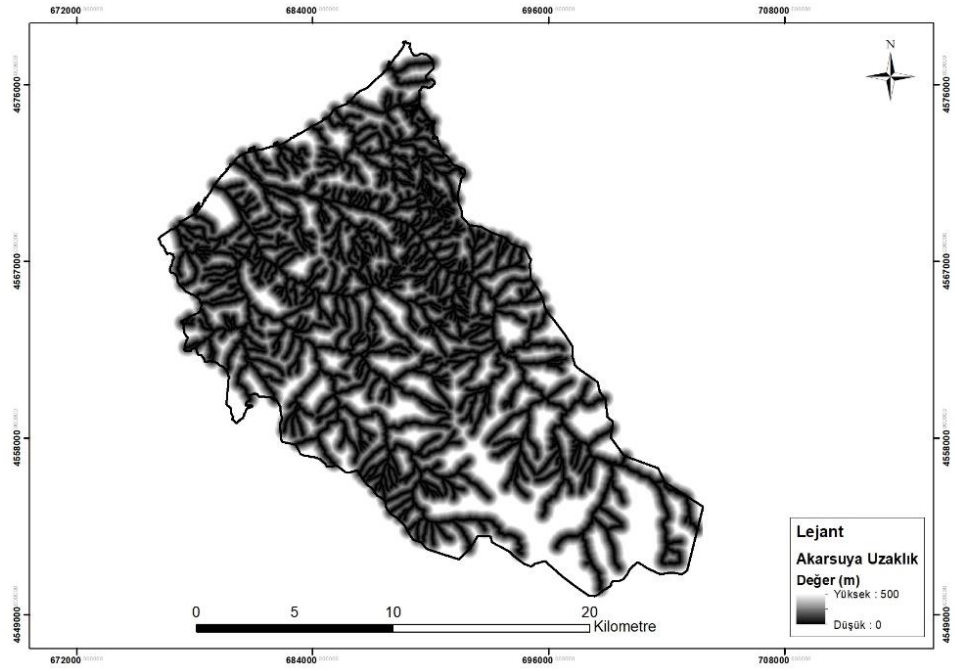
Çalışma alanında; çay, fındık, iğne yapraklı orman, geniş yapraklı orman, karışık orman, kayalık alanlar, mera arazisi, tarım ve yerleşim olmak üzere 9 arazi kullanımı sınıfı bulunmaktadır (Şekil 3.13). Çalışma alanına ait arazi kullanımı sınıfları sayısal ortamda Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığından temin edilmiştir.



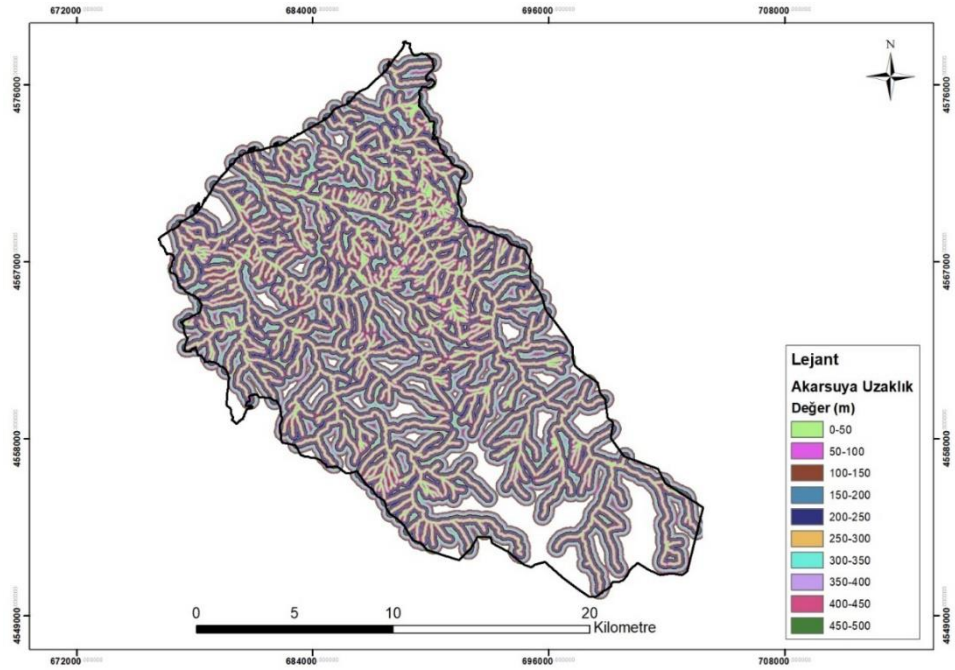
Şekil 3.13: Arazi kullanımı haritası.

3.2.1.6. Akarsuya Uzaklık

Çalışma alanındaki akarsuların sayısal verileri Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir. Akarsuların yamaç stabilitesine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla; akarsuya uzaklık değerleri öklid uzaklık analizi kullanılarak hesap edilmiştir (Şekil 3.14). Sonuç değeri yeniden sınıflandırılarak 0-50m, 50-100m, 100-150m, 150-200m, 200-250m, 250-300m, 300-350m, 350-400m ve 400-450 ve 450-500m metre olarak 10 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.14: Akarsuya uzaklık haritası.

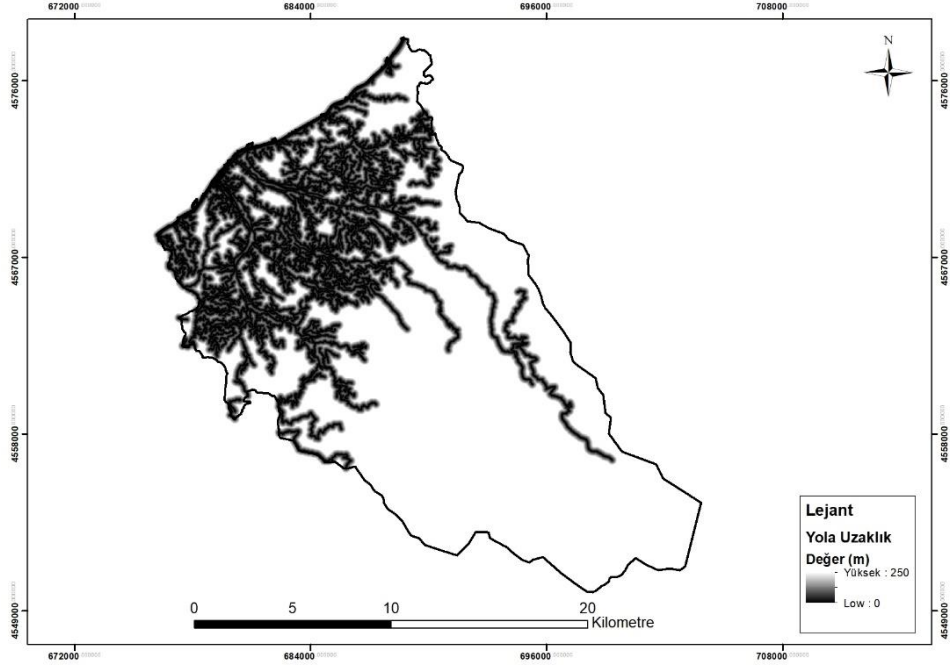


Şekil 3.15: Sınıflandırılmış akarsuya uzaklık haritası.

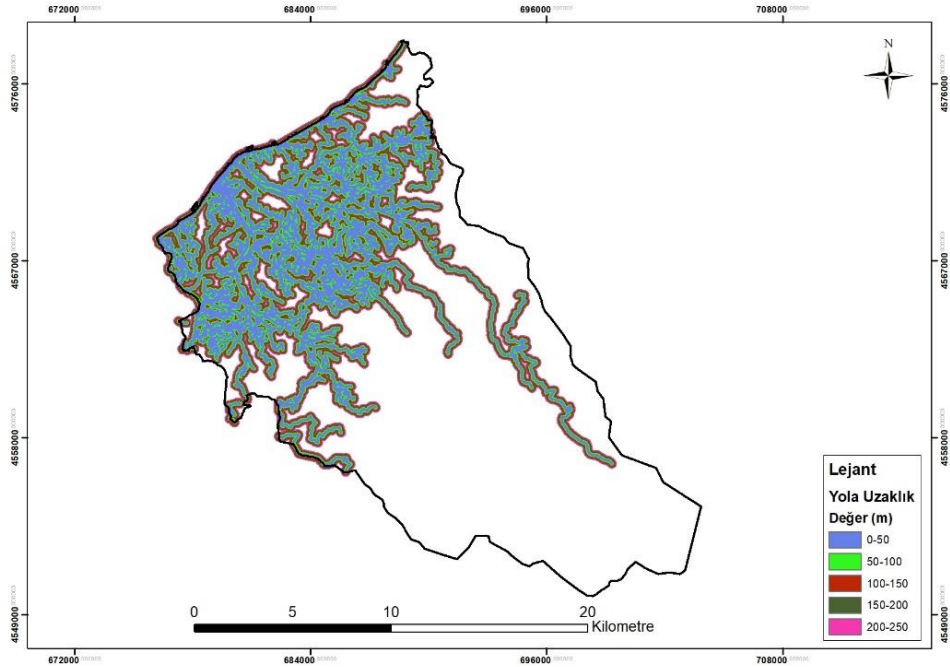
3.2.1.7. Yola Uzaklık

Çalışma alanı içerisinde bulunan yollara ilişkin sayısal veriler Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir. Yolların yamaç stabilitesine olan etkisinin belirlenmesi

amacıyla yola uzaklık değerleri öklid uzaklık analizi kullanılarak hesap edilmiştir (Şekil 3.16) ve sonuç değeri 0-50m, 50-100m, 100-150m, 150-200m, 200-250 metre olarak 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.17).



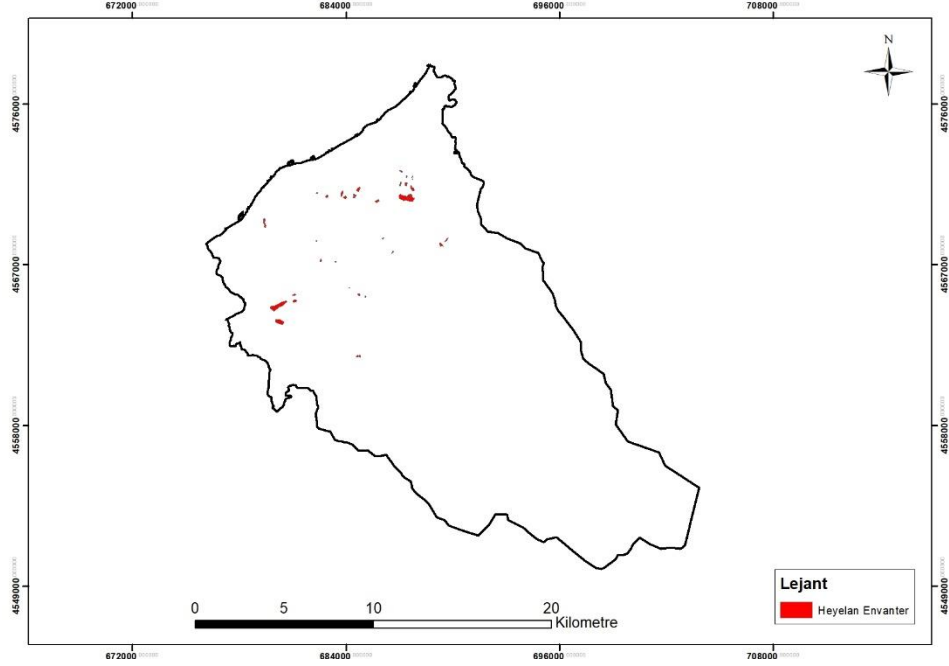
Şekil 3.16: Yola uzaklık haritası.



Şekil 3.17: Sınıflandırılmış yola uzaklık haritası.

3.2.1.8. Heyelan Envanteri

Çalışma alanı içerisinde önceki tarihlerde meydana gelen heyelanlara ilişkin heyelan envanter haritaları Rize İl Afet Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çalışmada üretilen duyarlılık haritalarının doğruluklarının tespiti amacıyla heyelan envanterinden yararlanılmıştır. 36 adet heyelan verisi içermektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Heyelan envanteri haritası.

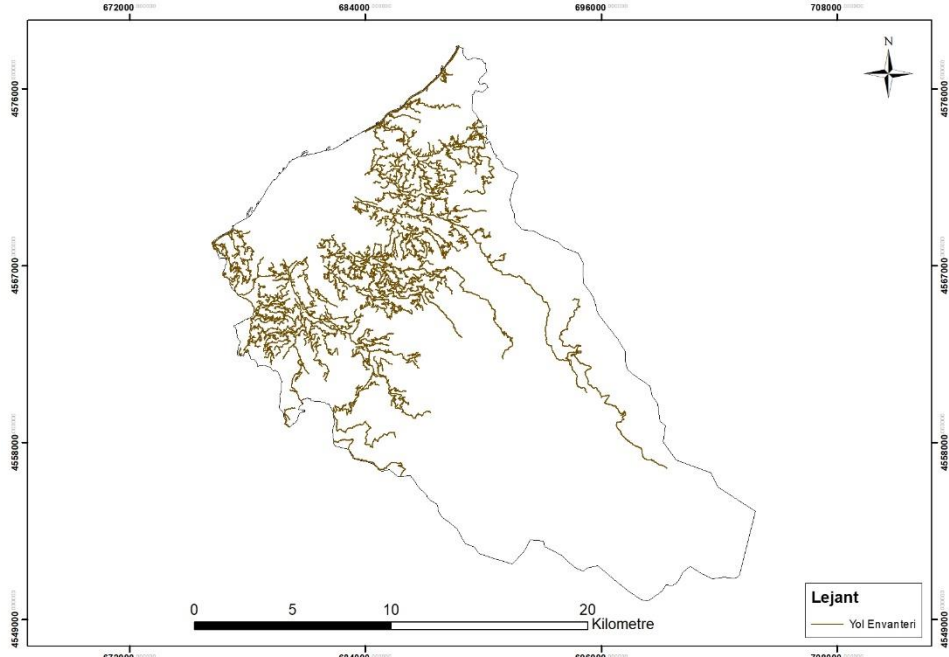
3.2.2. Zarar Görebilirlik Analizi İçin Gerekli Verilerin Temini Ve Hazırlanması

Bu çalışmada yapılacak zarar görebilirlik ve risk analizi çalışmaları için kullanılacak unsur olarak yol, yol sanat yapıları ve duvar verileridir.

3.2.2.1. Yol Envanter Verileri

Zarar görebilirlik ve risk değerlendirmesi yapılacak olan yol verileri Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir (Şekil 3.19). Bu veriler idare tarafından yürütülen arazi çalışmaları ile çizgi veri tipinde üretilmiştir. Veriler “kaplama genişliği (platform genişliği)” ve “yolkaplamatürü” öznitelik bilgilerine sahiptir. Kaplama genişliği

öznitelik bilgisi, yolların güzergahları boyunca sahip oldukları genişlik değerlerini ifade etmektedir. Yol kaplama türü öznitelik bilgisi “Asfalt Kaplama, Beton Kaplama, Stabilize ve Tesviye” olmak üzere 4 adet sınıftan oluşmaktadır (Tablo 3.2). Veriler uygun topolojik yapıda düzenlenmiştir.



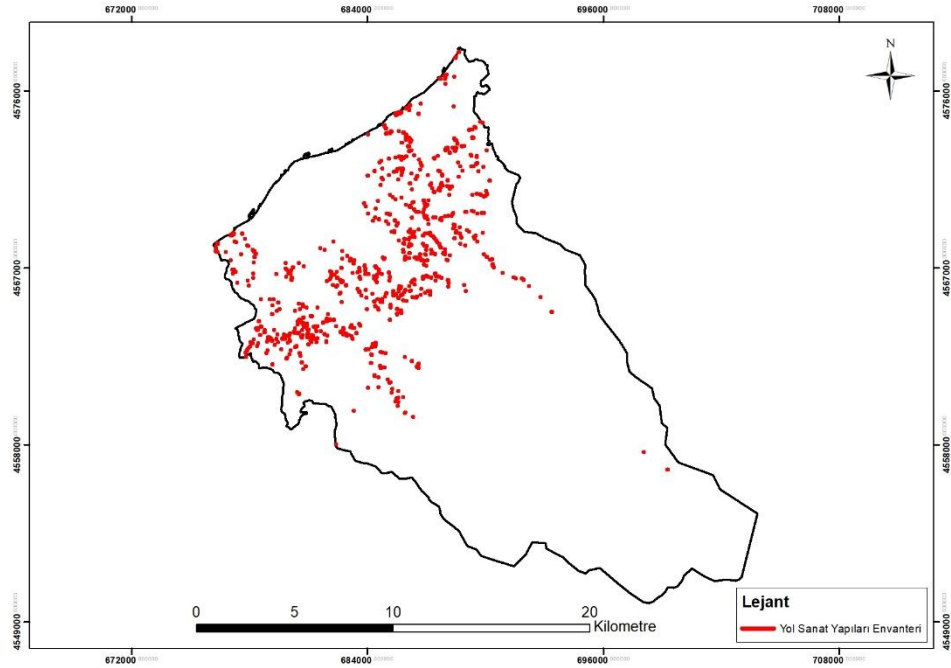
Şekil 3.19: Yol envanter verileri.

Tablo 3.2: Yol envanter verileri öznitelik tablosu.

GERCEKUZUNLUK	KAPLAMAGENİSLİĞİ	YOLKAPLAMATURU	Shape_Length
213.584745	3	STABİLİZE	213.584745
104.292809	4	BETON KAPLAMA	104.292809
118.646787	3	STABİLİZE	118.646787
56.256111	4	ASFALT KAPLAMA	56.256111
68.719823	4	ASFALT KAPLAMA	68.719823
55.226578	4	BETON KAPLAMA	55.226578
36.009761	4	ASFALT KAPLAMA	36.009761
70.539025	4	ASFALT KAPLAMA	70.539025
143.114831	3	BETON KAPLAMA	143.114831
153.774225	3	STABİLİZE	153.774225
337.216049	3	STABİLİZE	337.216049
316.192348	4	STABİLİZE	316.192348
289.821992	3	STABİLİZE	289.821992
365.110211	3	STABİLİZE	365.110211
24.128898	3	BETON KAPLAMA	24.128898
60.852841	4	BETON KAPLAMA	60.852841
117.868473	4	BETON KAPLAMA	117.868473
98.407306	3	STABİLİZE	98.407306
130.52904	4	STABİLİZE	130.52904
103.559369	3	BETON KAPLAMA	103.559369
192.764619	3	STABİLİZE	192.764619
69.268474	4	ASFALT KAPLAMA	69.268474

3.2.2.2. Yol Sanat Yapıları Envanter Verileri

Zarar görülebilirlik ve risk değerlendirmesi yapılacak olan yol sanat yapıları verileri Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir (Şekil 3.20). Bu veriler idare tarafından yürütülen arazi çalışmaları ile çizgi veri tipinde üretilmiştir. Veriler “YAPITURU” ve “HACİM” öznitelik bilgilerine sahiptir. Yapı türü öznitelik bilgisi “Büz, Köprü ve Menfez” olmak üzere 3 adet sınıftan oluşmaktadır (Tablo 3.3). Hacim öznitelik bilgileri verilerin ebatlarına ilişkin sayısal değerler içermektedir. Veriler uygun topolojik yapıda düzenlenmiştir.



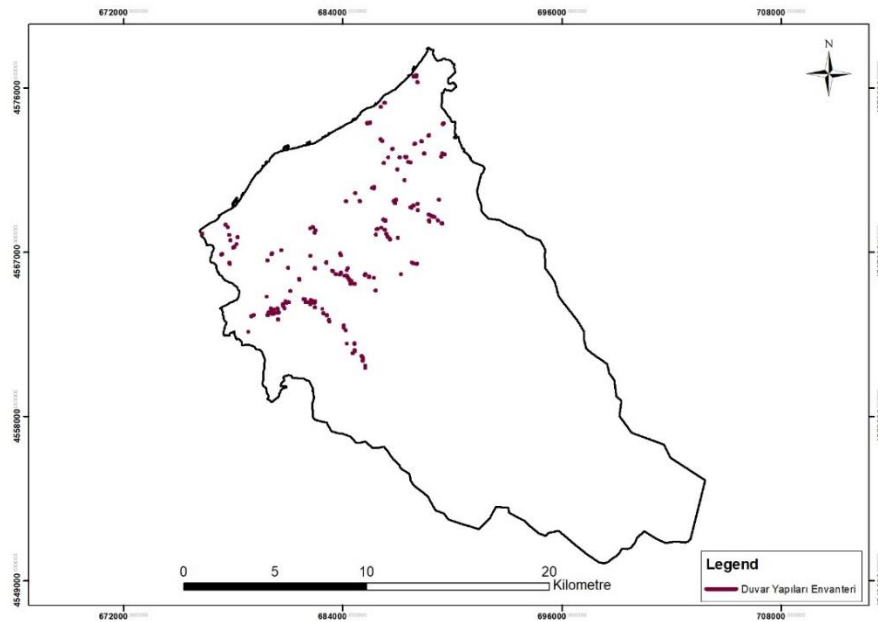
Şekil 3.20: Yol sanat yapıları envanter verileri.

Tablo 3.3: Yol sanat yapıları envanter verileri öznitelik tablosu.

YAPITURU	HACİM
BÜZ	4.422688
BÜZ	4.347637
BÜZ	4.038208
BÜZ	4.655424
BÜZ	4.011348
BÜZ	4.196408
BÜZ	3.099278
BÜZ	4.435388
BÜZ	4.083708
KÖPRÜ	331.735195
BÜZ	4.158957
BÜZ	4.000239
BÜZ	4.083131
BÜZ	4.898412
MENFEZ	37.744908

3.2.2.3. Duvar Yapıları Envanter Verileri

Zarar görülebilirlik ve risk değerlendirmesi yapılacak olan duvar yapı verileri Rize İl Özel İdaresinden temin edilmiştir (Şekil 3.21). Bu veriler idare tarafından yürütülen arazi çalışmaları ile çizgi veri tipinde üretilmiştir. Veriler “DUVARTIPI” ve “HACIM” öznitelik bilgilerine sahiptir. Duvar tipi öznitelik bilgisi “Taş Duvar ve Beton Duvar” olmak üzere 2 adet sınıftan oluşmaktadır (Tablo 3.4). Hacim öznitelik bilgileri verilerin ebatlarına ilişkin sayısal değerler içermektedir. Veriler uygun topolojik yapıda düzenlenmiştir.



Şekil 3.21: Duvar yapıları envanter verileri.

Tablo 3.4: Duvar yapıları envanter verileri öznitelik tablosu.

DUVARTIPI	HACIMLER
TAŞ DUVAR	206.611212
TAŞ DUVAR	99.407288
TAŞ DUVAR	112.940841
TAŞ DUVAR	201.713486
TAŞ DUVAR	51.075521
TAŞ DUVAR	41.846816
BETON DUV	75.117159
BETON DUV	33.262469
BETON DUV	126.484522
TAŞ DUVAR	42.66073
TAŞ DUVAR	82.997036
TAŞ DUVAR	28.006347
TAŞ DUVAR	38.228714
BETON DUV	42.407823

4. UYGULAMA

4.1. Heyelan Envanteri İle Heyelana Etki Eden Faktörler Arasındaki İlişki

Heyelanları tahmin edebilmek için heyelanın ilgili faktörler tarafından belirlendiğini ve gelecekteki heyelanların geçmiş heyelanların aynı koşulları altında oluşacağını varsaymak gereklidir [53]. Gelecekte gerçekleşebilecek heyelanlar geçmişte gerçekleşmiş heyelanlarla benzer koşullarda ortaya çıkabileceği için heyelanların her bir faktör ile ne şekilde ilgili olduğunun belirlenmesi gereklidir. Bu ilişki frekans oranı yöntemi ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Frekans oranı yöntemi, çalışma alanında heyelan konumları ve faktörleri arasında korelasyonu açığa çıkarmak için heyelanlar ve her bir heyelanla ilişkili her bir faktör arasındaki gözlenmiş olan ilişkilere dayalıdır [54]. Heyelan oluşumunda; heyelan oluşumuna “B” ve verilen faktörlere “D” denilir ise D’nin frekans oranı B’nin olasılık koşulu oranıdır. Bu yüzden olasılık ne kadar yüksekse heyelan olasılığı fazla, ne kadar azsa heyelan olasılığı azdır [48]. Frekans oranı hesaplanırken, parametre sınıfı içindeki heyelanlı pikseller (B) aynı parametre grubundaki piksel sayısına bölünüp (A) bu iki değer birbirine oranlanmaktadır ve sonuç olarak % B/A değerleri belirlenmektedir [55].

Jeoloji ile heyelanlar arasındaki ilişki: Heyelanlar ve litoloji arasındaki ilişkiye bakıldığında; dasit, andezit ve piroklastik ünitelerin bolca ayrışmaya uğradığı yerlerde heyelan en yüksek derecede bulunmaktadır. Andezit ve piroklastik üniteler tamamen ayrışmış ünitelerdir, bu alanlarda eğim derecesi de azdır. Buna karşın heyelan oluşum olasılığı granodiorit ve granit gibi ayrışmaya uğramamış ünitelerin bulunduğu yerlerde daha azdır. Alüvyonlarla kaplı alanlarda ise heyelan oluşumunun çok az olduğu görülmektedir. Çalışmada elde edilen bulgular, Akgün ve diğerleri (2007)’nin bölgenin bir kısmı ile ilgili yapmış olduğu çalışmaya benzerlik göstermektedir.

Arazi kullanımı ile heyelanlar arasındaki ilişki: Arazi kullanımı ile heyelanlar arasındaki ilişki değerlerine bakıldığında; heyelan oluşumu, yerleşim alanlarında, çay tarımının yapıldığı alanlarda, tarım yapılan alanlarda ve fındık tarımının yapıldığı alanlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Kayalık alanlarda, geniş ve iğne yapraklı ormanların yapraklı ormanların bulunduğu yerlerde hem yükseklik fazla, hem

yerleşim alanları ve tarım alanları için yeterince alan bulunmadığı için insan etkisi pek azdır. Bu yüzden buralarda heyelan görülme olasılığı çok daha azdır.

Yola uzaklık ile heyelan arasındaki ilişki: Yola yakın alanlarda yol yapım çalışmaları için yapılan faaliyetler sonucu yamaç stabilitesinin bozulması nedeniyle, heyelanlar yola yakın alanlarda daha fazla gerçekleşmektedir. Yollar evleri birbirine bağlamakta ve tarlalara ulaşmada aracılık göstermektedir [56]. Yola uzaklık 250 metre mesafeye kadar 50 metre aralıklarla 5 sınıf halinde gösterilmiştir. Şekil 4.1'e göre yola 0-50 metre yakınlıkta olan yerlerde heyelan frekans oranının fazla olduğu (1,72) görülmektedir. Bununla birlikte yola uzaklık arttıkça heyelan olasılığının azaldığı görülmektedir. Bu durum yol yapım çalışmalarının heyelan üzerindeki etkisini göstermektedir.

Akarsuya uzaklık ile heyelan arasındaki ilişki: Heyelan oluşumu ile akarsu arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla istatistiksel analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 500 metre öklit uzaklık analizi ile akarsuya uzaklık işlemi yapılmıştır. Akarsuya uzaklık haritası 50 metre aralıklarla 10 sınıf halinde yeniden sınıflandırılmıştır. Bu sınıflarla heyelan haritası karşılaştırılıp hangi sınıflarda heyelan olasılığının var olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; akarsudan uzaklaştıkça heyelan oluşum olasılığı 350 metreye kadar sürekli artmış daha sonra ise sürekli azalma göstermiştir. Bu durum beklenenin aksine gerçekleşmiştir. 200 ve 300 m civarında heyelan olasılığının artması çalışma alanında eğimli yüzeylerdeki yamaçlarda yapılan değişikliklerle alakalı olabilir [56]. İnsanların arazideki yapmış olduğu değişiklikler ve sosyo-ekonomik faaliyetlerin bu durumun ortaya çıkmasında etkili olduğu görülmektedir.

Eğim derecesi ile heyelan arasındaki ilişki: Eğim gradyanı heyelan duyarlılık haritalaması için temel topografik özelliktir [56]. Eğim dereceleri ile heyelan oluşumu arasındaki istatistiksel ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla sayısal yükseklik modelinden eğim haritası derece olarak oluşturulmuştur. Daha sonra eğim derecesi haritası 10 derece aralıklı olmak üzere 7 sınıf halinde sınıflandırılarak temsil edilmiştir. Oluşturulan sınıflandırılmış harita heyelan haritası ile karşılaştırılarak her bir eğim derecesi sınıfında ne kadar heyelanlı piksel var olduğu tespit edilmiştir. Toplam faktör sınıfındaki piksel sayısı ile oranlandığında frekans oranı ortaya çıkarılmıştır. Şekil 4.1'e göre eğim dereceleri ile heyelan oluşum arasındaki ilişkiye bakıldığında; eğimi az olan yerlerde heyelan oluşum olasılığının daha az olması beklenir. Ancak eğimi 10-20 derece olan alanlarda frekans oranının en fazla olduğu görülmektedir. 30 derecenin

üzerindeki alanlarda heyelan oluşum olasılığı daha azdır. Buna karşın eğimi 30 dereceye kadar olan alanlarda heyelan oluşum olasılığının fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.1). Bu durum, heyelana duyarlı olan fazla eğimli yamaçların tamamen ayrışmamış litolojik ünitelerle kaplı olmasından ve sağlam (granit- granodiyorit) litolojik yapıların bulunmasından kaynaklanmaktadır [56].

Bakı faktörü ile heyelan oluşumu arasındaki ilişki: Bakı faktörünün heyelan üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla sayısal yükseklik modelinden bakı haritası oluşturulmuştur. Bakı haritası heyelan envanteri ile karşılaştırıldığında heyelanların en çok güney, güneydoğu, doğu ve kuzeydoğuya bakan yamaçlarda gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.1). Bunun aksine batı, güney batı ve kuzeybatıya bakan yamaçlarda heyelan olasılığının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Yükseklik ile heyelan oluşumu arasındaki ilişki: Çalışma alanında yükseklik değerleri kıyıdağın itibaren içerilere doğru gidildikçe artmaktadır. Şekil 4.1'e göre yükseklik ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiye bakıldığında en çok heyelanların 0-500 metre arasındaki yüksekliklerde gerçekleştiği görülmektedir. Diğer yükseklik sınıflarında heyelan oluşum olasılığı azdır. Genellikle yükseklik arttıkça eğime de bağlı olarak heyelan oluşum olasılığının daha da artacağı düşünülebilir. Ancak arazide yükseklik arttıkça insanların yerleşme, tarım gibi ekonomik aktivitelerinin sınırlandığı görülmektedir. Genellikle yerleşmeler daha az yüksek olan alanlarda toplanmıştır. Bu durum arazinin engebeli olmasının bir sonucudur. Buna bağlı olarak antropojenik etki azaldıkça heyelan oluşum olasılığına yüksekliğe bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca yükseklik arttıkça daha sağlam kütleli litolojik birimlerin varlığı da artmaktadır. Daha az aşınmaya uğramış granit ve granodiyorit gibi sert kütleler üzerinde heyelan oluşum olasılığı da azalmıştır.

Heyelan duyarlılık ve tehlike haritasının üretilebilmesi için heyelana neden olabileceği düşünülen her bir kriterin normalleştirme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu aşamada; jeoloji, arazi kullanımı, yola uzaklık, akarsuya uzaklık, eğim, yükseklik, bakı gibi faktörlerin normalleştirilmesi için bulanık mantık teoremi kullanılmıştır. Bulanık setlerin aralıklarının belirlenmesi aşamasında heyelan envanter haritasından yararlanılmıştır. Heyelan envanter haritası ile her bir faktör haritası karşılaştırılıp faktör değerlerinin heyelan frekans değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.1). Bu değerlere ilaveten literatür bilgilerine başvurulmuştur. Bulanık setler ile yapılan normalleştirme işlemi sonucunda elde edilen haritalar hangi faktörün 0-255 aralığında

ne kadar heyelan riskine duyarlı olduğunu göstermektedir. 255'e yaklaştıkça yüksek duyarlılık, 0'a yaklaştıkça düşük duyarlılık değerleri ortaya çıkmaktadır.

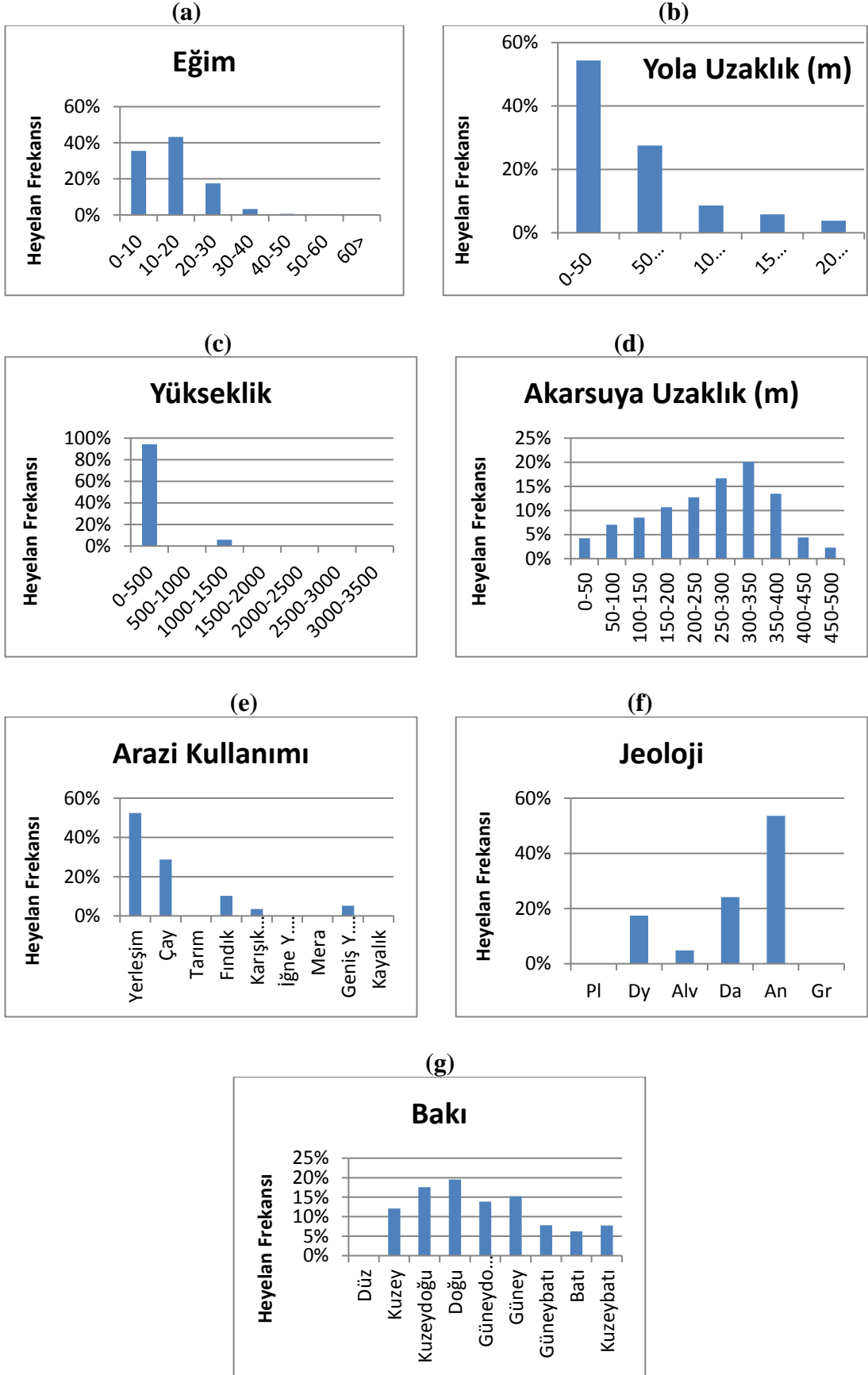
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi her bir faktörün heyelanla olan ilişkisinin tespit edilmesi için frekans tespiti yapılmıştır. Bu işlem yapılırken analiz sonuçlarının hassasiyetinin artırılması amacıyla literatür bilgilerine başvurulmuştur. Yapılan değerlendirmeler ile birlikte bulanık set teoremi 7 kriter için uygulanmıştır. Jeoloji katmanının sahip olduğu değişim değerleri için üyelik dereceleri ile fonksiyonlar arası ilişkiler tanımlanamadığı için kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. 6 litolojik katman için 0 ve 1 aralığında üyelik dereceleri belirlenmiştir.

Eğim ve yükseklik faktörlerinin normalleştirilmesi için azalan üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Yükseklik ve eğim faktörünün artan değer aralıklarında heyelan duyarlılığı üzerinde negatif etkiye sahip ve ters orantılı olduğu gözlenmektedir. Bu durum literatürdeki bulgularla çelişiyor gözükse de heyelan oluşumu üzerinde birçok faktör etkili olduğu için gerçekteşen heyelanlar üzerinde farklı etkenleri de göz önünde bulundurmak gereklidir.

Arazi kullanımı faktörü için üyelik dereceleri ile fonksiyonlar arası ilişkiler tanımlanamadığı için kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bakı faktörü için ise kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Akarsuya uzaklık faktörü sigmoidal üyelik fonksiyonu ile normalleştirilmiştir. Yola uzaklık faktörü 0-250m arasında monoton azalan üyelik fonksiyonu kullanılarak normalleştirilmiştir.

4.2. Heyelana Etki Eden Faktörlerin Bulanık Mantık Üyeliği

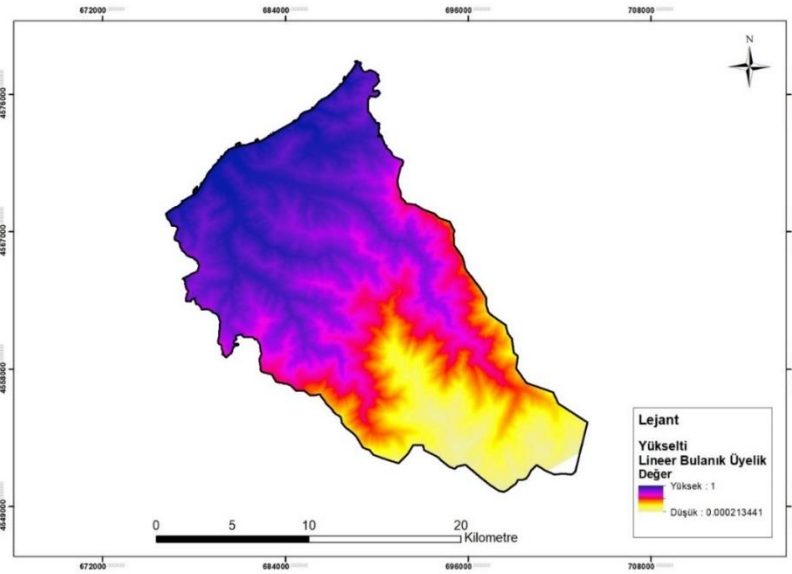
Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılacak olan yükseklik, eğim, yola uzaklık, bakı, jeoloji, akarsuya uzaklık ve arazi kullanımı verilerinin bulanık mantık üyelikleri belirlendi.



Şekil 4.1: Heyelan faktörleri [a) eğim, b) yola uzaklık, c) yükseklik, d) akarsuya uzaklık, e) arazi kullanımı, f) jeoloji, g) bakı] frekans yüzde değerleri.

4.2.1. Yükseklik Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği

Araştırma sahasında 0-500 m arasındaki alanlarda heyelan olasılığı yüksek (frekans oranı 2,68) ve yükseklik arttıkça heyelan olasılığının sürekli biçimde azaldığı görülmektedir (Şekil 3.20). Fuzzy linear fonksiyonu kullanıcı tarafından belirlenen minimum ve maksimum değerlere doğrusal bir fonksiyon uygular. Minimumdan küçük olan herhangi birşeye 0 değeri atanırken, maksimumun üzerindeki herhangi birşey 1 üyelik değerini alır [27]. Fuzzy linear üyeliği atamasında maksimum değer 0.77 metre olarak alınırken, minimum değer ise 3120 metre olarak alınmıştır. Bunun sonucunda 0 metreye yakın olan yüksekliklerin üyelik derecesi 1 olurken yükseklik arttıkça üyelik derecesi azalmıştır. Üyelik ataması sonucunda oluşan lineer üyelik yüzeyi Şekil 4.2'deki gibidir.



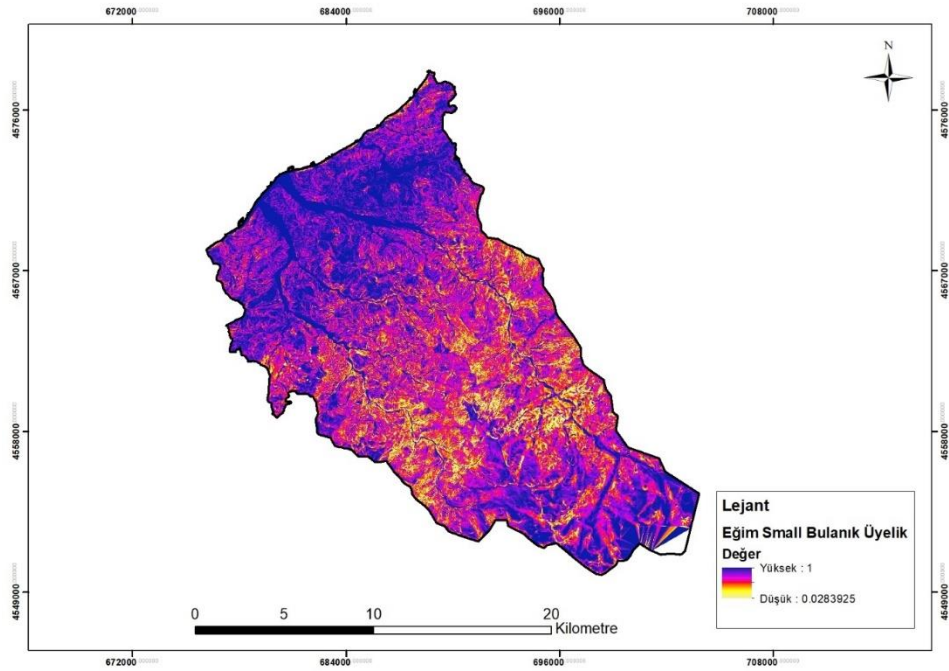
Şekil 4.2: Yükseklik fuzzy linear üyelik haritası.

4.2.2. Eğim Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği

Araştırma sahasında elde edilen bulgulara göre eğim grupları içerisinde en fazla heyelanın bulunduğu değerler 10-20 derece arası eğime sahip alanlardır. Eğim derecesi arttıkça belli bir eğim derecesine kadar (20 derece eğim) heyelan olasılığı yüksekken 20 derece eğimden sonra heyelan olasılığı sürekli azalma göstermiştir. Bu durum, eğim derecesi 20'ye yakın alanlarda en yüksek bulanık mantık üyeliği olması gerektiğini,

eğim derecesi 0'a düştükçe ve en yüksek eğim derecesine ulaştıkça bulanık mantık üyelik derecesinin azaldığını göstermektedir.

Fuzzy small üyelik fonksiyonu, eğer küçük girdi değerler daha fazla üyelik derecesine sahipse kullanışlıdır. Orta noktadan daha küçük değerler daha fazla üyelik derecesine sahip olurken, daha büyük değerler ise daha az üyelik derecesine sahip olmaktadır [31]. Üyelik ataması sonucunda oluşan fuzzy small mantık fonksiyonu yüzeyi Şekil 4.3'deki gibidir.



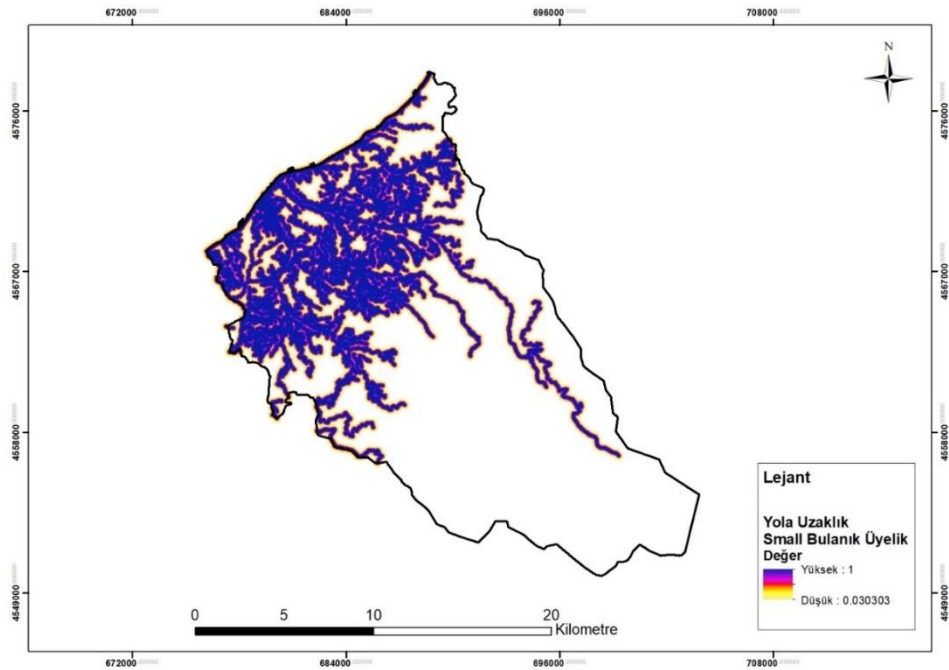
Şekil 4.3: Eğim fuzzy small üyelik haritası.

4.2.3. Yola Uzaklık Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeligi

Araştırma sahasında yola uzaklık faktörü ile heyelan arasındaki ilişki incelendiğinde, yola uzaklık arttıkça heyelan oluşma olasılığının monoton bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum eğim derecesi 0'a yakın olan alanlarda bulanık mantık üyelik derecesinin yüksek olduğunu, eğim derecesi yüksek olan alanlarda ise bulanık mantık üyelik derecesinin azaldığını göstermektedir. Fuzzy small üyelik fonksiyonu küçük değerler kümenin üyesi olmasında daha çok olasılık varsa kullanılmaktadır [31]. Small üyelik fonksiyonunda orta nokta (midpoint) gözlenen değer 0.5 değerini alır. Orta noktadan daha küçük olan değerler yüksek bulanık üyelik

değeri alır. Orta noktadan daha büyük olan değerler ise düşük bulanık üyelik değerleri alır. Orta nokta nötr bulanık üyeliği ve aynı zamanda belirsiz bulanık üyeliği temsil eder [53].

Çalışma alanında yola uzaklık değerlerini bulabilmek için ArcGIS spatial analyst-distance-euclidean distance aracı kullanılarak yola uzaklık haritası oluşturulmuştur. Maksimum uzaklık 250 metre olarak belirlenmiştir. Elde edilen yola uzaklık haritasının bulanık değer üyelik fonksiyonu, yola uzaklık değerleri ile heyelan arasındaki ilişkiye bakılarak Small üyelik fonksiyonu atanmıştır. Orta nokta olarak 100 metre belirlenmiştir. Yola 100 metreden daha yakın olan alanlar yüksek bulanık üyelik fonksiyon değeri alırken 100 metreden daha uzak olan alanlar düşük bulanık üyelik fonksiyon değeri almıştır. Üyelik ataması sonucunda oluşan small yüzeyi Şekil 4.4'daki gibidir.



Şekil 4.4: Yola uzaklık fuzzy small üyelik haritası.

4.2.4. Bakı Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği

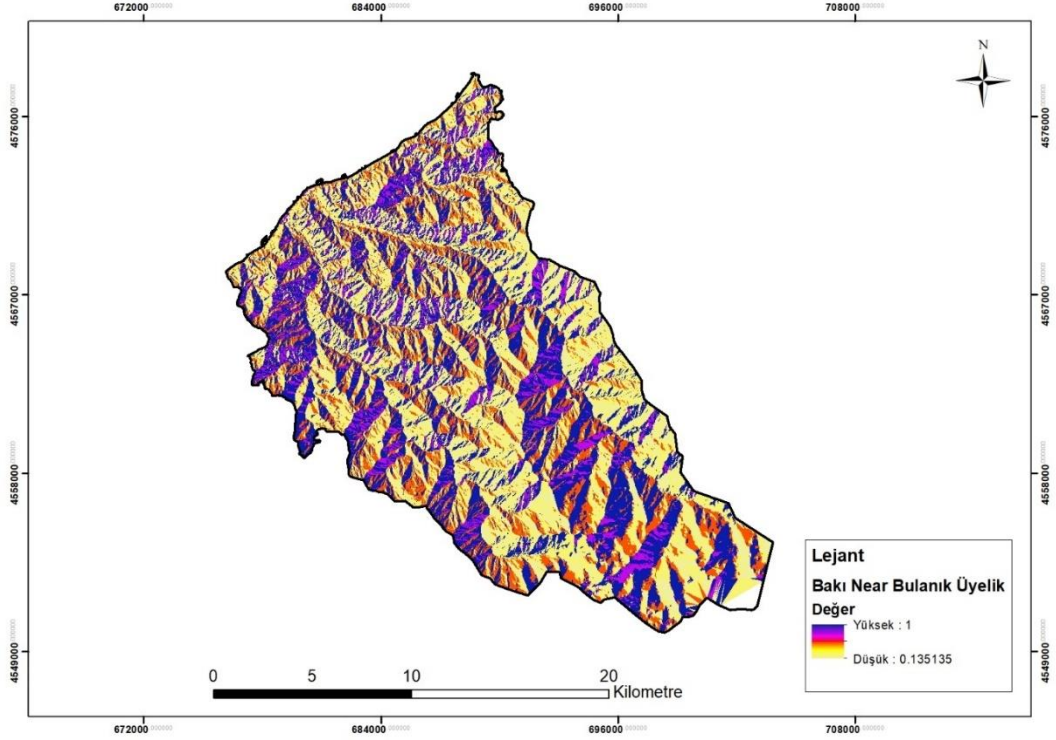
Çalışma alanında güney, güneydoğu, doğu ve kuzeydoğuya (frekans oranları sırasıyla: 1.29, 1.17, 1.65, 1.49) bakan yamaçlarda heyelanların olma olasılığının daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Bunun aksine batı, güney batı ve kuzeybatıya

bakan yamaçlarda heyelan olasılığının daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Bakı katmanının sahip olduğu değişim değerleri için üyelik dereceleri ile fonksiyonlar arası ilişkiler tanımlanamadığı için kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu amaçla önce bakı sınıfları heyelan frekans oranlarına bağlı olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden sınıflandırma sonucu elde edilen bakı sınıfları sınıflandırma değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Bakı sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri.

Bakı sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri			
Bakı Faktörü Sınıfları Sıra Numarası	Faktör Sınıfları	Frekans Oranı	Yeniden sınıflandırma değerleri
1	Düz	0,00	1
2	Kuzey	1.02	6
3	Kuzeydoğu	1.49	9
4	Doğu	1.65	9
5	Güneydoğu	1.17	7
6	Güney	1.29	8
7	Güneybatı	0.66	4
8	Batı	0.53	3
9	Kuzeybatı	0.65	4

Bakı sınıflarının yeniden sınıflandırma değerlerine göre en fazla değer alan doğu ve kuzeydoğu cephesi en fazla üyelik fonksiyonuna sahip olacakken sınıflandırma değeri azaldıkça üyelik derecesi de düşecektir. Bakı sınıflarının bulanık mantık üyelik fonksiyonu kazanabilmesi için “Near” yönteminin daha uygun olacağı düşünülmüştür ve böylece kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Üyelik ataması sonucunda oluşan “Near” yüzeyi Şekil 4.5’deki gibidir



Şekil 4.5: Bakı fuzzy near üyelik haritası.

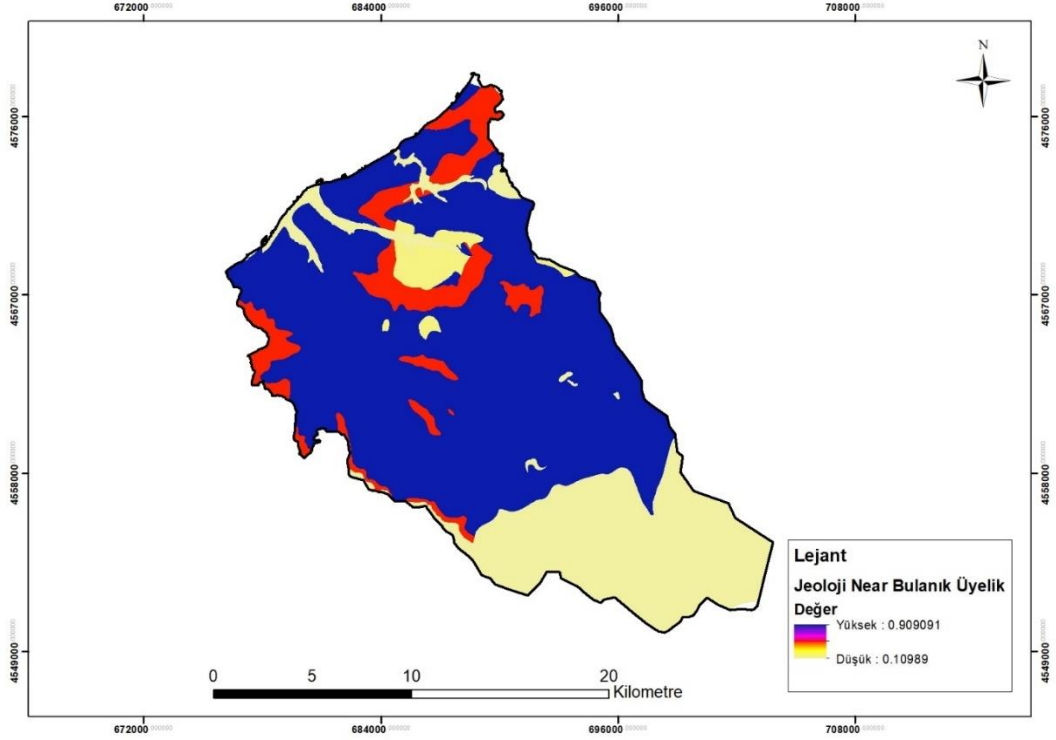
4.2.5. Jeoloji Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği

Çalışma alanında andezit ve dasit piroklastlarının yaygın olarak görüldüğü alanlarda heyelan frekansının çok fazla olduğu (frekans oranları sırasıyla: 1,47 ve 0,66) yapılan istatistiksel analizle belirlenmiştir (Şekil 4.1). Buna karşılık alüvyon, granit, granodiyorit gibi jeoloji katmanlarında heyelan olasılığının daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Jeoloji katmanının sahip olduğu değişim değerleri için üyelik dereceleri ile fonksiyonlar arası ilişkiler tanımlanamadığı için kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu amaçla önce jeoloji sınıfları heyelan frekans oranlarına bağlı olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden sınıflandırma sonucu elde edilen jeoloji sınıfları sınıflandırma değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Jeoloji sınıfları heyelan frekans oranlarına göre yeniden sınıflandırma değerleri.

Jeoloji sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri			
Jeoloji Faktörü Sınıfları Sıra Numarası	Faktör Sınıfları	Frekans Oranı	Yeniden sınıflandırma değerleri
1	Pl	0,00	1
2	Dy	0,48	4
3	Alv	0,13	3
4	Da	0,66	7
5	An	1,47	9
6	Gr	0,00	1

Jeoloji sınıflarının yeniden sınıflandırma değerlerine göre en fazla değer alan andezit ve piroklastları en fazla üyelik fonksiyonuna sahip olurken, sınıflandırma değeri azaldıkça üyelik derecesi de düşecektir. Jeoloji sınıflarının bulanık mantık üyelik fonksiyonu kazanabilmesi için “Near” yönteminin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Çünkü Fuzzy Near Transformasyon Üyelik fonksiyonu, eğer üyelik özel bir değere sahipse kullanışlıdır. Fonksiyon belirli bir üyelik olarak ortaya koyarak kümenin merkezini orta nokta olarak belirlemektedir. Pozitif ve negatif yönde gittikçe üyelik azalarak 0’a düşer [30]. Böylece kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Üyelik ataması sonucunda oluşan “Near” yüzeyi Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6: Jeoloji fuzzy near üyelik haritası.

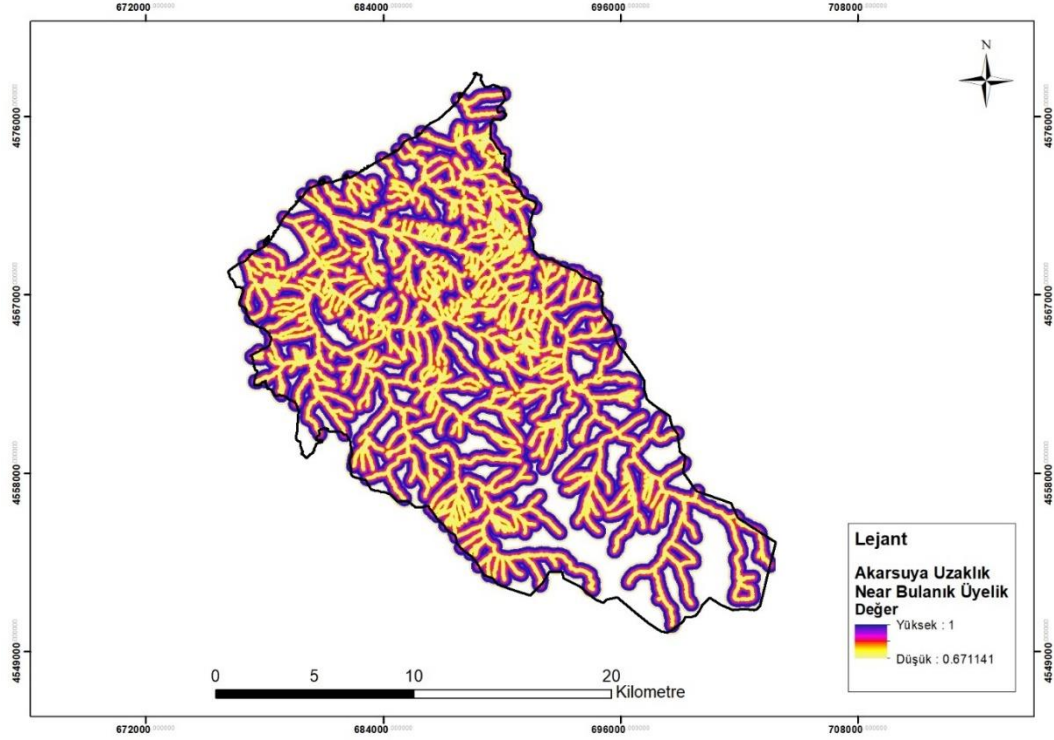
4.2.6. Akarsuya Uzaklık Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeligi

Çalışma alanında 300-350 metre akarsuya uzak alanlarda en fazla olmak üzere; 200-250, 250-300, 300-350, 350-400 metre akarsuya uzakta bulunan alanlarda heyelan frekansının çok fazla olduğu (frekans oranları sırasıyla: 1,37, 1,80, 2,16,1,45) yapılan istatistiksel analizle belirlenmiştir (Buna karşılık 250-500 metre arası alanlarda uzaklık arttıkça heyelan frekansının azaldığı belirlenmiştir. Akarsuya uzaklık sınıflarının bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını oluşturabilmek için akarsuya uzaklık sınıfları heyelan frekans oranlarına bağlı olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden sınıflandırma sonucu elde edilen akarsuya sınıfları sınıflandırma değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Akarsuya uzaklık sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri.

Akarsuya Uzaklık sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri			
Akarsuya Uzaklık Faktörü Sınıfları Sıra Numarası	Faktör Sınıfları	Frekans Oranı	Yeniden sınıflandırma değerleri
1	0-50	0.46	3
2	50-100	0.76	4
3	100-150	0.92	5
4	150-200	1.15	6
5	200-250	1.37	7
6	250-300	1.80	8
7	300-350	2.16	9
8	350-400	1.45	7
9	400-450	0.48	3
10	450-500	0.25	2

Akarsuya uzaklık sınıflarının yeniden sınıflandırma değerlerine göre en fazla değer alan 300-350 metre en fazla üyelik fonksiyonuna sahip olacakken sınıflandırma değeri azaldıkça üyelik derecesi de düşecektir. Akarsuya uzaklık sınıflarının bulanık mantık üyelik fonksiyonu kazanabilmesi için “Near” yönteminin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Böylece kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Üyelik ataması sonucunda oluşan “Near” yüzeyi Şekil 4.7’deki gibidir.



Şekil 4.7: Akarsuya uzaklık fuzzy near üyelik haritası.

4.2.7. Arazi Kullanımı Sınıfları Bünyesinde Heyelan Dağılımı Ve Bulanık Mantık Üyeliği

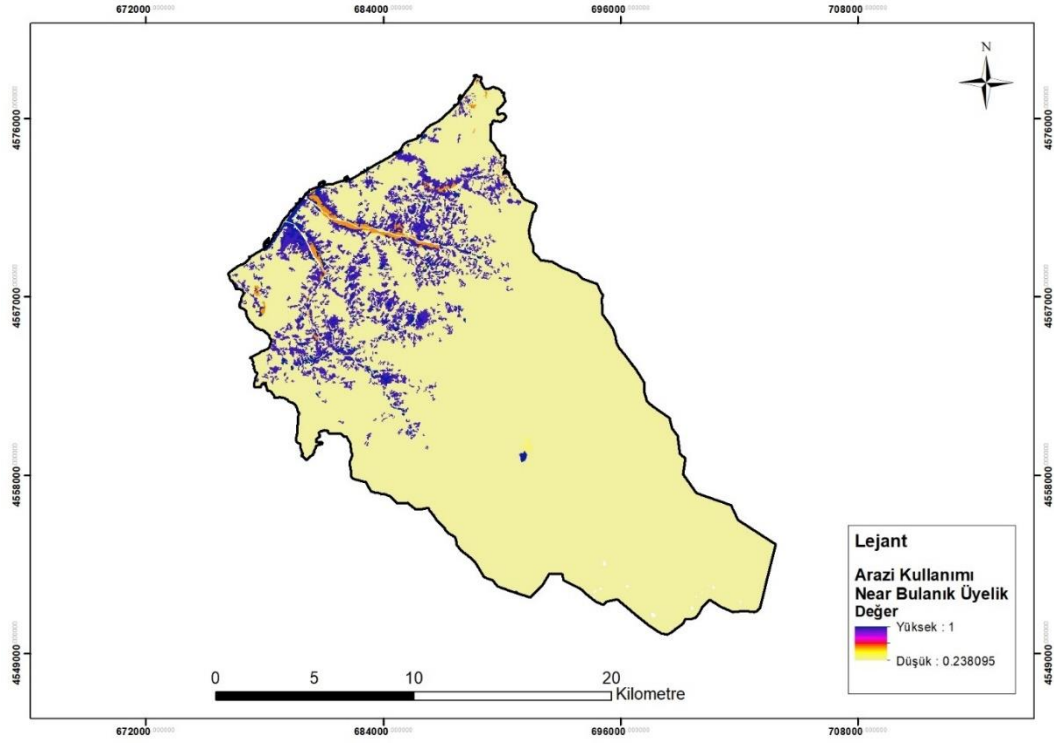
Çalışma alanında yerleşim, çay, fındık alanlarında heyelan frekansının çok fazla olduğu (frekans oranları: 9.01, 4.95, 1.76) yapılan istatistiksel analizle belirlenmiştir. Buna karşılık karışık ormanların ve geniş yapraklı ormanların bulunduğu alanlarda heyelan olasılığının daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Kayalıkların, meraların, tarım alanlarının ve iğne yapraklı alanların heyelanlar üzerinde etkisi bulunmadığı anlaşılmaktadır. Arazi kullanım sınıflarının sahip olduğu değişim değerleri için üyelik dereceleri ile fonksiyonlar arası ilişkiler tanımlanamadığı için kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu amaçla önce arazi kullanım sınıfları heyelan frekans oranlarına bağlı olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden sınıflandırma sonucu elde edilen arazi kullanım sınıfları sınıflandırma değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Arazi kullanım sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri.

Arazi Kullanım sınıfları yeniden sınıflandırma değerleri			
Arazi Kullanım Sınıfları Sıra Numarası	Faktör Sınıfları	Frekans Oranı	Yeniden sınıflandırma değerleri
1	Yerleşim	9.01	9
2	Çay	4.95	8
3	Tarım	0.00	1
4	Fındık	1.76	5
5	Karışık Orman	0.59	2
6	İğne Y. Orman	0.00	1
7	Mera	0.00	1
8	Geniş Y. Orman	0.88	3
9	Kayalık	0.00	1

Arazi kullanım sınıflarının yeniden sınıflandırma değerlerine göre en fazla değer alanları; yerleşim, çay, geniş yapraklı orman ve fındık alanları en fazla üyelik fonksiyonuna sahip olacakken sınıflandırma değeri azaldıkça üyelik derecesi de düşecektir. Arazi kullanımı sınıflarının bulanık mantık üyelik fonksiyonu kazanabilmesi için “Near” yönteminin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Böylece

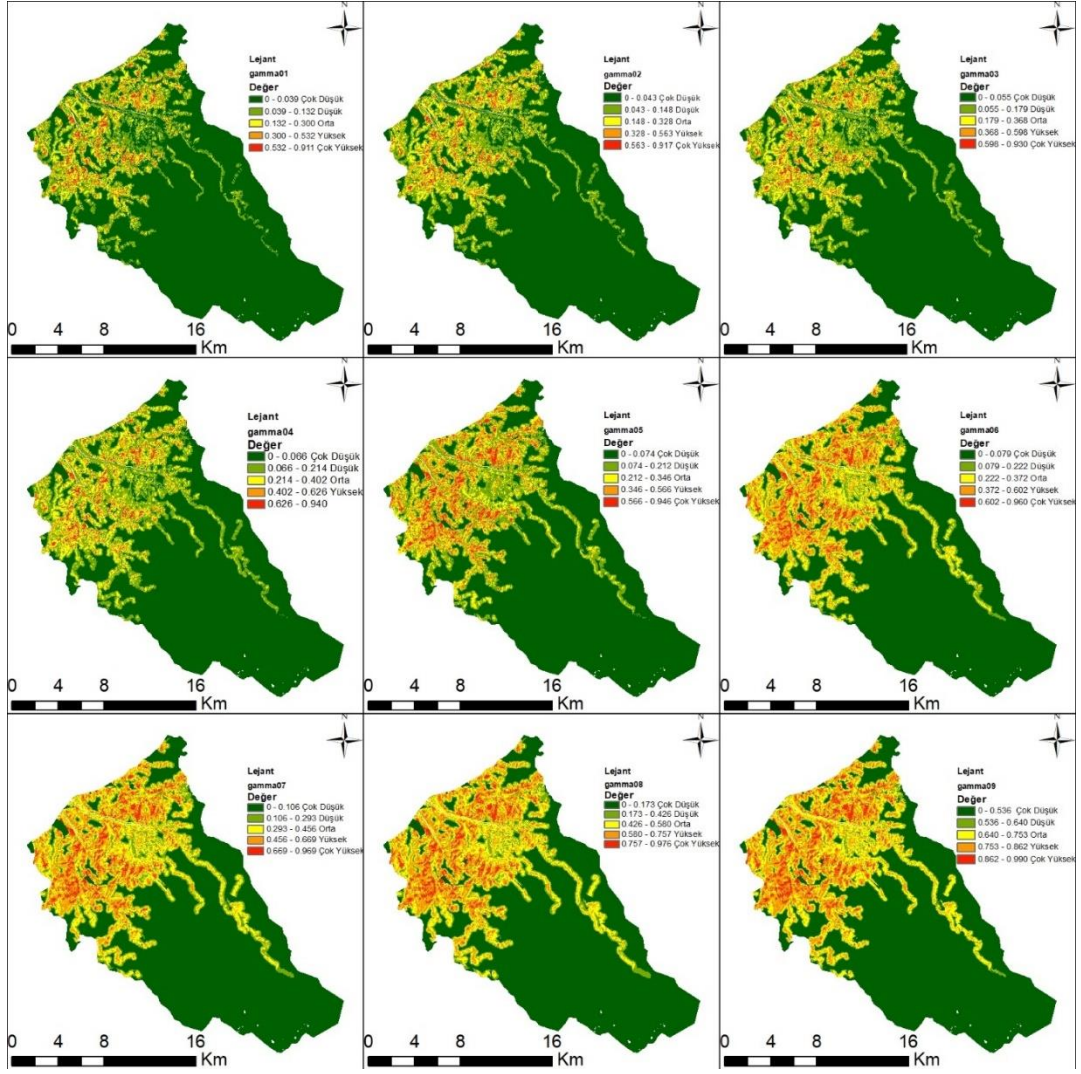
kullanıcı odaklı üyelik fonksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Üyelik ataması sonucunda oluşan “Near” yüzeyi Şekil 4.8’deki gibidir.



Şekil 4.8: Arazi kullanımı fuzzy near üyelik haritası.

4.3. Heyelan Tehlike Haritasının Belirlenmesi İçin Bulanık Bindirme İşlemi

Bulanık tehlike faktörü üyelikleri “ArcGIS 10.3” yazılımının “Spatial Analyst” eklentisi bünyesinde bulunan “Bulanık Bindirme (Fuzzy Overlay)” kullanılarak durulaştırılmıştır. Durulaştırma işleminde PRODUCT ve SUM durulaştırma yöntemlerinin bir ürünü olan GAMMA bindirme analizi kullanılmıştır. Bulanık mantık temelli olarak oluşturulan CBS tabanlı çalışma alanına ait heyelan tehlike uygunluk haritaları GAMMA için 0 ve 1 arasında farklı değerler kullanılarak test edilmiş ve geliştirilmiştir (Şekil 4.9).



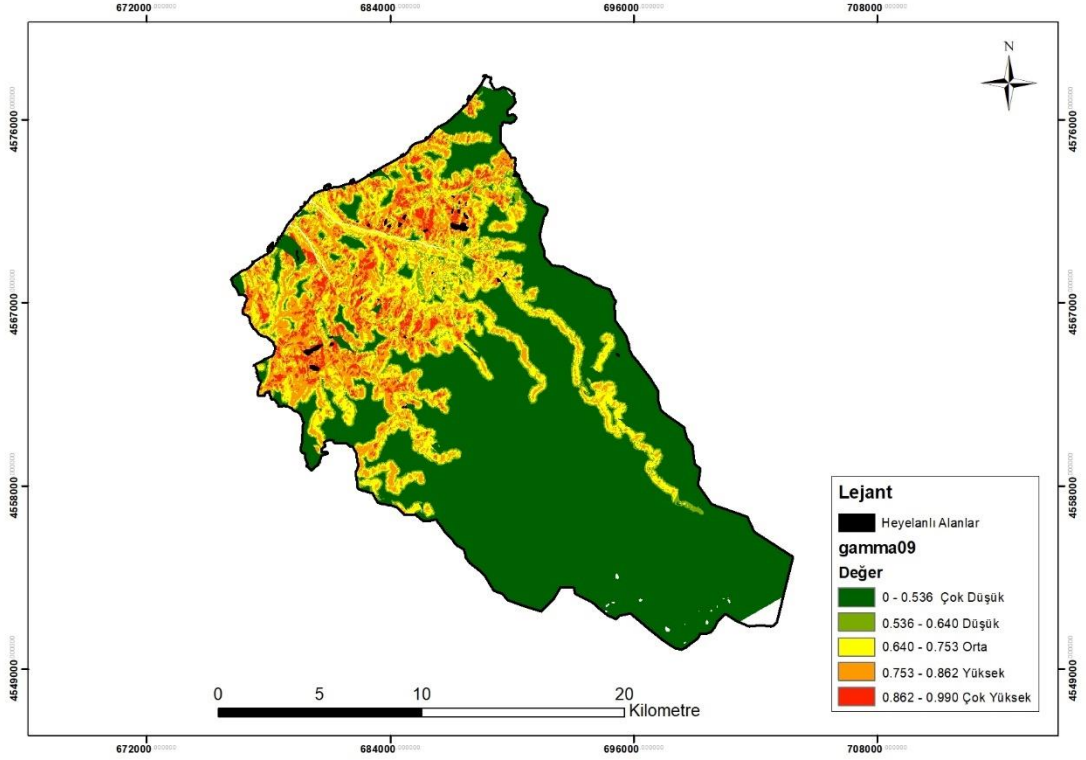
Şekil 4.9: Farklı gamma değerlerine göre oluşturulan heyelan tehlike haritaları.

GAMMA değerinin artırılması tehlike indeksinin dağılımını değiştirmektedir. GAMMA değeri 0,9'a yaklaştıkça tehlike değeri artar, düşük değerlerin frekansı azalır ve standart sapma artar [55]. Farklı GAMMA değerlerine ait standart sapma, minimum, maksimum ve ortalama değerleri aşağıdaki Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Farklı gamma istatistiksel değerleri.

GAMMA değerleri	Min	Max	Ortalama	Standart sapma
0.1	0	0.91	0.05	0.11
0.2	0	0.92	0.06	0.12
0.3	0	0.93	0.07	0.14
0.4	0	0.94	0.09	0.15
0.5	0	0.95	0.11	0.17
0.6	0	0.96	0.14	0.2
0.7	0	0.97	0.18	0.24
0.8	0	0.98	0.23	0.29
0.9	0	0.99	0.31	0.37

Sonuçta GAMMA 0.9 test değeri en uygun tehlike haritası olarak değerlendirilmiştir (şekil 4.10). Yüksek GAMMA değerleri yüksek tehlike uygunluk haritasında sonuçlanmıştır.



Şekil 4.10: Gamma 0.9 değerine göre oluşturulan heyelan tehlike haritası.

Bulanık mantık ile oluşturulan heyelan tehlike analizi sonuçlarının doğruluğunun test edilmesi için heyelan tehlike haritası Natural Breaks (Jenks) sınıflama metodu ile 5 sınıf halinde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar sırası ile; 0 - 0,536 bulanık değerleri sahip çok düşük tehlike sınıfı, 0,536 - 0,640 arası bulanık değerlerine sahip düşük tehlike sınıfı, 0,640 - 0,753 arası bulanık bindirme değerlerine sahip orta tehlike sınıfı ve 0,753 – 0,862 arası bulanık bindirme değerlerine sahip yüksek tehlike sınıfı ve 0,862-0,990 arası çok yüksek tehlike sınıfıdır. Bu tehlike sınıfları ile heyelan envanteri karşılaştırılmıştır. Sonuçta çok düşük ve düşük heyelan tehlike sınıflarına ait alanda heyelanlı piksel sayısı yüzdesi sırasıyla yüzde 7 ve yüzde 2, orta heyelan tehlike sınıfına ait alandaki heyelanlı piksel sayısı yüzdesinin yüzde 11 olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ve çok yüksek heyelan tehlike değerlerine ait alanda ise heyelanlı piksel sayısının yüzdesi toplamının % 81 oranında olduğu belirlenmiştir.

4.4. Bulanık Mantık Yöntemi İle Duvar, Yol ve Yol Sanat Yapıları Zarar Görebilirlik Değerlendirmesi

Heyelan zarar görebilirlik unsurları olarak Fındıklı ilçesi köy yerleşkeleri içerisinde yer alan duvar, yol ve yol sanat yapıları ele alınmış ve fiziksel zarar görebilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Rize İl Özel İdaresi'nden temin edilen veriler bu çalışmada kullanılmıştır.

4.4.1. Yol Envanteri Verileri Zarar Görebilirlik Analizi

Çalışmada Fındıklı ilçesinde köy yerleşkesi sınırları içerisinde yer alan toplam 654932 metre (Tablo 4.6) yol ağı envanterinin, yol kaplama türleri ve hacimsel boyut nitelikleri temel alınarak bütünsel fiziksel zarar görebilirlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.6: Çalışma alanında bulunan yol ağı envanterinin kaplama türüne göre sınıflandırılması.

Kaplama Türü	Yol ağı(metre)
Beton Kaplama	136681
Asfalt Kaplama	32093
Stabilize	463408
Tesviye	22750

4.4.1.1. Yol Envanteri Verileri Kaplama Türü Zarar Görebilirlik analizi

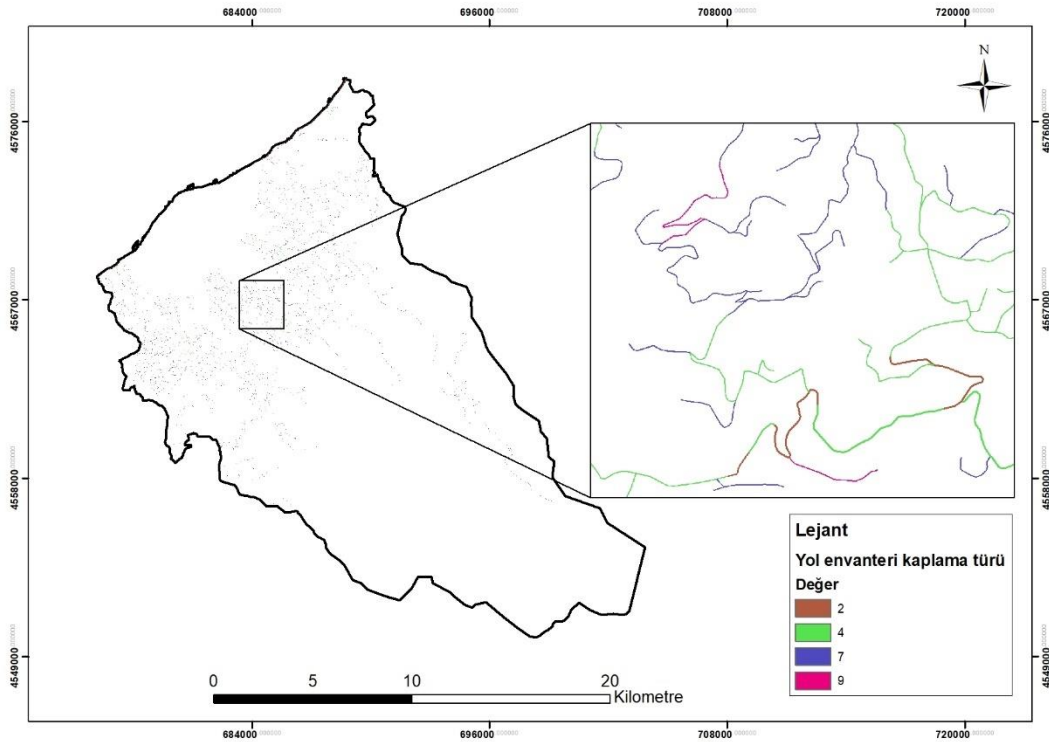
Uzman görüşü alınarak yapılan çalışmalar neticesinde, yol kaplama türlerine göre zarar görebilirlik değerleri (en yüksek 9 ve en düşük 2) belirlenmiştir. Buna göre asfalt kaplama türüne sahip yollar yüksek standart barındırmaları sebebiyle en dayanıklı sınıf olarak belirlenmiş ve zarar görebilirlik değeri 2 verilmiştir, tesviye

kaplama türüne sahip yollar en düşük standartlar barındırmaları sebebiyle en dayanıksız sınır olarak belirlenmiş ve zarar görebilirlik değeri 9 vermiştir (Tablo 4.7).

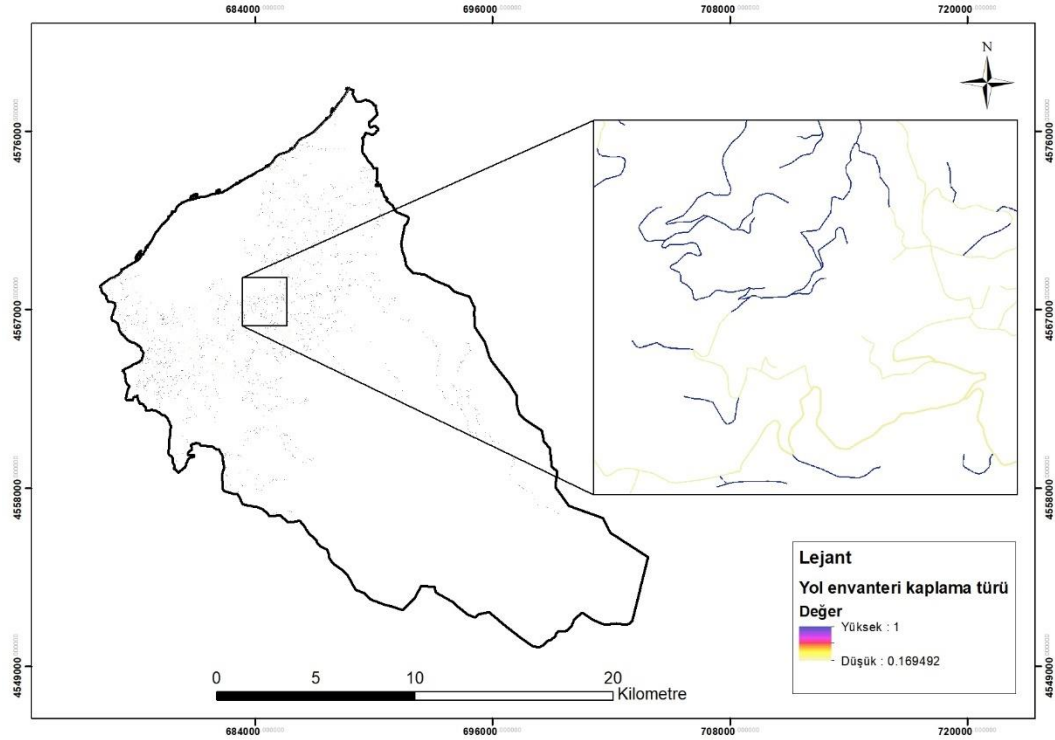
Tablo 4.7: Yol Envanteri heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.

Yapısal Tip	Dayanıklılık	Zarar görebilirlik(1-9)
Asfalt Kaplama	Çok Yüksek	2
Beton Kaplama	Yüksek	4
Stabilize	Düşük	7
Tesviye	Çok Düşük	9

Belirlenen zarar görebilirlik değerleri dikkate alınarak yol envanter verilerine uygulanmış ve fuzzy near üyelik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.11 - Şekil 4.12).



Şekil 4.11: Yol envanteri kaplama türü zarar görebilirlik değerleri haritası.



Şekil 4.12: Yol envanteri kaplama türü fuzzy near üyelik haritası.

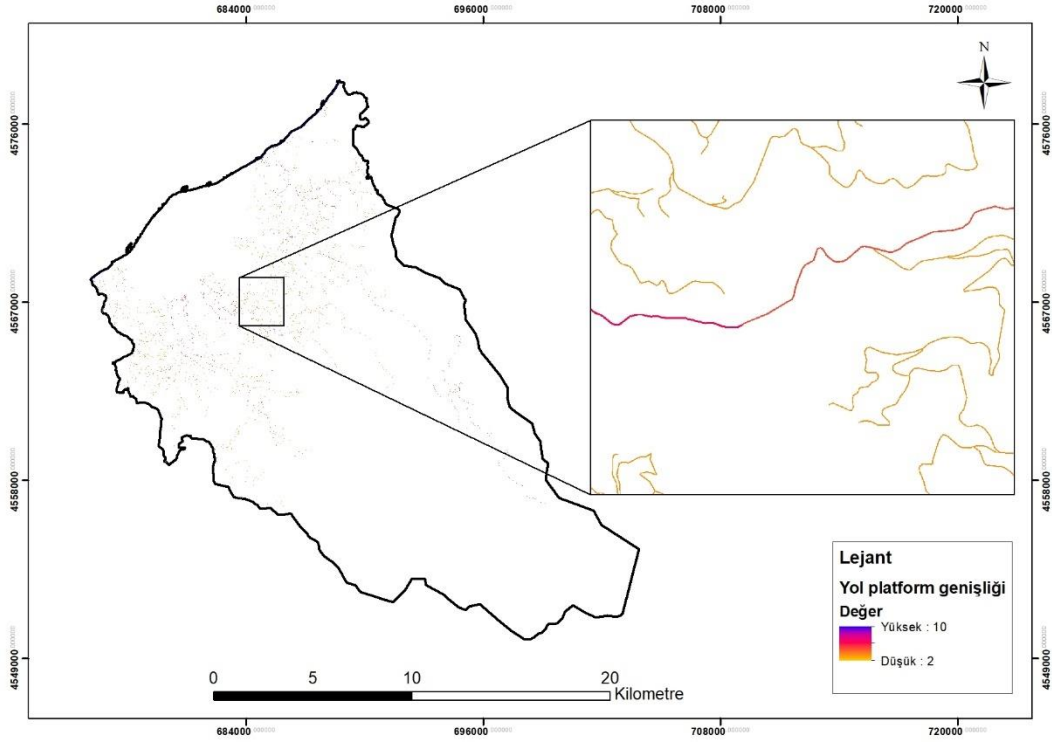
4.4.1.2. Yol Envanteri Verileri Hacimsel Boyut Zarar Görebilirlik Analizi

Uzman görüşü alınarak yapılan çalışmalar neticesinde, yol envanter verilerinin hacimsel boyut niteliklerinin belirlenmesinde yol kaplama kalınlıklarının sabit tutulduğu ve hacimsel boyut sınıflandırılmasında yol platform (kaplama) genişliği bilgilerinin hacimsel boyut belirlemede belirleyici rol oynadığı ve yol platform genişliği ile hacimsel boyutun ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.8)

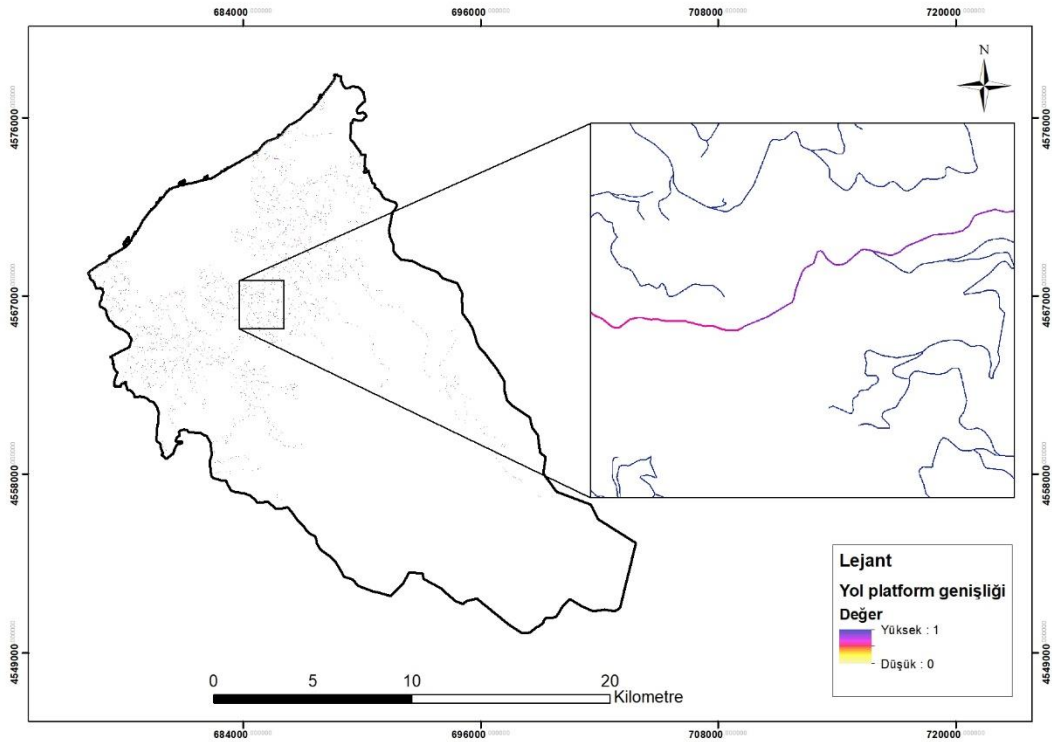
Tablo 4.8: Yol envanteri heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.

Yol Hacimsel (platform genişliği)	Dayanıklılık	Zarar görebilirlik
Platform Genişliği	Linear	Min: 10 Max: 2

Yol envanteri verileri ile hacim boyut karşılaştırmaları için platform genişliği haritası üretilmiş ve fuzzy linear üyelik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.13 - Şekil 4.14).



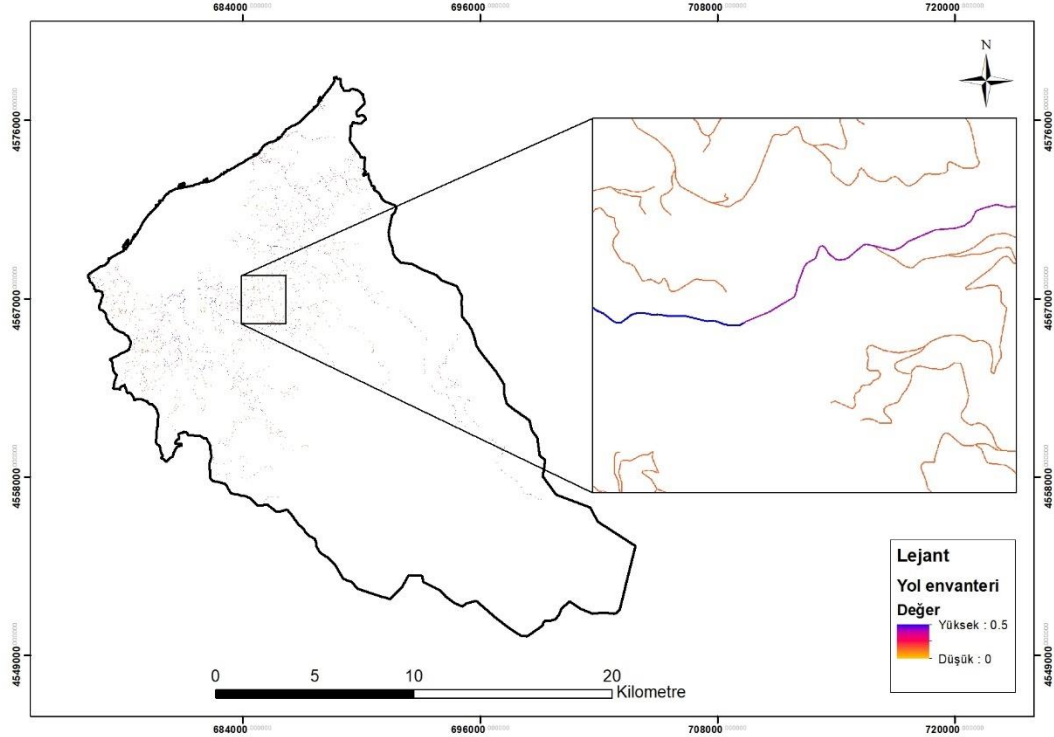
Şekil 4.13: Yol envanteri platform genişliği haritası.



Şekil 4.14: Yol platform genişliği fuzzy linear üyelik haritası.

4.4.1.3.Yol Envanteri Verileri Hacimsel Boyut Ve Yol Kaplama Türü Bütünleşik Zarar Görebilirlik Analizi

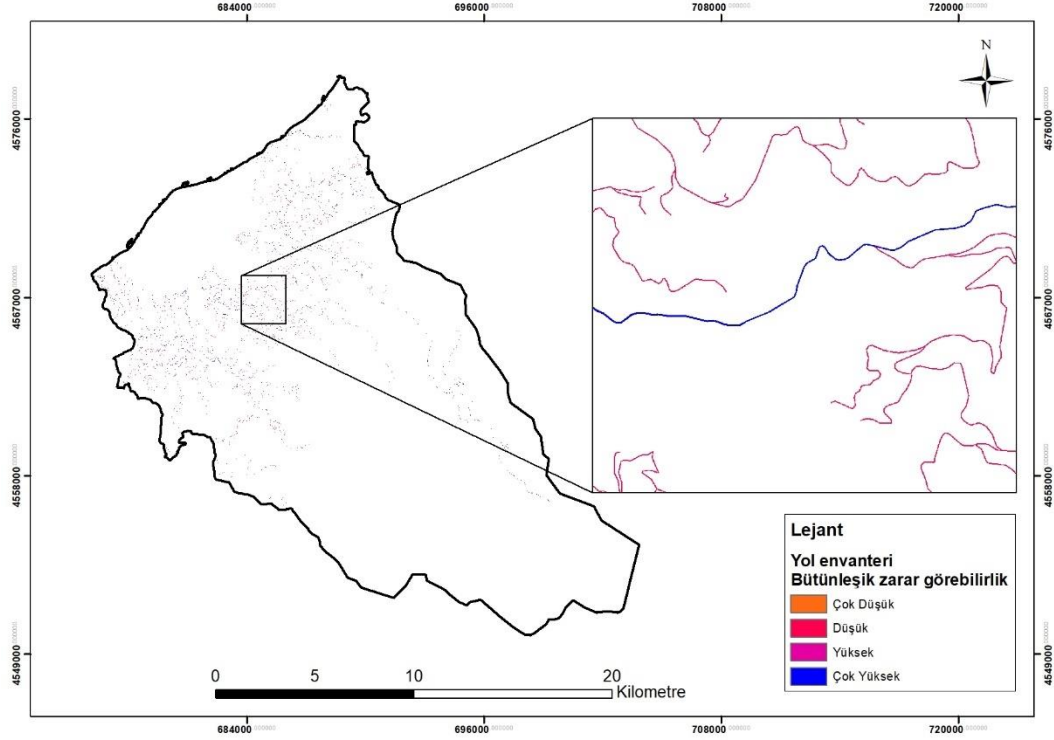
Yol envanteri verilerinin hacimsel boyutları ve yol kaplama türleri, bulanık üyelik haritaları dikkate alınarak, AND bulanık bindirme yöntemi kullanılarak bütünleşik zarar görebilirlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.15 - Şekil 4.16).



Şekil 4.15: Yol envanteri bütünleşik zarar görebilirlik haritası.

Tablo 4.9: Yol envanteri zarar görebilirlik analizi yüzdeler dağılımları.

Yol envanteri	Bütünleşik zarar görebilirlik Zarar Görebilirlik (%)
Çok Düşük	1.4
Düşük	70.9
Yüksek	5.8
Çok Yüksek	21.9



Şekil 4.16: Yol envanteri bütünleşik zarar görebilirlik haritası – 2.

Çalışma alanında Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan yol envanteri verilerine ilişkin yapılan bütünleşik zarar görebilirlik analizi çalışmaları sonucunda, yol envanter verilerinin %1,4'lük kısmının çok düşük zarar görebilirlik sınıfında bulunduğu, %21.9'lük kısmının ise çok yüksek zarar görebilirlik sınıfında bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut yol envanterlerinin ise büyük çoğunluğu (%70,9) düşük zarar görebilirlik sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.9).

4.4.2. Yol Sanat Yapıları Verileri Zarar Görebilirlik Analizi

Çalışmada Fındıklı ilçesinde köy yerleşkesi sınırları içerisinde yer alan 759 adet (Tablo 4.10) yol sanat yapısı envanterinin, yol sanat yapı türü ve hacimsel boyut nitelikleri temel alınarak bütünleşik fiziksel zarar görebilirlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.10: Yol ağı envanterinin kaplama türüne göre sınıflandırılması.

Sanat Yapısı Türü	Adet
Büz	534
Menfez	153
Köprü	72

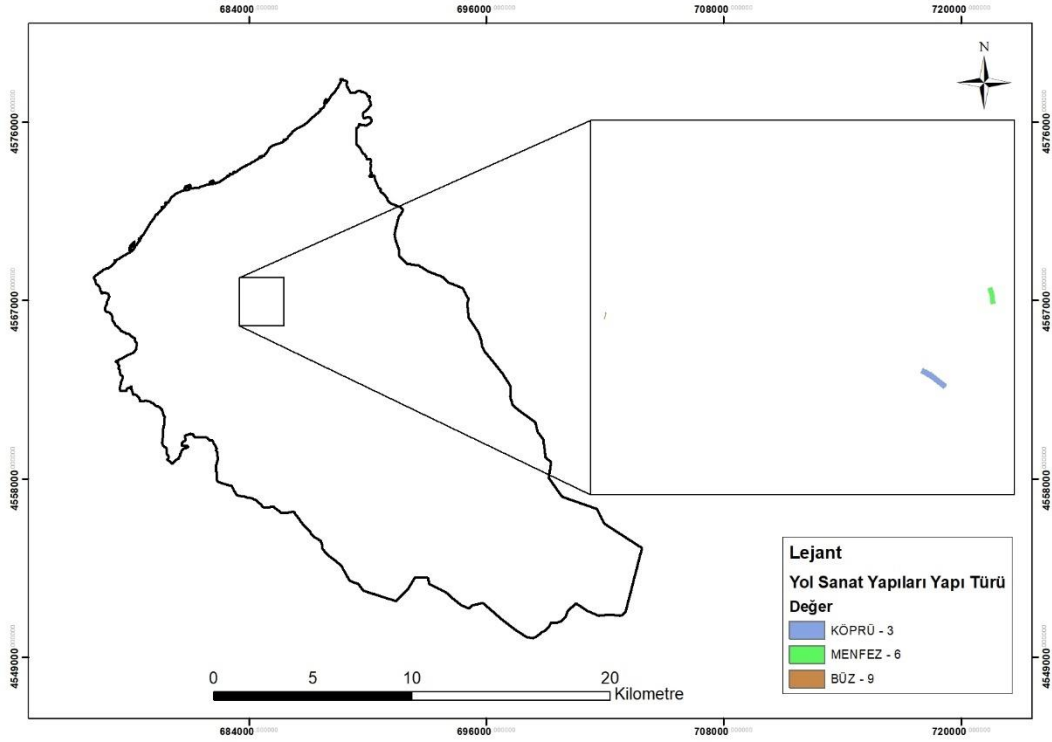
4.4.2.1. Yol Sanat Yapıları Verileri Sanat Yapısı Türü Zarar Görebilirlik Analizi

Uzman görüşü alınarak yapılan çalışmalar neticesinde, yol sanat yapıları türlerine göre zarar görebilirlik değerleri (en yüksek 9 ve en düşük 3) belirlenmiştir. Buna göre köprü türüne sahip sanat yapıları yüksek standart barındırmaları sebebiyle en dayanıklı sınıf olarak belirlenmiş ve zarar görebilirlik değeri 3 verilmiştir, büz türüne sahip sanat yapıları en düşük standartlar barındırmaları sebebiyle en dayanıksız sınıf olarak belirlenmiş ve zarar görebilirlik değeri 9 verilmiştir (Tablo 4.11).

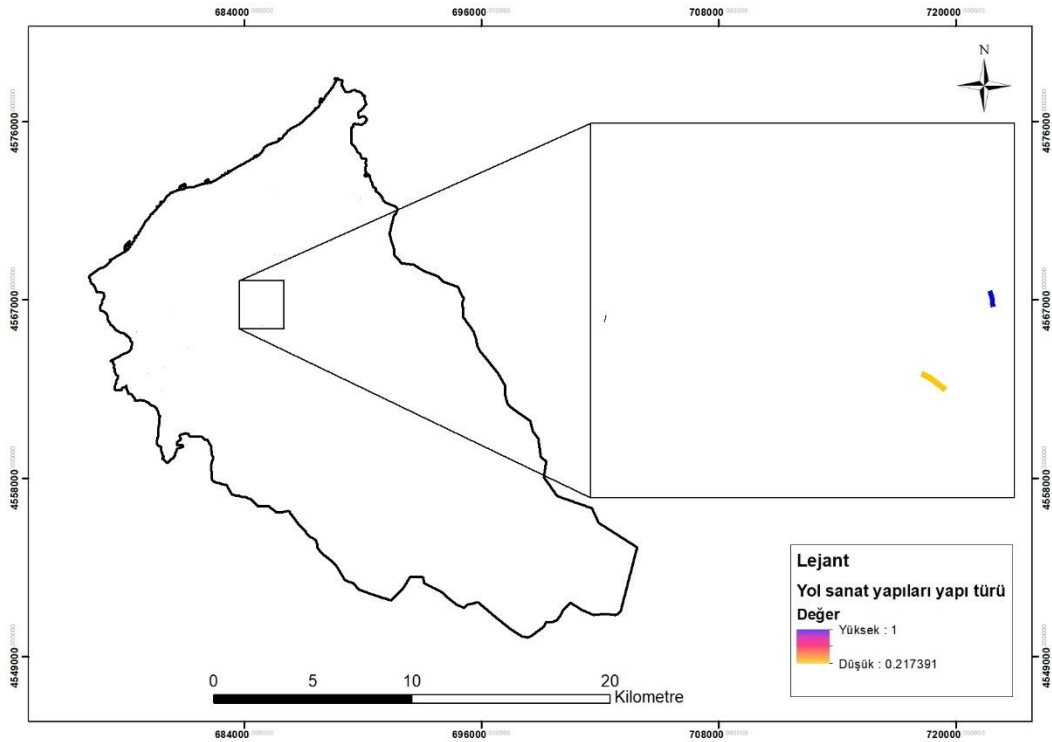
Tablo 4.11: Yol sanat yapıları heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.

Yol Sanat Yapı Tipi	Dayanıklılık	Zarar görebilirlik(1-9)
Büz	Çok Yüksek	9
Menfez	Orta	6
Köprü	Çok Düşük	3

Belirlenen zarar görebilirlik değerleri, yol sanat yapıları verilerine uygulanmış ve bulanık near üyelik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.17 - Şekil 4.18).



Şekil 4.17: Yol sanat yapıları yapı türü zarar görübilirlik değerleri haritası.



Şekil 4.18: Yol sanat yapıları yapı türü fuzzy near üyelik haritası.

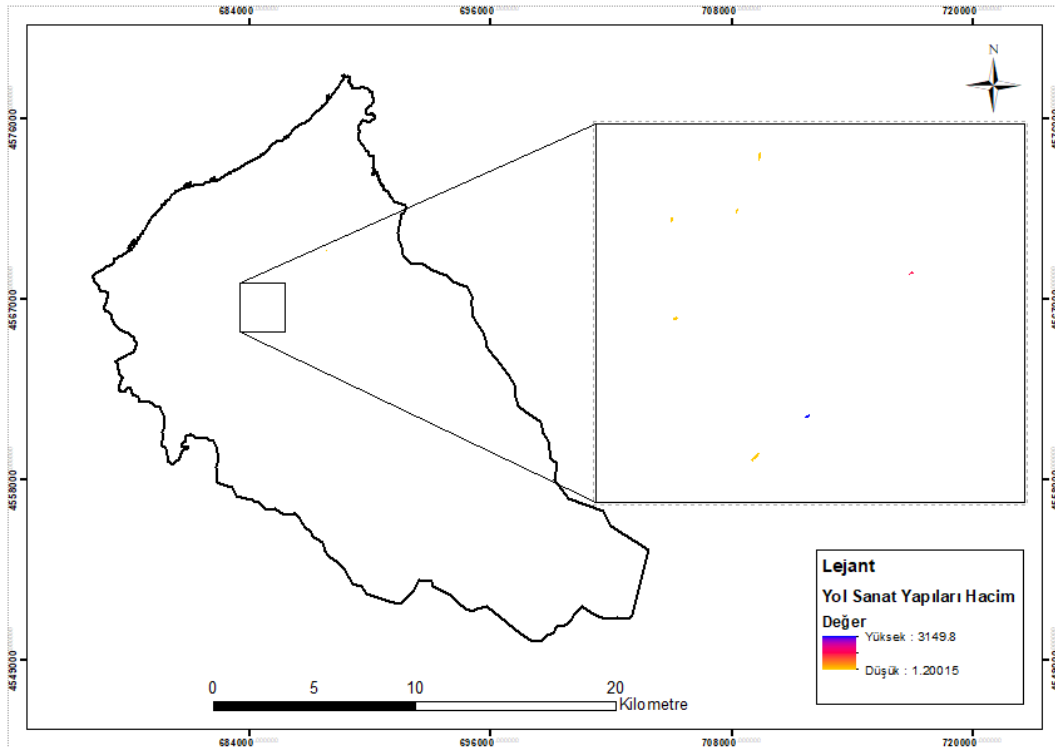
4.4.2.2. Yol Sanat Yapı Verileri Hacimsel Boyut Zarar Görebilirlik Analizi

Yol sanat yapı verilerinin hacimsel boyut niteliklerine belirlenmesinde Rize İl Özel İdaresinden temin edilen sanat yapıları hacim bilgileri dikkate alınmıştır. Hacimsel boyut ile zarar görebilirlik değerlendirmesinin ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.12)

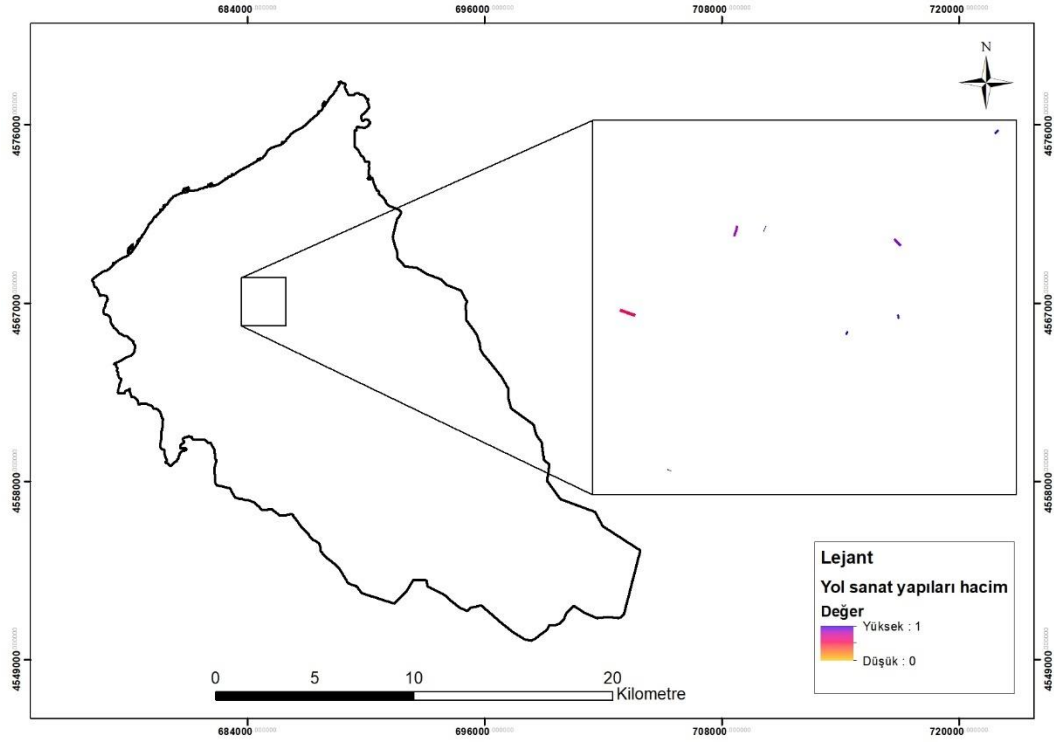
Tablo 4.12: Yol sanat yapıları envanteri heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.

Hacimsel	Dayanıklılık	Zarar görebilirlik
Hacimsel	Linear	Min: 3149.8 Max: 1.20015

Yol sanat yapı verileri ile hacim boyut karşılaştırmaları için hacim haritası ve fuzzy linear üyelik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.19 - Şekil 4.20).



Şekil 4.19: Yol sanat yapıları hacim haritası.



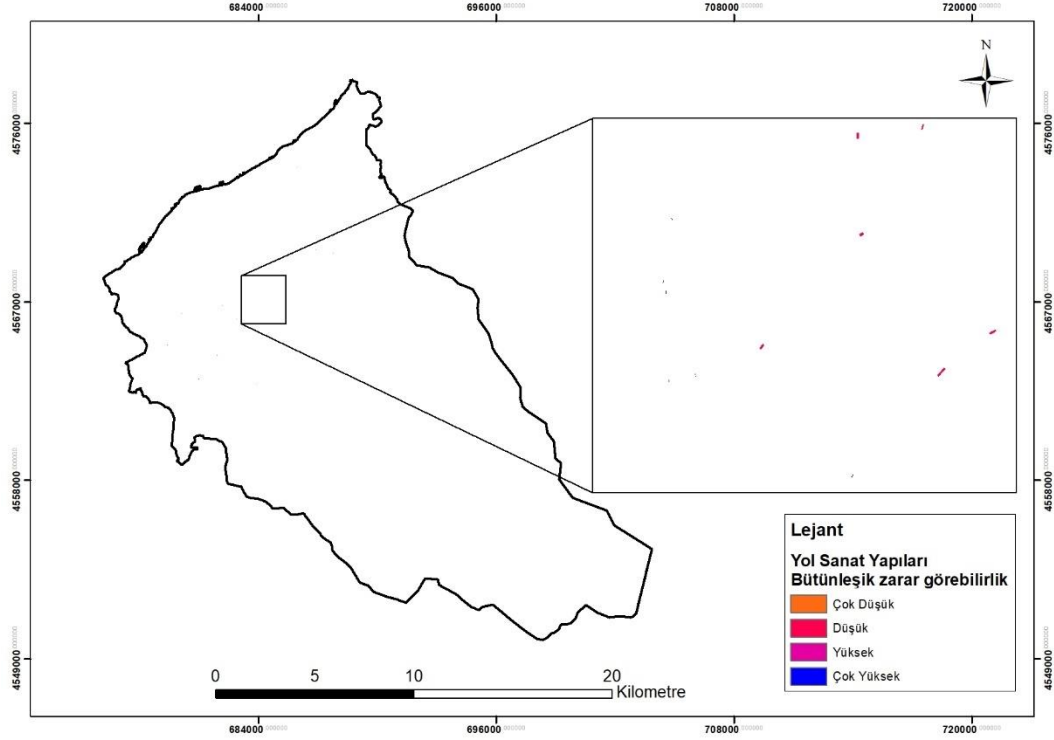
Şekil 4.20: Yol sanat yapıları hacim fuzzy linear üyelik haritası.

4.4.2.3. Yol Sanat Yapı Verileri Hacimsel Boyut Ve Sanat Yapı Türü Bütünleşik Zarar Görebilirlik Analizi

Yol sanat yapı verilerinin hacimsel boyutları ve sanat yapı türleri bulanık üyelik haritaları dikkate alınarak, AND bulanık bindirme yöntemi kullanılarak bütünleşik zarar görebilirlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.21).

Tablo 4.13: Yol sanat yapıları zarar görebilirlik analizi yüzdeler dağılımları.

Yol envanteri	Bütünleşik zarar görebilirlik Zarar Görebilirlik (%)
Çok Düşük	51.8
Düşük	39
Yüksek	3.8
Çok Yüksek	5.4



Şekil 4.21: Yol sanat yapıları bütünleşik zarar görülebilirlik haritası.

Çalışma alanında Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan yol sanat yapı verilerine ilişkin yapılan bütünleşik zarar görülebilirlik analizi çalışmaları sonucunda, yol sanat yapı verilerinin %51,8'lik kısmının çok düşük zarar görülebilirlik sınıfında bulunduğu, %5,4'lük kısmının ise çok yüksek zarar görülebilirlik sınıfında bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.13).

4.4.3. Duvar Yapıları Verileri Zarar Görülebilirlik Analizi

Çalışmada Fındıklı ilçesinde köy yerleşkesi sınırları içerisinde yer alan 202 adet (Tablo 4.14) duvar yapısının yapı türü ve hacimsel boyut nitelikleri temel alınarak bütünleşik fiziksel zarar görülebilirlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.14: Duvar yapı verilerinin yapı türüne göre sınıflandırılması.

Duvar Yapı Türü	Adet
Beton Duvar	55
Taş Duvar	147

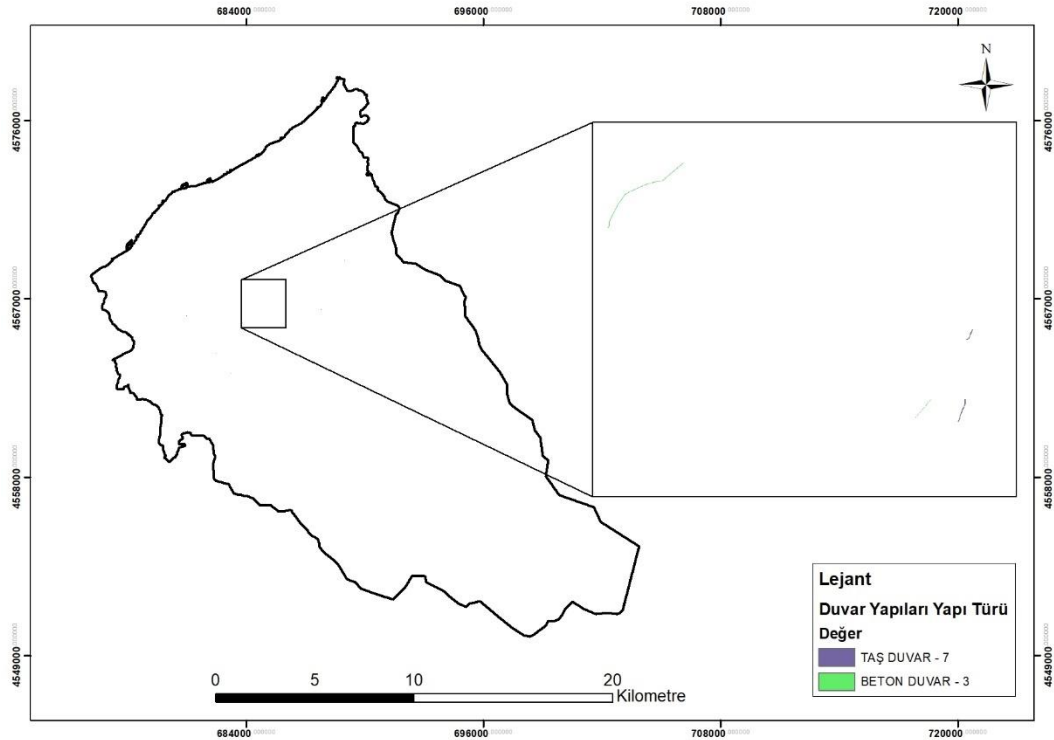
4.4.3.1. Duvar Yapı Verileri Yapı Türü Zarar Görebilirlik Analizi

Uzman görüşü alınarak yapılan çalışmalar neticesinde, duvar yapı türlerine göre zarar görebilirlik değerleri (en yüksek 7 ve en düşük 3) belirlenmiştir. Buna göre beton duvar türüne sahip duvar yapı türleri yüksek standart barındırmaları sebebiyle en dayanıklı sınıf olarak belirlenmiş ve zarar görebilirlik değeri 3 verilmiştir, taş duvar türüne sahip duvar yapıları en düşük standartlar barındırmaları sebebiyle en dayanıksız sınıf olarak belirlenmiş ve zarar görebilirlik değeri 7 verilmiştir (Tablo 4.15).

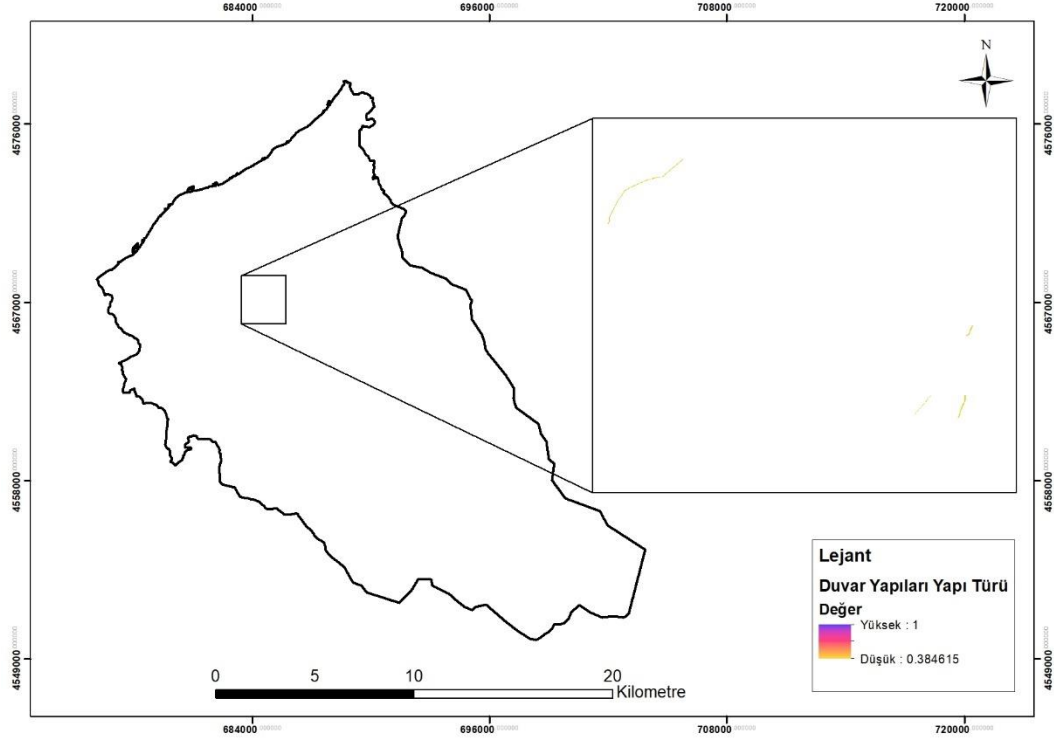
Tablo 4.15: Duvar yapıları heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.

Duvar Tipi	Dayanıklılık	Zarar görebilirlik	Ağırlık Değerleri (1-7)
Beton Duvar	Çok Yüksek	Çok Düşük	3
Taş Duvar	Çok Düşük	Çok Yüksek	7

Belirlenen zarar görebilirlik değerleri, duvar yapı verilerine uygulanmış ve fuzzy near üyelik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.22 - Şekil 4.23).



Şekil 4.22: Duvar yapıları yapı türü zarar görebilirlik değerleri haritası.



Şekil 4.23: Duvar yapıları yapı türü fuzzy near üyelik haritası.

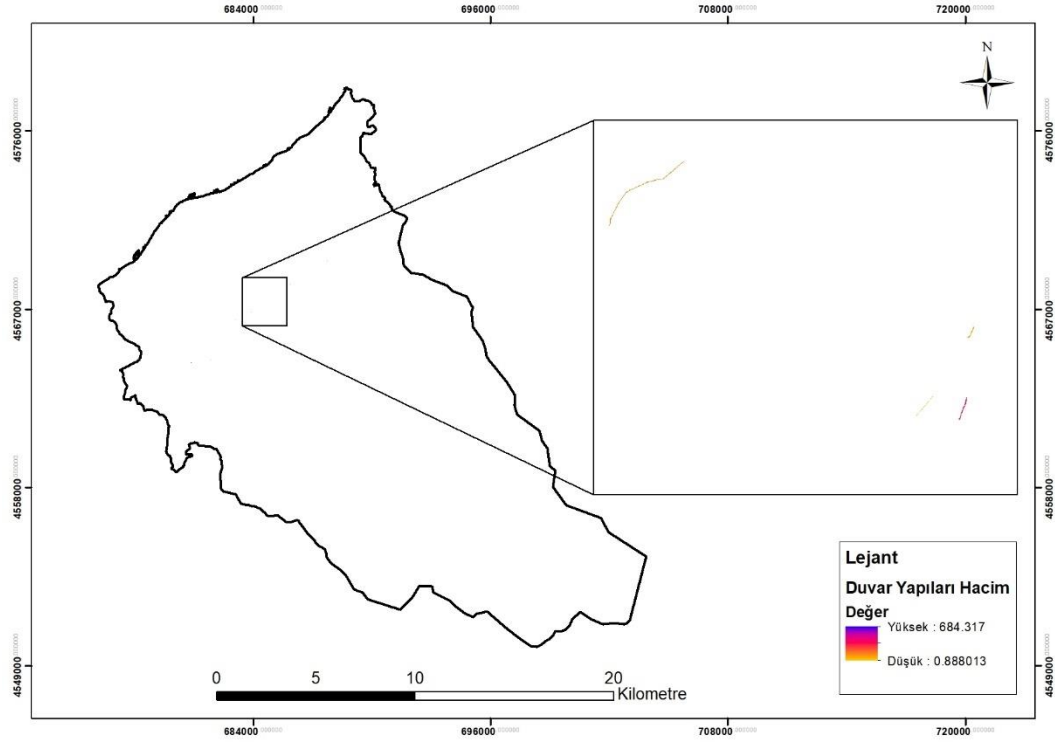
4.4.3.2. Duvar Yapı Verileri Hacimsel Boyut Zarar Görebilirlik Analizi

Duvar yapı verilerinin hacimsel boyut niteliklerine belirlenmesinde Rize İl Özel İdaresinden temin edilen duvar yapıları hacim bilgileri dikkate alınmıştır. Hacimsel boyut ile zarar görebilirlik değerlendirmesinin ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.16)

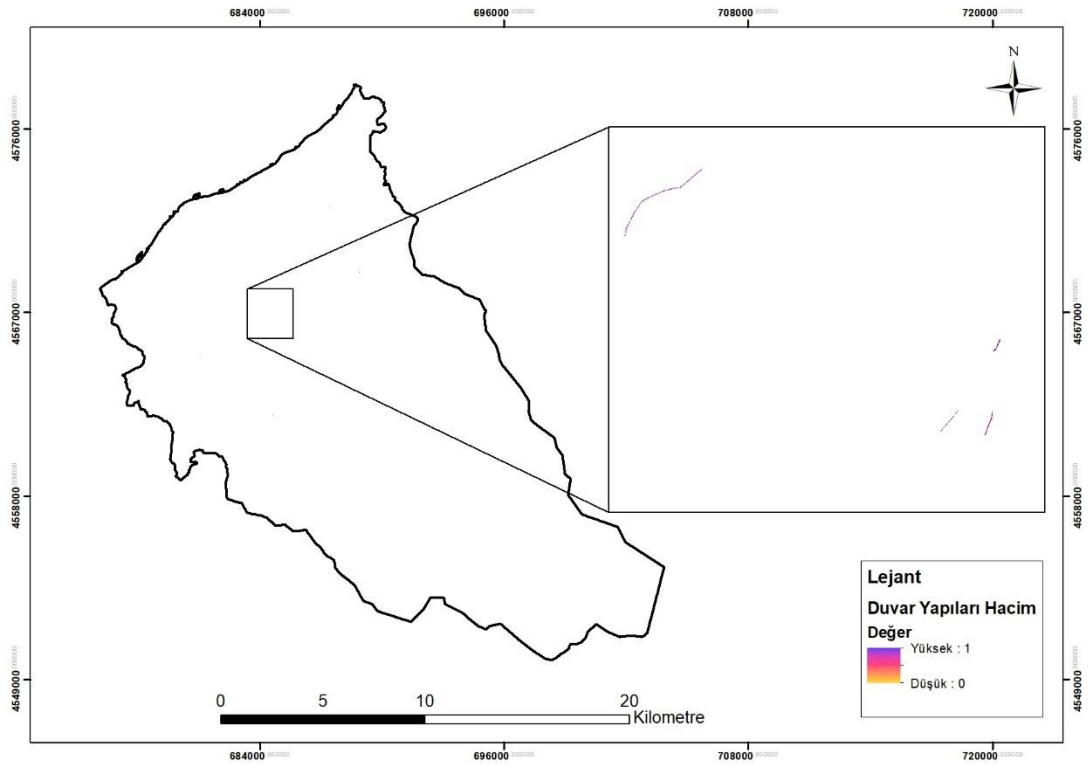
Tablo 4.16: Duvar yapıları heyelan zarar görebilirlik değerlendirmesi.

Hacimsel	Dayanıklılık	Zarar görebilirlik
Hacimsel	Linear	Min: 684.317 Max: 0.888

Duvar yapı verileri ile hacim boyut karşılaştırmaları için hacim haritası ve fuzzy linear üyelik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.24 - Şekil 4.25).



Şekil 4.24: Duvar yapıları hacim haritası.



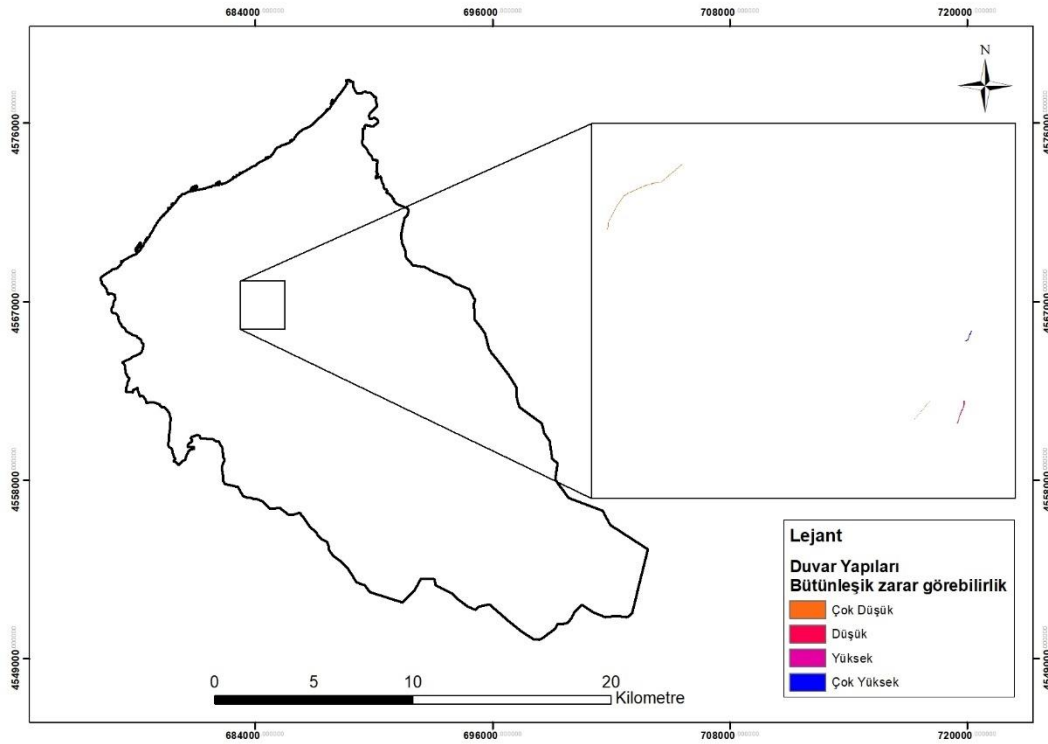
Şekil 4.25: Duvar yapıları hacim fuzzy linear üyelik haritası.

4.4.3.3. Duvar Yapı Verileri Hacimsel Boyut Ve Sanat Yapı Türü Bütünleşik Zarar Görebilirlik Analizi

Duvar yapı verilerinin hacimsel boyutları ve yapı türleri bulanık üyelik haritaları dikkate alınarak, AND bulanık bindirme yöntemi kullanılarak bütünleşik zarar görebilirlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.26).

Tablo 4.17: Duvar yapıları zarar görebilirlik analizi yüzdeler dağılımları.

Duvar Yapıları	Bütünleşik zarar görebilirlik Zarar Görebilirlik (%)
Çok Düşük	21.5
Düşük	11.2
Yüksek	26.1
Çok Yüksek	41.2



Şekil 4.26: Duvar yapıları bütünleşik zarar görebilirlik haritası.

Çalışma alanında Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan duvar yapı verilerine ilişkin yapılan bütünleşik zarar görebilirlik analizi çalışmaları sonucunda, duvar yapı verilerinin %21.5'lik kısmının çok düşük zarar görebilirlik sınıfında

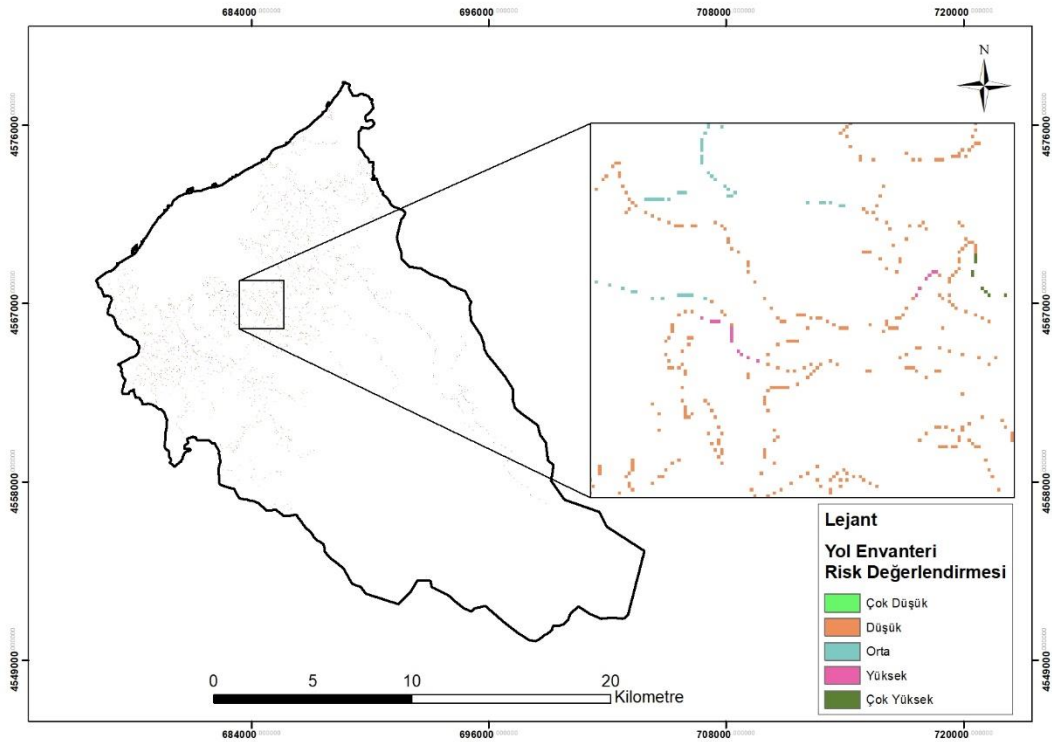
bulunduğu, %41.2'luk kısmının ise çok yüksek zarar görübilirlik sınıfında bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.17).

4.5. Risk Analizleri

4.5.1. Yol Envanteri Heyelan Risk Analizi

Çalışmada, Fındıklı ilçesinde köy yerleşkesi sınırları içerisinde yer alan yol envanter verileri için heyelan risk analizi oluşturulmuş, envanter verilerinin risk değerleri tespit edilmiştir.

Çalışmanın önceki süreçlerinde üretilen heyelan tehlike haritası verisi ve heyelan zarar görübilirlik haritası verisi yardımıyla AND bulanık bindirme yöntemi kullanılarak yol envanteri risk haritası üretilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27: Yol envanteri risk değerlendirmesi.

Tablo 4.18: Yol envanteri risk değerlendirmesi sonuçları.

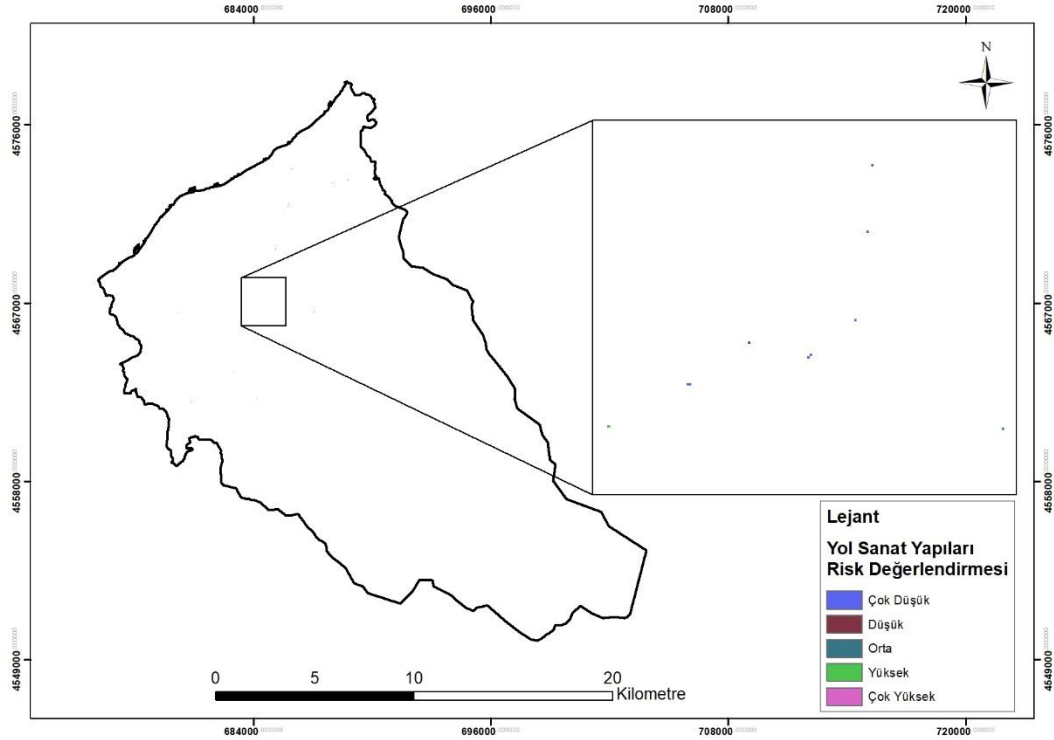
Risk Derecesi	Yol Envanteri Karşılaştırması (%)	Yol Envanteri (m)
Çok Düşük	1.5	9928
Düşük	69.7	456744
Orta	6	38942
Yüksek	18.3	120069
Çok Yüksek	4.5	29248

Çalışma alanında Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan yol envanteri verilerine ilişkin yapılan heyelan risk analizi çalışmaları sonucunda, yol envanteri verilerinin %1,5'lik kısmının çok düşük risk sınıfında bulunduğu, %4,5'luk kısmının ise çok yüksek risk sınıfında bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.18).

4.5.2. Yol Sanat Yapıları Heyelan Risk Analizi

Çalışmada Fındıklı ilçesinde köy yerleşkesi sınırları içerinde yer alan yol sanat yapı verileri için heyelan risk analizi oluşturulmuş, envanter verilerinin risk değerleri tespit edilmiştir.

Çalışmanın önceki süreçlerinde üretilen heyelan tehlike haritası verisi ve heyelan zarar görebilirlik haritası verisi yardımıyla AND bulanık bindirme yöntemi kullanılarak yol sanat yapı verilerinin risk haritası oluşturulmuştur (şekil 4.28).



Şekil 4.28: Yol sanat yapıları risk değerlendirmesi.

Tablo 4.19: Yol sanat yapı verileri risk değerlendirmesi sonuçları.

Risk Derecesi	Sanat Yapıları (%)	Yol Envanteri (adet)
Çok Düşük	57.9	439
Düşük	30.5	232
Orta	6.3	48
Yüksek	3.2	24
Çok Yüksek	2.1	16

Çalışma alanında Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan yol sanat yapı verileri ilişkin yapılan heyelan risk analizi çalışmaları sonucunda, yol sanat yapı verileri %57,9'lık kısmının çok düşük risk sınıfında bulunduğu, %2,1'luk kısmının ise çok yüksek risk sınıfında bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.19).

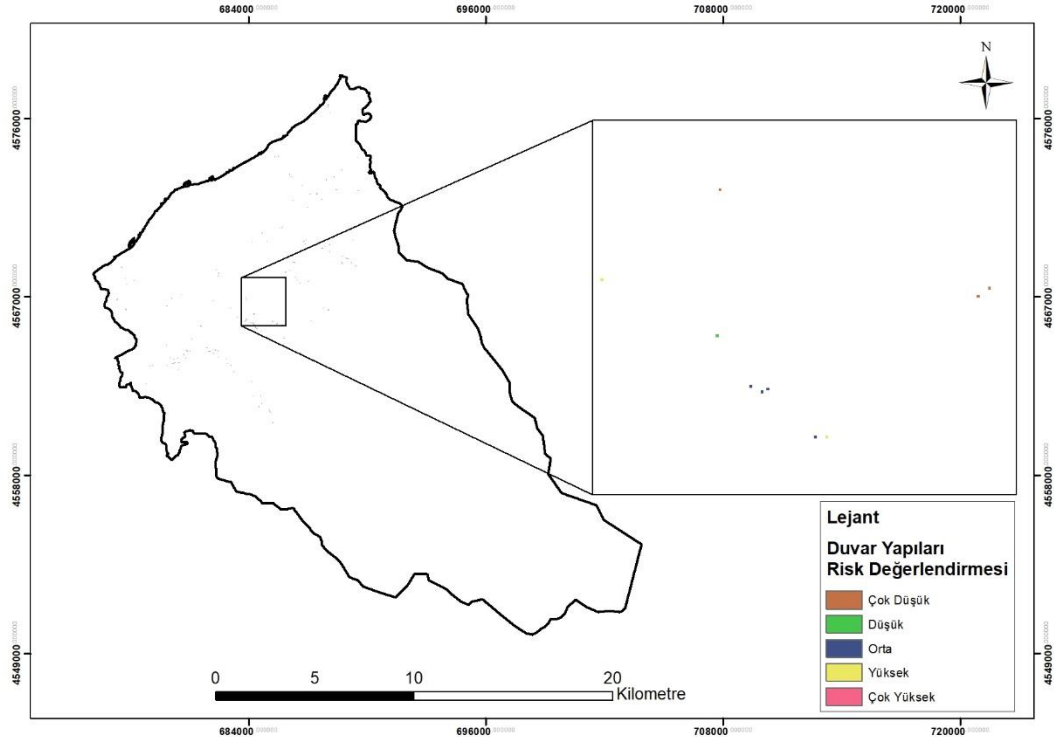
4.5.3. Duvar Yapıları Heyelan Risk Analizi

Çalışmada Fındıklı ilçesinde köy yerleşkesi sınırları içerisinde yer alan duvar yapı verileri için heyelan risk analizi oluşturulup, envanter verilerinin risk değerleri tespit edilmiştir.

Çalışmanın önceki süreçlerinde üretilen heyelan tehlike haritası verisi ve heyelan zarar görülebilirlik haritası verisi yardımıyla AND bulanık bindirme yöntemi kullanılarak duvar yapı verilerinin risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.29).

Tablo 4.20: Duvar yapı verileri risk değerlendirmesi sonuçları.

Risk Derecesi	Sanat Yapıları (%)	Yol Envanteri (adet)
Çok Düşük	10	20
Düşük	15	30
Orta	32,5	66
Yüksek	37,5	77
Çok Yüksek	5	10



Şekil 4.29: Duvar yapıları risk değerlendirmesi.

Çalışma alanında Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan duvar yapı verileri ilişkin yapılan heyelan risk analizi çalışmaları sonucunda, duvar yapı verileri %10'luk kısmının çok düşük risk sınıfında bulunduğu, %5'lik kısmının ise çok yüksek risk sınıfında bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.20).

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında literatür araştırmaları sonucu belirlenen heyelan faktörleri kullanılarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Rize ilinde Fındıklı ilçesi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Yapılan çalışmanın devamında analiz çalışmaları için belirlenen kriterler dikkate alınarak, bu unsurlara ilişkin zarar görebilirlik ve risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık haritasının oluşturulması ve diğer analiz işlemleri CBS yazılımı ortamında gerçekleştirilmiş, analiz yöntemi olarak ise bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır.

Literatür incelemeleri sonucunda heyelana doğrudan etki eden 7 faktör belirlenmiştir. Bu faktörler jeoloji, eğim, bakı, yükseklik, arazi kullanım, akarsuya uzaklık ve yola uzaklık faktörleridir. Heyelana etki ettiğine karar verilen ve heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılacak olan bu faktör verileri ile Rize İl Afet Müdürlüğü'nden temin edilen geçmiş döneme ait heyelan envanter verileri karşılaştırılmış ve heyelan etki değerdendirmeleri için etki oranları incelenmiştir. Faktörlerin heyelan etkilerinde; eğim faktörünün maksimum etkiyi %10-20 eğim aralığında, yola uzaklık faktörünün maksimum etkiyi 0-50m mesafe aralığında, yükseklik faktörünün maksimum etkiyi 0-500m yükseklik aralığında, akarsuya uzaklık faktörünün maksimum etkiyi 300-350m mesafe aralığında, arazi kullanımı faktörünün maksimum etkiyi yerleşim bölgelerinde, jeoloji faktörünün maksimum etkiyi andezit ve piroklastlar toprak türünde, bakı faktörünün maksimum etkiyi doğu yönünde verdiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek seviye şeklinde 5 farklı duyarlılık seviyesinde değerdendirilmiştir. Duyarlılık haritasının doğruluk testi heyelan envanter verileri yardımıyla gerçekleştirilmiş ve yüksek ve çok yüksek heyelan seviyeleri toplamının %81 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Zarar görebilirlik ve risk unsuru olarak, Rize İl Özel İdaresi yetki alanı içerisinde bulunan yol envanteri, yol sanat yapı ve duvar yapı verileri belirlenmiş ve bu veriler ele alınarak analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu unsurların bütünleşik zarar görebilirliklerinin derecelendirilmesi çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek seviye şeklinde 5 farklı zarar görebilirlik seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Zarar görebilirlik analizleri sonucunda, yol envanter verilerinin büyük çoğunluğu düşük

zarar görebilirlik (%70.9), yol sanat yapı verilerinin büyük çoğunluğu çok düşük zarar görebilirlik (%51.8) ve duvar yapı verilerinin de büyük çoğunluğu çok yüksek zarar görebilirlik (%41.2) derecelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Zarar görebilirlik çalışmalarından sonra, belirlenen unsurlara ilişkin risk analizleri çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek seviye şeklinde 5 farklı risk seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Bu analiz çalışmaları sonucunda, yol envanter verilerinin büyük çoğunluğu (%69.7) düşük risk, yol sanat yapı verilerinin büyük çoğunluğu (%57.9) çok düşük risk ve duvar yapı verilerinin de büyük çoğunluğu (%37.5) yüksek risk derecelerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında belirlenen amaca ilişkin yürütülen çalışmalar doğrultusunda elde edilen sonuçların, gerekli doğruluk testleri ile birlikte değerlendirildiğinde, etkin ve başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Hazırlanan gerek duyarlılık haritası gerekse risk haritaları, ilgili kurumlar ve araştırmacıların afet öncesi planlama çalışmalarında aktif rol oynayabileceği kanaati taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Caniani D., Pascale S., Sdao F., Sole A., (2008), "Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza", *Natural Hazards*, 45(1), 55-72.
- [2] Schuster R. L., Fleming R. W., (1986), "Economic losses and fatalities due to landslides", *Bulletin of Association of Engineering Geologists*, 23(1), 11-28.
- [3] Gökçeoğlu C., Ercanoğlu M., (2001), "Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler", *Bulletin for Earth Sciences*, 23, 189-206.
- [4] Akıncı H., Doğan S., Kılıçoğlu C., Keçeci S. B., (2010), "Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2(3), 13-27.
- [5] Kumtepe P., Nurlu Y., Cengiz T., Sütçü E., (2011), "Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanım", *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi*, 3, 41-46.
- [6] Gökçe O., Özden Ş., Demir A. (2008), "Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı*.
- [7] Cruden D. M., (1991), "A simple definition of a landslide", *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27-29.
- [8] Özşahin E., (2014), "Tekirdağ ilinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi süreci kullanarak heyelan duyarlılık analizi", *Humanitas-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3), 167-186.
- [9] Guzzetti F., (2005), "Landslide hazard and risk assessment", *Doctoral Thesis, Universitäts-und Landesbibliothek Bonn*.
- [10] Van Westen C. J., Van Asch, T. W., Soeters R., (2006), "Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult?", *Bulletin of Engineering geology and the Environment*, 65(2), 167-184.
- [11] Dai F. C., Lee C. F., Ngai Y. Y., (2002), "Landslide risk assessment and management: an overview", *Engineering geology*, 64(1), 65-87.
- [12] Varnes D. J., (1984), "Landslide hazard zonation-a-review of principles and practice", *UNESCO Press, Paris*, 63.
- [13] Yalçın A., (2007), "Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.23, s.3

- [14] Tazik E., Jahantab Z., Bakhtiari M., Rezaei A., Kazem Alavipanah S., (2014), "Landslide susceptibility mapping by combining the three methods Fuzzy Logic, Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Dozain basin", ISPRS - International Archives Photogramme Remote Sensing Spatial Information Science, XL-2/W3, 267-272.
- [15] Şahin E. K., (2012), "CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [16] Ercanoğlu M., Gökçeoğlu C., (2002), "Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach", Environmental Geology, 41/6, 720-730.
- [17] Ercanoglu M., Gokceoglu C., (2004), "Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey)", Engineering Geology, 75/3-4, 229-250.
- [18] Ahmed M. F., (2014), "A regional level preliminary landslide susceptibility study of the upper Indus river basin", European Journal of Remote Sensing, 47, 343- 373.
- [19] Can T., Duman T. Y., (2015), "Cbs Tabanlı Bulanık Mantık Yaklaşımı Kullanılarak Adana İli Heyelan Duyarlılık Haritası", Adana Kent Sorunları Sempozyumu 3, 225-240, Adana, Türkiye, 22-23 Mayıs.
- [20] Arca D., Kutoğlu Ş. H., (2017), "Frekans Oranı Metodu ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 3-6 Mayıs.
- [21] Chen G., PHAM T. T., (2001), "Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems", FL: CRC Yayıncılık, 89,90.
- [22] Altaş İ. H., (1999), "Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı", Enerji Elektrik Elektromekanik-3e. 62. Bileşim Yayıncılık A.Ş.
- [23] Özkop E., Altas I. H., Akpınar A. S.. (2004), "Bulanık Mantık Denetleyicili Güç Sistem Uygulaması. ELECO'2004", Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 272-276, Bursa/Türkiye 8-12 Aralık 2004.
- [24] Web 1, (2019), <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [25] Web 2, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzygaussian-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [26] Web 3, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzylarge-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)

- [27] Web 4, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzylinear-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [28] Web 5, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzymlarge-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [29] Web 6, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzymsmall-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [30] Web 7, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzynear-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [31] Web 8, (2019), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/spatial-analyst/fuzzysmall-class.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [32] Mitchell Andy., (2012), “The ESRI Guide to GIS Analysis Volume 3; Modeling Suitability, Moment and Interaction”, 3. ESRI Yayını.
- [33] Web 9, (2019), <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-overlay-works.htm>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [34] Araya-Muñoz D., Metzger M. J., Stuart N., Wilson A. M. W., Carvajal D., (2017), “A spatial fuzzy logic approach to urban multi-hazard impact assessment in Concepción, Chile”, Science of The Total Environment, 576, 508-519.
- [35] Lewis S. M., Gitts G., Kelly M., Dale L., (2014), “A fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant switch grass in the United States”, Computers And Electronics in Agriculture, 103:41.
- [36] Bonham-Carter G., (1994), “Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. In: Computer Methods in the Geosciences”, 13, 298.
- [37] Lewis S. M., Gitts G., Kelly M., Dale L., (2014), “A fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant switch grass in the United States”, Computers And Electronics in Agriculture. 103, 42.
- [38] Web 10, (2019), <http://www.rizekulturturizm.gov.tr/TR-55297/findikli.html>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [39] Web 11, (2019), <https://tr.wikipedia.org/wiki/F%C4%B1nd%C4%B1kl%C4%B1>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [40] Web 12, (2019), <https://rize.tarimorman.gov.tr/Menu/12/Cografı-Yapı>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [41] Web 13, (2019), <https://mapio.net/images-p/19265515.jpg>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)

- [42] Web 14, (2019), http://www.visitrize.com/Arsiv/Icerikler/2015/10/01/Resim_1443697699.jpg, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [43] Web 15, (2019), <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, (Erişim Tarihi: 13/03/2019)
- [44] Çuvalcı F., Yaprak S., Eroğlu C.İ., Kuruçelik M. K., Doksanbir T., (1997), “Çayeli-Fındıklı (Rize) Güney Yörelere Tahkik Jeokimya Raporu”, MTA Yayınları, Mayıs 1997, Ankara,
- [45] Akgün A., Dağ S., Bulut F., (2007), “Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. Environ Geol”, 54, 1127–1143 DOI 10.1007/s00254-007-0882-8.
- [46] Güven H., (1972), “Artvin f46-d2 (Fındıklı güneyi) paftasının jeoloji raporu”, MTA, Ankara.
- [47] Gritzer M. L., Marcus W. A., Aspinall R., Custer S. G., (2001), “Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes, Payetti River, Idaho”, Geomorphology, 37, 149-165.
- [48] Lee S., Min K., (2001), “Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea, Environmental Geology”, 40, 1095-1113.
- [49] Yalçın A., (2008), “GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations”, Catena.72, 1-12.
- [50] Ekinci D., (2011), “Zonguldak-Hisarönü Arasındaki Karadeniz Akaçlama Havzasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi”, Titiz Yayınları.
- [51] Dai F. C., Lee C. F., (2002), “Landslide Characteristics and Slope Instability Modeling Using GIS. Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology”, 42, 213-228.
- [52] Çevik E., Topal T., (2003), “GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek/Turkey. Environmental Geology”, 44, 949-962.
- [53] Lee S., Talib J. A., (2005), “Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis”, Environmental Geology, 47, 982-990.
- [54] Reis S., Yalçın A., Yomralioğlu T., (2011), “A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey”, Catena 85, 274–287.

- [55] Dag S., Bulut F., (2012), “Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye)”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36(1), 35-62.
- [56] Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., (2007), “Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models.”, Environmental Geology”, 54, 1127-1143.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Rize ili, Pazar İlçesi, Sivritepe Köyü doğumludur. Evli ve bir çocuk babasıdır. İlk, orta ve lise öğrenimini Pazar İlçesinde tamamladı. 2004 – 2009 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. 2012 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 – 2012 yılları arasında çeşitli şirketlerde Harita Mühendisi olarak görev yaptı. 2012 yılından itibaren halen Rize İl Özel İdaresi'nde Harita Mühendisi olarak çalışmaktadır.