

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ ORTAMINDA MAKİNE
ÖĞRENMESİ VE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK
HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ:
RİZE TAŞLIDERE HAVZASI ÖRNEĞİ

GEHVER ALTÜRK
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
ORTAMINDA MAKİNE ÖĞRENMESİ VE
İSTATİKSEL YÖNTEMLER
KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK
HARİTALARININ ÜRETİLMESİ:
RİZE TAŞLIDERE HAVZASI ÖRNEĞİ

GEHVER ALTÜRK
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

**MAPPING LANDSLIDE
SUSCEPTIBILITY BY USING MACHINE
LEARNING AND STATISTICAL METHODS
IN GEOGRAPHICAL INFORMATION
SYSTEMS ENVIRONMENT:
RİZE TAŞLIDERE BASIN SAMPLE**

GEHVER ALTÜRK
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODESIS AND GEOGRAPHICAL INFORMATION
TECHNOLOGIES PROGRAM**

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

GEBZE

2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03.07.2019 tarih ve 2019/30 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17.10.2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan GEHVER ALTÜRK'ün tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

ÜYE

: Doç. Dr. İsmail ÇÖLKESEN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Emrehan Kutluğ ŞAHİN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu çalışmada Rize ili Taşlıdere havzası içerisinde sığ heyelanlara ilişkin heyelan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; yapay sinir ağıları modeli kullanılarak heyelan duyarlılık analizi ve modelin havzadaki performansı değerlendirilmiştir. Buna göre; drenaj alanı içerisinde yapılan araştırmalar 4 aşamada gerçekleştirilmiştir: (i) Öncelikle konuya ilişkin ulusal ve uluslararası literatür değerlendirilmiştir ve çalışma sahasının genel özellikleri incelenmiştir; (ii) Havzaya ait sığ heyelan envanterinin oluşturulmasına yönelik ayrıntılı araştırmalar yürütülmüştür; (iii) YSA analizi için uygun parametre kestirimi gerçekleştirilmiş ve daha sonra analiz yapılmıştır; (iv) Elde edilen duyarlılık haritasının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde girdi parametre olarak, heyelan oluşumunda etkili olduğu arazi çalışmaları sırasında gözlenen 15 parametre kullanılmıştır. Bu parametreler; arazi kullanımı, litoloji, yükselti, eğim, bakı, pürüzlülük, plan eğriselliği, profil eğriselliği, pürüzlülük indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, LS faktörü, drenaj yoğunluğu, drenaja olan mesafe, yol yoğunluğu, yola olan mesafedir. Heyelan duyarlılık haritası, sayısallaştırılan envanter haritası ve girdi parametreler kullanılarak, Frekans Oranı (FO), Lojistik Regresyon (LR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri ile üretilmiştir. Üretilen harita, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Üretilen duyarlılık haritasının performans değerlendirmesinde ROC (Relative Operating Curve) eğrisi altında kalan alan olan AUC (Area of Under the Curve) kullanılmış ve AUC değeri FO 0,72, LR 0.83, YSA 0.87 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, CBS, Duyarlılık, Yapay Sinir ağıları, Frekans Oranı, Lojistik Regresyon.

SUMMARY

In this study, landslide susceptibility analysis of shallow landslides was aimed to be carried out in Rize Province Taşlıdere basin. For this purpose; an artificial neural network model was used to evaluate landslide susceptibility analysis and model performance in the basin. According to this; research in the drainage area was carried out in 4 stages: (i) Firstly, the national and international literature on the subject was evaluated and the general characteristics of the field of study were examined; (ii) Detailed investigations were conducted to establish an inventory of shallow landslides in the basin; (iii) the appropriate parameter estimate for the YSA analysis was performed and then analyzed; (iv) Performance evaluation of the obtained sensitivity map was performed. In the production of the landslide susceptibility map, 15 parameters observed during field studies were used as input parameters in landslide formation. These parameters are; land use, lithology, elevation, slope, aspect, roughness, plan curvature, profile curvature, SPI, TWI, LS factor, drainage density, drainage distance, road density, road distance. Landslide susceptibility map was produced by Frequency Ratio (FR), Logistic Regression (LR) and Artificial Neural Networks (ANN) method using digitized inventory map and input parameters. The generated map is divided into 5 susceptibility classes: very low, low, medium, high and very high. In the performance evaluation of the generated susceptibility map, AUC (Area of Under the Curve), which is the area under the ROC (Relative Operating Curve) curve, was used and the AUC value was found as FR 0,72, LR 0,83, ANN 0,87.

Key Words: Landslide, GIS, Sensitivity, Artificial Neural Networks, Frequency Ratio, Logistic Regression.

TEŞEKKÜR

Çalışmam sırasında rehberliğinden dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU 'na,

Bilgi ve birikimlerini esirgemeyen arkadaşlarım Jeoloji Yüksek Mühendisi Zehra KAYA ve Uzman Âdem Kürşat ÖZCAN' a,

Sevimliliği ile hep yanımda olan Zuzu' ma,

Her zaman destekçim olan değerli arkadaşım Volkan AYDOĞDU 'ya,

Sonsuz teşekkürlerimle.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Heyelan Kavramı	3
2.2. Analiz Yöntemleri	6
2.2.1. Frekans Oranı	6
2.2.2. Lojistik Regresyon Yöntemi	7
2.2.3. Yapay Sinir Ağları Yöntemi	8
2.3. Literatür Araştırması	10
3. ÇALIŞMA ALANI VE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	18
3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi	18
3.1.1. Genel Özellikler	18
3.1.2. İklim Özellikleri	20
3.1.3. Bitki Örtüsü	21
3.2. Jeolojik Özellikler	22
3.3. Heyelan Envanter	25
3.4. Arazi Kullanım Durumu Haritası	27
3.5. Yükselti	29
3.6. Eğim	31
3.7. Bakı	33
3.8. Eğrisellik	35
3.9. Pürüzlülük İndeksi	38

3.10.	Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNİ)	40
3.11.	Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi(AGİ)	41
3.12.	Sediman Taşıma Kapasitesi - LS Faktör	44
3.13.	Drenaj Analizi	45
3.13.1.	Drenaj Yoğunluğu	46
3.13.2.	Drenaja Olan Mesafe	49
3.14.	Yol Analizi	51
3.14.1.	Yol Yoğunluğu	52
3.14.2.	Yola Olan Mesafe	54
4.	ANALİZLER	56
4.1.	Metodoloji	56
4.2.	Frekans Oranı Yöntemi	59
4.3.	Lojistik Regresyon Yöntemi	65
4.4.	Yapay Sinir Ağları Yöntemi	69
4.5.	Doğruluk Analizi	73
5.	SONUÇLAR	76
	KAYNAKLAR	80
	ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
km	: Kilometre
mm	: Milimetre
m	: Metre
ha	: Hektar
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
MTA	: Maden Tetkik Ve Arama Müdürlüğü
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
YSA	: Yapay Sinir Ağları
TNI	: Topoğrafik Nemlilik İndeksi
AGİ	: Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi
LR	: Lojistik Regresyon
FO	: Frekans Oranı
CP	: Conditional Probability
SVM	: Support Vector Machine
ANN	: Artificial Neural Network
ROC	: Receiver–Operating Characteristics
AUC	: Area Under Curve
LIDAR	: Light Detection and Ranging
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No :</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Hareket eden malzemenin türüne göre heyelan türleri.	5
2.2: Heyelan Duyarlılık Değerlendirme Yöntemleri.	6
2.3: İki nöron içeren biyolojik sinir yağı.	9
3.1: Taşlıdere havzası çalışma alanı haritası.	19
3.2: Taşlıdere havzası jeoloji sınıfları dağılımı	22
3.3: Taşlıdere Havzası Jeoloji Haritası	23
3.4: Taşlıdere heyelan envanter haritası.	26
3.5: Arazi kullanım durumu dağılımı	27
3.6: Taşlıdere havzası arazi kullanım durumu haritası.	28
3.7: Yükselti alanve yüzde dağılımı	29
3.8: Taşlıdere havzası yükselti haritası.	30
3.9: Taşlıdere havzası eğim dağılımı	31
3.10: Taşlıdere havzası eğim haritası.	32
3.11: Taşlıdere havzası bakı dağılımı	33
3.12: Taşlıdere havzası bakı haritası.	34
3.13: Taşlıdere havzası profil eğriselliği dağılımı.	35
3.14: Taşlıdere havzası plan eğriselliği dağılımı.	35
3.15: Güneysı havzası profil eğriselliği haritası.	36
3.16: Taşlıdere havzası plan eğriselliği haritası.	37
3.17: Taşlıdere havzası pürüzlülük indeksi dağılımı	38
3.18: Taşlıdere havzası pürüzlülük indeksi haritası.	39
3.19: Taşlıdere havzası TNİ dağılımı.	40
3.20: Taşlıdere havzası topoğrafik nemlilik indeksi haritası.	41
3.21: Taşlıdere havzası akarsu aşındırma gücü indeksi dağılımı.	42
3.22: Taşlıdere havzası akarsu aşındırma gücü indeksi haritası.	43
3.23: Taşlıdere havzası sediman taşıma kapasitesi-LS Faktör dağılımı	44
3.24: Taşlıdere havzası sediman taşıma kapasitesi-LS faktör haritası.	45
3.25: Taşlıdere havzası drenaj ağı haritası.	46
3.26: Taşlıdere havzası drenaj yoğunluğu dağılımı.	47

3.27: Taşlıdere havzası drenaj ağı yoğunluğu haritası.	48
3.28: Taşlıdere havzası drenaja olan mesafe dağılımı.	49
3.29: Taşlıdere havzası drenaja olan mesafe haritası.	50
3.30: Taşlıdere havzası yol ağı haritası.	51
3.31: Taşlıdere havzası yol yoğunluk dağılımı.	52
3.32: Taşlıdere havzası yol yoğunluğu haritası.	53
3.33: Taşlıdere havzası yola olan mesafe dağılımı.	54
3.34: Taşlıdere havzası yola olan mesafe haritası.	55
4.1: Akış Şeması	58
4.2: Taşlıdere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası-FR	64
4.3: Taşlıdere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası-LR.	68
4.4: Rize İli Taşlıdere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası-YSA.	72
4.5: FO modeli için ROC analizi	75
4.6: LR analizi için Roc Analizi.	75
4.7: YSA analizi için ROC Analizi.	75

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Heyelan Türlerinin Mühendislik Sınıflandırılması.	4
3.1: Prof. Dr. Sırrı Erinç İndisine göre Sınıflandırma.	20
3.2: Rize ili meteorolojik gözlem verileri.	21
4.1: Parametlere Ait Frekans Oranları.	60
4.1: Devam.	61
4.1: Devam Parametlere Ait Frekans Oranları.	62
4.2: Lojistik Regresyon Model Sonuçları.	67
4.3: Heyelanların FO ile elde edilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımı	73
4.4: Heyelanların LR ile elde edilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımı	73
4.5: Heyelanların YSA ile elde edilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımı	74

1.GİRİŞ

Yer yüzeyi bir yandan doğal afetler bir yandan da insan etkili faaliyetlerden ötürü sürekli değişimlere uğramaktadır. Kütle hareketleri de bu değişimlere sebep olan önemli etmenlerden biridir. Kütle hareketlerinin meydana gelmesinde etkili olan faktörler ise arazinin jeolojisi, jeomorfolojik özelliği, eğimi, birbirinden farklı titreşimler, bitki örtüsü ve ayrışmadır [1].

Kütle hareketi olan heyelan; yamacı oluşturan kaya, toprak veya benzeri malzemenin stabilitesinin bozulması neticesinde yer çekiminin etkisinde yamaç boyunca hareketlenerek dengeye ulaşana kadar şekil ve yer değiştirmesidir [2]. Başka bir ifadeyle; heyelanlar insan aktivitelerinin yanı sıra, arazi kullanımı, bitki örtüsü, şiddetli yağış ve sismik aktiviteler tarafından kontrol edilen bir kütle hareketidir [3].

Heyelanların verdiği büyük zararların artık günümüzde farkına varılması nedeniyle, heyelan zararlarının azaltılmasına ve arazi kullanım planlamalarına yardımcı olmasına yönelik yapılan çalışmaların temelini oluşturan heyelan duyarlılık çalışmaları hem bilim adamlarını hem de kamu kurumlarını ilgilendiren oldukça önemli bir konu haline gelmiştir [4]. Son zamanlarda, coğrafi bilgi sistemi (CBS), uzaktan algılama yöntemleri, bilgisayar teknolojileri ve yazılımlarındaki gelişmeler, çok sayıdaki verinin depolanmasına ve istatistiksel analizlerle değerlendirilmesine olanak sağlamıştır [5]. Böylece, tecrübeye dayalı olmayan istatistiksel analizler ve yapay zekâ yöntemlerinin, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımının artmasını sağlamıştır [5] .

Heyelanların verdiği zararları önleyebilmek veya azaltabilmek için heyelanların tespiti ve duyarlılık ile risk haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Envanter bilgisi değerlendirilerek kütle hareketlerine ilişkin duyarlılık ve tehlike değerleri hesaplanabilmekte ve buna bağlı olarak, söz konusu tehlike tarafından tehdit edilen risk altındaki elemanlara ilişkin risk değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Heyelan duyarlılığı belli bir konumdaki belli bir türdeki heyelanın olma olasılığını ifade etmektedir. Duyarlılık haritası ise geçmişte meydana gelmiş olan heyelan olayları ile bu olaylara sebep olan temel faktörler belirlendikten sonra çeşitli analizler neticesinde heyelan olma potansiyeline sahip alanların dağılımını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında yapay sinir ağları modeli, lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemleriyle kütle hareketlerine ilişkin analizlerin değerlendirilmesi, mevcut

sınırlamaların ortaya konması ve indirgenmesini sağlayacak yöntemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Heyelan Kavramı

Genelde anlamda kütle hareketi olarak ifade edilen heyelan literatürde birbirinden farklı çokça tanıma sahiptir ancak genel anlamda toprak, moloz veya kayanın yerçekimi etkisiyle yamaç doğrultusunca hareketine denilmektedir. Heyelanlar, toplum üzerinde yarattığı yıkıcı etkiyle yeryüzündeki değişimde önemli bir etkiye sahip bir doğal afettir. Heyelanlar insanların yaşamsal aktivitelerine etkilediği müddetçe yeryüzünü aşındıran ve yıpratıcı doğal bir süreçtir [6]. Genellikle depremlerin, ani kar erimelerinin ve yoğun yağışların heyelanı tetiklediği bilinmektedir. Nitekim deprem oluşumundan sonraki dakikalarda, kar erimesinden itibaren bazen saatler bazen de günler sonra, şiddetli yağışlarla beraber bazen günler ve bazen de haftalar sonra meydana gelebilmektedir [7]. Karadeniz Bölgesi başta olmak üzere birçok bölgede görülen heyelanlar, ülkemizde depremlerden sonra can ve mal kaybına sebep olan önemli doğal afetlerden birisidir [8].

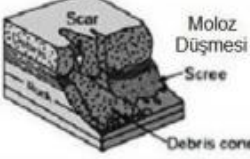
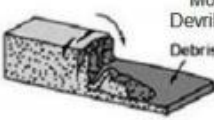
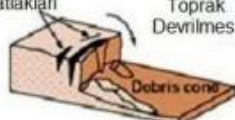
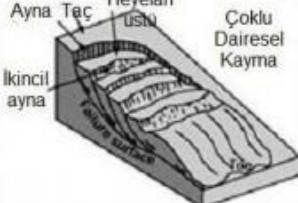
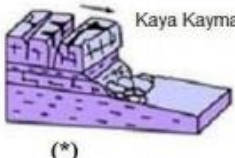
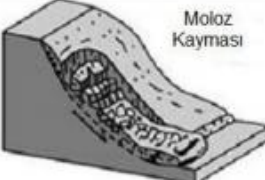
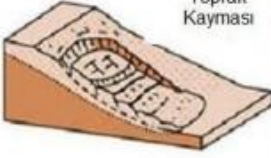
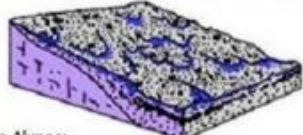
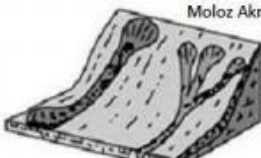
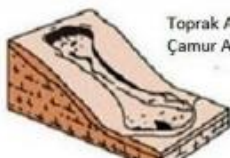
Heyelanlar, 20. yüzyılın başlarından itibaren dünyada yaşanan hızlı ve etkili teknolojik gelişmeler, kentleşme ve ormansızlaşma nedeniyle küresel olarak hızlı bir şekilde artmaktadır [9]. Dünyada genelinde meydana gelen heyelanlar binlerce insanın hayatını kaybetmesine sebep olmakta ve ülke ekonomileri büyük oranda zarar görmektedir [10]. Bu sebeple, heyelanlar büyük ekonomik kayıplara ve zayıflara neden olan, dünyadaki en yaygın doğal afetler arasında yer almaktadır [9].

Daha önce farklı bilim adamları tarafından yapılmış olan birçok heyelan sınıflama sistemi bulunmaktadır. Fakat günümüzde kabul edilen ve en yaygın kullanılan sınıflandırma Varnes tarafından 1978 yılında yapılmış olan sınıflandırma sistemidir. Varnes [11] şev hareketinin tipi, duyarsızlığın mekanizmasını, kayan malzemenin türü ve tane boyunu ve son olarak hareketin hızını dikkate alarak heyelanları toplam 6 sınıfa ayırmıştır (Tablo 2.1) [11].

Tablo 2.1: Heyelan Türlerinin Mühendislik Sınıflandırılması.

DURAYLILIK TÜRÜ			MALZEMENİN TÜRÜ		
			TOPRAK ZEMİNLER		ANA KAYA
			İNCE TANELİ	İRİ TANELİ	
DÜŞME			Zemin Düşmesi	Moloz Düşmesi	Kaya Düşmesi
DEVİRİLME			Zemin Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Kaya Devrilmesi
KAYMA	DÖNEL	Sınırlı Sayıda Birim	Zeminde Dairesel Kayma	Molozda Dairesel Kayma	Kayada Dairesel Kayma
	ÖTELENMELİ	Çok Sayıda Birim	Zeminde Blok Türü Ötelenme Zemin Kayması	Molozda Blok Türü Ötelenme Moloz Kayması	Kayada Blok Türü Ötelenme Kaya Ötelenmesi
YANAL YAYILMA			Zemin Yayılması	Moloz Yayılması	Kaya Yayılması
AKMA			Zemin Akması	Moloz Akması	Kaya Akması
KARMAŞIK DURAYSIZLIKLAR			Yukarıda belirtilen diğer duraysızlık türlerinden ikisinin veya birkaçının birbirini izlemesiyle gelişen duraysızlıklar		

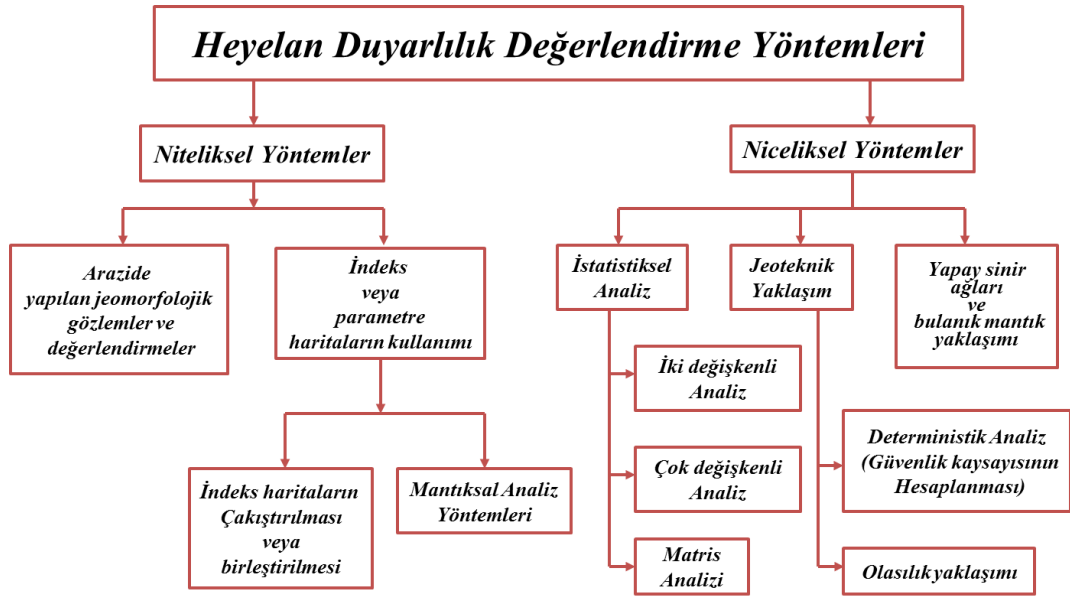
Kütle hareketleri, temellendirildiği kıstaslara göre birbirinden farklı birçok şekilde sınıflandırılabilir. Kütle hareketleri sınıflandırılırken kayma hareketi mekanizmasına, kayma hareketinin hızına, kayma yüzeyi şekline ve geometrisine; kaymakta olan malzemenin tane boyuna, örselenme derecesiyle yaşı vb. özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Yine Varnes, 1978 yılında heyelan tiplerini bir blok diyagram şeklinde özelliklerine göre sınıflandırmıştır (Şekil 2.1).

Malzeme Hareketin Türü		KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER				
		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
DEVİLMELER				
		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
KAYMALAR	DÖNEL			
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)			
YAYILMALAR				
		Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
AKMALAR				
		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
KARMAŞIK				
		Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü	Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen döne/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde	

Şekil 2.1: Hareket eden malzemenin türüne göre heyelan türleri.

2.2. Analiz Yöntemleri

Heyelanların konumsal olarak gelecekte nerelerde meydana gelebileceğini gösteren heyelan duyarlılık haritaları, envanter haritaları ve heyelanı tetikleyen faktörler değerlendirilerek oluşturulmaktadır. Yeşilnacar ve Topal heyelan değerlendirmelerinde kullanılan jeoteknik yaklaşımların en önemli sınırlamasının, büyük alanlar için, alanı temsil edecek şekilde veri temininin güç olması ve yüksek maliyet gerektirmesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda, sıklıkla istatistiksel yöntemlerin kullanıldığını ifade etmişlerdir [12]. Heyelan duyarlılık değerlendirmeleriyle ilgili çok sayıda yaklaşım bulunmakta olup niteliksel ve niceliksel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [13] (Şekil 2.2). Tez çalışması kapsamında bu yaklaşımlardan Frekans Oranı (FO), Lojistik Regresyon (LR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2.2: Heyelan Duyarlılık Değerlendirme Yöntemleri.

2.2.1. Frekans Oranı

Bölgeye özgü, fiziksel koşulların ve heyelanları tetikleme süreçlerinin anlaşılması, heyelanların olma olasılığını değerlendirmek için büyük önem

taşımaktadır. Frekans oranı, GIS teknikleri ve mekânsal veriler kullanılarak heyelan duyarlılığı değerlendirmesi için nicel bir tekniktir. Heyelan duyarlılığı haritalaması için heyelanların mekânsal dağılımının heyelana sebep olan faktörlerden etkilendiğini ve gelecekteki heyelanların da geçmiş heyelanlarla aynı koşullar altında gerçekleşeceğini varsaymak önemlidir [14].

Frekans oranı, anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle araştırmalarda oldukça yaygın biçimde kullanılan bir yöntemdir. Herhangi bir olayın olma olasılığının olmama olasılığına oranı frekans oranı şeklinde tanımlanmaktadır [15]. Temelde koşullu bağımsızlık varsayımı kabul edilmektedir. Heyelanların gelişmesine neden olan parametrelerin, heyelan oluşumundaki etkisi birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmektedir.

$$FO = a/b \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’ de ifade edilen a , heyelanı etkileyen parametrenin kendi içerisindeki her bir alt sınıfındaki meydana gelen heyelanların yüzdesini, b ise heyelanı etkileyen parametrenin her bir sınıfının kendi içindeki yüzdesidir. Elde edilen frekans oranı 1’den büyükse heyelanla heyelana etkiyen parametrenin korelasyonu o kadar yüksek ve 1’den ne oranda küçükse arasındaki korelasyon o kadar düşüktür.

2.2.2. Lojistik Regresyon Yöntemi

Lojistik regresyon, bağımlı ikili değişken (var-yok, evet-hayır) olduğunda, bağımlı değişkenlerle bağımsız değişkenler arasındaki sebep sonuç ilişkisini belirleyen, bağımsız değişkene göre bağımlı değişkeninin olması muhtemel değerlerinin olasılık şeklinde ifade edilmesidir [16] .

LR yönteminde bağımsız değişken verileri kategorik ya da sürekli. LR, bu bağımsız değişkenlerin doğru ifade edilebilmesinde sağladığı avantajdan dolayı istatistiksel analizlerde oldukça sık tercih edilmektedir. LR değerlendirmesinde elde edilen olasılık fonksiyonu Eşitlik 2.1’ de belirtilmiştir.

$$P(Y=1) = p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad (2.2)$$

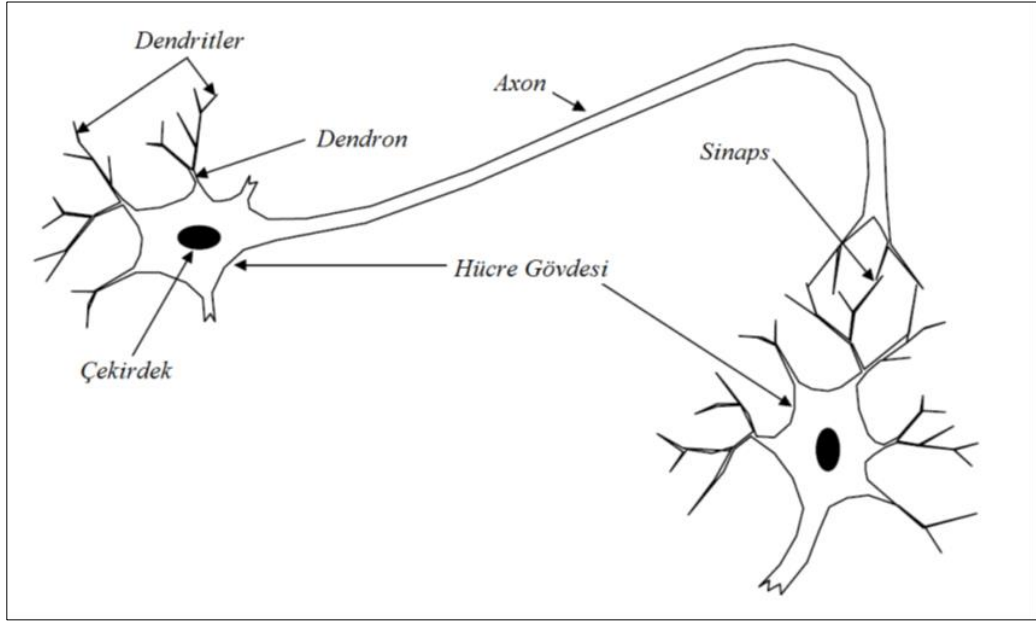
LR analizinde bağımlı değişken kesikli olup [0-1] aralığındadır. Eşitliğin sağında olan ve bağımlı değişkenle bağımsız değişkenlerin korelasyonunu veren değer $-\infty$ ile $+\infty$ arasında değişim göstermektedir. Elde edilen $-\infty$ ile $+\infty$ eğrisini doğrusal duruma döndürmek için lojit dönüşüm yapılmaktadır (Eşitlik 2.2). Bu dönüşümde temel olarak P olasılık değeri 0'a yaklaştığında $-\infty$, 1'e yaklaştığında ise $+\infty$ 'a yaklaşmaktadır (Eşitlik 2.2).

$$LR = \log \left[\frac{P_i}{1-P_i} \right] = z_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.2' de LR lojistik regresyon denklemi, X ise heyelana etkiyen parametreler olarak öngörülen bağımsız değişkenleri, β ise bağımsız değişkenlerin regresyondaki katsayıları olarak ifade edilmektedir. LR analizinde katsayı tahmininden sonra, modelin doğruluğu test edilmektedir. Bu doğrultuda bağımsız değişkenlerle kategorik olan bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin önem derecesinin, diğer bir ifadeyle regresyon modelinin verileri doğru ifade edip etmediğinin test edilmesidir. Modelin güvenirliliğinin incelenmesinde Hosmer ve Lemeshow G istatistiği adıyla da bilinen Ki-Kare testi uygulanmaktadır ve bu test için log benzerlik fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu yöntem sabit terimin haricindeki tüm lojit katsayıların sıfıra eşit olup olmamasını test etmektedir. Log olabilirliği 0–1 aralığında değişmektedir [17].

2.2.3. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

Çalışma kapsamında Rize ili Taşlıdere havzasının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için seçilen yöntemlerden biri de yapay sinir ağları (YSA) modelidir. İnsan sinir sistemi, nöron denilen tek hücreli küçük yapılardan oluşur. Bir nöron 5 ana bileşenden oluşur; dendrit, dendronitler, hücre gövdesi, sinaps ve akson. Dendritler, diğer nöronlardan gelen sinyalleri alır, sinyal dendronlar tarafından hücre gövdesine taşınır ve burada gelen sinyalin gücüne göre kompozit sinyaller üretilir ve akson boyunca sinapslara iletilir. Yapay sinir ağı bu biyolojik sinir sisteminin bilgisayar ortamındaki modelidir [18].

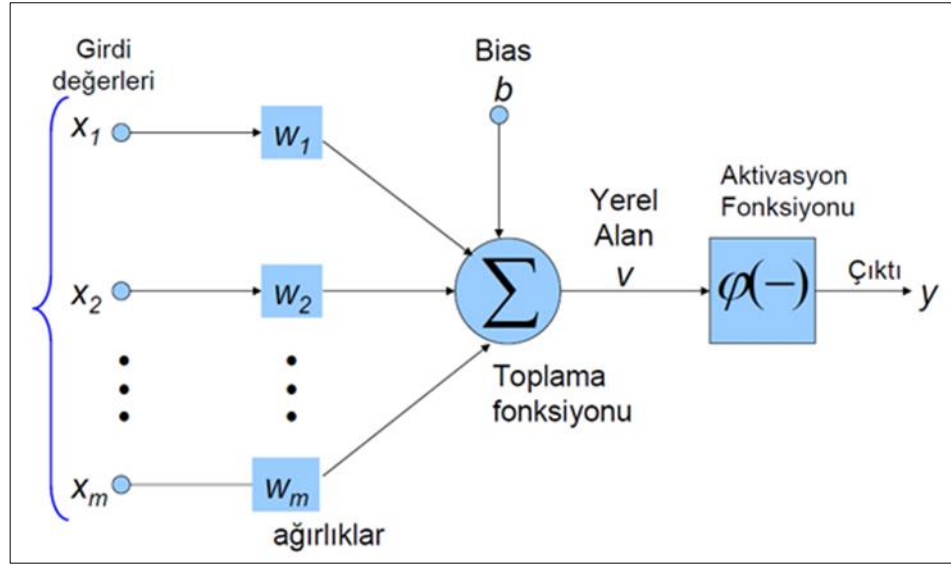


Şekil 2.3: İki nöron içeren biyolojik sinir yağı.

Bir yapay nöron, matematiksel olarak iki modül ile temsil edilir; lineer aktivasyon ve sonlu bir bant içinde sinyal seviyelerini sınırlayan bir doğrusalsızlık. Şekil 4’de yapay bir nöron yapısı görülmektedir. Burada toplama fonksiyonu bir hücre gövdesi görevi görür ve girdiler dendritler gibi davranır. Sinapslar doğrusal olmayan bir fonksiyon (aktivasyon fonksiyonu) olarak modellenir ve ağdan doğrusal olmayan birime olan bağlantı akson gibi çalışır. Burada Net $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde temsil edilen girdilerin doğrusal bir toplamıdır.

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (8)$$

Ağırlıklar bir yapay sinir hücresindeki bilginin önem derecesi ile hücredeki etkisini belirtir. Girdilerin üretilecek çıktı üzerindeki etkisini ayarlayabilmek için girdiler geldikleri bağlantıların $w_1, w_2, \dots, w_n$ ile temsil edilen ağırlıkları ile çarpılır. Ağırlık değerleri sıfır, negatif veya pozitif olarak değişmektedir. Artı ve eksi değerler bilginin pozitif veya negatif bir etkisi olduğunu gösterirken ağırlığı sıfır olan girdiler etkisizdir.



Şekil 2.4 : Yapay bir nöron yapısı.

Toplama fonksiyonundan çıkan toplam, seçilmiş bir aktivasyon fonksiyonuyla işlenerek bir çıktıya y dönüştürülür (Şekil 2.4) [19]. Burada toplam, bazı eşik değerleri ile karşılaştırılır ve istenilen değerler arasında sınırlanır. Eğer toplam eşik değerinden büyükse işlem elemanı bir sinyal üretir, aksi durumda işlem elemanı bir sinyal üretmez. Her iki tepki de, ağ için, önemlidir. Aktivasyon fonksiyonu çoğunlukla doğrusal olmayan ve kolay türevlenebilir bir fonksiyon şeklinde seçilir. Minimum ve maksimum değerleri asimptotlarda birbirine yaklaştıran “S” eğrisi en çok tercih edilen fonksiyondur. Dikkate alınan aralıklar 0 ve 1 arasında ise Sigmoid, -1 ile 1 arasında ise Hiperbolik Tanjant fonksiyonu olarak seçilmelidir [20].

2.3. Literatür Araştırması

Yapılan literatür taramalarında YSA, LR, FO kullanılarak yapılan heyelan duyarlılık haritalama çalışmaları ve kullanılan parametreler incelenmiştir.

Goméz ve Kavzoğlu [21] Venezüella’nın Jabonosa Nehri Havzası’nda heyelan duyarlılık haritasını, YSA ile oluştururken parametre olarak; topoğrafik yükseklik, litoloji, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi, bakı, çizgisellik, toprak türü ve bitki örtüsünü kullanmışlardır. YSA ile oluşturdukları heyelan duyarlılık haritasının %90 doğrulukta olduğunu belirtmiş ve YSA yönteminin son derece iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Lee ve arkadaşları [22] Kore'nin Yongin Bölgesi'nde YSA yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmada, parametre olarak yamaç eğimi, yamaç şekli, toprak türü ve kalınlığı, drenaj ağı, ağaç yaşı ve ağaç çapını değerlendirmişlerdir. Heyelan envanter haritasını hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi incelemeleri ile elde etmişlerdir. Heyelan indeksini geri yayımlı YSA yöntemini kullanarak hesaplayan araştırmacılar, heyelan duyarlılık haritasını mevcut envanter haritası ile karşılaştırdıklarında haritalar arasında yüksek oranda bir uyum olduğunu saptamıştır.

Yılmaz [23], heyelan duyarlılık haritalamasında CP (Koşullu Olasılık), LR, YSA ve SVM (Destek Vektör Makinesi) yöntemlerinin performanslarını değerlendirmiştir. Bu amaç kapsamında Sivas'ın Koyulhisar bölgesinde seçtiği çalışma alanında heyelan oluşumuna etkin faktörler olarak; jeoloji, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akış gücü indeksi (SPI), normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), yerleşim ve yollara uzaklık seçilmiştir. Analizin son aşamasında heyelan duyarlılık haritaları, ANN, SVM, LR ve CP, modelleri kullanılarak oluşturulmuştur. Doğrulama sonuçlarına göre her yöntem için AUC değerleri; ANN, 0,846; SVM 0,841; LR 0,831 ve CP 0,827 olarak hesaplamıştır.

Ercanoğlu ve Temiz [24], Azdavay (Kastamonu) heyelan duyarlılık haritalarını, LR ve bulanık yaklaşım yöntemiyle üretmişlerdir. Parametre olarak litoloji, yükselti, arazi kullanımı, bakı, eğim ve derelere uzaklık kullanarak 18 adet duyarlılık haritası elde etmişlerdir. Oluşturulan duyarlılık haritalarının performansı için ROC ve cosine amplitude (rij) yöntemini kullanmış ve bulanık gamma işlemci ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası, 0,975 ile en yüksek performansı göstermiştir.

Yeşilnacar ve Topal [12], Hendek'te heyelan değerlendirmelerinde 19 farklı parametre: bakı, drenaj ağına uzaklık, sırtlara uzaklık, faya uzaklık, drenaj yoğunluğu, yola uzaklık, yükseklik, jeoloji fay yoğunluğu, , arazi örtüsü, yol yoğunluğu, eğim, eğim uzunluğu, plan ve profil eğriselliği, yüzey alan oranı, akarsu gücü, topoğrafik nemlilik indeksi kullanarak LR ve YSA yöntemleri ile heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra; çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört grupta sınıflandırmışlardır. LR analizi kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasında; mevcut heyelanların, yaklaşık % 48'inin, çok yüksek ve % 42'sinin yüksek heyelan duyarlılığında olduğu belirlenmiştir. YSA yöntemi kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasında ise mevcut heyelanların, yaklaşık % 77'sinin çok yüksek ve % 19'unun yüksek heyelan duyarlılığında belirlenmiştir.

Ayalew ve Yamagishi [25] tarafından Kakuda-Yahiko Dağları'nda heyelan duyarlılığı haritasının üretilmesi amacıyla yapılan çalışmada, lojistik regresyon analizi kullanmışlardır. Çalışma alanındaki 87 heyelanı içeren heyelan envanter haritasını bağımlı değişken, litoloji, anakaya ile yamaç ilişkisi, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, topoğrafik yükseklik, çizgisellikler ve yol ağı parametrelerini bağımsız değişkenler olarak almışlardır. Çalışma alanını, heyelan duyarlılığı açısından aşırı derecede çok düşük, düşük, düşük, orta ve yüksek olarak beş sınıfa ayıran araştırmacılar, toplam alanın, % 8,87'sinin orta ve yüksek duyarlılıkta olduğunu belirlemişlerdir.

Tekin ve arkadaşları [26] Doğu Akdeniz bölgesi içerisinde yer alan Karaman, Mersin, Adana, Osmaniye ve Hatay il sınırlarını kapsayan alanda, yapay sinir ağı yöntemiyle heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirmiştir. MTA tarafından üretilen Türkiye Heyelan Envanter veri tabanı çerçevesinde çalışma alanında olan 1451 adet heyelan haritalanmıştır. Duyarlılık değerlendirmelerinde heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak litoloji, kesit, düzlem ve teğetsel yamaç eğrilikleri, sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, pürüzlülük indeksi, yüzey rölyef oranı, eğim-yamaç yönelimi oranı olmak üzere 9 adet parametre kullanmıştır. Analizlerin performans değerlendirmelerini başarı-tahmin eğrileri kullanılarak gerçekleştirmiş ve heyelanların % 84 ile % 86'sının, orta ve çok yüksek duyarlı alanlarda yer aldığını belirlemiştir. Yüksek ve çok yüksek duyarlılıktaki alanların çalışma alanının % 17'sini oluşturduğunu belirtmiştir.

Ercanoğlu [27] Bartın'da seçilmiş bir alanda yapay sinir ağı (YSA) yöntemi ile heyelan duyarlılığını incelemiştir. Heyelan duyarlılığını değerlendirmek için 317 heyelanlı heyelan envanter haritası ve altı girdi parametresi (eğim açısı, eğim yönü, topoğrafik yükseklik, topoğrafik şekil, ıslaklık indeksi ve vejetasyon indeksi) kullanmıştır. Heyelanların alansal büyüklüklerinin büyük kısmı (% 87,2) heyelandan etkilenebilecek düzeyde sınıflandırılmış ve rij değeri 0,85 yüksek derecede benzerlik gösterdiğini ve YSA analizi sonucu elde edilen duyarlılık haritasının güvenilir olduğu ve uygulanan yöntemin yüksek performansla birlikte tatmin edici sonuçlar ürettiğini belirtmiştir.

Nefeslioğlu [28] İspir ve çevresinde farklı örneklem stratejileri kullanarak heyelan duyarlılık modelleri oluşturmuş ve arasındaki farkları incelemiştir. Analizlerinde lojistik regresyon ve yapay sinir ağlarını kullanılmış, duyarlılık modellerinin performansı için ROC eğrileri çizilerek eğri altındaki alan (AUC)

belirlenmiştir. Yapay sinir ağları için AUC değerlerini 0,949 – 0,915; lojistik regresyon içinse AUC değerlerini 0,886 – 0,884 olarak gözlemlemiştir.

Yılmaz [29] Şebinkarahisar (Giresun)'daki çalışmasında koşullu olasılıkla yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak her iki model için örneklem stratejilerinin heyelan duyarlılığındaki haritalamada etkisini karşılaştırmıştır. Parametre olarak çalışma alanının sayısal yükseklik modelini kullanarak topoğrafik yükseklik, drenaj sistemi, yamaç yönelimi, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi üretmiştir. Ardından her bir örneklem stratejisi için koşullu olasılık (CP) ve yapay sinir ağları (YSA) modeli kullanarak heyelan duyarlılık haritalarını elde etmiştir. Modellerin performans değerlendirmesini ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerleri ile belirlemiş ve iki yöntemden yapay sinir ağları yönteminin daha yüksek performans (AUC 0,921) gösterdiğini belirtmiştir.

Feryandi [30] istatistiksel Lojistik Regresyon ve Yapay Sinir Ağı ile heyelan duyarlılığını incelemiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında, 8 bölgeye özgü mevcut ve yaygın olarak kullanılan heyelan etkileyen faktörler (eğim, topografik şekil, eğrilik, litoloji, arazi kullanımı, yola mesafe ve nehirlerle olan uzaklık) önceden işlenmiş ve daha sonra istatistiki analizler ve CBS araçlarıyla analiz etmiştir. Tahmin modelleri için PASW, veri setini için ILWIS, Idrisi ve ArcGIS yazılımı ile performansını değerlendirmesi içinse ROC eğrisi kullanmıştır. Bölge beş heyelan duyarlılık sınıfına ayrılmış: çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek. Tüm modellere uygulanan uyum analizine göre YSA, çalışma alanının heyelana duyarlılığını diğer modellerden daha iyi belirlemiştir. ROC analizine göre YSA, istatistiksel lojistik regresyondan (AUC 0,95) daha başarılı performans göstermiştir (AUC 0,988).

Arca ve Kutoğlu [31] Batı Karadeniz'de bulunan Kozlu bölgesi ile çevresinin heyelan duyarlılığını Frekans Oranı yöntemi ile incelemiştir. Heyelan duyarlılık analizinde yükseklik, eğim, bakı, litoloji ve arazi kullanım yoğunluğu parametreleri kullanmıştır ve analiz sonucunda elde edilen duyarlılık haritası, “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” olarak 5 grupta sınıflandırmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının performansını değerlendirmek için heyelan envanter haritasındaki heyelanlı alanlar duyarlılık haritası ile karşılaştırarak, duyarlılık haritasının çok yüksek ve yüksek derecede duyarlı bölgeler kapsamında toplamda %96,11 uyumlu olduğunu tespit etmiştir.

Eker [32] Karadeniz bölgesindeki Bartın ili Ulus ilçesi için Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı lojistik regresyon (LR) ve yapay sinir ağı (YSA) yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritası hazırlamıştır. Çalışma kapsamında, Maden Tetkik ve Araştırma Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan heyelan envanter haritası ve on dört açıklayıcı değişken kullanmıştır. Çalışma alanı 250 m x 250 m' lik hücelere bölerek ve heyelan envanterinin, alan üzerinde dağılımının daha iyi dağılım göstermesi amacıyla Kernel yoğunluğu yöntemini kullanarak değişkenleri oluşturmuştur. Bağımlı değişkeni, kalibrasyon ve doğrulama olarak iki veri setine ayırmış ve analiz sonucunda belirlenen yapay sinir ağı daha başarılı bulunmuş ve çalışma alanını %27 çok yüksek, %25 yüksek, %30 düşük ve %18 'i çok düşük heyelan duyarlılığına sahip olarak belirlemiştir.

Can [20] Batı Karadeniz Bölgesi, Karabük ili sınırları içerisinde bir çalışma alanında heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yapay sinir ağları yönteminin yanında ağı eğitimi farklı algoritmaların kullanılması durumunda sonuç haritaları üzerindeki etkileri ve performanslarının araştırılmasını amaçlamıştır. Arazi çalışmaları ile birlikte hava fotoğrafları ve Google Earth görüntülerinden faydalanılarak, 196 adet heyelan haritalanmış ve heyelan veri tabanı oluşturmuştur. Heyelan duyarlılığı analizlerinde kullanılmak üzere; topoğrafik yükseklik, bakı, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi, bitki örtüsü indeksi ve litoloji parametrelerini kullanmıştır. Farklı algoritmaları kullanılarak eğitilen YSA modellerinin sonuç haritaları üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla, tek ve iki gizli tabakalı olmak üzere iki farklı ağa ait topolojik yapı oluşturmuştur. YSA tasarımı, bir adet gizli tabaka kullanıldığında test veri seti hata oranı en düşük olan ağ topolojisi 6-13-1, iki adet gizli tabaka kullanılması durumundaysa test veri seti hata oranı en düşük olan ağ topolojisi 6-11-6-1 olmuştur. Topolojik ağların eğitiminde, geri yayılım (BBP), hızlı yayılım (QP), eşlenik eğim (CGD) ve Levenberg-Marquardt (LM) olmak üzere birbirinden farklı dört eğitim algoritması aracılığıyla 8 adet YSA modeli oluşturmuştur. Bu modelleri gizli tabaka sayısı ve eğitim algoritması esasında; tek gizli tabakalı YSA modeli için; BBP1, QP1, CGD1, LM1 olarak ve iki gizli tabakalı YSA modeli için; BBP2, QP2; CGD2 ve LM2 olarak adlandırmış ve 8 farklı heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Belirtilen eğitim algoritmalarının, YSA modellerine etkileri ve performanslarını değerlendirmek amacıyla, mevcut heyelanlı alanlarla, üretilen duyarlılık haritalarını baz alarak ROC eğrileri çizdirmiş, ROC eğrisi

altındaki alanlar (AUC) ve ayrıca veri setleri arasındaki korelasyon değerini belirten rij katsayısı FULLSA yazılımı kullanarak hesaplamıştır. En yüksek performansa sahip haritanın, AUC değeri 0,817 ve rij değeri 0,972 olarak hesaplanan, CGD1 modeliyle üretilmiş heyelan duyarlılık haritası olduğunu belirtmiştir. Ayrıca YSA kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları, mevcut heyelanların dağılımı dikkate alınarak karşılaştırıldığında, yüksek heyelan duyarlılığını temsil eden alanları en iyi yansıtan haritanın CGD1 modeliyle üretilen ve çok yüksek heyelan duyarlılığını temsil eden alanları en iyi yansıtan haritanın ise QP2 modeliyle üretilen heyelan duyarlılık haritası olduğu sonucuna varmıştır. Bu değerlendirmeler ile analiz performanslarından yola çıkılarak; eşlenik eğim algoritması, geri yayılım, hızlı yayılım ve Levenberg-Marquardt algoritmalarından daha yavaş olmasına karşın, tahmin sonuçları bakımından en iyi olduğu, Levenberg–Marquardt algoritmasının test edilen algoritmalar arasında en hızlı olanı ve tahmin performansına bakıldığında, geri yayılım, hızlı yayılım algoritmaları kadar iyi olduğu, geri yayılım ve hızlı yayılım algoritmaları arasında ise hız ve tahmin performansı açısından belirgin bir farklılık bulunmadığı sonucuna varmıştır.

Çan [33] Akdeniz bölgesindeki Mersin, Adana, Osmaniye ve Hatay’da heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. İl sınırlarını çalışma alanı olarak belirlemiştir. Çalışmayı 30 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanarak yamaç eğimi, pürüzlülük indeksi, teğetsel, kesitsel, düzlemsel yamaç eğrisellikleri, eğim/yamaç yönelimi parametreleriyle analiz yöntemi olarak YSA kullanarak gerçekleştirmiştir. Elde edilen haritaların performans doğrulamasını ROC eğrileri kullanarak gerçekleştirmiştir. Mersin, Adana, Osmaniye ve Hatay illerinin performanslarını 0,828, 0,789, 0,721, 0,884 olarak hesaplamıştır.

Tekin ve Çan [34] Ermenek Çayı havzası, Ermenek Çayı havzasında kayma türü heyelanların duyarlılık değerlendirmesini yapay sinir ağları yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. 354 adet heyelan haritalanmıştır ve heyelanı tetikleyici etmenler olaraksa sayısal yükseklik modeli, eğim-yamaç yönelimi oranı, yamaç eğimi, yamaç eğiminin ikinci türevi, yamaç eğriselliği, topoğrafik nemlilik indeksi, pürüzlülük indeksi, yüzey rölyef oranı ve yamaç durumu olmak üzere 9 adet bağımsız değişken kullanmıştır. Haritalama ünitesi olarak 10*10 m mekânsal çözünürlüğe sahip grid hücreler tercih edilmiştir. Heyelan duyarlılık modellemesi için elde edilen veri seti, rastgele seçim yöntemiyle % 15 test, % 15 doğrulama ve % 70 analiz olarak üç kısma

ayrılarak analizlerde geri yayılım yöntemiyle yapılmıştır. Duyarlılık haritaları geometrik aralıklar gözetilerek çok düşük - çok yüksek arasında 5 sınıfta gruplandırılmıştır. Çalışma alanının % 30'na karşılık gelen yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıflar içerisinde mevcut heyelanların %74'nün yer aldığı ve duyarlılık haritasının yüksek doğrulukta olduğunu belirlemiştir.

Alkeveli [35] Yenice (Karabük) kuzeyinde seçilen bir alanda farklı yöntemlerle oluşturulan veri tabanlarını, lojistik regresyon, karar verme ağaçları ve yapay sinir ağları yöntemleri ile analiz ederek, kullanılan veri tabanı ve yöntemlerin sonuç haritalar üzerindeki etkilerini ve performanslarını araştırmıştır. Çalışması kapsamında, çalışma alanında 75 adet dairesel kayma ve analizlerde topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, NDVI, bakı, nehir güç indeksi, plan eğriselliği, profil eğriselliği, drenaj ağlarına uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi parametrelerini kullanmıştır. Seçilen bu parametreler standart sapmanın 1,25 ve 3,00 aralığında değiştiği değerler gözetilerek, Chebyshev teoremi yardımı ile 8 adet heyelan veri tabanı elde etmiştir. Kök hücre ve rastgele noktalama teknikleri ile elde edilen 2 adet heyelan envanteri ile beraber toplam 10 heyelan veritabanı, 3 farklı tür karar destek ağacı algoritmasını (ratio, entropy, gini), yapay sinir ağları ve lojistik regresyon tekniklerinde kullanarak çalışma alanı için 50 adet heyelan duyarlılık haritası oluşturmuştur. Elde edilen 50 adet heyelan duyarlılık haritasına ait performans değerlendirmeleri hem bu alanda, hem de deneme alanı içinde gerçekleştirmiştir. ROC (Relative Operating Characteristic) tekniği sonucunda AUC değerlerini hesaplamış, en yüksek performansın 0,873 değeri ile yapay sinir ağı yöntemi ve Chebyshev teoremine dayanan VT-3.4 heyelan veri tabanına ait olduğu sonucunu elde ederken en düşük değerin ise, 0,526 değeri ile VT-1 veri tabanı ve karar verme ağacı algoritmasına ait olduğunu elde etmiştir.

Kawabata [36] YSA ve ASTER görüntülerinden elde edilen verileri kullanarak, doğru ve verimli bir veri entegrasyonu yöntemi, işleme ve heyelana duyarlılık haritası oluşturulması üzerine odaklanmaktadır. Yöntem iki ana aşamadan oluşmuştur. Birinci aşama veri entegrasyonu ve analizi, ikincisi Yapay Sinir Ağı eğitim ve haritalandırmasıdır. Veri bütünleştirme ve analiz aşaması, heyelan oluşumu ile jeolojik ve DEM türetilmiş jeomorfolojik parametrelerle ilişkili CBS tabanlı istatistiksel analizi içerir. Parametreler, eğim, görünüm, yükselme, jeoloji, jeolojik sınırların yoğunluğu ve sınırlara olan mesafeyi içerir. İkinci aşamada heyelan duyarlılık indeksi, YSA eğitimiyle ilk aşamada belirlenen önemli jeolojik ve jeomorfolojik parametrelere

de ilişkindir. Daha sonra, eğitilmiş YSA, bir heyelana duyarlılık haritası oluşturmak için kullanılmıştır. 2004 Niigata depreminden elde edilen heyelan verileri ve ASTER görüntülerinden elde edilen bir DEM kullanılmıştır. Alan, gelişmiş yöntemin verimliliğini ve doğruluğunu kontrol etmek için yeterli heyelan verileri sağlamıştır. Deneyin başlangıç sonuçlarına dayanarak, geliştirilen yöntem, belirli bir bölgede heyelan oluşma olasılığının belirlenmesinde % 90'dan fazla doğru olduğunu vurgulamıştır.

Yılmaz [37] Tokat ilinde yaptığı çalışmada frekans oranı, lojistik regresyon ve yapay sinir ağı yöntemlerini karşılaştırmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinde jeoloji, faylar, drenaj sistemi, topoğrafik yükseklik, eğim açısı, eğim yüzeyi, topoğrafik ıslaklık indeksi (TWI) ve akış gücü indeksi (SPI) gibi heyelan ile ilgili faktörler kullanmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarını, frekans oranı, lojistik regresyon ve sinir ağı modellerinden üretmiş ve doğrulamalarıyla karşılaştırmıştır. Her üç model için duyarlılık haritalarının yüksek doğruluk dereceleri, heyelan duyarlılık haritalarının bilinen heyelan yerleri ile karşılaştırılmasından elde etmiştir. Bununla birlikte, frekans oranı, lojistik regresyon ve yapay sinir ağları için eğri altında kalan alan değerleri (AUC) 0,826, 0,842 ve 0,852'dir. YSA modelinden elde edilen haritanın diğer modellerden daha doğru olduğunu belirtmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANI VE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi

3.1.1. Genel Özellikler

Güneysu, Rize il merkezinin güneydoğusunda, 107 km² alana sahip olan Rize'nin iç kesim ilçelerindendir [38] . Çalışma alanı F45d3, F45d4, G44b2, G45a1, G45a2; G45a3, G45a4 memleket paftalarında yer almakta olup havzanın toplam alanı 33.092,11 ha' dır (Şekil 3.1).

Çalışma alanının projeksiyon sistemi Lambert Comformal Conic ve datum European Datum 1950 seçilmiştir. Projeksiyon sistemi ilk başta Universal Transverse Mercator projeksiyonu belirlenmiş fakat Harita Genel Komutanlığından temin edilen Sayısal Yükseklik Modeli nin projeksiyonu dönüştürüldüğünde, SYM den türetilen parametre analizlerinde raster veride bozulmalar meydana gelmiştir. Dolayısı ile bütün veriler SYM'nin projeksiyon sistemi olan Lambert Comformal Conic projeksiyonu tanımlanarak üretilmiştir.



Şekil 3.1: Taşlıdere havzası çalışma alanı haritası.

3.1.2. İklim Özellikleri

Havzanın genel iklim özelliklerini belirten meteorolojik gözlemler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen sahaya en yakın 4 m rakımlı Rize Meteoroloji istasyonuna göre Tablo 3.2’ de gösterilmiştir. Rize Meteoroloji istasyonu verileri ile ülkemizin iklim koşullarına en uygun metot olarak bilinen Erinç’in yağış müessiriyet indisi formülü hesaplanmıştır. Bir alandaki yağış miktarıyla yıllık ortalama maksimum sıcaklık arasındaki korelasyon yağış müessiriyet indisi olarak ifade edilmektedir [39].

$$I_m = \frac{P}{T_{om}} \quad (3.1)$$

- I_m : Yıllık Yağış Müessiriyet İndisi
- P = Yıllık Ortalama Yağış (mm.)
- T_{om} =Yıllık Ortalama Maksimum Sıcaklık (°C)

Meteorolojik ölçümlere göre (31 yıllık rasat) yıllık ortalama yağış 2.233,5 mm’dir. Yıllık ortalama yüksek sıcaklığı 18 °C ve ortalama sıcaklığı ise 14,1 °C’ dir (Tablo 3.2). Proje sahasının iklim özelliklerini belirlemek amacıyla Eşitlik 3.1’ de değerler yerine konularak; $I_m = 2.233,5/18=124$ olarak elde edilmiştir. Erinç’in Yağış Müessiriyeti İndisine göre iklim ve vejetasyon tipleri Tablo 3.1’ te belirtilmiştir [40]. Bulunan 124 I_m değeri Taşlıdere havzasının iklim tipinin çok nemli, vejetasyon tipinin ise çok nemli mıntıka ormanları olduğunu göstermektedir (Tablo 3.1)

Tablo 3.1: Prof. Dr. Sırrı Erinç İndisine göre Sınıflandırma.

Indis	İklim Tipi	Vejetasyon Tipi
$I < 8$	Tam kurak	Çöl
$8 < I < 15$	Kurak	Çölümsü step
$15 < I < 23$	Yarı kurak	Step
$23 < I < 40$	Yarı nemli	Park görünümlü kurak mıntıka ormanları
$40 < I < 55$	Nemli	Nemli mıntıka ormanları
$55 < I$	Çok nemli	Çok nemli mıntıka ormanları

Tablo 3.2: Rize ili meteorolojik gözlem verileri.

İstasyonun Adı: Rize												
Rakımı (m) : 4 m Sahaya Uzaklığı: 15 km												
AYLAR	Meteorolojik Gözlem Değerleri										Yağış Etkinliği İndisi	İklim Tipi
	Ortalama Top. Yağış (mm)	Günlük en yüksek Yağış Miktarı (mm)	Yağış ≥ 10 mm Olduğu Günler Sayısı	Yağış ≥ 50 mm Olduğu Günler Sayısı	Ortalama Kar Örtülü Günler Sayısı	En Yüksek Kar Örtüsü Kalınlığı (cm)	En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Yüksek Sıcaklık (°C)		
Ocak	208,3	96,6	6,7	0,6	3,2	56	-5,4	3,6	6,5	10,5	238	ÇN
Şubat	181,7	87,1	6,5	0,4	4,7	69	-6,4	3,3	6,2	10,3	211	ÇN
Mart	144,0	95,6	5,4	0,1	1,9	77	-6,1	4,7	7,7	11,7	147	ÇN
Nisan	92,0	48,8	3,2	0	0	0	-2,8	8,4	11,8	15,7	70	ÇN
Mayıs	98,6	99,8	3,0	0,2	0	0	4,2	12,4	15,9	19,2	61	ÇN
Haziran	139,1	133,4	4,4	0,3	0	0	9,7	16,4	20,2	23,6	70	ÇN
Temmuz	135,4	79,6	4,1	0,4	0	0	12	19,6	22,8	26,1	62	ÇN
Ağustos	179,8	156,8	4,9	0,7	0	0	13,8	19,9	23,0	26,5	81	ÇN
Eylül	239,1	160,6	6,7	1,2	0	0	9,2	16,7	19,8	24,0	119	ÇN
Ekim	314,4	178,7	8,1	1,9	0	0	3,20	12,7	15,8	20,1	187	ÇN
Kasım	251,1	109,5	6,9	1,2	0,2	2	0,4	8,4	11,4	15,9	189	ÇN
Aralık	250,0	130,8	7,6	0,9	2	88	-3,2	5,2	8,2	12,4	241	ÇN
YILLIK	2233,5	178,7	67,5	7,9	12	88	-6,4	10,9	14,1	18,0	124	ÇN

3.1.3. Bitki Örtüsü

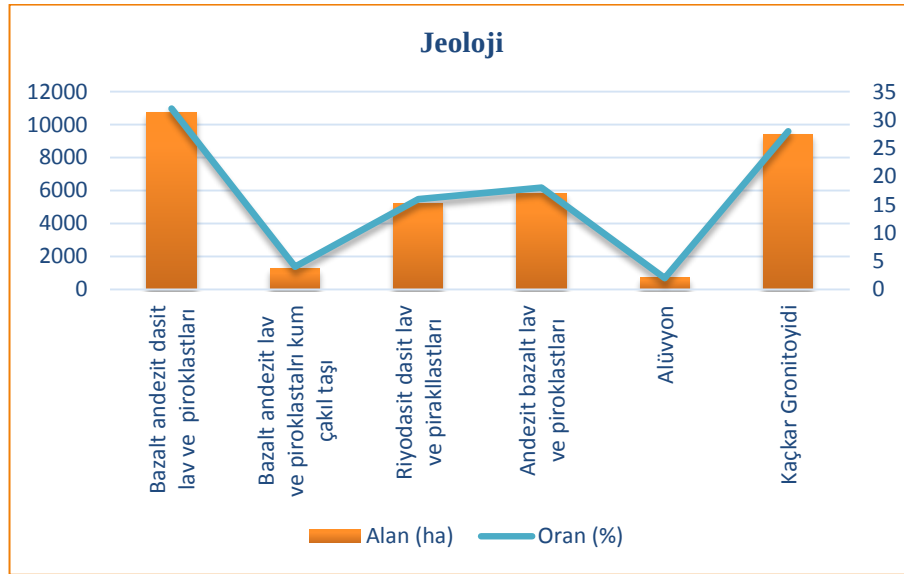
Çalışma alanı sık ve gür olan doğal bir bitki örtüsü ile kaplıdır. Kıyı ile 750 m arasındaki yükseklikte geniş yapraklı kıyı ormanlarına sahiptir. Bu alanlarda bazı sırtlar boyunca iğne yapraklıların aşağılara sarktığı gözlenir. Sık ve gür olan bu orman biçimlenmesiyle zengin orman altı biçimlenmesinden meydana gelen bu yükseklik kısmına Kolşik Flora denmektedir. Bu alanın baskın çeşidi sakallı kızılgağaçtır (Alnus Barbata). Ayrıca yer alan diğer türler kayın, gürgen, karaağaç türleri, kestane, ıhlamur türleri, yabani karayemiş, yabani Trabzon hurması, yabani kiraz, defne, tesbih ağacı, çınar, meşe, dişbudak ve şimşirdir. Yabani kuruyemişle sakallı kızılgağacın akarsu vadisi boyunca orman üst sınırına çıkmaktadır. Bu basamak çok zengin bir orman altı örtüsüne sahip olup bölgenin hâkim türü “Kumar” adıyla bilinen orman gülüdür (Rhododendron). Ayrıca çok sayıda odunsu ve otsu bitki çeşidi de orman altı örtüsünde mevcuttur.

800-1400 m yükseklik basamağı ise karışık orman kuşağı olarak belirlidir. Bu basamağın yaygın türleri kestane, kayın, gürgen, çam türleri, ladin ve sakallı kızılgağaçtır. Orman altı örtüsünü yine orman gülü, odunsu ve otsu bitkiler meydana

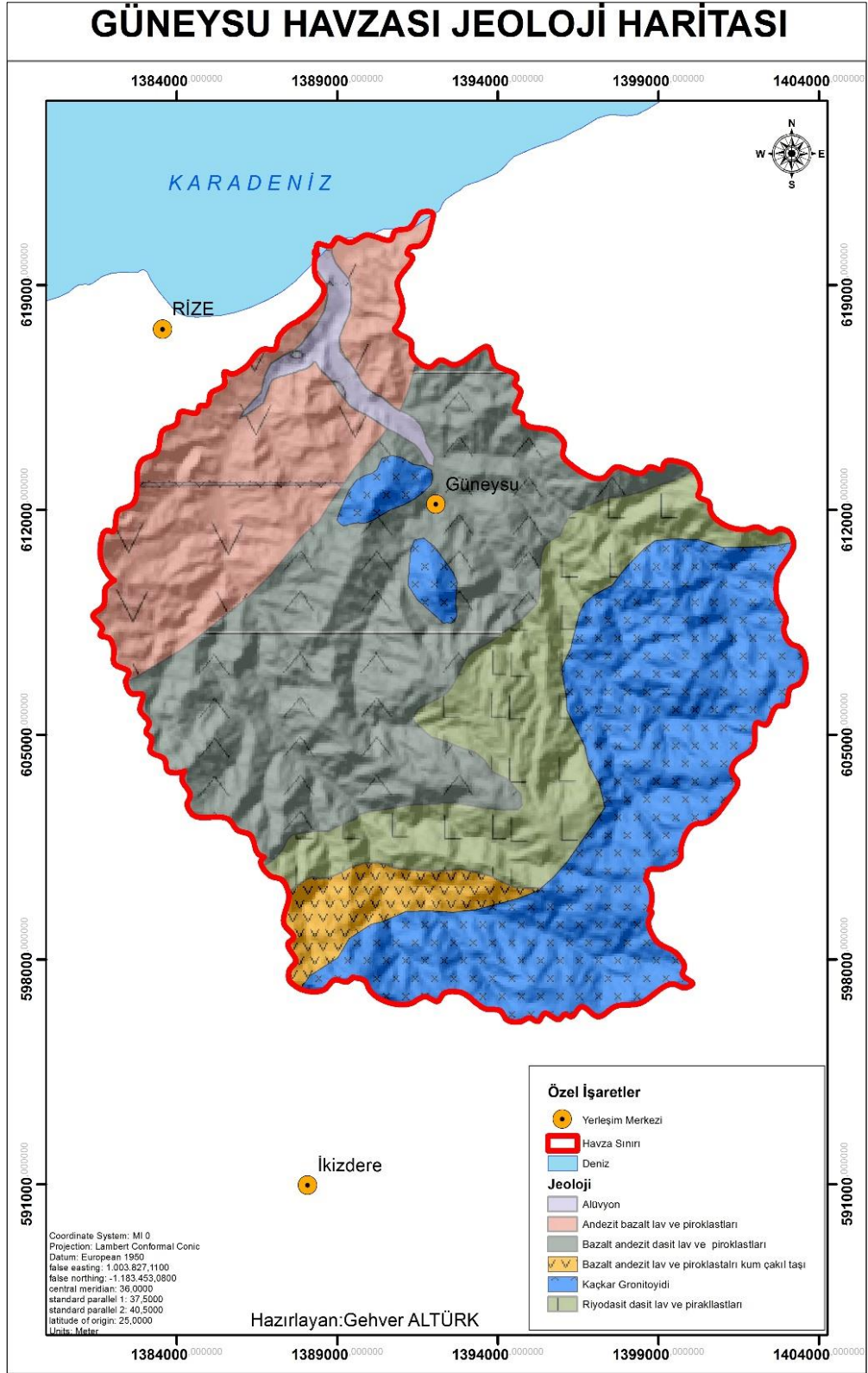
getirir. Yükseklik arttıkça iğne yapraklı türler hâkim olur ve 1600 m yükseklikten sonra iğne yapraklılar kesin bir hâkimiyet sağlar. Basamağın hâkim türü ladindir (*Picea Orientalis*) ve orman üst sınırına gidildikçe Kafkas köknarının da yaygın şekilde yer aldığı görülmekte olup orman altı bitki örtüsü diğer basamaklarla aynıdır. Ormanlar 2000-2200 m den sonra yerini alp çayırlarına bırakmaktadır. Turuncu, beyaz küçük dağ zambaklarıyla papatya vb. türlerin bulunduğu bu basamakta, çayırlar yanında lekeler şeklinde yer yer kısa boylu olan orman gülü çalılıkları mevcuttur [41].

3.2. Jeolojik Özellikler

Çalışma sahasının genel jeolojisi Maden Tetkik Arama (MTA) 'nın 1/100.000 ölçekli jeoloji paftalarından yararlanılarak oluşturulan genel jeoloji haritası yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Taşlıdere havzası jeoloji sınıfları dağılımı.



Şekil 3.3: Taşlıdere Havzası Jeoloji Haritası.

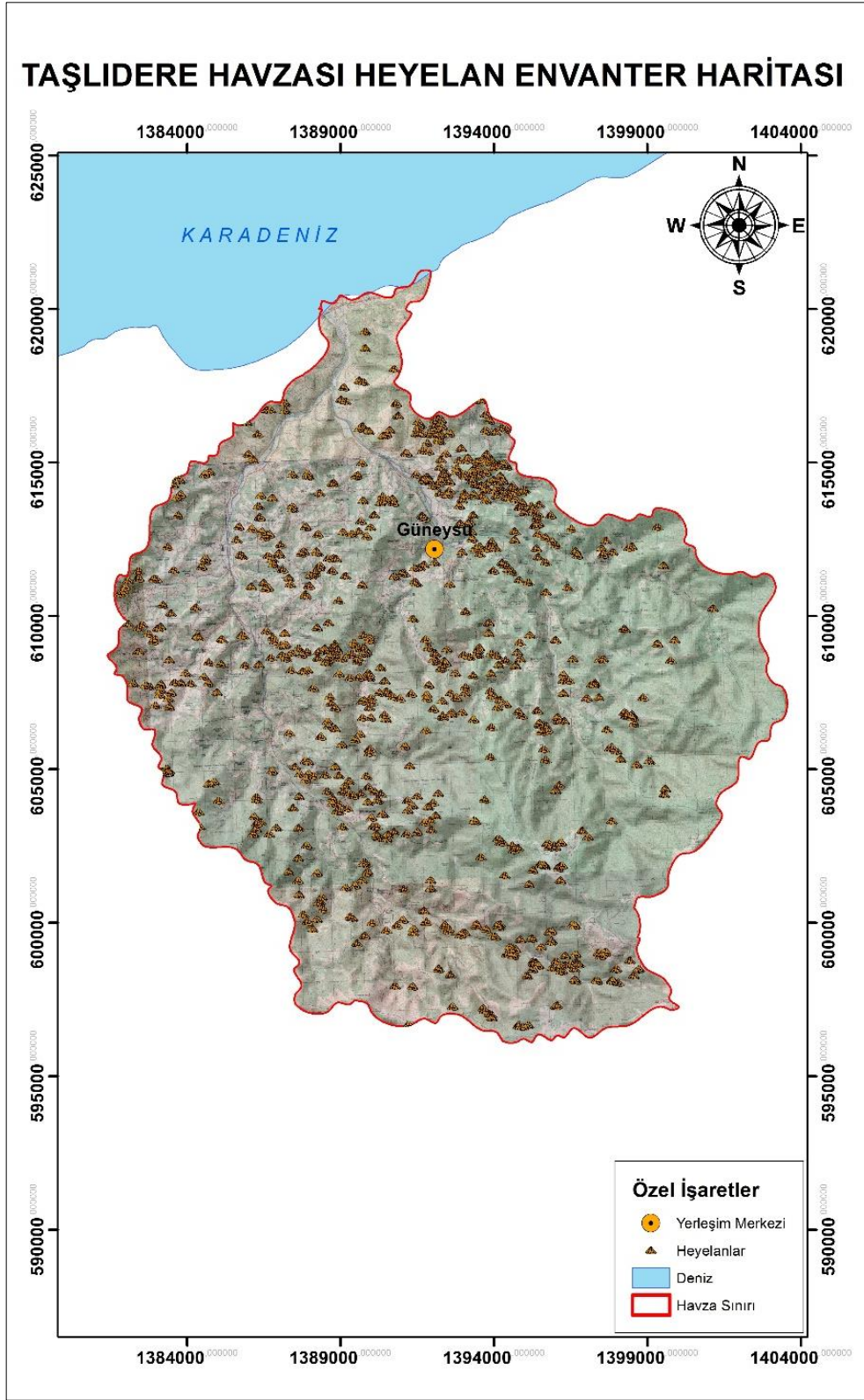
Çalışma alanı Güven [42] tarafından Çatak formasyonu olarak adlandırılmış bazik karakterli volkanoklastik birim ile başlamaktadır. Formasyon temel olarak bazalt, andezit lav ve piroklastları ile marn, kumtaşı, silttaşı, kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı ve şeyl tabakalarının ardalanmasından meydana gelmektedir. Çatak formasyonunu uyumlu olarak üzerine gelen asidik karakterli lav ve piroklastlar tarafından Kızılkaya formasyonu olarak tanımlanmaktadır. Formasyon, büyük ölçüde riyodasitik ve dasitik lav ile piroklastlardan meydana gelmektedir. Asidik volkanitleri bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve çökel kaya ardalanmasının oluşturduğu volkano-tortul istif Çağlayan formasyonu üzerler. Formasyonun hakim kaya türü bazalt, andezit lav ve piroklastlarıdır. Üst Kretase yaşlı birimlerin içerisine ilerleyen; granitten gabroya dek geniş olan yelpazede değişen intrüzif kompleks intrüzyon yaşı gözetilmeksizin Kaçkar granitoidleri olarak tanımlanmaktadır. Üst Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile açısal uyumsuz olarak gelen, genellikle kırıntılı çökellerle başlayan ve üst kesimlerinde volkano-tortul seviyeleri barındıran diğer bir formasyon da Kabaköy formasyonu olarak tanımlanmaktadır. Formasyonun, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakalarını içeren masif veya kalın tabakalı bol ojit ve hornblendli andezit-bazalt lav ve piroklastlarının oluşturduğu volkano-tortul bir istiftten oluştuğu belirtilmektedir. Stratigrafik istifteki daha yaşlı birimlerden türeyen değişik boyuttaki volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmış, akarsu vadilerinin genişlediği ve hızlarının azaldığı denize yakın düzlük alanlarda birikmiş güncel akarsu çökelleri ise alüvyon olarak ifade edilmektedir [42-44].

Havza alanı Pontid tektonik birliğinin doğu kesimi içerisinde bulunmaktadır [44]. Doğu Pontidler olarak da bilinen bölge, Kara Deniz'in güneydoğu kıyısı boyunca 500 km uzunlukta ve 100 km genişlikte bir dağ sırasını oluşturur [45]. Jeolojik olarak Doğu Pontidler iyi korunmuş eski bir ada yayı olarak tanımlanmaktadır [46]. Söz konusu tektonik birlik, gerek tektonik konumu gerekse içerisinde yer alan, ekonomik olarak işletebilir maden yatakları nedeniyle birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [45-48]. Doğu Pontidler genellikle iç (güney) ve dış (kuzey) olmak üzere iki alt kısma ayrılmaktadırlar [42, 47-48]. Dış Doğu Pontidler içerisinde çoğunlukla Senoniyen ve Orta Eosen volkanik ve volkanoklastik kayalar izlenirken, Senoniyen öncesi kayalar genel olarak İç Doğu Pontidler içerisinde bulunmaktadır [45]. Güven [42] Dış Doğu Pontidleri (kuzey) magmatik aktivetinin en yoğun izlendiği bölge olarak ifade etmekte, buna karşılık, magmatizmanın etki alanı dışında kalan tortul havza

çökellerinin yüzeylendiği bölgeyi ise İç Doğu Pontidler (güney) olarak tanımlamaktadır. Buna göre, çalışma alanı özelde, ağırlıklı olarak Dış Doğu Pontidler içerisinde bulunmaktadır.

3.3. Heyelan Envanter

Heyelan envanter haritaları heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının üretilmesi amacıyla gerekli olan esas bilgileri içeren en önemli kaynaklardır. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemlerinin çoğunda ana altlık olan heyelan envanteri, bir alandaki heyelanların lokasyonuna (nokta veya poligon olarak), türüne, aktivitesine ve fiziksel özelliklerine vb. dair bilgileri içerir [49]. Heyelan envanterinin hazırlanması için birçok yöntem kullanılabilir. İlk aşamada, geçmişte meydana gelmiş heyelanlar hakkında bilgi edinilmelidir. Bunun sebebi, aynı özelliklere sahip alanların ayırt edilebilmesi ve bu özellikler kullanılarak ileriye dönük modellenmesi amaçlanmaktadır. Ancak, zaman içerisinde arazi kullanımındaki değişimler, yol yapımı vb. sebeplerden dolayı meydana gelen değişimlerin belirlenebilmesi için, mevcut heyelan veri tabanlarının güncellenebilmesi veya kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çalışma alanının heyelan envanteri çıkarılması için havzada arazi etüdü yapılmış ve güncel heyelanlar işaretlenmiştir. Arazi çalışmasından sonra, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü'nün Rize ili Güneysu Havzası Heyelan Duyarlılık Haritalaması Projesi kapsamında gerçekleştiren çalışma kapsamında Doç. Dr. Hakan Ahmet Nefeslioğlu tarafından sığ heyelanların envanteri (kayma yüzeyi derinliği $< \sim 5\text{m}$) envanteri çok zamanlı, 1995 yılına ait 1: 15.000 ölçeğinde renkli kızılötesi (infrared) stereo hava fotoğrafları ve 2014 yılına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yorumlarından oluşturulmuştur. Rize Güneysu ilçesinde 889 adet heyelan verisi nokta (point shapefile) olarak sayısallaştırılmıştır. Taşlıdere havzasında ise sayısallaştırılan bu heyelanlardan 878 tanesi yer almaktadır (Şekil 3.4).



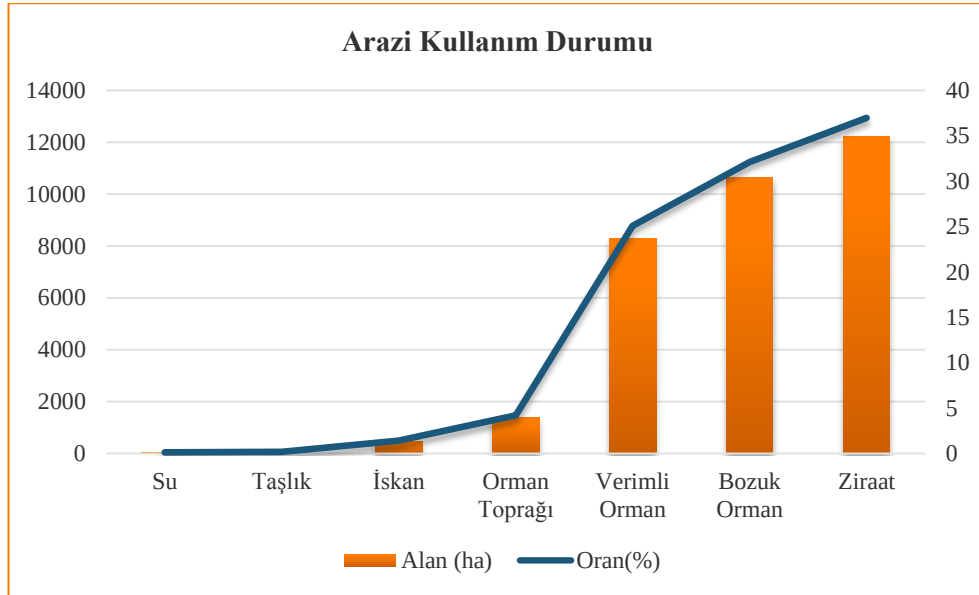
Şekil 3.4: Taşlıdere heyelan envanter haritası.

3.4. Arazi Kullanım Durumu Haritası

Çalışmada “Arazi Kullanım Durumu Haritası” üretmek için Orman Genel Müdürlüğü tarafından üretilen amenajman haritaları temel altlık olarak kullanılmıştır.

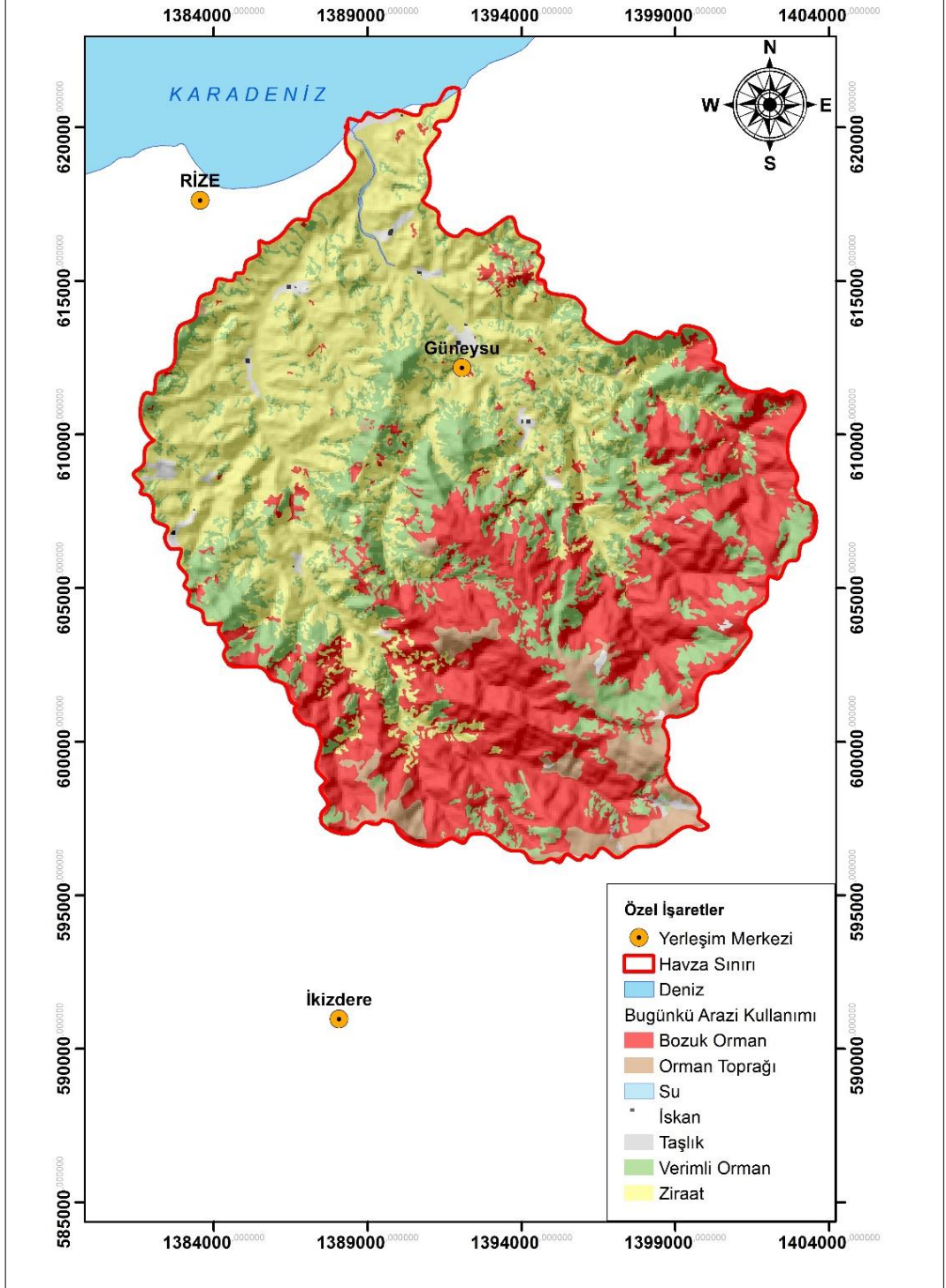
Orman Amenajmanı; bir orman işletmesi yahut onun ayrıldığı alt işletme birimlerini, belirlenen amaçlara göre planlamak, plan uygulamasını izlemek ve denetlemek, belirli periyotlarda hazırlanan envanterle işletmede oluşan değişimleri ortaya koymak, işletmenin ekonomik sonucunu saptamak ve neticesinde süresi dolan planı yenilemek için gerekli bilgileri içeren denetleyici bir ormancılık bilim dalı olarak tanımlanmaktadır [50].

Amenajman verileri doğrultusunda havzanın %0,11 su, %0,17 taşlık, %1,4 taşlık,%4,2 orman toprağı, %25,07 verimli orman, %32,08 bozuk orman (insanların orman ekosisteminde herhangi bir fonksiyonu bozmasından dolayı kapalılığın, ağaç sayısının, dikili hacmin ve orman verimliğinin azalması sonucunda oluşan orman alanı) , %36,96’sı ziraat olarak sınıflandırılarak bugünkü arazi kullanım durumu haritası çıkarılmıştır (Şekil 3.5, 3.6).



Şekil 3.5: Arazi kullanım durumu dağılımı.

TAŞLIDERE HAVZASI ARAZİ KULLANIM DURUMU HARİTASI

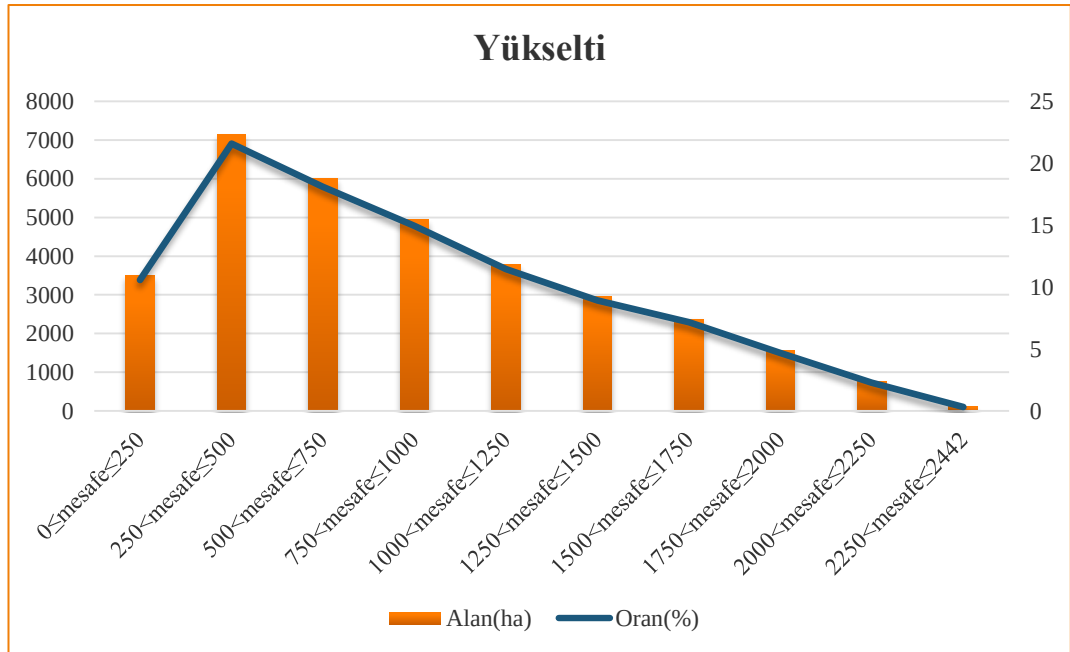


Şekil 3.6: Taşlıdere havzası arazi kullanım durumu haritası.

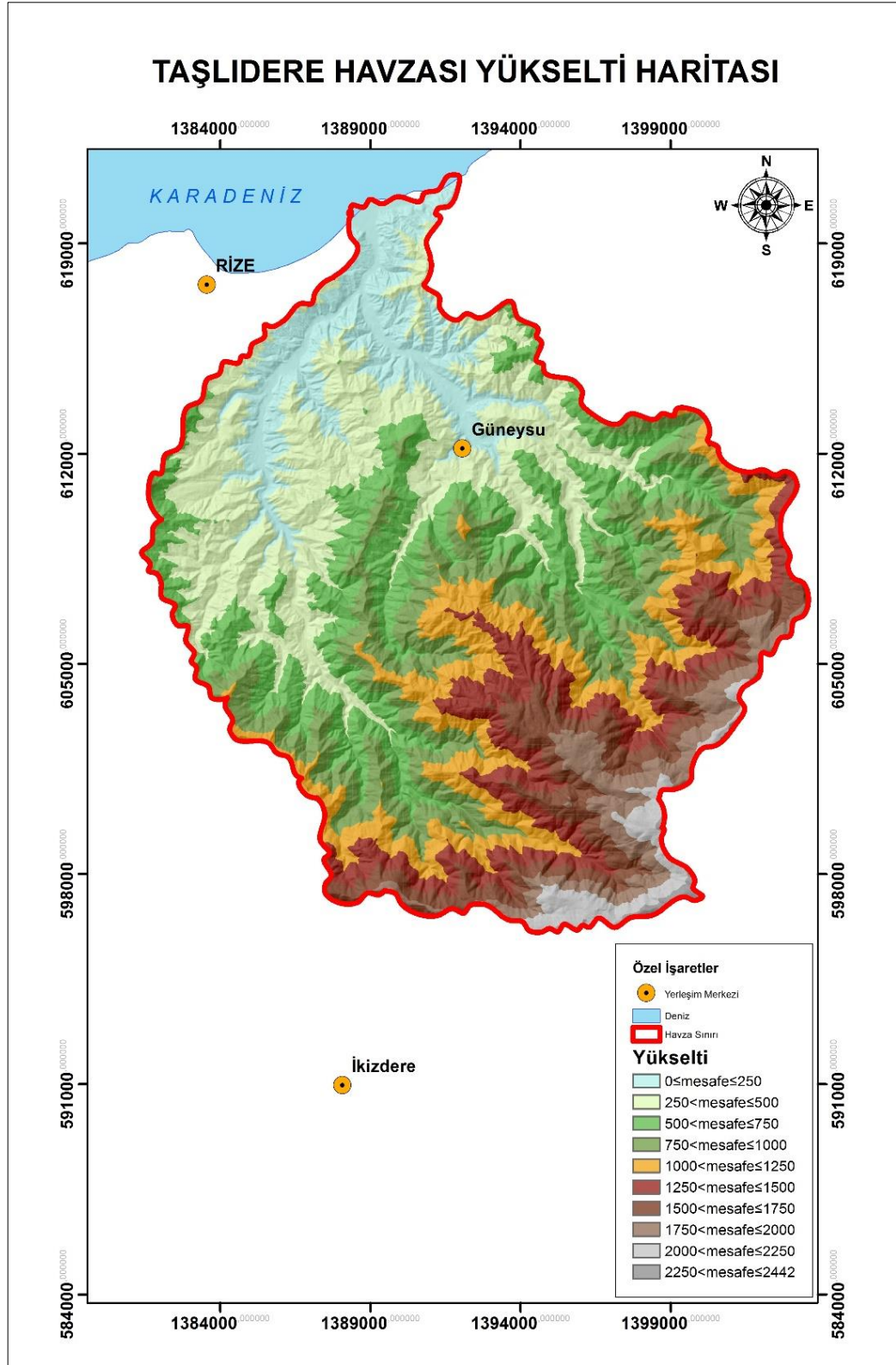
3.5. Yükselti

Coğrafi olarak bir hücrenin konumu, matris içerisindeki hücrelerin satır ve sütunlardaki yeri olarak tanımlanır [51]. Yükseklik verilerinin dijital gösterimi sayısal yükseklik modeli (SYM) olarak isimlendirilmektedir. SYM olgusu ilk olarak 1950’li yıllarda ortaya çıkmış ve başlangıçta veri toplama yöntemi büyük oranda yersel ve fotogrametrik yöntemler iken günümüzde uydu görüntüleri ve Light Detection and Ranging (LiDAR) teknolojileri ile SYM üretimi yaygın olarak yapılmaktadır [52-54].

SYM ’nin oluşturulabilmesi için yazılımlarda birden çok enterpolasyon yöntemi bulunmaktadır. Ancak çalışmada Tarım ve Orman Bakanlığı (Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı), Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı’ndan temin edilen HGK tarafından üretilen 10*10 çözünürlükteki SYM verileri kullanılmıştır. Havzanın SYM’ den elde edilen yükselti değerleri minimum 0 m, maksimum 2442 m olup ortalama yükselti 845 m’dir (Şekil 3.7, 3.8).



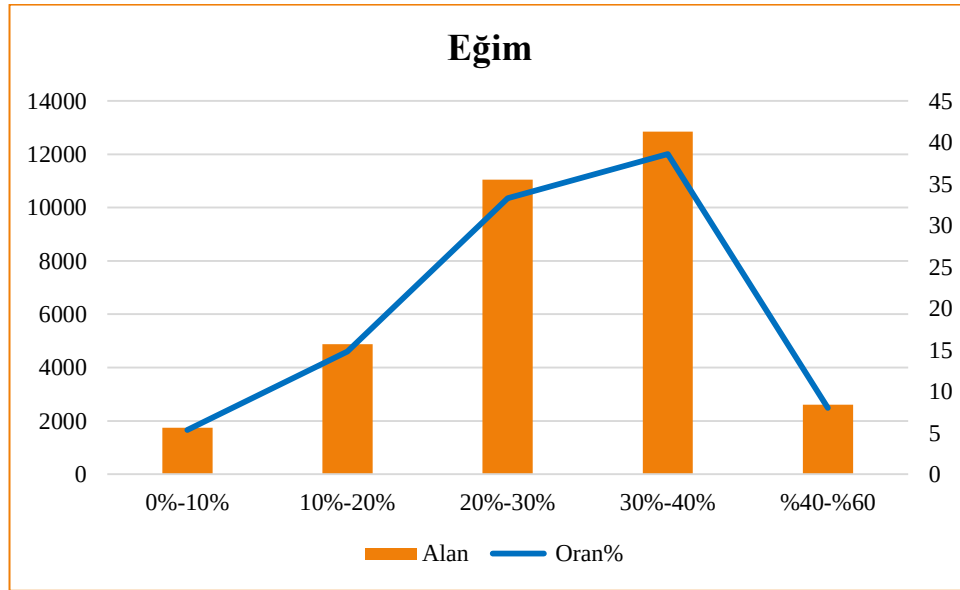
Şekil 3.7: Yükselti alan ve yüzde dağılımı.



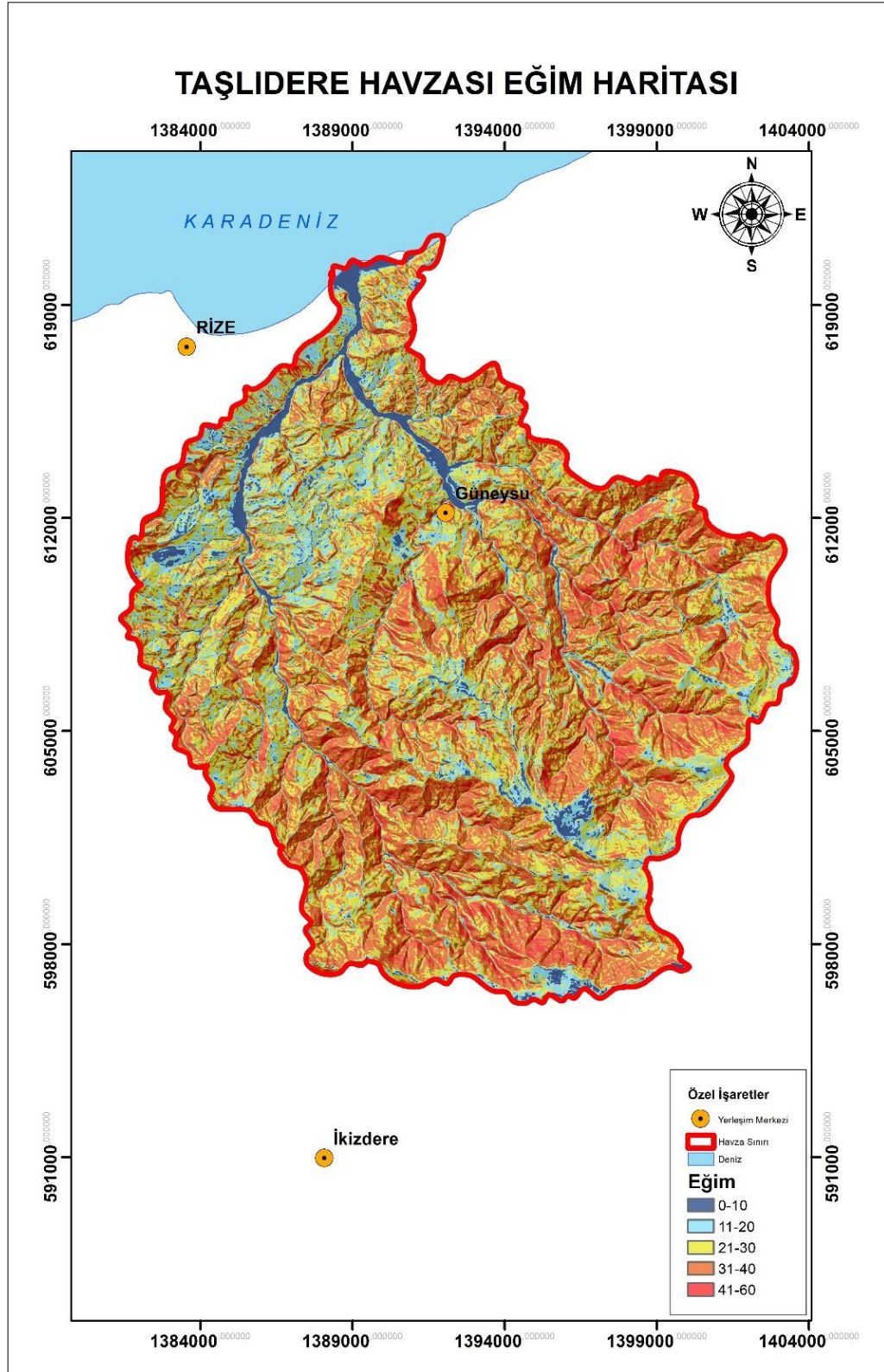
Şekil 3.8: Taşlıdere havzası yükselti haritası.

3.6. Eğim

Eğim, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan en önemli faktörlerdendir ve birçok araştırmacı çalışmalarında eğimi kullanmıştır [21, 24, 28, 55-56] . Eğim, su ve diğer malzemenin graviteye bağlı hareketine etki etmektedir. Yüzeyle birlikte yüzeysel akışa bağlı; topraktaki suyun miktarı, erozyon meydana getirme potansiyeli, toprak oluşumu vb süreçlerle hidrolojik ve jeolojik yönden heyelanların meydana gelmesinde önemli bir faktördür [57]. Eğimin; 0-10° arasında düşük eğimli kısımlarında genellikle depolanma, 10° ile 30° arasındaki orta eğimli alanlarda kısmi derin oyuntular, aşınma, heyelan ve kaya düşmeleri; 30°'nin üstündeki dik eğimli kısımlardaysa şiddetli erozyon, heyelan ve kaya düşmelerinin görüldüğü bölgelerdir [58]. Çalışma alanının eğim haritası SYM' den türetilmiştir (Şekil 3.9, 3.10).



Şekil 3.9: Taşlıdere havzası eğim dağılımı.

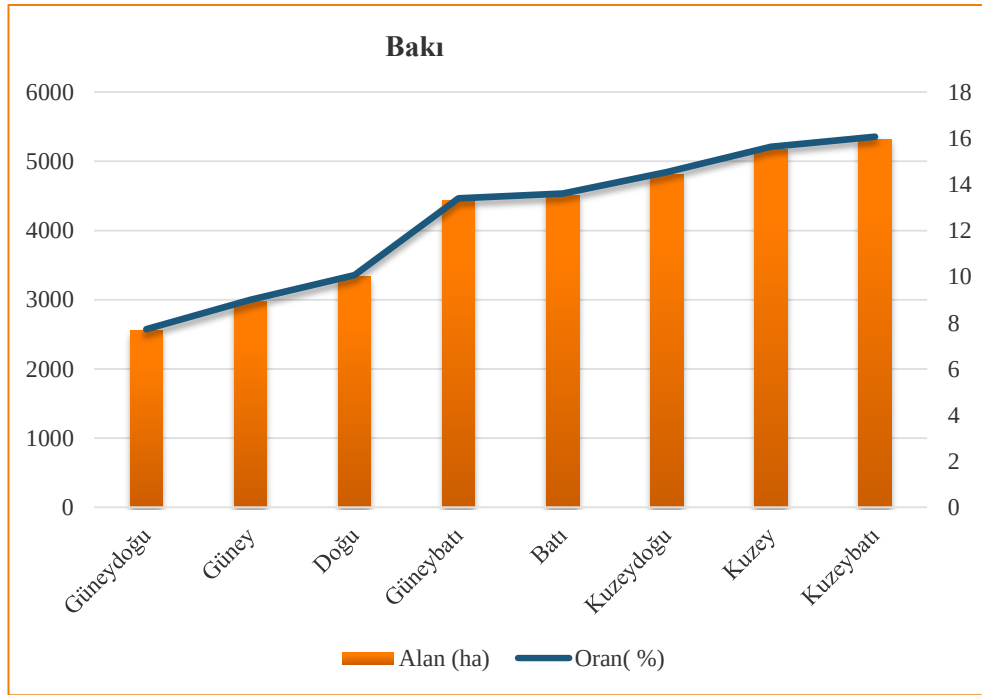


Şekil 3.10: Taşlıdere havzası eğim haritası.

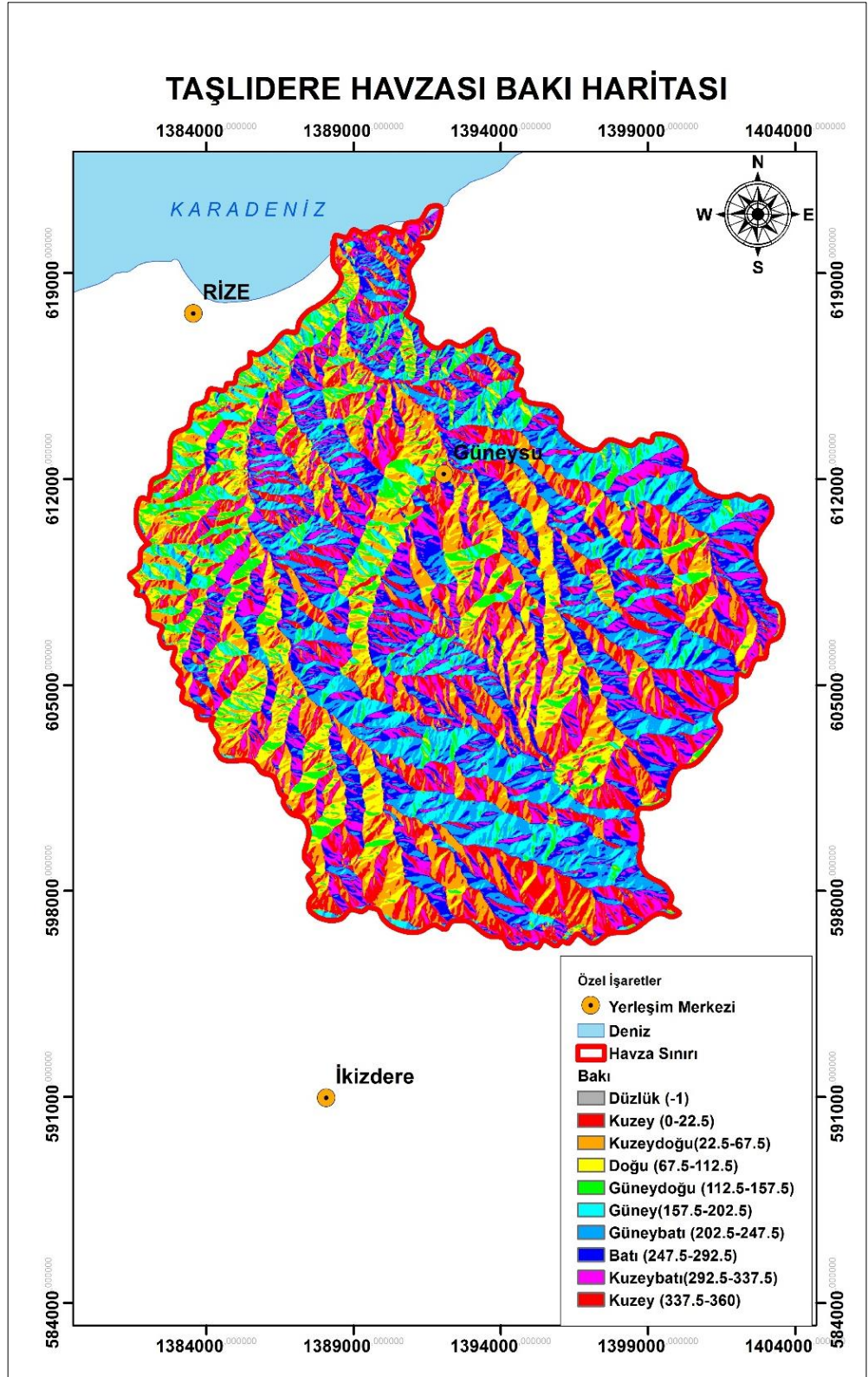
3.7. Bakı

Heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan faktörlerden biri olan bakı, topoğrafının güneşe olan konumunu belirtir. Bakı haritası SYM ‘den türetilmiş olup yamaçların hangi yöne eğimli olduğu kuzeyi 0° olarak saatin dönüş yönüne göre derecelendirilir.

Heyelanların belli bir yönelimlerdeki yamaçlarda yoğunlaşması, alanın morfolojik yapısı, güneş ışığını alması, bölgenin genel yağış yönü vb. meteorolojik olaylar etkilidir. Hâkim bakı yönündeki yamaçlardaki malzeme; yoğun yağış gören yamaçlar, eğim ile zeminin türün, geçirimsizlik, gözeneklilik, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsünün ve yağışın meydana geldiği mevsimden etkilenen süzülme kapasitesine bağlı olarak, diğer yamaçlara kıyasla daha kısa sürede doygunluğa ulaşır ve bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının oluşmasına sebep olur [59]. Çalışma alanının yaklaşık %46’sının kuzey, %30’unun güney %14’ünün batı ve %10’unun doğu bakıya sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.11, 3.12).



Şekil 3.11: Taşlıdere havzası bakı dağılımı.

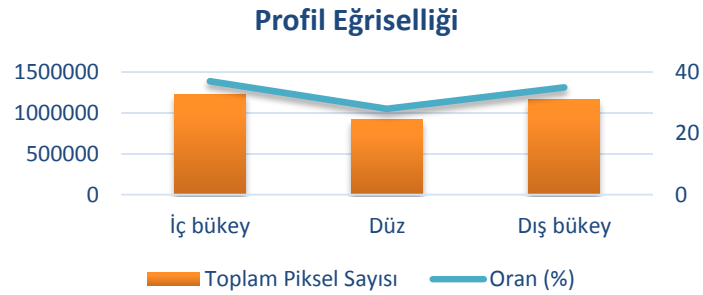


Şekil 3.12: Taşlıdere havzası baki haritası.

3.8. Eğrisellik

Sayısal arazi analizleri kapsamında eğrisellik kavramı, arazi yüzeyinin herhangi bir düzlem tarafından kesişmesi sonucu oluşan doğrunun eğrilik değerini ifade etmektedir [57]. Yamaç eğriselliğinin değerlendirildiği doğrultuya bağlı olarak, bir yamaca ilişkin profil ve plan olmak üzere iki ayrı eğrisellik değeri elde edilmektedir. Wilson & Gallant [57] profil yamaç eğriselliğini, yamaç aşağı doğru yamaç eğimindeki değişim olarak açıklarken, plan yamaç eğriselliğini belli bir topoğrafik yükseklik boyunca yamaç yönelimindeki değişim olarak ifade etmektedir.

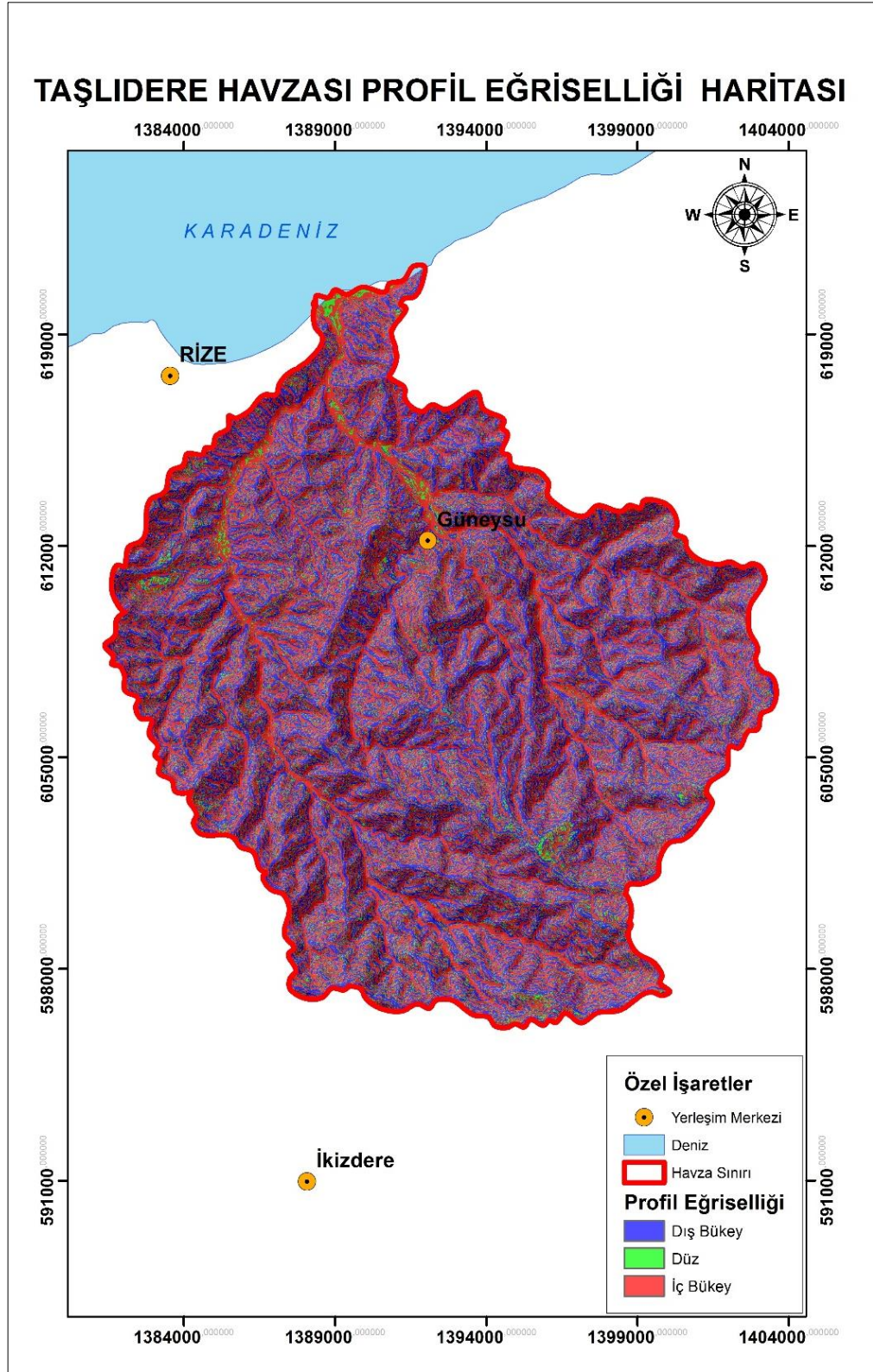
Profil eğrisellik haritasındaki pozitif değerler konkav yamaçları, negatif değerler konveks yamaçları belirtir. Plan eğrisellik haritasındaysa pozitif değerler konveks yamaçları, negatif değerler ise konkav yamaçları belirtir. Çalışma alanının plan ve profil eğrisellik haritası SYM' den türetilmiştir (Şekil 3.13, 3.14, 3.15, 3.16).



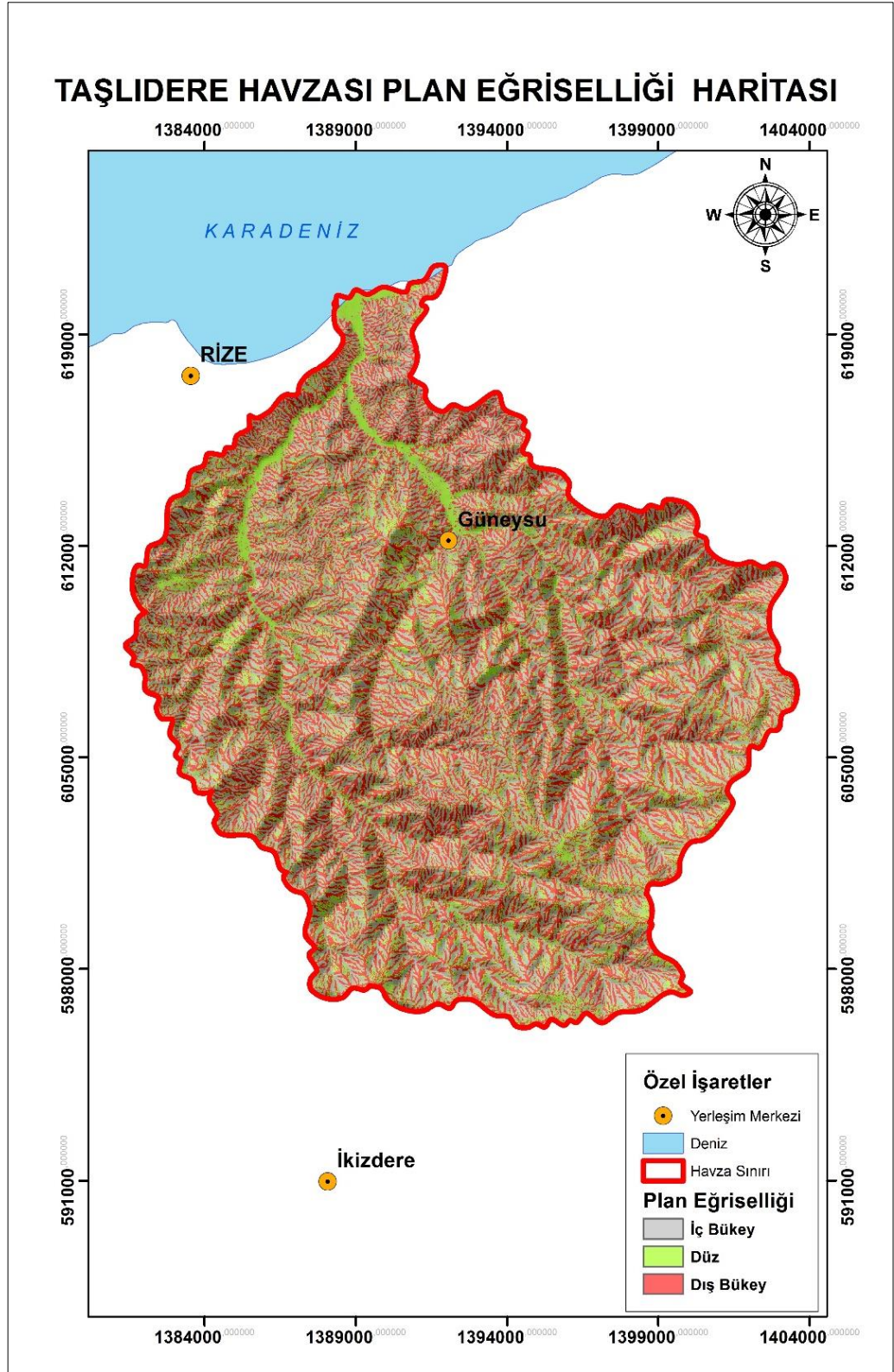
Şekil 3.13: Taşlıdere havzası profil eğriselliği dağılımı.



Şekil 3.14: Taşlıdere havzası plan eğriselliği dağılımı.



Şekil 3.15: Güneysu havzası profil eğriselliği haritası.

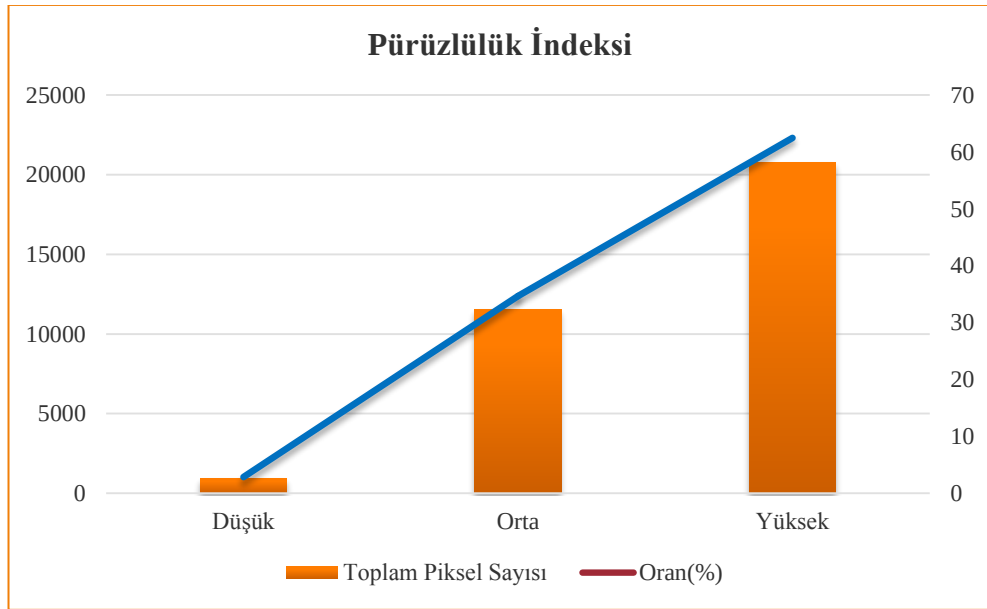


Şekil 3.16: Taşlıdere havzası plan eğriselliği haritası.

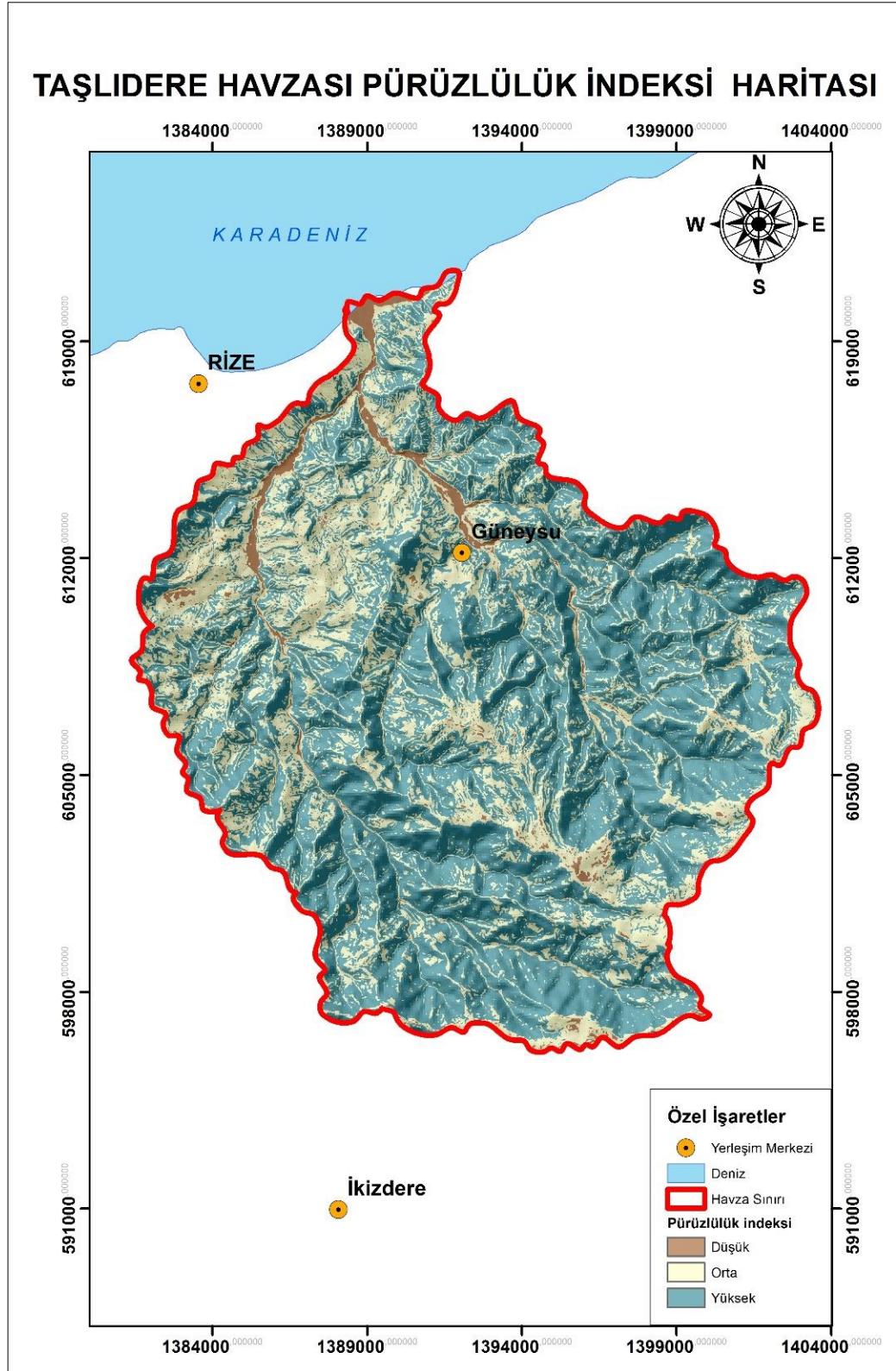
3.9. Pürüzlülük İndeksi

Arazinin yüzey yapısı ve özelliklerinden biri olan pürüzlülük indeksi 3 x 3 m boyutlara sahip raster pencere içerisinde her bir piksele ait yükseklik değerinin hesaplama yapılan pencere içindeki minimum yükseklikten çıkarılması ve maksimum ve minimum yükseklik aralığına oranı şeklinde hesaplanmaktadır [60].

Pürüzlülük indeksi Arcmap10.4-ArcToolbox-Geomorphometry and Gradient Metrics araç çubuğu kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 14). Buna göre havzanın %2,86 si düşük, %34,67 si orta,%62,47 si yüksek pürüzlülük sınıfında yer almıştır (Şekil 3.17, 3.18).



Şekil 3.17: Taşlıdere havzası pürüzlülük indeksi dağılımı.



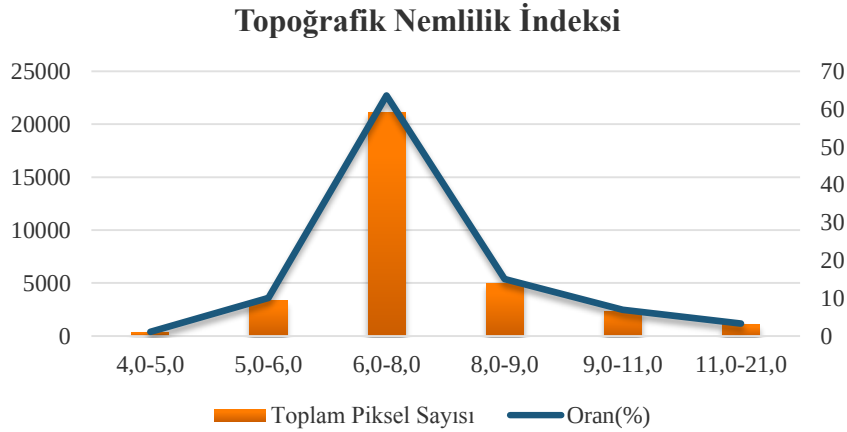
Şekil 3.18: Taşlıdere havzası pürüzlülük indeksi haritası.

3.10. Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNİ)

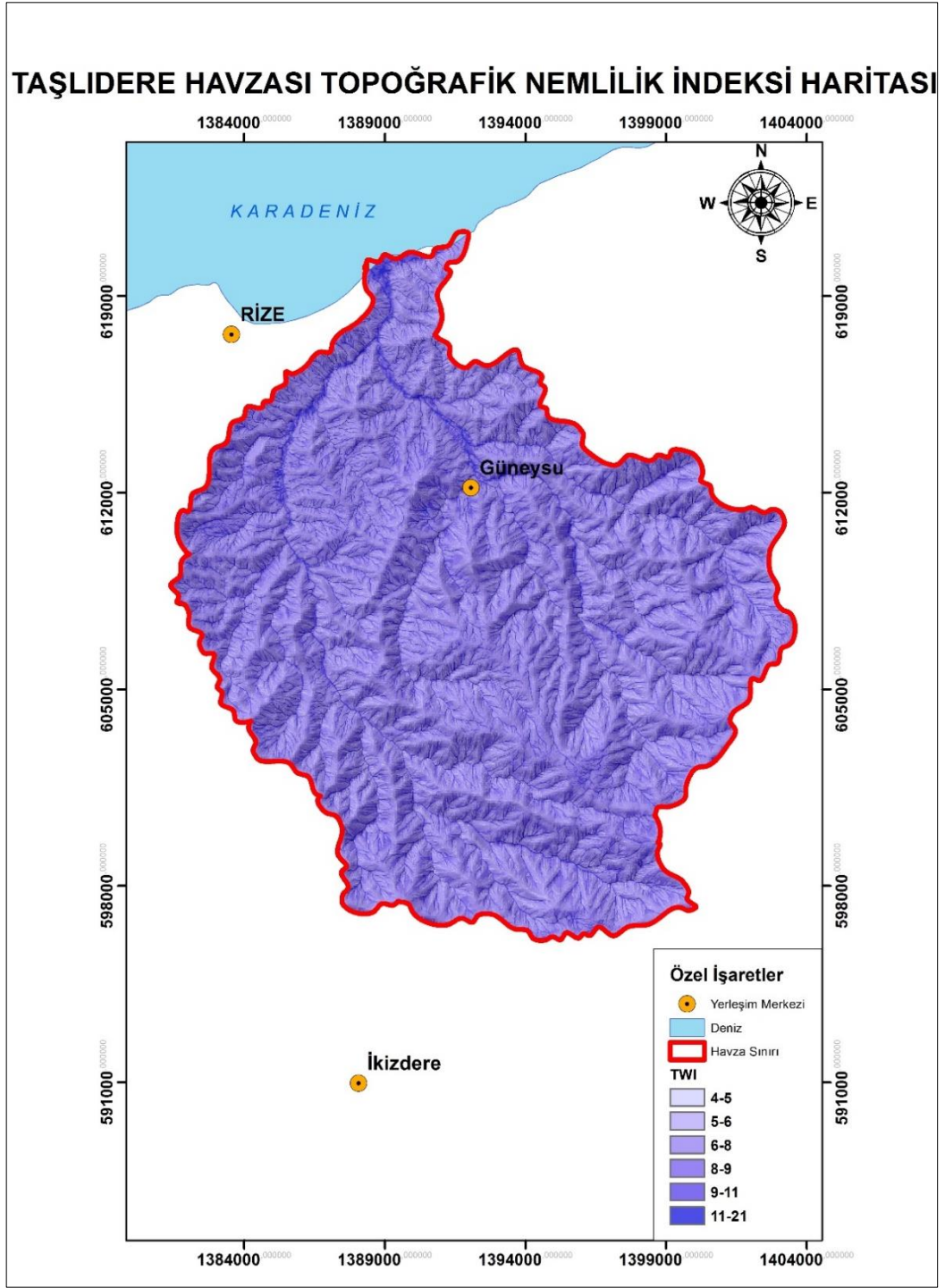
Topoğrafik nemlilik indeksi (TNİ), topografyanın hidrolojik süreçler üzerindeki etkisini ve toprak neminin ve yüzey doyumunun mekânsal dağılımının modellenmesi için nicel olarak hesaplanması için tasarlanmıştır. TNİ, yüzeysel akış potansiyelli suya doygun alanların topoğrafik konumu ve boyutunu tanımlamakta oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [61]. Bu yaklaşımı ilk kez Beven ve Kirkby [115] ortaya koymuş ve Barling [116] tarafından zamanla ilerletilerek aşağıda belirtilen eşitlikle ifade edilmiştir (Eşitlik 3.10).

$$W = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \quad (3.10)$$

Topoğrafik nemlilik indeksinin elde edilmesinde akış yönünden türetilen akış toplama alanı bilgisi ile yamaç eğimi kullanılır. Burada, A_s özgül havza alanı (m^2m^{-1}), β ise eğimdir. TNİ değerleri SYM den türetilmiştir (Şekil 3.19, 3.20). Daha geniş üst havzayı drene eden alanlar veya daha düzlük alanlar daha yüksek indeks değeri alırlar [62].



Şekil 3.19: Taşlıdere havzası TNİ dağılımı.



Şekil 3.20: Taşlıdere havzası topoğrafik nemlilik indeksi haritası.

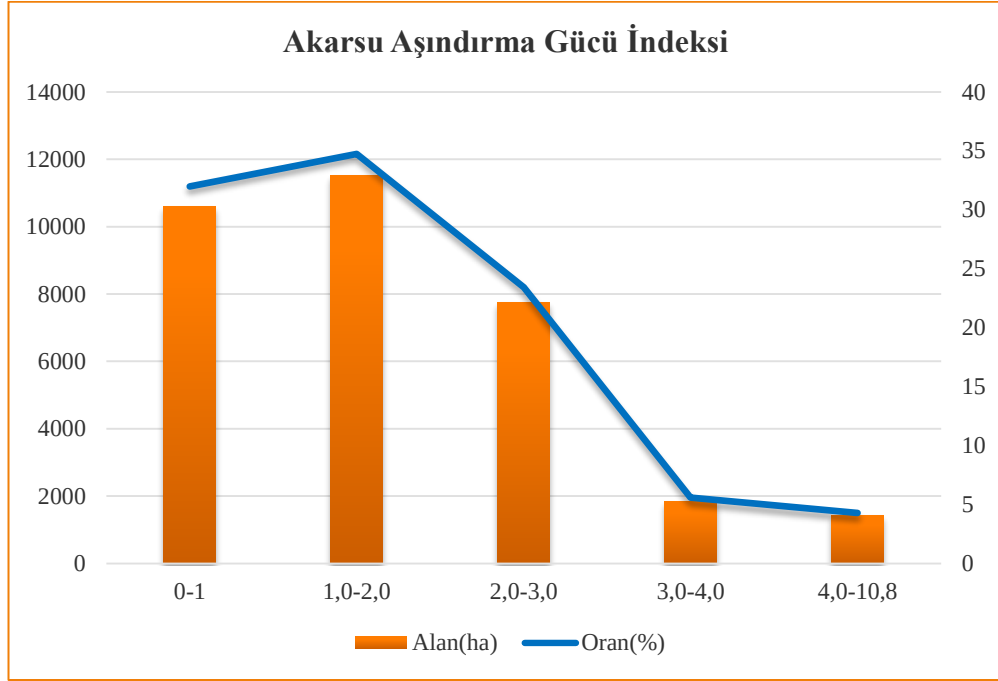
3.11. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (AGİ)

Moore vd. [61] akan suyun erozyon gücünü akarsu aşındırma gücü indeksi olarak tanımlamaktadır. (Eşitlik 3.11).

$$AGİ = A_s \times \tan\beta \quad (3.11)$$

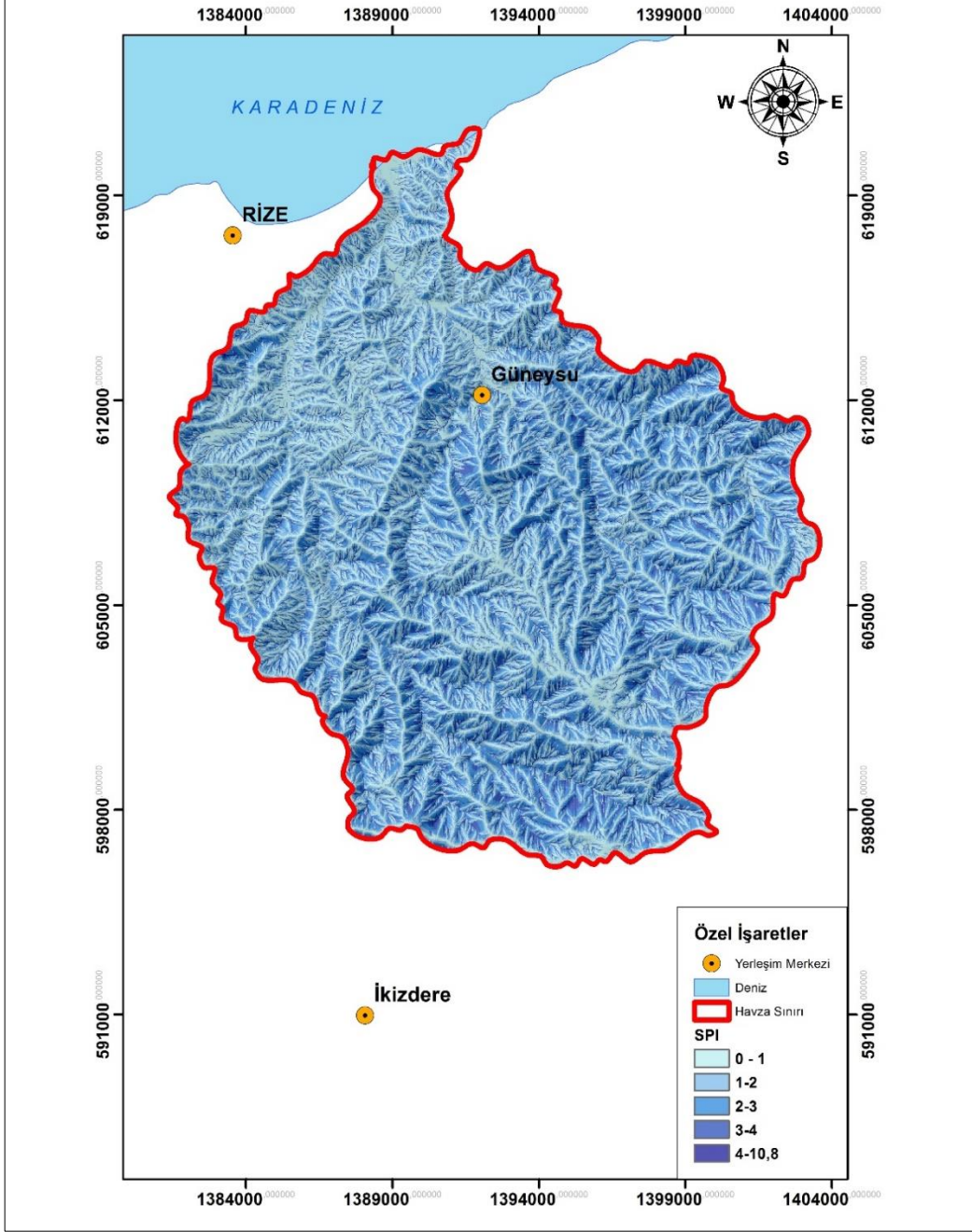
Burada, A_s özgül havza alanı (m^2m^{-1}), β ise yamaç eğimini ifade etmektedir. Yesilnacar vd. [12] yamaç eğiminin ve özgül havza alanının artması durumunda suyun akış hızının da artacağından dolayı akarsu aşındırma gücü indeksiyle erozyon riskinin de arttığını belirtmiştir.

Çalışma alanının akarsu aşındırma gücü indeksi SYM'den türetilmiştir (Şekil 3.21, 3.22). Havzanın akarsu aşındırma gücü indeksi 0 ile 10,8 arasında değişim göstermekle birlikte en fazla oran % 35 ile 1-2 arasında değere sahip alanlar alırken, ortalama SPI 1,65'tir.



Şekil 3.21: Taşlıdere havzası akarsu aşındırma gücü indeksi dağılımı.

TAŞLIDERE HAVZASI AKARSU AŞINDIRMA GÜCÜ İNDEKSİ HARİTASI



Şekil 3.22: Taşlıdere havzası akarsu aşındırma gücü indeksi haritası.

3.12. Sediman Taşıma Kapasitesi - LS Faktör

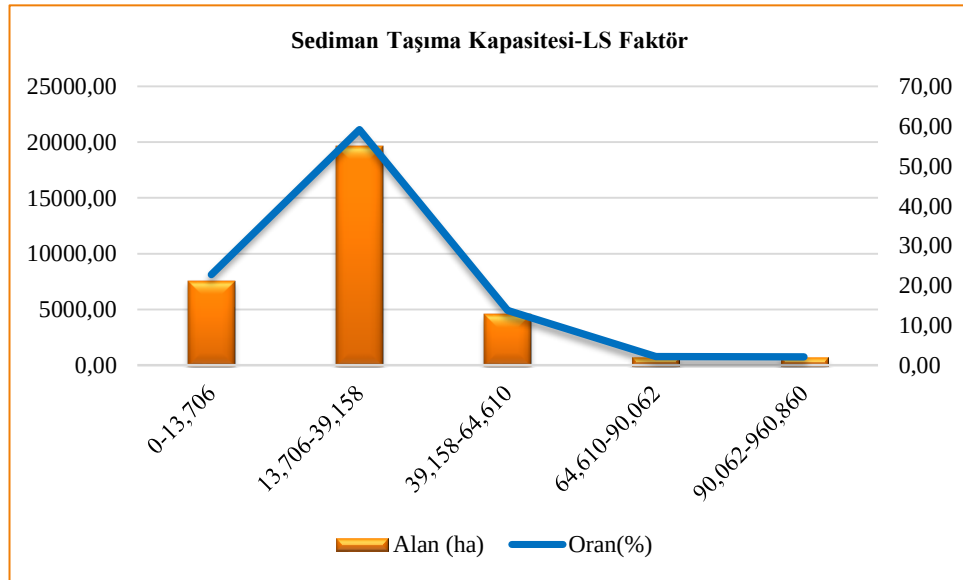
Wilson and Gallant [57] yamaç uzunluğunun 100 m'den daha kısa ve yamaç eğiminin 14°'den küçük olduğu koşullar altında revize edilmiş evrensel toprak kaybı denklemi içerisindeki yamaç uzunluğu faktörüne denk olduğunu ifade etmektedirler.

Moore and Burch [104] sediman taşıma kapasite endeksinin (LS) hesaplanmasına yönelik olarak aşağıda verilen eşitliği önermişlerdir (Eşitlik 3.12).

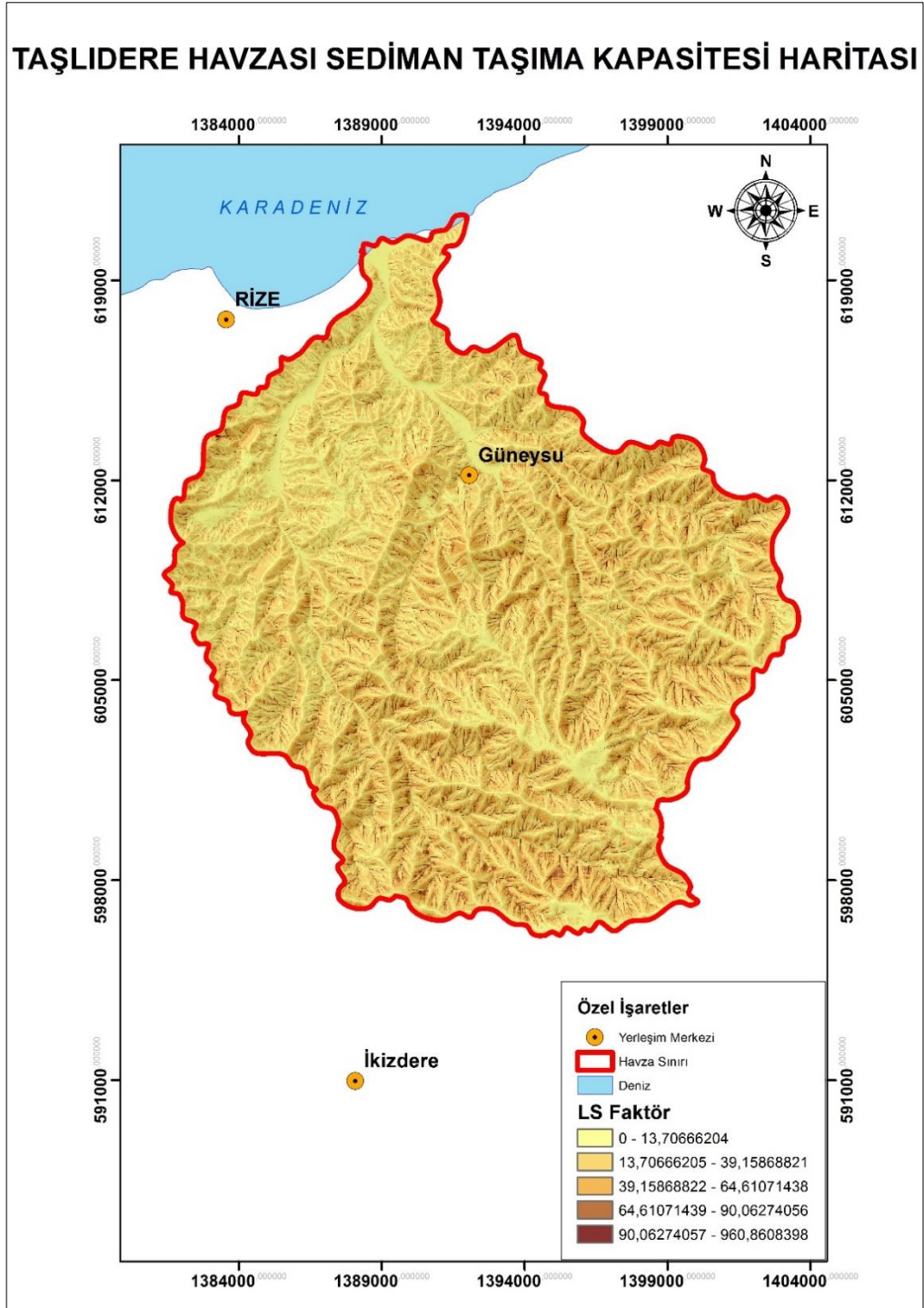
$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0,896} \right)^n \quad (3.12)$$

Burada, A_s özgül havza alanı (m^2m^{-1}), β ise yamaç eğimini ifade etmektedir. m ve n değerleri ise sırasıyla 0,4 ve 1,3 olarak verilmektedir [63].

Arctoolbox da yer alan Hydrology araç çubuğu A_s hesaplanmasında, Raster calculator ise LS hesaplamasında kullanılmış ve LS faktörü hazırlanmıştır. LS faktörü 0 ile 960,860 arasında değerler almış olup ortalaması 28,29'dur Havzadaki dik eğimler çok uç değerlerin oluşmasına sebep olmaktadır(Şekil 3.23, 3.24) .



Şekil 3.23: Taşlıdere havzası sediman taşıma kapasitesi-LS Faktör dağılımı.



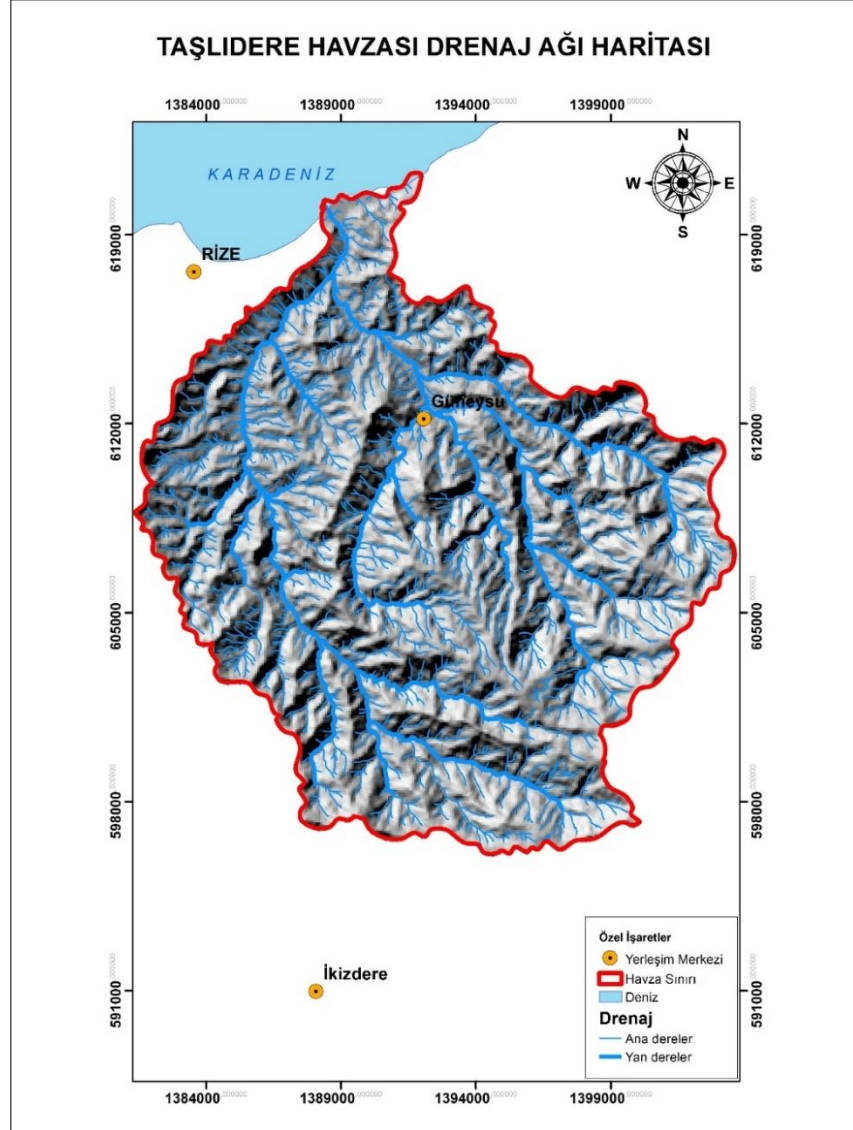
Şekil 3.24: Taşlıdere havzası sediman taşıma kapasitesi-LS faktör haritası.

3.13. Drenaj Analizi

Yamaçlarda bulunan malzemenin doygunluk derecesi yamaç stabilitesine etkiyen önemli bir faktördür. Akarsular, yamacı ya da şevi topuktan aşındırarak yahut

yamacı oluşturan malzemeyi akarsu seviyesine dek suya doyurarak ya da her iki şekilde de tetikleyerek yamaç stabilitesini olumsuz etkilemektedir [64, 65].

Analizler için çalışma alanının öncelikle drenaj ağı oluşturulmuştur. Drenaj ağı Straghlere yöntemi ile SYM' den türetilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25: Taşlıdere havzası drenaj ağı haritası.

3.13.1. Drenaj Yoğunluğu

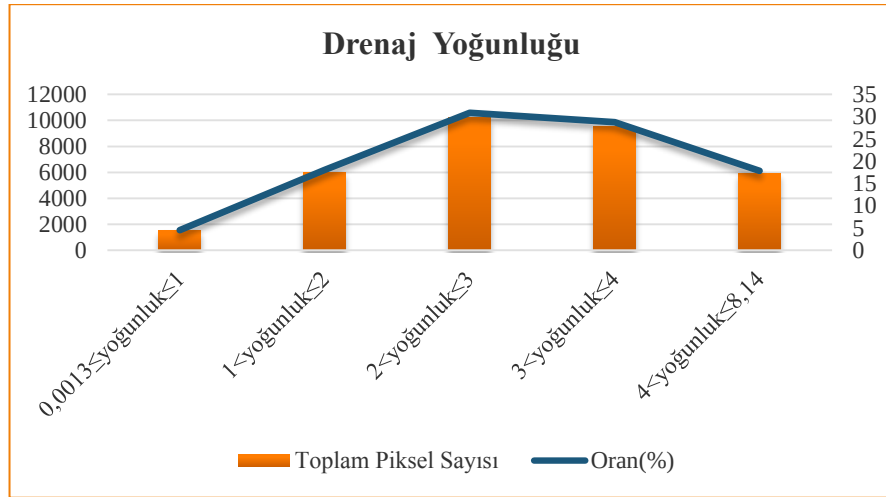
Havzaların akarsularca yarıлма oranını ifade eden drenaj yoğunluğu; havzanın akarsularca bölünmesini, havzadaki su ile sediment üretimini etkileyen önemli bir etmendir. [66]. Ayrıca akarsularca havzanın ne kadar yarıldığını belirttiğinden dolayı

vadi yoğunluğunu da vermektedir. Horton [67, 68] drenaj Yoğunluğunu (D_d) eşitlik 3.13.1'deki gibi belirtmiştir.

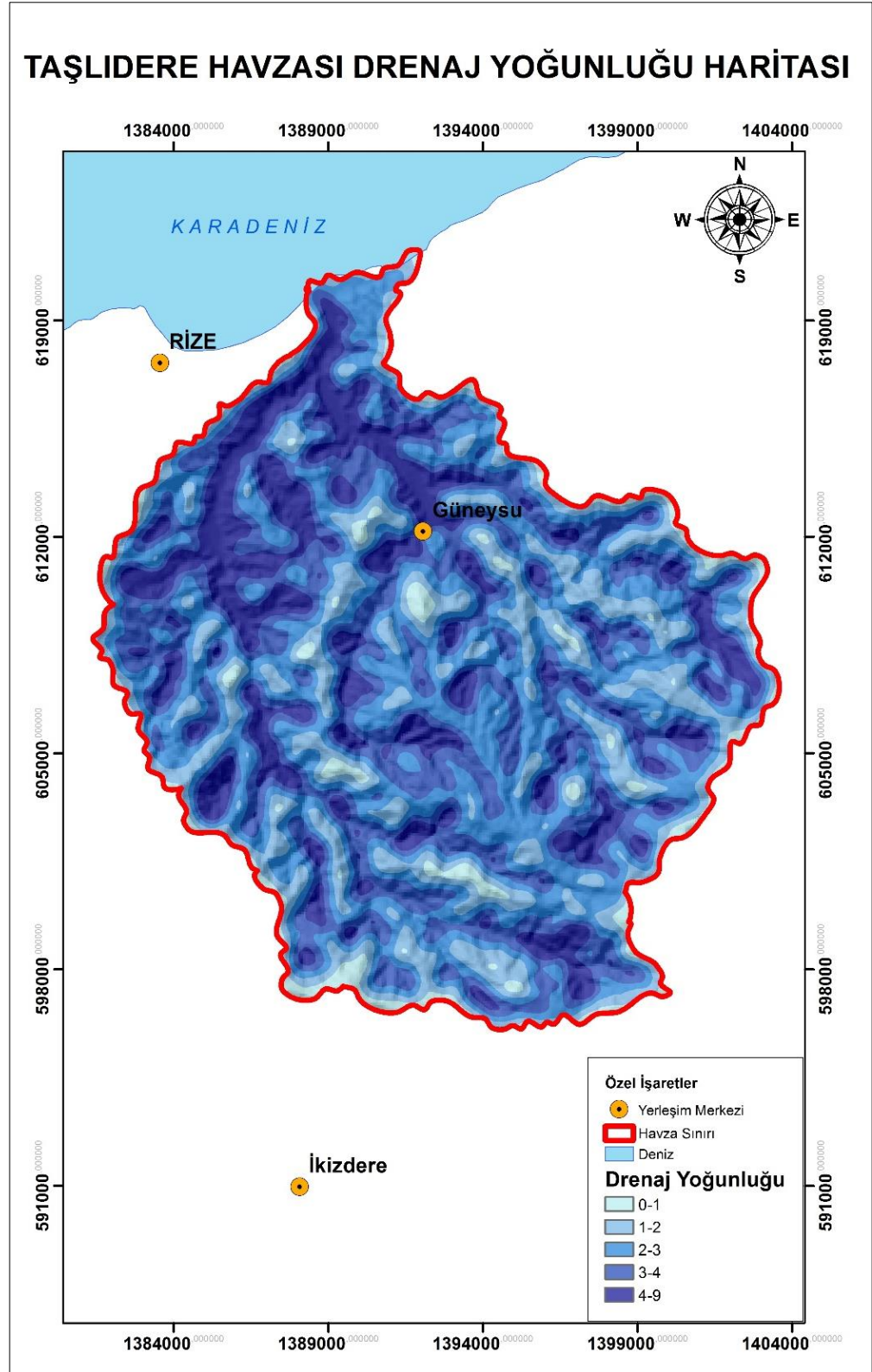
$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (3.13)$$

Bu formülde (Eşitlik 3.13) D_d drenaj yoğunluğunu; $\sum L$ toplam drenaj uzunluğunu (km); A havza alanını (km²) belirtmektedir.

Çalışma alanının her bir piksele düşen drenaj yoğunluğu Arcmap10.4.4 Spatial Analysis-Density araç çubuğu kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3.26, 3.27). Düşük drenaj yoğunluğunun görüldüğü alanlar arazi örtüsünün iyi olduğunu ve yüzeysel akışın düşük olduğunu gösterebilir. Bununla birlikte yüksek drenaj yoğunluğu arazi örtüsü yönünden çıplak ve yüzeysel akışın yüksek olduğu alanlar olarak değerlendirilebilir.



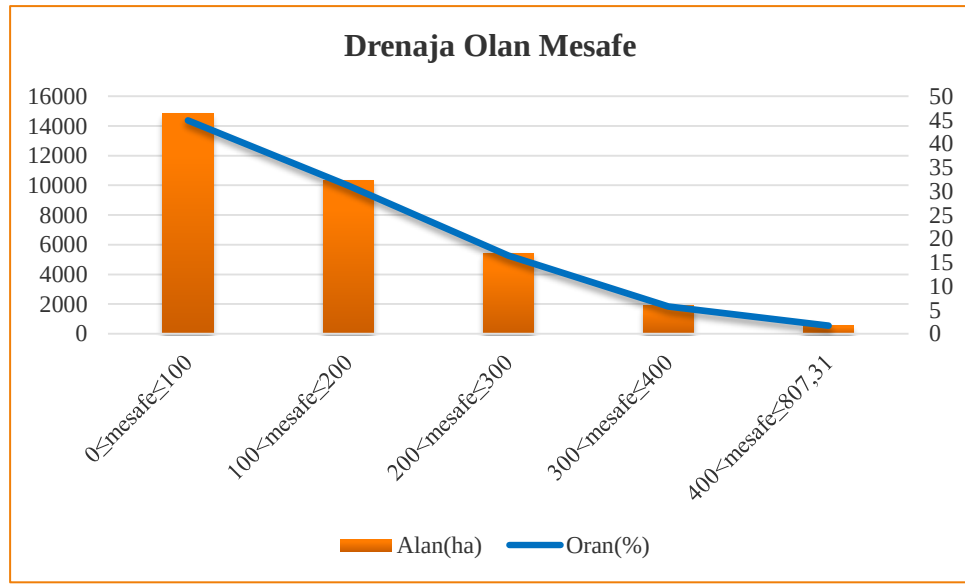
Şekil 3.26: Taşlıdere havzası drenaj yoğunluğu dağılımı.



Şekil 3.27: Taşlıdere havzası drenaj ağı yoğunluğu haritası.

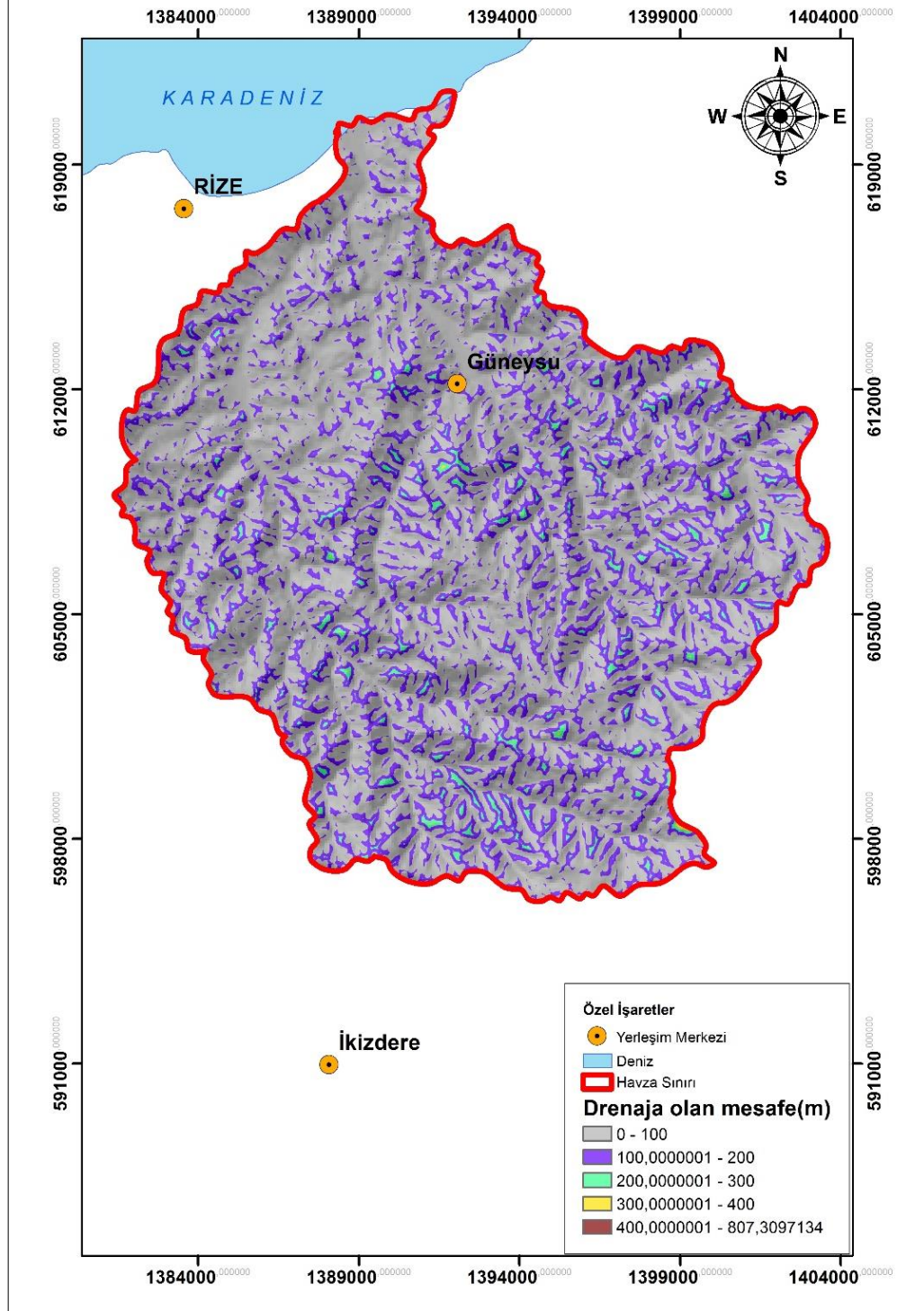
3.13.2. Drenaja Olan Mesafe

Yamaçların drenaja olan mesafesi stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Çalışma alanının drenaja olan mesafesi Arcmap10.4.4 ortamında Distance araç çubuğu kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.29). Çalışma alanında drenaj alanına olan mesafe maksimum 807,31 m, minimum 0, ortalama ise 132,21 m olup standart sapma 102,61 m'dir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28: Taşlıdere havzası drenaja olan mesafe dağılımı.

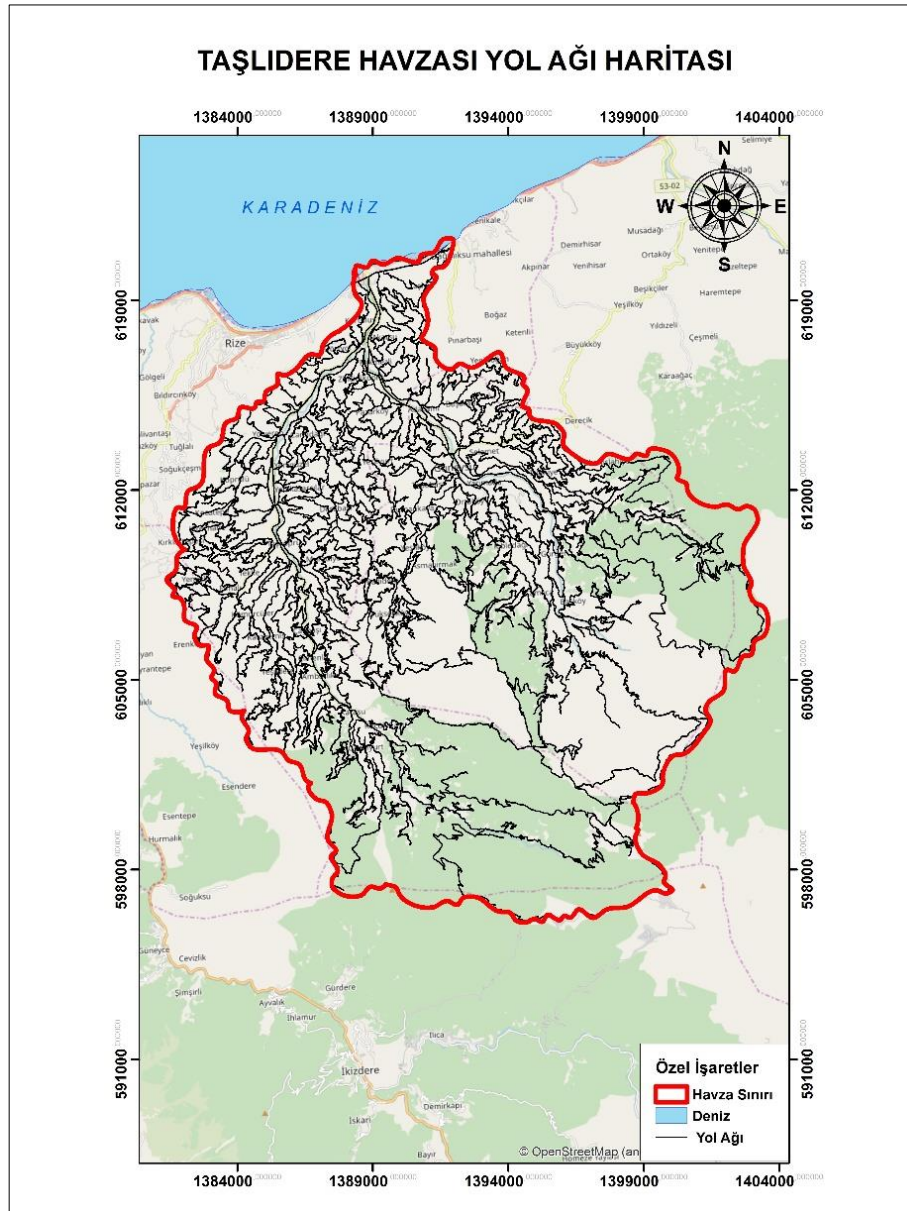
TAŞLIDERE HAVZASI DRENAJA OLAN MESAFE HARİTASI



Şekil 3.29: Taşlıdere havzası drenaja olan mesafe haritası.

3.14. Yol Analizi

Yollar yamaçtaki hassas alanlarda topuk desteğinin yok olmasına sebep olduğundan veya yamaca ekstra yük getirebildiğinden heyelan üzerinde etkili bir faktördür [69]. Bu kapsamda heyelan duyarlılık analizinde yol yoğunluğu ve yola yakınlık analizleri gerçekleştirilmiştir. Havzanın yol ağı OGM İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığından temin edilmiştir (Şekil 3.30).

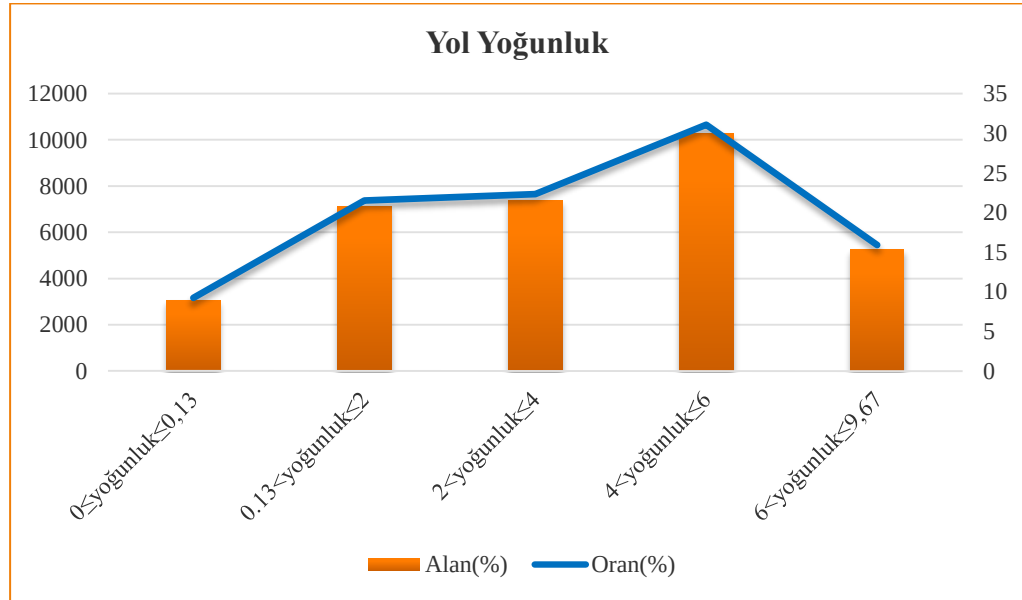


Şekil 3.30: Taşlıdere havzası yol ağı haritası.

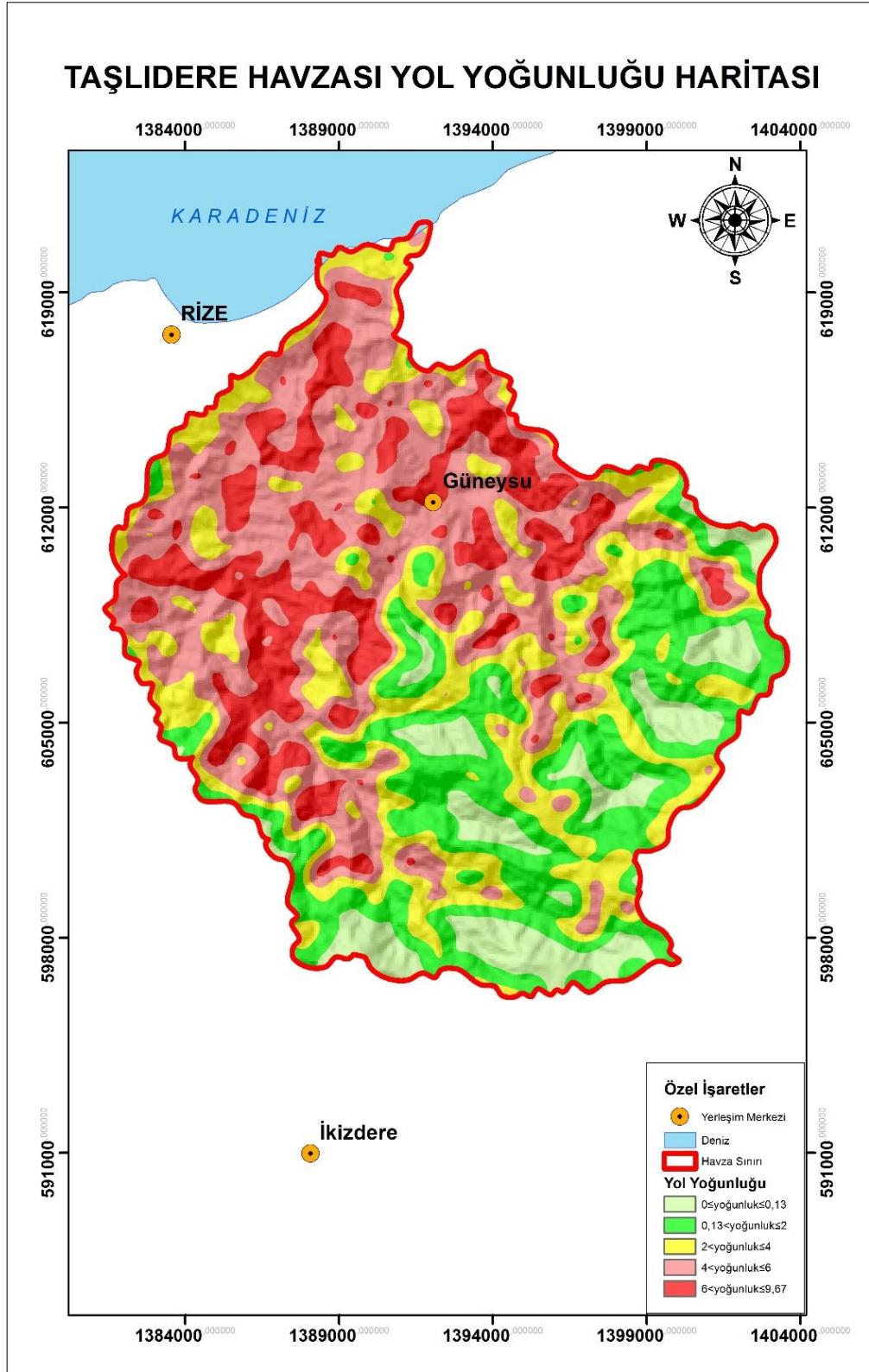
3.14.1. Yol Yoğunluğu

Yamaç sürekliliğini kestiğinden dolayı yollar, yüzeyin altındaki suların yüzeye çıkmasına sebep olmaktadır ve bu sular yol drenaj sistemlerince toplanmaktadır [70]. Ancak şiddetli yağışlar sonrasında yetersiz ya da yanlış projelendirilmiş su drenaj tesisleri, yağış sularıyla beraber yüzey altı sularını da tahliye edemediğinden dolayı heyelan oluşumunu tetiklemektedir [71]. Yollar aynı zamanda heyelan riski taşıyan alanlarda, üzere yamaçta su yoğunluğunu arttırdığı için dolaylı olarak da heyelana neden olabilirler. Yol yoğunluğu yamaçların istikrarını etkiler, çünkü daha yüksek yol yoğunluğuna sahip alanlar heyelanlara daha yatkındır. Bu özellikler dikkate alındığında havzanın yol yoğunluğunun belirlenmiş ve çalışmada parametre olarak kullanılmıştır.

Çalışma alanının yol yoğunluğu Arcmap10.4. ortamında Density araç çubuğu kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3.31, 3.32). Çalışma alanında yol yoğunluğu değerleri (km^{-1}) minimum 0, maksimum 9,67, ortalama 3,53 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.31: Taşlıdere havzası yol yoğunluk dağılımı.

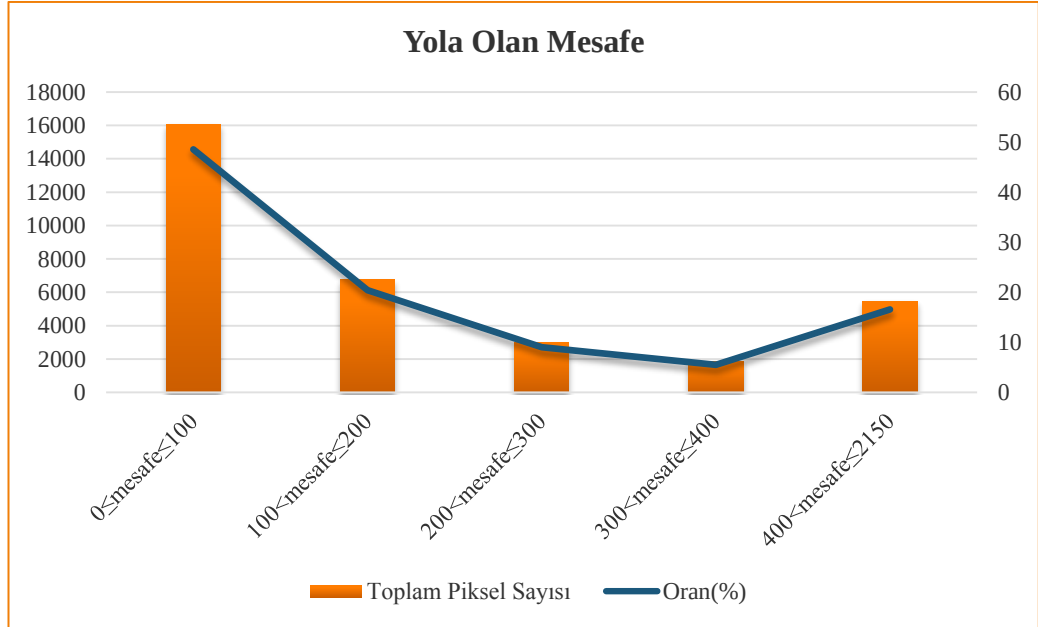


Şekil 3.32: Taşlıdere havzası yol yoğunluğu haritası.

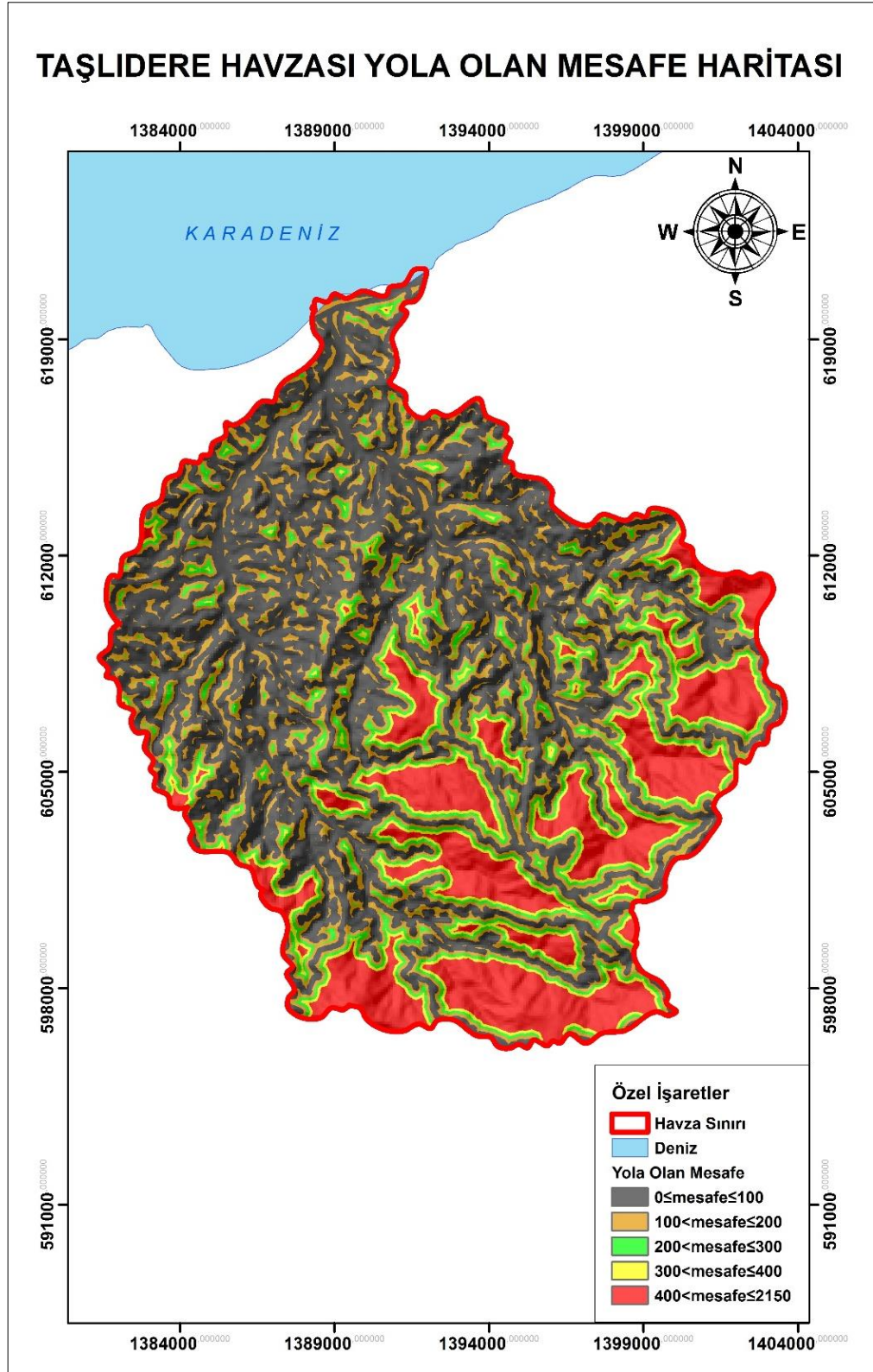
3.14.2. Yola Olan Mesafe

Yollar genel itibariyle yapım aşamasında yamaç dengesini bozduğundan dolayı zaman zaman heyelan görülmeyen alanlarda dahi heyelan oluşumunu tetiklemektedir [72]. Gerek daha önce inşa edilen gerekse yeni inşa edilmiş olan bir yol heyelan oluşmasına neden olabilmektedir [73]. Bundan dolayı yollar heyelan duyarlılık analizine dâhil edilirler.

Çalışma alanının yol olan mesafesi Arcmap10.4-ArcToolbox--Spatial Analyst-Distance araç çubuğu kullanarak hazırlanmıştır. Havzanın yola olan mesafesi minimum 0 m, maksimum 2150 m, ortalama 205,17 m ve standart sapma değeri 266,830 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.33, 3.34).



Şekil 3.33: Taşlıdere havzası yola olan mesafe dağılımı.



Şekil 3.34: Taşlıdere havzası yola olan mesafe haritası.

4.ANALİZLER

4.1. Metodoloji

Çalışma kapsamında Rize ili Taşlıdere havzasının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için makine öğrenmesi yöntemlerinden yapay sinir ağları (YSA) modeli ile istatistiksel yöntemlerden lojistik regresyon (LR) ve frekans oranı analizi (FO) yöntemleri kullanılmasına karar verilmiştir. Bu bağlamda çalışma dört aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir:

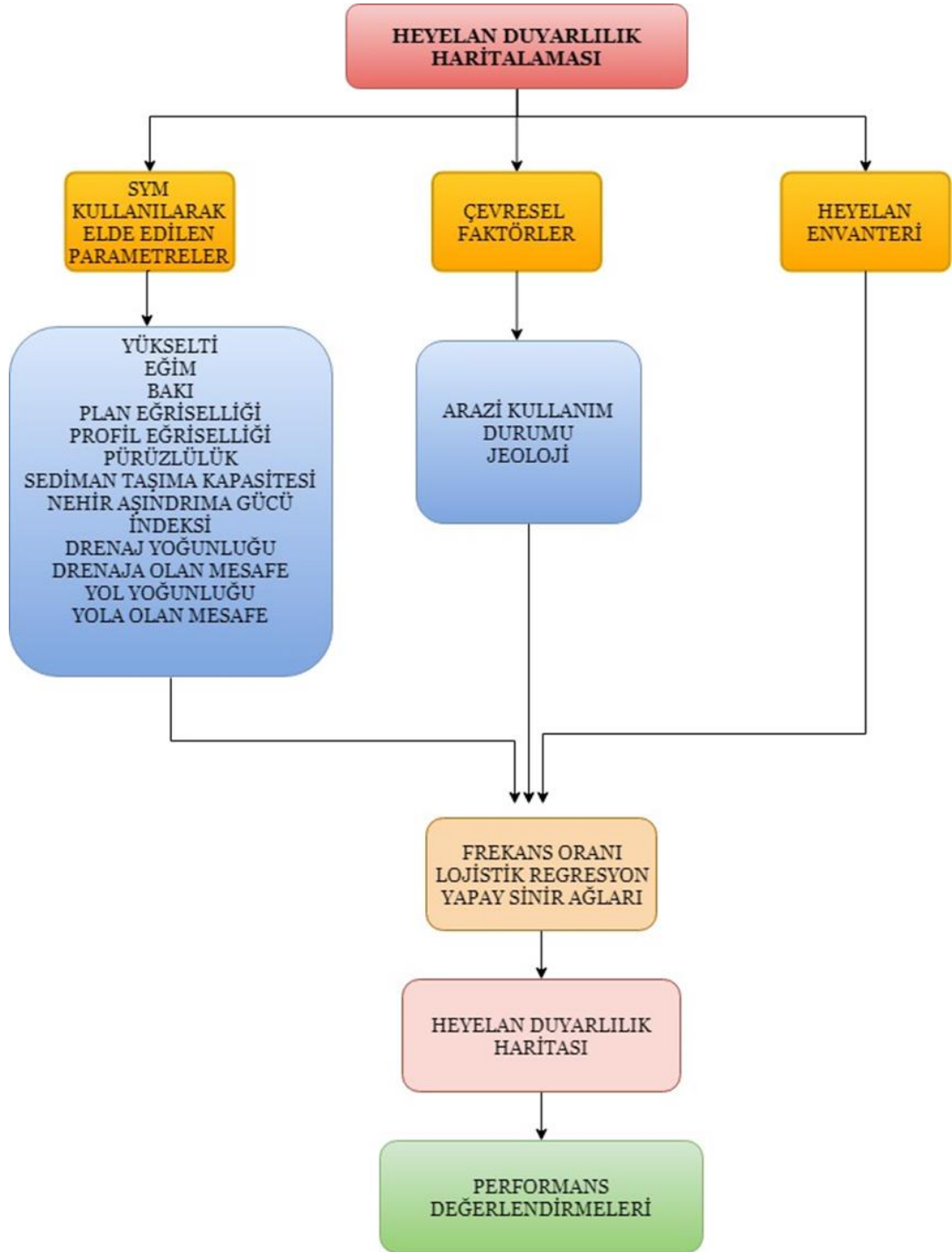
- i) Arazinin yerinde incelenmesi ve heyelan envanterinin oluşturulması
- ii) Büro çalışmaları sonucunda uygun parametrelerin hazırlanması ve değerlendirilmesi
- iii) Uygun istatistiksel ve CBS tabanlı yazılımlarla heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi
- iv) Performans değerlendirilmesi kapsamında doğruluk analizlerinin yapılmasıdır.

Çalışma kapsamında ArcGIS 10.4, IDRISI 17.0 The Selva Edition, IBM SPSS Statistics 20 programları kullanılmış olup kullanılan parametreler, veriler ve veri türleri Tablo 4’ de listelenmiştir.

Tablo 4.1: Kullanılan Parametreler ve Veriler.

Veriseti	Format
<i>Heyelan Envanteri</i>	Point Shapefile
<i>Drenaj</i>	Line Shapefile
<i>Yol ağı</i>	Line Shapefile
<i>Arazi Kullanım Durumu</i>	Poligon Shapefile
<i>Litoloji</i>	Poligon Shapefile
<i>Havza Sınırı</i>	Poligon Shapefile
<i>Sayısal Yükseklik Modeli</i>	Raster
<i>Eğim</i>	Raster
<i>Bakı</i>	Raster
<i>Eğrisellik (plan ve profil)</i>	Raster
<i>Topografik Nemlilik İndeksi</i>	Raster
<i>Nehir Aşındırma(Akış) Gücü İndeksi</i>	Raster
<i>Özgül Havza Alanı</i>	Raster
<i>Sediman Taşıma Kapasitesi</i>	Raster
<i>Drenaj Yoğunluğu</i>	Raster
<i>Drenaja Uzaklık</i>	Raster
<i>Yol Yoğunluğu</i>	Raster
<i>Yola Uzaklık</i>	Raster
<i>25000'lik memleket paftaları</i>	Raster
<i>Pürüzlülük</i>	Raster

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması amacıyla parametreler belirlendikten sonra duyarlılık analizlerine geçilmiştir. Analiz yöntemleri olarak FO, LR ve YSA kullanılmıştır. Analizlerin akış şeması Şekil 4,1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Akış Şeması.

4.2. Frekans Oranı Yöntemi

Çalışma esnasında FO' nun uygulanması, iki değişkenli istatistiksel yöntem temelinde gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle mevcut heyelanlı alanlarla heyelana sebebiyet veren fetmenler arasında ilişki kurularak heyelan yoğunluğu irdelenmiştir. Parametreler için haritalama ünitesi olarak 10*10 m mekânsal çözünürlüğe sahip grid hücreler tercih edilmiştir.

$$FO = \frac{b}{a} \quad (4.1)$$

$$HDİ = FO_1 + FO_2 + \dots + FO_n \quad (4.2)$$

a heyelanı tetikleyen parametrenin her bir alt sınıfındaki heyelan varlığının yüzdesi, b ise heyelanı etkileyen parametrenin her bir sınıfının kendi içindeki yüzdesini ifade etmektedir (Eşitlik 4.1). Frekans tablosundaki değerler hesaplanırken her sınıfa düşen toplam piksel sayıları (A) ile bu sınıflara düşen heyelanlı piksel sayıları (B) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda parametre alt sınıfının piksel sayısının, alandaki toplam piksel sayısına oranı (a) ile parametre alt grubundaki heyelanlı piksel sayısının toplam heyelanlı piksel sayısına oranı (b) hesaplanmıştır. Yüzdelik değerler bulunurken her bir sınıftaki piksel sayıları toplam sayıya bölünüp 100 ile çarpılarak elde edilmiştir. Böylece her bir parametreye ait sınıfların frekans oranı (b/a) belirlenmiştir. FO değerlerinin normalleştirilmesi için ise, parametre alt grubundaki tüm FO değerleri, en büyük FO değerine bölünüp 100 ile çarpılmış ve NFO (normalleştirilme yapılmış frekans oranları) sütunundaki değerler elde edilmiştir (Tablo 4.1). Daha sonra elde edilen NFO değerleri her bir parametre sınıfa atanmış ve tüm parametre değerleri üst üste çakıştırılarak heyelan duyarlılık indeksi (HDİ) elde edilmiştir (Eşitlik 4.2; Şekil 4.1). Buna göre havzanın % 0,20 si i çok düşük, %11,47 si düşük, %46,32 si orta, %40,86'sı yüksek ve %1,15 i çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir.

Tablo 4.1: Parametlere Ait Frekans Oranları.

PARAMETRE	A	$a=A(\%)$	B	$b=B(\%)$	$FO=b/a$	NFO
Arazi Kullanımı						
<i>Su</i>	38118	0,108	0	0,000	0,000	0
<i>Taşlık</i>	40219	0,171	2	0,228	1,329	99
<i>İskân</i>	81051	1,405	5	0,569	0,405	30
<i>Orman Toprağı</i>	173674	4,202	35	3,986	0,949	71
<i>Verimli Orman</i>	864403	25,065	140	15,945	0,636	47
<i>Bozuk Orman</i>	1096782	32,083	261	29,727	0,927	69
<i>Ziraat</i>	1258432	36,966	435	49,544	1,340	100
Σ	3552679	100,000	878	100,000	5,586	
Bakı						
<i>K</i>	554343	15,604	147	16,743	1,073	79
<i>KD</i>	516645	14,542	170	19,362	1,331	99
<i>D</i>	357050	10,050	86	9,795	0,975	72
<i>GD</i>	274831	7,736	92	10,478	1,355	100
<i>G</i>	319651	8,997	74	8,428	0,937	69
<i>GB</i>	476378	13,409	82	9,339	0,697	52
<i>B</i>	482789	13,589	119	13,554	0,997	74
<i>KB</i>	570992	16,072	108	12,301	0,765	57
Σ	3552679	100,000	878	100,000	8,129	
Yükselti						
$0 \leq \text{mesafe} \leq 250$	375223	10,563	79	8,998	0,852	60
$250 < \text{mesafe} \leq 500$	766677	21,581	272	30,979	1,435	100
$500 < \text{mesafe} \leq 750$	642950	18,096	188	21,412	1,183	83
$750 < \text{mesafe} \leq 1000$	530716	14,940	131	14,920	0,999	70
$1000 < \text{mesafe} \leq 1250$	406821	11,450	89	10,137	0,885	62
$1250 < \text{mesafe} \leq 1500$	317046	8,924	45	5,125	0,574	40
$1500 < \text{mesafe} \leq 1750$	254674	7,167	39	4,442	0,620	43
$1750 < \text{mesafe} \leq 2000$	166696	4,692	27	3,075	0,655	46
$2000 < \text{mesafe} \leq 2250$	80517	2,267	8	0,911	0,402	28
$2250 < \text{mesafe} \leq 2442$	11359	0,319	0	0,000	0,000	0
Σ	3552679	100,000	878	100,000	7,606	

Tablo 4.1: Devam

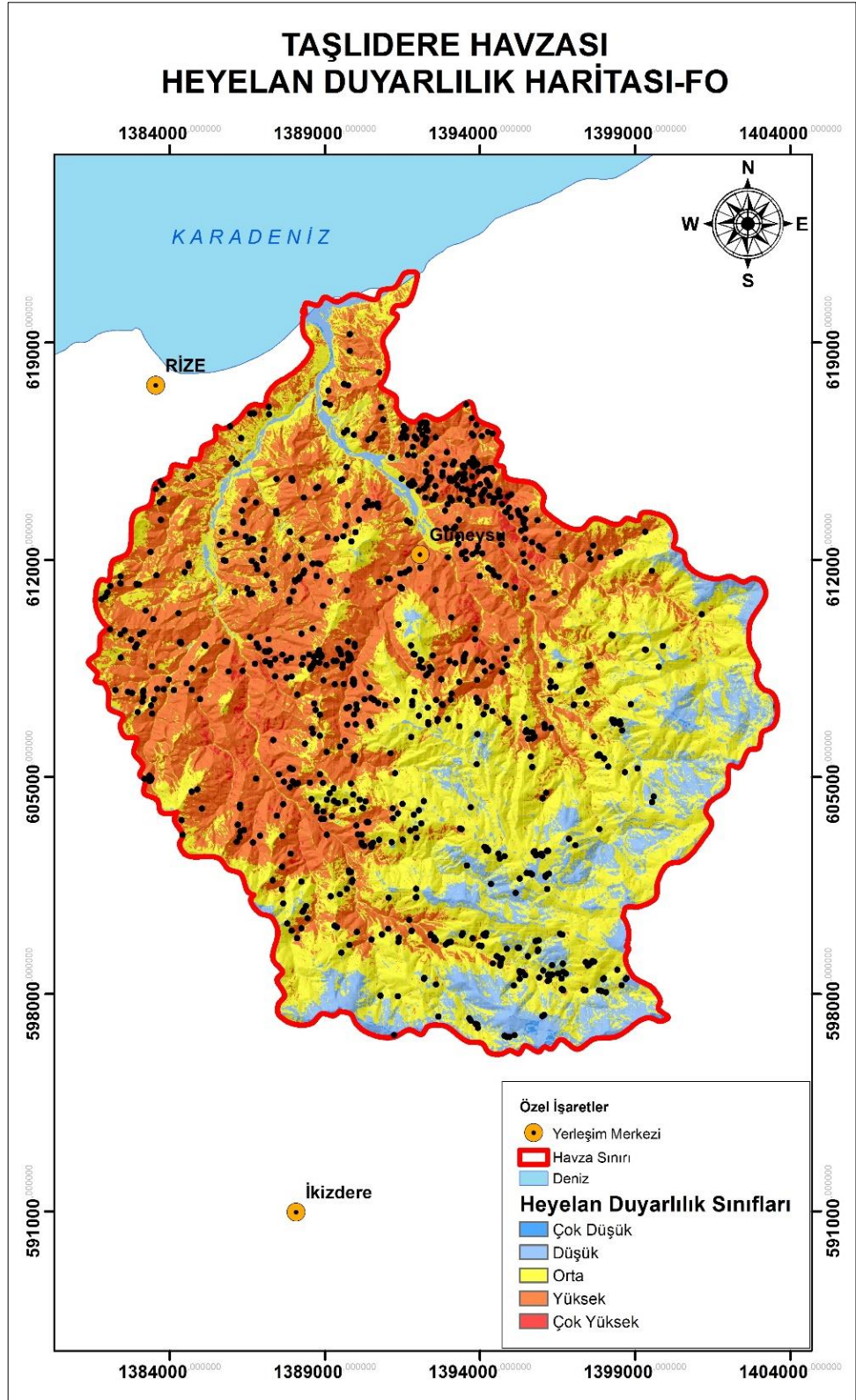
PARAMETRE	A	a2	B	b3	FO=b/a	NFO
Plan						
Eğriselliği						
İç Bükey	1193017	33,581	290	33,030	0,984	95
Düz	949784	26,734	242	27,563	1,031	100
Dış Bükey	1409878	39,685	346	39,408	0,993	96
Σ	3552679	100	878	100	3,008	
Profil						
Eğriselliği						
Dış Bükey	1314446	36,999	321	36,560	0,988	97
Düz	986477	27,767	249	28,360	1,021	100
İç Bükey	1251756	35,234	308	35,080	0,996	97
Σ	3552679	100,000	878	100,000	3,005	
Pürüzlülük						
Düşük	101773	2,865	1	0,114	0,040	4
Orta	1231444	34,662	279	31,777	0,917	84
Yüksek	2219462	62,473	598	68,109	1,090	100
Σ	3552679	100,000	878	100,000	2,047	
TWI						
4<spi≤5	39955	1,125	14	1,595	1,418	100
5<spi≤6	385503	10,851	102	11,617	1,071	75
6<spi≤8	2220653	62,506	565	64,351	1,030	73
8<spi≤9	543865	15,309	128	14,579	0,952	67
9<spi≤12	246382	6,935	48	5,467	0,788	56
11<spi≤21	116321	3,274	21	2,392	0,731	51
Σ	3552679	100,000	878	100,000	5,989	
SPI						
0<spi≤1	1127844	31,746	262	29,841	0,940	87
1<spi≤2	1241394	34,942	331	37,699	1,079	100
2<spi≤3	830793	23,385	198	22,551	0,964	89
3<spi≤4	200744	5,650	47	5,353	0,947	88
4<spi≤10.8	151904	4,276	40	4,556	1,065	99
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,996	

Tablo 4.1: Devam.

PARAMETRE	A	a2	B	b3	FO=b/a	NFO
LS						
0-13,706	992005	27,923	42	4,784	0,171	1
13,706-39,158	1729878	48,692	26	2,961	0,061	0
39,158-64,610	522653	14,712	125	14,237	0,968	7
64,610-90,062	155604	4,380	513	58,428	13,340	100
90,062-960,860	152539	4,294	172	19,590	4,563	34
Σ	3552679	100,000	878	100,000	19,103	
Drenaj Yoğunluğu						
0.0013≤yoğunluk≤1	119240	3,356	19	2,164	0,645	58
1<yoğunluk≤2	636630	17,920	139	15,831	0,883	79
2<yoğunluk≤3	1124859	31,662	291	33,144	1,047	94
3<yoğunluk≤4	1043527	29,373	288	32,802	1,117	100
4<yoğunluk≤8.14	628423	17,689	141	16,059	0,908	81
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,600	
Drenaj Mesafe						
0≤mesafe≤100	1574597	44,321	389	44,305	1,000	94
100<mesafe≤200	1097882	30,903	284	32,346	1,047	99
200<mesafe≤300	581830	16,377	153	17,426	1,064	100
300<mesafe≤400	223259	6,284	39	4,442	0,707	67
400<mesafe≤807	75111	2,114	13	1,481	0,700	66
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,518	
Yol Mesafe						
0≤mesafe≤100	1809191	50,925	533	60,775	1,193	100
100<mesafe≤200	724802	20,402	199	22,691	1,112	93
200<mesafe≤300	288836	8,130	45	5,131	0,631	53
300<mesafe≤400	152536	4,294	35	3,877	0,903	76
400<mesafe≤2150	577314	16,250	66	7,526	0,463	39
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,303	
Yol Yoğunluk						
0≤yoğunluk≤0.13	353840	9,960	22	2,506	0,252	15
0.13<yoğunluk≤2	760868	21,417	104	11,845	0,553	32
2<yoğunluk≤4	786963	22,151	207	23,576	1,064	62
4<yoğunluk≤6	1076837	30,311	301	34,282	1,131	66
6<yoğunluk≤9.67	574171	16,162	244	27,790	1,720	100
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,720	

Tablo 4.1: Devam.

PARAMETRE	A	a=A(%)	B	b=B(%)	FO=b/a	NFO
Jeoloji						
<i>Baz. And. dasit lav ve piroklastları</i>	1115698	31,404	468	53,303	1,697	100
<i>Bazalt andezit lav ve piroklastları kum çakıl taşı</i>	164597	4,633	37	4,214	0,910	54
<i>Riyodasit dasit lav ve piroklastları</i>	559470	15,748	87	9,909	0,629	37
<i>Andezit bazalt lav ve piroklastları</i>	621903	17,505	135	15,376	0,878	52
<i>Alüvyon</i>	111535	3,139	7	0,797	0,254	15
<i>Kaçkar Gronitoyidi</i>	979476	27,570	144	16,401	0,595	35
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,963	
Eğim						
<i>0≤eğim≤10</i>	200273	5,637	12	1,367	0,242	19
<i>10<eğim≤20</i>	561259	15,798	123	14,009	0,887	68
<i>20<eğim≤30</i>	1132273	31,871	288	32,802	1,029	79
<i>30<eğim≤40</i>	1322707	37,231	346	39,408	1,058	81
<i>40<eğim</i>	336167	9,462	109	12,415	1,312	100
Σ	3552679	100,000	878	100,000	4,529	



Şekil 4.2: Taşlıdere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası-FR.

4.3. Lojistik Regresyon Yöntemi

Lojistik regresyon analizlerine ilişkin uygulama sürecinde ilk aşamayı veri matrisinin hazırlanması oluşturmaktadır. Veri matrisi içerisinde her bir satır haritalama birimine karşılık gelen bir olayı tanımlarken kolonlar bağımlı ve bağımsız değişkenleri tanımlamaktadır. Çalışma esnasında LR'nin uygulanması için öncelikle ArcMap 10.4 paket programı kullanılarak havzaya ait veri matrisi oluşturulmuştur. Havzanın koordinatlı nokta bulutu verisi heyelan envanteri ile birleştirilerek tüm havzanın 10*10'lık nokta verisi elde edilmiş ve veri matrisinde heyelanlı piksellere 1 ve heyelansız piksellere de 0 değeri atanmıştır. Elde edilen bu veri setindeki her bir noktaya denk gelen tüm parametre değerleri atanarak bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenlerin veri matrisi hazırlanmıştır. Analizin yapılabilmesi için veri matrisindeki heyelanlı ve heyelansız noktaların %70'i eğitim ve %30' u doğrulamada kullanılmak üzere rasgele örneklem yoluyla seçilmiştir. Ardından IBM SPSS Statistics 20 programına eğitim setleri çağrılarak analiz gerçekleştirilmiş ve regresyon analiz sonuçları olan β regresyon katsayısı, SH standart hata, $Wald$ testi değeri ve Sig anlamlılık değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

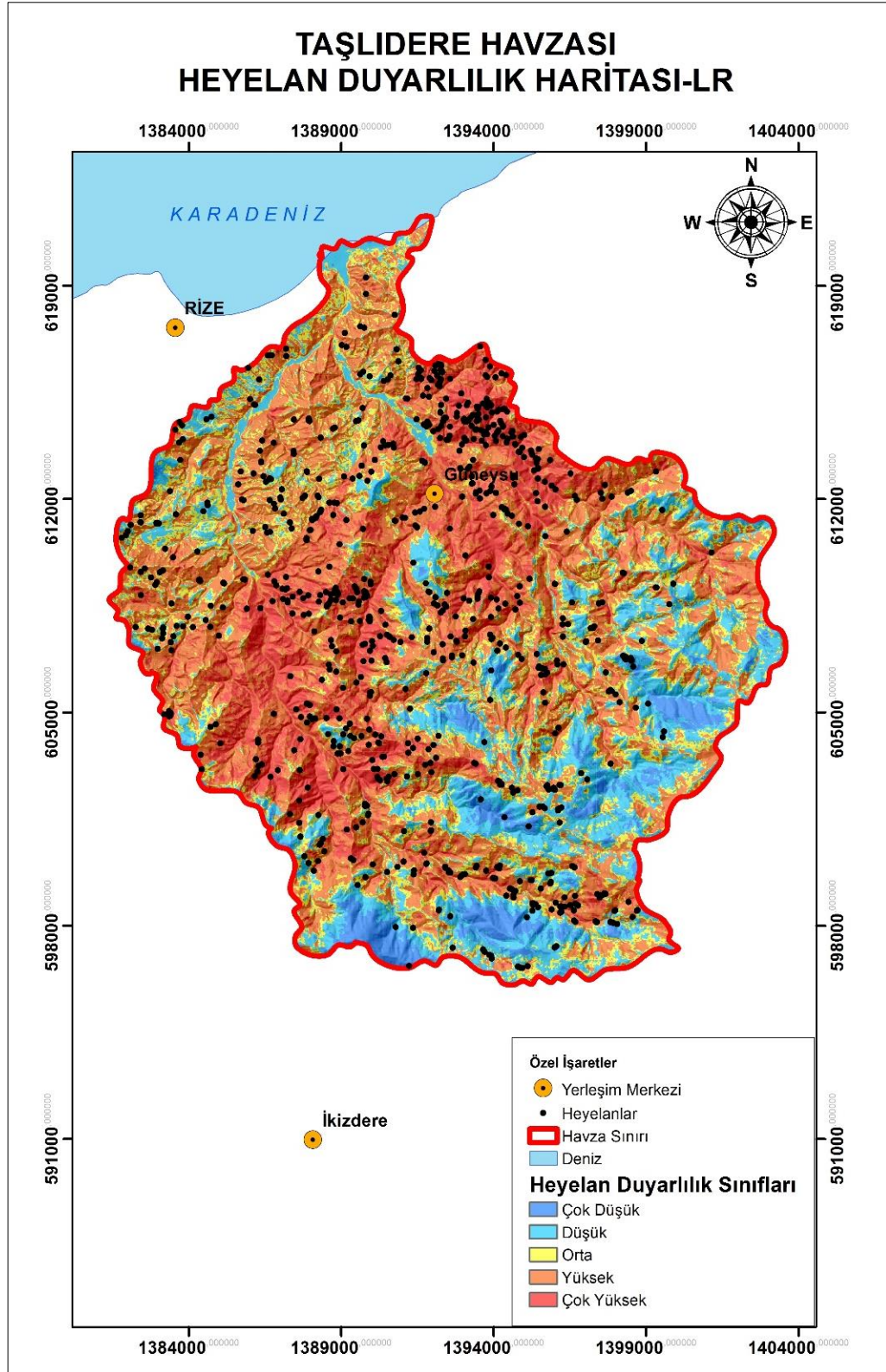
Lojistik Regresyon analizlerinde $Wald$ değerinin 2'den büyük değerler için önemli sayılmakta ve $Wald$ değeri arttıkça olasılık (P) değeri azalmaktadır. P olasılık değerinin 0,05 den küçük olması anlamlıdır. Elde edilen modelde, lojistik regresyon analiz sonuçlarından elde edilen beta (β) katsayılarının alığı değerlerin yorumu ve anlamlılık değerlendirilmesi sonuç modelinin performansı açısından oldukça önemlidir. Genelde beta (β) katsayısının önündeki işaret negatifse, kestirilen olasılık değerinin düşük, ancak pozitifse söz konusu olasılık değerinin yüksek olduğunun göstergesidir. $Exp(\beta)$ değeri ise bağımlı değişkenin bağımsız değişkenin etkisinde kaç kat yahut yüzde kaç oranda daha fazla gözlenme olasılığına sahip olduğunu ifade etmektedir. Eğer bağımsız değişkenin $Exp(B)$ değeri 1'e yaklaşıyorsa, bağımlı değişkenin üzerinde etkisi düşüktür ve değişken önemli bir risk faktörü değildir şeklinde açıklanır. Değer sıfıra yakınsa katsayı değeri önemli olmak şartıyla değişken önemli bir risk faktörüdür ancak bağımlı değişkenin düşük değerler almasına neden olan negatif yönlü bir faktör olduğunu şeklinde açıklanır [74].

Modelin LR analiz sonuçlarına göre (Tablo 4.2) su, Kaçkar gronotoyidi, alüvyon ve yola olan mesafe negatif β katsayılarına; yükseklik ve Ls faktörü 0'a, geri kalan tüm parametreler ise pozitif katsayıya sahiptir. LR katsayıları incelendiğinde drenaj yoğunluğu ve pürüzlülük indeksinin en yüksek katsayılara sahip faktörler olarak en etkili bağımsız değişken oldukları tespit edilmiştir. Jeolojik birimlerden alüvyon, bazalt andezit lav ve piroklastları kum çakıl taşı, riyodasit dasit lav ve piroklasları, andezit bazalt lav ve piroklastları; su, bakı, drenaja olan mesafe, yükselti, plan eğriselliği ve AGİ haricinde diğer tüm parametrelerin Wald değerinin 2'den büyük ve anlamlı oldukları görülmüştür. Tablo 4.2'deki $Exp(B)$ değerleri incelendiğinde 1 değerine uzak olan drenaj yoğunluğu, pürüzlülük ve Bazalt Andezit Lav Ve Piroklastları in en etkin, bakı, drenaja olan mesafe, yola olan mesafe, yükselti, LS faktörü ve su ise 1'e en yakın değer olduğu içinde bağımlı değişken üzerindeki en etkisiz faktör olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen β regresyon katsayıları Map Algebra aracılığıyla regresyon formülünde yerine yazılarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 4.2). Elde edilen duyarlılık haritası eşit dağılımlı olarak 5'e ayrılmıştır. Buna göre havzanın % 4,55 i çok düşük, %18,65 düşük,%17,45 i orta,%43,37'si yüksek, %15,99'u çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir.

Tablo 4.2 : Lojistik Regresyon Model Sonuçları.

PARAMETRE	B	S.H.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
<i>Kaçkar Gronotiyodi</i>	-0,824	0,222	13,797	1,000	0,000	0,439
<i>Bazalt Andezit Lav Ve Piroklastları</i>	1,017	0,221	21,116	1,000	0,000	2,766
<i>Bazalt Andezit Lav Ve Piroklastları Kum Çakıl Taşı</i>	0,235	0,352	0,445	1,000	0,005	1,265
<i>Riyodasit Dasit Lav Ve Piroklastları</i>	0,313	0,235	1,769	1,000	0,000	1,367
<i>Andezit Bazalt Lav Ve Piroklastları</i>	0,237	0,288	0,680	1,000	0,001	1,268
<i>Alüvyon</i>	-0,814	0,663	1,506	1,000	0,020	0,443
<i>Bozuk Orman</i>	0,409	0,222	3,391	1,000	0,000	1,505
<i>İskân</i>	0,103	2,684	0,023	1,000	0,000	1,108
<i>Orman Toprağı</i>	0,833	0,436	3,642	1,000	0,000	2,300
<i>Su</i>	-15,720	40.192,970	0,000	1,000	1,000	0,000
<i>Taşlık</i>	-0,528	1,317	2,161	1,000	0,000	1,696
<i>Ziraat</i>	0,520	0,231	5,080	1,000	0,024	1,894
<i>Verimli Orman</i>	-1,130	0,208	29,412	1,000	0,009	0,323
<i>Bakı</i>	0,001	0,001	1,873	1,000	0,266	1,001
<i>Direnaja Olan Mesafe</i>	0,000	0,001	0,006	1,000	0,939	1,000
<i>Drenaj Yoğunluğu</i>	5,603	1,213	8,059	1,000	0,037	271,286
<i>Yükselti</i>	0,000	0,000	0,153	1,000	0,753	1,000
<i>Ls Faktörü</i>	0,000	0,004	3,477	1,000	0,062	1,000
<i>Profil Eğriselliği</i>	0,217	0,145	2,242	1,000	0,034	1,242
<i>Plan Eğriselliği</i>	0,157	0,150	1,107	1,000	0,021	1,170
<i>Pürüzlülük</i>	7,953	3,417	5,416	1,000	0,000	2.843,108
<i>Eğim</i>	0,344	0,148	5,370	1,000	0,020	0,709
<i>Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi</i>	0,288	0,332	0,750	1,000	0,042	1,334
<i>Topoğrafik Nemlilik İndeksi</i>	0,183	0,286	0,411	1,000	0,000	0,832
<i>Yol Yoğunluğu</i>	0,112	0,046	5,881	1,000	0,002	1,119
<i>Yola Olan Mesafe</i>	-0,002	0,000	11,444	1,000	0,000	0,998
<i>Sabit</i>	-6,092	4,170	2,134	1,000	0,000	0,002



Şekil 4.3: Taşlıdere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası-LR.

4.4. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

YSA analizinde kullanılacak parametreler için haritalama ünitesi olarak 10*10 m mekânsal çözünürlüklü grid hücre verisi kullanılmıştır. Analizde kullanılacak parametrelerin öncelikle normalleştirme işlemi Arcmap10.4-ArcToolbox-Geomorphometry and Gradient Metrics araç çubuğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Normalize edilen parametreler “Export data” seçeneği ile “IMG” formata dönüştürülerek IDRISI 17.0 The Selva Edition programına aktarılacak üzere kaydedilmiştir. Kaydedilen parametreler IDRISI Selva programında “Import” araç çubuğu kullanılarak IDRISI raster formatı olan “rst” formata tek tek dönüştürülmüştür. Ardından YSA’nın eğitimi ve testinde kullanılacak olan heyelanlı ve heyelansız nokta verisi “ShapeIDR” araç çubuğu kullanılarak vektör formatı olan “vct” formata dönüştürülmüştür.

Yapay sinir ağları tasarım aşamasında, eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin oranları, gizli katmandaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme katsayısı, momentum katsayısı, iterasyon sayısı, MSE (The Mean Square Error) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

- Eğitim, test ve doğrulama veri setinin belirlenmesi:

Yapay sinir ağı modellerinin geliştirilmesine ilişkin süreçte ilk aşama mevcut verinin eğitim ve doğrulama verisi olmak şartıyla iki ayrı grup oluşturulmasıdır. Modelin geliştirilmesinde yararlanılacak eğitim setinin söz konusu problemi çözmede ihtiyaç olan yeter sayıda veri içermesi beklenir. Bir başka ifadeyle, YSA modelinin oluşturulmasında koşturulacak eğitim setinin özellikle kütle hareketine ilişkin duyarlılığın kestirimi için yeter sayıda heyelan var ve heyelan yok bilgisine sahip olması gerekir [75].Nokta olarak sayısallaştırılmış olan 878 adet heyelanlı %70’i eğitim ve test , %30’u doğrulama veri seti olarak ayrılmıştır. Daha sonra heyelan olmayan noktalardan da, heyelanlı nokta sayısı kadar nokta seçilerek %70’i eğitim ve test , %30’u doğrulama veri seti olarak ayrılmıştır. Daha sonra seçilen noktaların veri setleri birleştirilerek veri matrisindeki heyelanlı olan noktalar “1” ve heyelan olmayan noktalar “2” olarak atanmıştır.

- Gizli tabaka ve nöron sayısının belirlenmesi:

Gizli tabaka ve nöron sayılarının tespiti YSA model analizlerinde önemli bir konudur. Master (1994), iki adet gizli katmanın genellikle kesikli öğrenme fonksiyonlarının varlığı halinde gerekli olacağını vurgulamıştır. Hecht -Nielsen [76], Genellikle, sürekli fonksiyonların çalışılması halinde bir gizli katman yeterli olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda YSA modeli için gizli tabaka sayısı 1 olarak alınmıştır. Basheer ve Hajmeer [75] gizli katman içerisinde nöron sayısının çok az sayıda olması halinde karmaşık problemlerin çözülmesinde yetersiz olacağını ayrıca çok fazla sayıda nöron olması durumundaysa aşırı öğrenme sürecinin başlayacağı ve aşırı öğrenmenden dolayı sonuçtaki modelin genelleştirme yeterliliğini kaybedeceğini belirtmişlerdir. Çünkü analiz sürecinde eğitim setinin iterasyon süresi artan nöron sayısına bağlı üstel artmaktadır. Nöron sayısının hesaplanmasında Kaastra ve Boyd [77] nöron sayısının parametre ve çıktı sayısının çarpımının karekökü olarak alırken, Wang [78] nöron sayısını parametre sayısının üçte ikisi olarak alır. Bu bağlamda nöron sayısı 15 parametre içindeki jeoloji ve arazi kullanım sınıfları analize birbirinden bağımsız sokulduğundan bağımsız değişken sayısı 26 olarak alınmış ve nöron sayısı bunun üçte ikisi olacak şekilde seçilerek ağ yapısı 26-18-1 olarak belirlenmiştir.

- Öğrenme katsayısı, momentum katsayısı:

Öğrenme sürecini hızlandıran ve daha kararlı olmasını sağlayan öğrenme ve momentum katsayılarıdır. Öğrenme katsayısı, ağırlıkların değişim miktarına etki eder ve katsayının çok küçük olması halinde aşırı öğrenme gerçekleşebilir ve öğrenme süreci uzayabilirken büyük bir değerdeyse yetersiz öğrenmeye sebep olur. Momentum Katsayısı ise geri yayımlı ağırlarda öğrenme katsayısını artırır ve öğrenme sürecini hızlandırır [79]. Wythoff [80] momentum (β) kat sayılarının 0,4 ile 0,9 arasında bir değer alabileceğini ifade etmiştir. Öğrenme ve momentum katsayısı bu aralık içerisinde 0,5 olarak seçilmiştir.

- İterasyon sayısı ve ortalama karesel hata (RMSE):

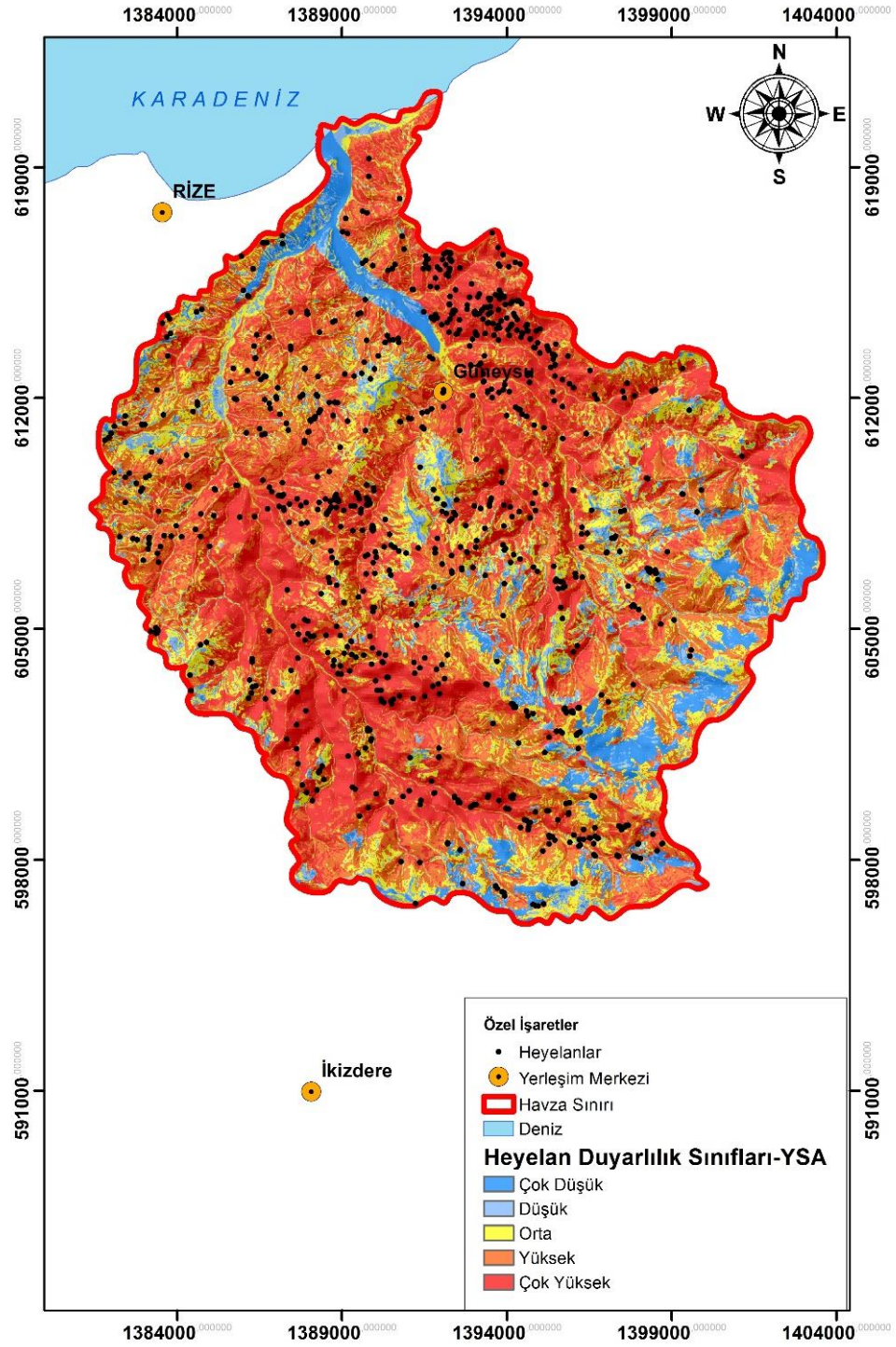
YSA analiz sürecinde gerek veri setleri için yakınsama ölçütü olan RMSE (Root Mean Square Error) değerleri kullanılmıştır. Alistırma verilerinin oluşturulmasında hedeflenen RMSE ve en büyük iterasyon değerleri sırasıyla 0,01 ve 10.000 olarak seçilmiştir.

- Aktivasyon fonksiyonu:

YSA da aktivasyon fonksiyonu bir nöron üzerinde etkin olan ağırlıklandırılmış sinyalleri ifade etmekte kullanılır [81]. Artı ve eksi sonsuz aralığında değer alabilen bir girdiyi $[0, 1]$ arasında bir değerde veren sigmoid fonksiyonunu tercih edilmektedir. Analizde, aktivasyon fonksiyonu sigmoid (lojistik) fonksiyonu kullanılmıştır.

Tüm bu değerler belirlendikten Yapay sinir ağı analizi IDRISI 17.0 The Selva Edition programında gerçekleştirilerek heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.3.2). Elde edilen duyarlılık haritasına göre havzanın %6,52' si çok düşük, %7,20'si düşük ,%18,9'u orta, %36,02'si yüksek ve %31,35'i ise çok yüksek duyarlılıktadır.

TAŞLIDERE HAVZASI HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI-YSA



Şekil 4.4: Rize İli Taşlıdere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası-YSA.

4.5. Doğruluk Analizi

FO, LR ve YSA algoritmaları kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının analiz edilmesi amacıyla genel doğruluk, ROC (Alıcı işlem karakteristikleri, Receiver Operating Characteristic) eğrisi, AUC (Eğri Altında Kalan, Area Under Curve) kullanılmıştır.

Modelin genel doğruluğunun analizi kapsamında heyelanların modellerden üretilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımları incelenmiştir (Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5). Analizlerin genel doğruluğu incelenirken yüksek ve çok yüksek alanlara dağılan heyelanların yüzdeleri toplamı alınmıştır. Buna göre genel doğruluk FO için 65,3, LR için 83,49 ve YSA için 84,17 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.3: Heyelanların FO ile elde edilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımı

<i>Duyarlılık Sınıfı</i>	<i>Heyelanlı Noktalar</i>	<i>Oran (%)</i>
<i>Çok Düşük</i>	0	0,00
<i>Düşük</i>	24	2,74
<i>Orta</i>	280	31,96
<i>Yüksek</i>	545	61,99
<i>Çok Yüksek</i>	29	3,31
Σ	878	100

Tablo 4.4: Heyelanların LR ile elde edilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımı

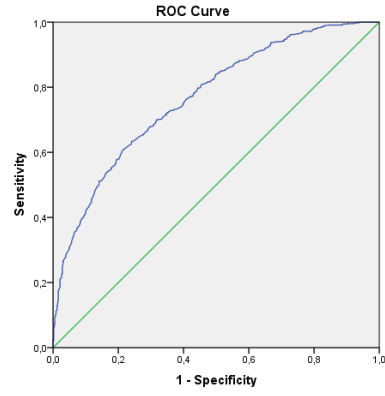
<i>Duyarlılık Sınıfı</i>	<i>Heyelanlı Noktalar</i>	<i>Oran (%)</i>
<i>Çok Düşük</i>	4	0,46
<i>Düşük</i>	58	6,61
<i>Orta</i>	83	9,45
<i>Yüksek</i>	410	46,70
<i>Çok Yüksek</i>	323	36,79
Σ	878	100

Tablo 4.5: Heyelanların YSA ile elde edilen duyarlılık haritası üzerindeki dağılımı

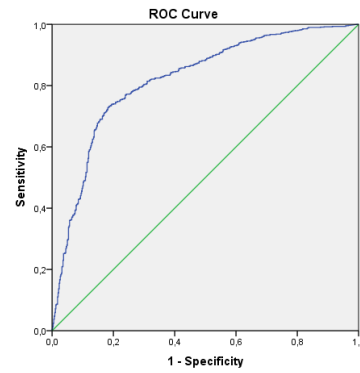
<i>Duyarlılık Sınıfı</i>	<i>Heyelanlı Noktalar</i>	<i>Oran (%)</i>
<i>Çok Düşük</i>	10	1,14
<i>Düşük</i>	25	2,85
<i>Orta</i>	104	11,84
<i>Yüksek</i>	318	36,22
<i>Çok Yüksek</i>	421	47,95
Σ	878	100

Heyelan duyarlılık analizlerinin performans değerlendirilmesi için sınıflama eşik değerinden bağımsız bir yöntem olan ROC (Receiver–Operating Characteristics) eğrileri kullanılmıştır. ROC eğrileri, farklı eşik değerleri için hesaplanmış model hassasiyet (sensitivity) –doğru pozitif bölüntü– değerlerine karşılık model özgüllük (specificity) –doğru negatif bölüntü– değerlerinin bir grafik üzerinde gösterilmesiyle oluşturulur [82].

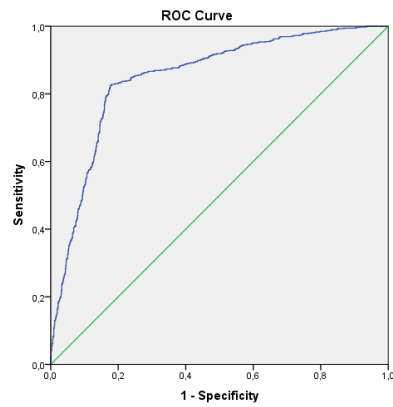
Çalışma kapsamında ROC eğrilerinin oluşturulması amacıyla IBM SPSS Statistics 20 programı kullanılmıştır. Bir ROC eğrisi altında kalan alan bir başka ifadeyle AUC (Area Under Curve) değeri geliştirilen kestirim modeline ilişkin mekânsal performansın bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu AUC değerlerinin 1’e yaklaşması durumunda mükemmel bir kestirimin gerçekleştiği, 0,5’e yaklaşması durumunda ise anlamlı bir modelin geliştirilemediği anlaşılmaktadır. Her bir model için yapılan ROC analizleri sonucunda AUC değerleri FO yöntemi için 0,72, LR yöntemi 0,83 için ve YSA yöntemi için ise 0,87 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5: FO modeli için ROC analizi.



Şekil 4.6: LR analizi için Roc analizi.



Şekil 4.7: YSA analizi için ROC analizi.

5.SONUÇLAR

Rize ili Taşlıdere Havzası içerisinde can ve mal kaybına yol açan kütle hareketleri ağırlıklı olarak sığ heyelanlar şeklinde gelişmektedir. Drenaj alanının içerisinde yer aldığı bölge Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesidir. Heyelanlar vadi tabanlarında ve nemliliğin yüksek olduğu alanlarda meydana gelmektedir. Dereler ise kıyı erozyonuna sebep olmaktadır. Ayrıca yollar yamaçların alt kesimlerine yapıldığında yamaçların topuk desteğini kaldırarak heyelana sebep vermektedir. Bu çalışmada drenaj alanı içerisinde meydana gelen bu sığ heyelanlara ilişkin heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmış ve amaç kapsamında havzanın heyelan duyarlılık analizi FO, LR ve YSA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle arazi çalışması yapılarak Taşlıdere Havzası yerinde incelenmiş ve heyelan envanteri güncellenerek havzaya dair 878 adet heyelan noktasal olarak Doç. Dr. Ahmet Hakan Nefeslioğlu tarafından sayısallaştırılmıştır. Ardından analizler için literatür taraması yapılmış, uygun parametre kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda 15 adet bağımsız değişken (arazi kullanım durumu, jeoloji, yükselti, eğim, bakı, plan eğrisellik, profil eğrisellik, pürüzlülük, AGİ, TNİ, LS faktörü, yola olan mesafe, yol yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, drenaja olan mesafe) belirlenmiş ve her bir analiz gerçekleştirilmiştir. LR ve YSA analizlerinde arazi kullanımı ve jeoloji parametrelerinin her bir alt sınıfı birbirinden bağımsız olarak ele alındığı için toplam 26 adet bağımsız değişken kullanılmıştır.

Frekans Oranı analizi için seçilen 15 parametre kategorik olarak sınıflandırılmış ve her bir parametrenin alt kategorisindeki frekans oranları hesaplanmıştır. Daha sonra bu frekans değerleri normalleştirilerek parametreler birbirleriyle karşılaştırılmak suretiyle heyelan duyarlılık indisi elde edilmiştir. Oluşturulan duyarlılık haritası daha sonra eşit olarak 5 sınıfa ayrılmıştır. Buna göre havzanın % 0,20' si çok düşük, %11,47' si düşük, %46,32' si orta, %40,86'sı yüksek ve %1,15' i çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Modelin genel doğruluğu 65,3 ve AUC değeri 0,72 olarak hesaplanmıştır.

YSA analizi için belirlenen 15 bağımsız değişkenden jeoloji ve arazi kullanım durumundaki her bir alt sınıflar birbirinden bağımsız analize sokulduğunda toplam bağımsız değişken 26 olarak belirlenmiştir. Daha sonra gizli katman sayısı 1, nöron sayısı 18 seçilerek 26-18-1 ağ yapısı, "momentum faktör" 0,5, RMS 0,001, iterasyon

sayısı 10.000 ve aktivasyon fonksiyon olarak da sigmodial fonksiyon seçilerek model IDRISI 17.0 The Selva Edition paket programında koşturulmuş ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Elde edilen harita eşit dağılımlı olarak 5 sınıfa ayrılmış ve havzanın %6,52' si çok düşük, %7,20'si düşük, %18,9'u orta, %36,02'si yüksek ve %31,35'i ise çok yüksek duyarlılıktadır. Modelin performans değerlendirmesi kapsamındaki ROC Curve Analizi sonucunda AUC değeri 0,87 olarak hesaplanmıştır.

Lojistik Regresyon analizi için öncelikle toplam heyelan var (1) ve heyelanlı yok (0) noktalarından oluşan veri matrisi 26 bağımsız değişkenin değerler atanarak oluşturulmuştur. Elde edilen bu veri matrisinden eşit sayıda heyelan olan ve heyelan olmayan nokta seçilerek eğitim seti oluşturulmuş ve IBM Statistics 20 programında analiz gerçekleştirilerek regresyon katsayıları bulunmuştur. Elde edilen bu katsayılar ArcMap ortamında parametre haritaları ile çarpıldıktan sonra Map Algebra aracılığıyla formülde yerine konularak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Elde edilen duyarlılık haritası eşit olarak 5 sınıfa ayrılmıştır. Buna göre havzanın % 4.55 i çok düşük, %18.65 düşük, %17.45 i orta, %43.37'si yüksek, %15.99'u çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Modelin AUC değeri 0,83 olarak belirlenmiştir. Katsayıları belirten Tablo.4 incelendiğinde Jeolojik birimlerden alüvyon, bazalt andezit lav ve piroklastları kum çakıl taşı, riyodasit dasit lav ve piroklastları, andezit bazalt lav ve piroklastları ile su, bakı, drenaja olan mesafe, yükselti, plan eğriselliği ve AGİ haricindeki tüm faktörlerin *Wald* değerinin 2'den büyük ve anlamlı oldukları görülmüştür. Dolayısıyla bu parametrelerin havza üzerindeki heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmasının bir etkisi olmadığı görülmüştür. Diğer yandan $Ex(\beta)$ değerlerine göre 1'e en uzak drenaj yoğunluğu, pürüzlülük, bazalt andezit lav ve piroklastlarının en etkin faktör olduğu gözlenmiştir. β katsayıları incelendiğinde drenaj yoğunluğu ve pürüzlülük katsayısı en büyük pozitif değerler olarak heyelan duyarlılığını artırıcı olurken Kaçkar gronotoyidi, taşlık ve verimli orman alanları da en yüksek negatif katsayı değerlerini alarak heyelan duyarlılığını azaltıcı olarak etkimektedir.

Duyarlılık haritalamalarının sonucunda AUC değerleri incelendiğinde YSA modelinin mekânsal performansının LR modelinin mekânsal performansına oldukça yakın olduğu ve birbirini desteklediği gözlenmiştir. YSA karakutu bir yapı olduğundan dolayı ağırlık katsayıları ve parametrelerin ne kadar etkidiği bilinmemektedir. YSA biyolojik sinir ağlarının taklit yoluyla bilgisayara aktarır ve bu durum mühendisler

açısından karakutu olarak görülür. Bunun sebebi üretilen çıktıların dışardan alınarak içeride anlamlandırmak suretiyle yine dışarıya bir çıktı vermesidir. YSA analizi içeri alınan verilerden sonuçların nasıl elde edildiğini açıklama becerisine sahip değildir. YSA, AUC değerlerine göre daha doğru bir sonuç vermekte fakat oldukça karmaşık bir analiz olup yöntem olarak ağırlık iyi tasarlanması gerekmektedir. Aşırı öğrenme yaşandığı takdirde verilen sonuçlar iyimser olmaya yönelik olacağından ağ tasarımının oluşturulması oldukça detaylı çalışılması gereken bir durumdur. Diğer yandan LR yönteminde ise parametrelerin ağırlık katsayıları ve analize etkisi tek tek görülebilmektedir. Havza için kullanılabilecek parametrelerin kestirimi açısından oldukça verimli sonuçlar vermekte ve YSA' ya göre daha kolay uygulanabilir bir yöntem olduğu gözlenmiştir.

Drenaj alanının olduğu bölgede iskân ve ziraat alanlarına yakın ormanlarda sosyal baskıdan dolayı tahribat oluşmaktadır. Ziraat alanlarının çoğunluğunu çaylık alanlar oluşturmakta olup bu alanların büyük bölümü orman alanlarının açılmasıyla oluşturulmuştur. Bu da havzada sığ heyelanlara ilişkin gerçekleşme frekansının artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple orman sınırları içerisindeki yerleşim ve ziraat alanları yakınındaki bozuk orman sahalarının sosyal baskıdan arındırılarak yeniden orman özelliği kazandırılmadır. Ayrıca yeniden yapılacak olan açmacılık faaliyetlerinin önüne geçilerek orman tahribatının önlenmesi gerekmektedir.

Çalışma alanındaki orman alanları çoğunlukla dik ve dağlık arazi kısmındadır. Eğim yüksek olduğu halde, orman sahalarında heyelana duyarlı alanların az olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda ormanların koruyucu fonksiyonlarından yararlanılmalı ve heyelanların frekansını en aza indirmek için orman alanlarının tahrip edilmesine, doğal yapılarını kaybederek kapalılıklarını yitirmesine izin verilmemeli ve bu ormanlık alanların heyelan duyarlılığı yüksek kısımlarında da ormanın koruyucu fonksiyonundan yararlanılmalıdır. Amenajman planları oluşturulurken heyelan duyarlılık haritaları değerlendirilerek ormanların heyelanı önleme fonksiyonları mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi yol yapımı ve yerleşim planlarının hazırlanması, heyelanın sebep olacağı can ve mal kayıplarının azaltılabilmesi, afet yönetim planlamasının kontrollü yapılabilmesi bakımından oldukça önemlidir. Duyarlılık haritasının üretimi tek başına yeterli olmayıp üretilen haritanın doğruluğu en etken faktördür. Bunun için kullanılan parametrelerin ve heyelan envanter verisinin

doğruluğu oldukça önemlidir. Duyarlılık parametrelerinin daha hassas üretilebilmesi parametrelerin mekânsal doğruluğunun yüksek olması ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle için çözünürlüğü daha yüksek sayısal yükseklik modelleri daha etkin sonuçlar verebilir ve havza bazında insansız hava araçları ile yüksek hassasiyetli SYM elde edilebilir. Ayrıca heyelan envanterinin güncel olması da sonucu direkt etkilediğinden dolayı bu haritalarda radar görüntülerin ya da yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden yararlanılarak daha yüksek duyarlılıkta elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özdemir A., (2008) “Zemin Mekaniği ve Zemin Mühendisliğine Giriş”, Konya: İnci Matbaası.
- [2] Cruden D., (1991), "A simple definition of a landslide, " Bulletin of the International Association Engineering Geology, 27-29.
- [3] Soeters R., Van Western C., (1996), “Slope İnstability Recognition, Analysis And Zonation”, National Academy Press.
- [4] Aleotti P., Chowdhury R., (1999), “Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58(1), 21-44.
- [5] Yüksel N., (2007), “Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında İstatistiksel Yöntemlerin ve Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi”, Ege Coğrafya Dergisi, 23(2), 19-35.
- [6] Akgün A., (2007), “Ayvalık Ve Yakın Çevresinin Erozyon Ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [7] Malamud B., Turcotte D., Guzetti F., Reichenbach P. , (2004), “Landslide inventories and their statistical properties”, Earth Surface Processes and Landforms, 29(6), 684-711.
- [8] Gökçe O., Özden Ş., Demir A., (2008), Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- [9] Tiranti D., Robert C. , (2019), “Editorial: Landslide Hazard in a Changing Environment”, Frontiers in Earth Science, 7(3), 1-3.
- [10] Dağ S., Bulut F., (2012), “An Example for Preparation of GIS-Based Landslide Susceptibility Maps : Çayeli(Rize NE Turkey)”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36(1), 35-62.
- [11] Varnes D. , (1978), "Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R.J., eds., Landslides—Analysis and control," , Special Report, National Research Council, Transportation Research Board, Washington.
- [12] Yesilnacar E., Topal, T. (2005), “Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region”, Engineering Geology, 79(3-4), 251-266.

- [13] Corominas J., Van Western C., Frattini P., Cascini L., Malet J., Fotopoulou S., Smith J. , (2014)., “Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2(73), 209-263.
- [14] Lee S.,Talib J. (2005), "Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis", Environmental Geology, 47(7), 982-990.
- [15] Bonham-Carter G., (1994), “Geographic Information Systems for Geoscientists, Modeling with GIS”, Oxford: Pergamon Press.
- [16] Hosmer D., Stanley Lemeshow S., Sturdivant R., (2013), “Applied Logistic Regression”, John Wiley & Sons.
- [17] Çan T., (2016) “Giresun İli Bulancak Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası ve Değerlendirme Projesi”, ÇEM.
- [18] Konar A., (2005), “Computational Intelligence: Principles, Techniques and Applications”, 2005 edition, Springer.
- [19] Web 1, (2018)., <https://www.psikolojik.gen.tr/yapay-sinir-aglari.html>. (Erişim Tarihi: 12/09/2018).
- [20] Can A., (2014), “Yapay sinir ağları ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde farklı algoritmaların kullanımının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- [21] Gomez H., Kavzoğlu T. , (2005), “Assesment of shallow lanslide susceptibility using artifucal neural networks in Jabonosa River Basin” Engineering Geology, 78 (1-2), 11-27.
- [22] Lee S., Ryu J., Min K., Won J., (2003), “Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network” Earth Surface Processes and Landforms, 28 (12), 1361-1376.
- [23] Yılmaz I., (2009), “Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar,Turkey : conditional probability,logistic regression,artificial neural network and support vector machine”, Environmental Earth Science, 61 (4), 821-836.
- [24] Ercanoglu M., (2011), “Aplication of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assesment in Azdavay”, Environmental Earth Sciences, 64 (4), 949-964.
- [25] Ayalew L., Yamagishi H., (2005), “The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains”, Geomorphology, 65 (1-2), 15-31.

- [26] Tekin S., Çan T., Mazman T. T., (2015), “Doğu Akdeniz bölgesinin yapay sinir ağları yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi”, MÜHJEO’2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 137-144, KTÜ, Trabzon,Türkiye, 3-5 Eylül.
- [27] Ercanoğlu M., (2005), “Landslide susceptibility assesment of SE Bartın (West Black Sea region,Turkey) by artificial neural networks”, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5 (6), 979-992..
- [28] Nefeslioğlu H. A., (2008), “An assesment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps”, Engineering Geology, 97 (3-4), 71-191.
- [29] Yılmaz I., (2010), “The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping conditional probability and artificial neural networks,” Environmental Earth Science, 60 (3), 505-519.
- [30] Feryandi F., (2011), “Landslide susceptibility assessment in Karanganyar regency- Indonesia”, Degree of Master, Westfälische Wilhelms-Universität-Universitat Jaime I-Universidade Nova de Lisboa.
- [31] Arca D., Kutoğlu Ş., (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.
- [32] Eker A., Dikmen M., Cambazoğlu S., Düzgün Ş., Akgün, H. (2012), “Bartın,Ulus ilçesi için yapay sinir ağı ve lojistik regresyon yöntemlerinin heyelan duyarlılık çalışmasına uygulanması ve karşılaştırılması” ,Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Der., 27(1), 163-173.
- [33] Çan T., Tekin S., (2016)., “İl sınırları bazında heyelan duyarlılık haritaları : Mersin Adana Osmaniye ve Hatay Örnekleri”, Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 27-29 Nisan.
- [34] Tekin S., Çan T., (2019), “Yapay sinir ağları yöntemi ile Ermenek havzasının (karaman) kayma türü heyelan duyarlılık değerlendirmesi”, Bilge International Journal of Science and Technology Research, 3(1), 21-28.
- [35] Alkeveli T., (2015), “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem Stratejileri Ve Bazı Karar Verme Ağaçları Algoritmalarının Kullanımın Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- [36] Kawabata D., Bandibas J., (2009), “Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and ANN”, Geomorphology, 113 (1-2), 97-109.
- [37] Yılmaz I., (2009), “Landslide susceptibility mapping using frequency ratio,logistic regression,artificial neural networks and their compression: A

- case study fram Kat landslides (Tokat-Turkey)", Computers&Geosciences, 35 (6), 1125-1138.
- [38] Web 2, (2018), <http://www.guneyisu.gov.tr/tarihce> , (Erişim Tarihi: 10/02/2018).
- [39] Koçman A., (1993), "Türkiye'de yağış yetersizliğine bağı kuraklık sorunu," Ege Coğrafya Dergisi, 17 (1).
- [40] Erinç S., (1965), "Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis", İstanbul Üniv.Coğ.Enst.Yayınları.
- [41] Web 3, (2018), <https://rize.tarimorman.gov.tr/Menu/12/Cografı-Yapı> , (Erişim Tarihi: 15/2/2018).
- [42] Güven İ., (1998), "Trabzon-C30 ve D30 Paftaları", 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, MTA.
- [43] Güven İ., (1993), "Doğı Pontidlerin jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu", MTA.
- [44] Yılmaz I., Terlemez İ., Uysal Ş., (1998), "Hınıs (Erzurum güneydoğıusu) dolaylarının bazı stratigrafik ve tektonik özellikleri", MTA Dergisi, 108.
- [45] Okay I., Şahintürk Ö., (1997), "Geolog of the Eastern Pontides", In: A.G.Robinson Editors, "Regional and petroleum of the Black Sea and surriounding region", AAPG Memoir.
- [46] Şaroğılu F., Yılmaz Y., (1986), "Geological evolution and basin models during neotectonic episode in the Eastern Anatolia", Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 107 (107), 0-93.
- [47] Gedikoğılu A., Pelin S., Özsayar T., (1979), "Tectonic evolution of the eastern Pontides in Mesozoic," Geocome-I, 428 (1), 68.
- [48] Özsayar T., Pelin S., Gedikoğılu A., (1981), "Doğı PonTidlerde kretase," KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 65-114.
- [49] Fell R., Corominas J., Bonnard C., CAscini L., Leroi E.,Savage W., (2008), "Spatial data for landslide susceptibility,hazard,and vulnerability assessment: An overview", Engineering Geology, 102 (3-4), 99-111.
- [50] Eraslan İ., Şad H. (1993), "Orman Amenajmanı", İstanbul Üniversitesi.
- [51] Gündoğıdu K., (2003), "Sayısal yükseklik modellerinin arazi boy kesitlerinin çıkarılmasında kullanımı", Uludağı Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi, 17 (1), 149-157.

- [52] Yastıklı N., (2009), "Sayısal Arazi Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü.
- [53] Yastıklı N., Jacobsen K., (2003), "Automatic digital elevation model generation, problems and restriction in urban areas", YTÜ Dergisi, 2003-2, 38-46.
- [54] Öztürk E., (2006), "Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem ve Ölçeklerde Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- [55] Ayalew L., Yamagishi H., Ugawa N., (2004), "Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, The case in Tsugawa area of Agano river, Niigata Prefecture, Japan," Landslides, 1 (1), 73-8.
- [56] Yeon Y., Ryu K., (2010), "Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, Using a decision tree", Engineering Geology, 116 (3-4), 274-283.
- [57] Wilson J., Gallant J., (2000), "Terrain Analysis : Principles and Applications", 1 edition, Wiley.
- [58] Milewski I., Markoski B., Gorin S., Jovanovski M., (2009), "Application of remote sensinh and GIS in detection of potential landslide areas", Scientific Symposium Geography and Sustainable Development, Ohrid, Republic of Macedonia, 22-25 October.
- [59] Gökçeoğlu C., Ercanoğlu, M., (2001), "Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler", Yerbilimleri, 22 (23), 189-206.
- [60] Evans I., (1972), "General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics In Chorley", Spatial Analysis in Geomorphology, Harper & Row.
- [61] Moore I., Grayson R., Ladson A., (1991), "Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications", Hydrological Processes, 5 (1), 3-30.
- [62] Korup O., (2005), "'Geomorphic imprint of Landslides on Alpine river systems, Southwest New Zealand", Earth Surface Processes and Landforms, 30 (7), 783-800.
- [63] Moore I., & Wilson J., (1992), "Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation : simplified method for estimation" Journal of Soil and Water Conversation, 47 (5), 423-428.

- [64] Saha A., Gupta R., Arora M., (2002), "GIS-based landslide hazard zonation in Bhagirathi (Ganga) valley,Himalayas" *Int.J.Remote Sensing*, 23 (2), 357-369.
- [65] 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), 1-12.
- [66] Verstappen H., (1983), "Applied Geomorphology", Enschede: ITC.
- [67] Horton R., (1932), "Drainage-basin characteristics," *Transactions-American Geophysical Union*", 13(1), 350-361.
- [68] Horton R. (1945), "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology", *Bulletin Of The Geological Society Of America*, 56(3), 275-370.
- [69] Uzunsoy M., Görcelioğlu E., (1985), "Havza Islahında Temel İlke ve Uygulamalar", İ.Ü.Orman Fakültesi Yayınları.
- [70] Montgomery D., (1994), "Road surface drainage,channel initiation and slope instability" *Water Resources Research*", 30 (6), 1925-1932.
- [71] Furniss M., T.D. R., Yee C., (1991), "Road construction and maintenance" *American Fisheries Society Special Publication*, 19, 297-324.
- [72] Larsen M., Parks J., (1997), "How wide is a Road?The association of roads and mass movements in a forested mountane environment" *Earth Surface Process and Landforms*, 22, 835-848.
- [73] Harr R., Nichols R., (1993), "Stabilizing forest roads to help restore fish habitats: a northwest Washington example" *Fisheries*, 18 (4), 18-22.
- [74] Özdamar A., (2004), "Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi", Genişletilmiş 5.Baskı, Kaan Kitabevi.
- [75] Basher I., Hajmeer M., (2000), "Artificial neural networks: fundamentals,computing, design, and application" *Journal of Microbiological Methods*"43 (1), 3-31.
- [76] Hect-Nielsen R., (1990), "Neurocomputing", Addison-Wesley.
- [77] Kaastra I., Boyd M., (1996), "Designing a neural network for forecasting financial and economic time series" *Neurocomputing*, 10 (3), 215-236.
- [78] Wang C., (1994), "Theory of generalization in learning machines with neural application", *Doctoral Dissertation*, The University of Pennsylvania.

- [79] Jacobs R., (1998), "Increased rates of convergence through learning rate adaptation" *Neural Networks* 1, 1 (4), 295-307.
- [80] Wythoff B., (1993), "Backpropagation neural networks: a tutorial" *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 18 (2), 115-155.
- [81] Negnevitsky M., (2002), "Artificial Intelligence A Guide to Intelligent Systems", 2nd Edition, Addison-Wesley.
- [82] Daelo J., (1993), "Receiver operating characteristic laboratory (ROCLAB): software for developing decision strategies that account for uncertainty", (2nd) *International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis*, 315-318, College Park, MD, USA, 25-28 April.
- [83] Yılmaz A., Adamia S., Engin T., Lazarashvili T., (1997), "Geoscientific studies of the area along Turkish-Georgian border", MTA Report.
- [84] Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A., (1987), "Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri," MTA Raporu.
- [85] Atalay İ., (1987), "Türkiye Jeomorfolojisine Giriş", Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- [86] Ulusay R., Tuncay E., Sönmez H., Gökşeoğlu C., (2004), "An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey", *Engineering Geology*, 74 (3-4), 265-291.
- [87] Schalkoff R., (1997), "Artificial Neural Network", McGraw-Hill College.
- [88] Abe K., Ziemer R., (1991), "Effect of tree roots on shallow-seated landslides", XIV IUFRO World Congress, Montreal, Quebec, Canada.
- [89] Imaizumi F., Sidle R., Kamei R., (2008), "Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan" *Earth Surface Processes and Landforms*, 33 (6), 827-840.
- [90] Rickli C., (2009), "Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland", *Forest Snow and Landscape Research*, 82 (1), 33-44.
- [91] Barka A., (1984), "Erzincan havzasının bazı nanotektonik özellikleri", 1. Ulusal Deprem Sempozyumu, 223-247, Ankara, Türkiye, 13-14-15 Kasım.
- [92] Rice R., (1977), "Forest management to minimize landslide risk", Pacific Southwest Research Station - Forest Service, Rome.
- [93] Innes J., (2004), "Forests In Environmental Protection", In: *Forests And Forest Plants*, Volume 1., Eolls Publishers.

- [94] Web 4, (2018), <http://www.guneysu.bel.tr/Ilcemiz/Cografi-Yapisi-618.html> (Erişim Tarihi: 09/01/2018).
- [95] Gökçeoğlu C., Nefeslioğlu H., Duman T., Çan T., (2005), “Kuzulu Landslide (Sivas,Turkey)and landslide-susceptibility map of its near vicinity”, Engineering Geology, 81 (1), 65-83, 2005.
- [96] Turner T., Duke S., Fransen B., Reiter M., Kroll A., Bach J., Bilby R.E., (2010)., “Landslide densities associated with rainfall, stand age, and topography on forested landscapes, southwestern Washington, USA”, Forest Ecology and Management , 259 (12), 2233-2247.
- [97] Dhakal A., Sidle R., (2003), “Long-term modelling of landslides for different forest management practices”, Earth Surface Processes and Landforms, 28 (8), 853-868.
- [98] Boztuğ D., Erçin A., Kuruçelik M., Göç D., Kömür İ., İskenderoğlu A., (2006), “Main geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith derived from subduction through collision to extensional stages of the Neo-Tethyan convergence system in the Eastern Pontides,Turkey”, Journal of Asean Earth Sciences, 27 (3), 286-302.
- [99] Bektaş O., Şen C., Atıcı Y., Köprübaşı N., (1999), “Migration of the upper cretaceous subduction-related volcanism towards the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc(NE Turkey)”, Geol.Journal, 34 (1-2), 95-106.
- [100] Berger F., Rey F., (2004), “Mountain protection forests against natural hazards and risks: new french developments by integrating forests in risk zoning”, Natural Hazards, 33 (3), 395-404.
- [101] Şengör A., Kidd W., (1979), “Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and comparison with Tibet”, Tectonophysics, 55 (3-4), 361-376.
- [102] ÇEM, 2016,Rize ili heyelan tehlike haritası yapım projesi jeolojik jeoteknik etüt raporu,Çem Genel Müdürlüğü..
- [103] Nilawera N., Nutalaya P., (1999), “Role of tree roots in slope stabilization”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 57 (4), 337-342.
- [104] Moore I., Burch G., (1986), “Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory”, Water resources research, 22 (8), 1350-1360.
- [105] Yılmaz C., Şen C., Özgür S., (2003), “Sedimentologic,paleontologic and volcanic records of the timing of the earliest andesitic volcanic activity in the eastern Pontide volcanic arc”, Geologica Carpathica, 54 (6), 377-384.

- [106] Duan J., Grant G., (2000), "Shallow Landslide Delineation For Step Forest Watersheds Based On Topographic Attributes And Probability Analysis", In: JP Wilson, JC Gallant, Editors, "Terrain Analysis: Principles and Applications", John Wiley & Sons.
- [107] Robinson A. G., Bank C., Rutherford M., Hirst J., (1995), "Stratigraphic and structural development of the E-Pontides", Journal of the Geol.Soc.of London, 152 (5), 861-872.
- [108] Yılmaz A., Adamia S., Chabukiani A., Chkhotua T., Erdoğan K., Tuzcu S., Karabıyıkoglu M., (2000), "Structural correlation of the southern Transcaucasus (Georgia)–Eastern Pontides (Turkey). Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area", In: , E. Bozkurt, J.A. Winchester and J.D.A. Piper,Editors, "Geological Society Special Publication No.173", Geological Society,London Special Publications.
- [109] Frehner M., Wasser B., Schwitter R., (2007), Sustainability and success monitoring in protection forests, Bern: Federal Office for the Environment.
- [110] Şengör A., Yılmaz Y., (1981), "Tethyan evolution of Turkey,a plate tectonic approach", Tectonophysics, 75, 181-142.
- [111] O'loughlin, C., (1974)., "The effect of timber removal on the stability of forest soils," The Journal of Hydrology, 13 (2), 121-134.
- [112] Steinacher R., Medicus G., Fellin W., Zangerl C., (2009), "The influence of deforestation on slope (in-)stability", Austrian Journal of Earth Sciences, 102 (2), 90-99.
- [113] Koçyiğit A., (1985), "The Karayazı fault", Geol soc.Turkey Bull, 28, 67-72.
- [114] Sakals M., Innes J., Wilford D., Sidle R., Grant G., (2006), "The role of forests in reducing hydrogeomorphic hazards", Forest Snow Landscape Research, 80 (1), 11-22.
- [115] Beven K.J.,Kirkby M.J; (1978), "A physically based, variable contributing areamodel of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable soils, de l'hydrologie du bassin versant", 24 (1), 43-69.
- [116] Barling R.D, (1992), "Saturation Zones and ephemeral on arable land in southeastern Australia", Unpublished Phd Dissertation,University of Melbourne.

ÖZGEÇMİŞ

Gehver ALTÜRK 1990 yılında Uludere’de doğdu. 2007 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında başarıyla tamamladı. 2011-2013 yılları arasında özel sektör deneyiminin ardından 2013 yılında Harita Mühendisi olarak göreve başladığı kamu alanında Orman ve Su uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir. 2016 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği ana bilim dalında Jeodezi Ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı yüksek lisansa başladı. İyi derecede İngilizce ve orta seviyede Fransızca bilmektedir.