

**ADRASAN VE OLİMPOS (ANTALYA) BÖLGELERİNİN  
HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ HAZIRLANMASI**

**PREPERATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILTY MAP OF  
ADRASAN AND OLIMPOS (ANTALYA) REGIONS**

**GİZEM BAŞTUĞ**

**Prof.Dr. HARUN SÖNMEZ**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. MURAT ERCANOĞLU**

**Eş Danışman**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

**GİZEM BAŞTUĞ'**un hazırladığı **"Adrasan Ve Olimpos (Antalya) Bölgelerinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması"** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Tamer Topal



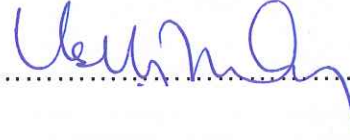
Danışman

Prof. Dr. Harun Sönmez



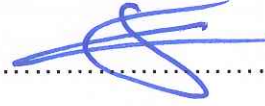
Üye

Prof. Dr. Işık Yılmaz



Üye

Prof. Dr. Şener Ceryan



Üye

Doç. Dr. Celal TUNUSLUOĞLU



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 01.07.2023 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

19 / 06 / 2018

(İmza)

Gizem Baştuğ

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

19 / 06 / 2018



Gizem Baştuğ

## ÖZET

### **ADRASAN VE OLİMPOS (ANTALYA) BÖLGELERİNİN HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ HAZIRLANMASI**

**Gizem Baştuğ**

**Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. HARUN SÖNMEZ**

**Eş Danışman: Prof. Dr. MURAT ERCANOĞLU**

**Haziran 2018, 86 sayfa**

Jeolojik, topoğrafik ve iklimsel faktörlere ek olarak, nüfus artışına bağlı olarak gelişen bilinçsiz kentleşme sonucunda oluşan heyelanlar, dünyada birçok ülkede önemli can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Literatürde, heyelan zararlarını azaltmak için çok sayıda çalışma bulunmakta ve bu çalışmaların temelini de heyelan envanter haritalamaları oluşturmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Antalya ili, Adrasan ve Olimpos bölgesinde heyelan oluşumunu ve etkisini azaltmak için, frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemleri ile karşılaştırmalı heyelan duyarlılık haritalama çalışması yapılarak, yöntemlerin performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; ilk olarak, saha gözlemleri ile heyelan envanter haritası üretilmiş, daha sonra, bölgede heyelan oluşumunu etkilediği düşünülen 11 parametre (eğim, bakı, eğrisellik, litoloji, yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık, sediman taşıma kapasite indeksi, akış gücü indeksi, nemlilik indeksi, drenaj ağına uzaklık, yükseklik) dikkate alınarak, CBS ortamında bir veri tabanı oluşturulmuştur. Analiz yöntemleri olarak belirlenen lojistik regresyon ve frekans oranı ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Her

iki yöntem ile üretilen duyarlılık haritalarının performansının değerlendirilmesinde ROC eğrisi çizilerek, eğri altında kalan AUC değerlerine göre FR yöntemi (0.846) ile üretilen duyarlılık haritasının performansı, LR yöntemi (0.827) ile üretilen duyarlılık haritasının performansından biraz daha iyi olduğu hesaplanmıştır. Sonuç olarak, her iki yöntemle de oluşturulan duyarlılık haritalarının, yüksek performansa sahip ve saha gözlemleri ile uyumlu olmasının, gelecekte yapılması planlanan çalışmalar için kullanılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adrasan ve Olimpos bölgesi, Frekans Oranı (FR), Lojistik Regresyon (LR), Heyelan Envanter, Heyelan Duyarlılık Haritalaması.

## **ABSTRACT**

### **PREPERATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP OF ADRASAN AND OLIMPOS (ANTALYA) REGIONS**

**Gizem Baştuğ**

**Master of Science, Department of Geological Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. HARUN SÖNMEZ**

**Co-advisor: Prof. Dr. MURAT ERCANOğLU**

**June 2018, 86 pages**

Landslides occurring as a consequence of conurbation related to increasing population are - in addition to geological, topographical and climatic conditions - causing serious amounts of life and property loss worldwide. There are many studies in literature which are aimed to reduce damage caused by landslides and landslide inventory maps are centerpieces to aforementioned studies. Within this thesis study, main goal is to perform comparative landslide susceptibility mapping using logistic regression and frequency ratio methods to reduce landslide occurrence and damage in Antalya's Adrasan and Olimpos regions, and assessing performance of each method in context of our goal. To accomplish this purpose; first, landslide inventory map is created based on field observations. Later, 11 parameters related to landslide occurrence in region (slope, aspect, curvature, lithology, distance to roads, distance to the faults, sediment transport capacity index, stream power index, wetness index, distance to stream, elevation) are made use of to form a databse in CBT environment. Selected methods namely logistic regression and frequency ratio are used to create landslide susceptibility

maps. ROC curve is used to assess performance of susceptibility maps created by both methods; according to AUC value under the curve, the susceptibility map acquired from FR method (0,846) performed slightly better than the susceptibility map acquired from LR method (0,827). As a result, the susceptibility maps acquired from any methods showed high performance and compatibility with the field observations, therefore either one of them is determined to be practicable in future studies.

**Key words:** Adrasan and Olimpos region, Frequency Ratio (FR), Logistic Regression (LR), Landslide Inventory, Landslide Susceptibility Mapping.



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, ilgisini esirgemeyen ve tezimin bugünkü haline gelmesinde katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Harun Sönmez'e

Çalışmanın tüm aşamalarında büyük emeği geçen, özellikle haritalama çalışmalarında bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen tez eş danışmanım Sayın Prof. Dr. Murat Ercanoğlu'na,

Tezimin her aşamasında yoğun iş temposuna rağmen benden desteğini, bilgi ve yorumlarını esirgemeyen, maddi manevi her zaman yanımda olan sevgili arkadaşım ve değerli meslektaşım Jeoloji Mühendisi Aykut Birinci'ye,

Tez çalışması süresince destekleri ve gülyüzleri ile motivasyonumu yüksek tutan sevgili dostlarım Pınar Ceridoğlu ve Göze Öztürk'e,

Tez yazımı boyunca, her türlü destekte bulunan, beni yalnız bırakmayan sevgili kardeşim Kadir Baştuğ'a,

Hayatımın her evresinde maddi manevi desteğini benden esirgemeyen, cesareti ve azmi ile bana güç veren, benim başarılarım için büyük özverilerde bulunan sevgili annem Cemile Önal'a,

İçtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİLLER .....	viii
ÇİZELGELER .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışma Alanının Tanımı .....	2
1.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi .....	4
1.1.1. Sarıyardere Formasyonu .....	6
1.1.2. Sapandere Formasyonu .....	6
1.2.3. Hocaninsuyu Formasyonu .....	6
1.2.4. Pamucakyayla Formasyonu .....	6
1.2.5. Dinek Formasyonu .....	7
1.2.6. Keskemköprü Formasyonu .....	7
1.2.7. Alakırçay Grubu .....	7
1.2.7.1. Gökdere Formasyonu .....	7
1.2.7.2. Tesbihli Formasyonu .....	8
1.2.7.3. Çandır Formasyonu .....	8
1.2.7.4. Karadere Formasyonu .....	8
1.2.8. Tekedağı Formasyonu .....	8
1.2.9. Keçili Formasyonu .....	9
1.2.10. Kırkdirek Formasyonu .....	9
1.2.11. Tekirova Ofiyoliti .....	9
1.2.12. Antalya Traverteni .....	9
1.2.13. Eski Yamaç Molozu ve Birikinti Konileri .....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	10

3. HEYELAN ENVANTER ÇALIŞMASI VE PARAMETRE HARİTALARININ HAZIRLANMASI.....	32
3.1. Heyelan Envanteri.....	32
3.2. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin hazırlanması .....	38
3.2.1. Sayısal Yükseklik Modeli .....	38
3.2.2. Yamaç Eğimi .....	41
3.2.3. Bakı .....	43
3.2.4. Litoloji .....	45
3.2.5. Drenaj Ağına Uzaklık.....	47
3.2.6. Yollara Uzaklık .....	49
3.2.7. Yapısal Unsurlara Uzaklık .....	51
3.2.8. Eğrisellik.....	53
3.2.9. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi .....	55
3.2.10. Akış Gücü İndeksi .....	57
3.2.11. Nemlilik İndeksi .....	59
4. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ .....	61
4.1. Frekans Oranı Metodu.....	61
4.2. Lojistik Regresyon Yöntemi .....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	72
KAYNAKLAR.....	74

## ŞEKİLLER

### Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası .....	3
Şekil 1.2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (MTA 2009'dan değiştirilerek alınmıştır.) .....	5
Şekil 3.1. Çalışma bölgesine ait heyelanların mekânsal dağılımı .....	34
Şekil 3.2. Adrasan ve çevresinde, heyelanların geliştiği jeolojik birimlere ait örnek fotoğraf .....	35
Şekil 3.3. Adrasan ve çevresinde yol kesmesi sonucu gelişen heyelanlarda ağaçların aşağı doğru yönelimine ait örnek fotoğraf .....	35
Şekil 3.4. Adrasan ve çevresinde heyelan etkileri için alınan önlemlere ait örnek fotoğraf .....	36
Şekil 3.5. Adrasan ve çevresinde oluşan heyelanlara ait örnek fotoğraflar .....	36
Şekil 3.5. (devam ediyor) .....	37
Şekil 3.6. TIN (Düzensiz Üçgenler Ağı) haritası .....	39
Şekil 3.7. Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli .....	40
Şekil 3.8. Yamaç Eğimi Haritası .....	42
Şekil 3.9. Bakı Haritası .....	44
Şekil 3.10. Litoloji Haritası .....	46
Şekil 3.11. Drenaj Ağına Uzaklık Haritası .....	48
Şekil 3.12. Yollara Uzaklık Haritası .....	50
Şekil 3.13. Yapısal Unsurlara Uzaklık Haritası .....	52
Şekil 3.14. Eğrisellik Haritası .....	54
Şekil 3.15. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi Haritası .....	56
Şekil 3.16. Akış Gücü İndeksi Haritası .....	58
Şekil 3.17. Nemlilik İndeks Haritası .....	60
Şekil 4.1. Frekans Oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	66

Şekil 4.2. Lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	69
Şekil 4.3. FR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının performansı .....	71
Şekil 4.4. LR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının performansı .....	71

## ÇİZELGELER

### Sayfa

Çizelge 1.1. Afet türüne göre afet olay sayısı ve afetzede sayılarının dağılımı (Gökçe vd.,2008).....	1
Çizelge 3.1. Varnes [54] tarafından önerilen heyelan sınıflaması.....	32
Çizelge 4.1. Parametre alt kategorilerine ait Frekans Oranı değerleri.....	62
Çizelge 4.2. Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen parametre katsayıları ve değerler .....	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A	Çalışma alanına ait piksel sayısı
$A_s$	Havza alanı
B	Parametre ağırlık katsayıları
$\beta$	Yamaç eğimi
$H_p$	Heyelanlı piksel sayısı
$H_{pix}$	Parametre alt kategorisi heyelanlı piksel sayısı
m	Katsayı
n	Katsayı
P	Bağımsız değişken sayısı
$P_{ix}$	Parametre alt kategorisinin çalışma alanındaki piksel sayısı
$W_f$	Faktör ağırlığı
$W_i$	İstatiksel indeks
X	Bağımsız değişken
Y	Bağımlı değişken
$\lambda$	Gama operatörü

### Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
ANN	Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks)
AR	Adımsal Regresyon
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AUC	Eğri altında kalan alan (Area Under Curve)
BLR	İkili Lojistik Regresyon (Binary Logistic Regression)
BSA	İki değişkenli istatiksel analiz (Bivariate Statistical Analysis)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CP	Koşullu Olasılık

DEM	Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model)
DT	Karar Ağacı (Decision Tree)
EBF	Evidential Belief Function
FR	Frekans Oranı (Frequency Ratio)
LR	Lojistik Regresyon (Logistic Regression)
LRM	Likelihood Ratio Method
LSM	Heyelan Duyarlılık Haritalaması (Landslide Susceptibility Mapping)
LSI	Heyelan Duyarlılık İndeksleri (Landslide Susceptibility Index)
LSZ	Heyelan Duyarlılık Zonu (Landslide Susceptibility Zone)
LULC	Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü (Land Use Land Cover)
MARS	Multivarite Adaptive Regression Splines
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik Arama
NDVI	Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
PGA	En büyük yer ivmesi (Peak Ground Acceleration)
RMSE	Ortalama karekök hata (Root Mean Square Error)
RO	Rastgele Orman
ROC	Alıcı işletim karakteristiği (Relative Operating Characteristics)
SPI	Akış gücü indeksi (Stream Power Index)
SPOT	System for Earth Observation
SVM	Destek vektör makinesi (Support Vector Machine)
TIN	Düzensiz Üçgen Ağı (Triangulated Irregular Network)
TWI	Topoğrafik Nemlilik İndeksi (Topographical Wetness Index)
WI	Nemlilik İndeksi (Wetness Index)
WLC	Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (Weighted Linear Combination)
WOE	Kanıt ağırlığı (Weights of Evidence)



# 1. GİRİŞ

Afet, milli veya milletler arası düzeyde yardım ihtiyacı duyulan, gerçekleşme zamanı tahmin edilemeyen, büyük zararlara ve kayıplara sebep olan olaylar olarak ifade edilmektedir [1]. Yüzyıllardır yer kürenin hareketi, iklimsel faktörler nedeni ile dünyanın pek çok yerinde can ve mal kayıplarına sebep olan, ülke ekonomilerini ve doğal çevreyi olumsuz yönde etkileyen doğal afetler meydana gelmektedir. Çarpık kentleşme, kontrolsüz alt yapı ve üst yapı, düzensiz nüfus artışı gibi insana dayalı faktörler; doğal afetleri tetikleyici unsurlar olmakla birlikte, sonucunda yaşanan kayıpları da arttırmaktadır. Örnek olarak, 119 milyon insanın etkilendiği, 10655 insan yaşamının son bulduğu ve 41.3 milyon dolardan fazla ülke ekonomilerinin zarara uğradığı, 335 doğa olayı 2009 yılında meydana gelmiştir [1]. İnsan yaşamını ve ülke ekonomilerini tehdit eden deprem, taşkın, sel v.b doğal afetlerden heyelanlar, istatistiksel olarak Türkiye’de depremlerden sonra en çok can ve mal kaybına yol açan bir doğa olayı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Afet türüne göre afet olay sayısı ve afetzede sayılarının dağılımı (Gökçe vd.,2008)

Afet Türü	Afet Olay Sayısı	Etkilenen İnsan Sayısı
Heyelan	13.494	59.345
Kaya Düşmesi	2.956	19.422
Taşkın	4.067	22.157
Deprem	5.318	158.241
Diğer Afetler	1.175	9.237
Çığ	731	4.384
Çoklu Afetler	2.024	12.210
Tasnif Edilmemişler	42	0
<b>Toplam</b>	<b>29.807</b>	<b>284.996</b>

Türkiye’de yaşanan doğal afetler içerisinde can kayıpları açısından depremler %53’lük oran ile birinci sırada, heyelanlar ise %18’lik oranı ile ikinci sırada yer almaktadır [2]. Çizelge 1.1’ de de görüldüğü üzere oluşan heyelan sayısının fazla olması ve sonucunda yaşanan can kayıpları nedeni ile araştırmacılar; olası heyelan bölgelerinin tespit edilmesi, şehir yerleşim planlarının yapılabilmesi, can ve mal kaybının azaltılması gereksiniminden yola çıkarak heyelan riskini ve sonuçlarındaki kayıpları azaltacak çalışmalar yapmaya başlamışlardır.

Yukarıda bahsedilen konular göz önüne alınarak bu tez çalışması kapsamında; turistik bir bölge olan Adrasan ve çevresinde heyelandan kaynaklanan zararların azaltılmasına yönelik heyelan duyarlılık haritaları hazırlanmıştır. Bu amaç

doğrultusunda; Adrasan ve yakın çevresinde saha çalışması yapılmış ve 1/25000 ölçekte topoğrafik harita üzerinde heyelan sınırları işaretlenmiştir. Çalışma alanının heyelan envanter haritası oluşturulduktan sonra, CBS kullanılarak heyelan oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametreler oluşturulmuş ve etkileri değerlendirilmiştir. Analiz yöntemi olarak lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemleri dikkate alınmıştır. En son olarak bu iki yöntem ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırılması olarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

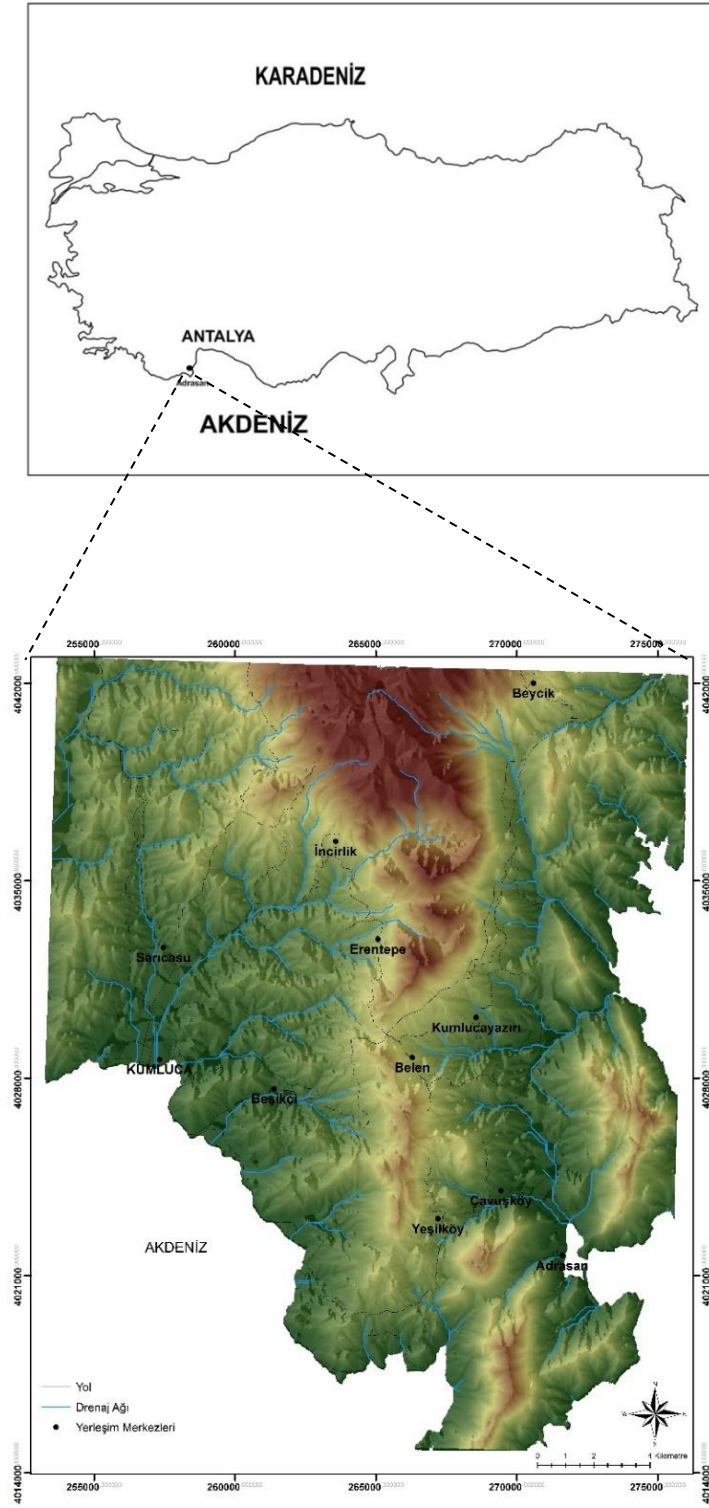
### **1.1. Çalışma Alanının Tanımı**

Çalışma alanı; Batı Akdeniz Bölgesi'nde Antalya ili Kumluca ilçesi Adrasan köyü sınırları içinde, 1/25000 ölçekli Antalya P24-b1, Antalya P24-b2, Antalya P24-b3 ve Antalya P24-b4 paftaları içinde olup, 36 UTM zonunun N4042<sup>976</sup>-4014<sup>933</sup>/E252<sup>897</sup>-276<sup>086</sup> koordinatları arasında yer almakta ve 650 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır.

Çalışma alanında kırsal yerleşim mevcut olup, turistik bir belde olduğu için yaz aylarında nüfus artışı gözlenmektedir. Bölgedeki en önemli yerleşim merkezi Antalya ilinin Kumluca ilçesidir. Diğer önemli yerleşim yerleri; Adrasan, Belen, Beşikçi, Beycik, Çavuşköy, Erentepe, İncirlik, Kumluca yazırı, Sarıcasu, Yeşilköy'dür (Şekil 1.1).

Çalışma alanındaki başlıca önemli yükseltiler; Ortacağ Tepe (1141 m), Eren Tepe (1165 m), Yangılı Tepe (1238 m), Çamlekkırı Tepe (1472 m), Ortadağ Tepe (1448 m), Gürece Tepe (1649 m), Minaretaşı Tepe (1514 m), Sarıyarbaşı Tepe (1436 m), Manav Tepe (1482 m), Eyefli Tepe (1484 m); önemli akarsular ise, Ulupınar Deresi, Alakır Çayı, Kavaklı Deresi, Süleymancık Deresi, Karasazak Deresi, Çilli Deresidir.

Çalışma alanında Akdeniz iklimi görülmektedir. Kışları bol yağışlı, yazları kurak geçmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 1066.9 mm'dir [3].

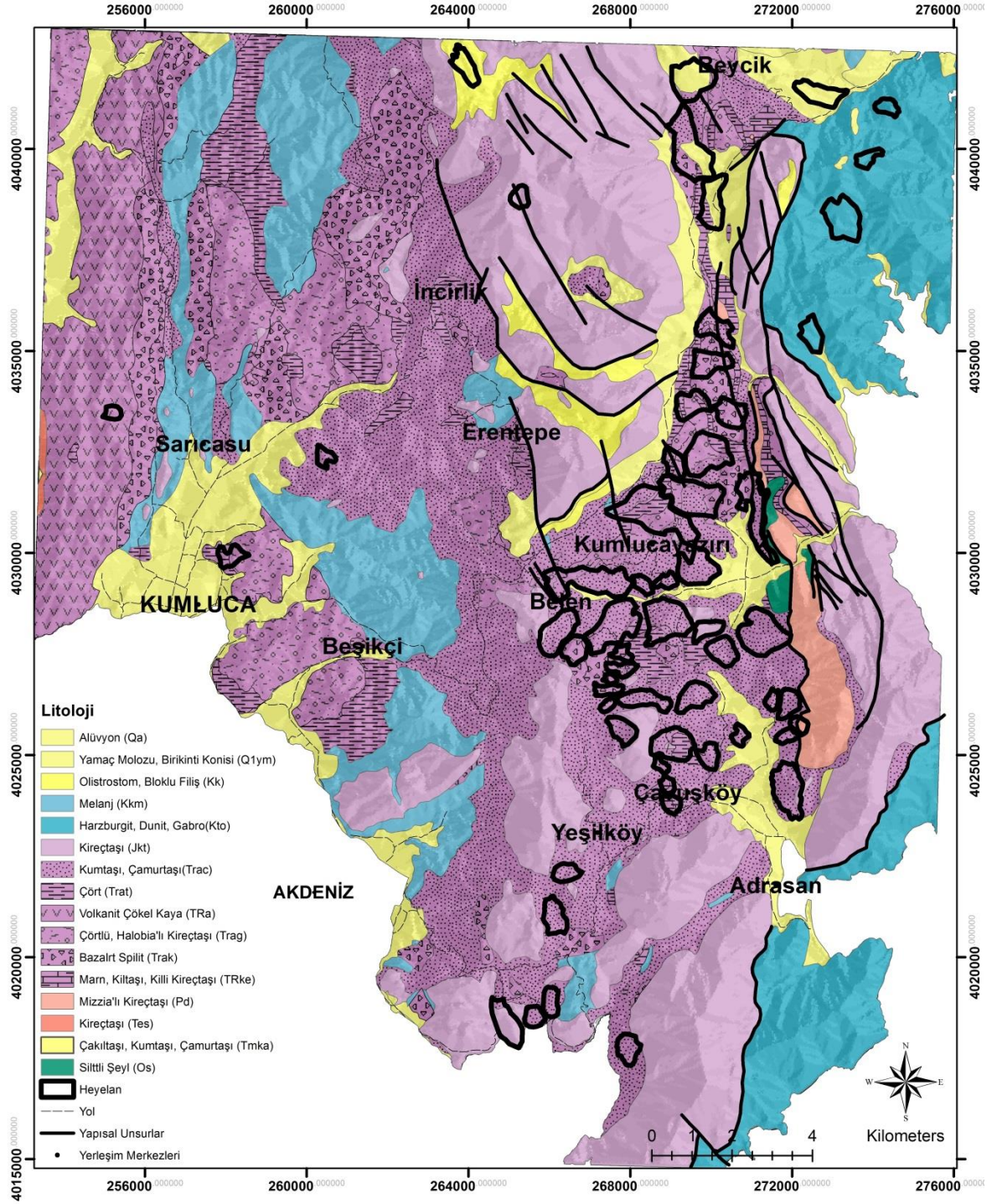


Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

## **1.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi**

Antalya Körfezinde yer alan çalışma alanında allokton konumlu Antalya Napları ile Antalya traverteni, yamaç molozları, birikinti konileri bulunmaktadır. Antalya napları, Lefevre (1967) tarafından tanımlanmıştır [4]. Şenel ve diğerleri, Antalya Napını Çataltepe, Alakırçay, Tahtalıdağ ve Tekirova napı olarak 4 sınıfa ayırmıştır [4]. Çalışma alanında gözlemlenen birimlere diğer paragraflarda değinilmiştir.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan araştırmada, çalışma alanında 16 litoloji tespit edilmiştir. Çalışma alanının genel jeoloji haritası Şekil 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1.2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (MTA 2009'dan değiştirilerek alınmıştır.)

### **1.1.1. Sarıyardere Formasyonu**

Tip kesiti Sarıyardere bölgesinde bulunan formasyon, baskın olarak şeyl içermektedir [5]. İnce tabakalanmalı, kiltası miltaşlı aralanmalı, az miktarda kumtaşı arakatlı, koyu gri ve kahverengi, yeşilimsi siyah renklere sahiptir [5]. Çoğunlukla mika içeren birim, bu bölgelerde yapraklanmış şeklindedir [5]. Birimde, tabanı koyu renkli karbonatların gözlemlendiği conic cone yapıları ile birlikte siderit konkresyonları da yer almaktadır [5]. Ayrıca diyabaz dayk ve sillere sık rastlanmaktadır [5]. Formasyonu, Dinek ve Kesmeköprü Formasyonları uyumsuz bir şekilde örtmüştür [5]. Formasyonun Ordovisiyen yaşlı olduğu belirtilmiştir [5].

### **1.1.2. Sapandere Formasyonu**

Sapandere bölgesinde en iyi yüzeylenen formasyonda, kalın tabakalanmalı kumtaşları baskın olarak gözlenir [5]. Kahverengi, grimsi renklere olan birim, bol miktarda kuvars içermesi nedeni ile kumtaşları oldukça serttir [5]. Birimin tabanında kalın tabakalı kumtaşı, bunun üzerinde ise siyah renkli, kiltası, miltaşlı, kumtaşı aralanmalı olarak gözlemlenir [5]. Hocanınsuyu Formasyonu ile uyumsuz örtülen birim, altta Sarıyardere Formasyonunu uyumlu örter [5]. Formasyon Silüriyen yaşlı konodontlar içerir [5].

### **1.2.3. Hocanınsuyu Formasyonu**

Hocanınsuyu bölgesinde yüzeylenen formasyon kumtaşı, kiltası birimlerinden oluşmaktadır. [5]. Formasyonun alt seviyeleri açık gri ve açık kahverengidir [5]. Alt seviyelerde dolomit, kumtaşı, kiltası, miltaşlı aralanması, bu birimlerin üzerinde ise sarımsı gri renkte dolomit, en üst seviyede ise sarımsı gri renkte ince tabakalanmalı kiltası ve pembe jips bulunur [5]. Tabanda Sapandere Formasyonunu uyumsuz örten formasyon, Pamucakyayla Formasyonu tarafından uyumlu örtülür [5]. Formasyonda fosil bulunmasına karşılık, Devoniyen yaşlı spor ve polenler yer almaktadır [5].

### **1.2.4. Pamucakyayla Formasyonu**

Tipkesiti Pamucakyayla bölgesinde bulunan formasyonda baskın olarak kalın tabakalanmalı kumtaşları gözlenir [5]. Genellikle kuvars içeren kumtaşı birimi gri, bej, kahverengindedir. Formasyon içerisinde yer yer kiltası birimi gözlenir ve bu birim grimsi, sarı renktedir [5]. Hocanınsuyu Formasyonunu uyumlu olarak örten

formasyon, Dinek Formasyonu tarafından uyumsuz örtülür [5]. Palinolojik incelemeler ile formasyon Karbonifer- Alt Permiyen yaşındadır [5].

#### **1.2.5. Dinek Formasyonu**

Koyu gri resifal kireçtaşları içeren Dinek formasyonu, kalsit dolgulu çatlaklar içermektedir [5]. Mizzialı kireçtaşlarından oluşan formasyon, Kalafatçioğlu (1973) tarafından adlandırılmıştır [4]. Formasyonun alt seviyelerinde siyahımsı gri renklerde, Mizzialı kireçtaşları; orta seviyelerinde ise birimler gri renkte, kristalleşmiş kireçtaşları ve en üst seviyede siyah, koyu gri renklerde, bol kavkılı kireçtaşları yer alır [5]. Formasyonun tabanı Dinek Kalkerleri, tavanı ise Fesleğen Dolomitleri olarak isimlendirilmiştir [5]. Pamucakyayla Formasyonu ile düşey yönde tedirci geçiş vardır [5]. Formasyon fosil içeriği (mercan, alg, gastapod, Brachiopod) ile Üst Permiyen yaşında olduğu belirlenmiştir [5].

#### **1.2.6. Kesmeköprü Formasyonu**

Kesmeköprü Formasyonu farklı renklerde marnlı ve bazı seviyelerinde jips arakatlıdır [5]. Ayan (1968) tarafından Alacalı Marnlar olarak tanımlanan birim, tabanında ince şeyl seviyeleri, yer yer kalın tabakalanmalı çakıltaşı içerir [5]. Tabanında Sarıyardere ve Dinek Formasyonu ile uyumsuz olan formasyon, koyu sarımsı, koyu kırmızımsı, yeşilimsi ve grimsi renklerde, ince-orta tabakalı marnlardan oluşur [5]. Birim içerisinde yer yer mercer biçiminde kireçtaşı bantları ve jips arakatlıları gözlemlenir [5]. Formasyon Marcoux (1978) tarafından Stiyen-Anizyen yaşında belirlenmiştir [5].

#### **1.2.7. Alakırçay Grubu**

Şenel ve diğ. (1981) tarafından adlandırılan grup; Halobiali mikrit, radyolarit, çört, şeyl, bitkili kumtaşı, denizaltı lav akıntıları v.b kaya türlerinden oluşur [4]. MTA Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu jeoloji haritasına göre Alakırçay napının; Tesbihli, Gökdere, Karadere, Çandır formasyonları çalışma bölgesinde yer almaktadır.

##### **1.2.7.1. Gökdere Formasyonu**

Gökdere formasyonu Holabia ve Ammonit içeriği ile Üst Aniziyen- Noriyen yaşlı kabul edilmektedir. Kalafatçioğlu (1973) tarafından adlandırılan formasyon, kremisi

gri renkli, ince orta tabakalı, çört yumrulu, Radyolaryalı, yer yer Halobialı kireçtaşlarından oluşur [4]. Birim, Ladiniyen- Noriyen yaşındadır [5].

#### **1.2.7.2. Tesbihli Formasyonu**

Kalafatçioğlu (1973) tarafından adlandırılan birim, çoğunlukla tabakalı çörtlerden oluşur [4]. İnce-orta katmanlı, genellikle koyu kırmızı, kızıl kahve renkli; yer yer yeşil, koyu grimsi, sarı, mavi renklerde radyolit, çört ve şeyl içerir [4]. Formasyonun alt ve üst seviyelerinde çörtlü kireçtaşı görülmektedir. Genellikle diğer formasyonlarla uyumluluk gösterir [5]. Formasyonun, Gökdere Formasyonu içersinde yer yer bulunması Ladiniyen- Noriyen yaşınında olduğu gösterir [5].

#### **1.2.7.3. Çandır Formasyonu**

Çoğunlukla gri renkli olan Çandır Formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, miltaşı, şeyl araldanmasından oluşup yer yer breşlerin de gözlemlendiği bir birimdir [5]. Bu formasyonun kiltası, miltaşı, şeyl seviyeleri yeşilimsi, sarımsı, koyu gri olup yer yer açık kahverengidir [5]. Bu seviyeler ince tabakalanmalı ve yapraklanmalıdır [5]. Çandır Formasyonunun bazı kesimlerinde kireçtaşı ve kireçtaşı bantları bulunur [5]. Kumtaşı ve çakıltaşı seviyeleri arasında kademeli bir geçiş vardır [5]. Fosil içeriğine rastlanmayan formasyonda, Alakırçayı grubunda yer alan diğer formasyonlarla olan ilişkisi nedeni ile Ladiniyen-Noriyen yaşlı kabul edilir [5].

#### **1.2.7.4. Karadere Formasyonu**

Juteau ve Marcoux (1973) tarafından adlandırılan Karadere Formasyonu bazaltik volkanitler ile tanımlanır [4]. Birim genellikle yeşilimsi, siyah, yeşilimsi gri, kızıl ve koyu kahverengindedir [5]. Alkalın özellikli bazalt, spilit ve spilitleşmiş bazaltlardan oluşan bu birim yastık yapılıdır [4]. Kesmeköprü formasyonunu uyumsuz olarak örten bu birimin genellikle tabanı gözlenmemektedir [5]. Karadere formasyonu, Aniziyen sonunda başlayıp Noriyen sonuna kadar devam eder [5].

#### **1.2.8. Tekedağı Formasyonu**

Kalın tabakalı, tekdüze, neritik karbonatlardan oluşur [5]. Altt seviyelerde kirli beyaz, açık gri, açık kırmızı renklerde, bazı kesimlerinde çörtlü, masif dolomitik kireçtaşı içerir ve orta kalın tabakalıdır [5]. Orta seviyelerde grimsi, krem renkli, orta-kalın tabakalı, bol çatlaklı ve kavkılı kireçtaşları yer alır [5]. Genellikle pelletik dokuludur [5]. Üst seviyelerde bol kavkılı, yer yer dolomitleşmiş açık renkli



kireçtaşları ve rudistli resifal kireçtaşları bulunur [5]. Birim, Jura- Kretase yaşlı kabul edilir [5].

#### **1.2.9. Keçili Formasyonu**

Alakırçay grubu üzerine uyumsuz olarak yüzeylenen Keçili formasyonu, Antalya napının her seviyesinde yer almaktadır [4]. Formasyonun üst seviyelerinde ofiyolitli kırıntılı kumtaşı, konglomera, silttaşı ve kiltası; alt seviyelerinde ise killi kireçtaşı ve marnlar ile birlikte bazı seviyelerde kalsitürbid ara seviyeli ve çörtlü mikrit, konglomera, kiltası ve yine bazı seviyelerde ofiyolitik kumtaşı bulunur [4].

#### **1.2.10. Kırkdirek Formasyonu**

Keçili formasyonu içerisinde tektonik dilimler halinde görülen Kırkdere Formasyonu ofiyolitli melanj olarak tanımlanır [5]. Bu melanj mafik ve ultramafik kayalar içerisinde Triyas yaşlı sedimanter ve yastık lavları ile Kretase yaşlı ve farklı büyüklükte bulunan karbonat bloklarından oluşur [5]. Büyük kütleler halinde yüzeylenen serpantinleşmiş harzburgit ve dunitler bulunur [5]. Gabro, diyabaz ve bu benzerlikteki kayaların yaygın gözlemlendiği Kırkdirek Formasyonun'da yer yer amfibolitlere de rastlanması beklenir [5]. Birim, Keçili Formasyonu içerisinde tektonik dilimler halinde bulunur [5].

#### **1.2.11. Tekirova Ofiyoliti**

Mafik ve ultramafik kayalardan oluşan Tekirova Ofiyoliti, serpantinit, lertzolitik-masif ve bantlı harzburgitler, dunit ve kromlu dunit, verlit ve plajjoklaslı verlit, tabakalı-izotropik gabro, izole diyabaz dayklar içerir [4].

#### **1.2.12. Antalya Traverteni**

Travertenlerden oluşan bu birim Poisson (1977) tarafından tanımlanmıştır [4]. Genel olarak sık erime boşluklu olan Antalya Traverteni, ince- orta yer yer kalın tabakalı ve masif olarak görülür [4]. Bu birim sık erime boşlukları ile birlikte yer yer sıkı veya süngerimsi dokulu olarakta gözlenir [4]. Büyük su boşalimleri sırasında oluşan Antalya Trevarteni, Üst Pliyosen- Kuvaterner yaşlı kabul edilir [4].

#### **1.2.13. Eski Yamaç Molozu ve Birikinti Konileri**

Tutturulmuş yamaç molozları olarak tanımlanır [4]. Yer yer birikinti konileri ve eski akarsu taraça dolguları içerir [4].

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür araştırmalarına göre, dünyanın farklı bölgelerinde, birbirinden farklı parametreler (örn.: litoloji, yamaç eğimi, arazi kullanımı vb.) ve yöntemler (istatistiksel analizler, yapay zeka yöntemleri, AHP vb.) kullanılarak heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde, özellikle son 15-20 yıl içinde heyelan duyarlılığı çalışmalarının sayısında önemli bir artış olduğu söylenebilir. Sözü edilen tüm yöntemlere yönelik bir literatür özetinden ziyade, tez çalışmasına konu olan lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemlerinin içerildiği ve mümkün olduğunca da güncel çalışmalara değinilen bir literatür özeti sunulmuştur. Bu kapsamda yapılan çalışmalara izleyen paragraflarda değinilmektedir.

Lee vd. [6], çalışmalarında CBS kullanarak Kamboçya bölgesinde heyelana duyarlı alanları tespit etmek için olasılıksal ve istatistiksel bir yaklaşım uygulayarak, yöntemlerin performanslarını karşılaştırmışlardır. Heyelan duyarlılık haritalaması için, çalışma alanının hava fotoğrafları ve saha çalışmaları ile heyelan bölgelerini tespit ederek, mekansal bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Eğim, bakı, eğrisellik, drenaj ağına uzaklık, arazi kullanımı, sırtlara uzaklık gibi heyelan oluşumunu etkileyen faktörler ile heyelan arasındaki ilişkiyi, frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Oluşturdukları parametre haritalarını CBS ortamında üst üste çakıştırarak her iki yöntem içinde heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Araştırmacılar çizdikleri ROC eğrileri ile frekans oranı yöntemi için %86,97, lojistik regresyon yöntemi için %86,37 doğruluğa sahip heyelan duyarlılık haritaları üretmişlerdir. Çalışma alanı için ürettikleri heyelan duyarlılık haritasının, heyelan ile ilgili tehlikeleri azaltmak ve arazi kullanımının planlanması için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Akgün vd. [7], iklim koşulları, dik topoğrafya ve yanlış arazi kullanımı nedeni ile heyelanların sıklıkla görüldüğü Karadeniz bölgesinde bir çalışma yapmışlardır. Özellikle son 10 yılda, bölgenin batı kesiminde, deterministik yaklaşımlar, istatistiksel analizler gibi farklı yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık haritalaması için birçok çalışma yapıldığını belirtmişlerdir. Çalışmanın amacı olarak, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesindeki heyelana eğilimli bir alanın (Fındıklı, Rize) olasılık- frekans oranı (LRM) yöntemi ve weighted linear combination (WLC) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarını üretilmesi ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması

olarak belirtmişlerdir. Bu amaçla, heyelan envanter haritasını, 1983 ve 1995 yılları arasındaki ayrıntılı saha çalışmaları ve hava fotoğrafları ile hazırlamışlardır. 1983 yılına ait veriler ile toplam 109 tane heyelan alanı belirleyen araştırmacılar, 1995 yılına ait çalışmaları da inceleyerek, 10 tane dönel kayma tipindeki heyelanları da çalışmalarına eklemişlerdir. Eğim, bakı, litoloji, drenaj ağına uzaklık, yollara uzaklık ve arazi örtüsünü heyelan oluşumunu etkileyen parametreler olarak kabul etmişlerdir. Çalışma alanındaki heyelanlar için ana tetikleyici parametrenin, yağış olduğunu vurgulamışlardır. Heyelan duyarlılık haritalamasında iki farklı istatistiksel yöntem kullanan araştırmacılar, her iki haritaya göre, çalışma alanının kuzey ve doğu kısımlarının heyelan oluşumuna daha yatkın olduğunu ifade etmişlerdir. Her iki yöntem ile hazırlanan haritalar benzerlik göstermesi ile birlikte metodolojik yaklaşımdan dolayı farklılıklar olduğunu da belirtmişlerdir. WLC haritasında heyelanların %79'u yüksek ve çok yüksek duyarlılık alanında yer alırken, bu oranın LRM haritasında % 49 olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak, WLC yönteminin LRM yöntemine göre daha yüksek performans sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Yılmaz [8], Tokat'ın Kat ilçesinde, frekans oranı (FR), lojistik regresyon (LR) ve yapay sinir ağları (ANN) yöntemleri ile karşılaştırmalı heyelan duyarlılık haritaları üretmeyi hedeflemiştir. Çalışma alanında heyelan oluşumunu etkileyen; jeoloji, yapısal unsurlar, drenaj ağı, topoğrafik yükseklik, eğim, bakı, topoğrafik nemlilik indeksi ve akarsu gücü indeksi parametrelerini dikkate almıştır. Heyelan duyarlılık haritalarını frekans oranı, lojistik regresyon ve ANN yöntemlerini kullanarak üreten araştırmacı, yöntemlerin doğruluğunu değerlendirmek için ROC eğrisini çizerek, eğri altında kalan alanları (AUC değerlerini) sırasıyla; 0.826, 0.842 ve 0.852 olarak hesaplamıştır. Yapay sinir ağları yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun, LR ve FR yöntemleri ile üretilen haritalara göre yüksek olduğunu elde etmiştir. FR, LR ve ANN yöntemlerini uygulama açısından karşılaştıran araştırmacı, FR yöntemi ile duyarlılık haritası üretiminde sürecin kolay ve anlaşılabilir olduğunu, fakat LR ve ANN yöntemlerinin uygulanmasında analizlerin daha zaman alıcı olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz [9], Sivas'ın Koyulhisar ilçesinde heyelan duyarlılık haritalaması ile ilgili yaptığı çalışmada, haritalama yöntemlerinden koşullu olasılık (CP), lojistik regresyon (LR), yapay sinir ağları (ANN) ve Destek Vektör Makinası (SVM) yöntemlerini kullanmıştır. Araştırmacı, heyelan duyarlılık analizlerinde jeoloji,

yapısal unsurlar, drenaj sistemi, topoğrafik yükseklik, eğim, bakı, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi, normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), yerleşimlere ve yollara olan uzaklık gibi heyelanla ilişkili parametreleri kullanmıştır. Çalışmasının son aşamasında ise, çalışma alanı için ANN, CP, LR ve SVM yöntemlerini kullanarak ürettiği heyelan duyarlılık haritalarını doğruluk sıralamalarına göre birbirleriyle karşılaştırmıştır. Araştırmacı, yöntemlerin performanslarını analiz etmek için ROC eğrilerini çizmiş, eğri altında kalan alan değerlerini her yöntem için belirlemiş ve yapay sinir ağlarıyla oluşturulan haritanın diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Aynı zamanda, koşullu olasılık (CP) yönteminin duyarlılık haritalama çalışmalarında basit bir yöntem olduğunu vurgulamıştır.

Akıncı vd. [10], Kürtün ve Mert Irmakları arasında kalan Samsun il merkezinde 57 km'lik alanda frekans oran metodu kullanarak heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Araştırmacılar, literatürde yaygın olduğu ve eski heyelan bölgelerinin heyelanı tetikleyen unsurlar ile ilişkisini incelemek için frekans oranı metodunu kullanmışlardır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25000 sayısal heyelan envanter haritasını kullanan araştırmacılar heyelan duyarlılık analizinin güvenilirliğini ölçmek amaçlı 16 adet heyelan bölgesini ayırarak, 30 adet heyelan lokasyonu ile analizi gerçekleştirmişlerdir. Analizde litoloji, yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, plan ve profil eğriselliği olmak üzere toplam 9 parametre kullanmışlardır. Parametre haritalarından elde ettikleri sonuçlara göre; %68'lik oranla 5-10°, %16.07'lik oranla 10-15° eğim gruplarında; %17.61 kuzey, %16.11 güney, %15.63 kuzeybatı, %12.92 güneybatı bakıya sahip yamaçlarda; %32.8 oranla 100-150 m yükseklik değerinde; %51.43 oranla içbükey, %48.20 oranla dışbükey yüzeylerde heyelan meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, analizi yapılan heyelan bölgelerinin duyarlılığının çok yüksek derecede %38.2, yüksek derecede %51.1 olduğunu belirtmişlerdir. Kontrol amaçlı analizden çıkartılan 16 adet heyelan bölgesinin duyarlılık haritası ile karşılaştırıldığında %14.2 çok yüksek derecede, %58.7'nin yüksek derecede duyarlı bölgede kaldığını tespit etmişlerdir. Mevcuttaki heyelan duyarlılık analizi ile ayrılaştırılan 16 adet heyelan bölgesinin duyarlılık haritaları çok yüksek ve yüksek derece duyarlılıkları ele alınarak %72.9 oranında uyumluluk tespit etmişlerdir.

Bai vd. [11], heyelan dağılım frekansı tahminine yönelik yaptıkları çalışmada, heyelana oldukça eğilimli bir bölge olan Çin'deki Zhongxian–Shizhu segmentini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Çalışma alanının olduğu ve heyelanlı alanın kapladığı alanda araştırmacılar 25x25 m piksel boyutundaki uzaktan algılama araçlarını, tematik, jeoloji ve topoğrafik haritaları olmak üzere 4 farklı veri kaynağını kullanmışlardır. Araştırmacılar, heyelan ve heyelana neden olan faktör veri setlerini kullanarak heyelan duyarlılığı için istatistiksel bir ilişki geliştirmişler ve lojistik regresyon yöntemini tüm değişkenlere uygulamak koşuluyla çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Oluşturdukları haritaya göre, araştırmacılar çalışma alanının % 2.8'inin yüksek duyarlı ve sırasıyla % 18.2, 36.2, 26.7 ve 16.1 çok düşük, düşük, orta ve çok yüksek duyarlı alanlar olmak üzere 5 sınıfa ayrıldığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak yaptıkları duyarlılık haritalamasının doğruluğunu test etmek için doğru sınıflandırma yüzdelerini (% 81.4) ve RMSE değerlerini (0.392) belirlemişlerdir.

Pradhan vd. [12], yapay sinir ağları yöntemini kullanarak, Malezya'nın Klang Vadisi bölgesinde heyelan duyarlılık analizini yapmışlardır. Çeşitli kaynaklardan 398 heyelan bölgesi içeren heyelan envanter haritası hazırlayan araştırmacılar, 318 heyelan bölgesini (%80) heyelan duyarlılık haritalamasında kullanmışlardır. Geriye kalan 80 heyelan bölgesini (%20) test verisi olarak analizin doğrulama aşamasına ayırmışlardır. Heyelan oluşumunu etkileyen 11 parametreyi (eğim, bakı, eğrisellik, yükseklik, yollara uzaklık, akarsulara uzaklık, litoloji, yapısal unsurlara uzaklık, toprak tipi, arazi yapısı ve NDVI) GIS ortamına işleyerek, mekansal bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Her bir parametrenin etkisini back-propagation yöntemi ile değerlendirerek, heyelan duyarlılık endeksleri (LSI) kullanılarak etkilerini hesaplamışlardır. Parametrelerin heyelan oluşumu üzerindeki etkisini değerlendirmek için 3 hesaplama yapmışlardır. İlk hesaplamada 11 parametrenin tamamını ele almışlar, daha sonra en az etkiye sahip 4 parametre analizden çıkartılıp tekrardan hesaplanmış ve son olarak kalan parametreler arasından en az etkiye sahip 3 parametre daha analizden çıkartarak tekrardan hesaplama yapmışlardır. Çalışma sonucunda, CBS ortamında ürettikleri 3 duyarlılık haritası ile heyelan bölgelerinin uyum gösterdiğini görmüşlerdir. Yapay sinir ağları yöntemi kullanarak üretilen heyelana duyarlı alanların dağılımlarının frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemleri kullanıldığında da benzer eğilimler gösterdiğini

vurgulayan araştırmacılar, yapay sinir ağları yönteminin bu yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. ANN ile geliştirdikleri 3 hesaplama için, en iyi değerin 7 parametre ile %94, en kötü değerin ise 11 parametre ile %91 olduğunu hesaplamışlardır. 7 parametre ile oluşturulan duyarlılık haritası sonucu çalışma alanında heyelan oluşumdaki etken parametrelerin sırasıyla; eğim, yollara uzaklık ve litoloji olduğunu belirtmişlerdir.

Ercanoğlu ve Temiz [13], Türkiye'nin heyelan oluşumuna elverişli olan ve Karadeniz bölgesinde yer alan Kastamonu iline bağlı Azdavay ilçesi ve çevresini lojistik regresyon ve fuzzy (bulanık mantık) yaklaşımı kullanarak heyelan duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda araştırmacılar saha çalışması yaparak 107 heyelan bölgesi tespit etmişlerdir. Heyelan bölgelerinden 11 tanesini Cruden ve Varnes sınıflandırılmasına dayanarak analizlerin dışında bırakmışlardır. 96 heyelan bölgesinin içinde yer alan 18 kompleks heyelan bölgesini, akma karakteristiğini gösterdiği için analizlerin dışında bırakmışlardır. İncelenen bölgenin %6.4' nün heyelan bölgesi olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar heyelan duyarlılık analizinde yükseklik, litoloji, eğim, bakı, akarsulara uzaklık ve arazi kullanımı olmak üzere toplam 6 farklı parametre kullanmışlardır. Çalışmada Fuzzy yaklaşımı kullanılırken cebirsel çarpım, cebirsel toplam ve gama operatörlerini dikkate almışlardır. Çalışma sonucunda 2 farklı yöntem ile CBS ortamında 18 adet heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Sonuç olarak, 0.975 değerinde fuzzy gama operatörü ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca; lojistik regresyon, cebirsel çarpım ve gama operatörleri kullanılarak oluşturulan haritaların güvenilir sonuçlar verirken, cebirsel toplam yöntemi ile oluşturulan haritaların güvenilir sonuç vermekte yetersiz olduğunu vurgulamışlardır.

Marjanović vd. [14], yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık değerlendirmesinde karşılaşılan mekânsal modelleme sorunlarına çözüm olarak makine öğrenmesi (machine learning) yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışma alanı olarak Sırbistan'daki Fruřka Gora bölgesini seçen araştırmacılar, literatürde mevcut 3 farklı Machine Learning yöntemlerinden olan destek vektör makinaları (SVM), karar ağacı ve lojistik regresyon yöntemlerini kullanarak 3 farklı heyelan duyarlılık haritası üretmişler ve bunları birbiriyle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, destek vektör

makinaları yönteminin, diğer kullandıkları yöntemlere göre performansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Pradhan [15] yaptığı çalışmada, Malezya'nın Selangor bölgesini incelemiş, arazi kullanımı ve tropik yağışlar nedeni ile çalışma alanında heyelanların çok sık meydana gelen bir doğal afet türü olduğunu ifade etmiştir. Çalışma alanında, kapsamlı saha çalışması, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile heyelan lokasyonlarını belirleyerek CBS ortamına aktaran araştırmacı, mekânsal veri tabanını oluşturmuştur. Eğim, bakı, plan eğriselliği, yükseklik, taşıma gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, drenaj ağına uzaklık, yollara uzaklık, litoloji, yapısal unsurlara uzaklık, toprak, arazi örtüsü, NDVI olmak üzere 13 parametre kullanarak, bulanık mantık yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasını üretmiştir. Heyelan oluşumunu etkileyen parametreler ve heyelan alanları kullanılarak bulanık üyelik değerlerini hesaplamıştır. Daha sonrasında, heyelan duyarlılık haritalaması için bulanık üyelik değerlerine, bulanık cebirsel operatörler uygulanmıştır. Son olarak, tüm heyelan duyarlılık modelleri için ROC eğrileri çizilerek, eğri altında kalan alanı hesaplamıştır. Bulgular, bulanık ilişkilerden, gama operatörünün ( $\lambda = 0.975$ ) en iyi doğruluk oranını (% 94.73) gösterdiğini, bulanık cebirsel işlemcinin ise en kötü doğruluğu gösterdiğini belirtmişlerdir (% 84.76). Bulanık gamma operatörleri tarafından üretilen heyelan duyarlılık haritaları, araştırmacı tarafından lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasına benzer eğilimleri göstermekte olduğunu ve bulanık ilişki sonuçlarının LR' ye göre performansının biraz daha iyi olduğunu ve arazi kullanımın planlanması için yöntemin uygun olduğunu vurgulamıştır.

Yalçın vd. [16], birçok araştırmacının frekans oranı, analitik hiyerarşi süreci (AHP), iki değişkenli, çok değişkenli, lojistik regresyon, bulanık mantık ve yapay sinir ağı gibi farklı yöntemler kullanarak heyelan duyarlılık haritaları ürettiğini, ek olarak heyelan duyarlılığını analiz etmek için litoloji, eğim, bakı, arazi örtüsü, yükseklik, drenaj ağına uzaklık, drenaj yoğunluğu, sırtlara uzaklık, sismisite ve yollara uzaklık gibi bazı parametrelerin göz önünde bulundurulmasının da tavsiye edildiğini belirtmişlerdir. Veri kalitesi heyelan çalışmalarında çok önemli bir konu olup eğer veriler yeterli, uygun ve çok çeşitli parametrelerden alınmışsa, daha doğru sonuçlar elde edileceğini vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmanın amacı, Türkiye'nin kuzey doğusunda yer alan Trabzon ilindeki heyelan duyarlılığını

değerlendirmek olup, Coğrafi Bilgi Sistemi ve uzaktan algılama teknikleri ile frekans oranı yöntemi, AHP, istatistiksel indeks (Wi), ağırlık faktörü (Wf) ve lojistik regresyon yöntemlerinden oluşan beş yöntem kullanarak, heyelan duyarlılık haritalarını elde etmişlerdir. Trabzon ilinde yağışların tetiklediği heyelanlarda artış gözlemlenmesi ve bu heyelanlar sonucunda can ve mal kaybı, önemli yaralanmalar, mülk ve yerel altyapıya zararların gerçekleşmiş olması nedenleriyle, halen heyelan tehlikesinin devam ettiğini belirtmişlerdir. Bu doğal afetin etkilerini azaltmak için, heyelana duyarlı alanı değerlendirmek isteyen araştırmacılar, heyelan oluşumunu etkileyen parametreleri beş farklı yöntem kullanılarak analiz etmişlerdir. Beş analizin sonuçlarını, 50 aktif heyelan bölgesini içeren heyelan envanter haritası kullanılarak doğrulamışlardır. Sonrasında, daha doğru sonuçlar veren yöntemleri belirleyen araştırmacılar, WF yönteminin frekans oranı, AHP, istatistiksel indeks (Wi) ve lojistik regresyon yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Choi vd. [17], Kore, Boun bölgesinde 68.43 km<sup>2</sup>'lik alanda, CBS kullanarak heyelan duyarlılık haritalama çalışması yapmışlardır. Advanced Spaceborne Thermal Emission ve Reflection Radiometer (ASTER) görüntülerini, heyelana ilişkin parametrelerin belirlenmesi ve oluşturulmasında kullanmışlardır. Sayısal yükseklik modeli, sırtlar, NDVI ve arazi örtüsü parametrelerini, ASTER görüntülerinden elde eden araştırmacılar, eğim, bakı ve eğrisellik parametre haritalarını DEM haritasından üretmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile mekânsal bir veri tabanı oluşturan araştırmacılar, 6 parametre haritasını FR, LR ve ANN yöntemlerini kullanarak heyelan envanter verisinin %70'i ile ilişkilendirmiş ve 3 ayrı heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Duyarlılık haritalarının geliştirilmesi için her bir yöntem ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarındaki ortak etken parametreler belirlenerek, heyelan duyarlılık haritalamasını tekrarlamışlardır. Daha sonra, analize dahil edilmeyen %30 heyelan bölgesi ile karşılaştırarak, tüm duyarlılık haritalarını doğrulamışlardır. Sonuç olarak; 6 parametre ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının FR, LR ve ANN yöntemleri için doğruluk oranı sırasıyla; %84.34, %85.40, %74.29, etken parametreler ile üretilen duyarlılık oranlarını sırasıyla; %87.00, %88.21, %86.51 olarak hesaplamışlardır.

Eker vd. [18], çalışmalarında Bartın'ın Ulus ilçesinde 892 km<sup>2</sup>'lik alanı, CBS kullanarak heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Analizlerde lojistik regresyon



ve yapay sinir ağlarını karşılaştırmalı olarak kullanan araştırmacılar, envanter haritası olarak Maden Tetkik Arama Genel M¼d¼rl¼đ¼ tarafından hazırlanmış verileri temel almışlardır. Heyelan duyarlılık analizi için 14 farklı parametre kullanan araştırmacılar, çalışma b¼lgesi için ¼nemli bir fakt¼r olan yağış parametresini yeterli ¼l¼m istasyonu bulunmadığından dolayı dahil edememişlerdir. Ayrıca, lojistik regresyon ve ANN analizlerinden ¼nce çoklu-eş-doğrusallık analizi yaparak 3 parametreyi de analizlerden çıkarmışlardır. MTA heyelan haritası ile 778 adet heyelan alanı oluşturarak, 250 m x 250 m boyutundaki h¼crelere heyelan var (1) ve heyelan yok (0) değerlerini tanımlayarak, heyelan alanının grid alanına oranı %15'ten b¼y¼k olan h¼creleri 1 değerini atamışlardır. Heyelan duyarlılık analizi için kullanılan LR ve ANN y¼ntemlerini, ROC eğrisine altında kalan değerine g¼re karşılaştırmışlardır. ANN 0.835 değeri ile 0.791 değerde olan LR y¼ntemine g¼re daha y¼ksek değere sahip olduğunu belirlemişlerdir. LR ve ANN y¼ntemleri için duyarlılık haritalarını 0-0.25, 0.25-0.50, 0.50-0.75 ve 0.75-1 olarak sınıflandırmışlardır. Sonuç olarak, çalışmada ANN y¼nteminin daha iyi performans sağladığını vurgulayarak %27 çok y¼ksek (0.75-1), %25 y¼ksek (0.50-0.75), %30 d¼ř¼k (0.25-0.50), %18 çok d¼ř¼k (0-0.25) duyarlılık tespit etmişlerdir.

Mohammady vd. [19], yaptıkları çalışmada Golestan b¼lgesinin g¼neyine ait heyelan duyarlılık haritalamasını gerçekleştirmek için frekans oranı, Dempster Shafer ve Weights of Evidence olmak ¼zere 3 farklı istatistiksel y¼ntem kullanmışlardır. Araştırmacılar, hava fotoğrafları ve arazi g¼zlemleri yardımıyla toplam 392 adet heyelanı CBS ortamında haritalamışlar ve 275 heyelan lokasyonun analizi gerçekleştirmek için; 118'ini ise analizin doğrulaması için seçmişlerdir. Analiz doğrulaması için elde edilen sonuçları, analizlerde daha ¼nceden kullanılmayan heyelanlarla karşılaştıran araştırmacılar, ¼rettikleri 3 farklı heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerlerini belirlemişlerdir. Doğrulama sonuçlarına g¼re frekans oranı, Dempster Shafer ve Weights of Evidence y¼ntemlerinin sırasıyla AUC değerlerini 0.80 (80.13%), 0.78 (78.32%) ve 0.74 (74.60%) olarak hesaplamışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara g¼re frekans oranı y¼nteminin diğer iki y¼nteme g¼re daha y¼ksek AUC değerine sahip olduğunu belirterek, genel olarak her 3 y¼ntemin de kabul edilebilir doğruluğa sahip haritalar ¼rettiđini vurgulamışlardır.

Özdemir vd. [20] çalışmalarında, üç farklı yöntemle (Frekans Oranı, Weights of Evidence ve Lojistik Regresyon) üretilen heyelan duyarlılık haritalarını değerlendirmiş ve karşılaştırmışlardır. Bu araştırmanın bir parçası olarak saha araştırmaları, Türkiye'nin güneybatısındaki Sultan Dağları'nda gerçekleştirilerek, tespit edilen 90 adet heyelan bölgesinin yerlerini belirlemiştirler. Çalışmaları için kullandıkları heyelan oluşumunu etkileyen parametre haritaları; jeoloji, geçirgenlik, arazi kullanımı/arazi örtüsü, yağış, yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, plan eğriselliği, profil eğriselliği, nemlilik indeksi, akış gücü indeksi, sediman taşıma kapasitesi indeksi, drenaj ağına uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık, drenaj yoğunluğu, fay yoğunluğu ve yol yoğunluğudur. Heyelan dağılımları ve bu parametreler arasındaki ilişkiler, üç yöntem kullanılarak analiz edilmiş ve bu yöntemlerin sonuçlarını, daha sonra tüm çalışma alanının heyelan duyarlılığını hesaplamak için kullanmışlardır. Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu, saha çalışması sırasında gözlemlenen heyelanlara dayalı olarak değerlendirmişler ve yöntemlerin doğruluğunu, her bir yöntemin ROC eğrisini hesaplayarak değerlendirmişlerdir. Her bir yöntemin tahmin kabiliyetini, ROC eğrisinin altında kalan alandan belirlemiş ve frekans oranı, lojistik regresyon ve weights of evidence değerlerini sırasıyla 0.976, 0.952 ve 0.937 olarak hesaplamışlardır. Bu sonuçlar, lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemlerinin, çalışma alanında heyelan duyarlılığını daha iyi tahmin ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, yapılan korelasyon analizinin sonucunda, frekans oranı ve weights of evidence yöntemleri arasında 0.771 değerle yüksek bir korelasyon sergilediğini, frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemlerinin arasındaki 0.727 değer ile düşük korelasyona sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ürettikleri duyarlılık haritasını yorumladıklarında, jeolojinin, eğimin, bakının ve yüksekliğin, Sultan Dağları'nda heyelan oluşumu ve dağılımında önemli rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmadan elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının, arazi kullanımı planlaması sırasında planlamacılara ve mühendislere yardımcı olacağını belirtmişlerdir.

Wang vd. [21], Japonya'daki Mizunami Şehri'nde 175 km<sup>2</sup>'lik bir alanda heyelan duyarlılık haritası üreterek, yöntemlerin karşılaştırılması ve en uygun yöntemin belirlenmesi amacıyla çalışmalarını yapmışlardır. Frekan oranı, lojistik regresyon, yapay sinir ağı, decision tree ve weights of evidence olmak üzere 5 farklı yöntem belirleyen araştırmacılar, 3 örnekleme stratejisi (RD, TD, RL) ile toplam 15 adet

heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. 3 örnekleme stratejisi (sırasıyla RD, RL, TD) ile ROC eğrilerini çizerek ANN, DT, FR, LR, WOE yöntemlerinin AUC değerlerini hesaplayan araştırmacılar sırasıyla; RD ile 0.735, 0.740, 0.778, 0.786,0.778; RL ile 0.643, 0.704, 0.697, 0.634, 0.699; TD ile 0.670, 0.724, 0.772, 0.865, 0.670 olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak araştırmacılar çalışmalarında, DT yöntemi ile elde edilen değerlerin, 0.7'den büyük bir AUC değeri ile en yüksek tahmin gücünü gösterdiğini belirtmişlerdir.

Althuwaynee vd. [22], yaptıkları çalışmada i) EBF (Evidential Belief Function) tabanlı Dempster-Shafer yöntemi (Yöntem 1), ii) tüm mevcut etken değişkenleri kullanarak ikili karşılaştırma yöntemi olarak analitik hiyerarşi sürecinin (AHP) entegrasyonu (Yöntem 2), iii) heyelan oluşumunda EBF'nin AHP'ye entegrasyonu (Yöntem 3), iv) Lojistik regresyon (LR) içerisinde etkisi yüksek olan değişken ağırlıkları kullanılarak çok değişkenli yöntem olarak EBF'nin entegrasyonu (Yöntem 4) olmak üzere 4 farklı yöntem kullanarak ürettikleri heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmışlardır. Çalışma alanı olarak Güney Kore'deki Pohang ve Gyeongju şehirlerini seçen araştırmacılar, çalışma alanına ait toplam 296 heyelanı içeren heyelan envanter haritasını dikkate almışlardır. Araştırmacılar, CBS ortamında toplam 15 adet parametre (yamaç eğimi, yamaç yönelimi, eğrisellik, yükseklik, drenaja olan uzaklık, akarsu aşındırma gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, ağaç kalınlığı, yaşı, türü, toprak kalınlığı, dokusu ve toprak drenajı) kullanarak dört yöntem için de heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuş ve bunların performanslarını değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre Model 1 ve Model 3'ün tahmin kapasitesini sırasıyla %82.3 ve %80 olarak hesaplayan araştırmacılar, bu iki yöntemin lojistik regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Shahabi vd. [23], lojistik regresyon (LR), analitik hiyerarşi (AHP) ve frekans oranı (FR) yöntemlerini kullanarak oluşturdukları modellerin heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, çalışma alanı olarak Batı Azerbaycan'ın Zab havzasını seçmişlerdir. Landsat ETM ve SPOT 5 uydu görüntülerinden yararlanarak çalışma alanının heyelan envanter ve arazi kullanım haritasını hazırlayan araştırmacılar, alanın heyelan duyarlılık değerlendirmesinde heyelan olaylarını bağımlı değişken olarak ise heyelanla ilişkili değişkenlere ilişkin veri katmanlarını kullanmışlardır. Araştırmacılar her üç modelin performansını,

hesapladıkları bağıl heyelan yoğunluk indeksi (R-indeks) değerlerini ve ROC eğrilerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Hesapladıkları eğri altında kalan alan (AUC) değerleri LR, AHP ve FR modelleri için sırasıyla 0.894, 0.812 ve 0.863 olarak hesaplamışlardır. Bu sonuçlar doğrultusunda, LR ve FR modellerinin çalışma alanının heyelan duyarlılığını daha iyi tahmin ettiğini vurgulayan araştırmacılar, her üç modelin de oldukça doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Heyelan haritaları yorumlandığında; yağış, litoloji ve eğim parametrelerinin, Zab havzasının merkezinde meydana gelen heyelanlarda ve bunların bölgesel dağılımında çok önemli rol oynadığını söylemişlerdir.

Talaei [24], heyelan tehlikelerini azaltmak için heyelan duyarlılık haritasının önemini vurgulayan araştırmacı, İran'ın Alborz Dağları'nın batısında yer alan Haştchin bölgesinde, 1645.84 km<sup>2</sup>'lik alanda, lojistik regresyon yöntemini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma alanındaki heyelanlı bölgeleri, hava fotoğrafları, saha çalışmaları ve topoğrafik haritaları kullanarak belirleyen araştırmacı, heyelan oluşumunu etkileyen parametreler ile birlikte bir veri tabanı oluşturmak için CBS ortamını kullanmıştır. Daha sonrasında hazırladıkları veri tabanını kullanarak, regresyon denklemi sabitlerini ve katsayılarını belirlemiştir. Heyelan duyarlılığı grid hücre alanını (piksel) 0 ile 0.9954 olarak hesaplamıştır. Lojistik regresyon yönteminin doğruluğunu değerlendirmek için ROC eğrisi altında kalan alanı %84.1 olarak hesaplayan araştırmacı, heyelan duyarlılık haritasının başarı derecesini %79 olarak belirlemiştir. Sonuç olarak, lojistik regresyon yöntemi ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritasının, çalışma bölgesi için uygun ve uygulanabilir olduğunu, ileride uygulanabilecek olan heyelan risk değerlendirme çalışmaları için temel olarak kullanılabileceğini ve bölgedeki yüksek duyarlılığa sahip yamaçlarda gerekli önlemlerin planlanabilmesi için uygun olduğunu belirtmiştir.

Umar vd. [25], 30 Eylül 2009 tarihinde Batı Sumatra'da 8.0 büyüklüğündeki deprem nedeniyle meydana gelen heyelanların sonucunda, can ve mal kaybı yaşanan bölgede kapsamlı bir heyelan duyarlılık haritasının (LSM) üretilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Uluslararası heyelan literatüründe, frekans oranı (FR) ve lojistik regresyon (LR) gibi çeşitli istatistiksel yöntemlerin, LSM için sıklıkla kullanılmasına rağmen, bazı zayıf yönleri olduğunu vurgulamışlardır. İki değişkenli istatistiksel analizi (BSA) gerçekleştirebilen FR'nin, her bir parametre sınıflarının

heyelan oluşumu üzerindeki etkisini değerlendirmekte olduğunu, fakat parametreler arasındaki korelasyonun çoğunlukla ihmal edildiğini vurgulamışlardır. LR'nin ise, parametreler arasındaki ilişkiyi analiz edebilirken, heyelan oluşumunu etkileyen her bir parametre sınıflarını değerlendirme yeteneğine sahip olmadığını vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada, FR ve LR' nin zayıf noktalarının üstesinden gelmek için bir topluluk yöntemi öneren araştırmacılar, LSM için çeşitli kaynaklardan, toplam 87 heyelan bölgesine sahip bir heyelan envanter haritası çıkarmışlardır. Heyelan envanteri bölgelerinin, %70'ini analizde, geriye kalan %30 heyelan bölgesini de doğrulama amacıyla kullanan araştırmacılar, heyelan bölgelerini iki veri kümesine ayırmışlardır. Heyelan oluşumunu etkileyen parametreleri: yükseklik, eğrisellik, akarsu, SPI, yağış, toprak tipi, toprak dokusu, arazi kullanımı/örtüsü, en büyük yer ivmesi (PGA), jeoloji, eğim, bakı, çizgisellik ve topoğrafik nemlilik indeksi olarak belirlemişlerdir. Modelin üretilmesinde dört adet PGA elde etmiş (7.5, 8, 8.6 ve 9) ve 2009 depremi ile ilişkili olarak da PGA 8'i kullanmışlardır. Son olarak, üretilen heyelan duyarlılık haritaları, ROC eğrisi altındaki alanı hesaplayarak doğrulamışlardır. PGA 8 ile elde edilen model için, doğrulama sonuçları sırasıyla %84 ve %78, başarı ve tahmin oranlarını gösterdiği söyleyen araştırmacılar; PGA 7.2, 8.6 ve 9 ile yapılan modellerin tahmin oranlarının sırasıyla; %79, %78 ve %81 olarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak, deprem kaynaklı heyelan duyarlılık haritalaması için önerilen yöntemin makul verimliliğini kanıtladığı belirtmişlerdir. Ayrıca, önerilen topluluk yönteminin, afet yönetimi ve karar verme için hızlı ve doğru bir değerlendirme yapabildiği için diğer tehlike çalışmalarında da kullanılabileceğine değinmişlerdir.

Bai vd. [26], Çin'de heyelan oluşumunun en fazla olduğu alanlarından biri olarak bilinen Qinghai-Tibet Platosu, Loess Platosu ve Sichuan Çanağı arasındaki geçiş bölgesinde yer alan Longnan dağlık bölgesindeki Youfang havzasını, heyelanların sıklığını ve dağılımını değerlendirmek için seçmişlerdir. CBS ortamında üretilen veri setleriyle lojistik regresyon yöntemini kullanarak Youfang havzasına ait 47.5 km<sup>2</sup>'lik alanda, detaylı bir heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılık değerlendirmesi için istatistiksel ilişkileri, heyelan ve heyelan oluşumunu etkileyen parametrelerden oluşturulan mekansal veri tabanını kullanarak geliştirmişlerdir. Lojistik regresyon (LR) yöntemi ile heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmak için hazırlanmış; heyelan envanteri, drenaj ağına uzaklık, yapısal

unsurlara ve yollara uzaklık, eğim, baki, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, topoğrafik nemlilik indeksi parametrelerini kullanmışlardır. Bu çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının iyi olduğunu ve heyelan tehlikelerine karşı koruyucu ve hafifletici önlemlerin tasarlanması için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, heyelan duyarlılık haritasının, Youfang havzasında gerçekleştirilecek diğer çalışmalar için, heyelan tehlikelerinin değerlendirilmesi ve risk yönetimi için de, temel alınabileceğini belirtmişlerdir.

Conoscenti vd. [27], Batı Sicilya (İtalya) havzasında, 51 km<sup>2</sup>'lik alanda, toprak kayması gerçekleşen bölgelerde heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma bölgesinde toplam 1376 adet toprak kayması bölgesi tespit etmişlerdir. Heyelan duyarlılığını; CBS ortamında, istatistiksel yöntemler olan Lojistik Regresyon ve Multivarite Adaptive Regression Splines (MARS) ile değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, litaretürde lojistik regresyon yöntemi kullanılarak toprak kayması duyarlılık haritalarının mevcut olduğunu ve tahminlerinin güvenilirlik sağladığını, fakat MARS yönteminin toprak kayması duyarlılık haritası üretilmesinde kullanılmadığını belirtmişlerdir. Topoğrafyanın toprak kayması üzerindeki etkisini araştırmak isteyen araştırmacılar, kayma öncesi bozulmamış arazi yüzeyini, sayısal arazi modeli (DTM) hazırlayarak elde etmişlerdir. Ayrıca, toprak kayması oluşumunu etkileyen, morfolojik ve hidrojeolojik 15 parametre daha analizde kullanmak için dikkate almışlardır. CBS ortamında analizlerini gerçekleştirerek duyarlılık haritalaması yapan araştırmacılar, iki yöntemin doğruluğunu değerlendirmek ve karşılaştırmak için; her biri farklı heyelanlar içeren sabit alanlar belirleyerek 5 farklı veri kümesi hazırlamışlardır. Analizler sonucu her iki yöntem için ROC eğrileri altında kalan (AUC) değerlerini hesaplamışlardır. MARS yönteminin (0.881 ile 0.912 arasında) LR'ye (0.823 ile 0.870 arasında) göre daha iyi tahmin gücüne sahip olduğunu belirten araştırmacılar, her iki yöntemin güvenilirliğinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Meten v.d. [28], Etiyopya'nın, Ana Etiyopya Rifti ve Afar Depresyonu ile Kuzeybatı ve Güneydoğu platolarına bölünebilir dağlık bir arazisi olduğunu belirten araştırmacılar, Debre Sina bölgesinin, dik yamaç, karmaşık jeoloji, rift tektoniği, şiddetli yağış ve sismisite nedeniyle heyelan sorununun sıklıkla görüldüğü bu bölgede çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. CBS ortamında frekans oranı (FR) ve lojistik regresyon (LR) yöntemleri, heyelan envanteri ve dokuz heyelan oluşumunu

etkileyen parametreleri (litoloji, arazi kullanımı, akarsu ve faylardan uzaklık, eğim, bakı, yükseklik, eğrilik ve yıllık yağış miktarı) kullanarak analizi uygulamışlardır. Veritabanı yapısında, her bir parametrenin ya da parametre sınıfının etkisinin, duyarlılık haritasının hazırlanması ve onaylanmasında, göz önünde bulundurulan önemli adımlar olduğunu belirtmişlerdir. Her iki yöntemde de kullanmak için heyelan envanter ve parametre haritalarının raster haritalarını hazırlamışlardır. Heyelan bölgelerini, analiz ve doğrulama için ikiye ayırmışlardır. FR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasını üretmek için tüm parametre haritalarının, her bir parametre sınıfı için FR değerlerini hesaplamış ve atamışlardır. LR yönteminde ise, tüm çalışma alanı doğrulama heyelanlarını kullanarak, heyelan alanları (1) ve heyelan olmayan alanlar (0) olarak ayırmışlardır. Daha sonra, bu alanlar (0 ve 1) ile dokuz heyelan oluşumunu etkileyen parametreyi kullanarak, FR haritalarının üretilmesi için, heyelan olan ve olmayan alanlara, eşit aralıklı noktalar oluşturmuşlardır. Ardından, SPSS programında heyelanlar ve heyelan oluşumunu etkileyen parametreler arasında doğrusal bir ilişki kuran araştırmacılar, bu ilişkiyi temel alarak, heyelan duyarlılık haritası LR denklemini kullanılarak hazırlamışlardır. FR yönteminin başarı oranı ve tahmin oranını sırasıyla; %74.8 ve %73.5, LR yönteminde sırasıyla % 75.7 ve % 74.5 olarak hesaplamışlardır. Tahmin ve doğrulama oranlarında yakın benzerlik göstermesi ile yöntemlerin kabul edilebilir olduğunu belirten araştırmacılar, LR yönteminin heyelan duyarlılığını tahmin etme doğruluğunu, FR yöntemine göre biraz daha iyi olduğunu söylemişlerdir.

Trigilia vd. [29], Kuzey-Doğu Sicilya'da yer alan Giampilieri bölgesinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. 1 Ekim 2009 tarihinde, şiddetli yağmur (7 saatte 225mm kümülatif yağmur) nedeniyle, sel ve 1000'den fazla toprak kaymasının meydana gelmesi sonucunda can ve mal kayıplarının oluşması, araştırmacıların bu çalışmayı yapmalarının esas amacı olmuştur. Bu kapsamda, çok değişkenli istatistiksel yöntemler olan lojistik regresyon ve random forest yöntemlerini heyelan duyarlılık haritalamasında kullanmışlardır. Heyelan envanter haritasının üretilmesinde, yüksek çözünürlüğe sahip ortofotolardan yararlanmış ve saha çalışmaları ile desteklemişlerdir. Heyelan oluşumunu etkileyen parametreler ile sığ heyelanlar arasındaki ilişkiye genel bir bakış elde etmek için iki değişkenli yöntem (frekans oranı) dayalı parametre sınıflandırması yaparak verileri hazırlamışlardır.

Yapılan analizler sonucunda; random forest yönteminin, AUC değerlendirmesinde daha iyi olduğunu fakat risk değerlendirmesi ve arazi kullanımının planlaması için lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının daha uygulanır olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmalarında frekans oranı yönteminin, heyelan oluşumunu etkileyen ana parametrelerin belirlenmesinde kolay bir yöntem olmasına rağmen, özellikle düşük duyarlılık alanlarının gözlemlenmesinde zayıf performans sergilediğini vurgulamışlardır.

Youssef vd. [30], heyelanlarla ilgili problemlerin hızlı ve güvenli bir şekilde önlenmesi ve duyarlı bölgelerin belirlenerek stratejik planlama yapılabilmesi için heyelan duyarlılık analizinin önemini vurgulamışlardır. Suudi Arabistan Krallığı'nın güney batısında yer alan Al-Hasher bölgesinde iki farklı istatistiksel yöntem olan Frekans Oranı ve Index of Entropy yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Envanter haritasının hazırlanması için gerekli çalışmaları yapan araştırmacılar, 257 adet heyelan bölgesinin, 207 adetini heyelan duyarlılık analizi için kullanarak, rastgele seçilen 50 adet heyelan bölgesini, yöntemlerin doğrulama aşamasında kullanılması için ayırmışlardır. Eğim, baki, yükseklik, eğrisellik, litoloji, sırtlara uzaklık, NDVI, yollara uzaklık, yağış ve drenaj ağına uzaklık olmak üzere 10 farklı parametreyi heyelan oluşumunu etkileyen faktörler olarak belirlemişlerdir. CBS ortamında heyelan oluşumunu etkileyen parametreleri ve heyelan bölgelerini kullanarak, Frekans Oranı ve Index of Entropy yöntemlerini uygulayan araştırmacılar, heyelan oluşumunda hangi parametrelerin etken olduğunu analiz etmişlerdir. Yapılan analiz sonucu, yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıfta yer alan heyelanların, Frekans Oranı ve Index of Entropy yöntemleri ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarında sırasıyla %80.4 ve %79.1'ini kapsamış olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları duyarlılık haritalarının doğruluğunu ROC eğrilerini çizerek test eden araştırmacılar eğri altında kalan alanların yüzdeleri (AUC), Frekans Oranı için %78.8, Index of Entropy'de ise %77.9 olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın doğruluğunun test edilmesi için ayrılan 50 heyelan bölgesi ile yapılan duyarlılık analizi sonucu AUC yüzdeleri, Frekans Oranı %74.9, Index of Entropy içinse, %76.7 olarak hesaplamışlardır.

Patriche vd. [31], Moldova'da heyelanların geniş alanlara yayıldığı ve tarıma uygun hale getirilemeyen 130 km<sup>2</sup>'lik bir alanda, heyelan duyarlılığı, İkili Lojistik Regresyon (BLR) ve Analitik Hiyerarşi sürecini (AHP) karşılaştırılmalı olarak



değerlendirmişlerdir. Heyelan alanlarını (toplam alanın % 13.7'sini kapsayan) ortofoto görüntüleri, topoğrafik haritalar ve saha çalışmaları ile oluşturmuşlardır. Heyelan oluşumunu etkileyen 9 parametre ile mekânsal veri tabanı oluşturan araştırmacılar, tolerans testi ve BLR kademeli filtreleme prosedürünü kullanmak için 5 parametre (yükseklik, eğim, bakı, litoloji, arazi kullanımı) seçmişlerdir. CBS ortamında her bir parametre için ilgili raster katmanı üretildikten sonra heyelan alanlarının içinde ve dışında eşit aralıklı noktalar oluşturan araştırmacılar, noktaların yarısını analizde, yarısını ise, yapılan çalışmanın doğrulanmasında kullanmışlardır. Bu iki yöntemin karşılaştırılması sonucu, BLR'nin heyelan duyarlılığının analizi için daha uygun olduğunu, heyelan alanlarının %82.8'inin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarına düştüğünü belirtmişlerdir. Çalışma alanında heyelan oluşumunu etkileyen en önemli parametrelerin, eğim ve arazi kullanımı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma alanından elde edilen sonuçlara göre BLR ile elde edilen duyarlılık haritasının, risk değerlendirilmesi ve kontrol önlemlerinin uygulanması için yararlı olacağını vurgulamışlardır.

Tsangaratos vd. [32], yaptıkları çalışmanın temel amacı olarak, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, Lojistik Regresyon uygulayan bir sınıflayıcı performansını ve Naïve Bayes algoritması kullanan bir sınıflayıcı performansını karşılaştırmak olarak belirtmişlerdir. Çalışmalarında, yöntemin karmaşıklığına ve analiz verilerinin büyüklüğünün etkisine ilişkin bir değerlendirme sunarken, en doğru ve güvenilir sınıflayıcıyı tanımlamak istemişlerdir. İki sınıflayıcı karşılaştırmasında, sıklıkla heyelan olaylarının yaşandığı Yunanistan'ın Epirus dağlarında 116 heyelan bölgesini içeren alanı değerlendirmişlerdir. Çalışma alanını, heyelan (1) ve heyelan olmayan (0) alanlar olmak üzere iki kategoride sınıflandırmışlardır. Heyelanlı alanları, hava fotoğraflarının analizi, kapsamlı saha çalışması ve önceki çalışmalarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. Heyelan oluşumunu etkileyen yedi parametreyi incelemişlerdir: litoloji, eğim, bakı, yıllık ortalama yağış, drenaj ağına uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık ve yollara uzaklık. Değişkenler arasındaki koşullu bağımsızlığı tahmin etmek ve değişkenleri heyelan duyarlılığını tahmin etmede önemlerine göre sıralamak için çok değişkenli analiz ve özellik seçimi uygulamışlardır. Dokuz farklı veri kümesi oluşturan araştırmacılar, daha fazla bölüme ayırarak, analizin alt kümelerini oluşturmayı ve 116 heyelan bölgesindeki verilerin doğrulanmasını hedeflemişlerdir. Her bir veri setini, kullanılan

değişkenlerin sayısı ve veri setlerinin büyüklüğü ile karakterize etmişlerdir. Her bir yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması ve doğrulamasını, istatistiksel değerlendirme ölçütleri, ROC eğrisi ve AUC değerlerini kullanarak elde etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda araştırmacılar, modelin karmaşıklığının ve veri seti boyutunun, heyelan duyarlılığına ilişkin yöntemlerin doğruluğunu ve tahmin gücünü etkilediğini belirtmişlerdir. Yüksek tahmin gücüne sahip en modelin, 5 parametre ve 92 heyelan bölgesi ile yapılan analiz olduğunu ve Naïve Bayes sınıflayıcısının, Lojistik Regresyon sınıflayıcısından biraz daha yüksek performansa ve doğruluğa sahip olduğunu, doğrulama değerlerinin sırasıyla; %87.50 ve %82.61 olduğunu görmüşlerdir. ROC eğrisi altında kalan en yüksek alan, hem analiz hem de doğrulama veri kümeleri için Naïve Bayes sınıflayıcısı (sırasıyla 0.875 ve 0.806) ile elde edilirken, Lojistik Regresyon sınıflandırmasında, analiz ve doğrulama veri setleri için daha düşük AUC değerlerine (sırasıyla 0.844 ve 0.711) ulaşmışlardır. Sınırlı veri mevcut olduğunda, Naïve Bayes sınıflayıcısından daha doğru ve güvenilir sonuçların elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin, heyelanların olumsuz etkilerini önlemek ve azaltmak için stratejileri değerlendirmek amacıyla, yerel ve ulusal makamlar için yararlı olacağını söylemişlerdir.

Zhang vd. [33], Çin Gongliu Bölgesi için CBS temelli Frekans Oranı (FR) ve Evidential Belief Function (EBF) yöntemlerini kullanılarak karşılaştırmalı heyelan duyarlılık haritası üretmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, yayınlanmış kaynaklar, hava fotoğrafları ve saha çalışması ile ayrıntılı bir heyelan envanter haritası hazırlamış ve 12 adet heyelan oluşumunu etkileyen; eğim, baki, eğrisellik, plan eğriselliği, profil eğriselliği, yükseklik, NDVI, yağış, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), yollara uzaklık, akarsulara uzaklık ve litoloji parametrelerini göz önünde bulundurmuşlardır. Çalışma alanında toplam 233 adet heyelan haritalamışlardır. Heyelan bölgelerinin %70'ini heyelan duyarlılık analizinde kullanan araştırmacılar, geriye kalan %30 heyelan bölgesini yöntemi doğrulamak için ayırmışlardır. Heyelan oluşumunu etkileyen parametreleri analiz etmek ve FR ile EBF yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık haritasını üretmek için ArcGIS 10.0 yazılımını kullanan araştırmacılar, duyarlılık bölgelerini çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde sınıflandırmışlardır. Son olarak, iki yöntemden üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu onaylamak için ROC eğrisi

altında kalan alanı hesaplamışlardır. Doğrulama sonuçları, FR ve EBF yöntemleri ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritaları sırasıyla %82.41 ve %79.69 başarı oranlarına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Her iki yöntem ile yapılan heyelan duyarlılık haritalama çalışmasının performansını test etmek için %30 heyelan bölgesini ayırarak analiz eden araştırmacılar, FR ve EBF yöntemlerinin tahmin oranlarını sırasıyla, %77.26 ve %68.79 olarak bulmuşlardır. Yapılan analizler sonucu üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun yüksek olduğunu ve çalışma alanında arazi kullanım planlaması için yararlı olacağını belirtmişlerdir.

Li vd. [34], literatürde heyelan duyarlılık analizlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Frekans Oranı yönteminde değişiklik yapılmasını önermişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları değişikliğe neden olarak; geleneksel Frekans oran yönteminde, devam eden parametre değerlerine göre yapılan zorunlu heyelan sınıflamasındaki Frekans oranı değerlerinin, devamsızlık (kesinti) ve öznellik problemlerinin karmaşık bir hal alması olarak belirtmişlerdir. Her bir parametre sınıfı yerine, her bir normalize edilmiş parametre değeri için frekans oranlarının hesaplanması ile düzenlen yöntem sonucunda, atanan frekans oranı değerlerinin sürekliliği artırılmış ve parametre sınıflandırması ile birlikte öznelliğini azaltmışlardır. Modifiye edilen yöntemin performansını incelemek için araştırmacılar, Caiyuan Havzasında geleneksel ve modifiye edilmiş Frekans Oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Nicel sonuçlara göre, modifiye edilmiş yöntemin, geleneksel yöntemden biraz daha yüksek AUC değerleri çıkardığını tespit etmişlerdir. Önerilen modifiye frekans oranı yönteminin, geleneksel yöntemle göre ilerlemeler getirmesine rağmen, bazı hususlara dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Birincisi, heyelan duyarlılık değerlendirmesine girdi olarak seçilecek parametrelerde uzman görüş bilgisinin dahil edilmesi ve ikincisi, çalışmalarında jeoloji verilerine yer verilmemesi olarak belirtmişlerdir.

Sahana vd. [35], Garhwal Himalaya'daki Rudraprayag bölgesinde, heyelan oluşuma elverişli olan 1984 km<sup>2</sup> lik bir alanda heyelan duyarlılık çalışması yapmışlardır. Çalışma bölgesinin iklimsel (bol yağış) ve topoğrafik (dik yamaç) özelliklerinden dolayı heyelan oluşumuna elverişli olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaç ile Frekans Oranı, Lojistik Regresyon ve Bulanık Mantık yöntemlerini kullanarak uygun arazi kullanımının planlamasını için çalışmalarını

gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışma bölgesine ait 1086 heyelan lokasyonundan heyelan envanter haritası üretmişlerdir. Heyelan oluşumunu etkileyen parametreleri; jeolojik, topoğrafik, çevresel ve antropojenik olarak 4 gruba ayıran araştırmacılar toplam 14 etken parametre seçmişlerdir. CBS ortamında tüm parametre haritalarını çakıştırarak ürettikleri heyelan duyarlılık haritasında, heyelan oluşumunu etkileyen başlıca nedenlerinin yol koridorları ve yamaç eğimindeki dengesizlikler olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritalarını çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak 5 sınıfa ayıran araştırmacılar, FR yöntemi için sırasıyla; %2.1, %33.4, %48.1, %15.2, %1.2, FL yöntemi için sırasıyla; %9.3, %47.1, %34.2, %9.3, %0.7 ve LR yöntemi için sırasıyla; %3.1, %44.9, %46, %5.4, %0.6 olarak tespit etmişlerdir. Doğrulama çalışması sonucunda, bulanık mantık yönteminin, çalışma alanındaki heyelanların duyarlılığını değerlendirmede daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, bulanık mantık yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının, heyelan afet yönetimi ve etkin arazi kullanım planlaması için en iyi şekilde kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Nicu [36], Romanya'nın kuzey doğusunda yer alan 97km<sup>2</sup>'lik bir alanda kültürel mirasın korunması amacıyla çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Koruma alanında, toplam 48 heyelan bölgesi belirlemiş ve heyelanların, toplam alanın %10'unu (9.7 km<sup>2</sup>) kapsadığını belirlemiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde Frekans Oranı yöntemini kullanan araştırmacı, heyelan duyarlılık indeksinin (LSI) değerlendirilmesi için, heyelan oluşumunu etkileyen toplam 7 parametre (yükseklik, eğim, eğrisellik, NDVI, pürüzlülük, akarsulara uzaklık ve yer şekilleri) belirlemiştir. CBS ortamında oluşturulan heyelan duyarlılık haritasını düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olarak sınıflandırmıştır. 48 heyelan bölgesinden, yarısından fazlasının, yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıfta yer aldığını gözlemlemiştir. Heyelan oluşumunu etkileyen 5 parametre ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının AUC değerini 0.51, 7 parametre ile oluşturulan duyarlılık haritasının AUC değerini 0.75 olarak hesaplayan araştırmacı, yapılan çalışmada analize daha fazla parametre eklenmesinin, doğrulama sonucunu arttırdığını belirtmiştir. FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk oranının yüksek (%75.24) olduğunu, alanın korunması ile birlikte, arazi kullanımının planlanması ve risk azaltma konularında da yararlı olacağını vurgulamıştır.

Hemasinghe vd. [37], Sri Lanka'nın 20.000 km<sup>2</sup>'lik alanının (%30.7), heyelana duyarlı bölge olması ve genişleyen yerleşim alanlarının planlanabilmesi için, heyelan duyarlılık analizinin gerekliliğini vurgulamışlardır. Bu nedenle, heyelanların meydana getirebileceği olası felaketlerin zararlarını en aza indirmek için çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Lojistik regresyon yöntemini kullanarak Badulla bölgesinde 2871 km<sup>2</sup>'lik alanda heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Çalışma alanında, heyelan oluşumunu etkileyen; eğim, bakı, litoloji, arazi örtüsü, akarsulara ve yollara uzaklık parametrelerini kullanmışlardır. CBS ortamında LR yöntemi ile duyarlılık haritasını üretmişler ve duyarlılık sınıfını düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak 4'e ayırmışlardır. Yapılan analiz sonucu, çalışma alanının %20.5'i yüksek ve çok yüksek, %39.3'ü orta ve %40.2'si düşük duyarlılık sınıfında yer aldığını tespit etmişlerdir.

Mandal vd. [38]'nin yapmış olduğu çalışma, Himalayaların Sikkim bölgesinde, her yıl yoğun yağış ve depremin etkisi ile oluşan heyelanların, bölgedeki kara yollarına zarar vermesi, araştırmacıların bu çalışmayı yapmalarında esas amaç olmuştur. CBS tabanlı heyelan duyarlılık analizi için Frekans Oranı ve Bilgi Değeri (Information Value) yöntemlerini kullanan araştırmacılar, bölgedeki ana yolları kapsayan Heyelan Duyarlılık Zonu (LSZ) belirleyerek değerlendirmelerini yapmışlardır. Heyelan oluşumunu etkileyen 11 parametreyi (eğim, yükseklik, bakı, rölyef, arazi kullanımı, NDVI, toprak, litoloji, drenaj ağına uzaklık, sırtlara uzaklık) belirlemişlerdir. Heyelan duyarlılık analizi ile eğim, bakı, rölyef, LULC, litoloji ve yağış parametrelerinin, çalışma alanında heyelan oluşumunda etken parametreler olduğunu belirten araştırmacılar, eğim ve duyarlılık haritası arasında korelasyonun, rölyef ve yağış arasındaki korelasyona göre çok daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. ROC eğrileri altında kalan alanlara göre Bilgi Değeri yönteminin, Frekans Oranı'ndan daha iyi performans gösterdiğini tespit eden araştırmacılar doğruluk değerlerini sırasıyla; 0.88 ve 0.84 olarak bulmuşlardır. Sikkim bölgesinde bulunan karayolları için üretilen Heyelan Duyarlılığı haritasının, yol ve bina inşaatı gibi kalkınma projelerinin uygulanmasında karar verici ve yardımcı olacağını belirtmişlerdir. Sikkim'in ulusal karayolları boyunca heyelanı önlemek için, üst yamaçtaki yağmur suyu çıkışlarının, yol kenarındaki plantasyonun ve yol yapımının uygun şekilde yapılmasını önermişlerdir.

Reichenbach vd. [39] çalışmalarında, heyelan duyarlılık analizi ve ilişkili arazi bölgeleri için istatistiksel yöntemlerin eleştirel bir incelemesini yapmışlardır. Heyelan duyarlılığının, heyelanların “nerede” meydana gelme olasılığı tahmin edilerek, yerel arazi koşullarına bağlı olarak bir bölgede heyelan meydana gelme olasılığı olduğunu belirtmişlerdir. 1970'lerin ortalarında heyelan duyarlılığını değerlendirmek için yapılan ilk denemelerden bu yana, farklı jeolojik ve iklimsel ortamlarda çeşitli yaklaşımlar ve yöntemlerin kullanıldığı yüzlerce makale yayınlandığına değinen araştırmacılar, 1983'ten 2016'ya kadar olan süreçte diğer araştırmacıların değerlendirmesinden geçmiş 565 çalışmayı ele almışlardır. Kapsamlı bir veri tabanı oluşturarak, istatistiksel temele dayanan heyelan duyarlılık değerlendirmesinde literatürünün eleştirel bir incelemesini yapmışlardır. Literatür veri tabanındaki her bir makale için, çalışma bölgesi/kapsamı, heyelan tipi/sayısı, envanter türü ve kapsanan dönem, değişken tipler dahil olmak üzere kullanılan istatistiksel yöntem, yöntemin uyum/tahmin performans değerlendirme yöntemi ve yöntemin belirsizliğini değerlendirmek için kullanılan strateji dahil olmak üzere bu bilgileri içeren 31 kategori/alt kategori oluşturmuşlardır. Grafikselleştirmeler ve tematik veri tiplerinin ve ölçeklerinin önemli ölçüdeki heterojenliğini, yöntemlerin yaklaşımlarını ve değerlendirme kriterlerini gösteren, bölge ve zamanın bir fonksiyonu olarak yer bulan ortaklıklar ve farklılıkların tartışmalarını sunmuşlardır. Duyarlılık değerlendirmesi için kullanılan tematik veri çeşitlerinin zamanla önemli ölçüde değişiklik göstermediğini ve bazı çalışmalarda kullanılan tematik verilerin jeomorfolojik öneminin yetersiz olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, heyelan duyarlılık analizi için kullanılan en yaygın istatistiksel yöntemlerin, son yıllarda giderek artan şekilde makine öğrenme yönteminin tercih edilmesi ile birlikte, lojistik regresyon, yapay sinir ağı, dizin tabanlı ve kanıt analizlerinin yoğunlukta olduğunu tespit etmişlerdir. Son yıllardaki çalışmalarda analiz performansı, yöntem uyumu ve tahmin performansı açısından değerlendirilmiş olsa dahi, çok az sayıda çalışma yönteminin belirsizliğinin değerlendirildiğini vurgulamışlardır. Duyarlılık Kalite İndeksi (Susceptibility Quality Index) benimseyerek yayınlanan modellerin kalitesinin yıllar içinde iyileştiğini, fakat en iyi kalitede değerlendirmelerin sayısının yine de çok az olduğunu belirtmişlerdir.

Şahin vd. [40], Karabük Yenice ilçesinde 678 km<sup>2</sup>'lik alanda heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametre ve

yöntemlerin seçiminde evrensel bir kural olmadığını vurgulayan araştırmacılar, heyelan oluşumunu etkileyen parametreler arasından optimum parametre seçimi ve farklı heyelan duyarlılık haritası üretim yöntemlerini kullanarak istatistiksel ilişkileri ortaya koymak istemiştir. Optimum parametre seçiminde Adımsal Regresyon (AR) yöntemini kullanan araştırmacı, Lojistik Regresyon (LR) ve Rastgele Orman (Random Forest) yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritasını üretmiştir. Toplam 159 heyelan bölgesini CBS ortamında sayısallaştırmış ve 12 farklı parametre seti (model) oluşturmuştur. AR yöntemi ile, çalışma alanındaki heyelanların oluşumuna etkisi en az olan; drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı, eğim uzunluğu, akarsu gücü indeksi, sediman taşıma kapasite indeksi ve TWI parametreleri analizden çıkartmış ve 6 parametreden oluşan Model-6'yı (eğim, bakı, NDVI, yükseklik, litoloji, TWI), optimum parametre modeli olarak belirlemiştir. LR ve RO yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritalarını üreten araştırmacı, Model-6 ve Model-12 (tüm parametreleri içeren model) parametrelerini analize dahil etmiş ve her iki yöntem içinde 2 farklı duyarlılık haritası oluşturmuştur. Her iki yöntem ile üretilen duyarlılık haritalarının performanslarının karşılaştırılması için, genel doğruluk, kappa değerleri, ROC eğrisi ve AUC değerlerini hesaplayan araştırmacı, modeller arasındaki farklılıkları McNemar's testi ile incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda 12 parametrenin dahil edildiği (Model-12) ve RO yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası olduğunu tespit etmiştir. RO yöntemi ve Model-6 ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının %88.27 genel doğruluğa, 0.758 kappa değerine ve 0.945 AUC değerine sahip olduğunu tespit etmiştir. Sonuç olarak, Model-6 ile üretilen duyarlılık haritalarının performansının yüksek olduğunu, heyelana etki eden parametrelerin azaltılması ile işlem gücü, hafıza ihtiyacı vb. işlem sürecini etkileyen konularda, zaman tasarrufu sağlayabileceğini belirtmiştir.

### 3. HEYELAN ENVANTER ÇALIŞMASI VE PARAMETRE HARİTALARININ HAZIRLANMASI

#### 3.1. Heyelan Envanteri

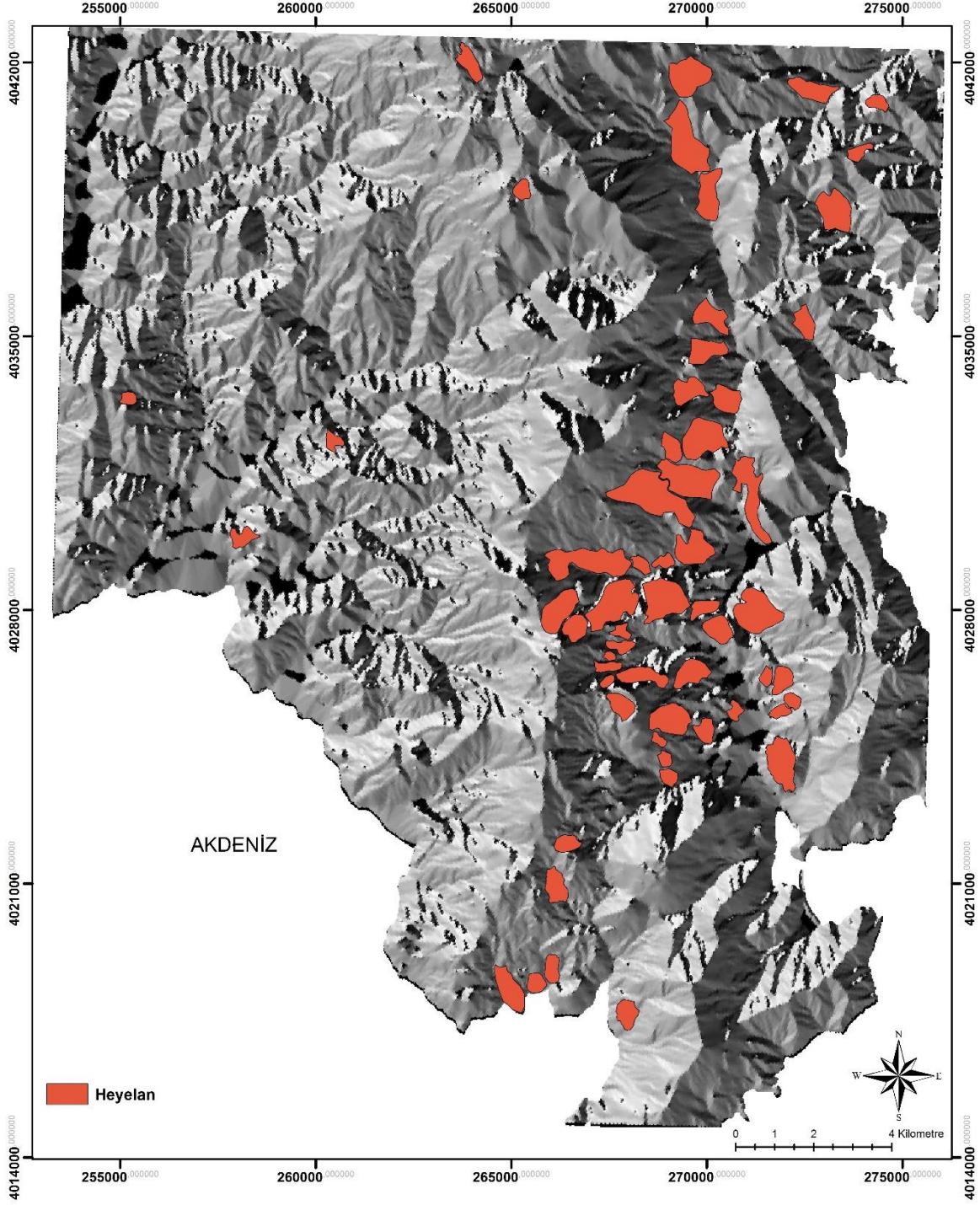
Heyelan duyarlılık analizlerinin başında, geçmişte gerçekleşmiş heyelanların, gelecekte oluşabilecek heyelanlara ışık tuttuğu düşüncesi doğrultusunda, heyelan envanter haritası yer almaktadır. Heyelan envanter haritası ile çalışma bölgesindeki heyelan lokasyonları ve heyelanların özelliklerine ilişkin bir veri tabanı oluşturularak, yapılacak olan analizlere altlık oluşturulmaktadır. Heyelan envanter haritalarının oluşturulma amaçları; yerel, bölgesel veya ülke ölçeğinde heyelan oluşumlarının yerlerini göstermek ve dokümantasyonunu oluşturmak, kütle hareketlerinin yeryüzü üzerindeki etkilerini ve değişimini incelemek ve ortaya koymak, heyelanların jeomorfolojik ve jeolojik özelliklerle ilgili olacak şekilde mekânsal dağılımını, türlerini ve aktivitesini göstermek, heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerine temel teşkil edecek bilgileri içerecek şekilde bilgiler içermektedir [41]. Envanter haritası oluşturulurken literatürde kabul görmüş ve en sık kullanılan yöntemler; topoğrafik harita ve sayısal arazi modeli, hava fotoğrafı yorumlamaları, saha çalışmaları, LIDAR uygulamaları, uydu görüntülerinin kullanılmasıdır [42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53]. Heyelanlara yönelik sınıflamalarda, hareket ve malzeme türünü dikkate alan ve literatürde sıklıkla kullanılan sınıflama sistemi, Varnes (1978) tarafından önerilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Varnes [54] tarafından önerilen heyelan sınıflaması

Hareket Türü		Malzeme Türü		
		Kaya	Toprak	
			İri Taneli	İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma	Dönel/ Örtelenmeli	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
Yayıma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
		Derin Krip	Krip	
Karmaşık		En az iki veya daha fazla heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar		



Yukarıda bahsedilen amaçlar ve yöntemler doğrultusunda bu tez çalışmasında oluşturulan heyelan envanter haritası için öncelikle, yerinde saha çalışması yapılarak 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde 58 heyelan bölgesi belirlenerek işaretlenmiştir. Saha alışması ile tespit edilen heyelan bölgeleri CBS ortamında ArcGIS 10.4.1 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Çalışma bölgesine ait heyelanların mekânsal dağılım haritası Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesine ait heyelanların mekânsal dağılımı

Çalışma bölgesinde meydana gelen heyelanlar, çok büyük oranda kütleli yenilmeler olup, alansal yayılımları incelendiğinde en küçük heyelan boyutunun 58238 m<sup>2</sup>, en büyük heyelan boyutunun ise 1501953 m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında incelenen Adrasan bölgesindeki heyelanlı alanlara ait saha inceleme fotoğrafları, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5' te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Adrasan ve çevresinde, heyelanların geliştiği jeolojik birimlere ait örnek fotoğraf



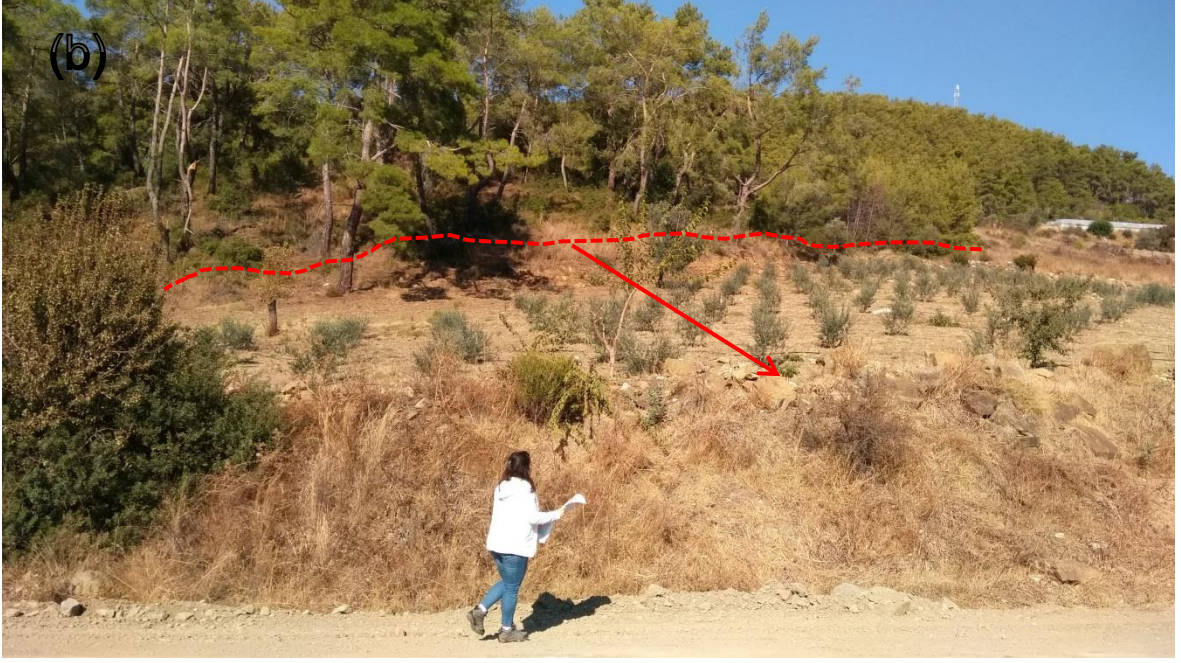
Şekil 3.3. Adrasan ve çevresinde yol kesmesi sonucu gelişen heyelanlarda ağaçların aşağı doğru yönelimine ait örnek fotoğraf



Şekil 3.4. Adrasan ve çevresinde heyelan etkileri için alınan önleme ait örnek fotoğraf



Şekil 3.5. Adrasan ve çevresinde oluşan heyelanlara ait örnek fotoğraf



Şekil 3.5. (devam ediyor)

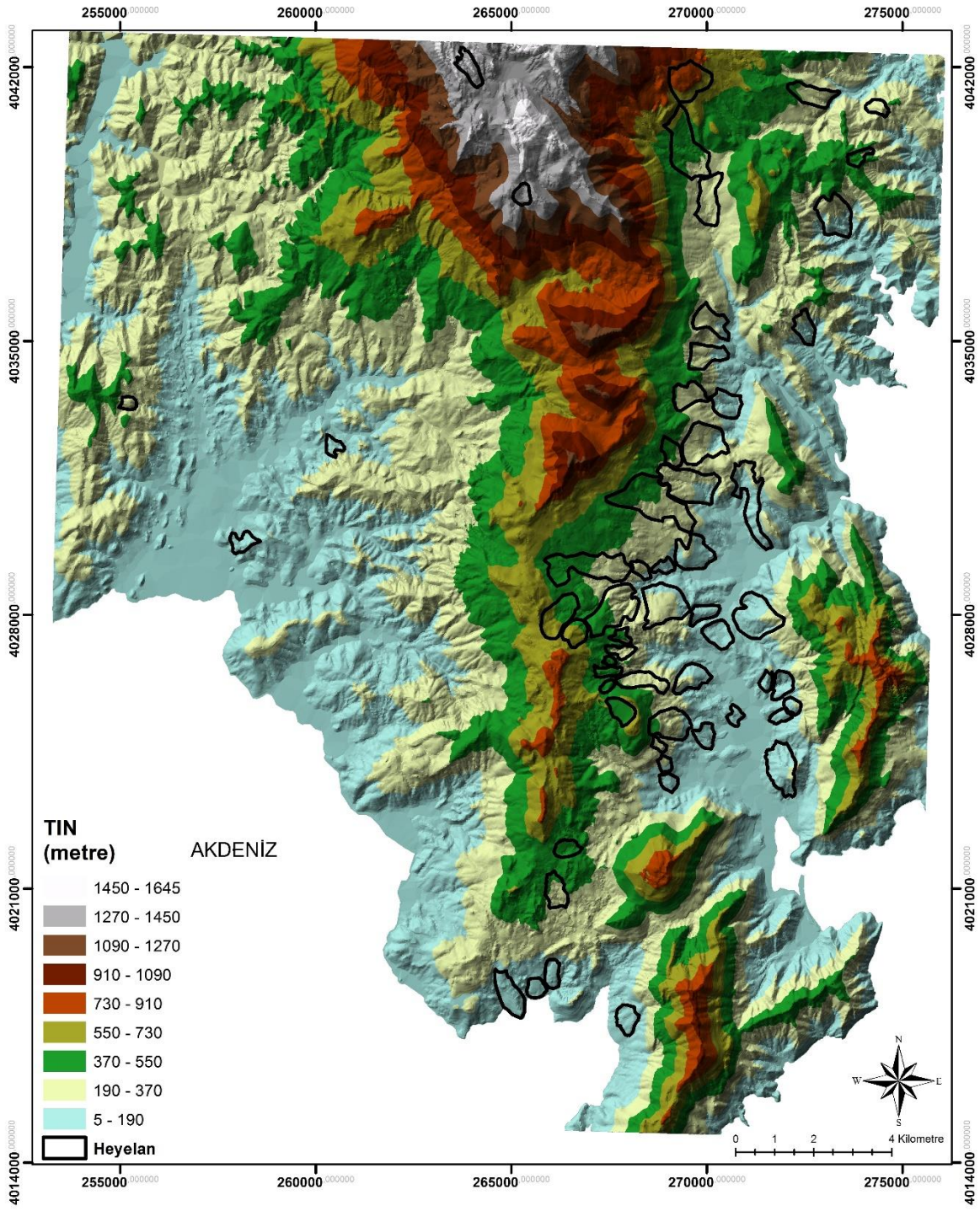
### **3.2. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin hazırlanması**

Heyelan duyarlılık analizlerinde, envanter çalışması ile birlikte heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametreler de kullanılmaktadır. Bu parametreleri kullanmaktaki asıl amaç, çalışma bölgesindeki heyelan oluşumu ile parametreler arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak, heyelan duyarlılık haritasını üretmek ve değerlendirmektir.

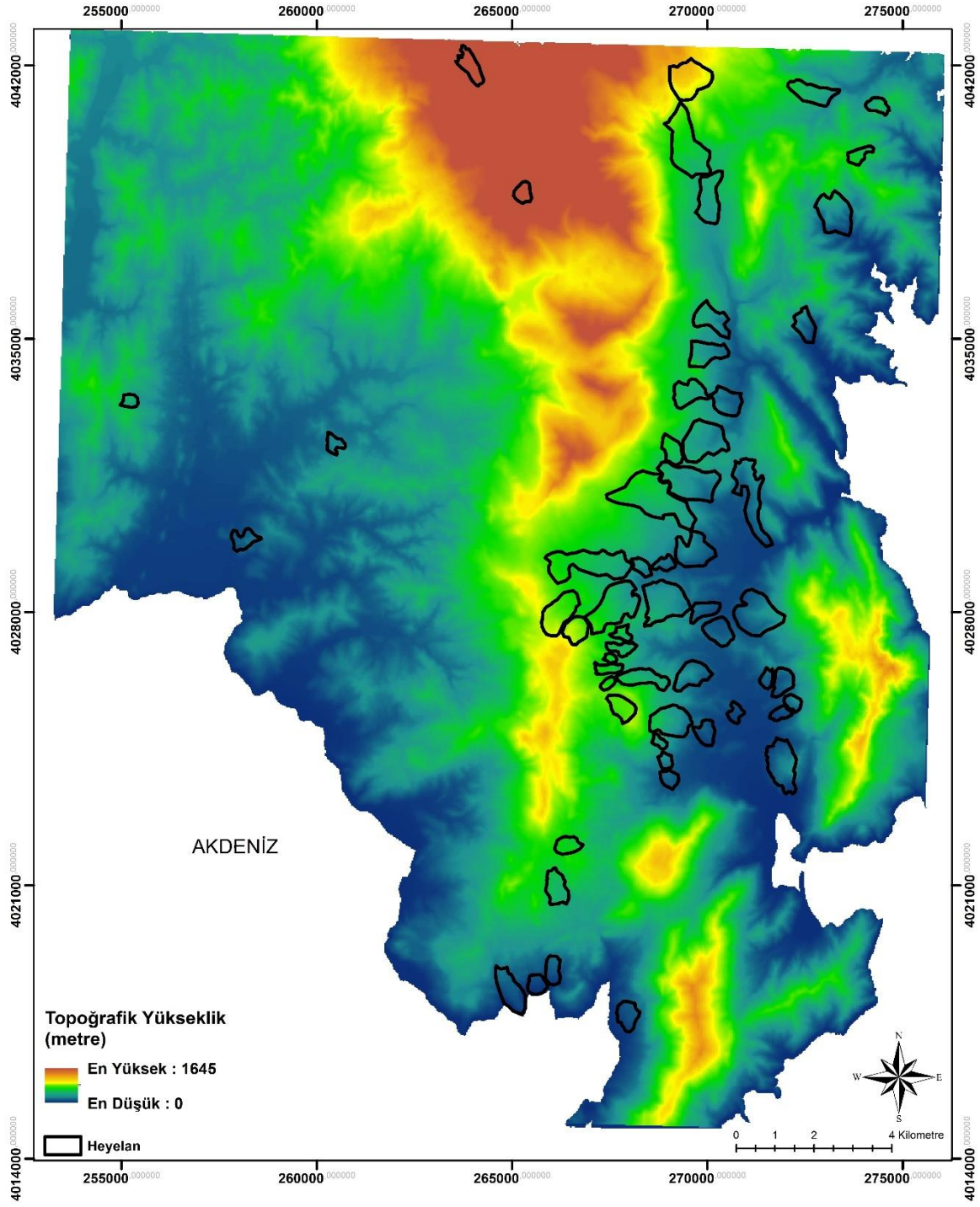
Tez çalışması kapsamında heyelan envanter haritası oluşturulduktan sonra heyelan duyarlılık analizi için gerekli olan parametrelerin hazırlanmasına yönelik çalışma yapılmıştır. İlk olarak tez çalışma alanınının 1/25000 ölçekli topoğrafik haritasındaki, yol, eşyükseklik eğrileri ve yapısal unsurlar ArcGIS 10.4.1 yazılım programında sayısallaştırılmıştır. Heyelan duyarlılık haritalaması için tüm parametre haritaları üretildikten sonra CBS ortamında, çalışma alanından Akdeniz sınırı çıkartılacak şekilde bir sınır ile sayısallaştırılmıştır. Tüm parametre haritaları CLIP aracı ile 'sınır' referans alınarak kesme işlemi uygulanmıştır. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametre haritaları, 25 x 25 çözünürlük, 913 sütun ve 1130 satır olmak üzere toplam 753533 adet piksel (CLIP işlemi öncesinde 1131690 piksel) içermektedir. Çalışmada kullanılan parametrelere dair bilgilere izleyen paragraflarda değinilmiştir.

#### **3.2.1. Sayısal Yükseklik Modeli**

CBS ortamında sayısallaştırılan eş yükseklik eğrilerinden oluşturulan TIN (Düzensiz Üçgen Ağları) haritasından Sayısal Yükseklik Modeli üretilmiştir. SYM kullanılarak; eğim, bakı, eğrisellik, drenaj ağına uzaklık (dolaylı olarak), sediman taşıma kapasite indeksi, akış gücü indeksi, nemlilik indeksi haritaları üretilmiştir. TIN ve SYM haritaları sırasıyla; Şekil 3.6 ve Şekil 3.7' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. TIN (Düzensiz Üçgenler Ağı) haritası



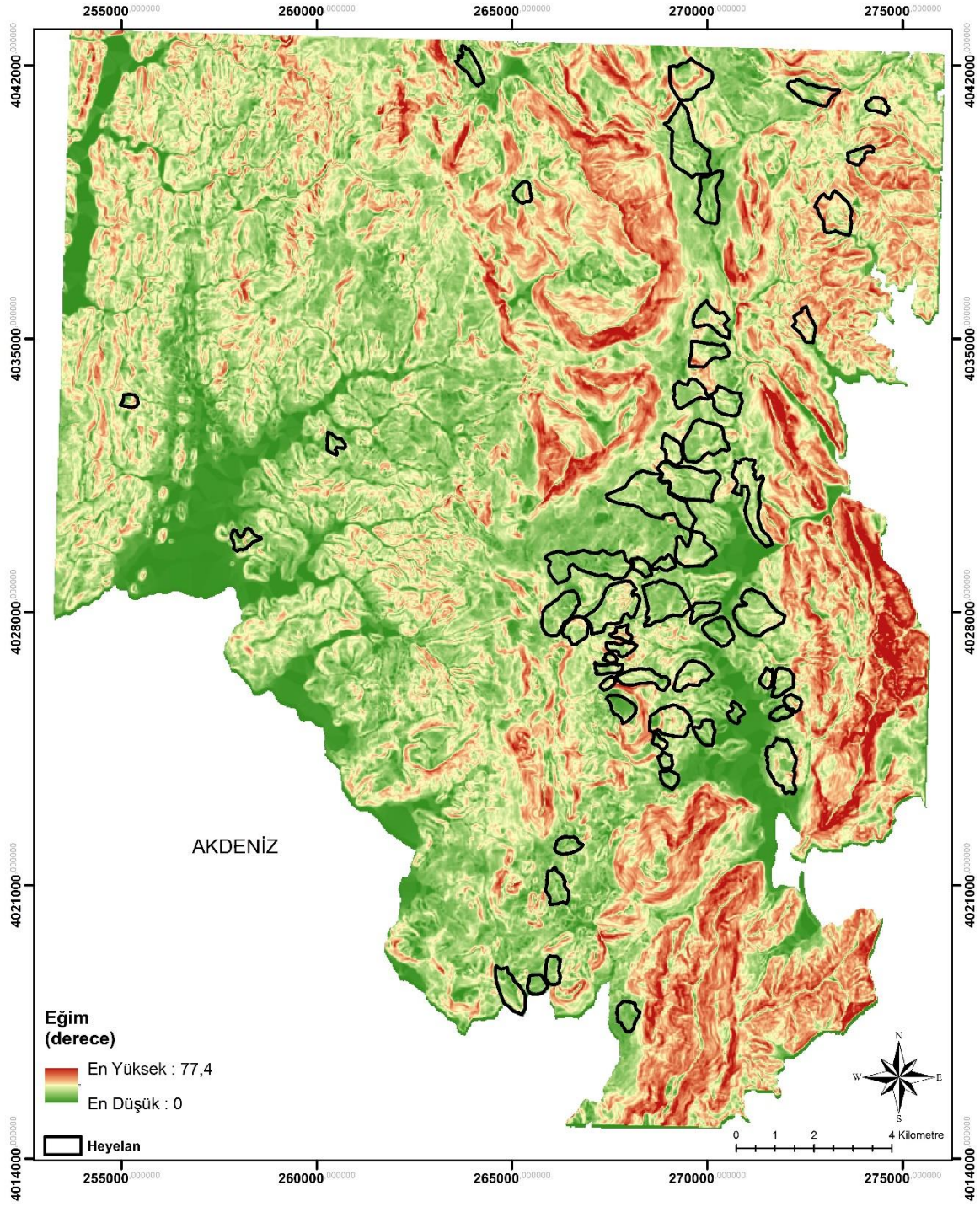
Şekil 3.7. Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli



### 3.2.2. Yamaç Eğimi

Heyelan duyarlılığı analizlerinde eğim açısı ana parametredir [53]. Heyelan oluşumu ile eğim açısı doğrudan ilişkili olması nedeni ile duyarlılık haritalarının üretilmesinde en sık kullanılan parametredir [55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62]. Heyelan duyarlılık haritalaması yapan araştırmacılar; heyelan ile yamaç eğimi arasındaki ilişkiyi, yamaç eğiminin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın da artacağı yönünde ifade etmişlerdir [63, 64, 65, 66, 67]. Ancak bu durum, özellikle litolojik özelliklerle birlikte değerlendirilip yorumlanmalıdır. Zira, tez çalışma alanında da olduğu gibi, heyelanlar düşük-orta eğime sahip yamaçlarda da gelişebilmektedir.

Çalışma alanına ait yamaç eğimi haritası ArcGIS 10.4.1 yazılım programında SLOPE aracı kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 3.8).

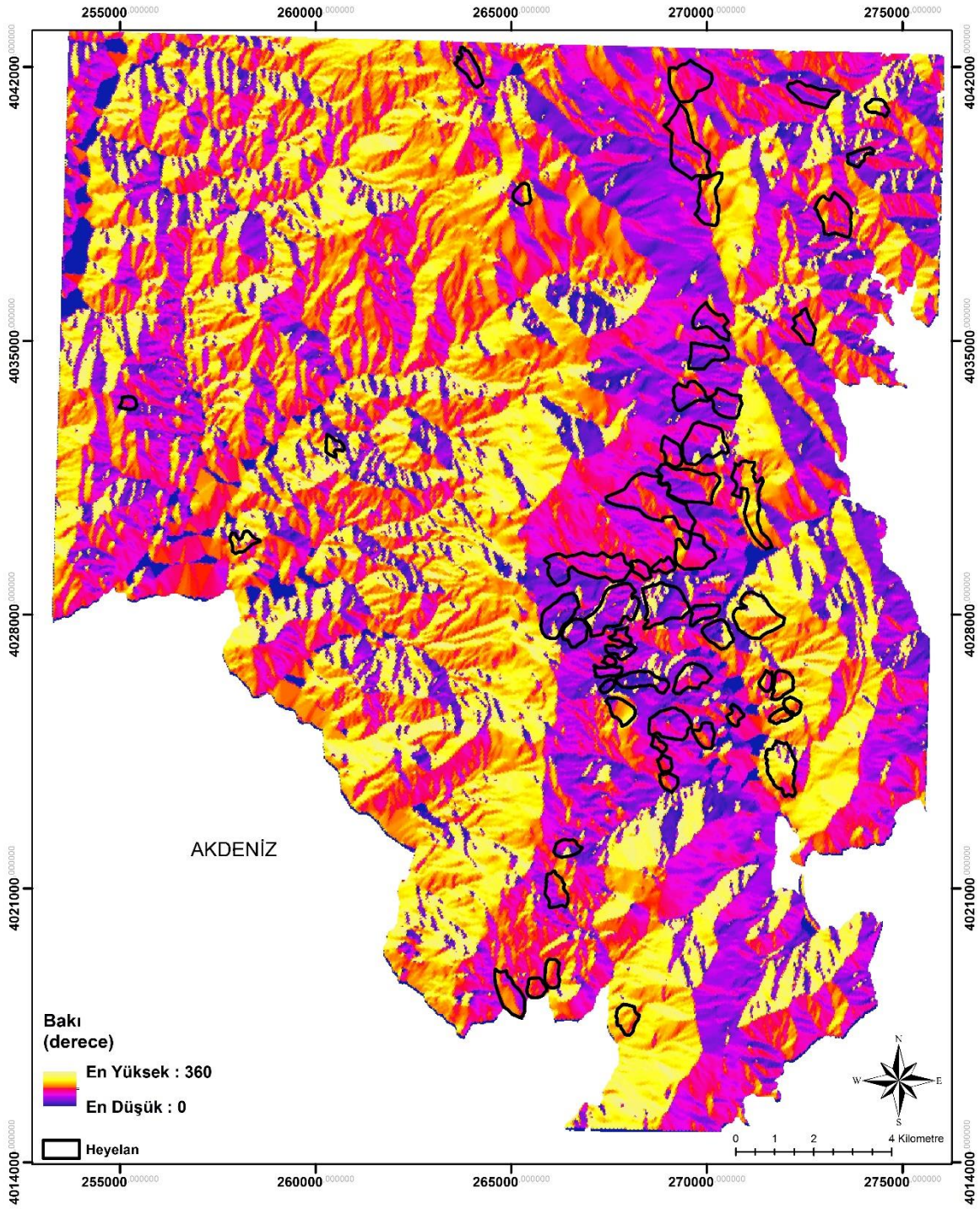


Şekil 3.8. Yamaç Eğimi Haritası

### 3.2.3. Bakı

Bakı ile heyelan arasındaki ilişki, araştırmacılar tarafından uzun zamandır incelenmesine rağmen genel bir fikir birliğinden söz edilememektedir [60, 68]. Fakat gerçekleştirilen birçok araştırmada heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bakının önemli faktör olduğu da belirtilmiştir [59, 61, 69, 70]. Bakı, heyelan oluşumu ile doğrudan ilişkisi olmaması ile birlikte heyelan oluşumunu etkileyen süreksizlikler, yağmur, rüzgar ve güneş işığı gibi faktörler ile ilişkilidir [59, 71, 69]. Yağışın yoğun olduğu yamaçlarda, eğim, zemin türü, geçirimsizlik, gözeneklilik, malzeme içeriği ve szlme miktarına v.b özelliklerine bağlı olarak, diğer yamaçlara oranla daha hızlı doygunluğa ulaşır [72].

Tez alışması kapsamında çalışma alanındaki heyelanlı bölgelerin bakı ile ilişkisi, ArcGIS 10.4.1 yazılım programında ASPECT aracı kullanılarak üretilmiştir. Bakı haritasına ait harita Şekil 3.9'de gösterilmiştir.

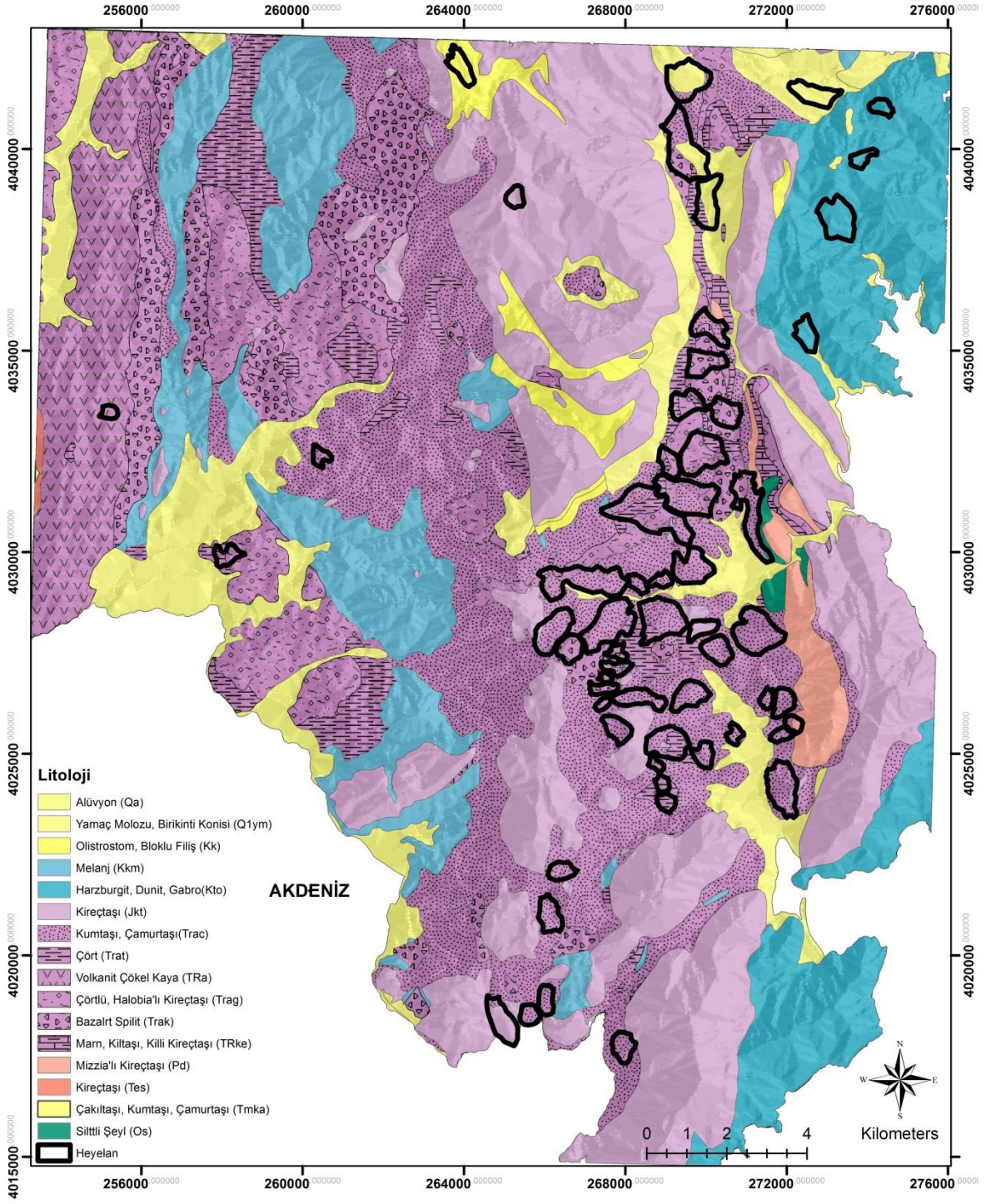


Şekil 3.9. Baki Haritası

### **3.2.4. Litoloji**

Bir arazinin jeomorfolojisi ile ilgili verilerin temel kaynağını o sahanın litolojik özellikleri oluşturmaktadır [69]. Litoloji birimlerinin farklılık göstermesi ve her birimin farklı heyelan duyarlılığına sahip olması nedeni ile heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde önemli olduğu vurgulanmıştır [56, 59, 69, 73]. Bu nedenle, litolojik birimlerin özenle sınıflandırılması gerekmektedir.

Tez çalışması kapsamında MTA Genel Müdürlüğü tarafından CBS ortamında hazırlanmış 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası kullanılmıştır. Jeoloji haritası incelendiğinde çalışma alanında toplam 16 litolojik birim bulunmaktadır. Heyelan oluşumun en sık gözlemlendiği birim Alakırçay grubudur (Şekil 3.10).

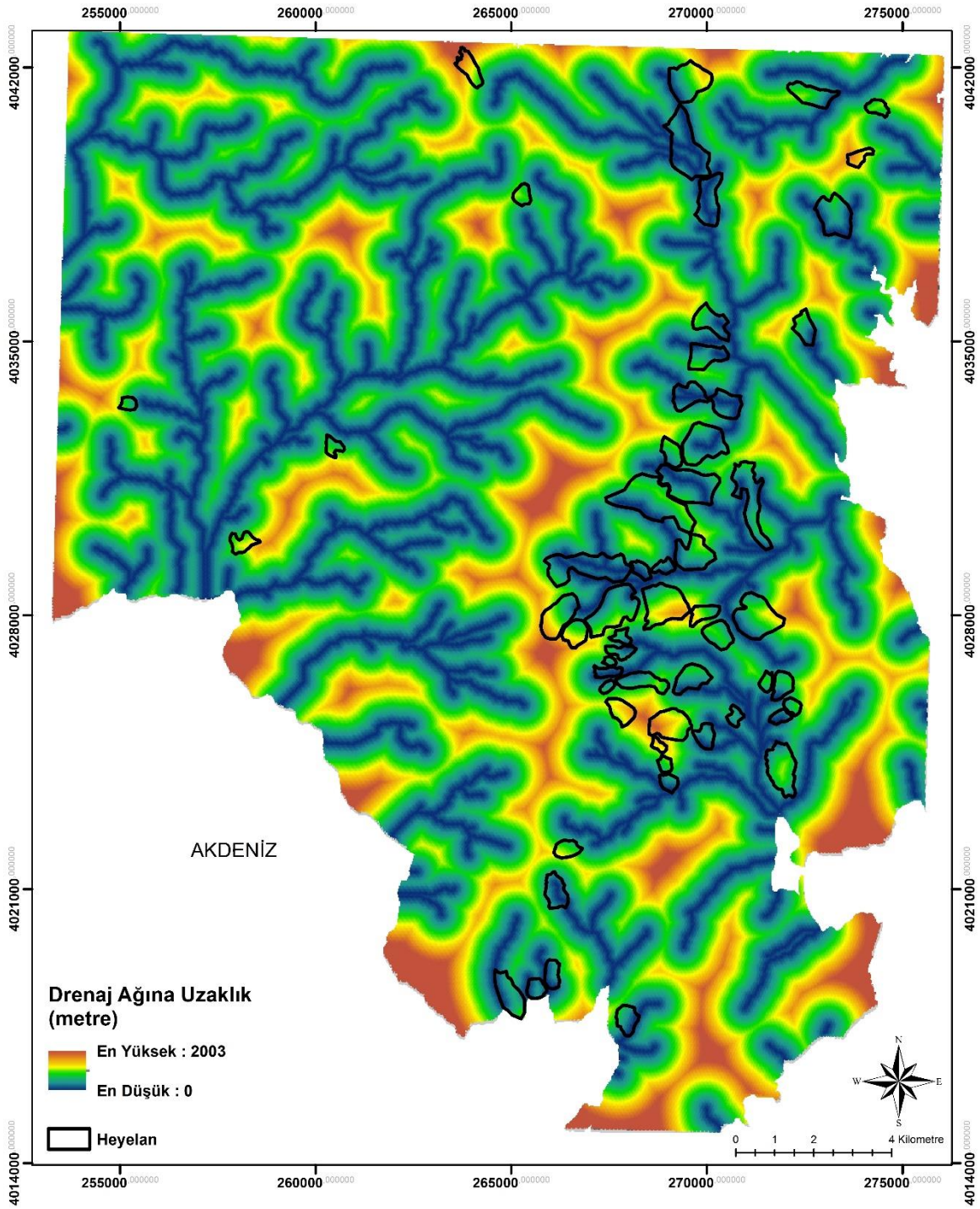


Şekil 3.10. Litoloji Haritası

### 3.2.5. Drenaj Ağına Uzaklık

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında akarsulara yakınlık heyelan duyarlılığını arttırıcı bir faktör olarak dikkate alınmaktadır [74]. Akarsuyun duyarlılık üzerinde, hem yamaç topoğunu erozyona uğratması, hem de yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan kısmını suya doyurması şeklinde iki olumsuz etkisi söz konusudur [74]. Ayrıca, akarsuların mevsimsel seviye değişimlerinin ayrıntılı incelenmesi ve yeraltısuyu ile ilişkisinin ortaya koyulması gerekir [74]. Sözü edilen bu nedenlerden dolayı, bazı araştırmacılar deneyimlerini ve saha gözlemlerini kullanarak akarsu yataklarına uzaklığı bir duyarlılık parametresi olarak değerlendirmişlerdir [73, 75, 76, 77, 74, 78, 80].

Çalışma kapsamında ArcGIS 10.4.1 yazılımında SYM kullanılarak HYDROLOGY arayüzü ile oluşturulan drenaj ağı modeli, DISTANCE aracı kullanılarak drenaj ağına uzaklık haritası elde edilmiştir (Şekil 3.11).



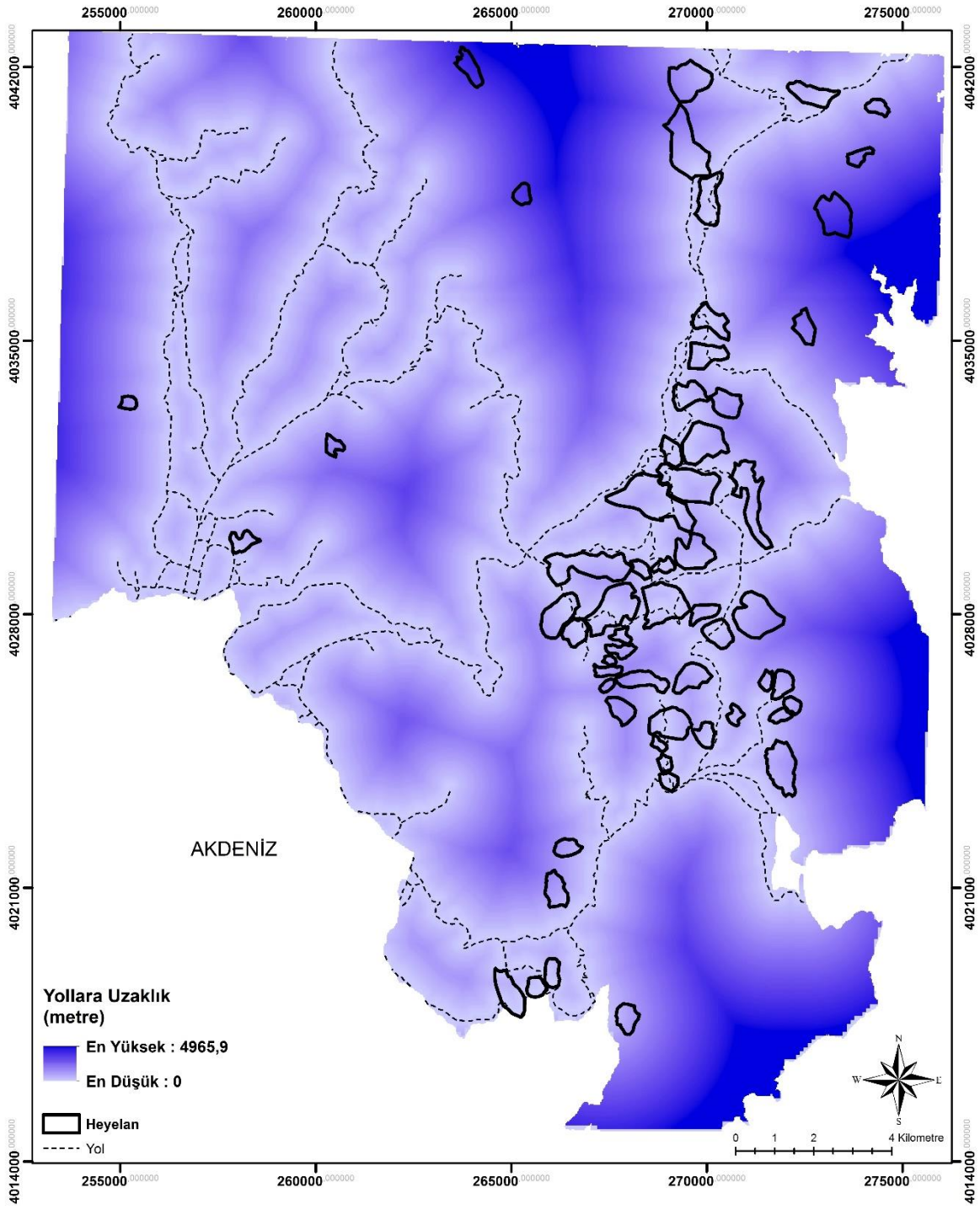
Şekil 3.11. Drenaj Ağına Uzaklık Haritası



### **3.2.6. Yollara Uzaklık**

Yamaçlarda bulunan yollar, topoğrafya ve yamaç topuğunda yük azalımı neden olmak ile birlikte bunun sonucunda yamaç gerisinde gerilme artışı gözlenir [81]. Yol yapımı öncesinde duraylı olan yamaç, dışarıdan gelen olumsuz etkiler ile duraysız hale gelebilmektedir [81].

Tez çalışması kapsamında ArcGIS 10.4.1 programında 1/25000 ölçekli topoğrafik haritadan yollar sayısallaştırılmıştır. DISTANCE aracı kullanılarak üretilen yola uzaklık haritasının heyelanlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmaya ait yollara uzaklık haritası Şekil 3.12' de gösterilmiştir.

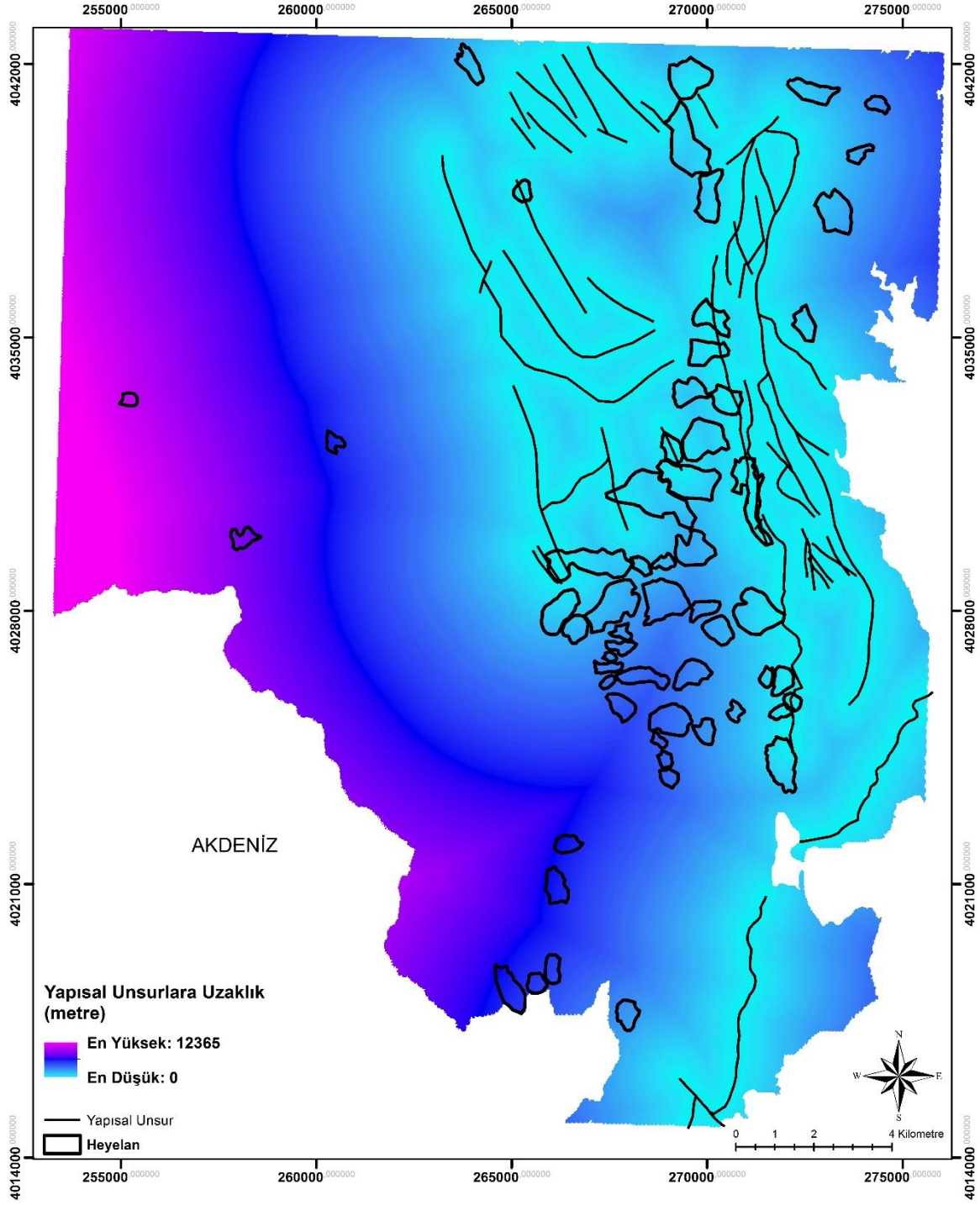


Şekil 3.12. Yollara Uzaklık Haritası

### 3.2.7. Yapısal Unsurlara Uzaklık

Faylar, kıvrım ekseni, kırık/çatlak sistemleri gibi çizgisel yapısal unsurlara yakın olan alanlarda, heyelan oluşumunun daha fazla olabileceği düşünülebilir [6, 10, 61, 82, 83, 84, 85, 86, 87]. Çünkü, yapısal unsura yakın olan alanlar, tektonik etkiler nedeniyle daha fazla deforme olmakta ve zemini oluşturan malzeme daha zayıf hale gelebilmektedir [88]. Bununla birlikte, bu alanlardan uzaklaştıkça da bu parametre etkisi negatif yönde etki olabilir. Örneğin, heyelanların konumları ile yapısal unsurların daha yüksek uzaklıklarda bir ilişkisi varsa, bu durum göz önünde bulundurularak, yapısal unsurlara uzaklık parametresi kullanılmamalıdır.

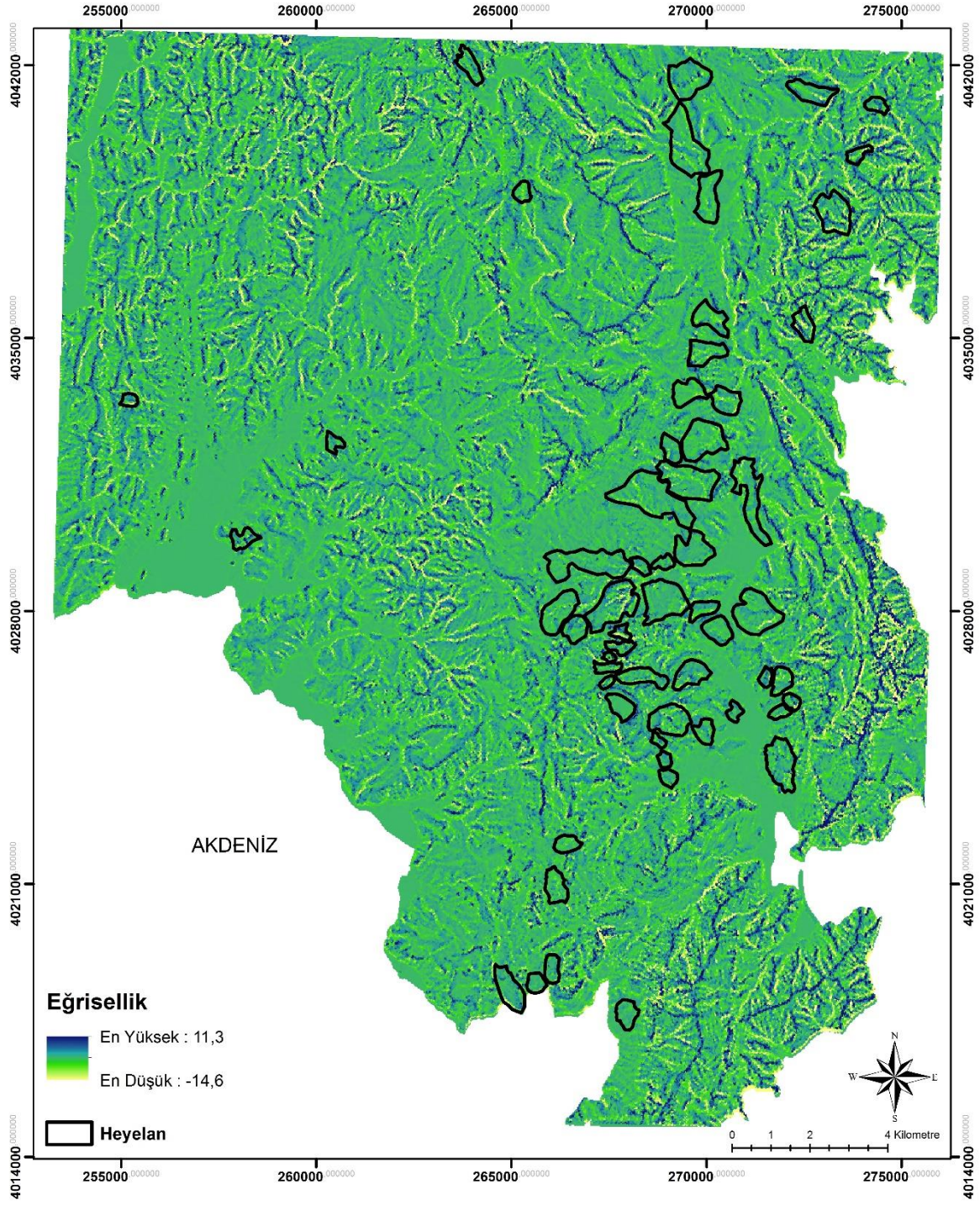
Tez çalışması kapsamında; ArcGIS 10.4.1 yazılım programında MTA Genel Müdürlüğü'nden alınan 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden sayısallaştırılan yapısal unsurlar, DISTANCE aracı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yapısal Unsurlara Uzaklık Haritası

### 3.2.8. Eğrisellik

Eğrisellik haritaları, SYM'nin ikinci türevi olarak elde edilirler ve eğimdeki göreceli değişime bağlı olarak ifade edilirler [89]. Pozitif eğrisellik, bir hücrede yüzeyin yukarıya doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrisellik ise yüzeyin o hücrede yukarı doğru içbükey, sıfır değeri ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder [10]. Çalışma kapsamında eğrisellik haritası ArcGIS 10.4.1 yazılım programında, CURVATURE aracı ile SYM'den üretilmiştir (Şekil 3.14)



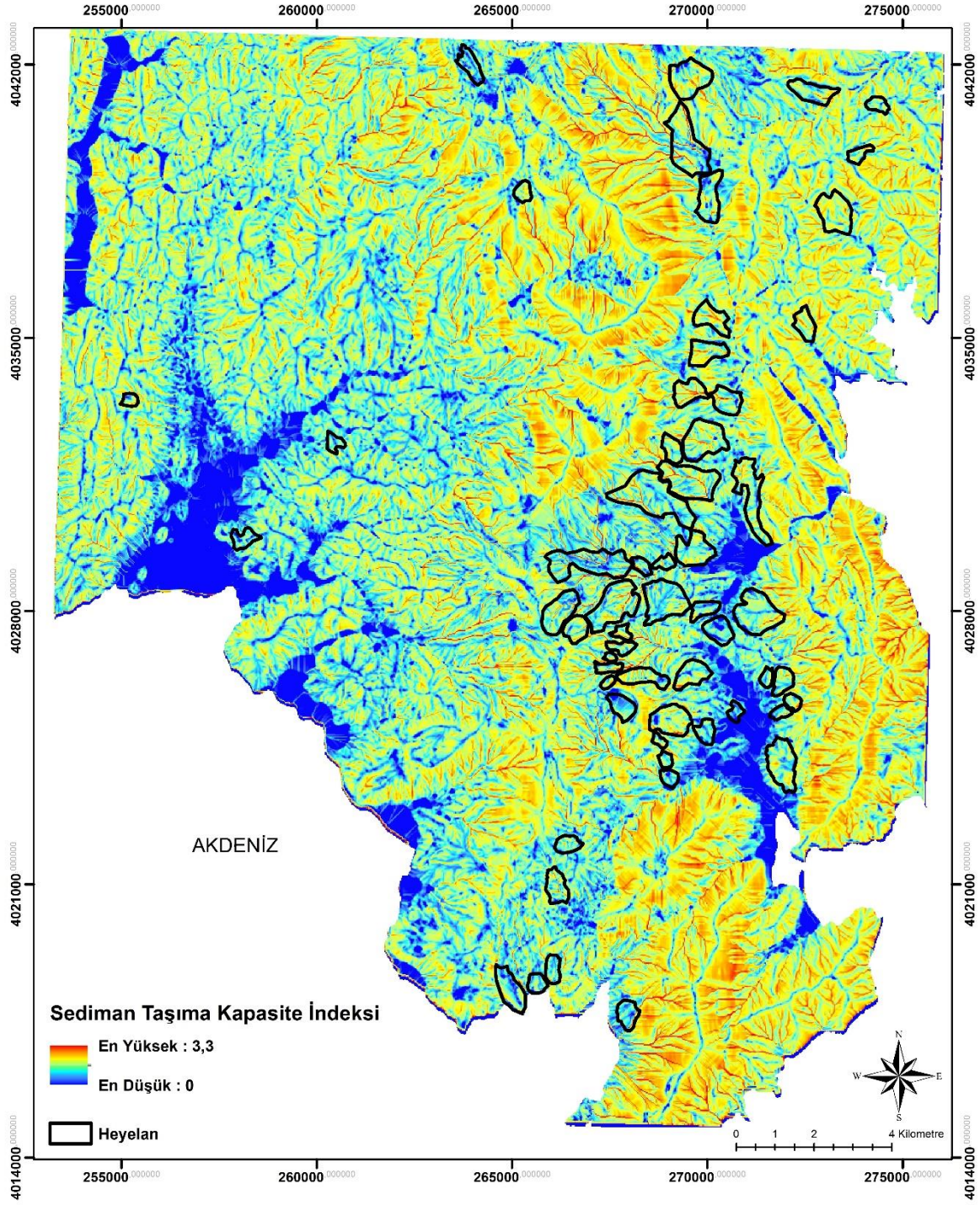
Şekil 3.14. Eğrisellik Haritası

### 3.2.9. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi

Araştırmacılar birim nehir aşındırma gücü teorisine bağlı olarak geliştirilen sediman taşıma kapasite indeks parametresinin, yamaç uzunluğunun 100 m'den daha kısa ve yamaç eğiminin 14°' den küçük olduğu koşullar altında revize edilmiş evrensel toprak kaybı denklemi içerisinde yamaç uzunluğu faktörüne denk olduğunu ifade etmektedirler [91]. Bu koşulların her zaman sağlanmasının mümkün olmaması nedeni ile sözü edilen parametrenin yamaç uzunluğu faktörü yerine, sediman taşıma kapasite indeksi olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür [91]. Sediman taşıma kapasite indeksinin hesaplanmasına yönelik olarak aşağıdaki verilen eşitlikten yararlanılmıştır (Eşitlik 3.1) [92]. Burada, m ve n değerleri sırasıyla 0.4 ve 1.3,  $A_S$  havza alanı,  $\beta$  yamaç eğimi olarak verilmektedir [90].

$$LS = (m + 1) \left( \frac{A_S}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad \text{Eşitlik 3.1. [92]}$$

Çalışma kapsamında sediman taşıma kapasite indeksi Arcgis 10.4.1 yazılım programında ARCHYDRO arayüzü kullanılarak SYM'den üretilmiştir. Çalışma bölgesine ait üretilen sediman taşıma kapasite indeksinin en büyük değeri 3.3' tür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi Haritası

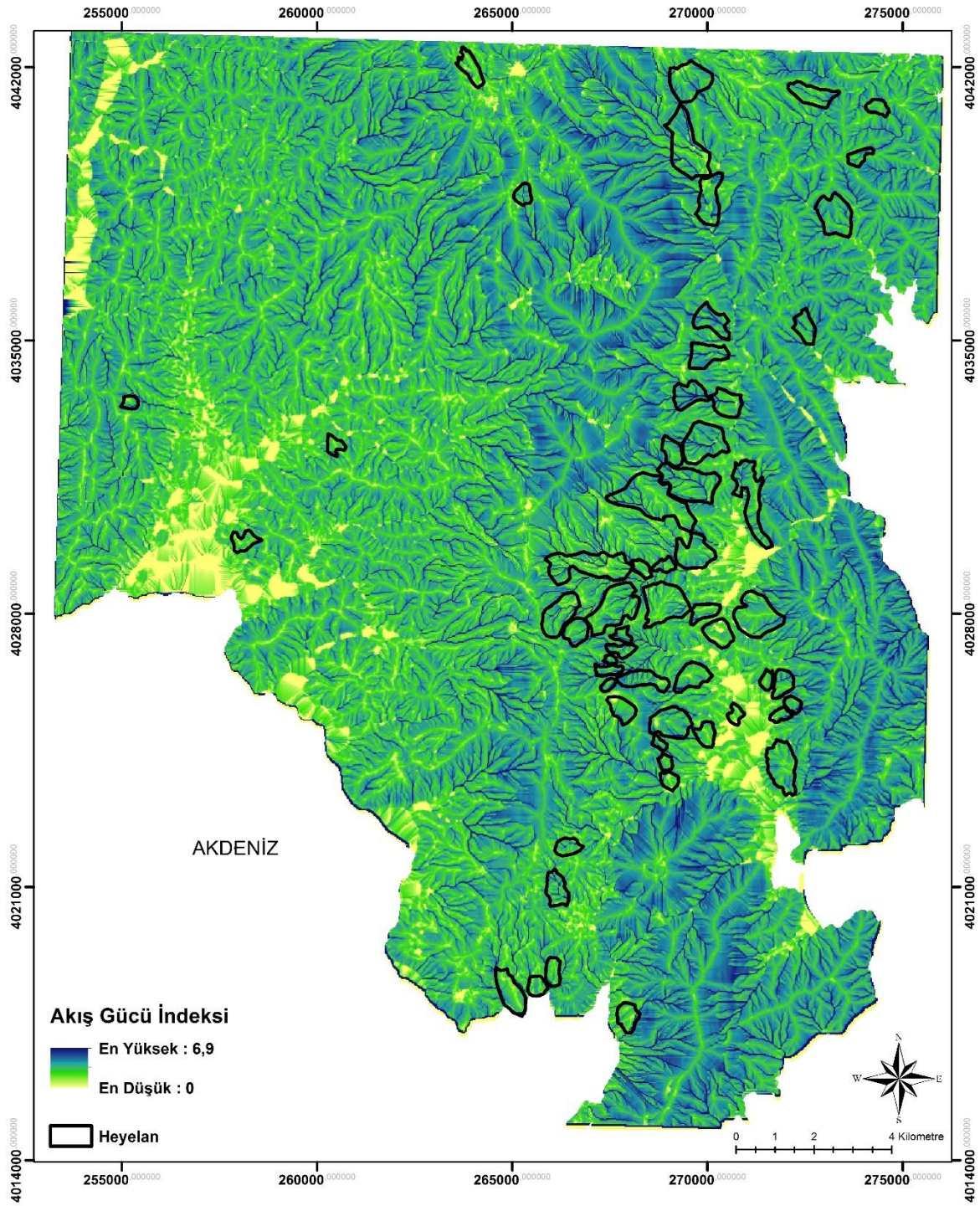


### 3.2.10. Akış Gücü İndeksi

Sayısal arazi modellerine ilişkin ikincil türev olan akış gücü indeksi, akımın özgül havza alanı ile orantılı olduğu varsayımı dikkate alınarak, akış halindeki suyun topoğrafyayı erozyona uğratabilme gücü olarak tanımlanmaktadır [93]. Akış gücü indeksinin hesaplaması için araştırmacılar aşağıdaki eşitliği önermiştir (Eşitlik 3.2) [93]. Eşitlikte;  $A_s$  havza alanı,  $\beta$  yamaç eğimini göstermektedir.

$$SPI = A_s \times \tan \beta \quad \text{Eşitlik 3.2. [93]}$$

Tez çalışması kapsamında ArcGIS 10.4.1 yazılım programında ARCHYDRO ara yüzü kullanılarak üretilen akış gücü indeksi haritasının değer aralığı 0 – 6.9'dur (Şekil 3.16).



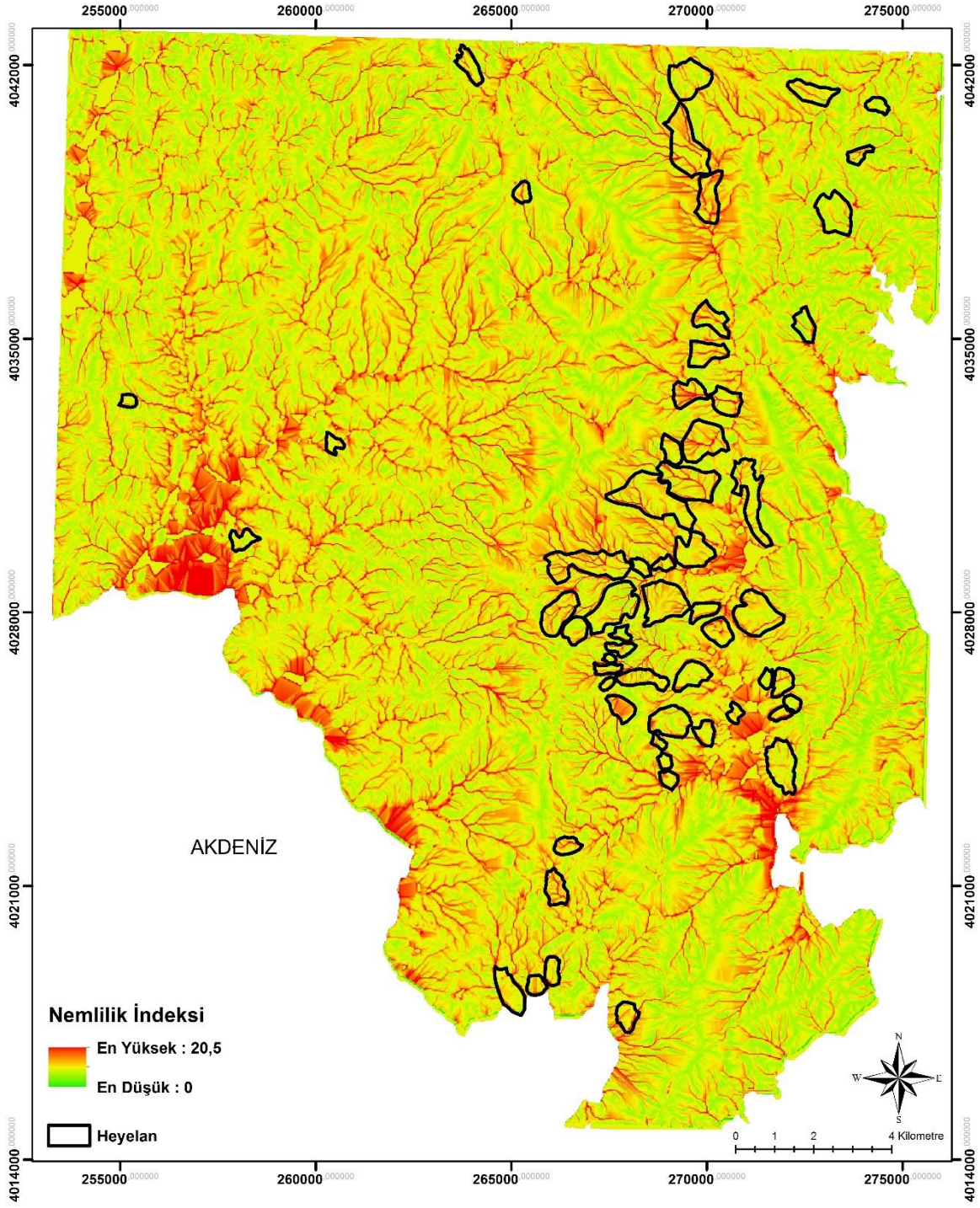
Şekil 3.16. Akış Gücü İndeksi Haritası

### 3.2.11. Nemlilik İndeksi

Nemlilik indeksi, topoğrafya üzerinde suya doymuş bölgeleri ve boyutlarını ifade etmek amacı ile yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [93]. Homojen ve izotop bir ortam ve tek tip zemin koşulu varsayımlarını dikkate alarak, nemlilik indeksinin hesaplanmasına yönelik aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Eşitlik 3.3) [93]. Eşitlikte;  $A_s$  havza alanı,  $\beta$  yamaç eğimini göstermektedir.

$$WI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad \text{Eşitlik 3.3. [93]}$$

Çalışma alanına ait nemlilik indeksi haritası ArcGIS 10.1.4 yazılım programında SYM'den üretilmiştir. Nemlilik indeksine ait değer aralığı 0 – 20.5' tir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Nemlilik İndeksi Haritası

## 4. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ

Tez çalışması kapsamında bu bölümünde; heyelan duyarlılık analizinde karşılaştırmalı olarak incelenecek olan frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemleri incelenmiş ve önceki paragraflarda değinilmiş olan çalışma alanındaki heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametre haritaları kullanılarak, bu yöntemlerle 2 farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Her iki yöntemin analizi için, çalışma alanında yer alan heyelanlı bölgelere 1, heyelan olmayan bölgelere 0 değerleri atanmış ve rasgele seçilen örnekleme noktaları CBS ortamında üretilmiştir. Örnekleme noktalarının üretilmesinde dikkat edilen en önemli unsur, envanter haritası ile heyelan oluşumunda etkili olan parametre haritalarının görüntü özelliklerinin aynı olmasıdır. 753533 örnekleme noktasının 39328 adedi heyelanlı bölge içerisinde yer almaktadır. Örnekleme noktalarının %75'i analiz kısmında kullanılmış ve %25'i analizin performansının değerlendirilmesi için ayrılmıştır.

### 4.1. Frekans Oranı Metodu

Heyelan duyarlılık çalışmalarında, gelecekte oluşması olası heyelan yerlerinin tahmin edilmesinde, genellikle şu varsayım yaygın olarak kabul görmektedir: “gelecekteki heyelanlar, geçmişte meydana gelen heyelanlar ile aynı koşullar altında oluşacaktır” [8, 61, 94, 95]. Bu nedenle, geçmiş heyelan konumları ile heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen her bir parametre arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için Frekans Oranı Yöntemi ilk olarak dikkate alınmıştır [53, 61, 89]. Frekans Oranı yönteminin uygulanabilirliği, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde başvurulan yöntemler arasında, göreceli olarak daha kolay olması nedeni ile yaygınlaşmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında kullanılan her bir parametreye ait alt sınıflar için belirlenen sınıf aralığındaki heyelanlı hücre sayılarının ( $HP_{ix}$ ), tüm heyelanlı hücre sayısına ( $\sum Hp$ ) oranının, parametre sınıf aralığındaki hücre sayısının ( $P_{ix}$ ), toplam çalışma alanına ait hücre sayısı oranı ( $\sum A$ ); frekans oranı olarak tanımlanır [53, 61, 89]. Frekans oranı hesaplanması için kullanılan eşitlik aşağıda yer almaktadır (Eş. 4.1).

$$FR = \left( \frac{HP_{ix}}{\sum Hp} \right) / \left( \frac{P_{ix}}{\sum A} \right) \quad \text{Eşitliklik 4.1.}$$

Eşitlikte,  $H_{pix}$  parametre alt kategorisi heyelanlı piksel sayısını,  $H_p$  heyelanlı piksel sayısını,  $P_{ix}$  parametre alt kategorisinin çalışma alanındaki piksel sayısını ve  $A$  çalışma alanına ait piksel sayısını ifade etmektedir.

Tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan 11 parametre, Frekans Oranı hesaplanması için alt kategorilere ayrılmıştır (Çizelge 4.1). Yukarıda verilen eşitlik ile her bir parametre alt kategorisine ait FR değerleri hesaplanmış ve normalleştirilerek NFR değeri alt kategorilere atanmıştır. Heyelan ile heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametreler arasındaki ilişki, FR değerinin 1'den büyük veya küçük olması ile tanımlanabilmektedir. FR değeri 1'den büyük olursa, heyelan ile tetikleyici parametre alt kategori arasındaki ilişki yüksek, 1'den küçük olursa, ilişkinin daha az olacağı şeklinde bir yorumlama yapılmaktadır.

Çizelge 4.1. Parametre alt kategorilerine ait Frekans Oranı değerleri

Parametreler	Alt Kategorisi	$H_{pix}$	$H_p$	$P_{ix}$	$A$	FR	NFR
Bakı	Kuzey	1260	29496	31740	565150	0,76	0,52
	Kuzeydoğu	3813	29496	51690	565150	1,41	0,96
	Doğu	6730	29496	87438	565150	1,47	1,00
	Güneydoğu	6338	29496	87347	565150	1,39	0,94
	Güney	4496	29496	78715	565150	1,09	0,74
	Güneybatı	3275	29496	86869	565150	0,72	0,49
	Batı	2046	29496	85585	565150	0,46	0,31
	Kuzeybatı	1538	29496	55766	565150	0,53	0,36
Eğrisellik	(-2.5)<	40	29496	2586	565150	0,30	0,26
	(-2.5)-(-2)	123	29496	3628	565150	0,65	0,56
	(-2)-(-1.5)	328	29496	9824	565150	0,64	0,55
	(-1.5)-(-1)	1069	29496	27687	565150	0,74	0,64
	(-1)-(-0.5)	3447	29496	72577	565150	0,91	0,78
	(-0.5)-(0)	9836	29496	178646	565150	1,05	0,91
	(0)-(0.5)	10280	29496	169729	565150	1,16	1,00
	(0.5)-(1)	3255	29496	56247	565150	1,11	0,96
	(1)-(1.5)	777	29496	25332	565150	0,59	0,51
	(1.5)-(2)	224	29496	10275	565150	0,42	0,36
	(2)-(2.5)	69	29496	4523	565150	0,29	0,25
	>(2.5)	48	29496	4096	565150	0,22	0,19
Yapısal Unsurlara Uzaklık(m)	0-100	1921	29496	34445	565150	1,07	0,38
	100-200	1396	29496	28428	565150	0,94	0,34
	200-300	1175	29496	24976	565150	0,90	0,32

Çizelge 4.1 devam ediyor...

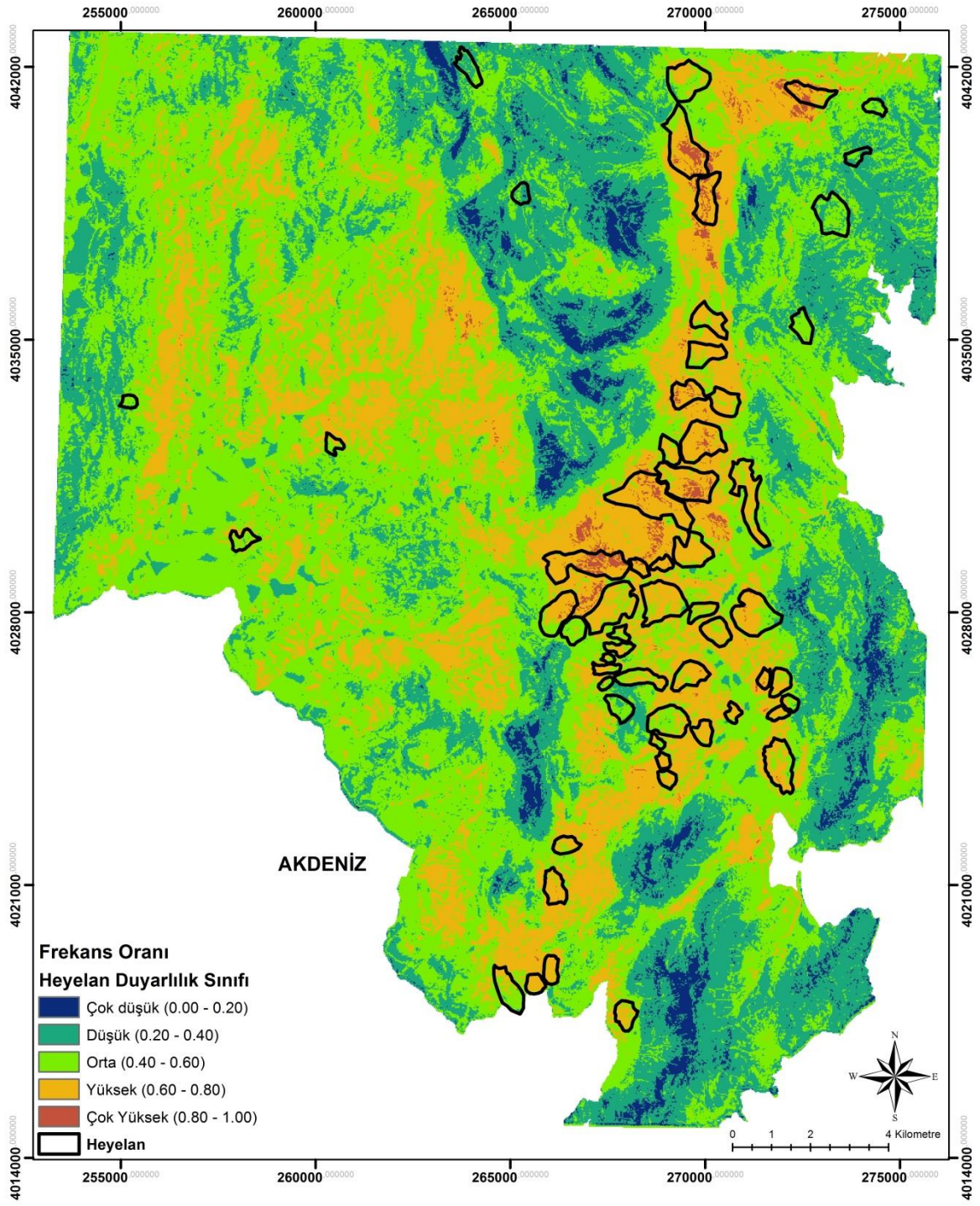
	300-400	1180	29496	21346	565150	1,06	0,38
	400-500	1446	29496	19391	565150	1,43	0,51
	500-600	1671	29496	17248	565150	1,86	0,67
	600-700	1788	29496	15636	565150	2,19	0,79
	700-800	1903	29496	14456	565150	2,52	0,91
	800-900	1825	29496	12571	565150	2,78	1,00
	900-1000	1266	29496	11045	565150	2,20	0,79
	>1000	13925	29496	365608	565150	0,73	0,26
Drenaj Ağına Uzaklık(m)	0-100	5984	29496	85624	565150	1,34	1,00
	100-200	5113	29496	75680	565150	1,29	0,97
	200-300	4522	29496	70627	565150	1,23	0,92
	300-400	3967	29496	65966	565150	1,15	0,86
	400-500	3528	29496	60746	565150	1,11	0,83
	500-600	2353	29496	52247	565150	0,86	0,64
	600-700	1417	29496	43557	565150	0,62	0,47
	700-800	1045	29496	35308	565150	0,57	0,42
	800-900	740	29496	27338	565150	0,52	0,39
	900-1000	491	29496	19029	565150	0,49	0,37
	>1000	336	29496	29028	565150	0,22	0,17
	Litoloji	1	1377	29496	135477	565150	0,19
2		423	29496	10165	565150	0,80	0,21
3		30	29496	50565	565150	0,01	0,00
4		1608	29496	53492	565150	0,58	0,15
5		161	29496	2362	565150	1,31	0,35
6		182	29496	8588	565150	0,41	0,11
7		0	29496	47371	565150	0,00	0,00
8		2311	29496	11915	565150	3,72	1,00
9		50	29496	1546	565150	0,62	0,17
10		54	29496	1089	565150	0,95	0,26
11		173	29496	31062	565150	0,11	0,03
12		15527	29496	113673	565150	2,62	0,70
13		2202	29496	37245	565150	1,13	0,30
14		2956	29496	33778	565150	1,68	0,45
15		2395	29496	21993	565150	2,09	0,56
16		47	29496	2029	565150	0,44	0,12
Eğim(°)		0-5	1356	29496	50989	565150	0,51
	5-10	5693	29496	62442	565150	1,75	0,97
	10-15	10031	29496	106342	565150	1,81	1,00
	15-20	6801	29496	103641	565150	1,26	0,70
	20-25	3319	29496	84035	565150	0,76	0,42
	25-30	1539	29496	66114	565150	0,45	0,25
	30-35	530	29496	47310	565150	0,21	0,12
	35-40	205	29496	27194	565150	0,14	0,08
	40-45	21	29496	10872	565150	0,04	0,02
	45-50	1	29496	3904	565150	0,00	0,00

Çizelge 4.1 devam ediyor...

	>50	0	29496	2307	565150	0,00	0,00
Akış Gücü İndeksi	0-1	3715	29496	66548	565150	1,07	0,66
	1-2	19274	29496	348203	565150	1,06	0,66
	2-3	5568	29496	137751	565150	0,77	0,48
	3-4	913	29496	10821	565150	1,62	1,00
	4-5	25	29496	1631	565150	0,29	0,18
	5-6	1	29496	189	565150	0,10	0,06
	>6	0	29496	7	565150	0,00	0,00
Sediman Taşıma Kapasitesi İndeksi	(0)-(0.5)	3577	29496	73701	565150	0,93	0,68
	(0.5)-(1)	10777	29496	150056	565150	1,38	1,00
	(1)-(1.5)	12037	29496	246783	565150	0,93	0,68
	(1.5)-(2)	2626	29496	87152	565150	0,58	0,42
	(2)-(2.5)	463	29496	7152	565150	1,24	0,90
	(2.5)-(3)	16	29496	303	565150	1,01	0,74
	>3	0	29496	3	565150	0,00	0,00
Sayısal Yükseklik Modeli(m)	0-100	4261	29496	86459	565150	0,94	0,68
	100-200	7315	29496	101011	565150	1,39	1,00
	200-300	5601	29496	98520	565150	1,09	0,79
	300-400	5714	29496	83828	565150	1,31	0,94
	400-500	3196	29496	54358	565150	1,13	0,81
	500-600	1379	29496	38390	565150	0,69	0,50
	600-700	775	29496	26074	565150	0,57	0,41
	700-800	303	29496	20470	565150	0,28	0,20
	800-900	324	29496	13253	565150	0,47	0,34
	900-1000	0	29496	9500	565150	0,00	0,00
	>1000	628	29496	33287	565150	0,36	0,26
Nemlilik İndeksi	0-3	83	29496	12617	565150	0,13	0,06
	3-6	13912	29496	316259	565150	0,84	0,38
	6-9	13445	29496	202620	565150	1,27	0,57
	9-12	1804	29496	31380	565150	1,10	0,49
	12-15	250	29496	2148	565150	2,23	1,00
	15-18	2	29496	116	565150	0,33	0,15
	>18	0	29496	10	565150	0,00	0,00
Yollara Uzaklık(m)	0-100	4718	29496	64898	565150	1,39	0,81
	100-200	4238	29496	52155	565150	1,56	0,90
	200-300	3605	29496	43391	565150	1,59	0,92
	300-400	3449	29496	38252	565150	1,73	1,00
	400-500	2906	29496	33015	565150	1,69	0,98
	500-600	2371	29496	30090	565150	1,51	0,87
	600-700	1795	29496	27191	565150	1,26	0,73
	700-800	1411	29496	23501	565150	1,15	0,67
	800-900	981	29496	21348	565150	0,88	0,51
	900-1000	808	29496	19506	565150	0,79	0,46
	>1000	3214	29496	211803	565150	0,29	0,17



Çalışma kapsamında parametre haritaları, parametre alt kategorilerine NFR değerleri atanacak şekilde ArcGIS 10.4.1 yazılım programında RECLASSIFY aracı ile yeniden sınıflandırılmışlardır. Bu yöntem ile elde edilen parametre haritaları RASTER CALCULATOR işlemi yapılarak üst üste çakıştırılmış ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Çalışma alanının heyelan duyarlılık değerlendirilmesinin yapılabilmesi için RECLASSIFY aracı kullanılarak çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlılık olarak 5 sınıfa ayrılmış ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 4.1). Frekans Oranı yöntemi ile çalışma alanının heyelan duyarlılığı %3.15 çok düşük, %28.5 düşük, %46.85 orta, %20.8 yüksek, %0.7 çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Frekans Oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

## 4.2. Lojistik Regresyon Yöntemi

Birden fazla bağımsız değişken tarafından kontrol edilen bağımlı değişkenin arasındaki matematiksel ilişkinin analiz edilmesinde Lojistik Regresyon yöntemi uygulanmaktadır. Lojistik Regresyon yöntemi duyarlılık haritalarının üretilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir [53, 63, 66, 69, 96, 97, 98, 99, 100]. Çok değişkenli analiz yöntemlerinden biri olan lojistik regresyon, en az değişken ile bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi en iyi uyuma sahip olacak bir şekilde tanımlayabilmesi, yöntemin uygulanmasında esas amaç olarak kabul edilebilmektedir [101]. Lojistik regresyon yönteminin diğer regresyon yöntemlerine göre avantajı, değişkenlerin sürekli, kategorik veya çift değişkenli olabilmesidir [102]. Bu yöntem ile bağımlı değişken girdi verisinde, heyelan var olan bölgelere "1" ve heyelan yok olan bölgelere "0" değeri atanmaktadır. Başka bir deyişle; lojistik regresyon yönteminde, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin olma ya da olmama olasılığı olarak hesaplanmaktadır [102]. Lojistik Regresyon yöntemi ile hesaplanan bağımlı değişkenin 1 olma olasılığına ait eşitlik aşağıda yer almaktadır (Eşitlik 4.2).

$$P(y = 1/x) = \left( \frac{e_{xp}(\sum B_x)}{1 + e_{xp}(\sum B_x)} \right) \quad \text{Eşitlik 4.2. [102]}$$

Bu eşitlikte P, bağımlı değişkenin 1 olma olasılığı (örneğin heyelanlı alanlardaki piksellerin 1, heyelan olmayan alanlarda 0 olarak kabul edilmesi); X, bağımsız değişkenler (örneğin jeolojik, topoğrafik, çevresel parametreler) ( $X=X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ ) ve B, parametre ağırlık katsayılarıdır ( $B=b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ ) [103]. Bu eşitliği doğrusallaştırmak ve sonsuza giden değerlerden kurtarmak için, Eşitlik 4.3' te verilen işlem uygulanmaktadır [103].

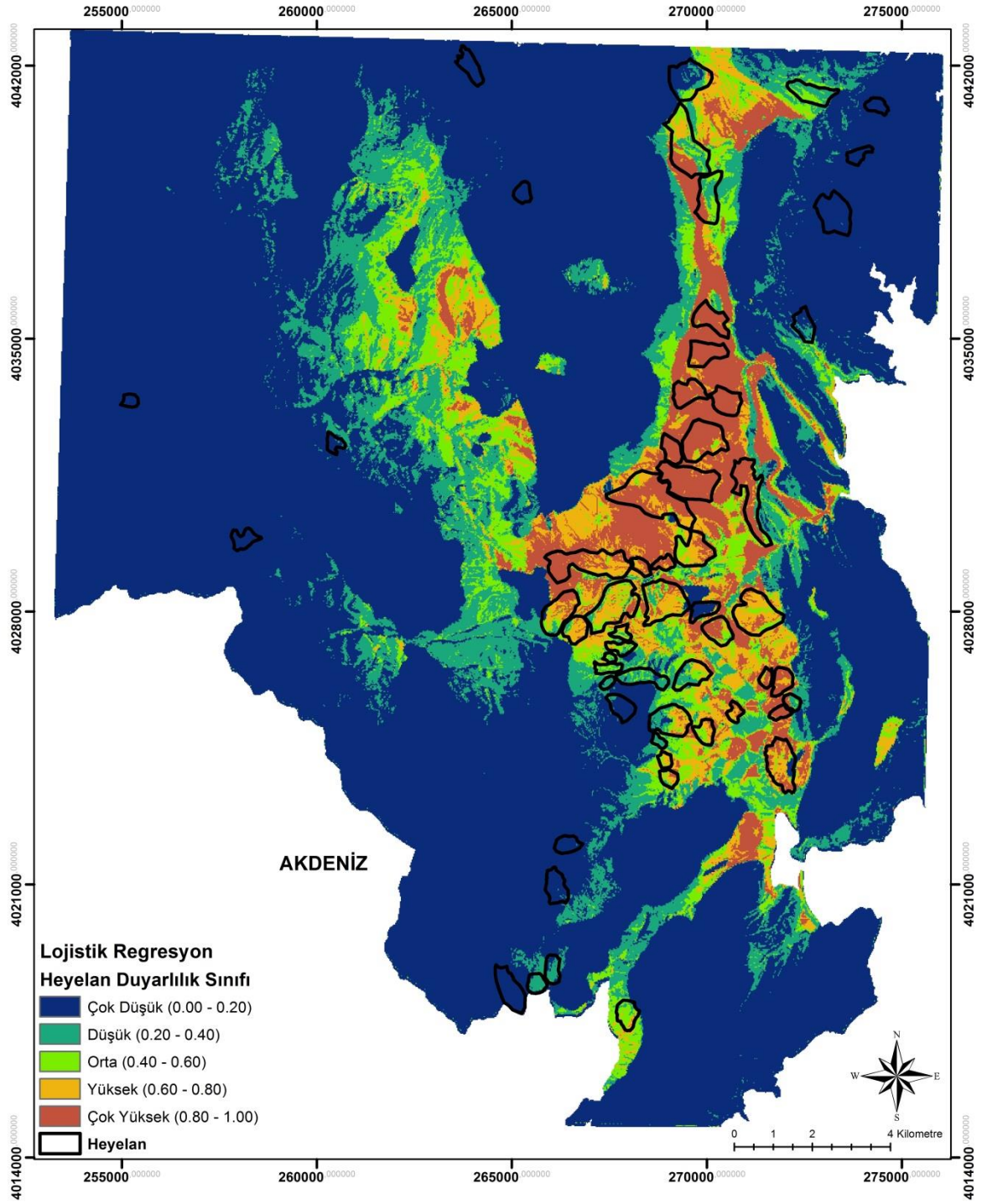
$$P' = L_n(1/(1 - P)) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad \text{Eşitlik 4.3. [103]}$$

Tez çalışması kapsamında LR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritalaması IDRISI Selva programında üretilmiştir. Bağımsız değişken olan 11 parametre haritası ile heyelan envanter haritası LR yöntemi ile ilişkilendirilerek, heyelan oluşumdaki etken parametreler tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda parametrelerin katsayıları ve bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki uyum derecesine ait istatistiksel veriler elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen parametre katsayıları ve değerler

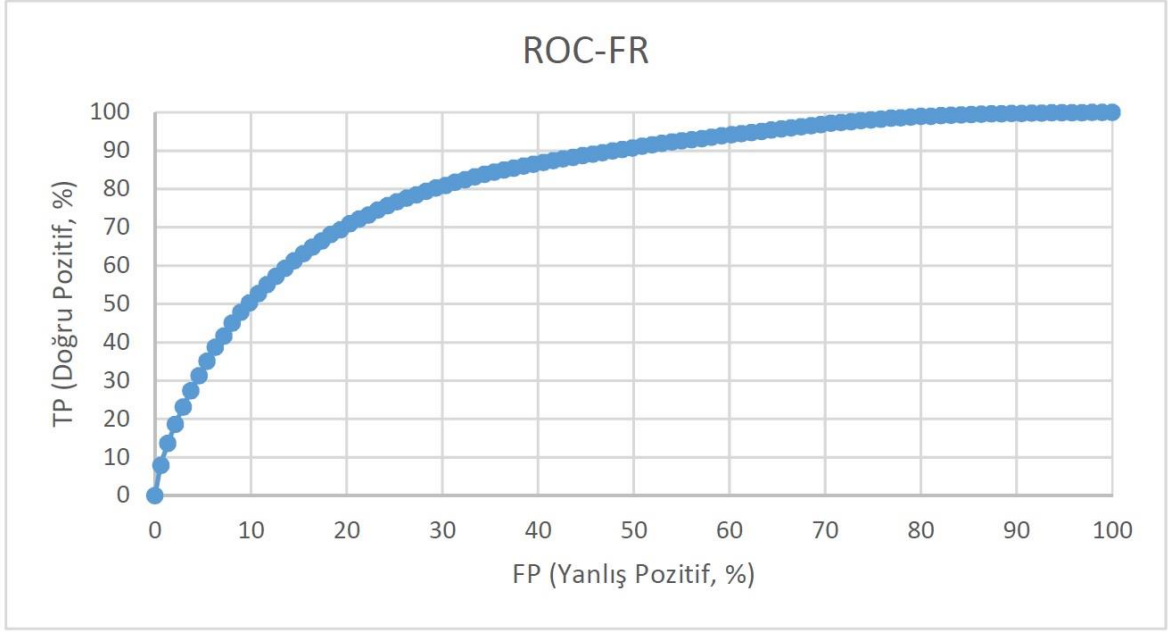
Değişken ve İstatistikler	Değerler
Kesişim	-2.05251368
Baki	-0.00303182
Eğrisellik	0.15433698
Yapısal Unsurlara Uzaklık	-0.00046028
Drenaj Ağına Uzaklık	0.00006935
Litoloji	0.18562455
Eğim	-0.04913964
Akış Gücü İndeksi	-0.57526525
Sediman Taşıma Kapasite İndeksi	1.30437369
Topoğrafik Yükseklik	-0.00161097
Nemlilik İndeksi	-0.00874735
Yollara Uzaklık	-0.00025803
-2Log(L0)	29784.7915
-2Log(L)	23311.0467
Yapay R <sup>2</sup>	0.2174
Uyum İyiliği	88230.8067
X <sup>2</sup> (11)	6473.7448

Çizelge 4.2' deki değerlerden,  $-2\text{Log}(L0)$ ,  $L(0)$  değerinin olasılık fonksiyonundaki tüm değişkenlerin kesişim hariç 0 olduğu değeri açıklamaktayken,  $-2\text{Log}(L)$ , olasılık fonksiyonunun tüm model ile uyumluluk gösterdiği değere karşılık gelmektedir. Yapay R<sup>2</sup> değeri ise, modelin mükemmel uyumluluğu için 1 değerini almaktayken, 0.2 değerinden büyük olan değerler, istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir. Bu durumda, Çizelge 4.2' deki sonuçlar dikkate alındığında, modelin uyum iyiliğinin, kabul edilir ölçüde ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, dikkate alınan 11 adet parametreye ilişkin katsayılar da değerlendirildiğinde, pozitif değere sahip eğrisellik, drenaj ağına uzaklık, litoloji ve sediman taşıma kapasitesi indeksi parametrelerinin, bölgedeki heyelan oluşumlarının modellenmesinde daha etkin bir ağırlığa sahip olduğu, bunların içinde de en etkin parametrenin, sediman taşıma kapasitesi indeksi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlarla ve lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan heyelan duyarlılık haritası, çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlılık olarak 5 sınıfa ayrılmış ve Şekil 4.2' de sunulmuştur.

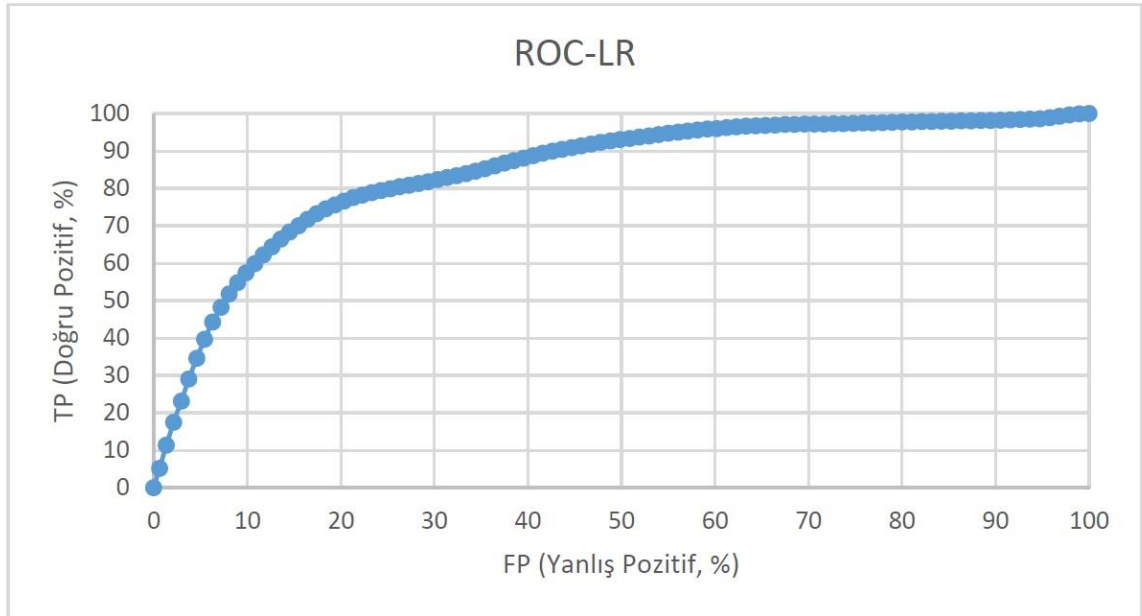


Şekil 4.2. Lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

**Üretilen haritaların performansının değerlendirilmesinde**, literatürde farklı yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesinin ve sayısal olarak ortaya koyulması gerekliliği de vurgulanmaktadır. Bunun için de çoğunlukla, istatistiksel yöntemlere başvurulmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında; Frekans Oranı ve Lojistik Regresyon yöntemleri ile üretilen duyarlılık haritalarının performanslarının incelenmesinde, ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. True Pozitif ve False Pozitif değerlerine göre çizilen ROC eğrisi ile eğrinin altında kalan AUC (Area Under Curve) değeri hesaplanarak duyarlılık haritalarının doğruluğu değerlendirilmiştir. AUC değerinin 1 olması, duyarlılık haritalarının mükemmel uyumluluğunu gösterirken, 0.5 değeri ve daha düşük değerler, oluşturulan modelin anlamsız olduğunu ifade etmektedir. Heyelan duyarlılık analizine dahil edilmeyen 188383 (9832 heyelanlı piksel, 178551 heyelansız piksel) örneklem noktaları analiz edilerek duyarlılık haritalarının performansı değerlendirilmiştir. Analiz sonucu FR ve LR yöntemleri ile üretilen duyarlılık haritalarının doğruluğu sırasıyla; 0.846 ve 0.827 olarak tespit edilmiştir. Her iki yöntem için çizilen ROC eğrileri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' te sunulmuştur.



Şekil 4.3. FR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının performansı



Şekil 4.4. LR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının performansı

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Antalya ilinde yer alan turistik yerleşim bölgelerinden biri olan Adrasan ve çevresinde yaklaşık 650 km<sup>2</sup>'lik alanda heyelan duyarlılık haritalaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında HGK (Harita Genel Komutanlığı) tarafından hazırlanmış 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ve saha çalışmaları ile birlikte toplam 58 adet heyelan yeri tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanların oluşumunda etkili olduğu düşünülen eğim, bakı, topoğrafik yükseklik, eğrisellik, nemlilik indeksi, yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık, sediman taşıma kapasite indeksi, akış gücü indeksi, drenaj ağına uzaklık ve litoloji parametreleri incelenerek, heyelan oluşumları ile olan ilişkileri ortaya konulmuştur. Bu ilişkilerin değerlendirilmesi için tez çalışması kapsamında Frekans Oranı ve Lojistik Regresyon olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır.

Frekans Oranı yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası sonucunda; eğim 10-15 m arasında, bakı değerleri doğuya bakan yamaçlarda, eğrisellik değerleri 0-0.5 arasında, yapısal unsurlara uzaklık 800-900 m arasındaki uzaklık değerlerinde, drenaj ağına uzaklık 0-100 m arasında, sediman taşıma kapasite indeksi 0.5-1 arasındaki sınıfta, akış gücü indeksi 3-4 arasında, yükseklik değerleri 100-200 m arasında, nemlilik indeksi 12-15 değerleri arasında, yollara uzaklık 300-400 m arasındaki değerlerde ve yamaç molozu birimindeki sınıfta heyelan oluşumunun yoğun olduğu gözlemlenmiştir. FR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının değerlendirmesinde alansal dağılım sonucunda moloz biriminde heyelan oluşumu yoğun görünmesine rağmen, heyelan envanter haritası ile duyarlılık haritası karşılaştırıldığında, esas duyarlı birimin Alakırçayı grubu olduğu gözlemlenmektedir. Lojistik Regresyon yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık analizi sonucu elde edilen istatistiksel değerlere göre, heyelan oluşumunda litoloji parametresinin, diğer parametrelere oranla daha etkin olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesinde, her iki yöntem için ROC eğrileri TP ve FP değerleri ile çizilerek, eğri altında kalan AUC değerler hesaplanmıştır. FR ve LR yöntemlerini AUC değerleri sırasıyla; 0.846 ve 0.827 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen AUC değerlerine göre FR yöntemi ile oluşturulan duyarlılık haritasının, LR yöntemi ile oluşturulan duyarlılık haritasına göre daha iyi performansa sahip



olduğu tespit edilmekle birlikte, söz konusu değerlerin birbirine çok yakın olduğu da göz ardı edilmemelidir. Diğer bir deyişle, söz konusu heyelan duyarlılık haritalarının, performans açısından birbirlerine önemli oranda bir üstünlüğü yoktur. Bu şekilde üretilecek haritaların gerçek performansları, bölgede ileride meydana gelmesi olası heyelanların yüksek/çok yüksek gibi duyarlılık sınıfları içinde yer almasıyla daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilebilecektir. Her iki yöntemle oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının arazi gözlemleri ile parametrik açıdan uyumlu olması, ileride yapılması planlanan heyelan tehlike ve risk değerlendirmeleri ile arazi planlamaları için kullanılabilir olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Vos, F., Rodriguez, J., Below, R., Guha-Sapir, D., *Annual Disaster Statistical Review 2009: The Numbers and Trends*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium, **2010**.
- [2] Sunkar M., Avcı V., Şepker Çayı Aşağı Havzası'nın (Adıyaman Batısı) Heyelan Duyarlılık Analizi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* Cilt: 26, Sayı: 2, Sayfa: 13-43, Elazığ, **2016**.
- [3] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, **2010**, (<https://www.mgm.gov.tr>).
- [4] *Antalya İl Çevre Durum Raporu*, Antalya Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, **2011**.
- [5] Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, R., Ünverdi, M., Gözler, M., Z., Teke Toroslari Güneydoğusunun Jeolojisi, **1981**, [dergipark.gov.tr/download/article-file/111224](http://dergipark.gov.tr/download/article-file/111224)
- [6] Lee, S., Sambath, T., Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50, 847-855, **2006**.
- [7] Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., Landslide susceptibility mapping for a landslide prone-area (Fındıklı, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, *Environmental Geology*, 54,1127–1143, **2008**.
- [8] Yılmaz, I., Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey) *Computers & Geosciences*, Volume 35, Issue 6, 1125-1138, **2009**.

- [9] Yılmaz, I., A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by Artificial Neural Networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (3), 297-306, **2009**.
- [10] Akıncı H., Doğan S., Kılıçoğlu C., Keçeci S.B., Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt:2, No:3, 13-27, **2010**.
- [11] Bai, S., B., Wang, J., Lü, G.-N., Zhou, P.-G., Hou, S.-S., Xu, S.-N., GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 115, 23-31, **2010**.
- [12] Pradhan, B., Lee, S., Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling, *Environmental Modelling & Software*, 25, 747-759, **2010**.
- [13] Ercanoğlu. M., Temiz F.A., Application of regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey), *Environmental Earth Science*, 64, 949-969, **2011**.
- [14] Marjanovic, M., Kovacevic, M., Bajat, B., Vozenilek, V., Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, *Engineering Geology*, 123, 225-234, **2011**.
- [15] Pradhan, B., Manifestation of an advanced fuzzy logic model coupled with Geo-information techniques to landslide susceptibility mapping and their comparison with logistic regression modelling, *Environmental Ecology Statistics*, 18:471–493, **2011**.
- [16] Yalcın, A., Reis, S., Aydinoglu, A., C., Yomralioglu, T., A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, *Catena*, 85, 274-287, **2011**.

- [17] Choi, J., Oh, H.-J., Lee, H.-J., Lee, C., Lee, S., Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS, *Engineering Geology*, 124,12-23, **2012**.
- [18] Eker M.A., Dikmen M., Cambazoğlu S., Düzgün Ş.H.S.B., Akgün H., Bartın, Ulus ilçesi için yapay sinir ağı ve lojistik regresyon yöntemlerinin heyelan duyarlılık çalışmasına uygulanması ve karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi*, Cilt:27, No:1, 163-173, **2012**.
- [19] Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models, *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236, **2012**.
- [20] Ozdemir, A., Altural, T., A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 64,180-197, **2013**.
- [21] Wang, L.-L., Sawada, K., Moriguchi, S., Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy, *Computers & Geosciences*, 57, 81-92, **2013**.
- [22] Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.-J., Lee, H.J., A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping, *Catena*, 114, 21-36, **2014**.
- [23] Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B., Hashima, M., Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, *Catena*, 115, 55-70, **2014**.
- [24] Talaei, R., Landslide Susceptibility Zonation Mapping Using Logistic Regression and its Validation in Hashtchin Region, Northwest of Iran,

*Journal Geological Society of India*, Vol.84, pp.68-86, July **2014**.

- [25] Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M., N., Tehrany, S., M., Earthquake induced landslide susceptibility mapping using in integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models West Sumatera Province, Indonesia, *Catena*, 118, 124 -135, **2014**.
- [26] Bai, S.-B., Lu, P., Wang, J., Landslide susceptibility assessment of the youfang catchment using logistic regression, *Journal of Mountain Science*, 12(4): 816-827 DOI: 10.1007/s11629-014-3171-5, **2015**.
- [27] Conoscenti, C., Ciaccio, M., Caraballo- Arias, A., N., Gomez-Gutierrez, A., Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: Acase of the Belice River basin (western Sicily, Italy), *Geomorphology*, 242, 49-64, **2015**.
- [28] Meten, M., Bhandary, N. P., & Yatabe, R., GIS-based frequency ratio and logistic regression modeling for landslide susceptibility mapping of Debre Sina area in central Ethiopia, **2015**.
- [29] Trigila, A., Iadanza, C., Esposito, C., Scarascia- Mugnozza, G., Comparison of logistic regression and random forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy), *Geomorphology*, 249, 119-136, **2015**.
- [30] Youssef, A., M., Al-Kathery, M., Pradhan, B., Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher Area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy model, *Geosciences Journal*, Vol. 19, No. 1, p. 113-134, DOI 10.1007/s12303-014-0032-8, March **2015**.
- [31] Patriche, C., V., Pirnau, R., Grozavu, R., Rosca, B., A Comparative Analysis of Binary Logistic Regression and Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Assessment in the Dobrovăț River Basin, Romania, *Pedosphere*, 26(3): 335–350, doi:10.1016/S1002-0160(15)60047-9 ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P, **2016**.

- [32] Tsangaratos, P., Iliu, I., Comparison of a logistic regression and Naive Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: The influence of models complexity and training dataset size, *Catena*, 145, 164-179, **2016**.
- [33] Zhang, Z., Yang, F., Chen, H., Wu, Y., Li, T., Li, W., Wang, Q., Liu, P., GIS-based landslide susceptibility analysis using frequency ratio and evidential belief function models, *Environmental Earth Sciences*, 75:948 DOI 10.1007/s12665-016-5732-0, **2016**.
- [34] Li, L., Lan, H., Guo, C., Zhang, Y., Li, Q., Wu, Y., A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment, *Landslides*, 14:727–741 DOI 10.1007/s10346-016-0771-x, **2017**.
- [35] Sahana, M., Sajjad, H., Evaluating effectiveness of frequency ratio, fuzzy logic and logistic regression models in assessing landslide susceptibility: a case from Rudraprayag district, India, *Journal of Mountain Science*, 14(11): 2150-2167, **2017**, <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4404-1>
- [36] Nicu, I., C., Frequency ratio and GIS-based evaluation of landslide susceptibility applied to cultural heritage assessment, *Journal of Cultural Heritage*, 28, 172–176, **2017**.
- [37] Henasinghe, H., Rangali, R., S., S., Deshapriya, N., L., Samarakoon, L., Landslide susceptibility mapping using logistic regression model (a case study in Badulla District, Sri Lanka), *Procedia Engineering*, 212, 1046–1053, **2018**.
- [38] Mandal, S., P., Chakrabarty, A., Maity, P., Comparative evaluation of information value and frequency ratio in landslide susceptibility analysis along national highways of Sikkim Himalaya, **2018**, <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0160-0>
- [39] Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B., D., Mihir, M., Guzzetti, F., A review of statistically-based landslide susceptibility models, *Earth-Science Reviews*, 180, 60–91, **2018**.

- [40] Şahin, E., K., Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması, *Harita Dergisi, Sayı 159*, Ocak **2018**.
- [41] Brabb, E., The World landslide problem, *Epidos*, 14(i):52-61, **1991**.
- [42] Alkeveli, T. And Ercanoğlu, M., Assessment of Aster satellite images in landslide inventory mapping: Yenice- Gökçebey(Western Black Sea Region, Turkey) *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 607-617, **2011**.
- [43] Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Comparing landslide inventory maps, *Geomorphology*, 94, 268-289, **2008**.
- [44] Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A., Comparing landslide maps: a case study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, *Environmental Management*, 25, 247-263, **2000**.
- [45] Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang K.T., Landslide Inventory maps: new tools for and problem, *Earth Science Reviews*, 112,42-66, **2012**.
- [46] Booth, A.M., Roering, J.J., Perron, J.T., Automated landslide mapping using spectral analysis and high-resolution topographic data: Puget Sound lowlands, Washington, and Portland Hills, Oregon. *Geomorphology*, Volume 109, Issues 3–4, 132-147, **2009**.
- [47] Marcelino, E.V., Formaggio, A.R., Maeda, E.E., Landslide inventory using image fusion techniques in Brazil, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 11, Issue 3, 181-191, **2009**.
- [48] Nichol, J.E., Shaker, A., Wong, M.-S., Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment, *Geomorphology*, Volume 76, Issues 1–2, 5, 68–75, **2006**.

- [49] Metternicht, G., Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments, *Remote Sensing of Environment*, Volume 98, Issues 2-3, 284-303, **2005**.
- [50] Soeters, R. and Van Westen C. J., Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), Landslides, investigation and mitigation, Transportation Research Board, *National Research Council*, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., pp 129-177, **1996**.
- [51] Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview, *Engineering Geology*, 102: 112-132, **2008**.
- [52] Weirich, F., Blesius, L., Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps, *Geomorphology*, 87, 352-364, **2007**.
- [53] Lee, S., ve Min, K., Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, *Environmental Geology*, 40, 1095-1113, **2001**.
- [54] Varnes, D.J., Slope movement types and processes. In: Turner A. K. Shuster R. L. & Krizek R. J. Ed., Landslides, analysis and control, Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, *National Academt of Sciences*, 11-33, **1978**.
- [55] Anbalagan, R., Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain, *Engineering Geology*, 32, 269-277, **1992**.
- [56] Pachauri, A.K., Gupta, P.V. ve Chander, R., Landslide Zoning in a Part of the Garhwal Himalayas, *Environmental Geology*, 36, 325-334, **1998**.
- [57] Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method, *Geomorphology*, 48, 349-364, **2002**..



- [58] Saha, A.K., Gupta, R.P. ve Arora, M.K., GIS-Based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi(Ganga) Valey, Himalayas, *International Journal Remote Sensing*, 23,2, 357-369, **2002**.
- [59] Çevik, E. ve Topal, T., GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), *Environmental Geology*, 44, 949-962, **2003**.
- [60] Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. ve Van Asch, TH. W. J., Landslide Susceptibility Zoning North ofYenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, *Natural Hazard*, 32, 1-23, **2004**.
- [61] Lee, S., Choi, J. ve Min, K., Probabilistic Landslide Hazard Mapping Using GIS and Remote Sensing Data at Boun, Korea, *International Journal Remote Sensing*, 25, 11, 2037-2052, **2004**.
- [62] Lee, S., Ryu, J., Won, J. ve Park, H., Determination and Application of the Weight for LandslideSusceptibility Mapping Using an Artificial Neural Network, *Engineering Geology*, 71, 289-302, **2004**.
- [63] Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., Landslide susceptibility mapping using gisbased weighted linear combination, The case in Tsugawa area of Agano River, Niigate prefecture, Japan, *Landslides*, 1, 73-81, **2004**.
- [64] Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D., Marturia, J., A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility maping in La Pobla de Lillet area(Eastern Pyrenees, Spain), *Natural Hazards*, 30, 281-295, **2003**.
- [65] Ohlmacher, G.C., Davis, J.C., Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA, *Engineering Geology*, 69, 331-343, **2003**.
- [66] Lee, S., Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (7), 1477-1491, **2005**.

- [67] Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, *Engineering Geology*, 102, 85-98, **2008**.
- [68] Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazards, *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 16, Issue 5, 427–445, **1991**.
- [69] Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J. ve Xu, Z.W., Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, 43, 3, 381-391, **2001**.
- [70] Yalçın, A., GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, Volume 72, Issue 1, 1–12, **2008**.
- [71] Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques, *Engineering Geology*, 44, 147-161, **1996**.
- [72] Yalçın, A., Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 22, Sayı 3, Sayfa 1-14, **2007**.
- [73] Luzi, L. ve Pergalani, F., Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The "Oltre Po Pavese" Case History (Region Lombardia-Italy), *Natural Hazards*, 20, 57-82, **1999**.
- [74] Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., Heyelan Duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, Yerbilimleri, 23, 189-206, **2001**.
- [75] Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M.V.,

- Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 58, 275-287, **2000**.
- [76] Mejia-Navarro, M., Wohl, E.E., 1994. Geological hazard and risk evaluation using GIS: Methodology and model applied to modellin, Colombia. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 31 (4), 459-481.
- [77] Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R., Montero, J.C., Verification of landslide susceptibility mapping: A case study, *Earth Surface Process and Landforms*, 24, 537-544, **1999**.
- [78] Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowich, J., Deffontaines, B., Parrot, J.F., Cartographie automatique de zones a aleas de mouvement de terrain sur l'île de Tahiti a partir de donnees digitales, *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 164 (4), 577-583, **1993**.
- [79] Choubey, V.D., Chaudhari, S., Litoria, P.K., Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri Districts P. Himalaya, India. *Proceeding 6th International Symposium on Landslides*, Christchurch, 911-917, **1992**.
- [80] Choubey, V.D., and Litoria, P.K., Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, A terrain evaluation approach, *Proceedings of 6th International Association of Engineering Geology Congress*, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 65-72, 6-10 August **1990**.
- [81] Reisa, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekercin S., CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği, <http://www.tufuab.org.tr/images/dergi/makaleler/9b1c93a6864c39e.pdf>
- [82] Wang, W. D., Xie, C. M., Du, X. G., Landslides susceptibility mapping based on geographical information system, GuiZhou, south-west China. *Environmental Geology*, 58, 33-43, **2009**.

- [83] Ruff, M., Czurda, K., Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria), *Geomorphology*, 94, 314-324, **2008**.
- [84] Lee, S., Dan, N. T., Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides, *Environmental Geology*, 48, 778-787, **2005**.
- [85] Fernandez, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R., And Chacón, J., Methodology for Landslide Susceptibility Mapping by Means of a GIS, Application to the Contraviesa Area (Granada, Spain), *Natural Hazards*, 30, 297-308, **2003**.
- [86] Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey), *Engineering Geology*, 75, 229-250, **2004**.
- [87] Duman, T.Y., Can, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioglu, H. A., Landslide susceptibility mapping of Cekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, 155-208, **2005**.
- [88] Sunkar, M., Vedar, A., Şeker Çayı Aşağı Havzası'nın (Adıyaman Batısı) Heyelan Duyarlılık Analizi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 26, Sayı 2, Sayfa 13-43, Elazığ-**2016**.
- [89] Erener, A., Düzgün, H.S.B., Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), *Landslides*, Volume 7, Number 1, 55-68, **2010**.
- [90] Moore, I.D. and Wilson, J.P., Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation, *Journal of Soil and Water Conservation*, 47, 423-428, **1992**.
- [91] Wilson, J.P. and Gallant, J.C., *Terrain analysis principles and applications*. John Wiley and Sons, Inc., Canada, 479p, **2000**.

- [92] Moore, I.D. and Burch, G.J., Physical Basis of the Length Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America*, 50, 1294-1298, **1986**.
- [93] Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., "Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications", *Hydrological Processes*, 5(1), 3-30, **1991**.
- [94] Jadda, M., Shafri, H.Z.M., Mansor, S.B., Sharifikia, M., Pirasteh, S., Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model, *European Journal of Scientific Research*, Volume 33, Number 4, 654-668, **2009**.
- [95] Chung, C. F., Fabbri, A. G., Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 65, No. 12, 1389–1399, **1999**.
- [96] Dai F.C., Lee C.F., Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42:213-228, **2002**.
- [97] Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M., Ardizzone F., Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines, *Geomorphology*, 72:272–299, **2005**.
- [98] Yesilnacara E., Topal T., Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey), *Engineering Geology*, 79:251–266, **2005**.
- [99] Ayalew L., Yamagishi H., The application of GIS-based logistic regression for susceptibility mapping in the KakudaYahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, 65(1-2):15-31, **2005**.
- [100] Zhu L., Huang J., GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale, *Journal of Zhejiang University Science A*, 7 (12 ):2007-2017, **2006**.

- [101] Kavzaoğlu, T., ölkesen, İ., Şahin, E. K., Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesinde Kullanılan Faktörlerin Etkilerinin Araştırılması : Düzköy Örneği, **2012**, <https://www.researchgate.net/publication/307545491>
- [102] Erener, A., Lacasse, S., Heyelan duyarlılık haritalamasında cbs kullanımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, KTÜ, Trabzon, 30 Ekim –02 Kasım **2007**.
- [103] AFAD, *Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuz* T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, **2015**, [https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz\\_tr.pdf](https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz_tr.pdf)

# ÖZGEÇMİŞ

## Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Gizem Baştuğ

Doğum Yeri: Antalya

Medeni Hali: Bekar

E-porta: gizembastug07@gmail.com

Adresi: Barış Mah. Enver Adakan Cad. Peyami Safa Sk. Semerkand Line St. K/46  
Beylikdüzü / İSTANBUL

## Eğitim

Lise: Saime Salih Konca Lisesi

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce (Orta)

## İş Deneyimi

(Şubat 2017- ) Yerel Yönetimler Proje Uzmanı – Netcad Yazılım A.Ş

(Mart 2016 – Şubat 2017) İnfotech Bilişim ve İletişim A.Ş – CBS uzmanı

(Ağustos – Kasım 2014) Jags Innovative Product – Saha mühendisi

## Deneyim Alanları

CBS, MAKS, Heyelan Duyarlılık

## Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

## Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

## Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ .ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞ'NA

Tarih: 19/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: Adrasan ve Olimpos (Antalya) Bölgelerinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 73 sayfalık kısmına ilişkin, 19/06/2018/ tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'm inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

19.06.2018  
Tarih ve İmza

**Adı Soyadı:** Gizem Baştuğ  
**Öğrenci No:** N13124040  
**Anabilim Dalı:** Jeoloji Mühendisliği  
**Programı:** Jeoloji Mühendisliği  
**Statüsü:**  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Harun Sönmez

(Unvan, Ad Soyad, İmza)





HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING  
THESIS/DISSERTATION ORIGINALITY REPORT

HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING  
TO THE DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING DEPARTMENT

Date: 19/06/2018

Thesis Title / Topic: Preperation of Landslide Susceptibility Map of Adrasan And Olimpos (Antalya)

According to the originality report obtained by ~~myself~~/my thesis advisor by using the *Turnitin* plagiarism detection software and by applying the filtering options stated below, on 19/06/2018 for the total of 73 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 3 %.

Filtering options applied:

1. Bibliography/Works Cited excluded
2. Quotes excluded / ~~included~~
3. Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Sciene and Engineering Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

19.06.2018  
Date and Signature

Name Surname: Gizem Baştuğ  
Student No: N13124040  
Department: Geological Engineering  
Program: Geological engineering  
Status:  Masters  Ph.D.  Integrated Ph.D.

**ADVISOR APPROVAL**

APPROVED.

Name Surname: Gizem Baştuğ

Prof. Dr. Harun Sönmez

(Title, Name Surname, Signature)