

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YALOVA ÇINARCIK BÖLGESİNİN MANTIKSAL REGRESYON,
FREKANS ORANI VE UYGUNLUK MODELİ İLE HEYELAN
DUYARLILIK ANALİZİ**

ZELİHA TAŞ

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YALOVA ÇINARCIK BÖLGESİNİN MANTIKSAL REGRESYON,
FREKANS ORANI VE UYGUNLUK MODELİ İLE HEYELAN
DUYARLILIK ANALİZİ**

ZELİHA TAŞ

Doç. Dr. Özkan CORUK
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.06.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

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

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddî/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgilertarafından no'lu proje kapsamında maddî/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
(İmza)

Zeliha TAŞ

YAYINLAMA VE MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

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

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
(İmza)

Zeliha TAŞ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bir kadın olarak bu coğrafyada değerimizin farkına varmamızı sağlayan ebedi liderimiz Gazi Mustafa Kemal Atatürk'e ve tez sürecim boyunca desteğini, sabrını esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma minnettarım.

Danışmanım Doç. Dr. Özkan CORUK'a, yardımları için Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ'a, Dr. Aziz ÖZYAVAŞ'a, Dr. Ercan SANGU'ya ve Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL'e, Çınarcık Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'ne, AFAD Yalova Müdürlüğü'ne ve bölge hakkındaki raporları ile çalışmama destek olan CNG Mühendislik'e teşekkür ederim.

Temmuz - 2023

Zeliha TAŞ



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYINLAMA VE MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Düşme	2
1.2.Devrilme.....	2
1.3.Kayma	4
1.3.1.Dairesel (Rotasyonel) Kayma	4
1.3.2.Düzlemsel Kayma	5
1.4.Yanal Yayılma	6
1.5.Akma	6
1.6.Karışık	8
1.7.Kütle Hareketlerinin Ülkemizdeki Doğal Afetler Açısından Değerlendirilmesi.....	9
2.GENEL BİLGİLER.....	12
2.1.İncelemenin Amacı	12
2.2.İnceleme Alanının Tanıtılması.....	12
2.3. Arazi Çalışmaları	13
2.4.Laboratuvar Çalışmaları.....	14
2.6.Jeomorfoloji	16
2.7.Bölgesel Jeoloji	16
2.7.1.Pamukova Metamorfitleri (Pm)	17
2.7.2.İznik Metamorfitleri	17
2.7.3.Bakacak Formasyonu (Kb)	17
2.7.4.İncebel Formasyonu (Ti).....	18
2.7.5.Sarısu Volkanitleri (Ts).....	18
2.7.6.Yalakdere (Arslanbey) Formasyonu (Ta)	18
2.7.7.Karasu Kireçtaşı Üyesi (Tyk).....	19
2.7.8.Kuvaterner Çökeller	19
2.8.Bölgenin Tektonik Yapısı	20
2.9.İnceleme Alanının Depremselliği	22
2.10.İklim	23
3.ÖNCEKİ HEYELAN DUYARLILIK ÇALIŞMALARI	25
4.MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
4.1.Mantıksal Regresyon.....	41
4.2.Frekans Oranı	44
4.3.Uygunluk Modeli	45
4.4.Parametrelerin Belirlenmesi.....	45
4.4.1.Jeoloji	46
4.4.2.Yağış	47

4.4.3.Eğim	51
4.4.4.Arazi Kullanımı.....	52
4.4.5.Sayısal Yükseklik Modeli	53
4.4.6.Bakı	53
4.4.7.Faya Uzaklık	54
4.4.8.Yollara Uzaklık	55
5.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	58
5.1.Mantıksal Regresyon ile Heyelan Duyarlılık Haritası	59
5.2.Frekans Oranı ile Heyelan Duyarlılık Haritası.....	61
5.3.Uygunluk Modeli ile Heyelan Duyarlılık Haritası.....	64
6.SONUÇ.....	68
KAYNAKLAR.....	69
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Düşme kütle hareketinin düşme mekanizması.....	2
Şekil 1.2.	Şekil 1.2. Ülkemizde meydana gelen kaya düşmesi örnekleri: a. Arhavi-Hopa Yolu, b. Artvin-Şavşat Yolu.....	2
Şekil 1.3.	Devrilme hareketinin şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.4.	Devrilme türleri.....	3
Şekil 1.5.	Devrilme türü kütle hareketleri.....	4
Şekil 1.6.	a) Dairesel kayma, b) Düzlemsel Kayma.....	4
Şekil 1.7.	Yalova-Çınarcık'ta 2019 yılında meydana gelen daireysel kayma tipi heyelan.....	5
Şekil 1.8.	Dairesel kayma hareketinin şematik gösterimi.....	5
Şekil 1.9.	Yanal yayılma hareketinin şematik gösterimi.....	6
Şekil 1.10.	6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri sonrası Hatay-Altınözü ilçesinde meydana gelen yanal yayılma örneği.....	6
Şekil 1.11.	Lemieux heyelanı-Kanada, Ottawa yakınlarındaki hassas deniz kilinde hızlı bir toprak akması.....	7
Şekil 1.12.	Toprak akması şematik gösterimi.....	7
Şekil 1.13.	Moloz akması.....	8
Şekil 1.14.	Yavaş akma (krip).....	8
Şekil 1.15.	Türkiye Heyelan Yoğunluk (Kütle Hareketleri) Haritası.....	9
Şekil 1.16.	Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler.....	10
Şekil 1.17.	Heyelan duyarlılık analizleri ve uygulanmasının aşamaları.....	11
Şekil 2.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	12
Şekil 2.2.	İnceleme alanı ve çevresinin Google Earth Görüntüsü.....	13
Şekil 2.3.	İnceleme alanından arazi fotoğrafları.....	13
Şekil 2.4.	Hasanbaba Mevkii'nde yapılan İnklinometre ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren zemin profili.....	15
Şekil 2.5.	İnceleme alanı ve civarının stratigrafisi.....	20
Şekil 2.6.	İnceleme alanı ve çevresinin fay haritası.....	23
Şekil 2.7.	Aletsel dönemde Yalova ili ve çevresinde >4 ile <9 büyüklüğünde meydana gelen depremler.....	23
Şekil 2.8.	Çınarcık ilçesinin yıllık sıcaklık ortalaması.....	24
Şekil 2.9.	İnceleme Alanı ve çevresinin 1931-2021 yılları arasındaki sıcaklık dağılımı.....	24
Şekil 4.1.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Parametreler.....	40
Şekil 4.2.	Analiz Aşamaları.....	41
Şekil 4.3.	İnceleme alanının jeoloji haritası.....	47
Şekil 4.4.	İnceleme alanı ve çevresinin 1931-2021 yılları arasındaki aylık toplam yağış ortalaması.....	48
Şekil 4.5.	İnceleme Alanı ve çevresinin 1931-2021 yılları arasında ortalama güneşlenme süresi dağılımı.....	49
Şekil 4.6.	İnceleme alanı ve çevresinin Potansiyel Buharlaşma-Terleme grafiği.....	50
Şekil 4.7.	İnceleme alanının yağış haritası.....	50
Şekil 4.8.	İnceleme alanının eğim haritası.....	51

Şekil 4.9.	İnceleme alanının arazi kullanımı haritası	52
Şekil 4.10.	İnceleme alanının Sayısal Yükseklik Modeli	53
Şekil 4.11.	CBS ortamında hazırlanan inceleme alanının bakı haritası	53
Şekil 4.12.	MTA Yerbilimleri Portalında inceleme alanı ve çevresindeki faylar	55
Şekil 4.13.	İnceleme alanının faydan uzaklık haritası.....	55
Şekil 4.14.	2006 yılına ait bu görüntüde aktif olan heyelanlı alanlarda yol yapım çalışması öncesi.....	56
Şekil 4.15.	Yol çalışması yapıldıktan sonra inceleme alanının günümüzdeki (2023) görüntüsü	56
Şekil 4.16.	İnceleme alanının yollara yakınlık haritası	57
Şekil 5.1.	Analiz katman haritaları: (a) jeoloji, (b) yağış, (c) eğim, (d) arazi kullanımı, (e) Sayısal Yükseklik Modeli, (f) bakı, (g) yollara uzaklık, (h) faya uzaklık	59
Şekil 5.2.	Mantıksal Regresyon ROC Analiz Sonucu.....	60
Şekil 5.3.	Mantıksal Regresyon Yöntemi ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası	61
Şekil 5.4.	Frekans Oranı ROC Eğrisi Analizi	63
Şekil 5.5.	Frekans Oranı Yöntemi ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası	64
Şekil 5.6.	Uygunluk Modeli Yöntemi sonucuna göre ROC Eğrisi	66
Şekil 5.7.	Uygunluk Modeli ile Heyelan Duyarlılık Haritası.....	66

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Kütle hareketlerinin hareket tipi ve malzeme türüne göre sınıflandırılması	1
Tablo 3.1.	Tez çalışması kapsamında incelenen önceki yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan parametre ve yöntem yoğunluğu	38
Tablo 4.1.	ROC Eğrisi Analizi için Kullanılan Veri Setleri.....	44
Tablo 4.2.	ROC eğrisi sınıflaması	44
Tablo 5.1.	SPSS ile yapılan Mantıksal Regresyon analizi sonuçları	59
Tablo 5.2.	Frekans Oranı Yöntemi Parametre Değerler ve Sonuçları	61
Tablo 5.3.	Uygunluk Modeli Parametre değerleri ve Etki Yüzdeleri	64
Tablo 5.4.	Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli Analizleri için Kullanılan tüm parametreler ve etki ağırlıkları	67



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P	: Analiz sonrası tahmin edilebilirlik
β	: Bağımsız değişken regresyon katsayısı
X	: Bağımlı değişken regresyon katsayısı
$\exp(\beta)$: Odds Oranı
R^2	: Belirsizliğin model tarafından açıklanabilen oranı
Lo	: Sabit terimin yer aldığı modelin en çok olabilirlik değeri
L	: Tüm parametrelerin yer aldığı modelin en çok olabilirlik değeri

Kısaltmalar

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	: Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi
AUC	: Area Under Curve (Eğrinin Altında Kalan Alan)
ANN	: Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	: Consistency Index (Tutarlılık İndeksi)
CR	: Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DVM	: Destek Vektör Makinesi
EM-DAT	: Acil Durum Veritabanı
F-AHP	: Fuzzy-AHP (Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses)
FEA	: Fuzzy Enlarged Analysis (Bulanık Genişletilmiş Analiz)
FGM	: Fuzzy Geometry Medium (Bulanık Geometrik Ortalama)
FR	: Frekans Oranı
FR-AHP	: Frekans Oranı-Analitik Hiyerarşi Proses
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasılası
IOE	: Index of Entropy (Entropi İndeksi)
IVM	: Information Vector Method (Bilgi Değeri Metodu)
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
LR	: Logistic Regression (Lojistik Regresyon)
LFR	: Likelihood Frequency Ratio (Olabilirlik-Frekans Oranı)
LSI	: Landslide Susceptibility Index (Heyelan Duyarlılık İndeksi)
LCLU	: Land Cover/Land Use (Arazi Örtüsü/Kullanımı)
M-AHP	: Modifiye Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi
MT-InSAR	: Multi-temporal Interferometric Synthetic Aperture Radar (Çok Zamanlı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar)
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü)
RES	: Rock Engineering System (Kaya Mühendislik Sistemi)
RMSE	: Root-Mean-Square Deviation (Kök-Ortalama-Kare Sapması)
ROC	: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi)
SDI	: Saturation Degree Index (Doygunluk Derecesi İndeksi)
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
SMDR	: Soil Moisture Distribution and Direction

	(Toprak Nemi Dağılımı ve Yönlendirmesi)
SI	: Statistical Index (İstatiksel İndeks)
SIM	: Statistical Index Method (İstatiksel İndeks Metodu)
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TWI	: Topographic Wetness Index (Topoğrafik Nemlilik İndeksi)
Wf	: Factor of Weight (Ağırlık Faktörü)
Wi	: Statistical Index (İstatiksel İndeks)
WLC	: Weighted Linear Combination (Ağırlıklı Lineer Kombinasyon)



YALOVA-ÇINARCIK BÖLGESİNİN MANTIKSAL REGRESYON, FREKANS ORANI VE UYGUNLUK MODELİ İLE HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

ÖZET

Yamaç duraysızlığı sonucunda meydana gelen heyelan dünya genelinde gerekli önlemler alınmadığında ağır sonuçlara neden olan doğal afetlerden biridir. İnceleme alanı aktif bir heyelan bölgesi olan Yalova'nın Çınarcık bölgesindedir. Yaklaşık 11 km² alan içinde yapılan inceleme sonucunda bölgenin heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için Mantıksal Regresyon (MR), Frekans Oranı (FR) ve Uygunluk Modeli kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere jeoloji, eğim, yağış, arazi kullanımı, sayısal yükseklik modeli, bakı, yollara uzaklık ve faya uzaklık olmak üzere 8 parametre belirlenmiştir. Analiz yöntemleri için belirlenen parametrelerin etki ağırlıkları belirlenmiş ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası elde edilen sonuçlara göre Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında hazırlanmıştır. İnceleme alanındaki veriler %80 analiz ve %20 test verileri şeklinde ayrılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %5,41'i düşük, %10,32'si düşük, %31,22'si orta, %24,98'i yüksek ve %28,05'i çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Analizin doğruluk sonucu ise %78,8'dir. Frekans Oranı için ise inceleme alanının %30,8'i çok düşük, %14,48'i düşük, %4,5'i orta, %24,02'si yüksek ve %26,2'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında olup analizin doğruluk sonucu %64,4'tür. Uygunluk Modeli için ise %4,42'si çok düşük, %20,57'si düşük, %27,9'u orta, %23,42'si yüksek ve %23,67'si çok yüksek ve analizin doğruluk sonucu %69,7'dir.

Bu çalışma ile bölgenin heyelan bakımından duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucuna göre inceleme alanının yaklaşık olarak %50'si yüksek-çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre bu bölgeler için gerekli önlemlerin alınması ve yapılabilecek planlamalarda bu çalışmada elde edilen analizlerin dikkate alınması önerilir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Frekans Oranı, Heyelan Duyarlılık Haritası, Mantıksal Regresyon, Uygunluk Modeli.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF YALOVA-ÇINARCIK REGION WITH LOGISTIC REGRESSION, FREQUENCY RATIO AND SUITABILITY MODEL

ABSTRACT

Landslide, which occurs as a result of slope instability, is one of the natural disasters that cause severe consequences, when necessary, precautions are not taken throughout the world. The study area is in the Çınarcık region of Yalova, which is an active landslide area. Logistic Regression (LR), Frequency Ratio (FR), and Suitability Model were used to create the landslide susceptibility map of the region as a result of the examination carried out in an area of approximately 11 km².

Eight different parameters were determined to be used in landslide susceptibility analysis: geology, slope, precipitation, land use, digital elevation model, aspect, distance to roads, and distance to the fault. The effect weights of the parameters determined for the analysis methods were determined. According to the result values landslide susceptibility map of the study area was prepared in the Geographic Information Systems (GIS) environment. 80% of the data was used for analysis and 20% of the data was used for testing. As a result of the analysis, according to the Logistic Regression method, 5.41% of the study area is low risk, 10.32% low risk, 31.22% moderate, 24.98% high, and 28.05% very high susceptibility class and the ROC result is 78.8%. In the study area, for the Frequency Ratio, 30.8% is very low, 14.48% low, 4.5% medium, 24.02% high, and 26.2% very high landslide susceptibility class and the ROC result is 64.4% and for the Suitability Model, 4.42% is very low, 20.57% is low, 27.9% is medium, 23.42% is high, 23.67% is very high, and the ROC result is 69.7%.

In this study, the susceptibility analysis of the region in terms of landslides was carried out. According to the results of this analysis, approximately 50% of the study area is in the high-very-high susceptibility classes. According to the analysis results obtained, it is recommended to take the necessary precautions for these regions, and in the planning that can be made consider the analysis results in this study.

Keywords: GIS, Frequency Ratio, Landslide Susceptibility Mapping, Logistic Regression, Suitability Model.

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun giderek artması kütle hareketi gibi doğal afet bakımından riskli olan bölgelerde yapılaşmanın önünü açmaktadır. Bu yapılaşmanın sonuçlarının ağır olmasının önlenmesi için riskli alanlardaki yamaç duyarlılığı çalışmalarının titizlikle yürütülmesi ve her bölge için bu açıdan bir heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Kütle hareketi, hiçbir taşıyıcı (rüzgâr, su, buzul) olmaksızın yeryüzünün yüzey veya yüzeye yakın bölümünün aşağıya (yer çekimi merkezine) doğru hareket etmesi, şekil ve yer değiştirmesi şeklinde tanımlanabilir. Kütle hareketlerinin meydana gelmesinde etkili olan faktörler bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Varnes (1978) çalışmasında kütle hareketlerini ve kütle hareketlerinin meydana geldiği malzeme türlerini beraber değerlendirmiş, kütle hareketi düşme, devrilme, kayma, yayılma, akma ve karışık olmak üzere 6 sınıfa ayırmıştır. (Tablo 1.1).

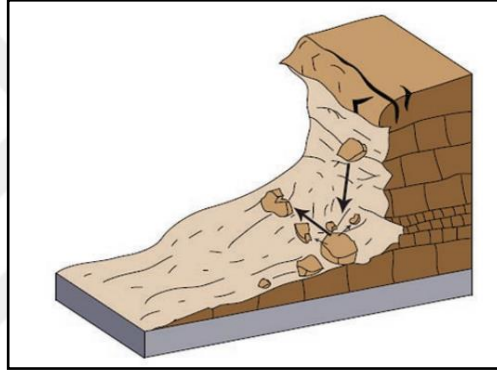
Kütle hareketi türleri içerisinde değerlendirilen heyelan kavramı, kaya, toprak veya moloz niteliğindeki malzemenin yamaç yenilmesi sonucu eğim yönünde aşağı doğru tanımlı bir yüzey üzerinde kayması ve/veya akması olarak tanımlanabilir. Varnes, (1978) yılında yaptığı çalışma kütle hareketlerinin sınıflandırılması için en kapsamlı çalışmadır. Aşağıdaki bölümde Varnes tarafından yapılan kütle hareketi sınıflandırması ve tanımları kısaca verilmiştir.

Tablo 1.1. Kütle hareketlerinin hareket tipi ve malzeme türüne göre sınıflandırılması (Varnes, 1978)

HAREKET TİPİ		MALZEMENİN TİPİ		
		ANA KAYA	ZEMİNLER	
			İri Taneli	İnce taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
Kayma	Düzlemsel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Dairesel			
Yayılma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
Akma		Kaya Akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Akması)
Karışık		İki veya daha fazla hareket türü		

1.1.Düşme

Eğimin derecesinin yok yüksek olduğu yerlerde litolojinin ayrışma durumuna bağlı olarak aşağı doğru, birimin duraylılığını yitirerek, kendi ağırlığı ile kaya düşmesi, moloz düşmesi ve zemin düşmesi şeklindeki hareketidir (Varnes ve Cruden, 1996). Bu hareketler esnasında düşen malzeme düz zemine ulaşmaya kadar devam eder. Malzeme düşme esnasında, bazı zıplama hareketleri yapabilir ya da parçalanarak daha küçük parçalara ayrılabilir (Şekil 1.1). Litoloji ayrılmaları, kırıklar, eklemler ve tabaka düzlemleri gibi süreksizlikler meydana gelir. Düşmeler, dik yamaçlarda birbiriyle tekrarlanan, çatlakların fazlaca olduğu veya zemin/kaya aralanmalarının olduğu ortamlarda daha sık görülür. Şekil 1.2’de ülkemizde meydana gelen kaya düşmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Düşme kütle hareketinin düşme mekanizması (FEMA, 1989)

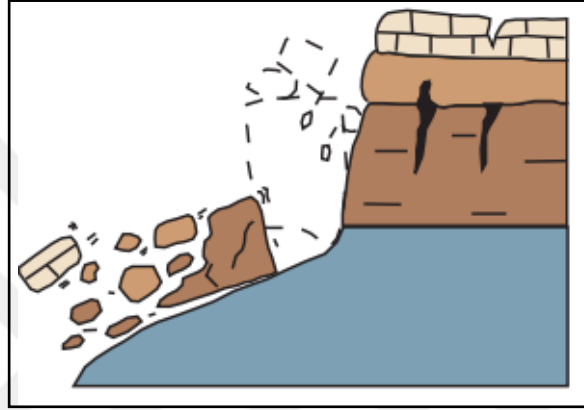


Şekil 1.2. Ülkemizde meydana gelen kaya düşmesi örnekleri: a. Arhavi-Hopa Yolu, b. Artvin-Şavşat Yolu (URL-10)

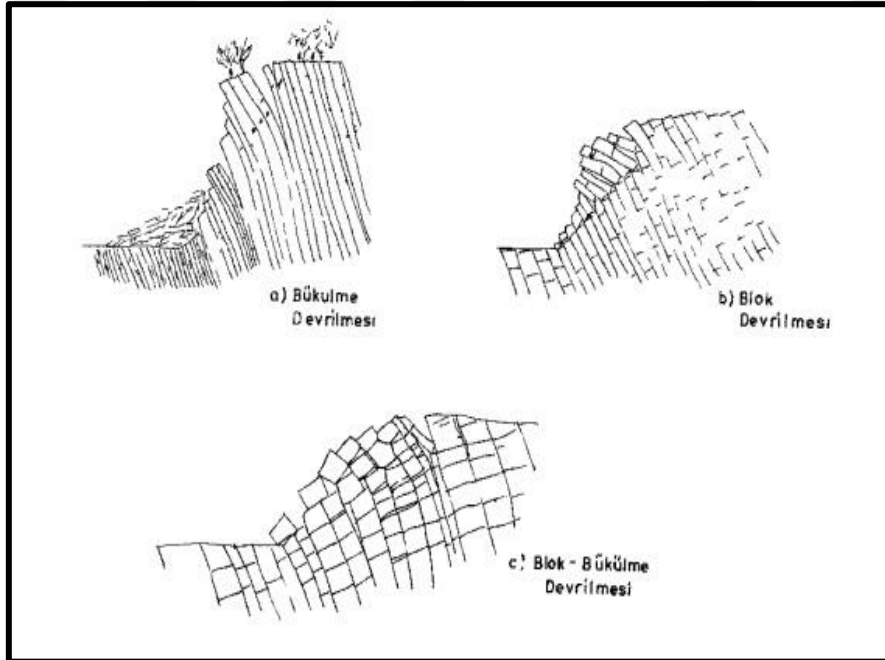
1.2.Devrilme

Eğimin derecesinin yüksek olduğu yerlerde süreksizlerin, çatlaklı kırıklı malzemenin veya kaya kütesinin yoğun olduğu bölgelerde birimin ekseninin değişmesi şeklinde gerçekleşir (Şekil 1.3). Yamaç eğimine göre kaya biriminin eğim yönünde devrilmesi

kaya düşmesi olarak isimlendirilirken, jeolojik birime göre devrilmesi yamaç veya moloz devrilmesi isimlendirilir (URL-10). Goodman ve Bray (1976) çalışmasında devrilme; bükülme, blok devrilmesi ve blok-bükülme devrilmesi olarak üç sınıfa ayrılmıştır (Şekil 1.4). Şekil 1.5’de devrilme türü kütle hareketlerine örnek verilmiştir. Kaya birimlerindeki devrilme hareketi birimde çatlak, tabakalanma ve şistozite gibi faktörlerle meydana gelen kaymadır. Yamaç veya moloz devrilmesi ise birimler arasındaki kohezyon kuvveti, suya doygunluk ve eğim ile ilişkilidir.



Şekil 1.3. Devrilme hareketinin şematik gösterimi (USGS, 2004)



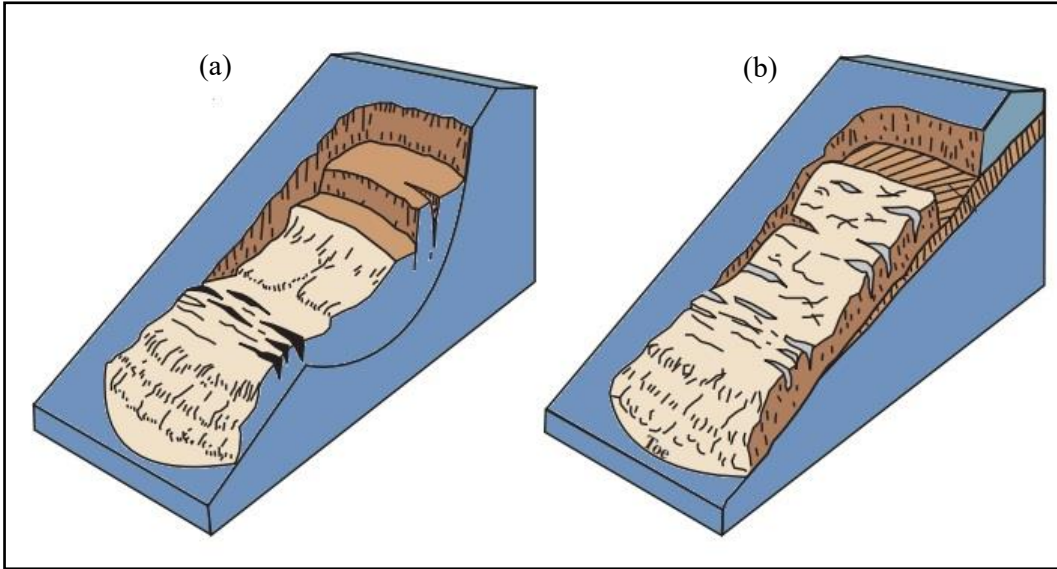
Şekil 1.4. Devrilme türleri (Goodman ve Bray, 1976)



Şekil 1.5. Devrilme türü kütle hareketleri (URL-10)

1.3.Kayma

Kayma tipi kütle hareketi heyelan olarak da adlandırılır. Yamacı oluşturan malzemenin veya kütlenin hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler nedeniyle yamaçtaki gevşek malzemenin eğim yönünde kayma hareketidir (USGS, 2008). Kayma türleri kayma yüzeylerinin şekline göre dairesel kaymalar ve düzlemsel (ötelenmeli) kaymalar olarak sınıflandırılmıştır (Varnes, 1978). Şekil 1.6’da kayma hareketinin şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 1.7’de ise Yalova-Çınarcık’ta meydana rotasyonel kayma türünde heyelan örneği gösterilmiştir.



Şekil 1.6. a) Dairesel kayma, b) Düzlemsel Kayma (USGS, 2004)

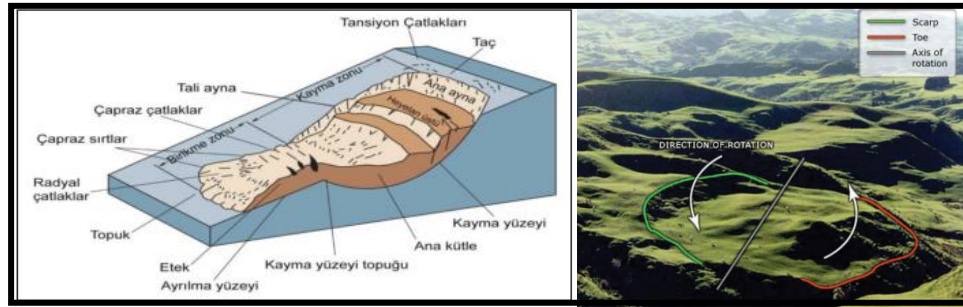
1.3.1.Dairesel (Rotasyonel) Kayma

En çok meydana gelen kütle hareketlerinden biri olan dairesel kayma, Abbott, (2004) tarafından göçme yüzeyindeki malzemenin aşağı ve dışa doğru hareketi olarak

tanımlamıştır. Zaman zaman kayan malzemenin üst yüzeylerinde çanak benzeri yapılar oluşmaktadır ve bu yapılar yağış ya da yüzey suları ile dolması ile heyelan gölcükleri oluşmaktadır. Tekrar eden kayma düzlemlerinde yeni kayma yüzeyleri de oluşmaktadır. Kayma hareketi sabit duran taç kısmının kayma düzlemi boyunca harekete başlaması ile başlar. Yamaç eğiminin azalması sonucunda hareketin de aktivitesini azaltır ve eğimin bittiği yerde kayan malzeme birikerek heyelan yüzeyinin birikme zonunu oluşturmaktadır (Şekil 1.7 ve Şekil 1.8).



Şekil 1.7. Yalova-Çınarcık'ta 2019 yılında meydana gelen dairesel kayma tipi heyelan (Gözdereliler, 2019)



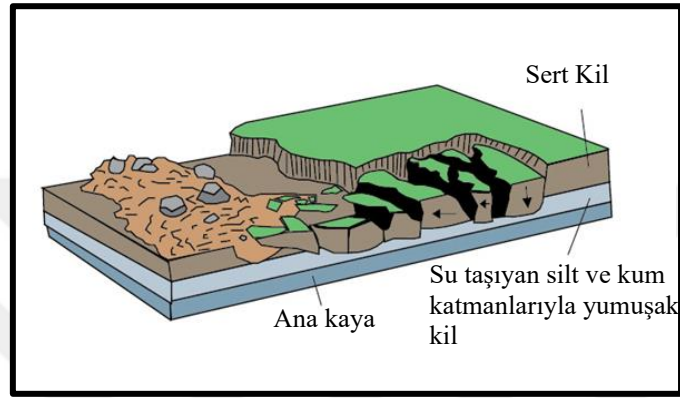
Şekil 1.8. Dairesel kayma hareketinin şematik gösterimi (USGS, 2004)

1.3.2. Düzlemsel Kayma

Düzlemsel kayma, belirli bir düzlem üzerinde kayma şeklinde gerçekleşir. Dairesel kaymalarda kayan malzeme bir denge sağlamaya meyillidir fakat düzlemsel kaymada malzeme duraylılık seviyesine ulaşma eğiliminde değildir ve eğim boyunca ilerlemeye devam eder (USGS, 2004). Genellikle fay, eklemler ve süreksizlik düzlemlerinde meydana gelmektedir.

1.4. Yanal Yayılma

Eğim derecesinin çok düşük olduğu veya eğimsiz yerlerde birimlerin gevşek malzemeden oluşması etkilidir. Kum ve silt gibi sıvılaşmaya uygun malzemenin sıvılaşması ile meydana gelir (Şekil 1.9 ve Şekil 1.10). Sıvılaşan malzeme ile üzerindeki birim arasında farklılıklar nedeniyle sıvılaşmayan birim parçalanabilir, çökebilir, kırılabilir ya da yatay yönde yayılım gösterebilir (USGS, 2008).



Şekil 1.9. Yanal yayılma hareketinin şematik gösterimi (USGS, 2008)



Şekil 1.10. 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri sonrası Hatay-Altınözü ilçesinde meydana gelen yanıl yayılma örneği

1.5. Akma

Akma hareketi toprak akması ve kaya akması olarak iki sınıfa ayrılır. Diğer kütle hareketlerinden farklı olarak hareketin yönü belli değildir. Akma hareketi genelde gevşek

malzemeli zeminlerde meydana gelir ve kayma yüzeyi net olarak görülmektedir. Malzemenin hareketinin gelişimi ve su içeriğine bağlı olarak kaymalardan akışlara bir değişim derecesi vardır (Hungar, 2014).

Toprak akmaları, kil ve silt gibi ince taneli birimlerden oluşan gevşek malzemenin suya doygunluk derecesine ve yamaçın eğim derecesine göre değişim göstermektedir. Yamaç malzemesi doğal yük dengesinin bozulması ile kesme dayanımını kaybederek aniden sıvılaşabilir ve birkaç kilometre süreceği şekilde akma hareketini gerçekleştirebilir (Şekil 1.11).



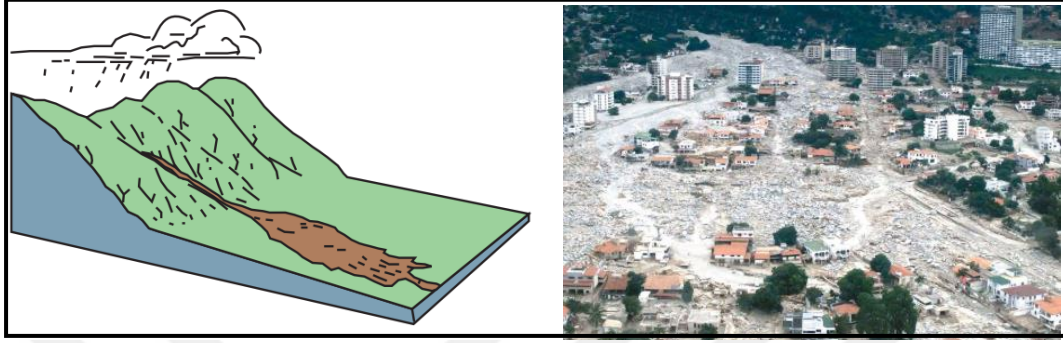
Şekil 1.11. 1993 Lemieux heyelanı-Kanada, Ottawa yakınlarındaki hassas deniz kilinde hızlı bir toprak akması (USGS, 2008)

Suya doygun malzemenin akmasının yanında ince taneli malzemenin kuru akma hareketleri de olabilir (Varnes ve Cruden, 1996). Toprak akmasının karakteristik bir “kum saati” modeli vardır (Şekil 1.12).



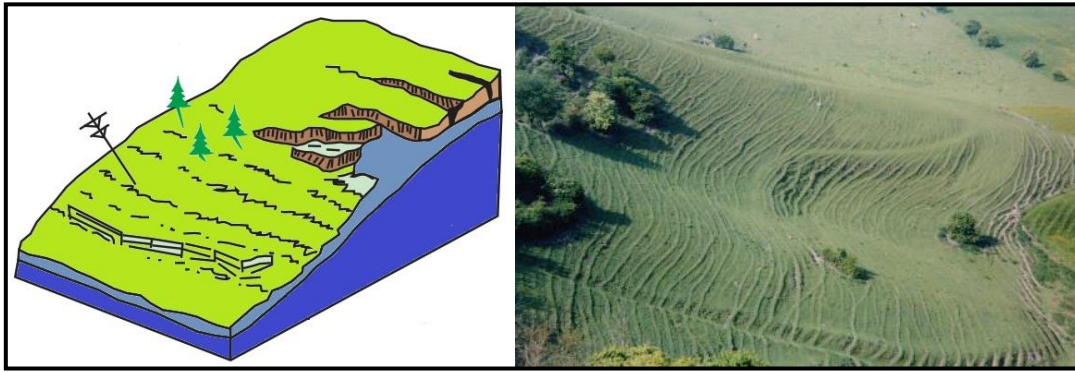
Şekil 1.12. Toprak akması şematik gösterimi (USGS, 2004)

Moloz akması ise eğim yönünde gevşek malzemenin bazen organik maddelerin suyla birleşmesiyle meydana gelen hızlı kütle hareketleridir (Şekil 1.13). Dairesel veya düzlemsel kaymanın hız kazanması veya su doygunluğunun artması ile moloz akmasına dönüşebilir (Varnes ve Cruden, 1996).



Şekil 1.13. Moloz akması (USGS, 2004)

Yavaş akma (Krip) ise akmanın gerçekleştiği malzeme veya kaya kütlelerinin yüzey kısmında yılda 1-3 cm gibi fark edilmesi güç şekilde, sürekli olarak eğim yönünde akması hareketidir. Akma hareketi deformasyon için yeterli iken yamaç duraysızlığı için yetersiz iç kesme gerilmesinden kaynaklanmaktadır (Varnes ve Cruden, 1996). Eğimli ağaç gövdeleri, bükülmüş çitler gibi görüntülerle kendini göstermektedir (Şekil 1.14).



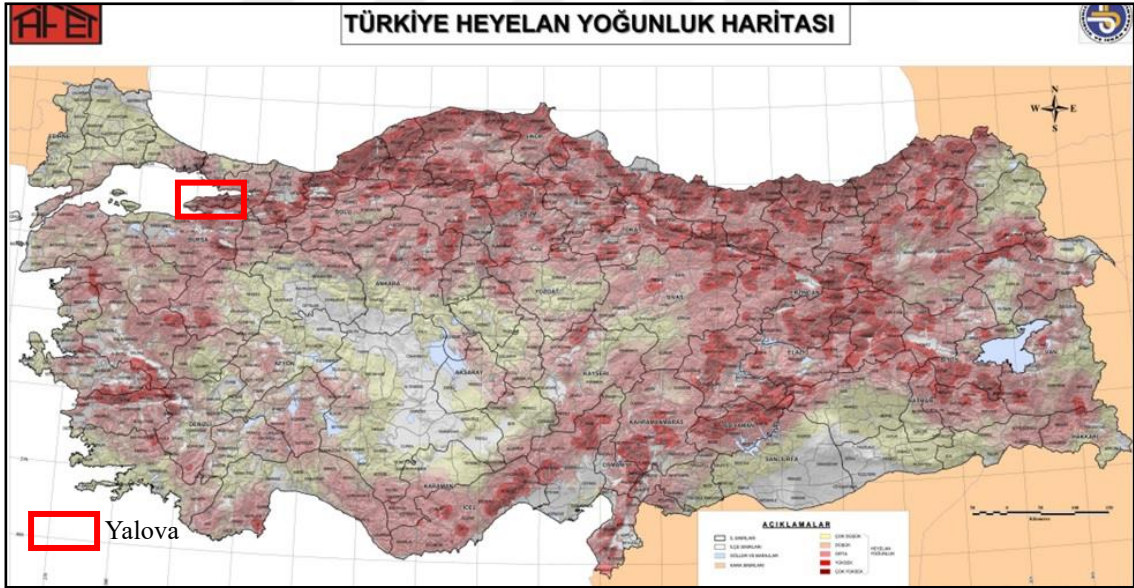
Şekil 1.14. Yavaş akma (krip) (USGS, 2008)

1.6.Karışık

Bir alanda bir veya birden fazla kütle hareketinin aynı zamanda oluşabilmektedir. Aynı zamanda dairesel veya düzlemsel kaymanın suyun da etkisiyle moloz akmasına dönüşmesi gibi herhangi bir kütle hareketinin gerçekleşme sırasında birbirine dönüşmesi durumu da gerçekleşebilir.

1.7.Kütle Hareketlerinin Ülkemizdeki Doğal Afetler Açısından Değerlendirilmesi

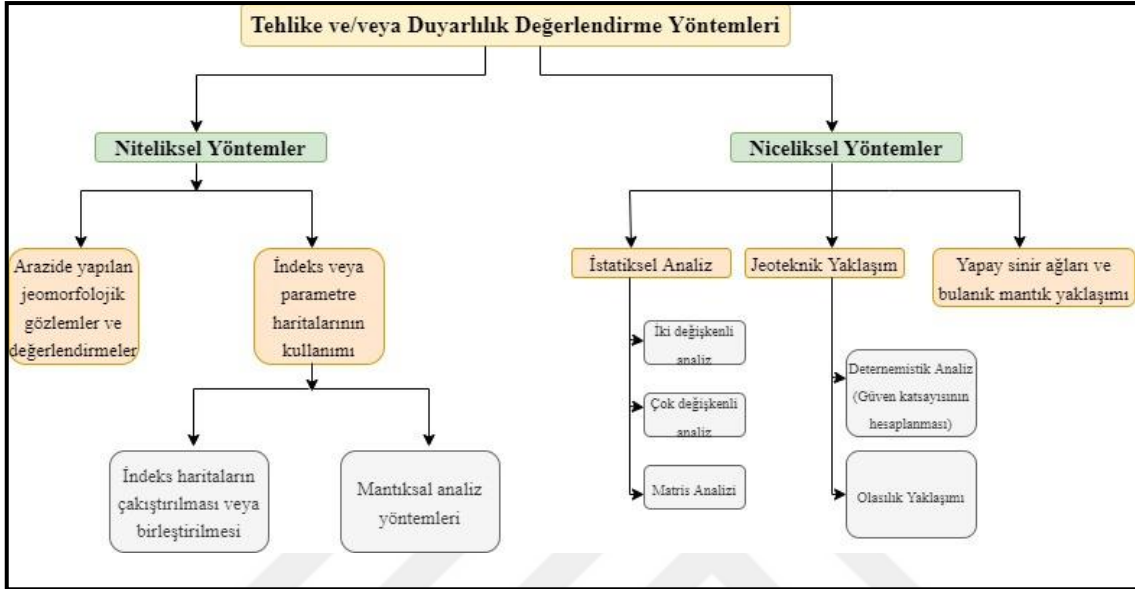
Ülkemizi en fazla etkileyen doğal afetler sıralamasında ilk sırayı deprem alırken, onu heyelan takip etmektedir (İldır, 1995). Ülkemizin jeolojik yapısı, tektonik süreksizlikler, morfolojik etkenler, yağış, sıcaklık gibi atmosferik olaylar kütle hareketi veya heyelan türü doğal afetlerin oluşması için temel unsurlardır. Bu etkiler doğrultusunda yerleşimin yoğunlaşmasına bağlı olarak yerleşim alanları, mühendislik yapıları bu doğal olayın afete dönüşümüne zemin hazırlamıştır. Heyelan ile ilgili yapılan çalışmaları incelediğinde en fazla çalışmanın heyelan duyarlılığı için yapıldığını ve ülkemizde bu alanda ilk kez 1996 yılında çalışma yapıldığını belirtmiştir (Cengiz, 2020). Bu tez kapsamında Yalova-Çınarcık bölgesinin heyelan duyarlılığı değerlendirilmiştir. İnceleme alanı kütle hareketleri açısından yoğun bölgeler içerisinde kalmaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) kütle hareketleri ve heyelanlara yönelik yaptığı çalışmalarda inceleme alanı ve çevresi heyelan yoğunluğu bakımından "çok yoğun" sınıfında değerlendirilmiştir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Türkiye Heyelan Yoğunluk (Kütle Hareketleri) Haritası (Gökçe, 2008)

Bu incelemede Yalova-Çınarcık yakın dolayının kütle hareketlerinin oluşumu, yerleşim ve yapılaşmaya etkileri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında yamaç yenilmesi sonucu oluşan ve Varnes (1978) sınıflandırılmasında kayma veya akma türü kütle hareket tipinin "Heyelan Duyarlılığı" değerlendirilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında da yöntemler niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Niteliksel yöntemler saha gözlemlerine dayanan öznel bakış açısının baskın olduğu yöntemdir. Niceliksel yöntemlerde ise istatistiksel analizlerin baskın olduğu yöntemdir (Tekin, 2014).

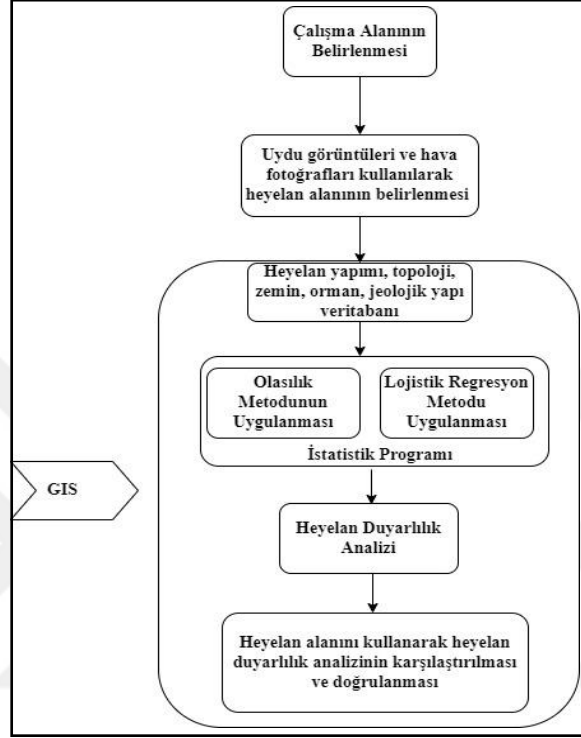


Şekil 1.16. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001)

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri ile literatürdeki farklı istatistiksel analiz yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla heyelan çalışmalarında önemli bir ilerleme sağlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken genel olarak izlenen adımlar Şekil 1.16'da gösterilmiştir. Literatürde Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Frekans Oranı, WOFE, Karar Ağacı, Mantıksal Regresyon ve Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi gibi yöntemler heyelan çalışmalarına katkı sağlamaktadır.

Heyelan duyarlılık analizlerinin güvenilir yapılmasının önemli adımlarından biri de seçilen parametrelerdir. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) yaptıkları çalışmada seçilen parametrelerin öznel olduğunu ve aynı inceleme alanı için dahi araştırmacıdan araştırmacıya değişiklik gösterdiğini öne sürmüştür. Bu nedenle iyi bir heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması için parametrelerin uygun seçilmesi hayati öneme sahiptir. Doğru parametre seçiminin en önemli adımlarından biri inceleme alanını iyi tanımdır. Saha gözlemleri ve deneyleri de inceleme alanını tanımak için yardımcı olmaktadır. Diğer bir önemli adım ise inceleme alanı hakkında daha önce yapılmış çalışmaların titizlikle

incelenmesidir. Şekil 1.17’de CBS ortamında heyelan duyarlılık analizinin yapılması için izlenecek adımlar gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında CBS ortamında yapılan çalışma için ArcGIS Pro 2022 sürümü kullanılarak 0722639_LearnArcGIS kullanıcı adı ile 21 günlük deneme sürümü lisansı ile duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 1.17. Heyelan duyarlılık analizleri ve uygulanmasının aşamaları (Lee ve Min, 2002)

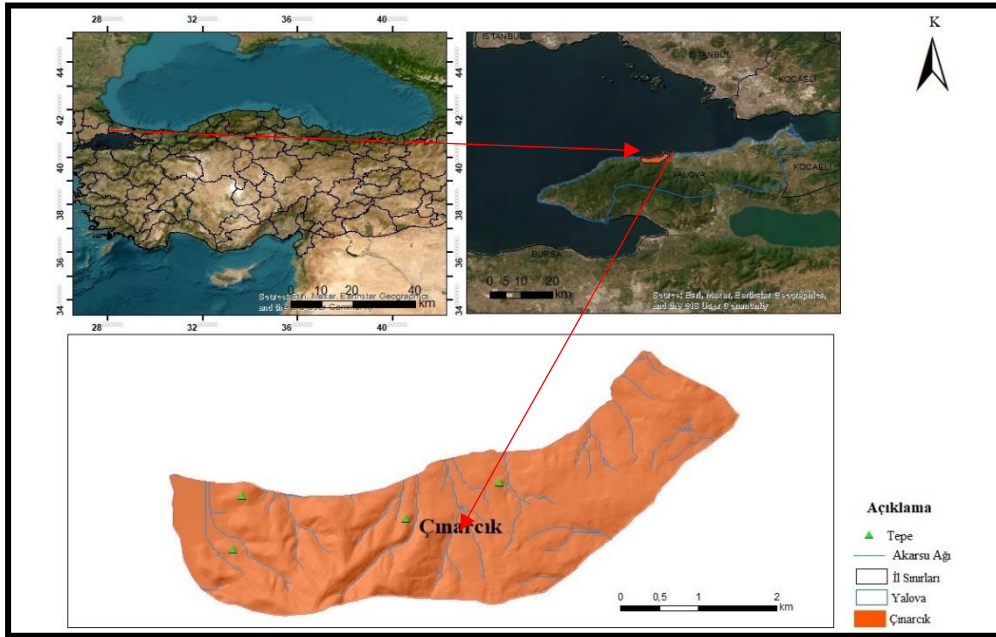
2.GENEL BİLGİLER

2.1.İncelemenin Amacı

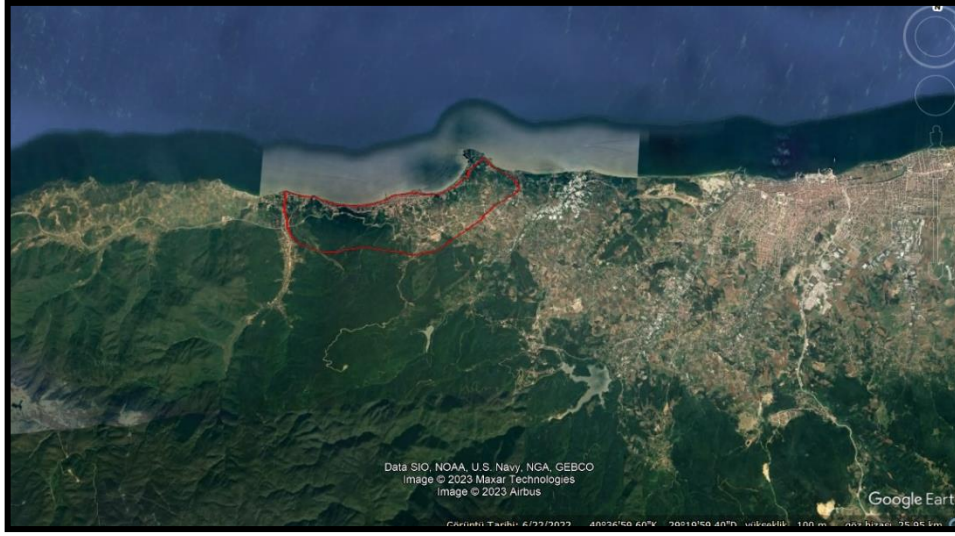
Bu çalışmanın amacı ise ülkemizdeki aktif heyelan bölgelerinden biri olan Yalova-Çınarcık bölgesinin farklı yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizinin yapılması ve analiz sonucuna göre yüksek duyarlı alanlar için gerekli önlemlerin alınmasıdır. İnceleme alanında daha önce yapılmış olan sondaj çalışmaları, inklinometre ölçümleri ve diğer mühendislik jeolojisi raporları gözden geçirilmiş, arazi çalışmaları ile bu veriler yerinde kontrol edilmiş ve çalışma alanının mühendislik jeolojisi modeli ortaya konulmuştur. İnceleme alanı için en uygun heyelan duyarlılık analiz yöntemlerinin Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli karar verilmiş ve bu üç farklı yöntemle heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

2.2.İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı Marmara Bölgesi'nde Yalova ili sınırları içindedir. G22D1 ve G22D2 paftaları içerisinde yer almaktadır. Yaklaşık olarak 11 km² alanı kaplamaktadır (Şekil 2.1). İnceleme alanında geniş yayılım gösteren 20 adet heyelan bulunmaktadır. Heyelan duyarlılık analizleri bu heyelanlar kullanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanı ve çevresinin Google Earth görüntüsü Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 2.2. İnceleme alanı ve çevresinin Google Earth Görüntüsü

2.3. Arazi Çalışmaları

İnceleme alanının jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri arazi çalışmaları ile yerinde kontrol edilmiş, duraylılığı etkileyen arazi koşulları gözlemlenmiştir (Şekil 2.3). Hasanbaba Mevkii'nde arazi ve laboratuvar çalışmaları ile ilgili bilgiler ise bölgedeki en güncel çalışma olan CNG Mühendislik tarafından yapılan çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamındaki 6 adet inklinometre ve 10 adet araştırma sondajı verileri değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmadaki laboratuvar deney sonuçları incelenerek heyelana neden olacak birimler hakkında bilgi derlenmiştir.



Şekil 2.3. İnceleme alanından arazi fotoğrafları



Şekil 2.3. (Devam) İnceleme alanından arazi fotoğrafları

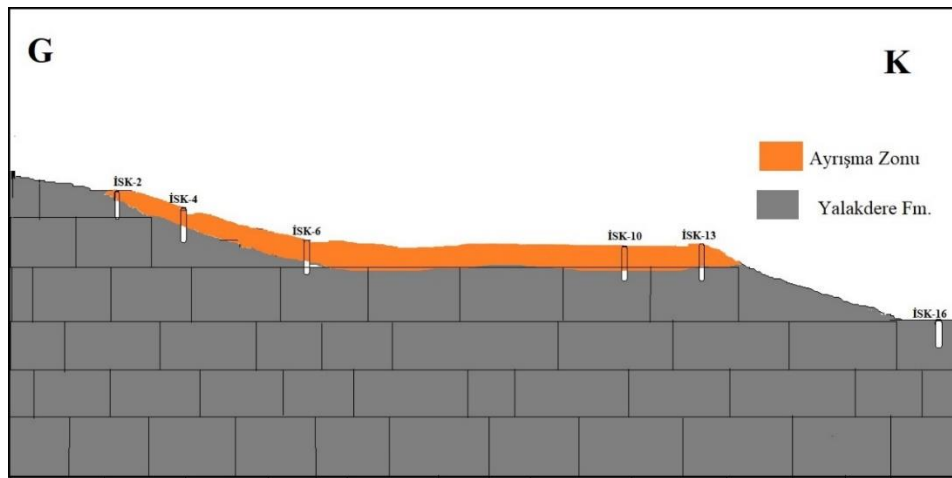
2.4.Laboratuvar Çalışmaları

Zemin istifini oluşturan birimleri incelemeye dönük CNG Mühendislik tarafından yapılan ilgili çalışmada laboratuvar ve arazi deneyleri ile saptanmış ve ilgili raporda zemin istifinin en üst kısmını oluşturan tabakanın fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. CNG Mühendislik tarafından Hasanbaba Mevkii sınırları içinde yapılan bu çalışmada zemin kaymasına neden olan istif Yalakdere Formasyonu'dur. Üst tabakayı oluşturan zemin birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir ve istifin bir delta istifi olduğu, tane boyunun alttan üste doğru küçüldüğü gözlemlenmiştir. İstif altta çakıl boyunda malzeme ve kum boyutunda kırıntılı kayalar ile başlamaktadır. Üste doğru tane boyu giderek kum, silt boyutuna kadar küçülmektedir. Taneler birbirine gevşek çimentolu malzeme ile

tutturulmuştur. Ayrıca yer yer kireçtaşı, kumlu kireçtaşı seviyeleri görülmektedir. İstif malzemesinin birbirine gevşek çimentolama ile tutturulmuş olması günlemeye maruz kaldığında ayrışmanın daha fazla olmasına neden olacaktır. Ayrıca söz konusu olan çalışmada yapılan inklinometre çalışmalarında istifin statik-dinamik yer altı suyu bakımından da zengin olduğu belirlenmiştir. Bu durum ise taneler arasındaki zayıf kohezyon kuvvetinin suyun da ağırlığı ile azalmasına ve malzemenin ayrışmasına neden olacaktır. Yüzey ve yer altı suları seviyelerinin yağışlı dönemde yükselmesi ile litolojik etkenlerin birleştiği dönemlerde heyelan yüzeysel akma olarak görülürken, kurak dönemlerde sızıntı suların etkisiyle krip (yavaş akma) olarak görülmektedir.

2.5.İnklinometre Sonuçları

İnklinometre deneyi ile zeminin düşey veya yanal deformasyon yönü saptanmaktadır ve A+ beklenen hareket yönü ile aynı yöne gelecek şekilde yerleştirilir. CNG Mühendislik tarafından yapılan çalışmada 6 adet İnklinometre Testi yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre 3., 9. ve 11. metrelerde hareket gözlenmiştir. Testin yapıldığı dönem bölgenin yoğun yağış aldığı periyoda denk gelmektedir. Bu durum ise yer altı suyunun seviyesini ve seviye değişimlerini etkilemektedir. Üst bölümde de belirtildiği gibi zemin istifinin zayıf yapısı su ile birleşince heyelanın meydana gelme ihtimali güçlenmektedir. Yağışın yoğun olduğu ve istifin suya doyduğu dönemlerde heyelanlar yüzeysel akma, kurak dönemlerde ise yavaş akma (krip) şeklinde meydana gelmektedir. Şekil 2.4'de yapılan inklinometre ölçümlerinin yerlerini gösteren zemin profili gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Hasانبaba Mevkii'nde yapılan İnklinometre ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren zemin profili (Cangir, 2022)

2.6. Jeomorfoloji

İnceleme alanı Yalova ilinde bulunmaktadır ve bölgenin jeomorfolojisinin oluşmasında Samanlı Dağları ve İzmit Körfezi önemli rol oynamıştır. Marmara bölgesinin güneydoğusunda bulunan Yalova ili Armutlu Yarımadası ve D-B uzanımlı tektonik kökenli Samanlı Dağlarının kuzeyinde bulunmaktadır. İnceleme alanı olan Çınarcık ise KAFZ'nin Samanlı Dağları kuşağını batıda sınırlamaktadır. Arazide genel eğim yönü güneydoğuya doğru olup muhtelif yamaç eğimlerine sahiptir. Bölgedeki en önemli akarsular Armutlu Deresi ve Koca Deredir.

Akartuna, (1968) çalışmasında Armutlu Yarımadası'nın Triyas ve Kuvaterner arasında gerçekleşen Alpin orojenezi ile günümüzdeki halini aldığını belirtmiştir.

Bölgedeki en geç birim olan Kuvaterner çökeller ile dik yamaçlardaki yüksek kütle arasında morfolojik uyumsuzluklar gözlenir. Ayrıca Marmara Denizi ile Çınarcık arasındaki kuşak kıyıya kadar uzanan düzlükler ve güneyde bulunan dağlık kütlelerin sonucudur (Göçmez, 2005). Yalova ile Çınarcık arasındaki Pliyosen yaşlı tabakalardan oluşan sahil kesimi ile Çınarcık'ın batısındaki Paleosen-Eosen flişinden oluşan sahil 50-60 metrelik dik falezler oluşturmuştur ve birer hat şeklindedir (Akartuna, 1968).

Erol ve Şencan, 1996 yılında yaptıkları çalışmaya göre ise, İzmit körfezi ilk olarak Üst Miyosen'de çökmeye başlamış ve Pliyosen-Pleistosen arasındaki tektonik faaliyetler sonucu meydana gelen Samanlı Dağları ile son halini almıştır.

Ardel (1949), Çınarcık, Deveboynu ile güney-kuzey akan Soğuksu, Büyükdere ve Taşlıman derelerinin açtığı vadilerle birbirinden ayrılan tepeler ve sırtlardan oluşan bir kıyı ovasıdır.

2.7. Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı Armutlu Yarımadası içinde yer almaktadır ve Eosen yaşlı Sarısu Volkanitleri, Üst Miyosen-Alt Pliyosen Yalacdere Formasyonu ve Kuvaterner çökellerden oluşmaktadır. İnceleme alanı ve civarının stratigrafisi Şekil 2.5'de verilmiştir.

Bölgenin jeolojisi üzerine ilk çalışma Akartuna, (1968) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma ve ardından yapılan çalışmalarda (Bargu ve Sakıncı, 1989; Erol ve Şencan, 1996; Emre ve

diğ., 1998; Göncüoğlu ve diğ., 1991; Yılmaz ve Köprübaşı, 2010) bölgede bulunan jeolojik formasyonların isimlendirilmesi ve tanımlamasında önemli katkıda bulunmuşlardır.

İnceleme alanı ve çevresinin jeolojik evrimi Paleozoyik dönemden günümüze kadar sürmüştür. İnceleme alanı ve çevresinde yapılan jeolojik çalışmalarda araştırmacılar arasında formasyon isimlendirmesinde farklılıklar görülmektedir. Bu çalışmada inceleme alanı ve çevresinin jeolojisi için çeşitli çalışmalardan yararlanılmıştır. Yalova ve çevresinde temelde Paleozoyik yaşlı Pamukova Metamorfitleri, Alt Triyas yaşlı Taşköprü formasyonu, Üst Kretase yaşlı Bakacak formasyonu, Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel Formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu Volkanitleri bulunmaktadır. Daha üstte ise Miyosen yaşlı Kılıç formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Yalakdere formasyonu ve Pleyistosen yaşlı denizel seki çökelleri ile güncel alüvyonlar yer alır.

2.7.1.Pamukova Metamorfitleri (Pm)

İnceleme alanı ve çevresinin jeolojik tabanını oluşturan en yaşlı birim olarak Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı Pamukova metamorfik topluluğudur. Birim, Akartuna (1968) tarafından gnays, şist, kuvarsit ve grovaktan oluşmaktadır. Göncüoğlu ve diğ., (1987) çalışmasında Kretase öncesi dönemde oluşan iki birim arasında tektonik bağ kurmuşlardır. Bu birimlerden biri olan Pamukova Metamorfitleri Hersiniyen yaşlı olup inceleme alanı ve çevresinin tabanını oluşturmaktadır.

2.7.2.İznik Metamorfitleri

İznik metamorfitlemin temelini mermer arabantlı metabazik kayalar oluştururken üste doğru meta-kireçtaşı, meta-çakıltası, meta-silttaşı ardalanması görülmektedir. Birimin en üst kısmında karbonat kayaları bulunmaktadır (Önder ve Göncüoğlu, 1989). İznik metamorfitlemi Pamukova Metamorfitlerine göre daha az metamorfizmaya uğramıştır.

2.7.3.Bakacak Formasyonu (Kb)

Akartuna (1968) tarafından adlandırılmıştır. Kurtköy ve Kılıç köyü güneyinde, Laledere ve Çukurköy civarında yüzeylemektedir. Maastrihtiyen yaşlı olan birim kumtaşı, silttaşı ve çakıltısından oluşmaktadır. Kumtaşı ve çakıltası çimento maddesinde metamorfik

kalıntılar gözlenmektedir. Birim İncebel ve Kılıç Formasyonları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.

2.7.4.İncebel Formasyonu (Ti)

Göncüoğlu ve diğ., (1987) tarafından isimlendirilmiştir. Çınarcık, Ortaburun ve Subaşı civarında yüzeylemektedir. Üst Paleosen-Alt Eosen birim çakıltası ve kumtaşı temeli üzerinde kireçtaşı ve çamurtaşı tabakalanması ile devam etmektedir. Ayrışmanın olduğu yerlerde kaolinleşme görülmektedir. Metamorfik kayalarla dokanakları faylıdır. Formasyon içerisinde beyaz-yeşil renkli, sıkı tutturulmuş tuf üyesi bulunmaktadır ve toplam kalınlığı 1000 m seviyesine ulaşmaktadır. İncebel Formasyonunu Sarısu Volkanitleri örtmektedir.

2.7.5.Sarısu Volkanitleri (Ts)

İnceleme alanının güneybatısında yüzeyleyen Eosen yaşlı formasyon aglomeralardan, volkanik kumtaşı, tuf ve çakıltısından oluşmaktadır ve ve Erendil ve diğ., (1991) tarafından Sarısu Volkanitleri olarak isimlendirilmiştir. Bölgenin temelini oluşturan metamorfik kayalar üzerinde konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı istiflenmesi bulunmaktadır ve bu istif üzerinde tabaka kalınlığı yaklaşık 1000 metreyi bulan piroklastik ve epiklastik kayalar istiflenmiştir (Göçmez, 2005).

İstifin üst kesimlerinde bulunan bazalt daykları ise istifi kesmektedir. Akartuna, (1968) çalışmasında bölgede bulunan flişin Paleosen ve Eosen olduğunu, konglomera, marn ve kalkerden oluştuğunu belirtmiştir. Altteki kayalar ile uyumsuzdur.

Bargu ve Sarkınç (1987) çalışmasında bu istifin çökeltme ortamının sığ deniz olduğunu ve bölgenin Oligosen'de kara haline geldiği belirtilmiştir.

2.7.6.Yalakdere (Arslanbey) Formasyonu (Ta)

Formasyon Armutlu, Çınarcık, Akköy dolayında güneyde Kadıköy, Safran ve Soğucak, doğuda Gacık, Laledere, Taşköprü civarında yüzeylemektedir ve Bargu ve Sakınç (1984) tarafından kullanılmıştır. Miyosen yaşlı olan birim Bargu ve Sakınç (1989) akarsu ve yelpaze deltası çökellerinden oluşmuştur. Gevşek çimentolanmalı yer yer çapraz tabakalanmalı kırıklı kayalardan oluşmuştur. Birim alt kısımlarında gevşek çimentolu

çakıllı seviyeler ve kum boyutunda kırıntılı kayalar bulunmaktadır. Üste doğru ise tane boyutu küçülmekte, gevşek çimentolu ince kum, silt ve yer yer kireçtaşı, kumlu kireçtaşı seviyeleri bulunmaktadır. Sarımsı-boz, boz, grimsi beyaz renkli gevşek çimentolaşmalı çakıllı, kumlu, siltli seviyeler ve yer yer kilaşı aralanmaları, en üstte ise Karasu kireçtaşı üyesinden oluşmaktadır. Alttaki Kılıç formasyonu ve üstteki Altınova formasyonu ile uyumsuzdur (Bargu ve Sakınç 1989). Birimin tabaka kalınlığının 100-300 metre arasında değişmektedir. Bu formasyon Mudanya formasyonunun Yalova'daki karşılığıdır (Emre ve diğ., 1999). Yaladere formasyonu Göncüoğlu ve diğ., (1992) tarafından Arslanbey Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

2.7.7.Karasu Kireçtaşı Üyesi (Tyk)

Çınarcık, Çalica, Safran ve Soğucak civarında yüzeyleyen birim devamlılık göstermeyen seviyeler halindedir ve Yaladere formasyonunun üst kesimidir. Genelde beyaz, sarımsı beyaz renkli, gösel kireçli kumtaşı ve silttaşı aralanmalarından oluşur (Bargu ve Sakınç 1989). Tabaka kalınlığı ise yer yer 100 metreye kadar görülebilir (Göçmez, 2005). İnceleme alanı sınırları içerisinde er alan Hasanbaba Mevkii'nde yer yer yüzeylemektedir.

2.7.8.Kuvaterner Çökeller

Bölgedeki Kuvaterner çökeller Altınova-Yalova-Çınarcık kıyı şeridi ve vadi tabanlarında yaygın olarak gözlenmektedir. Çökeller temel kaya birimlerinin yüzeylediği yamaçlarda, denizel çökeller ve akarsu, göl ortamında çökelmiş birimlerden oluşmaktadır. Bu farklı çökelim birimlerinden denizel çökellerden oluşan seki toplulukları yer yer basamaklar meydana getirmiştir. Bölgede birbirinden farklı deniz seviyelerinde çökelim gösteren seki toplulukları olması nedeniyle alt seki çökelleri ve üst seki çökelleri olarak ikiye ayrılmıştır (Göçmez, 2005).

Seki çökel toplulukları dışında kalan tutturulmamış çökeller ise Holosen birimleridir ve körfez çevresinde delta, plaj, bataklık çökellerinden oluşur. Deltalar ise körfezin kuzey ve güney kesimlerinde gelişmiştir (Emre ve diğ., 1999).

Kuvaterner çökeller daha yaşlı kaya birimleri ile uyumsuzdur ve birbirleri ile geçişlidir. Plaj, bataklık, kıyı kordonu ve düzlüğünden oluşan birimler denizel kökenli birimlerdir.

Akarsu çökelleri kanal ve taşkın ovası çökellerini, deltalarda ise menderes çökellerinden oluşur (Göçmez, 2005).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon Adı	Simgesi	Açıklama
Senozoyik	Kuvaterner	Holosen	Alüvyon	Qal	Kuvaterner seki çökelleri, kil, silt, kum
		Tersiyer	Neojen	Pliyosen	Yalakdere (Arslanbey) Fm.
	Paleojen		Eosen	Sarısu fm.	Ts
		Paleosen	İncebel fm.	Ti	Çakıltaş, kumtaş, tüf
Mesozoyik	Kretase	Üst	Bakacak fm.	Tb	Kumtaş, silttaş, çakıltaş
Paleozoyik			Pamukova met.	Pm/İm	Amfibolit, gnays, şist, kuvarsit, grovak

Şekil 2.5. İnceleme alanı ve civarının stratigrafisi (Göncüoğlu ve diğ., (1986)'dan değiştirilerek)

2.8.Bölgenin Tektonik Yapısı

Yalova ve çevresi Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey ve güney kolları arasındadır. Bölgede Altınova, Yalova, Esenköy ve Orhangazi Fayı geçmektedir. Marmara Denizi ve İzmit Körfezi içerisinde geçen Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Adalar, Çınarcık, Karamürsel, Gölcük, Darıca fay parçaları ve Gemlik Körfezi'nden geçen Gemlik ve Gençali Fayları bölgedeki önemli tektonik yapılarıdır (Cumhur, 2021).

Pınar ve diğ. (2016) yapılan çalışmaya göre ise Kuzey Ana Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Denizi'nin doğusundaki segmentler Adalar, Yalova-Çınarcık ve Yalova-Hersek segmenti olmak üzere üçe ayrılmıştır.

Fay segmentleri incelendiğinde, doğuda Çınarcık segmenti; Orta (Doğu ve Batı) segmentleri ve en batıdaki Tekirdağ segmenti şeklinde adlandırılabilir. Çınarcık segmenti 1999 yılında meydana gelen depremde kırılmıştır (Gasperini, 2021).

Çınarcık havzası birkaç milyon yıl boyunca Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolundaki doğrultu atımlı fay segmentleri boyunca oluşan sıkışmalı-genişlemeli bir havzadır. Yapılan sismik çalışmalarda ise üniform olmayan şekilde dağılmış kalın bir sediman dolgusuna sahip olduğu gözlemlenmiştir (Carton ve diğ., 2007).

Taymaz ve diğ. (1991) yaptığı çalışmaya göre 1963'te meydana gelen 6.3 büyüklüğündeki depremde kuzeydoğu Çınarcık havzasının bir bölümünü kırdığı düşünülmektedir.

Marmara Denizi'nin kuzeyinde yer alan Çınarcık havzasının alt havza olduğu ve sismik aktivitelerden oldukça etkilendiği sonucuna varılmıştır. Bölgede yapılan odak mekanizmasına dayalı çalışmalarda, Çınarcık Fayı sürtünme dayanımını bakımından yüksektir ve çevresinde yerel gerilme alanında saat yönünün tersinde yaklaşık 30° dönüş gözlemlenmiştir. Çınarcık havzası segment boyunca düşük sürtünmeli fay kuvvetini göstermektedir ve saat yönünde yaklaşık 30° dönüş gözlemlenmiştir. Çınarcık fayı segmenti KAF'ın güneyinde uzanan fay dışı segment olarak değerlendirilmiştir (Pınar ve diğ., 2016).

Carton ve diğ. (2007) Çınarcık havzası tektonizması doğuda İzmit Körfezi'nden geçen İzmit fayı, batıda Çınarcık ve Merkez havzasını birbirine bağlayan lineer seyreden doğrultu atımlı transfer fayı tarafından kontrol edilmektedir.

Bölgenin ana morfotektonik elemanları ise büyük ölçüde neotektonik dönemde oluşmuştur. Tektonik evrim Paleotektonik ve Neotektonik olarak iki sınıfa ayrıldığında, Paleotektonik dönem Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kılınc ve Aktoprak Formasyonu çökeliminden önceki dönemi kapsamaktadır. Neotektonik dönem ise bu çökelimin başlamasıyla birlikte KD-GB ve KB-GD doğrultulu eşlenik (conjugate) fay sistemi tarafından denetlenen birinci dönem, ikincisi ise Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgede etkin olmasıyla başlayan, D-B doğrultulu sağ yanal atımlı fay sisteminin denetlediği ikinci dönemdir (Aylan ve Yiğitbaş, 2002). Bölgede yoğun olarak Neojen yaşlı birimler mostra vermektedir.

Tektonizmayı oluşturan ana faktörlerden birisi tüm dünyada en aktif faylar arasında gösterilen Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'dur. KAFZ, Karlıova (Bingöl) ile

Yunanistan arasında uzanan 1500 kilometre uzunluğunda, batıya doğru hareket eden, sağ yanal, doğrultu atımlı bir transform faydır (Ketin, 1948). Avrasya ve Arabistan levhasının birbirine yaklaşması ile arada kalan Anadolu levhası üzerinde sağ yönlü doğrultu atımlı KAFZ ve sol yönlü doğrultu atımlı DAF oluşmuştur. KAFZ'nin yaşı ile ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Araştırmacılara göre Miyosen veya Pliyosen yaşlı olduğu öne sürülmüştür. Yapılan çalışmalarda bazı araştırmacılar fayın 3 kola ayrıldığını, bazıları iki veya tek kol şeklinde devam ettiğini bazıları ise Adapazarı'nda kitlendiğini öne sürmüşlerdir (Kozacı ve diğ., 2002).

KAFZ etkisiyle inceleme alanında kıvrımlar, kırıklar, sıyrılma, sağ ve sol yanal atımlı faylar gibi birçok tektonik birim oluşmuştur.

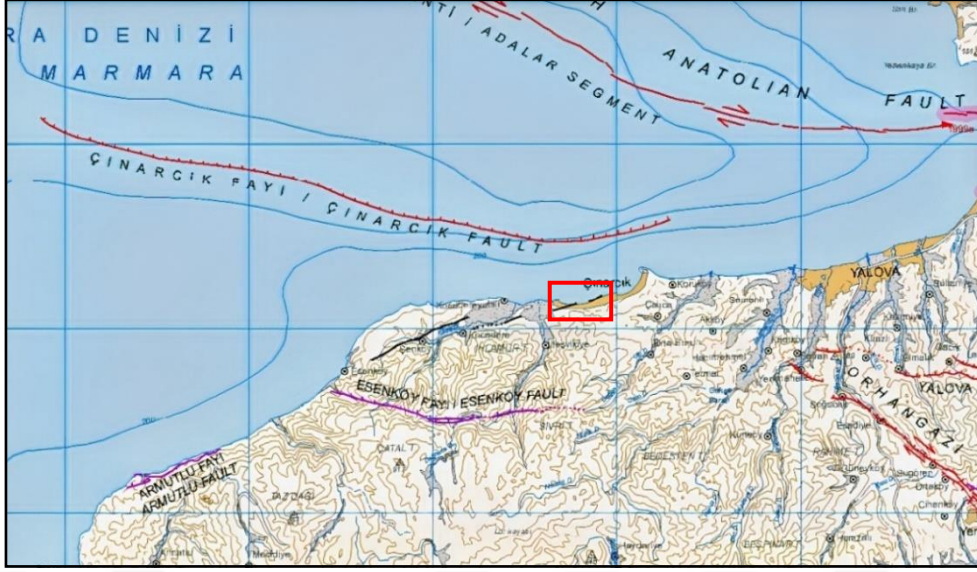
1999 yılında meydana gelen Gölcük Depremi'nde KAFZ üzerinde 20.yüzyılda meydana gelen batıya doğru ilerleyen 7. büyük deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Meydana gelen deprem sonucunda 145 kilometre uzunluğunda yüzey kırığı meydana gelmiştir (Barka ve diğ., 2002). Meydana gelen yüzey kırıkları Karadere, Sakarya, Sapanca ve Gölcük segmentleri olarak dörde ayrılmıştır (Lettis ve diğ., 2002). Bu depremin yüzey kırığı ise batıda Hersek Deltası'nda sona ermektedir (Dozancı, 2002).

Yalova-Çınarcık'ın da içinde bulunduğu Armutlu Yarımadası'nın oluşumunda genç faylar oldukça etkili olmuştur ve bölgedeki Bozburun ve Dokuncuk vadisi morfotektonik ünedir (Aylan ve Yiğitbaş, 2002).

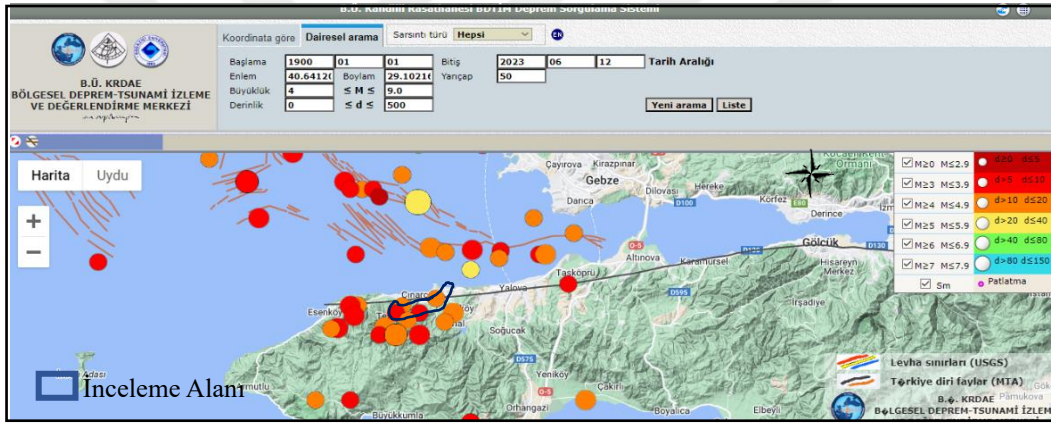
Emre ve diğ., (2011) hazırlanan MTA Diri Fay Haritası'na göre inceleme alanı sınırları içinde Olası Kuvaterner Fayı bulunmaktadır (Şekil 2.6).

2.9.İnceleme Alanının Depremselliği

Boğaziçi Kandilli Rasathanesi verilerine göre inceleme alanı ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen depremler sıralanmıştır. İnceleme alanı ve çevresi aktif deprem kuşağında yer alan bölgelerden biridir ve geçmişte meydana gelen depremlerden oldukça etkilenmiştir. İnceleme alanı sınırları içerisinde kalan bölgede, geçmiş yıllarda denizde meydana gelen Tuzla heyelanının tektonik aktiviteler sonucunda meydana geldiği öne sürülmüştür. Şekil 2.7'de >4 ve <9 büyüklüğünde meydana gelen depremler büyüklüklerine göre gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İnceleme alanı ve çevresinin fay haritası (MTA, 2011)



Şekil 2.7. Aletsel dönemde Yalova ili ve çevresinde >4 ile <9 büyüklüğünde meydana gelen depremler

2.10. İklim

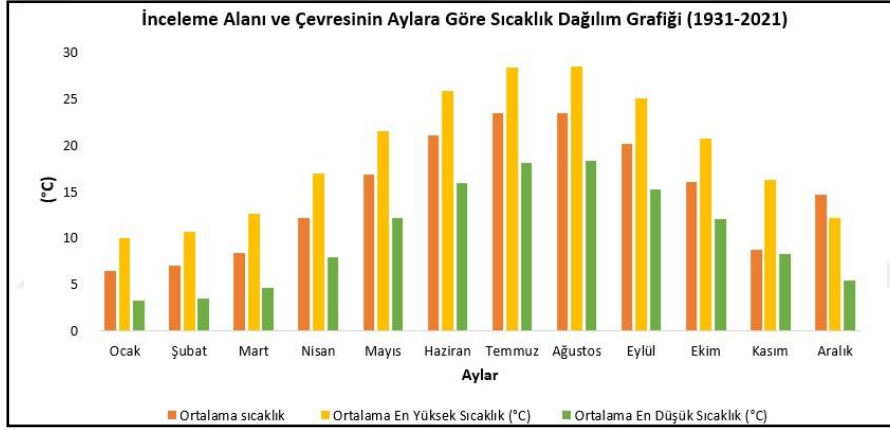
İnceleme alanı ve çevresi Marmara (Geçiş) iklimi etkisindedir. Yazları sıcak ve yağışlı iken kışları ise soğuk, kar ve yağmurlu geçmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen veriler Şekil 2.8'de verilmiştir. Bu verilere göre 1931-2021 yılları arasında incelenen 90 yıllık periyotta yıllık ortalama en yüksek sıcaklığın 42.1°C olarak haziran ayında olduğu gözlemlenmiştir.

Aylık ortalama sıcaklık ve en yüksek sıcaklık verilerine göre ise haziran, temmuz, ağustos ayları en sıcak aylar olurken en düşük sıcaklık değerleri ocak, şubat ve mart aylarında gözlemlenmiştir (Şekil 2.9). Yıllık ortalama değerlerine bakıldığında, 1931-2021 yılları

arasındaki hesaplamalara göre ortalama en yüksek sıcaklık 19.1°C iken ortalama en düşük sıcaklık 10.4°C'dir. Günlük toplam en yüksek yağış ise 1981 yılında görülmüştür ve 181.9 mm'dir.

YALOVA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1931 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.5	7.0	8.4	12.2	16.8	21.1	23.4	23.5	20.1	16.1	12.1	8.7	14.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.0	10.7	12.6	16.9	21.5	25.9	28.4	28.5	25.1	20.7	16.3	12.2	19.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.3	3.5	4.6	8.0	12.2	15.9	18.1	18.3	15.2	12.0	8.3	5.4	10.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.0	3.1	4.3	5.6	7.5	8.7	9.3	8.7	7.1	4.8	2.7	1.6	5.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.06	14.76	14.24	10.12	8.88	7.35	3.29	2.94	8.53	12.59	11.76	14.71	124.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	92.9	71.9	73.0	51.5	39.1	40.8	24.6	31.0	54.5	83.3	80.0	114.3	756.9
Ölçüm Periyodu (1931 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.9	27.2	32.0	36.5	37.0	42.1	39.2	40.2	37.5	36.6	29.7	27.4	42.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-9.6	-11.0	-7.4	-1.6	1.2	7.1	10.0	10.3	6.0	1.3	-3.2	-9.2	-11.0
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı				Günlük En Hızlı Rüzgar				En Yüksek Kar					
10.09.1981 181.9 mm				27.02.1989 22.8 m/sn				19.02.2008 50 cm					

Şekil 2.8. Çınarcık ilçesinin yıllık sıcaklık ortalaması (mgm.gov.tr)



Şekil 2.9. İnceleme Alanı ve çevresinin 1931-2021 yılları arasındaki sıcaklık dağılımı (mgm.gov.tr)

3.ÖNCEKİ HEYELAN DUYARLILIK ÇALIŞMALARI

Bu bölümde heyelan duyarlılığı ile ilgili önceki yıllarda yapılmış çalışmalara alfabetik sıra ile değinilmektedir.

Literatürde heyelan duyarlılığı ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında son yıllarda istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de son 20 yılda bu alandaki çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Bu çalışmalar alfabetik olarak, kullanılan parametrelere ve elde edilen sonuçlara değinilecek şekilde sıralanmıştır. Tablo 3.1'de bu çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucunda kullanılan parametrelerin dağılımı gösterilmiştir.

Abay ve diğ., (2019) Etiyopya'da yapılan çalışmada litoloji, faya yakınlık, arazi kullanımı, drenaja yakınlık, yamaç eğriselliği, bakı ve yükseklik parametreleri ile heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Heyelanların oluşumunu etkileyen parametreler ise, litoloji (%37,2), faylara yakınlık (%24,5), drenaja yakınlık (%16,2); bunu bakı (%7,5), eğim (%7,4), arazi kullanımı (%7,2) izlemektedir. İnceleme alanı çok yüksek (%29), yüksek (%44), orta (%20) ve düşük (%7) olmak üzere dört duyarlılık bölgesi belirlemiştir.

Acar (2019) yaptığı çalışmada eğim, bakı, yükseklik, eğrisellik, akarsuya uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), sediman taşıma kapasite indeksi (LS Faktörü), akarsu aşındırma gücü indeksi (RSP), litoloji, arazi örtüsü/kullanımı olmak üzere 10 parametre ile İnebolu Havzası'nın AHP yöntemi ile heyelan duyarlılık analizini yapmıştır. Analiz sonucunda bölgedeki heyelan oluşumundaki en etkili parametrelerin eğim, yükseklik, litoloji, akarsuya uzaklık ve arazi kullanımı/örtüsü olarak bulunmuştur.

Achour ve diğ. (2017), Cezayir'de otoyol güzergahında 29 farklı heyelan lokasyonu üzerinde yapılan çalışmada litoloji, eğim derecesi, bakı eğimi, faylardan uzaklık, arazi kullanımı, nehirden uzaklık, jeoteknik parametreleri AHP ve Bilgi Değeri (IV) yöntemleri kullanılarak CBS ortamında heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda eğrinin altında kalan alan (AUC) değeri IV yöntemi için %77 iken AHP için %66 olarak belirtilmiştir. IV yönteminin daha güvenilir sonuç verdiği belirtilmiştir.

Ada (2018) Antalya’da yapılan çalışmada eğim, bakı, TWI, SPI, eğim uzunluğu faktörü, yakınsaklık indeksi, plan eğriliği, profil eğriliği, kanal ağlarına ve fay hatlarına uzaklık parametreleri uzaktan algılama ve makine öğrenme algoritması Rastgele Orman (RO) ve Destek Vektör Makinesi (DVM) yöntemleri kullanılarak CBS ortamında 28 girdi veri kümesi ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Doğrulama için ROC eğrisinin altında kalan alan yaklaşımıyla RO algoritması için 0.860, 0.874, 0.877 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, iki makine öğrenme algoritması, yüksek mekânsal performansa sahip sonuçlar vermiştir ve bu değer %82-87 arasındadır. Bu durum ağaç boyut sayısı ile mekânsal performans arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Akıncı ve Kılıçoğlu (2015) litoloji, yükseklik, eğim, bakı, plan eğriliği, profil eğriliği ve arazi örtüsü parametreleri kullanılarak Samsun, Atakum bölgesinin heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda inceleme alanının %85’i yüksek veya çok yüksek duyarlılık sınıfında yer aldığı saptanmıştır.

Alparslan ve diğ., (2006) yaptıkları çalışmada geçirimsizlik durumu, jeoloji, jeomorfoloji, zeminin sıvılaşmaya olan yatkınlığı, yer altı suları, faylar, hidroloji ve eski heyelan alanları parametrelerini kullanarak Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasındaki bölgelerin heyelan riskini belirlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda güncel heyelanların %13’ünün çok yüksek, %23’ünün ise yüksek duyarlılığa sahip alanlarda meydana geldiği, eski heyelan haritası ile kıyaslandığında ise heyelanların %14’ünün çok yüksek, %27’sinin yüksek alanlarda meydana geldiği görülmüştür.

Altural ve Özdemir (2012), Konya’da yaptıkları çalışmada 373.112 km²’lik alandaki 90 heyelanı incelemişlerdir. Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması için Ağırlık Yöntemi (WOE), Frekans Oranı (FR) ve Lojistik Regresyon (LR) yöntemlerini jeolojik, topografik ve çevresel faktörlerin analizleri için kullanmışlardır. 59.451 km² (15,9 %) ve 22.941 km² (6,1 %)’lik bir alana sahiptir. ROC yöntemiyle yapılan doğruluk analizinde, ağırlıklar yöntemi, Frekans Oranı ve Lojistik Regresyon metotları için ROC eğrisi değerleri sırasıyla 0.937, 0.952 ve 0.976 bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre FR ve LR yönteminin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Ataş (2017) Tarsus-Çamlıyayla İl yolu Km: 11+640 -12+080 yolunda yapılan çalışmada bölgede meydana gelen heyelan için jeoteknik, laboratuvar çalışmaları ve geçmişte

meydana gelen heyelanların incelemesi yapılmıştır. Heyelanın statik ve psedöstatik analizi için Limit Denge Yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile yapılan heyelan deformasyon analizi ile inceleme alanında yapılan inklinometre test sonuçları uyum göstermiştir. Meydana gelen heyelanın stabilizasyon yöntemi topuk bölgesine dolgu ve drenaj olarak belirtilmiştir.

Ayalew ve Yamagishi (2005) Japonya’da yaptıkları çalışmada Lojistik Regresyon (LR) yöntemini kullanarak litoloji, anakaya-şev ilişkisi, çizgisellikler, şev açısı, bakı, eğim, yükseklik ve yollara yakınlık gibi parametreler yardımıyla 87 heyelanın bulunduğu inceleme alanını haritalamışlardır. İki değişkenli Lojistik Regresyon yönteminin kullanılmasıyla eğim açısı ve litoloji gibi bağımsız değişkenlerin katsayılarının hesaplanmasında daha iyi sonuç verdiği düşünülmesidir. Hazırlanan heyelan duyarlılık haritasında inceleme alanı aşırı düşük, çok düşük, düşük, orta ve yüksek duyarlı olmak üzere 5 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. İnceleme alanının %8.87’si orta ve yüksek duyarlılığa sahiptir.

Banerjee ve diğ., (2018) Himayalar’da 27 kilometrelik bir otoyol koridorunda yapılan çalışmada, bakı, faydan uzaklık, yoldan uzaklık, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, litoloji, plan eğriliği, yağış, eğim, zemin derinliği ve zemin dokusu parametreleri kullanılmıştır. AHP ve IV metodu ile üretilen haritalarda eğimli bölgelerin, diğer bölgelere göre çok daha fazla duyarlılığa sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Başara ve Şişman (2022) Samsun’da yaptıkları çalışmada Frekans Oranı, Kanıt Ağırlığı ve Lojistik Regresyon yöntemleri kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık analizinde eğim, bakı, yükseklik, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi, bitki indeksi, yıllık toplam yağış, tektonik unsura yakınlık, litoloji ve arazi kullanım parametreleri kullanılmıştır. Analizlerin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi ve AUC değerlerine göre Frekans Oranı %82.9, Kanıt Ağırlığı Yöntemi %83.5 ve Lojistik Regresyon Yöntemi %77.1 oranında doğruluk göstermiştir. İnceleme alanı çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak beş duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.

Biçer ve Ercanoğlu (2020) Kahramanmaraş’ta yapılan çalışmada yamaç eğimi, litoloji, bakı, topografik yükseklik, drenaj özelliği, arazi kullanımı, eğrisellik, tektonik unsura uzaklık ve NDVI olmak üzere 9 parametre ve LR, FR ve AHP olmak üzere 3 farklı analiz

yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmesi için ROC yöntemi kullanılmıştır. AUC değerleri LR:0.828, FR:0.862 ve AHP:0.793 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda inceleme alanı için heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında en uygun yöntemin FR olduğu belirtilmiştir.

Bilgin ve Maraş (2019) Ordu'da yapılan çalışmada litoloji, yamaç açısı, yamaç eğim yönü, yükseklik, eğrisellik ile yola yakınlık haritaları parametrelerini FR yöntemi ile kullanarak heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Parametrelerin tematik haritaları CBS'de, heyelan duyarlılık haritaları ise CAD ortamında hazırlanmıştır. İnceleme alanı çok düşük ~%11 çok düşük, ~%12 düşük, ~%33 orta, ~%30 yüksek ve ~%13 çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarına ayrılmıştır.

Canoğlu ve Aksoy (2015) Karabük, Yenice'de yapılan çalışmada suyun heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. SMDR ve FR analiz yöntemi birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada SDI zamansal etki için indeks olarak ele alınmıştır ve yapılan analizlere göre heyelan duyarlılığında suyun tetikleyici faktör olduğu belirtilmiştir. Böylece bölgenin zamansal-mekansal heyelan duyarlılık haritaları SDI ve TWI kullanılarak oluşturulmuştur. İki harita arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Kullanılan yöntemlerle elde edilebilir aylık ortalama meteorolojik veri ile, aylık heyelan duyarlılığı haritalarını oluşturan yeni bir yöntem önerilmiştir.

Cengiz ve Ercanoğlu (2020) Muğla'da yapılan çalışmada 300 km²'lik alanda topografik yükseklik, yamaç eğriselliği, yamaç eğimi, bakı, sediman taşıma kapasitesi, akış gücü indeksi, nemlilik indeksi, faya uzaklık, drenaja uzaklık ve sırtlara uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler ile AHP ve Bulanık Mantık yöntemlerinin kombinasyonu ile heyelan duyarlılık haritaları için nesnel ve veriye dayalı bir yaklaşım sağlanmıştır. F-AHP (Bulanık AHP) yöntemlerinden (Bulanık Genişletilmiş Analiz Yöntemi (FEA)) ve Bulanık Geometrik Ortalama Yöntemi (FGM) yöntemleri ile analizler yapılmıştır. AUC değerleri FEA yöntemi için 0.747, FR-AHP yöntemi için 0.739, FGM yöntemi için 0.738 ve M-AHP yöntemi için 0.727 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre FR-AHP yönteminin çalışma alanı için daha uygun sonuç verdiği belirtilmiştir.

Chau ve diğ. (2004), Hong Kong'ta yapılan çalışmada 1984-1998 yılları içinde gerçekleşen 1448 heyelanı jeolojik, jeomorfolojik, nüfus, iklim ve yağış parametrelerini CBS kullanarak incelemişlerdir. Bölgede yoğun yağış olduğu dönemde meydana gelen heyelanlarda ve heyelanlara bağlı ölüm ve yaralanmalarda artış gözlemlenmiştir. Frekans-hacim ilişki kurularak incelenen heyelan 26.000 m³'lük heyelanın geri dönüş süresinin 3.12 yıl olduğunu tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada Hong Kong'da heyelana bağlı ölüm sayısı 11.35, yaralanma sayısı ise 11.63 olarak bulmuşlardır.

Çellek ve diğ., (2015) Sinop'ta yapılan çalışmada bakı, litoloji, arazi kullanım sınıfı, yamaç eğriselliği, eğim, yükseklik, anayola, akarsuya ve yapısal unsurlara yakınlık parametreleri ile AHP yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, heyelanlara en çok neden olan parametrelerin anayola uzaklık, bakı ve litoloji olduğunu göstermiştir. Çalışma alanının, %10.77'sinin çok düşük, % 10.59'unun düşük, % 52.64'ünün orta, %25.66'sının yüksek, % 0.34'ünün çok yüksek derecede heyelana duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Dağ ve Bulut 2012 yılında Rize'de yaptıkları çalışmada 149 adet heyelan haritalanmıştır. Arazi incelemeleri sonucunda litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, arazi örtüsü, yükseklik, akarsuya yakınlık faktörleri, heyelana neden olan parametreler olarak değerlendirilmiştir. Frekans Oranı (FR) yöntemi kullanılarak yapılan heyelan duyarlılık haritasında %81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara karşılık geldiği görülmüştür.

Demir (2018) Sivas'ta yapılan araştırma için arazi çalışmaları sonucu heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen, litoloji, topografik yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü, akarsuya yakınlık, yola yakınlık ve faya yakınlık parametreleri duyarlılık analizinde kullanılmıştır. Çalışmada heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında Frekans Oranı (FR) yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre heyelan duyarlılık haritasının %23.59'u çok düşük duyarlılık sınıfında, %22.61'i az, %18.70'i orta ve %17.3'ü ise yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Devara ve diğ., (2021) Hindistan'ın Uttarkand bölgesinde yaptıkları çalışmada Çok Zamanlı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (MT-InSAR) ve AHP yöntemi kullanarak CBS ortamında heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Bu yöntem ile

birlikte bölgenin gelecek 10 yıllık heyelan duyarlılık analizleri için verimli sonuçlar vermiştir. Toplam bölgelerin %44,5'i (16.35 km²) yeni tanımlanmış, %28,5'i (28.70 km²) stabilize ve %27'si (11.39 km²) halen aktiftir.

Elal ve Kılıç (2008) yapılan çalışmada Yozgat'ta bulunan Sorgun-Çekerek karayolunun km: 34+820 ile 35+300 arasında yapılacak olan yol için şev duraylılık analizleri yapılmıştır. Çalışma alanında sondaj çalışması, Standart Penetrasyon Deneyi ve inklinometre testi yapılmıştır. Sondaj çalışmalarında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvarında yapılan kohezyon ve içsel sürtünme açısı, konsolidasyonlu ve drenajlı şartlarda kesme kutusu deneyleri ile belirlenmiştir. GGU Stabilite programı ile yapılan analizler sonucunda duraylılık için güvenlik katsayısı statik koşullarda 1,42 iken dinamik koşullarda 1,34 olarak hesaplanmıştır. Esas heyelan duraylılığının sağlanması için drenaj yapılarak, kayma yüzeyine kadar kazı ve yeniden dolgu yapılması veya kazık uygulaması yapılması uygun olacağını belirtilmiştir.

Feizizadeh ve Blaschke (2013) İran'da yapılan çalışmada CBS ile WLC, WOA ve AHP olmak üzere 3 farklı çok kriterli değişken analiz yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Heyelana neden olan 9 parametre seçimiyle yapılan çalışmalar sonucunda Dempster-Shafer Teorisi ile elde edilen sonuçlardaki belirsizlik analizi yapılmıştır. 3 analiz yöntemi arasında en iyi sonucu AHP yönteminin verildiği belirtilmiştir.

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), yaptıkları çalışmada eleştirel bakış açısıyla değerlendirilen 21 çalışmadaki 23 parametre incelenmiştir. En çok kullanılan parametreler litoloji, eğim, arazi kullanım potansiyeli veya bitki örtüsü, ana faylara uzaklık, topografik yükseklik, yamaç eğim yönü ve yüzey drenaj ağıdır. İnceleme sonucunda heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan parametrelerin araştırmacıdan araştırmacıya değiştiğini ve bu durumun haritalar hakkında kesin ve mutlak bir bilgi sağlayamayacağını öne sürmüşlerdir. Bu nedenle tüm çalışmalara ışık tutacak şekilde bir heyelan veri tabanının hazırlanması önerilmiştir.

Görüm ve Gönençgil (2006) Melen Boğazı'nda yapılan çalışmada arazi kullanımı, yükseklik, eğim, bakı, plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, diferansiyel yamaç eğriselliği, akarsu aşındırma gücü endeksi ve topografik nemlilik endeksi parametrelerini

LR yöntemi ile kullanarak CBS ortamında bölgenin heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Jeomorfolojik parametrelerin dahil olduğu ve olmadığı iki farklı veri seti oluşturulup analizler yapılmıştır. Doğrulama için ROC, AUC ve RMSE kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar ROC için %88, AUC için 0.88 ve RMSE için 0.31 şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre hazırlanan duyarlılık haritası düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 farklı ana duyarlılık sınıfına, 10 alt duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.

Guzzetti ve diğ., (2005) İtalya'da yaptıkları çalışmada 1955-1999 yılları arasında çekilmiş hava fotoğraflarını kullanarak heyelanların geleceğe yönelik mekânsal, alansal ve zamansal olabilirliklerini belirlemeyi test etmişlerdir. Jeomorfolojik, litolojik, yapısal ve arazi kullanımı gibi tematik katmanların yardımıyla Poisson olasılık modeli ile heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada heyelan çalışmaları için bir olasılık modeli önerilmiştir.

Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2011) Yenice, Karabük'te yaptıkları çalışmada AHP yöntemi kullanarak seçilen parametrelerin heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasındaki etkilerini incelemiştir. Parametre seçimi için AHP ile de uyumlu olan temelinde benzerlik ilişkisi olan Heyelan İlişkisi İndeksi (LRI) metoduna önerilmiştir. Bu kapsamda 7 adet heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Eğri altında kalan alan (AUC) yaklaşımına göre üretilen haritalardaki en iyi sonuç veren harita 9 parametre kullanılarak hazırlanan ve AUC değeri 0.797 olan haritadır. Bu haritaya göre çalışma alanı %38.3'ü çok düşük, % 8.5'i düşük, %15.0'ı orta, %20.3'ü yüksek ve %17.9'u çok yüksek duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.

Hepdeniz (2020) Antalya'da yapılan çalışma için litoloji, eğim, yollardan uzaklık, akarsulardan uzaklık, arazi örtüsü, yağış, yükseklik ve bakı gibi parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler AHP ve FR modelleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. AHP modeline göre litoloji (0,410) ve eğim (0,197) heyelanlar için en önemli faktörlerdir. Frekans Oranı yöntemine göre ise litoloji ve yükseklik parametreleri heyelanlar için en önemli faktörlerdir. Heyelan bölgeleri düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır İki farklı yöntemin kullanılması sonucunda aynı çalışma alanında, aynı parametreler baz alındığında dahi duyarlılık haritalarında küçük farklılıklar görülmektedir.

Hung ve diğ. (2016) Viyetnam’da yapılan çalışmada 216 heyelan incelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması için yükseklik, eğim, drenaj yoğunluğu, faya yoğunluğu, ayrışma kabuğu ve arazi örtüsü parametreleri kullanılarak AHP ve WLC yöntemlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre heyelanların %47.69’u yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir ve bu alanlar çalışma alanının %40.96’sıdır.

Intarawichian ve Dasananda (2010) yılında Kuzey Tayland bölgesinde 25 farklı lokasyon üzerinde yaptıkları çalışmada yükseklik, eğim yönü, eğim açısı, drenajdan uzaklık, litoloji, çizgisellikten uzaklık, toprak dokusu, yağış, arazi kullanımı/arazi örtüsü (LULC) ve NDVI olmak üzere 10 farklı parametre kullanılmıştır. Analiz sonucu, %64,90 doğruluk oranına ulaşılan mevcut heyelan lokasyonları kullanılarak doğrulanmıştır. Etki ağırlıklarına bakıldığında heyelana en çok neden olan parametreler; yağış (0.259), litoloji (0.17) ve eğim açısı (0.165) olarak hesaplanmıştır.

Jazouli ve diğ. (2019) Fas’ta yaptıkları çalışmada arazi örtüsü, litoloji, yola olan mesafe, faya olan mesafe, drenaj ağına olan mesafe, yükseklik, bakı ve eğim derecesi parametrelerini kullanarak AHP yöntemi ile CBS ortamında heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Çalışma alanı çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %30.16 çok düşük %12.66 düşük, %25.75 orta, %22.59 yüksek risk altında ve %9.11 çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.

Kayastha ve diğ. (2013) Nepal’de yaptıkları çalışmada eğim yönü, eğim açısı, eğim eğriliği, göreceli rahatlama, arazi kullanımı, jeoloji, faylardan uzaklık, antiklinal kıvrımlarından uzaklık, senklinal kıvrımlardan uzaklık, akarsulardan uzaklık ve yıllık yağış parametreleri ile AHP yöntemini kullanarak bölgenin heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. İnceleme alanının %10’u çok yüksek, %20’si ise yüksek duyarlılığa sahiptir. Yapılan analizlerde başarı oranı eğrisi %77.54 olarak bulunmuştur.

Kılıçoğlu ve diğ., (2021) Samsun’da yaptığı çalışmada Frekans Oranı (FR) metodu ile yükseklik, eğim, bakı, eğrilik (plan ve profil eğriliği), yola, drenaj ağlarına ve faya yakınlık, topografik nemlilik indeksi ve jeoloji parametrelerini kullanmıştır. Üretilen duyarlılık haritaları; çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük derecede duyarlı

alanları gösterecek şekilde 5 sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %4.4'ünün çok düşük, %17.4'ünün düşük, %21.2'sinin orta, %42.2'sinin yüksek ve %14.8'inin ise çok yüksek derecede duyarlı alanlarda kaldığı tespit edilmiştir.

Lee ve Min (2002) Güney Kore'de yaptıkları çalışmada uzaktan algılama, LR modelini kullanarak CBS ortamında inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Çalışmada bakı, eğim, eğrisellik, toprak dokusu, malzeme, drenaj, kalınlık, orman (ağaç tipi, çapı yaşı) parametreleri kendi aralarında da veri tabanlarına ayrılarak LR modeli ile hesaplanmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası inceleme alanında daha önce meydana gelmiş heyelanların yerleri ile uyum göstermiştir.

Mandal ve Mandal (2018) Hindistan'da yapılan çalışmada 188 tane heyelan incelenmiştir ve eğim açısı, eğim yönü, yamaç eğriselliği, yükseklik, göreceli yükseklik, jeomorfoloji, jeoloji, çizgiselliğe olan mesafe, çizgisellik yoğunluğu, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, NDVI, drenaj yoğunluğu, drenaj mesafesi, akarsu güç indeksi, topografik ıslaklık indeksi, ve yağış parametreleri belirlenmiştir. CR değerlerine bakıldığında litoloji (CR 0.147), eğim (CR 0.138), drenaj yoğunluğu (CR 0.115), yağış (CR 0.108) ve toprak (CR 0.090), jeomorfoloji (CR 0.078), göreceli yükseklik (CR 0.063), çizgisellik yoğunluğu (CR 0.061), eğim eğriliği (CR 0.049), arazi kullanımı/örtüsü (CR 0.037), drenajdan uzaklık (CR 0.028), çizgisellik mesafesi (CR 0.024), SPI (CR 0.018), TWI (CR 0.014), NDVI (CR 0.012), eğim yönü (CR 0.010) ve yükseklik (CR 0.008) olarak sonuçlandırılmıştır. Bu verilere göre litoloji, eğim, drenaj yoğunluğu ve yağış olduğu görülmektedir.

Mazman ve Çan (2005), Bartın ilinin güneydoğusundaki heyelandan zarar görmüş yapıların bulunduğu bölgede heyelan duyarlılık çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada Mantıksal Regresyon yöntemi kullanılarak CBS ortamında heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında jeoloji, eğim, yamaç yönelimi, yamaç şekli, orman sınıflandırması, yerleşim birimleri ve yükseklik parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %48,83'ü çok düşük, %11,35'i düşük, %12,77'si orta, %14,46'sı yüksek, %12,57'sinin ise çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Mevcut heyelanların ise %2,53'ü çok düşük, %6,73'si düşük, %13,25'i orta, %30,93'ü yüksek, %46,53'ünün ise çok yüksek duyarlı bölgelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Mondal ve Maiti'nin (2013) Hindistan'da yaptıkları çalışmada litoloji, şev açısı, şev yönü, şev eğriliği, drenaj yoğunluğu, yamaca katkıda bulunan alan, çizgisellik, yerleşim yoğunluğu, yola katkıda bulunan alan ve arazi kullanımı ve arazi örtüsü olarak belirlenmiştir. Bu parametreler üzerinde yapılan analizlerde heyelan bölgeleri çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır ve heyelanı en çok tetikleyen parametreler ise etki ağırlıklarına göre; eğim derecesi (0.2944), litoloji (0.2150), drenaj (0.1537) ve çizgisellik (0.1087) olarak hesaplanmıştır.

Moradi ve diğ., (2012) İran'da yapılan çalışmada heyelan envanteri, yağış, litolojik ayrışma, deprem, eğim, arazi örtüsü, dereye uzaklık ve yola uzaklık katmanları kullanılarak AHP ve CBS yardımıyla bölgenin heyelan duyarlılık haritası çıkarılmıştır. Bölgedeki heyelanların büyük çoğunluğu dik eğim, akarsu kaynaklı erozyon ve litolojiden kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, aktif heyelan bölgelerinin %82'si yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip bölgelerden oluşmaktadır.

Okalp (2013) yaptıkları çalışmada yarı-niteliksel ve niteliksel yöntemleri kullanarak tüm Türkiye'nin heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. AHP yöntemi kullanılarak 8 ve 10 parametre kullanılarak havzalar üzerinde analizler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda yarı-niteliksel yöntemlerin sezgisel yöntemlere göre daha uygun sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada yarı-niteliksel yöntemler için en çok kullanılan parametreler eğrilik, arazi şekli ve depremdir. Elde edilen sonuçlara göre en çok heyelan duyarlılığına sahip illerin Amasya, Sakarya, Muş, Çankırı ve Bartın olduğunu belirtmişlerdir.

Özşahin (2014) Antakya, Hatay'da yapılan çalışmada CBS ve AHP kullanılmış ve bölgenin kütle hareketleri açısından düşük duyarlılık sınıfında yer aldığı saptanmıştır. Bunun nedeni ise inceleme alanının eğimin az olduğu alanlara karşılık gelmesi olarak gösterilmiştir. Buna karşın bölgenin aktif deprem kuşağında yer alması sebebiyle afet riskinin devam ettiği belirtilmiştir.

Pourghasemi ve diğ., (2012) İran'ın Haraz bölgesinde yapılan çalışmada toplam 78 adet heyelan incelenmiştir. 55 tanesi analiz için kullanılırken 23 tanesi elde edilen sonuçları test etmek için kullanılmıştır. Eğim derecesi, yönü, plan eğriliği, yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, nehirlerden uzaklık, yollardan uzaklık, faylardan uzaklık, akarsu güç indeksi,

eğim uzunluğu ve topografik ıslaklık indeksi parametreleri belirlenmiştir. İstatiksel analiz olarak Bulanık Mantık ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ise BM yöntemi %89.7 iken AHP %81.1 oranında performans göstermiştir.

Phukon ve diğ., (2012) Hindistan'nın Guwahati şehrinde hazırladıkları heyelan duyarlılık haritası için AHP yöntemini kullanmışlardır. Harita için eğim, arazi kullanımı, jeoloji, drenajden uzaklık, çizgisellikten uzaklık parametrelerini inceleme alanı için uygun görmüşlerdir. Analiz sonucunda ise inceleme alanının %11,1'inin yüksek duyarlılık, %5,89'unun orta duyarlılık ve %83,01'lik alanın düşük ila çok düşük duyarlılık bölgesine düştüğünü göstermektedir. Geçmiş heyelan konumları, geçmiş heyelanların ~%71'inin yüksek duyarlılık bölgesinden ve ~%26'sının orta duyarlılık bölgesinden olduğunu göstermiştir.

Rahim ve diğ., (2018) Pakistan'da yapılan çalışmada heyelan bakımından oldukça duyarlı olan ve 16 büyük heyelan alanına sahip Ghizer bölgesinde AHP yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Değerlendirme için eğim, bakı, yükseklik, drenaj ağı, Akarsu Güç İndeksi (SPI), Topografik Islaklık İndeksi (TWI), litolojik birimler, fay hatları, yağış, yol ağı, arazi örtüsü ve toprak dokusu parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca arazi örtüsünün heyelan duyarlılığındaki etkisini belirlemek için 1999-2015 yılları arasında arazi örtüsünün değişimi değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yüksek ve çok yüksek duyarlı alan inceleme alanının %74.38 oranındadır ve heyelana neden olan birincil parametre eğim olarak belirlenmiştir.

Reis ve diğ., (2012) Rize'de FR, AHP kullanılarak uzaktan algılama ve CBS ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz için litoloji, eğim açısı, eğim yönü, arazi örtüsü, dereye olan mesafe, drenaj yoğunluğu ve yola olan mesafe parametreleri kullanılmıştır. Arazi örtüsünün analizi için uzaktan algılama yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre aktif heyelan bölgeleri FR için %73 oranında, AHP için %70 oranında yüksek ve çok yüksek duyarlılık bölgesi olarak sınıflandırılmıştır. FR yöntemi daha uygun sonuç vermiştir. AHP için parametrelerin sayısının artmasının daha iyi sonuç verebileceği öne sürülmüştür.

Rozos ve diğ., (2011) Yunanistan'da yapılan çalışmada heyelan duyarlılık analizi için Kaya Mühendislik Sistemi (RES) ile AHP yöntemleri karşılaştırılmıştır. İnceleme alanı

için litoloji, tektonik çizgisellikten uzaklık, eğim açısı, bakı eğimi, yağış, rakım, arazi kullanımı, yollardan uzaklık, nehirlerden uzaklık, süreksizliklerin geometrisi parametreleri kullanılmıştır. İki yöntem sonucunda elde edilen duyarlılık haritaları incelendiğinde RES yönteminin AHP yönteminden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Semlali ve diğ., (2019), Fas'ın kuzeydoğusunda %25 eğime sahip bölgede yapılan çalışmada AHP ve CBS kullanılarak bölgenin heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bölgenin yüksek eğime sahip olması nedeniyle veri toplanmasında zorluklar yaşanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgedeki heyelanların yalnız eğim nedeniyle değil aynı zamanda litoloji ve arazi örtüsünün de etkili olduğu belirtilmiştir.

Suh ve diğ., (2011), Kore'deki otoyol yamaçları üzerinde yaptıkları çalışmada eğim yüksekliği, eğim uzunluğu, eğim durumu, üst eğim eğimi, litoloji, en yakın faya olan mesafe ve eğimin eğim yönü parametreleri ve AHP, WOE, bulanık mantık yöntemleri kullanılarak CBS ortamında heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. AUC yöntemi ile değerlendirilen analizler için %74 ile WOE yönteminin inceleme alanı için en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir.

Tazik ve diğ., (2014) İran'da yaptıkları çalışmada eğim, bakı, yükselti, litoloji, yağış, arazi örtüsü, faydan uzaklık, yoldan uzaklık ve nehirlerden uzaklık parametrelerini bölge için belirlemişlerdir. Bulanık Mantık, FR ve AHP yöntemlerinde bu parametreleri değerlerini ve ağırlıklarını tek tek hesaplayıp, 3 yöntemi birleştirerek heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Hazırlanan haritaya göre heyelanların %51'i yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde, %26'sı düşük ve çok düşük duyarlı bölgelerde meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgeleri tarım ve mera alanları oluştururken, düşük ve çok düşük bölgeleri yoğun orman alanları oluşturmaktadır.

Tekin ve Çan (2019), Denizli'de yapılan çalışmada 1133 km²'lik alanda 300 heyelan incelenmiştir. Mantıksal Regresyon yöntemi kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritasında inceleme alanının %23'ü yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bölgede 500 ev heyelan tehlikesi nedeniyle tahliye edilmiştir.

Xiong ve diğ., (2017) Endonezya yapılan çalışmada AHP, Lojistik Regresyon (LR), İstatiksel İndeks (SI) ve Entropi İndeksi (IOE) yaklaşımları ile bölgenin heyelan duyarlılığı incelenmiş ve haritalar hazırlanmıştır. Kullanılan parametreler eğim dikliği, litoloji, fay mesafesi, arazi kullanımı, nehre olan mesafe ve yağış şeklindedir. Bölgede bulunan 114 heyelan incelenmiştir. Bu heyelanların 86 tanesi inceleme yapmak için 28 tanesi de çıkan sonucu test etmek için kullanılmıştır. Farklı yaklaşımlarla oluşturulan heyelan duyarlılığında birbirleriyle uyumlu sonuçlar vermemiştir. Bu yaklaşımlar arasında inceleme alanı için en iyi sonucu LR yöntemi sağlamıştır.

Yalçın (2007) Rize'nin Ardeşen bölgesinde, 16 aktif heyelan alanında çalışmıştır. AHP, İstatiksel indeks (Wi) ve ağırlık faktörü (Wf) yöntemleriyle üç farklı heyelan duyarlılık haritası hazırlamıştır. Heyelan bölgelerindeki heyelanların %98'inin çok ayrılmış birimlerde meydana geldiği belirtilmiştir. Heyelan envanteri, litoloji-ayırışma, eğim, bakı, arazi örtüsü, dereye uzaklık, drenaj yoğunluğu ve yola uzaklık gibi tematik katmanlar kullanılmıştır. Oluşturulan haritaların güvenilirliğin testi için 16 aktif heyelanı içeren bir heyelan aktivite haritasıyla kıyaslanmıştır ve tam uyum sağlanmadığı gözlemlenmiştir. Kullanılan 3 yöntem kıyaslandığında inceleme alanı AHP yöntemine göre %81 oranında yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında iken, Wi yönteminde %62,5, Wf yönteminde ise %68,8'dir. Bu nedenle en uygun sonucu AHP yönteminin verdiği belirtilmiştir.

Yalçın ve diğ., (2011) Trabzon'da yapılan çalışmada araştırmacılar FO, Wi, Wf, AHP yöntemleri ve LR modelini CBS ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak bölgenin heyelan duyarlılık analizini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçları 50 aktif heyelan bölgesini içeren heyelan aktivite haritası kullanarak karşılaştırmışlardır. İnceleme alanının Wf yöntemine göre %93.29 oran ile yüksek ve çok yüksek duyarlılık, FR %60.98, AHP %62.71, Wi %62.56 ve LR %42.58 sınıfında olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda en iyi sonucu Wf yönteminin verdiği belirtilmiştir.

Yıldız ve Çan (2021), Aydın-Germencik'te FR yöntemi kullanılarak bölgede toplam alanı 6.85 km² olan 59 heyelandan oluşan daha önce hazırlanmış olan heyelan envanter haritasını güncellemiştir. FR yöntemi ile hesaplanan parametreler için eğrinin altında kalan alan (AUC) yaklaşımıyla heyelan envanter haritası üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre inceleme alanının, %13,76'sı çok düşük, %27,34'ü düşük, %21.33'ü orta.

%26,12'si yüksek ve %11,44'ü çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır. Heyelanların %93,08'si yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır.

Zhang ve diğ., (2016) Çin'de yaptıkları çalışmada eğim, bakı, litoloji, arazi örtüsü, bir faya uzaklık, bir yola uzaklık, bir nehre uzaklık ve yağış parametrelerini İstatistiksel İndeks Metodu (SIM) ve AHP kullanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Her parametre için ağırlık değerleri hesaplanarak Heyelan Duyarlılık İndeksi (LSI) değerine uygun olarak inceleme alanı çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. ROC eğrileri elde edilen sonuçların tutarlı ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.1. Tez çalışması kapsamında incelenen önceki yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan parametre ve yöntem yoğunluğu

	Litoloji/Jeoloji	Eğim	Bakı	Yükseklik	Eğim Derecesi	Eğim Yükseklik	Eğrisellik	Tektonik Unsurlar	Arazi kullanımı/örtüsü	Akarsuya Yakınlık	Drenaja Yakınlık	Yola Yakınlık	Akarsu Güç İndeksi	Yağış	Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü	Topografik Nemlilik İndeksi	Toprak Dokusu	Heyelan sayısı	Kullanılan Yöntem
Abay ve diğ. (2019)																		165	Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi
Acar ve Ercanoğlu (2019)																			AHP
Achour ve diğ. (2017)																		29	AHP
Akinci ve Kılıçoğlu, (2015)																			Frekans Oranı (FO)
Ayalew ve Yamagshi, (2005)																		87	Mantıksal Regresyon (MR)
Banerjee ve diğ. (2018)																			AHP-Bilgi Değeri
Biçer ve Ercanoğlu (2020)																		215	MR, FO, AHP
Bilgin ve Maraş (2019)																		40	FO
Çellek ve diğ. (2015)																		829	AHP
Dağ ve Bulut (2012)																		149	FO
Demir (2018)																			FO

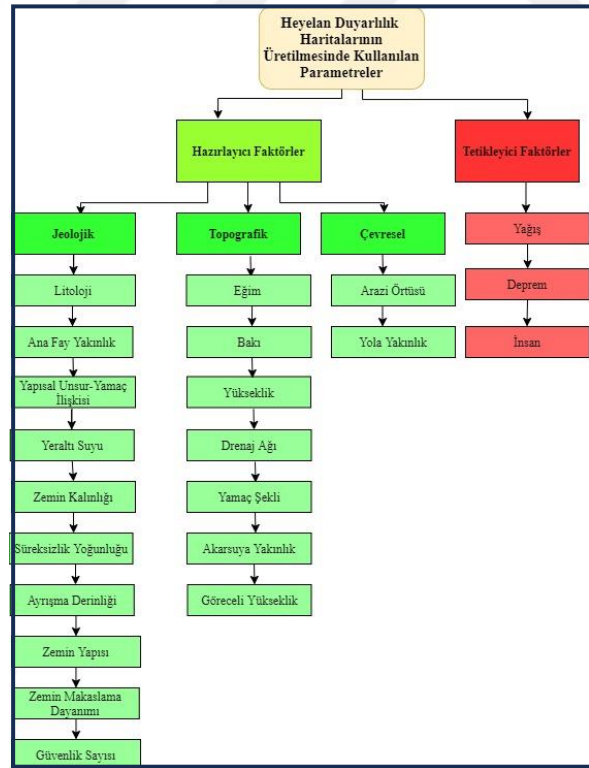
Tablo 3.1. (Devam) Tez çalışması kapsamında incelenen önceki yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan parametre ve yöntem yoğunluğu

Intrarawichia n ve Dasananda (2010)																					25	AHP	
Görüm ve Göneçgil (2006)																							MR
Hepdeniz (2020)																						81	AHP-FO
Jazouli ve diğ., (2019)																							AHP
Kayastha ve diğ., (2012)																							AHP
Kılıçoğlu (2021)																							FO
Mandal ve Mandal (2018)																						188	AHP
Mondal ve Maiti (2013)																						50	AHP-FO
Moradi ve diğ., (2012)																						150	AHP
Phourghasemi ve diğ., (2012)																						78	AHP
Rahim ve diğ., (2018)																						16	AHP
Reis ve diğ., (2012)																						40	AHP-FO
Rozos ve diğ., (2011)																							Kaya Mühendislik Sistemleri-AHP
Suh ve diğ., (2011)																							AHP-Ağırlıklar Yöntemi
Tazik ve diğ., (2014)																							Bulanık Mantık, FO, AHP
Xiong ve diğ., (2017)																						114	AHP, MR, İstatiksel İndeks, Entropi İndeksi
Yalçın ve diğ., (2011)																						50	FO, AHP, MR, İstatiksel İndeks, Ağırlık Faktörü
Zhang ve diğ., (2017)																							İstatiksel İndeks Metodu, AHP

4.MATERYAL VE YÖNTEM

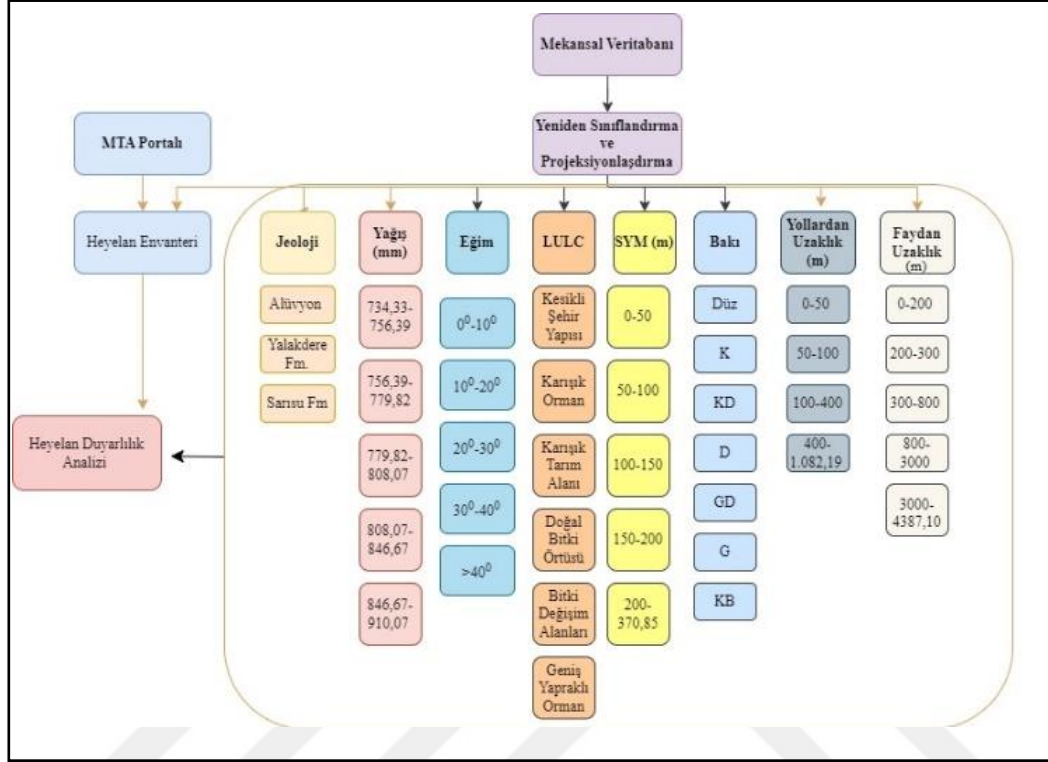
Heyelanların meydana gelmesinde etkili olan etmenler bölgeden bölgeye değişiklik göstermesinin yanında Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) yaptıkları çalışmada heyelanların meydana gelmesine neden olan etmenleri hazırlayıcı faktörler (jeolojik, topografik, çevre) ve tetikleyici faktörler (deprem, yağış ve insan) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4.1).

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında saha gözlemleri yapıldıktan, bölge hakkında önceden yapılan çalışmalar incelendikten ve uzman görüşünün alınmasının ardından, jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı/örtüsü, yükseklik, bakı, yola uzaklık ve faya yakınlık parametrelerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun yanında bölgenin depremselliği, genel morfolojik koşullar ve genel heyelan modeli ile ilgili veriler değerlendirilmiş, bunlarla ilgili altlıklar oluşturulmuş. Tüm bu parametreler sorgulanarak 7.1x7.1 m piksel çözünürlüğüne sahip SYM verisi ile katman haritaları hazırlanmıştır. Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli yöntemleri ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır.



Şekil 4.1. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Parametreler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001)

Bu çalışma için kullanılan tüm veriler değerlendirilerek heyelan duyarlılığını sorgulamak açısından Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli analizleri kullanılmıştır. Analiz yapılırken izlenen adımlar Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Analiz Aşamaları

4.1. Mantıksal Regresyon

Mantıksal Regresyon yöntemi ilk kez 1944 yılında Berkson tarafından öne atılmış, daha sonra Cox (1970) ve Anderson (1979, 1983) tarafından geliştirilmiştir (Bircan, 2004).

Mantıksal Regresyon, aralarında neden-sonuç ilişkisi bulunan bağımlı ve bağımsız değişken olarak kabul edilen değişkenlerden bağımsız olanlar bilindiğinde bağımlı olanın alabileceği değerlerin tahmin etmek için yapılan analizdir. Bu analiz ile bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi matematiksel model hazırlanarak hesaplanmaktadır. Kısaca bu yöntemin temel amacı bağımsız değişken üzerinden bağımlı değişkenlerin olası sonuçlarını model oluşturarak tahmin etmek ve elde edilen tahmin sonuçlarına göre ileriye yönelik bir tahminde bulunmaktır.

Bu çalışmada kullanılan ikili durum (binary) mantıksal regresyon, kategorik, sıralı, süreli bir veya birden fazla bağımsız değişkenin; iki kategoriden oluşan bağımlı değişken üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlayan regresyon analizlerinden biridir.

$$P(Y=1) = P_i = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\dots+\beta_nX_n)}} \quad (4.1)$$

Denklemden P değeri analiz sonucunda elde edilen tahmin edilebilirliği temsil ederken bağımlı değişken (Y) olarak heyelanın olma ve olmama durumu belirlenmiştir. Heyelanın olma durumuna “1”, olmama durumuna ise “0” (referans değeri) atanarak iki kategoriye ayrılmıştır. Bağımsız değişkenler ise denklemin sağ tarafında yer almaktadır. X değerleri bağımsız değişkenleri β değerleri ise bağımsız değişkenlerin regresyon katsayısını temsil etmektedir. e değeri ise hata miktarını göstermektedir. Eşitlik 4.1 ise mantıksal regresyonun analizi sonucundaki fonksiyonun olasılık değerini göstermektedir.

$$MR = \log \left[\frac{P_i}{1-P_i} \right] = Z_i = \beta_0 + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \dots + \beta_n.X_n \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2 ise MR Mantıksal Regresyonu temsil etmektedir. Bu denklemden “X” değerleri bağımsız değişkenleri, “ β ” değerleri ise bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarını göstermektedir.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkene katkısının derecesini ölçmek için Log olabilirlik değeri kullanılmaktadır. Log olabilirlik değeri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır.

Bu çalışmada analize başlamadan önceki log olabilirlik (initial-2Log Likelihood) değeri 116089.434 iken analiz yapıldıktan sonra elde edilen log olabilirlik (-2Log Likelihood) değeri 10825.646 olarak hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerin vermiş olduğu katkı analiz değeri sonrası Log olabilirlik değeri başlangıç Log olabilirlik değerine göre az olduğu için analiz başarılı sayılmaktadır. $p < 0.05$ olması durumunda model anlamlı kabul edilir (Terzi, 2019).

Mantıksal regresyon için kullanılan Odds başarı veya görülme olasılığının “P”, başarısızlık veya görülmemeye olasılığına “1-P” denir (Eşitlik 4.3). Odds değeri (0, $+\infty$) arasında değerler alır.

$$Odds = \frac{P}{1-P} \quad (4.3)$$

Odds Oranı bir durumun olma olasılığı ile olmama olasılığı arasındaki ilişkiyi gösterir. Referans kategorisine göre diğer kategorilerin ortaya çıkma olasılığıdır.

Odds Oranı = $\exp(\beta)$ olarak ifade edilir.

Lojit Fonksiyonu ise Odds Oranı'nın doğal algoritmasıdır. Asimetrik olan Odds Oranı doğal algoritması alınarak simetrik hale getirilir. Değişkenlerin Odds Oranı $(0, +\infty)$ değerleri alırken lojit fonksiyon değeri $(-\infty, +\infty)$ değerlerini alır (Hosmer ve Lemeshow, 1989).

Wald Testi ise analiz için kullanılan bağımsız değişkenlerin model için anlamlı olup olmadığını test etmek için kullanılır.

R^2 değeri verideki belirsizliğin model tarafından açıklanabilen oranını göstermektedir Eşitlik (4.4). Bu eşitlikte L_0 sabit terimin yer aldığı modelin en çok olabilirlik değeri, L , tahmin edilen tüm parametrelerin yer aldığı modelin en çok olabilirlik değerini temsil etmektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\ln L}{\ln L_0} \quad (4.4)$$

Model Ki-kare anlamlı ($p < 0,05$), Cox-Snell R^2 ve Nagelkerke $R^2 > 0,2$ ise modelin anlamlı olduğu, Hosmer-Lemeshow testinde ise $p > 0,05$ ise modelin veriye uyumunun iyi olduğuna karar verilir.

Oluşturulan modelin iyiliğini test etmek için ROC eğrisi kullanılmıştır. Bu analiz ile doğru pozitif (TF) ve yanlış pozitif (FP) tahminleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılır.

Hata (Karışıklık) Matrisi, tasarlanan modelin tutarlılığını test eder. Tablo 4.1 incelendiğinde, ilk karakter tahmin edilen değer doğru bilinip bilinmemesini temsil eder, son karakter ise veri hakkındaki tahmindir. Örneğin TP için verinin pozitif olduğu tahmin edilmiştir, sonuç da pozitif olarak elde edilmiştir bu nedenle bu veri seti için karışıklık matrisi değeri TP ile ifade edilmiştir.

Tablo 4.1. ROC Eğrisi Analizi için Kullanılan Veri Setleri

TAHMİN				
	C ⁺	C ⁻		
GERÇEK	C ⁺	TP	FN	Gerçek Pozitif
	C ⁻	FP	TN	Gerçek Negatif
		Tahmini Pozitif	Tahmini Negatif	Toplam

ROC eğrisi için Duyarlılık ve Özgüllük test sonuçları kullanılmıştır (4.5 ve 4.6). TP (Doğru Pozitif) TN; Doğru Negatif, FP; Yanlış Pozitif değerlerini ile ifade edilmektedir. Eşitlik FP (Yanlış Pozitif), TP; Doğru Pozitif ve FN; Yanlış Negatif değerlerini ifade edilmektedir.

Bu analiz için de TP, TN, FP ve FN veri setlerine ihtiyaç vardır. ROC eğrisi analiz sonucuna göre modelin iyiliği Tablo 4.2’de gösterildiği gibi 5 sınıfa ayrılmıştır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (4.5)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4.6)$$

Tablo 4. 2. ROC eğrisi sınıflaması

Eğrinin Altında Kalan Alan (AUC)	Model İyiliği
0,9	Mükemmel
0,8-0,9	Çok İyi
0,7-0,8	İyi
0,6-0,7	Orta
0,5-0,6	Yetersiz

4.2.Frekans Oranı

Frekans Oranı yöntemi temelde bir olayın ya da durumun gerçekleşme ve gerçekleşmeme ihtimalleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Heyelan duyarlılık analizlerinde sık kullanılan yöntemler arasında yer alır. Bu çalışmada da kullanılan yöntemlerden biri olan Frekans Oranı yöntemi için eğim, jeoloji, arazi kullanımı,

yükseklik, bakı, yağış, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık parametreleri alt sınıflara ayrılarak sınıflandırma yapılmıştır.

Analiz için;

$$FO = \frac{PLO}{PIF} \quad (4.7)$$

Eşitlik (4.7) için PLO; heyelanı etkileyen her bir parametrenin alt kategorisinde yer alan heyelan varlığının yüzdesi, PIF; heyelanı etkileyen her bir parametrenin heyelan varlığının yüzdesi değerlerini temsil etmektedir. Frekans Oranı yöntemine göre parametre değerinin >1 olması heyelanda aktif rol oynadığına, <1 olması ise daha az etkin olduğunu gösterir.

Heyelan Duyarlılık İndeksi (LSI) inceleme alanının heyelan duyarlılık derecesini gösterir (Wubalem, 2021). LSI ne kadar yüksekse o bölgede heyelan meydana gelme olasılığı da o kadar yüksektir.

$$LSI = \sum FO \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.8.'de Heyelan Duyarlılık İndeksi hesaplaması gösterilmiştir. LSI: Heyelan Duyarlılık İndeksi, FO; her parametre için hesaplanan frekans oranlarının toplamını göstermektedir. FO her parametre sınıfı için hesaplanan FO değerlerinin matematiksel toplamını temsil eder.

4.3.Uygunluk Modeli

Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık analizi için kullanılan yöntemlerden biri olan Uygunluk Modeli ile CBS ortamında hazırlanmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Kaliraj ve diğ., 2015).

Her bir parametre ve alt sınıfı için yeniden sınıflandırma yapılması ve etki ağırlığı atanmasına dayalı olan yöntem heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmaktadır.

4.4.Parametrelerin Belirlenmesi

İnceleme alanı ve çevresinde yağış ve sıcaklık değişimleri gibi dönemsel değişimler diğer parametreler ile incelendiğinde bölgedeki heyelan türünün krip veya akma olduğu

görülmektedir. Heyelan envanteri verileri duyarlılık analizlerin için baz alınan veridir. Heyelanın alansal olabirliği ve dağılımını göstermektedir (Yalçın ve diğ., 2007). İnceleme alanında geniş yayılım gösteren 20 adet heyelan incelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritaları arazi gözlemleri, “MTA Yer bilimler Görüntüleyici” portalından alınan heyelanlı bölge verileri ve AFAD Yalova Müdürlüğü tarafından belirlenen heyelan bölgeleri verileri kullanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanındaki duyarlılık analizi jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı, yükseklik, bakı, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık olmak üzere 8 farklı parametreden oluşan katman haritaları ve heyelan envanteri ile yapılmıştır. Bu katmanlar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

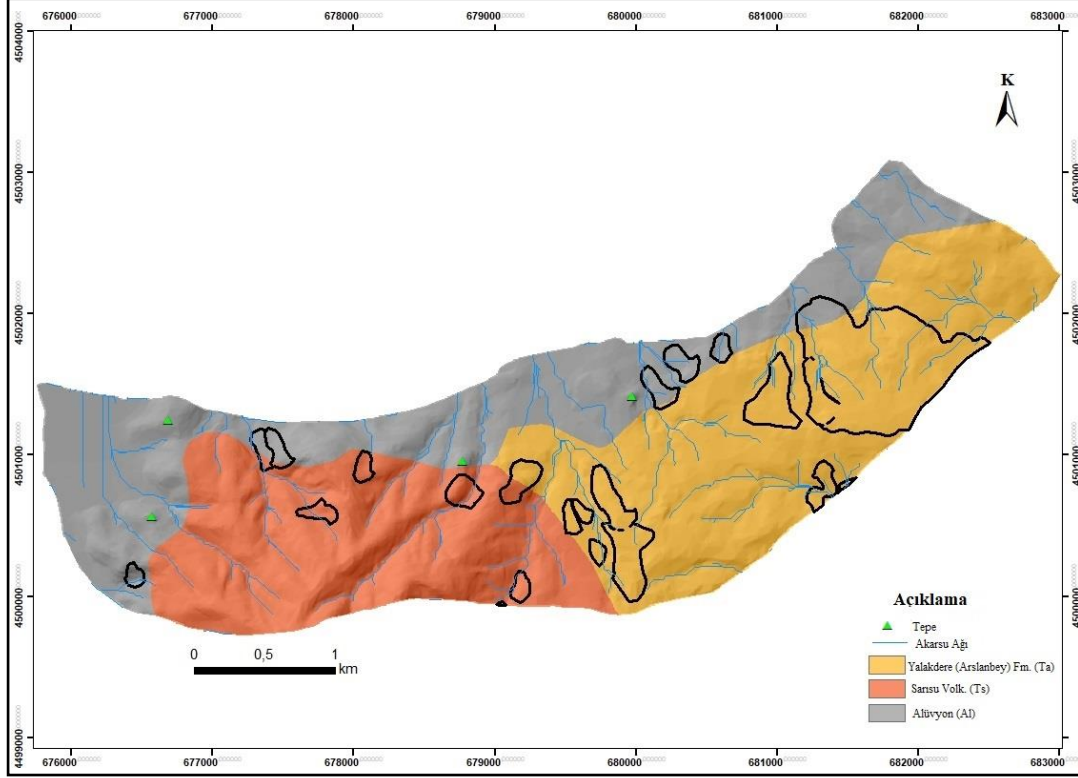
İnceleme alanı olan Yalova ilinin Çınarcık ilçesinde geçmişte de meydana gelen ve bu nedenle tahliye edilen evlerin bulunduğu bölgede çalışmalar yapılmıştır. Yapılan saha gözlemleri, sondaj çalışmaları, inklinometre ölçümleri, laboratuvar deneyleri ve bölgede daha önce yapılmış olan çalışmalar parametre seçiminde yol gösterici yol oynamıştır. İnceleme alanında jeolojik, jeomorfolojik, hidrolojik ve sismik özellikler değerlendirildiğinde jeoloji, eğim, yağış, arazi kullanımı, sayısal yükseklik modeli, bakı, yollara yakınlık ve faya yakınlık olmak üzere 8 parametre kullanılmıştır.

4.4.1.Jeoloji

Heyelan duyarlılık analizlerinde en çok kullanılan parametrelerden biridir. Jeoloji veya jeolojik birimlerin oluşturduğu litoloji yamacın duraylılık durumunu doğrudan etkilemektedir. Jeolojik birimin dayanımı, suya doygunluğu, ayrışma derecesi gibi özellikleri heyelan yamaç duraylılığı açısından önemlidir. Bu çalışmada da inceleme alanı hakkında yapılan önceki çalışmalar, saha gözlemleri dikkate alındığında yapılan analiz için en önemli parametrelerden birinin jeoloji olduğuna karar verilmiştir.

İnceleme alanında da heyelanların meydana gelmesinde en etkili parametrelerden biri jeolojidir ve Sarısu Volkanitleri, Yalakdere Formasyonu ve Kuvaterner Çökeller olmak üzere 3 farklı jeolojik birim bulunmaktadır. Heyelan duyarlılık analizi için kullanılan heyelan envanteri ile hangi birim üzerinde heyelan yoğunluğu olduğu gözlemlenmiştir. Bunun için oluşturulan jeoloji haritası ile heyelan envanteri CBS ortamında çakıştırılmıştır (Şekil 4.3). Bu işlem sonucunda Yalakdere Formasyonu ve Kuvaterner çökellerde heyelan yoğunluğu gözlemlenmiştir. Bu jeolojik birimler için yapılan

literatürde yapılan tanımlama ve saha gözlemleri baz alındığında, birimler günlenmeye maruz kalmış, ayrışma derecesi yüksek ve taneler arasındaki kohezyon kuvveti zayıf olan birimler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.3. İnceleme alanının jeoloji haritası

4.4.2. Yağış

Yamaç malzemesinin suya doygunluk derecesi duraylılığı doğrudan etkilemektedir. İnceleme alanında yamaç duraysızlığına neden olan diğer önemli parametre ise yağıştır.

Yüzey suları ve yeraltı suları arasındaki ilişki de duraylılığı etkilemektedir. Yeraltı suyu yamacın topuk kısmındaki bitkiler için su sağlar ve makaslama dayanımını kontrol ederek yüzey suyunu, yamaç duraylılığı ve erozyon süreçlerini etkiler (Yalçın ve diğ., 2009). İnceleme alanındaki birimler arasında zayıf kohezyon kuvveti bulunmaktadır. Bu durum ise bölgedeki yer altı ve yüzey sularının taneler arasına kolaylıkla girerek gevşek olan malzemeyi ayrıştırmasına neden olabilmektedir. Ayrıca suyun taneler arasına girmesiyle yamaç yükünde de bir artış olmaktadır. Böylece çok fazla su girişi yamacın yük dengesini değiştirerek ve duraylılığını bozarak heyelanın oluşumuna neden olmaktadır. CNG Mühendislik tarafından Hasanbaba Mevkii'nde Yalakdere Formasyonunda yapılan statik

ve dinamik yer altı su seviyesi ölçümlerinde ise bölgenin yer altı suyu bakımından zengin olduğu görülmüştür. Şekil 4.4’de Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre 1931-2021 yılları arasında inceleme alanı ve çevresinin aylık toplam yağış miktarı verilmiştir.

İnceleme alanı sınırları içinde yer alan Hasanbaba Mevkii’nde CNG Mühendislik tarafından yapılan yer altı su ölçümü çalışmalarında 10 farklı kuyuda ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ise statik su seviyesi bölgede yağışın yoğun olduğu dönemlerde 5,50, 6,50, 7,00, 7,50 ve 9,00. metrede ölçülmüştür. Yer altı su seviyesinin ölçümlerinin yapıldığı dönem Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre yağışın yoğun olduğu döneme denk gelmektedir.

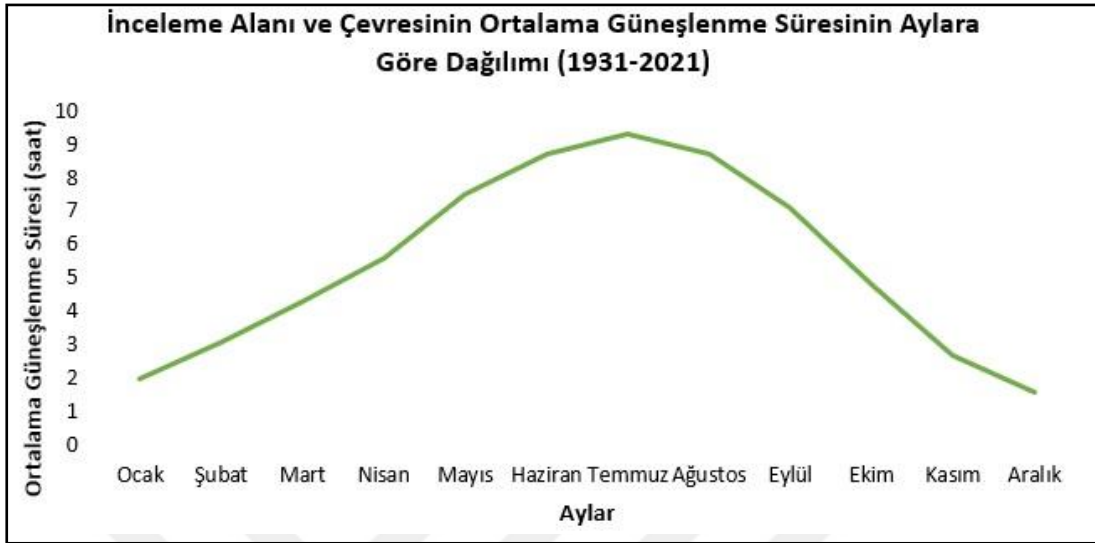


Şekil 4.4. İnceleme alanı ve çevresinin 1931-2021 yılları arasındaki aylık toplam yağış ortalaması (mgm.gov.tr)

Ayrıca heyelan envanterine göre de inceleme alanında en çok heyelanın meydana geldiğin bölge yer altı suyu bakımından zengin olan Yalakdere Formasyonu’ndan oluşmaktadır. Yalakdere Formasyon’un kırıntılı ve gevşek malzemeli yapısı ile yer altı ve yüzey sularının birleşmesi ile heyelan için uygun ortam oluşmaktadır. Yüzey ve yer altı suları seviyelerinin yağışlı dönemde yükselmesi ile litolojik etkenlerin birleştiği dönemlerde heyelan yüzeysel akma olarak görülürken, kurak dönemlerde sızıntı suların etkisiyle kripi (yavaş akma) olarak görülmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 124.2 iken aylık toplam yağış miktarı ortalama olarak 756.9 mm’dir (Şekil 4.4). Ortalama yağışlı gün sayısı ise ocak, şubat, mart aylarında yoğunluk göstermektedir. Aynı aylar için

günlenme süresi (saat) de oldukça kısadır (Şekil 4.5). Bu değerler yılın bu dönemlerinde zeminin suya doygunluğunun karşılandığını göstermektedir.



Şekil 4.5. İnceleme Alanı ve çevresinin 1931-2021 yılları arasında ortalama güneşlenme süresi dağılımı (mgm.gov.tr)

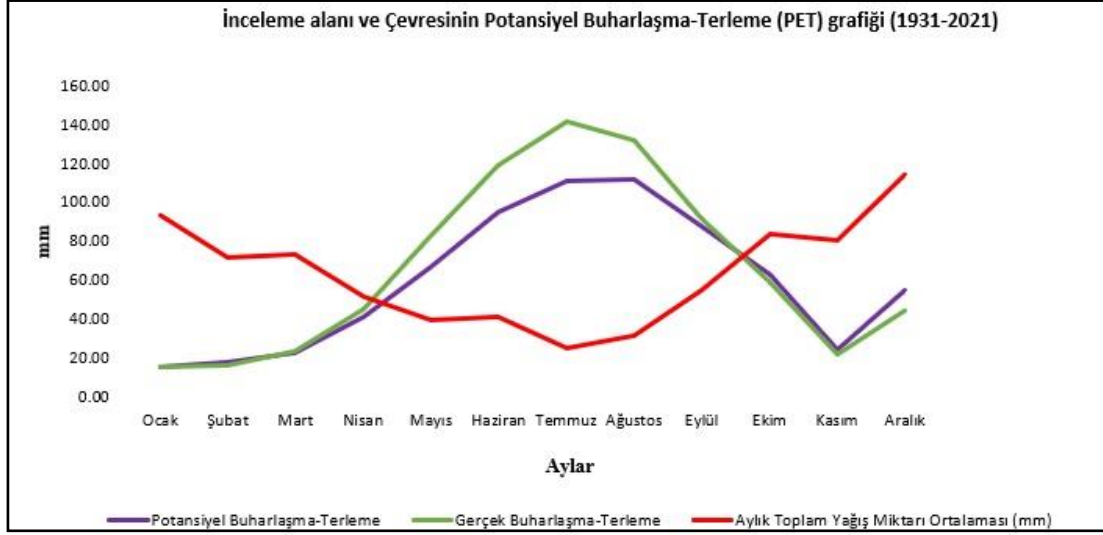
İnceleme alanının litolojisinin gevşek malzemeden oluşması dikkate alındığında yağışın yoğun olduğu dönemlerde zemin suya doycaktır. Zeminin su doygun veya fazla doygun olması ile taşıdığı yükün artması ve malzemenin su tarafından ayrışmasıyla yamaç duraysızlığının meydana gelmesi beklenmektedir. İnceleme alanı için yağış miktarı ile yamaç duraysızlığı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanı ve çevresinin buharlaşma-terleme değerlerinin hesaplanması için Thornthwaite (1948) yönteminden yararlanılmıştır. Hesaplamalar sonuçları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde zeminin yağış kaynaklı su doygunluğunun fazla olması sığ veya yarı-derin yamaç duraysızlıklarına neden olan parametrelerden biridir. Zeminin derinliklerinde ise yağış kadar yer altı suyunun varlığı ve zemin yüzeyine yakınlığı da yamaç duraysızlığına neden olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en fazla buharlaşma-terleme haziran, temmuz ve ağustos aylarında gözlemlenmiştir. İnceleme alanı ve çevresinin ortalama güneşlenme süresi (saat) de haziran, temmuz ve ağustos aylarında en yüksek seviyededir. Veriler birbiri ile örtüşmektedir. Güneşlenme süresinin fazla olduğu zaman diliminde buharlaşma-terleme değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Yılın bu dönemlerinde

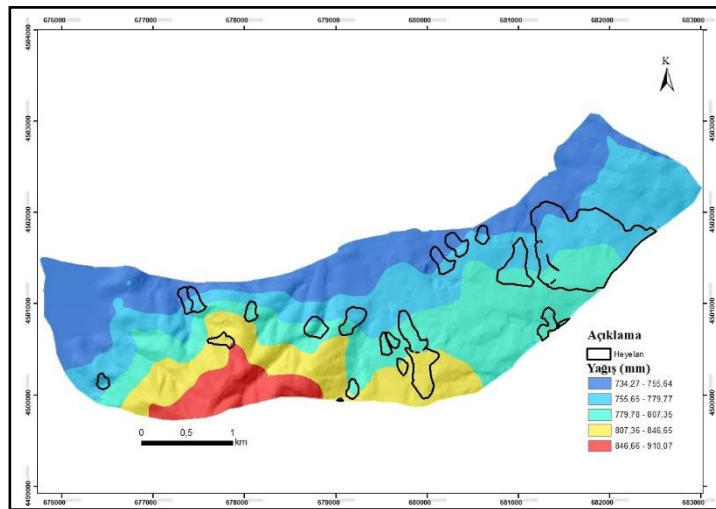
hem su doygunluğunun az olması hem de yağış miktarının az olması sebebi ile heyelanların yoğun olarak meydana gelmesi beklenmemektedir.

PET grafiğine bakılarak heyelanların meydana geldiği dönem ile buharlaşma-terleme arasında bir bağlantı olup olmadığı incelenmiştir ve analiz için anlamlı bir katkı olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. İnceleme alanı ve çevresinin Potansiyel Buharlaşma-Terleme grafiği. Mor çizgi potansiyel buharlaşma-terleme miktarını, yeşil çizgi ise düzeltme faktörleri hesaplanarak elde edilmiş gerçek buharlaşma-terleme değerleri

Şekil 4.7’de gösterildiği gibi yağış verileri CBS ortamında sayısallaştırıldıktan sonra 5 sınıfa ayrılmıştır. Haritaya göre en az yağış 734,53 mm/cm² iken en fazla yağış 910,07 mm/cm² şeklindedir.

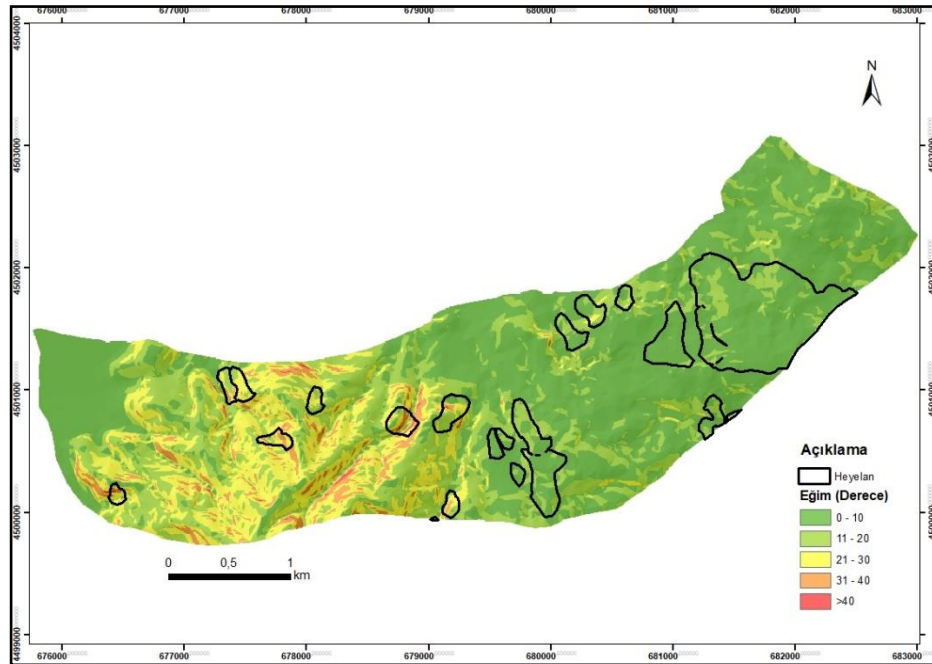


Şekil 4.7. İnceleme Alanının Yağış Haritası

4.4.3.Eğim

Yamaç duraysızlığı üzerine yapılan çalışmalarda en çok kullanılan parametrelerden biridir. Yapılan birçok çalışmada eğim ile yamaç duraysızlığı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu savunulmuştur. Bazı araştırmacılar ise eğim derecesinin yüksek olmasının tek başına heyelana neden olacağı düşünmemektedir. Zemin ortamlarında heyelanın gerçekleşmesi için en az 1-2 metre kalınlığa ihtiyaç duyulduğunu fakat çok yüksek eğimli yerlerde erozyon ile bu kalınlığa her zaman ulaşılamayacağı belirtilmiştir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

İnceleme alanı ve çevresinde genel eğim güneydoğu yönlüdür. İnceleme alanında tepe düzlüklerinde eğim derecesi düşüktür ve vadiler K-G yönlü uzanımlıdır. Vadi sırtlarında ise eğim derecesi artmaktadır. Bölgenin aktif bir tektonizmaya sahip olması ve bu tektonik faaliyetlerin şu an aktif olan veya kurumuş su yolları açması ile taneler arasındaki zayıf kohezyon kuvveti olan genç birimlerin aşınması nedenler arasında gösterilebilir. İnceleme alanındaki heyelanlı bölgeler ile eğimli bölgeler arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Heyelan yoğunluğunun olduğu alanlar daha çok, 11°-20° eğim derecesi aralığındadır. Litolojinin gevşek olması ve yamacın eğimli olması herhangi bir yük değişiminde heyelan oluşma sürecini hızlandırabilir. İnceleme alanında yapılan çalışmalar ile belirlenen parametre 0° -10°, 11° 20°, 21° -30°, 31°-40° ve >40° şeklinde 5 alt parametreye ayrılmış ve hesaplanmıştır (Şekil 4.8).



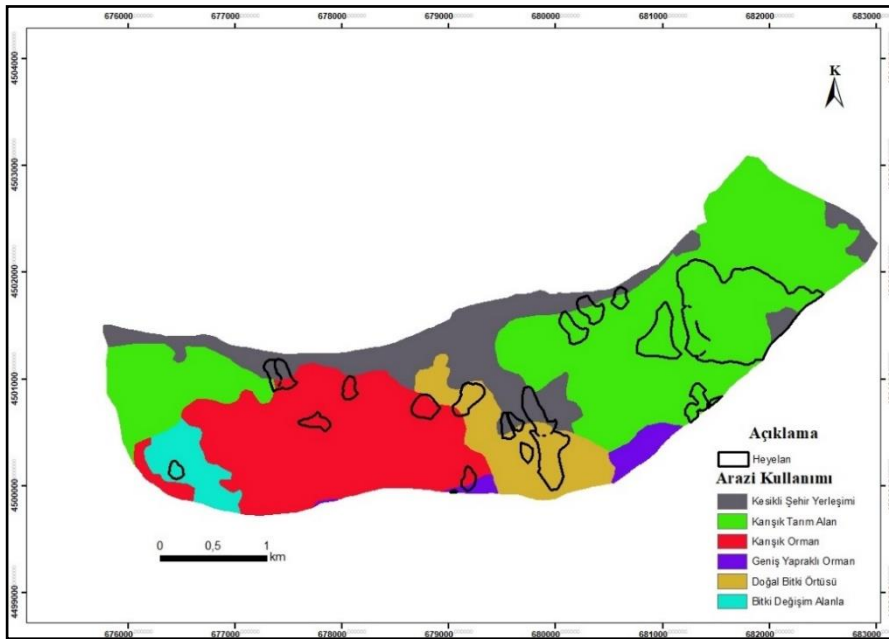
Şekil 4.8. İnceleme alanının eğim haritası

4.4.4.Arazi Kullanımı

İnceleme alanında arazi, yerleşim alanları, ormanlık alanlar, bitki örtüsü içeren alanlar, yollar vb. şekilde yamaç duraysızlığını neden olan etmenler şeklinde kullanılmıştır.

Daha öncede belirtildiği gibi gevşek malzemedan oluşan yamaç üzerinde herhangi bir yük değişikliği yamacın stabilitesini bozarak heyelanın meydana gelmesine neden olmaktadır. Yerleşim alanları heyelan duyarlılığı olan yamaçların topuk kısmında bulunmaktadır. Topuk kısmındaki zemin malzemesinin tahliye edilerek yerine yapılar yapılması stabilizeye zarar vermektedir. İnceleme alanında daha önce meydana gelen heyelanlar nedeniyle bazı evlerde gözle görülen hasarlar meydana gelmiştir ve tahliye edilmiştir.

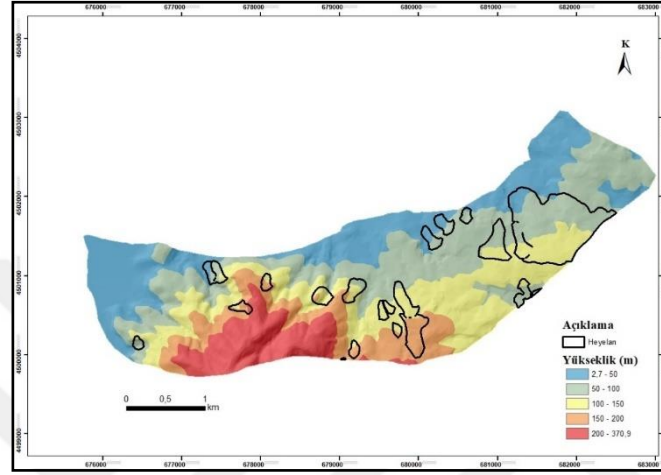
İnceleme alanında yapılan yollarda zamanla yer yer çökme ve göçme meydana gelmiştir. Açılan yol yarmaları yamacın duraylılığını bozarak yük azalmasına daha sonra yol yapma işlemi tamamlandıktan sonra trafik oluşmasıyla yük artışına neden olmaktadır. Bu yük dengesizliğinin nasıl giderileceği doğru hesaplanmazsa daha büyük hasarlara ve kayıplara neden olabilir. İnceleme alanı ve çevresi için arazi kullanımı verileri (URL- 9) alınmıştır ve CBS ortamında sayısallaştırılmıştır (Şekil 4.9). İnceleme alanı arazi kullanımı bakımından Dağınık Şehir Yerleşimi, Karışık Tarım Alanı, Karışık Orman, Geniş Yapraklı Orman, Doğal Bitki Örtüsü ve Bitki Değişim Alanları olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 4.9. İnceleme alanının arazi kullanımı haritası

4.4.5.Sayısal Yükseklik Modeli

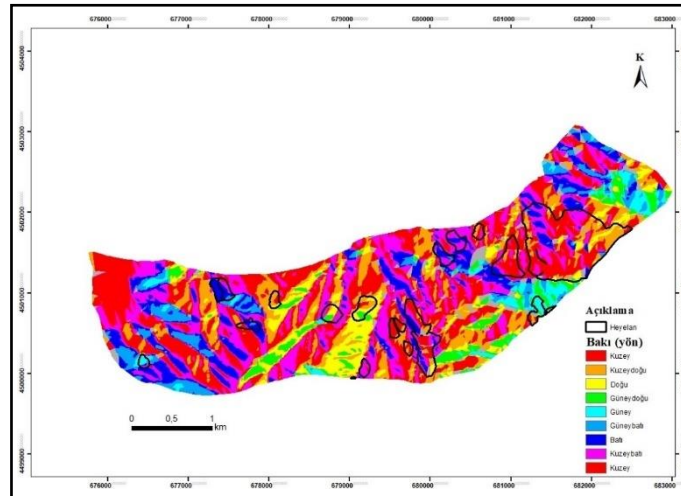
Yamaç duraysızlığı analizlerinde en çok kullanılan parametrelerden biri de yamacın deniz seviyesinden yüksekliğini ifade eden topografik yüksekliktir. İnceleme alanındaki yükseklik 2,6 ile 371,26 metre arasında değişiklik göstermektedir ve CBS ortamında 2,7-50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-370,9 m olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. İnceleme alanının Sayısal Yükseklik Modeli

4.4.6.Bakı

Bakı, yamaçların yönü hakkında bilgi verir ve inceleme alanı için önemli olan parametredir. Bakı yamacın yönüne göre günlemeye maruz kalma, yağış ve rüzgâr gibi litolojiyi zayıflatır ve ayrışmaya neden olur. Bu etmenler ile zayıflayan ve ayrışan litoloji ise yamacın duraylılığının kaybetmesi ile heyelana neden olur. Bakı düz, doğu, batı, kuzey, güney, kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatı şeklinde sınıflandırılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. CBS ortamında hazırlanan inceleme alanının bakı haritası

4.4.7.Faya Uzaklık

İnceleme alanı ve çevresinde tektonizma üzerine yapılan çalışmalarda tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen depremlerden olan 1719 İzmit fayının, 1754 ve 1894 yıllarındaki depremlerde ise Çınarcık havzasındaki fayların kırılmış olabileceği düşünülmektedir. Aletsel dönemde ise 1963 yılında meydana gelen 6.3 büyüklüğündeki depremin Çınarcık Fayı'nın etkisinde olduğu yorumlanmıştır.

İnceleme alanının da içinde yer aldığı Çınarcık havzasının kuzey yamacında deniz altında Tuzla heyelanı adı verilen bir heyelan meydana gelmiştir (Gazioğlu ve diğ., 2002). Bu heyelanın tektonik aktiviteler sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir.

İnceleme alanındaki litoloji gevşek malzemedan oluştuğu için deprem dalgalarından daha çok etkilenecek ve daha çok zarar görecektir. Aktif tektonizmaya sahip olan bölgelerdeki malzemeler tektonizma nedeniyle zarar gördüğü için duraysızlık bakımından yüksek riskli bölgeler olmaktadır.

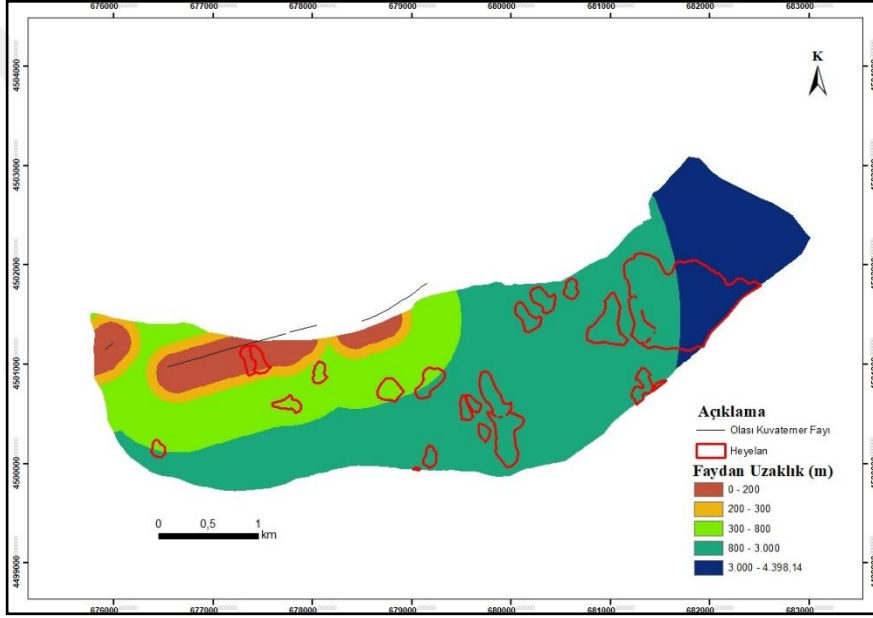
İnceleme alanı içerisinde yer alan ve "MTA Diri Fay Haritası"na göre Olası Kuvaterner Fayı olarak tanımlanan fay bulunmaktadır. Diğer yandan, inceleme alanında heyelan yoğunluğunun fazla olduğu bölgede herhangi bir aktif fay aktivitesi gözlemlenmemiştir. İnceleme alanı ve heyelan duyarlılık arasındaki ilişkiye bakıldığında, inceleme alanı içerisindeki fayın heyelan duyarlılığı ile arasında doğrudan bir ilişki olmadığı görülmüştür.

İnceleme alanı dünya üzerinde en aktif faylardan biri olarak kabul edilen KAFZ Adalar Segmentine ~11 km, KAFZ Çınarcık Segmentine ~4km, Esenköy Fayına ~6 km, Orhangazi Fayına ~12 km, Yalova Fayına ~14 km, Armutlu Fayına ~21 km, Altınova Fayına ~25 km, Yaladere Fayına ~36 km, KAFZ Darıca Segmenti-1'e ~22 km ve Darıca Segmenti-2'ye ~23 km uzaklıktadır. Bölgede küçük ölçekli olası kuvaterner faylar bulunmaktadır. İnceleme alanı ve çevresinin bu faylara uzaklığı ~170 m ile ~3 km arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 4.12).

CBS ortamında "Öklid Uzaklığı" yaklaşımıyla faya uzaklık katman haritası oluşturulmuştur ve yakınlık mesafesine göre 0-200 m, 200-300 m, 300-800 m, 800-3000 m, 3000-4387,1 metre olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. (Şekil 4.13).



Şekil 4.12. MTA Yerbilimleri Portalında inceleme alanı ve çevresindeki faylar



Şekil 4.13. İnceleme alanının faydan uzaklık haritası

4.4.8. Yollara Uzaklık

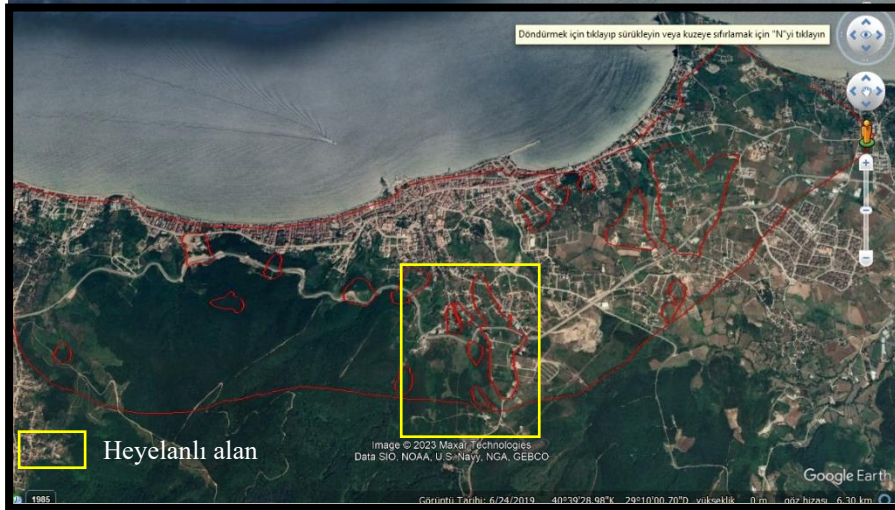
Heyelan duyarlılık analizlerinde fazlaca kullanılan parametrelerden biri de heyelanlı bölgelerin yollara uzaklığıdır. Bunun nedeni ise gevşek zemin ya da yüksek eğim gibi heyelan oluşumunda oldukça etkili olan parametrelerle eş zamanlı etkin olması durumunda hazırlayıcı faktörlerden biri haline gelir.

Yamaç eğimi ve dengesinin bozulması heyelanın meydana gelmesindeki en önemli etkenlerdendir. Yol yapım sürecinde ve daha sonra araçların sürekli yamaç dengesi üzerinde değişikliğe neden olması heyelan oluşumunu tetikleyebilir.

İnceleme alanı ve çevresinde şehirleşmenin de etkisiyle yol açma işlemleri hızlanmıştır. Açılan yol yarmaları bölgedeki heyelanlı alanlarda bulunmaktadır. Bu durum ise yamacın yük dengesini bozmuştur. İnceleme alanındaki bozulan yük dengesi ile birlikte trafik gibi dinamik yüklerin de eklenmesiyle zaman zaman heyelanlar görülmektedir. Özellikle yağışın yoğun olduğu zamanlarda gevşek malzeme ve yüksek eğimle birlikte yollarda çökme gibi istenmeyen durumlar geçmişte meydana gelmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde son 10 yıl içerisinde yol yapma faaliyetlerinin arttığı Google Earth görüntüleriyle de anlaşılmaktadır (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

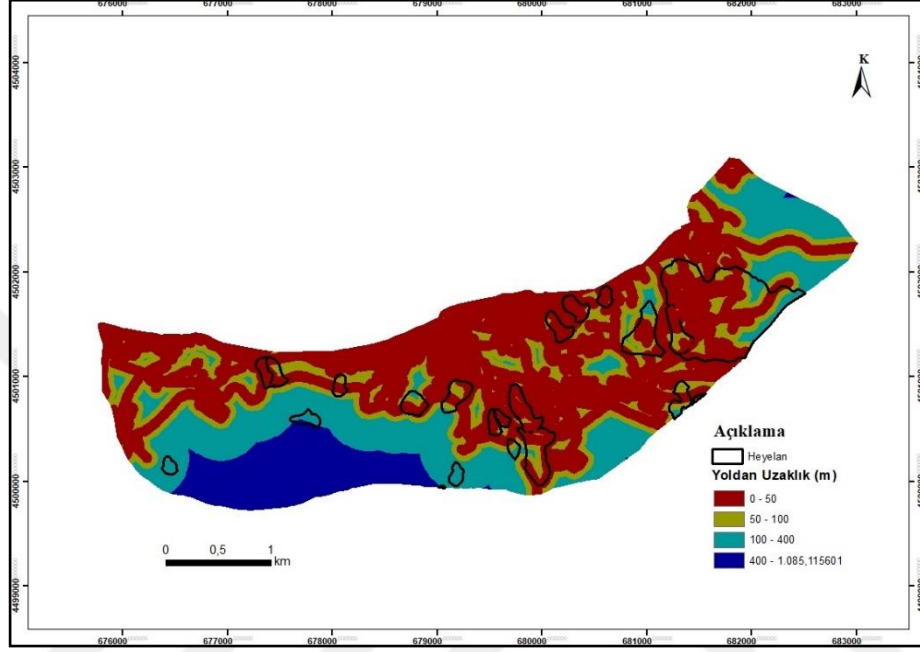


Şekil 4.14. 2006 yılına ait bu görüntüde aktif olan heyelanlı alanlarda yol yapım çalışması öncesi



Şekil 4.15. Yol çalışması yapıldıktan sonra inceleme alanının günümüzdeki (2023) görüntüsü

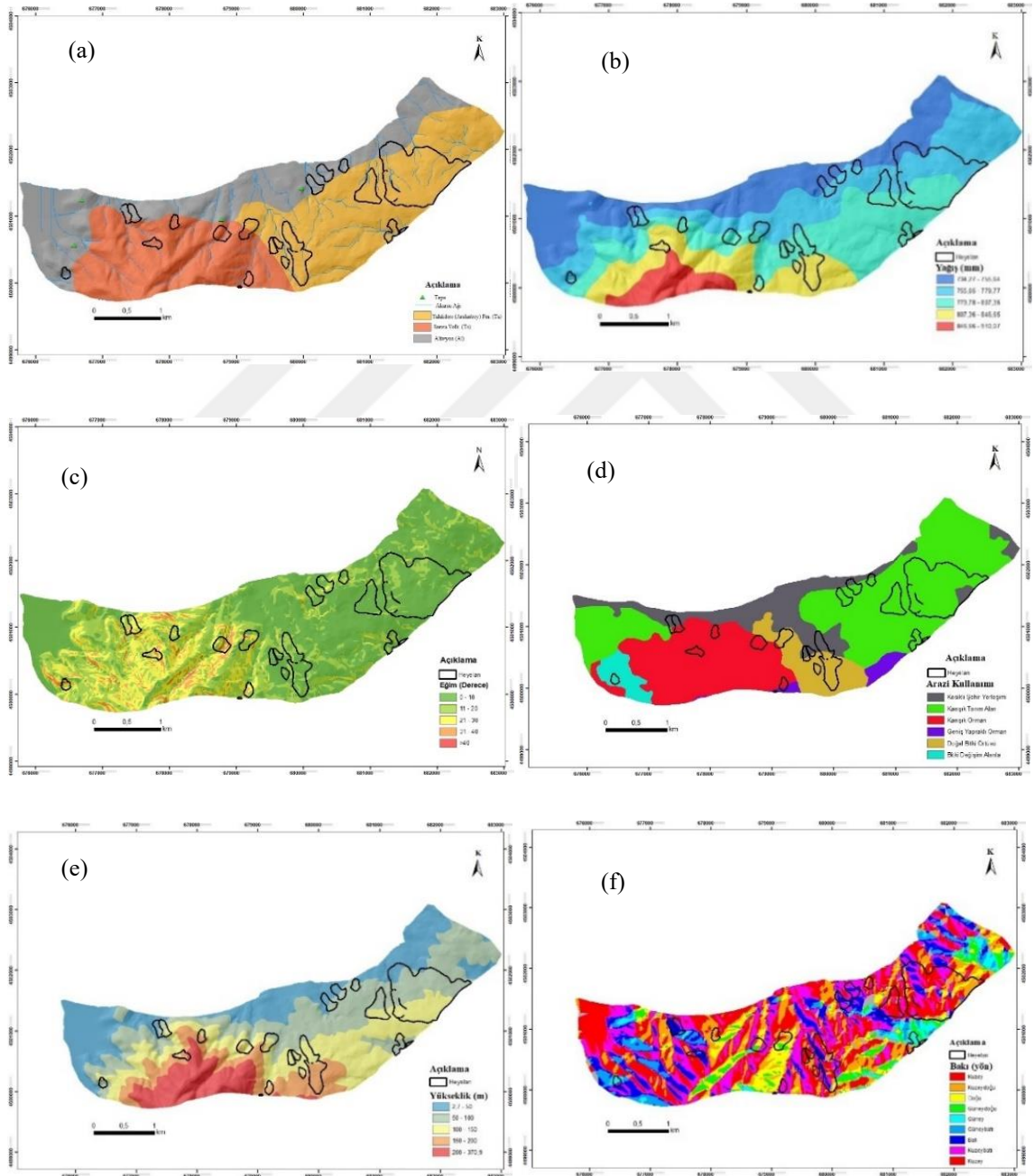
İnceleme alanı için yollara olan mesafenin de heyelan oluşumu üzerinde etkisi olduğu düşünülerek analize dahil edilmiştir. Şekil 4.16’da inceleme alanı ve mevcut heyelanların yollara uzaklık haritası gösterilmiştir. İnceleme alanı “Öklid Uzaklığı” ile yolların yakınlık mesafesine göre 0-50, 50-100, 100-400 ve 400-1082,2 m olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır.

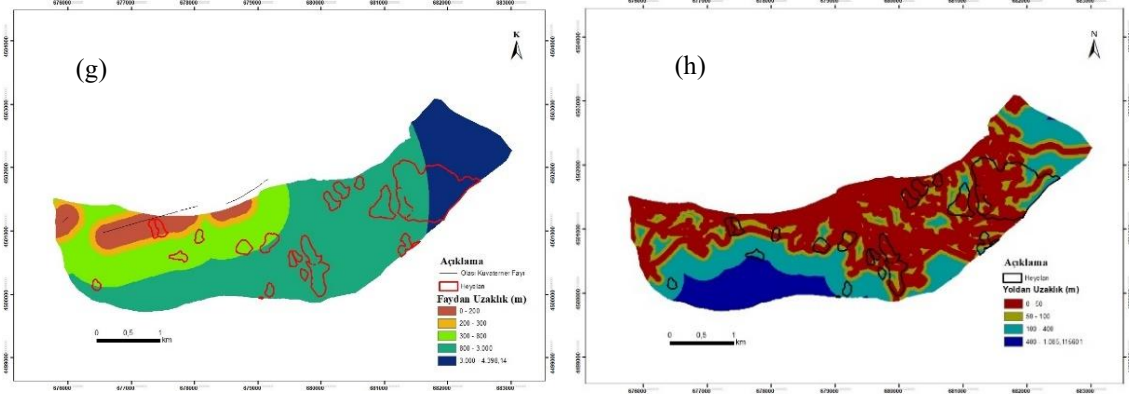


Şekil 4.16. İnceleme alanının yollara yakınlık haritası

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanı ve çevresinin Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli olmak üzere üç farklı yöntemle ve jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı, sayısal yükseklik modeli, bakı, faya ve yollara uzaklık olarak belirlenen 8 parametre ile CBS ortamında heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Şekil 5.1’de bu çalışma kapsamında kullanılan parametrelerin CBS ortamında sayısallaştırılan verilerin katman haritaları verilmiştir.





Şekil 5.1. Analiz katman haritaları: (a) jeoloji, (b) yağış, (c) eğim, (d) arazi kullanımını, (e) Sayısal Yükseklik Modeli, (f) bakı, (g) yollara uzaklık, (h) faya uzaklık

5.1.Mantıksal Regresyon ile Heyelan Duyarlılık Haritası

İnceleme alanı heyelan duyarlılık analizi için CBS ortamında 7.1x7.1 metre çözünürlüğe sahip SYM verisi kullanılarak inceleme alanına ait eğim, jeoloji, yağış, yükseklik, arazi kullanımı, bakı, yollara uzaklık ve faya uzaklık parametrelerine ait altlık haritalar hazırlanarak elde edilen tüm verilerin %80'i, analiz, %20'si ise elde edilen duyarlılık değerlerini test etmek amacıyla kullanılmıştır. Verilerin tahmin edilebilirliğini test etmek amacıyla ROC eğrisi kullanılmıştır.

Mantıksal Regresyon analizi için doğruluğu 1 değerine yaklaştıkça artarken 0.5 değerinin altında kalması başarılı olmadığı anlamına gelir. Tablo 5.1'de yapılan Mantıksal Regresyon analizi sonuçları verilmiştir. Regresyon sabiti-18,085 iken kullanılan parametrelerin modele katkısını gösteren “p değeri” arazi kullanımı parametresi hariç tüm parametrelerde <0.05 olduğu için anlamlı bir katkı sunmuştur.

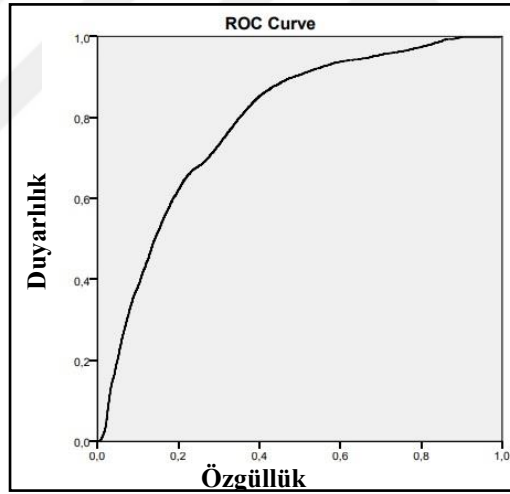
Tablo 5.1. SPSS ile yapılan Mantıksal Regresyon analizi sonuçları

Parametre	B	S.E.	Wald	df	Sig. (P)	95% C.I. for EXP (B)		
						Exp (B)	Alt Sınır	Üst Sınır
Eğim	-,001	,000	212,748	1	,000	,999	,999	,999
Jeoloji	,000	,000	,003	1	,958	1,000	1,000	1,000
Yağış	,021	,000	1894,035	1	,000	,1021	1,020	1,022

Tablo 5.1. (Devam) SPSS ile yapılan Mantıksal Regresyon analiz sonuçları

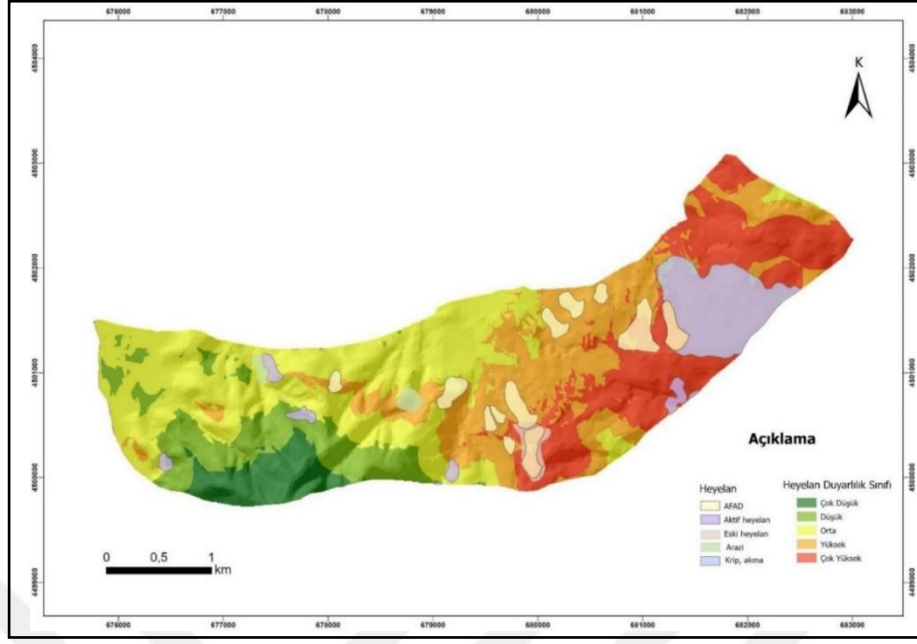
SYM	,000	,000	,043	1	,837	1,000	1,000	1,000
Arazi Kullanımı	,069	,009	57,382	1	,000	1,072	1,053	1,091
Bakı	,001	,000	230,557	1	,000	1,001	1,001	1,001
Yollardan Uzaklık	-,009	,000	5367,780	1	,000	,991	,991	,991
Faydan Uzaklık	,001	,000	6624,782	1	,000	1,001	1,001	1,001
Sabit	-18,085	,361	2510,756	1	,000	,000		

Analiz için elde edilen verilerin %80'i analiz, %20'si ise test amacıyla kullanılmıştır. SPSS üzerinde test için ROC eğrisi ve AUC kullanılmıştır ve ROC eğrisi analizi ile Eğrinin Altında Kalan Alan (AUC) %78.8 olarak bulunmuştur. Şekil 5.2'de doğruluk analizi sonucu gösterilmiştir. Tablo 4.2'ye göre modelin iyiliği "iyi" sınıfında yer almaktadır.



Şekil 5.2. Mantıksal Regresyon ROC Analiz Sonucu

Mantıksal regresyon sonucunda elde edilen veriler ile CBS ortamında inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda sonucunda AUC sonucu %78,8'dir. (Şekil 5.2). Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %5,41'i düşük, %10,32'si düşük, %31,22'si orta, %24,98'i yüksek ve %28,05'i çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfındadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Mantıksal Regresyon Yöntemi ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası

5.2.Frekans Oranı ile Heyelan Duyarlılık Haritası

Belirlenen parametrelerin altlık haritaları hazırlandıktan CBS ortamında ArcToolBox menüsünden “Spatial Analyst Tools”- “Zonal”- “Tabulate Area” komutu ile her parametrenin piksel değerlerinin heyelanlı alandaki piksel değerinin oranları hesaplanarak frekans oranları bulunmuştur ve Tablo 5.2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar CBS ortamında parametre değerlerine tekrar sınıflandırma yapılarak atanmıştır ve son olarak öngörülen oran (PR) değerlerin toplanmasıyla heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Tablo 5.2 incelendiğinde tüm parametrelerin frekans oranı değeri toplandığında bu çalışma için LSI 5.40 olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda heyelan duyarlılık sınıfları çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak beş sınıfa ayrılmıştır.

Tablo 5.2. Frekans Oranı Yöntemi Parametre Değerler ve Sonuçları

Parametre	Sınıf	Heyelansız Alan (piksel)	Heyelansız Alan Piksel(%)	Heyelanlı Alan (piksel)	Heyelanlı Alan Piksel (%)	FO
Eğim	≤10°	110392	50,279	20443,843	32975,806	0,185
	10°-20°	63624	28,978	7277,588	23,871	0,114
	20°-30°	33855	15,420	2010,886	8,521	0,059
	30°-40°	7361	3,353	692,961	16,591	0,094
	>40°	314	0,143	61,996	2,172	0,197
Toplam		215546		30487,274		0,6506

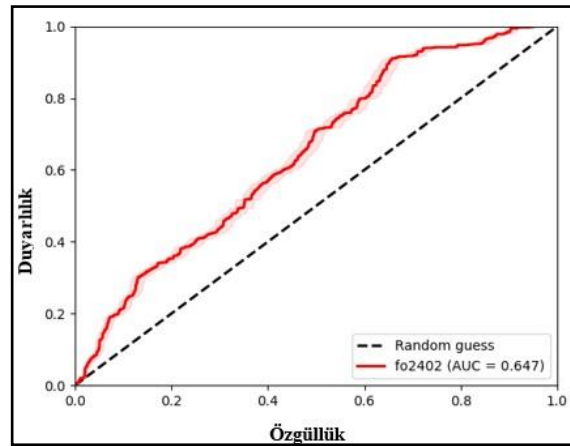
Tablo 5.2. (Devam) Frekans Oranı Yöntemi Parametre Değerler ve Sonuçları

	Yalakedere	62430	38,879	23599,664	77,044	0,378
Jeoloji	Alüvyon	69654	33,038	4176,764	13,636	0,060
	Sarısu	85546	28,083	2854,838	0,001	0,033
Toplam		217630		30631,266		0,4714
Baki	1 (4)	7424	9,530	869,951	6,080	0,117
	1-22.5° (9)	31297	40,176	5097,711	35,628	0,163
	22.5-67.5° (8)	32203	41,339	4940,720	34,531	0,153
	67.5°-112.5°(7)	16311	20,939	1892,893	13,229	0,116
	112.5°-157.5°(1)	9977	12,808	491,972	3,438	0,049
	157.5°-202.5° (2)	7211	9,257	652,963	4,564	0,091
	202.5°-247.5° (3)	12441	15,971	387,978	2,712	0,031
	247.5°-292.5° (5)	24588	31,564	3922,778	27,416	0,160
	292.5°-337.5° (6)	46117	59,201	6959,606	48,641	0,151
	337.5°-360° (10)	7194	9,235	5269,702	36,830	0,733
Toplam		77889		14308,190		1,043
Arazi Kullanımı	(10) Karışık Tarım Alan	98221	209,003	20084,863	44,759	0,204
	(8) Karışık Orman	53708	114,284	2458,861	5,480	0,046
	(3) Doğal Bitki Örtüsü	18863	40,138	3894,780	8,679	0,206
	(4) Kesikli Şehir Yapısı	35332	75,182	3792,785	8,452	0,107
	(5) Bitki Değişim Alanları	7464	15,883	333,981	0,744	0,045
	(6) Geniş Yapraklı Orman	4199	8,935	89,995	0,201	0,021
Toplam		46995		44873,460		0,174
Faydan Uzaklık (m)	0-200 (10)	32115	125,054	1022,942	1,354	0,032
	200-300 (9)	115718	450,598	92,995	0,123	0,001
	300-800 (8)	44258	172,338	2494,859	3,303	0,056
	800-3000 (5)	10172	39,609	19034,923	25,202	1,871

Tablo 5.2. (Devam) Frekans Oranı Yöntemi Parametre Değerler ve Sonuçları

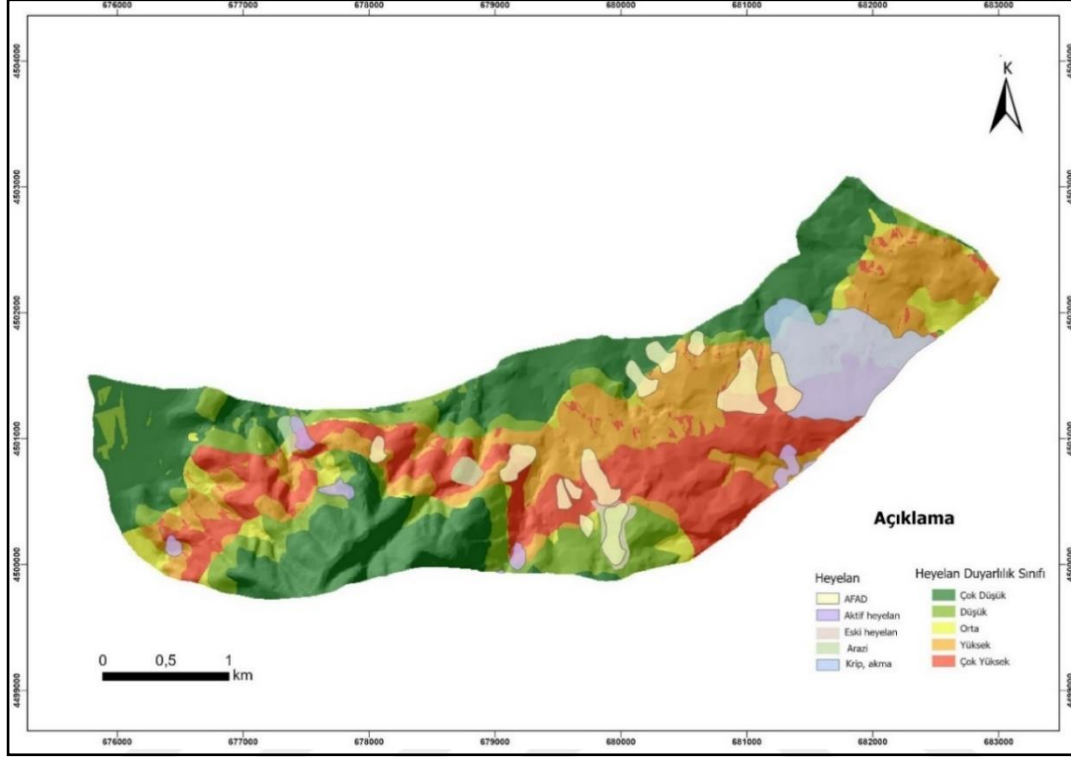
Yollardan Uzaklık (m)	0-50 (10)	111640	51,265	20563,836	19,366	0,184
	50-100 (9)	34474	15,830	6579,628	6,196	0,191
	100-400 (7)	48615	22,324	3431,806	3,232	0,071
	400-1.082,19 (4)	23043	10,581	79,995	0,075	0,003
Toplam		217772		106183,990		0,449
Yağış (mm)	734,33-756,39 (1)	58940	135,925	3077,826	2,249	0,052
	756,39-779,82 (5)	58076	133,933	12477,294	9,118	0,215
	779,82-808,07 (6)	57394	132,360	12278,305	8,973	0,214
	808,07-846,67 (7)	30533	70,414	2790,842	2,040	0,091
	846,67-910,07 (9)	12829	29,586	30,998	0,023	0,002
	Toplam		43362		136839,254	
SYM	2,69-50 (3)	56887	120,866	3077,826	1,832	0,054
	50-100 (5)	67464	143,339	12477,294	7,426	0,185
	100-150 (7)	50377	107,035	12278,305	7,308	0,244
	150-200 (8)	24461	51,972	3235,817	1,926	0,132
	200-370,85 (9)	22605	48,028	101,994	0,061	0,005
	Toplam		47066		168010,490	

Yapılan analizin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi CBS ortamında oluşturulmuştur ve sonucu %64.7 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Frekans Oranı ROC Eğrisi Analizi

Frekans Oranı için ise inceleme alanının %30,8'i çok düşük, %14,48'i düşük, %4,5'i orta, %24,02'si yüksek ve %26,2'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Frekans Oranı Yöntemi ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası

5.3.Uygunluk Modeli ile Heyelan Duyarlılık Haritası

Analiz için belirlenen eğim, yağış, jeoloji, yükseklik, arazi kullanımı, bakı, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık parametrelerinin altlık haritaları ile heyelan envanteri karşılaştırılmıştır. Daha sonra her parametre ve alt sınıfları için 1 ile 10 arasında; 1 en az, 10 en çok etkili olacak şekilde atama yapılarak yeniden sınıflandırılmıştır ve her parametre için ağırlık yüzdesi tanımlanmıştır (Tablo 5.3).

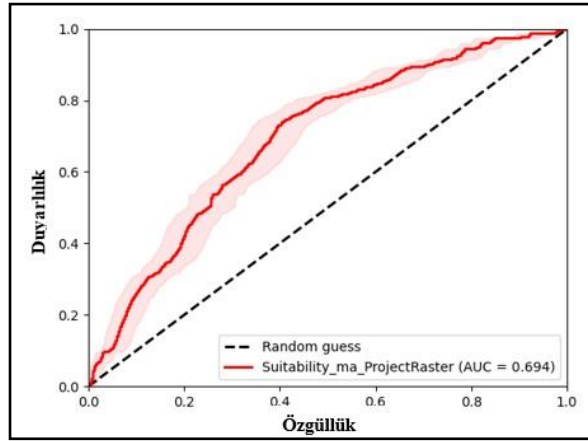
Tablo 5.3. Uygunluk Modeli Parametre değerleri ve Etki Yüzdeleri

Parametre	Alt Sınır	Önem Derecesi	Etki Ağırlığı (%)
Eğim (°)	≤10°	3	15
	10°-20°	4	
	20°-30°	5	
	30°-40°	6	
	>40°	8	

Tablo 5.3. (Devam) Uygunluk Modeli Parametre değerleri ve Etki Yüzdeleri

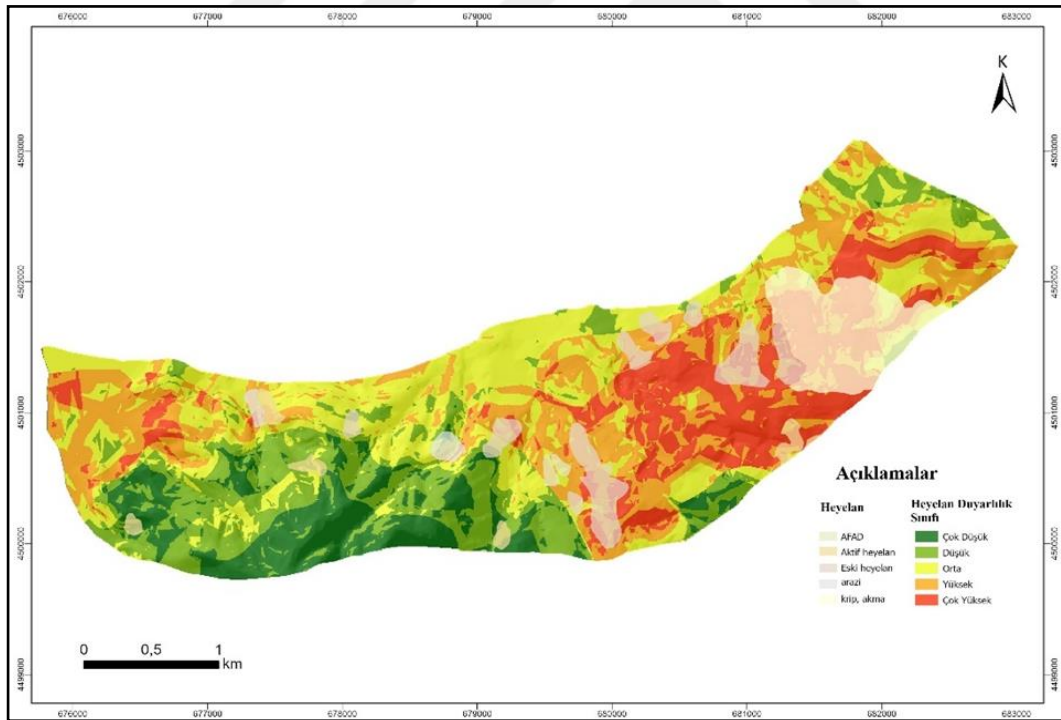
Jeoloji	Yalakdere Fm.	8	15
	Alüvyon	7	
	Sarısu Volkanitleri	3	
Bakı	1 (4)	5	5
	1-22,5°	10	
	22,5°-67,5°	9	
	67,5°-112,5°	8	
	112,5°-157,5°	7	
	157,5°-202,5°	5	
	202,5°-247,5°	4	
	247,5°-292,5°	3	
	292,5°-337,5°	2	
337,5°-360°	1		
Arazi Kullanımı	(1) Karışık Tarım Alanı	10	15
	(2) Karışık Orman	8	
	(3) Doğal Bitki Örtüsü	9	
	(4) Kesikli Şehir Yapısı	7	
	(5) Bitki Değişim Alanları	6	
	(6) Geniş Yapraklı Orman	2	
Faydan Uzaklık (m)	0-200 (1)	10	5
	200-300 (2)	9	
	300-800 (3)	8	
	800-3000 (4)	5	
	3000-4387,10 (5)	4	
Yollardan Uzaklık (m)	0-50 (1)	10	15
	50-100 (2)	9	
	100-400 (3)	7	
	400-1082,19 (4)	4	
Yağış (mm)	734,33-756,39 (5)	3	15
	756,39-779,82 (4)	5	
	779,82-808,07 (3)	6	
	808,07-846,67 (2)	7	
	846,67-910,07 (1)	9	
SYM (m)	2,69-50 (5)	3	15
	50-100 (4)	5	
	100-150 (3)	6	
	150-200 (2)	7	
	200-370,85 (1)	9	

Yapılan analizin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi CBS ortamında oluşturulmuştur ve sonucu %69.4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Uygunluk Modeli Yöntemi sonucuna göre ROC Eğrisi

ArcGIS Pro programı kullanılarak hazırlanan harita için “Suitability Model” işlemi ile duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık sınıflandırması çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. ArcGIS Pro Uygunluk Modeli için ise %4,42’si çok düşük, %20,57’si düşük, %27,9’u orta, %23,42’si yüksek ve %23,67’si çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Uygunluk Modeli ile Heyelan Duyarlılık Haritası

Tablo 5.4’de ise Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli ile hazırlanan haritalar için kullanılan parametreler ve etki ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 5.4. Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli Analizleri için Kullanılan tüm parametreler ve etki ağırlıkları

Parametre	Alt Sınıf	Mantıksal Regresyon	Frekans Oranı	Uygunluk Modeli
Eğim	≤10°	-0,001	0,185	3
	10°-20°		0,114	4
	20°-30°		0,059	5
	30°-40°		0,094	6
	>40°		0,197	8
Jeoloji	Yalakdere	.000	0,378	8
	Alüvyon		0,06	7
	Sarısu		0,033	3
Bakı	Düz	.001	0,117	1
	Kuzey		0,163	10
	Kuzeydoğu		0,153	9
	Doğu		0,116	8
	Güneydoğu		0,049	7
	Güney		0,091	5
	Güneybatı		0,031	4
Arazi Kullanımı	Karışık Tarım Alanı	.0069	0,204	10
	Karışık Orman		0,046	8
	Doğal Bitki Örtüsü		0,206	9
	Kesikli Şehir Yapısı		0,107	7
	Bitki Değişim Alanla		0,045	6
	Geniş Yapraklı Orman		0,021	2
Faydan Uzaklık (m)	0-200	.001	0,032	10
	200-300		0,001	9
	300-800		0,056	8
	800-3000		1,871	5
	3000-4387,10		0,516	4
Yoldan Uzaklık (m)	0-50	-0,009	0,184	10
	50-100		0,191	9
	100-400		0,071	7
	400-1.082,19		0,003	4
Yağış	734,33-756,39	.021	0,052	1
	756,39-779,82		0,215	5
	779,82-808,07		0,214	8
	808,07-846,67		0,091	9
	846,67-910,07		0,002	10
Sayısal Yükseklik Modeli (m)	2,7-50	.000	0,054	3
	50-100		0,185	5
	100-150		0,244	6
	150-200		0,132	7
	200-370,85		0,005	9

6.SONUÇ

İnceleme alanı Marmara Bölgesi'nde Yalova İli sınırları içinde kalmaktadır. Bölgede daha önce heyelanlar meydana gelmiş ve bazı binaların istinat duvarlarının yıkımına ve yağışın yoğun olduğu dönemlerde yollarda çökmelere neden olmuştur. İnceleme alanında meydana gelen heyelan tipi yağışın yoğun olduğu dönemde yüzeysel akma şeklinde, zemin sızıntı suyla beslendiğinde ise krip (yavaş akma) şeklinde heyelan meydana gelmektedir.

İnceleme alanında geniş yayılım gösteren 20 adet heyelan incelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması için Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve Uygunluk Modeli olmak üzere üç farklı yöntemle analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda inceleme alanı için en uygun analizin Mantıksal Regresyon yöntemi analizi olduğu gözlemlenmiştir.

Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %5.41'i düşük, %10.32'si düşük, %31.22'si orta, %24.98'i yüksek ve %28.05'i çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Yapılan analizin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi ve AUC kullanılmıştır. AUC %78.8 olarak bulunmuştur. Frekans Oranı yöntemine göre ise inceleme alanının %30.8'i çok düşük, %14.48'i düşük, %4.5'i orta, %24.02'si yüksek ve %26.2'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında olup AUC sonucu %64.4'tür. Uygunluk Modeli için ise % 4.42'si çok düşük, %20.57'si düşük, %27.9'u orta, %23.42'si yüksek ve %23.67'si çok yüksek ve AUC değeri %69.7'dir.

Saha gözlemleri ile heyelan envanterinden yararlanarak hazırlanan duyarlılık haritalarında heyelan envanterine göre eski heyelan olan heyelan alanlarının aktif olduğu görülmüştür. İnceleme alanının kuzeyinde bulunan heyelanlar, heyelan envanterine göre eski heyelan olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ise bu alanın yüksek veya çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer aldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen duyarlılık analizi verileri ile yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındaki bölgeler için gerekli önlemlerin mutlaka alınması gerekmektedir. Heyelan modelleri dikkate alınarak bölgede yapılacak arazi planlaması için bu çalışmada elde edilen sonuçların dikkate alınması önerilir.

KAYNAKLAR

- Abay, A., Barbieri, G., Woldearegay, K. (2019). GIS-Based Landslide Susceptibility Evaluation Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach: The Case of Tarmaber District, Ethiopia. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 11(1), 14-36. DOI: 10.4314/mejs.v11i1.2
- Acar, E. (2019). AHP Yöntemi ve CBS Analizleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 588102.
- Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., Bendaoud, E. A. (2017). Landslide Susceptibility Mapping Using Analytic Hierarchy Process and Information Value Methods Along A Highway Road Section in Constantine, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(8), 1-16. DOI: 10.1007/s12517-017-2980-6
- Ada, M. (2018). Alakır Çayı (Antalya) Havzasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 520807.
- Akartuna, M. (1968). Armutlu Yarımadasının Jeolojisi, İ.Ü. Fen Fakültesi.
- Akıncı, H., Kılıçoğlu, C. (2015). Atakum (Samsun) İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, Trabzon, 3-5 Eylül 2015.
- Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999). Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21-44. DOI: 10.1007/s100640050066
- Alparslan, E., Yüce, H., Erkan, B., Inan, S., Ergintav, S., Saatçılar, R. (2006). Büyükçekmece ve Küçükçekmece Gölleri Arasındaki Bölgede Heyelan Duyarlılığının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Çok-Kıstaslı Analizi, 4. *CBS Günleri*, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 13-16 Eylül 2006.
- Altural, T. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemiyle Akşehir (Konya) Çevresinin Heyelan Duyarlılık İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 315935.
- Ardel, A. (1949). Armutlu Yarımadası (Jeolojik ve Morfolojik Etüt). *Türk Coğrafya Dergisi*, (11-12), 35-78.
- Ataş, P. (2017). Landslide Assessment and Stabilization Study Along the Tarsus-Çamliyayla Provincial Road At Km: 11+ 640-12+ 080. Master's Thesis, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, 475059.

- Aylan, E. (2002). Yalova–Çınarcık Arasında Armutlu Yarımadası'nın Morfotektonik Nitelikleri ve Genç Tektoniği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 129463.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.06.010
- Banerjee, P., Ghose, M. K., Pradhan, R. (2018). Analytic Hierarchy Process And Information Value Method-Based Landslide Susceptibility Mapping and Vehicle Vulnerability Assessment Along A Highway in Sikkim Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-18. DOI: 10.1007/s12517-018-3488-4
- Bargu, S., Sakınç, M. (1984). Armutlu Yarımadasında Karamürsel ile İznik gölü Arasındaki Kesimin Doğal Agregata Potansiyelinin Araştırılması ve Değerlendirilmesi. Tübitak, TBAG-57, 206, Ankara.
- Bargu, S., Sakınç, M. (1989). İzmit körfezi ile İznik Gölü Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri. *Yer Bilimleri Dergisi*, 7(1-2), 47-76.
- Barka, A., Akyüz, H. S., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbas, A., Yerli, B., Armijo, R., Meyer B., de Chabalier J. B., Rockwell, T., Dolan J. R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J., (2002). The Surface Rupture and Slip Distribution of the 17 August 1999 Izmit Earthquake (M 7.4) North Anatolian Fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 43-60. DOI: 10.1785/0120000841
- Başara, A. C., Şişman, Y. (2022). Frekans Oranı, Kanıt Ağırlığı ve Lojistik Regresyon Yöntemleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının CBS Tabanlı Karşılaştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 647-660. DOI: 10.28948/ngumuh.1065284
- Biçer, Ç. T., Ercanoğlu, M. (2020). A Semi-Quantitative Landslide Risk Assessment of Central Kahramanmaraş City in The Eastern Mediterranean Region Of Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-26. DOI: 10.1007/s12517-020-05697-w
- Bilgin, S. (2019). Frekans Oranı Yöntemi ile Ulubey İlçesinin (Ordu) Heyelan Duyarlılık Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 601059.
- Bircan, H. (2004). Lojistik Regresyon Analizi: Tıp Verileri Üzerine Bir Uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (8), 185-208.
- Cangir, O. B. (2022). Hasanbaba Heyelanlı Saha Tespiti ve Önlenmesi İçin Bilgilendirme Raporu. *Çınarcık Belediyesi*. 28-29, (Yayımlanmamış).
- Canoğlu, M. C. (2015). An Investigation on the Surface Water Effect in Landslide Susceptibility Mapping: An Example from Yenice (Karabük) Basin. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 392770.

- Carton, H., Singh, S. C., Hirn, A., Bazin, S., De Voogd, B., Vigner, A., ... Sevilgen, V. (2007). Seismic İmaging of the Three-Dimensional Architecture of the Çınarcık Basin Along The North Anatolian Fault. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B6). DOI: 10.1029/2006JB004548
- Cengiz, L., D. (2020). Farklı Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılığı Haritalamalarındaki Etkinliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 689598.
- Chau, K. T., Sze, Y. L., Fung, M. K., Wong, W. Y., Fong, E. L., Chan, L. C. P. (2004). Landslide Hazard Analysis for Hong Kong Using Landslide Inventory and GIS. *Computers Geosciences*, 30(4), 429-443. DOI: 10.1016/j.cageo.2003.08.013
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). Landslides: Investigation and Mitigation. Chapter 3- Landslide Types and Processes. *Transportation Research Board Special Report*, (247).
- Cumhur, A. (2021). Yalova'nın Depremselliği ve Deprem Afetine Karşı Alınması Gereken Önlemler. *Yalova Üniversitesi*.
- Çellek, S. (2013). Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 335045.
- Çellek, S., Bulut, F., Ersoy, H. (2015). AHP Yönteminin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(2), 59-90. DOI: 10.24232/jeoloji-muhendisligi-dergisi.295366
- Dağ, S., Bulut, F. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35-62.
- Demir, G. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 96-112. DOI: 10.17714/gumusfenbil.299987
- Devara, M., Tiwari, A., Dwivedi, R. (2021). Landslide Susceptibility Mapping Using MT-Insar and AHP Enabled GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 675-693. DOI: 10.1080/19475705.2021.1887939
- Elal, A., D. (2008) Sorgun-Çekerek Karayolunda Kaplankaya ve Kazantaşın Heyelanlarının Mühendislik Jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 233428.
- Emre Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E. (1999). Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi. *MTA*, 120, 289-314.
- Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T. Y., Özalp, S. (2011). 1: 250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası. Ankara, Türkiye, *MTA*.

- Erendil M., Göncüoğlu M. C., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M., Tunay G., Temren A. (1991). Armutlu Yarımadasının Jeolojisi, *MTA*, 9165, 5-20.
- Erol, O., Şencan, A. (1996). Çınarcık ve Güneyinin Jeomorfolojisi. *Türk Tarih Kur., Coğr. Araş.*, (4).
- Feizizadeh, B., Blaschke, T. (2013). GIS-Multicriteria Decision Analysis for Landslide Susceptibility Mapping: Comparing Three Methods for the Urmia Lake Basin, Iran. *Nat Hazards* 65, 2105–2128. DOI: 10.1007/s11069-012-0463-3
- Gasperini, L., Stucchi, M., Cedro, V., Meghraoui, M., Ucarkus, G., Polonia, A. (2021). Active Fault Segments Along the North Anatolian Fault System in the Sea of Marmara: Implication for Seismic Hazard. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3(1), 29-44. DOI: 10.1007/s42990-021-00048-7
- Gazioğlu, C., Gökaşan, E., Algan, O., Yücel, Z., Tok, B., Doğan, E. (2002). Morphologic Features of the Marmara Sea from Multi-Beam Data. *Marine Geology*, 190(1-2), 397-420. DOI: 10.1016/S0025-3227(02)00356-0
- Goodman, R. E., Bray, J. W. (1976). Toppling of Rock Slopes, *ASCE Speciality Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes*, Boulder Colorado, 2, 201-234.
- Göçmez, B. D. (2005). Jeolojik Faktörlerin Kentsel Planlamaya Etkisi: Yalova Termal Yerleşmesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 166506.
- Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, *Yerbilimleri*, 23, 189–206.
- Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Ürgün B. M., Aksay A., Kuşçu İ. (1986). Armutlu Yarımadası'nın Doğu Kesiminin Jeolojisi, *MTA*, 7943, 20-50.
- Görüm, T. (2006) Coğrafi Bilgi Sistemi ve İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Melen Boğazı ve Yakın Çevresi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 215614.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F. (2005). Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale. *Geomorphology*, 72(1-4), 272-299. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.06.002
- Hasekioğulları, G. D. (2011). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 270310.
- Hepdeniz, K. (2020). Using The Analytic Hierarchy Process And Frequency Ratio Methods For Landslide Susceptibility Mapping in Isparta-Antalya Highway (D-685), Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16), 1-16. DOI: 10.1007/s12517-020-05764-2

- Hung, L. Q., Van, N. T. H., Duc, D. M., Ha, L. T. C., Van Son, P., Khanh, N. H., Binh, L. T. (2016). Landslide Susceptibility Mapping by Combining the Analytical Hierarchy Process and Weighted Linear Combination Methods: A Case Study in The Upper Lo River Catchment (Vietnam). *Landslides*, 13(5), 1285-1301. DOI: 10.1007/s10346-015-0657-3
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. (2014). The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Landslides*, 11, 167-194. DOI: 10.1007/s10346-013-0436-y
- Ildir, B. (1995). Distribution of landslides in Turkey and Applications Regarding the Natural Disaster Regulation. In *Proceedings of 2nd National Landslide Symposium*, Sakarya University, Türkiye, 25-26 Ekim 1995.
- Intarawichian, N., Dasananda, S. (2010). Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping in Lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 17(3).
- Jazouli, A., Barakat, A., Khellouk, R. (2019). GIS-Multicriteria Evaluation Using AHP for Landslide Susceptibility Mapping in Oum Er Rbia High Basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 1-12. DOI: 10.1186/s40677-019-0119-7
- Kaliraj, S., Chandrasekar, N., Magesh, N.S. (2015). Evaluation of Multiple Environmental Factors for Site-Specific Groundwater Recharge Structures in the Vaigai River Upper Basin, Tamil Nadu, India, Using GIS-Based Weighted Overlay Analysis. *Environ Earth Sci*, 74, 4355–4380. DOI: 10.1007/s12665-015-4384-9
- Kayastha, P., Dhital, M. R., De Smedt, F. (2013). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study from the Tinau Watershed, West Nepal. *Computers and Geosciences*, 52, 398-408. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.11.003
- Kılıçoğlu, C., Cetin, M., Arıca, B., Sevik, H. (2021). Integrating Multicriteria Decision-Making Analysis for a GIS-Based Settlement Area in the District Of Atakum, Samsun, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1-2), 379-388. DOI: 10.1007/s00704-020-03439-2
- Ketin, İ. (1948). Son On Yılda Türkiye'de Vukua Gelen Büyük Depremlerin Tektonik ve Mekanik Neticeleri Hakkında. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2(1), 1-13.
- Kozacı, Ö. (2002). Hersek Deltası'nda Kuzey Anadolu Fayı'nın Yalova Segmenti Üzerinde Paleosismolojik Çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 129464.
- Lee, S., Min, K. (2002). Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40(9). DOI: 10.1007/s002540100310
- Lettis, W., Bachhuber, J., Witter, R., Brankman, C., Randolph, C. E., Barka, A., ... Kaya, A. (2002). Influence of Releasing Step-Overs on Surface Fault Rupture and Fault Segmentation: Examples from the 17 August 1999 Izmit Earthquake on the North

Anatolian Fault, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 19-42. DOI: 10.1785/0120000808

Mandal, B., Mandal, S. (2018). Analytical Hierarchy Process (AHP) Based Landslide Susceptibility Mapping of Lish River Basin Of Eastern Darjeeling Himalaya, India. *Advances in Space Research*, 62(11), 3114-3132. DOI: 10.1016/j.asr.2018.08.008

Mazman, T. (2005). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve İstatistiksel Analiz Teknikleri ile Kumluca Havzası (GD Bartın) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 197886.

Mondal, S., Maiti, R. (2013). Integrating The Analytical Hierarchy Process (AHP) and The Frequency Ratio (FR) Model in Landslide Susceptibility Mapping of Shiv-Khola Watershed, Darjeeling Himalaya. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4), 200-212. DOI: 10.1007/s13753-013-0021-y

Moradi, M., Bazyar, M. H., Mohammadi, Z. (2012). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(7), 6715-6723.

Okalp, K. (2013). Landslide Susceptibility Assessment of Turkey Using Qualitative and Semi-Quantitative Methods. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 338349.

Önder F., Göncüoğlu M. C., (1989). Armutlu Yarımadasında (Batı Pontidler) Üst Triyas Konodontlar. *MTA*, 109, 147 – 152.

Özşahin, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde Kütle Hareketleri Duyarlılığının Değerlendirmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), 19-35.

Pınar, A., Coşkun, Z., Mert, A., Kalafat, D. (2016). Frictional Strength of North Anatolian Fault in Eastern Marmara Region. *Earth, Planets and Space*, 68, 1-17. DOI: 10.1186/s40623-016-0435-z

Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C. (2012). Application of Fuzzy Logic And Analytical Hierarchy Process (AHP) to Landslide Susceptibility Mapping at Haraz Watershed, Iran. *Natural hazards*, 63, 965-996. DOI: 10.1007/s11069-012-0217-2

Phukon, P., Chetia, D., Das, P. (2012). Landslide Susceptibility Assessment in the Guwahati City, Assam Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS). *Int J Comput Appl Eng Sci*, 2(1), 1-6.

Rahim, I., Ali, S. M., Aslam, M. (2018). GIS Based Landslide Susceptibility Mapping With Application of Analytical Hierarchy Process in District Ghizer, Gilgit Baltistan Pakistan. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(2), 34-49. DOI: 10.4236/gep.2018.62003

Reis, S., Yaçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekercin, S. (2009). CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi:

Rize İli Örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu*, Ankara, 4-6 Şubat 2009.

Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Erduran, M., Sancar, C., Ekercin, S. (2012). Remote Sensing and GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Methods in Rize Province (NE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66(7), 2063-2073. DOI: 10.1007/s12665-011-1432-y

Rozos, D., Bathrellos, G. D., Skillodimou, H. D. (2011). Comparison of the Implementation of Rock Engineering System and Analytic Hierarchy Process Methods, Upon Landslide Susceptibility Mapping, Using GIS: A Case Study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 63(1), 49-63. DOI: 10.1007/s12665-010-0687-z

Semlali, I., Ouadif, L., Bahi, L. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using the Analytical Hierarchy Process and GIS. *Current Science*, 116(5), 773-779.

Suh, J., Choi, Y., Roh, T. D., Lee, H. J., Park, H. D. (2011). National-Scale Assessment of Landslide Susceptibility to Rank the Vulnerability to Failure of Rock-Cut Slopes Along Expressways in Korea. *Environmental Earth Sciences*, 63(3), 619-632. DOI: 10.1007/s12665-010-0729-6

Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D. (1991). Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106(2), 433-490. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1991.tb03906.x

Tazik, E., Jahantab, Z., Bakhtiari, M., Rezaei, A., Alavipanah, S. K. (2014). Landslide Susceptibility Mapping by Combining the Three Methods Fuzzy Logic, Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Dozain Basin. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(2), 267. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-2-W3-267-2014

Tekin, S. (2014). Kadirli-Aslantaş (Osmaniye) dolaylarının CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 348615.

Tekin, S. (2019) Göksu Nehri Havzasının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Jeomorfometrik Analizi ve Olası Tehlike Niceliksel Heyelan Değerlendirmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 553530.

Tetik Biçer, Ç. (2017). Heyelan Risk Haritalaması Üzerine Yarı Sayısal Bir Değerlendirme. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 465288.

URL-1 <https://avys.omu.edu.tr/lessons/1/2/2680-932001/307095-133061>, (Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2023).

URL-2:https://webdosya.csb.gov.tr/db/bursa/duyurular/yalova_res_nip_raporu-20200220122212.pdf, (Ziyaret Tarihi: 24 Şubat 2023).

URL-3:<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/yillik-deprem-haritalari/2021-yili-deprem-harita-grafik-ve-tablolari/>, (Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2022).

URL-4:<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1>, (Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2022).

URL-5:
https://ourworldindata.org/naturaldisasters?fbclid=IwAR2C1uQR2N1_jegLjxUHjMuLP_C1FJMz5CHdLuSf5ce9L46yQxe9Ls0H1OE, (Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2022)

URL-6:https://www.emdat.be/emdat_atlas/sub_html_pages/sub_html_TUR.html (Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2022).

URL-7: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2022).

URL-8:<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/> (Ziyaret Tarihi: 08 Nisan 2022).

URL-9:<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018> (Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2023)

URL-10:
<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klasör/Yayımlar/HeyelanTanımlamaKılavuzu.pdf> (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2023).

URL-11: <https://www.mgm.gov.tr/?il=Yalova&ilce=Cinarcik> (Ziyaret Tarihi: 16 Mayıs 2023)

Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. *Special report, 176*, 11-33.

Wubalem, A. (2021). Landslide Susceptibility Mapping Using Statistical Methods in Uatzau Catchment Area, Northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters, 8*(1), 1. DOI: 10.1186/s40677-020-00170-y

Xiong, T., Indrawan, I. G. B., Putra, D. E. (2017). Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process, Statistical Index, Index of Entropy, and Logistic Regression Approaches in the Tinalah Watershed, Yogyakarta. *J. Appl. Geol., 2*, 78-93. DOI: 10.22146/jag.39983

Yalçın, A. (2007). Environmental Impacts of Landslides: A Case Study from East Black Sea Region, Turkey. *Environmental Engineering Science, 24*(6), 821-833. DOI: 10.1089/ees.2006.0161

Yalçın, A., Reis, S., Aydınoglu, A. C., Yomralıoğlu, T. (2011). A GIS-Based Comparative Study of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics And Logistics Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena, 85*(3), 274-287. DOI: 10.1016/j.catena.2011.01.014

- Yılmaz, D., Köprübaşı, N., Çelebi, D., Köprübaşı, N. (2010). Esenköy (Çınarcık-Yalova) Granitoidinin Jeokimyasal Özellikleri. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 9(2), 19-37.
- Yıldız, A., (2021). Germencik-İncirliova (Aydın) Bölgesinin Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 681187.
- Zengince, M., (2018). Gölcük (Kocaeli) Güney Köyleri Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 535432.
- Zhang, S., Xu, Q., Hu, Z. (2016). Effects of Rainwater Softening on Red Mudstone of Deep-Seated Landslide, Southwest China. *Engineering Geology*, 204, 1-13. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.01.013



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Taş, Z., Coruk, Ö. (2023). Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Pro Suitability Model ile Yalova-Çınarcık Bölgesinin Heyelan Duyarlılık Analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20.05.2023 tarihinde kabul edilmiştir.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli’de tamamladı. 2015 yılında Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Yabancı Diller Yüksek Okulunda İngilizce hazırlık okuduktan sonra, 2016 yılında Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2020 yılında lisans eğitimini tamamlayıp, aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Programında yüksek lisans eğitimine başladı.

