



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI TABANLI HEYELAN
KONTROL YAPILARI ÖNERİMİ; NALLIHAN İLÇESİ ÖRNEĞİ**

AKIN KAMIŞ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. İLYAS BOLAT

BARTIN-2024



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI TABANLI HEYELAN KONTROL
YAPILARI ÖNERİMİ; NALLIHAN İLÇESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKIN KAMIŞ

BARTIN-2024

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. İlyas BOLAT danışmanlığında hazırlamış olduğum “HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI TABANLI HEYELAN KONTROL YAPILARI ÖNERİMİ; NALLIHAN İLÇESİ ÖRNEĞİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

30.01.2024

Akın KAMIŞ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. İlyas BOLAT’a,

Tezim için jüri üyeliğini kabul ederek önemli yorum ve eleştirileri ile çalışmanın son halini almasını sağlayan Doç. Dr. Ferhat KARA ve Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin ŞENSOY’a,

Tez çalışmamın her aşamasında yardım ve desteğini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Dr. Zehra KAYA TOPAÇLI ve Uzman (Harita Yük. Müh.) Gehver AYDOĞDU’ya, Teknik desteklerinden dolayı çalışma arkadaşım Uzman (Orman Mühendisi) Ayten DEMİRHAN’a

Eski çalıştığım kurum olan Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ile şu an çalışmakta olduğum Mersin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü’ne,

Beni hayatımın hiçbir döneminde yalnız bırakmayan sevgili aileme sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunuyorum.

Akın KAMIŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI TABANLI HEYELAN KONTROL YAPILARI ÖNERİMİ; NALLIHAN İLÇESİ ÖRNEĞİ

Akın KAMIŞ

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İlyas BOLAT

Bartın-2024, sayfa: 44

Bu tez çalışması ile Ankara İli, Nallıhan İlçesinin heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilmesi ile daha sonra üretilen duyarlılık haritaları göz önünde bulundurularak duyarlılığın yüksek çıktığı alanlara heyelan kontrol yapılarının önerilmesi hedeflenmiş ve bu doğrultuda çalışma yapılmıştır. Bu hedef doğrultusunda çalışma alanında önceki zamanlarda yaşanan toprak kaymaları (heyelanlar) esas alınarak, heyelan olasılığı yüksek olan alanların belirlenmesine yönelik ihtimaller amaçlanmış ve 3894.811 hektarda heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Yüksek lisans tez çalışması kapsamında ilk olarak ilçenin tarihi ve güncel verilere göre bir heyelan envanter haritası üretilmiştir. Söz konusu alanda ve ofis ortamında yapılan ortak çalışma sonucu olarak toplam 13 tane heyelan tespit edilmiş ve bu heyelanların özellikleri kaydedilmiştir. Daha sonra söz konusu toprak kaymalarının gelişimi, heyelana neden durumlar ve sebep olan mekanizmalar ele alınmıştır. Bu doğrultuda toplam yedi adet heyelana sebep olduğu düşünülen parametre (yükseklik, yamaç eğimi, bakı, plan eğriliği, profil eğriliği, arazi örtüsü, jeoloji) kullanılmıştır. Çalışma alanındaki heyelan duyarlılık haritaları için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) altlıklı program seçilmiş ve bu haritalar literatüre göre daha fazla kullanılan metotlardan biri olan Lojistik Regresyon yöntemiyle oluşturulmuştur. Son olarak, ortaya çıkarılmış olan heyelan duyarlılık haritası; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarına ayrılmıştır.

Heyelan Duyarlılık haritası ile oluşturulan sınıflarda duyarlılığın yüksek olduğu çalışma sahası içinde meydana gelebilecek sel ve taşkın olaylarının önüne geçebilmek amacıyla alanda yapılan incelemeler neticesinde karar vericilere rehber olabilmesi açısından birtakım tedbirlerin alınmasına karar verilmiştir. Söz konusu alanda yapılan çalışmalar sonucunda alanın miks eşik, gabion eşik ve harçlı ıslah sekisi yapılarına ihtiyaç duyduğu belirlenmiş, bu sayede yaşanabilecek heyelanlardan kaynaklanan zararların en aza indirgenebileceği ngrlmştir.

Anahtar Kelimeler: Duyarlılık, heyelan, kontrol, Nallıhan, parametreler, sınıflandırma.

Bilim Alan Kodu: 120518



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SUGGESTION OF LANDSLIDE CONTROL STRUCTURES BASED ON LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP; NALLIHAN DISTRICT EXAMPLE

Akın KAMIŞ

Bartın University

Graduate School

Department of Forest Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. İlyas BOLAT

Bartın-2024, pp: 44

The aim of this thesis is to evaluate the landslide susceptibility of Nallıhan country in Ankara Province and propose landslide control structures for areas with high susceptibility, based on the produced susceptibility maps. With the aim of identifying areas with a high probability of landslides, the study utilised previous landslide occurrences in the work area to prepare a landslide susceptibility map for an area of 3894.811 hectares. As part of the master's thesis, a landslide stock list map was first produced for the district based on historical and current data. 13 landslides were identified and their characteristics took down as a common result in field and office work. Subsequently, the development of these landslides, factors causing landslides, and triggering mechanisms were discussed. In this regard, a totally of seven parameters (elevation, slope, aspect, plan curvature, profile curvature, land cover, geology) were used, which are believed to cause landslides. The landslide susceptibility maps in the study were created using a Geographic Information System-based program and the Logistic Regression method, which is the most chosed way according to literature. Finally, the maked landslide susceptibility map is divided into five groups: very low, low, moderate, high, and very high susceptibility.

In groups created using the Landslide Susceptibility map, landslide control structures have been proposed with mitigate the risk of landslides triggered by future flood disasters. As a

result of the studies carried out in the area in question, it was determined that mixed threshold, gabion threshold and mortared improvement terrace structures were needed, and thus, it was envisaged that the damages from landslides that may occur could be minimized.

Key Words: Control, groups, landslide, Nallıhan, parameters, susceptibility

Scientific Field Code: 120518



İÇİNDEKİLER

BEYANNAME	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Heyelan Tanımı.....	2
1.2 Amaç ve Kapsam	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Heyelan Duyarlılık Çalışmaları.....	4
2.2 Heyelan Kontrol Faaliyetleri	5
2.2.1 Oyuntu Islahı Tesisleri	5
3. MATERYAL ve METOT	7
3.1 Materyal	7
3.1.1 Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler	7
3.2 Metot	11
3.2.1 Lojistik Regresyon Yöntemi	11
3.2.2. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında Kullanılan Parametreler	12
3.2.2.1 Çalışma Alanının Jeolojisi	13
Gökçekaya Metamorfikleri (pEg)	15
Soğukçam Formasyonu (Jks)	15
Yenipazar Formasyonu (Kye)	16
Kızılçay Formasyonu (Tpek)	16
Meyildere Volkaniti (Tpem)	16
Ilıcadere Volkaniti (Tmı)	16
Örencik Formasyonu (Tplö)	17
Alüvyon (Qal).....	17
3.2.2.2. Arazi Kullanım Durumu.....	17
3.2.2.3 Jeomorfoloji	18
3.2.2.3.1 Sayısallaştırılmış Yükseklik Modeli.....	19

3.2.2.3.2 Yamaç Eğimi.....	20
3.2.2.3.3 Yamaç Yönelimi.....	21
3.2.2.3.4 Yamaç Eğriselliği.....	23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	26
4.1. Heyelan Envanter Çalışmaları	26
4.2. Veri Tabanının ve Duyarlılık Haritasının Oluşturulması	27
5. HEYELAN KONTROL FAALİYETLERİ	31
5.1 Hidroloji	32
5.2 Faaliyetlerin Planlanması	33
5.2.1 Miks Eşik.....	33
5.2.2 Gabion Eşik.....	34
5.2.3 Harçlı Islah Sekisi.....	35
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1.1: Heyelana ait diyagram.....	2
1.2: Ankara ili Nallıhan ilçesi ve çalışma alanı sınırı.....	7
1.3: Çalışma alanına ait drenaj haritası	8
1.4: Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametreler	12
1.5: Çalışma alanı çevresi için genelleştirilmiş dikme kesit	14
1.6: Çalışma alanına ait jeoloji haritası	15
1.7: Çalışma alanına ait arazi kullanım durumu.....	18
1.8: Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli.....	20
1.9: Çalışma alanına ait yamaç eğimi.....	21
1.10: Çalışma alanının yamaç yönelimi (Bakı)	22
1.11: Çalışma alanına ait plan eğriselliği.	24
1.12: Çalışma alanına ait profil eğriselliği.	25
1.13: Çalışma alanına ait heyelan envanter haritası	27
1.14: Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası.	30
1.15: Heyelan duyarlılık sınıfları.....	31
1.16: Mudurnu deresine ait görünüm	32
1.17: Yazlıkaya deresine ait görünüm	33
1.18: Çalışma alanına ait Gabion eşik örneği.....	34

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
<u>No</u>	<u>No</u>
1.1: Heyelan türleri.....	
1.2: Ankara ili Beypazarı ilçesi 1975-2005 yılları arası meteorolojik gözlemler çizelgesi	10
1.3: Lojistik regresyon yöntemine dayanarak oluşturulmuş farklı heyelan duyarlılık sınıflarının heyelanlı piksel sayısı ve alansal oranları	30



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ha	: hektar
km	: kilometre
m	: metre
m ²	: metrekare
m ³	: metreküp
p	: korelasyon katsayısı
r	: serbestlik derecesi
χ^2	: ki kare dağılımı

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
SYM	: Sayısallaştırılmış Yükseklik Modeli
LR	: Lojistik Regresyon
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
SPSS	: Statistical Package for the Social Science

1.GİRİŞ

Yirminci yüzyılın başlarından itibaren teknolojik gelişmeler ve artan sanayileşme dünya çapında kentleşme süreçlerine yol açmaktadır. Aynı zamanda nüfus artışına bağlı olarak yeni yerleşim alanlarına duyulan ihtiyaç, yerleşim alanlarının bilinçsizce genişlemesine yol açmıştır. Doğanın bu şekilde tahrip edilmesi, doğal afetlerin kapsamını genişletmiş ve yıkıcı gücünü artırmıştır (Yücel, 2020).

Ülkemiz morfolojik yapısı, coğrafi konumu ve iklimsel sebeplerle sıklıkla can kaybına ve önemli maddi kayıplara yol açan doğal afetlerle karşı karşıya kalmaktadır. Heyelanlar, depremlerden sonra ülkemizin ekonomisine verdiği zarar açısından en büyük afet olup doğal afetlerden kaynaklanan kayıpların %18'ini oluşturmaktadır (İldır, 1995). Ülkemizde heyelanların sıklıkla meydana geldiği alanlar bulunmaktadır. Heyelanın afetinin yaşandığı bölgeler arasında Karadeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu'nun diğer alanlara kıyasla daha fazla heyelana maruz kaldığı belirtilmektedir. Heyelanların sosyo-ekonomik zararları bilindiğinden heyelan hasar azaltım araştırmalarının temelini heyelan duyarlılık çalışmaları oluşturmaktadır. Heyelan duyarlılığının, tehlikesinin ve riskinin değerlendirilmesi hem yer bilimcileri hem de kamusal alanları ve belediyeleri etkilemesi sebebiyle hassas ve üzerinde durulması gereken afet haline gelmiştir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, “geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır” cümlesi hedef olarak belirlenmiş, “geçmişte meydana gelmiş olan heyelanların meydana geldiği koşulları sağlayan alanlar, potansiyel duraysız sahalardır” diye kabul görmektedir. (Varnes vd., 1984; Van Westen vd., 1997; Guzzetti vd., 1999). Bu nedenle, heyelana duyarlı alanların değerlendirilmesindeki en önemli aşamalarından biri, toprak kaymasının meydana gelmesinde etkin olan parametre ve bu parametrelerin kendi içindeki önem sıralanmasıdır.

Literatürde, heyelana duyarlı alan çalışmalarında, genellikle iki yaklaşımın kullanıldığı belirtilmektedir. Bunlar, öznel barındıran niteliksel metotlar ve veri yönetimi olan istatistik analizleridir. Nitel yöntemde heyelanın oluşmasında etkin parametrelerin oransal değerleri araştırmacı deneyimine göre belirlenirken, nicel yöntemde ise istatistiksel analizlerle belirlenmektedir. Son dönemlerde CBS ve yazılım programlarının gelişmesiyle birlikte heyelanların analizi ve veri saklama işlemleri daha hızlı ve işlevsel hale gelmiştir.

Tanımlara ek olarak heyelanlar, oluştukları malzeme çeşitlerine ve harekete geçme tarzlarına göre ayırt edilebilirler. Bazı heyelan sınıflandırma sistemleri, hareketin hızı ve heyelan malzemesinin su, hava veya buz içeriği gibi farklı değişkenleri içerdiğini belirtmektedirler (USGS, 2022). En genel heyelan sınıflandırması Varnes (1978) tarafından yapılmış olup heyelan sınıflandırması Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Heyelan türleri (Varnes, 1978)

HAREKET TÜRÜ		MALZEMENİN TÜRÜ	
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER
			Kaba Daneliler İnce Daneliler
DÜŞMELER		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi Zemin Düşmesi
DEVRİLMELER		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi Zemin Devrilmesi
KAYMALAR	DÖNEL	Kaya Kayması	Moloz Kayması Zemin Kayması
	KARMAŞIK		
YANAL YAYILMALAR		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması Zemin Yayılması
AKMALAR		Kaya Akması (Derin Sürünme)	Moloz Akması (Zemin Sürünmesi) Zemin Akması (Zemin Sürünmesi)
KARMAŞIK		İki veya daha fazla temel hareket türünün kombinasyonu	

1.2 Amaç ve Kapsam

Ülkemizdeki heyelanlar can kayıplarının yanı sıra büyük ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Ülkemizde, doğal afetler içerisinde depremler verdiği can ve mal kaybına yönelik zararlar açısından birinci sırada yer alsa da uzunluğu ve oluşma sıklığı dikkate alındığında heyelanların etkisinin göz ardı edildiği ifade edilir.

Arazinin fiziki yapısını dikkate almayan plansız ve özensiz yapılaşma ve projelerin sayısının artması nedeniyle heyelan riski taşıyan araziler hem kentsel yerleşim alanları hem de inşaat alanları (yol, köprü, baraj vb.) mekânları olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunun sonucunda heyelan nedeniyle bu alanlar kullanılamaz hale gelmekte ve terkedilmek zorunda kalmakta, bu da önemli sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Sorunlara çözüm bulmak için risk durumu yüksek yerlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Heyelan hasarını azaltmak amacıyla yapılan araştırmaların en önemli adımı ve başlangıcı, çalışma alanının heyelan envanterinin çıkarılması ve heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasıdır.

Yapılan bu çalışma ile hedeflenen Ankara İli Nallıhan İlçesinin heyelana duyarlı alanların analizi yapılması ve böylece alanın mevcut durumunu heyelan duyarlılık sınıflarına göre ortaya koymaktır. Daha sonra duyarlılık sınıfları durumunda ortaya çıkan sonuca göre; öncelikli olarak yerleşim yerleri ve mühendislik kontrol yapılarına riskin en az olduğu yerlerin seçiminin belirlenmesi ve bağlamda var olan risk faktörüne göre yapılacak önlemlerin alınması ile meydana gelmesi muhtemel heyelanların maddi ve manevi kayba yönelik olumsuz etkilerinin en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu başlıkta kullanılan yöntem ve önerilen faaliyetlere dair daha önce yayınlanmış çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

2.1 Heyelan Duyarlılık alışmaları

Heyelan duyarlılık haritaları, daha evvel heyelanların meydana gelmesine neden olmuş durumlar dikkate alınarak ileriki zamanlarda oluşması muhtemel heyelanlı alanların saptanması ve bu alanların heyelana karşı duyarlılığının gruplandırılmasıyla yapılan tematik haritalar olarak tanımlanmaktadır (Guzzetti vd., 2012). Bilgisayar ve yazılım teknolojilerinde, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) ve uzaktan algılama tekniklerinde yaşanan gelişmelere yönelik heyelan duyarlılık modellemelerinde de son zamanlarda büyük değişimler yaşanmıştır (Orhan vd., 2022; Kaya Topaçlı, 2023). Özellikle, makine öğrenimi algoritmaları ve yapay zeka yöntemleri, heyelan duyarlılık çalışmalarına öncülük etmek için son zamanlarda bu yöntemlerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Lucchese vd., 2020; Orhan vd., 2022 Shirvani vd. 2020).

Genel olarak, duyarlılık haritaları nitel yöntemler ve nicel yöntemler kullanılarak elde edilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Guzzetti vd., 1999). Nitel yöntemler daha öznel yaklaşımlar olup direkt saha araştırmacılarının bilgi, birikim, deneyim ve gözlemlerine dayanmaktadır (Moharrami vd., 2020). Nicel yöntemler ise daha çok veriye dayalı olup;

heyelana sebep olan faktörlerle heyelan arasındaki ilişkileri matematiksel tahminler yaparak hesaplamıştır (Gong vd., 2018). Bu tez kapsamında heyelan duyarlılık değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda, literatürde en çok kullanılan; nicel yöntemlerden biri olan lojistik regresyon yöntemi (Zhu vd., 2018; Zhao vd., 2019; Du vd., 2020; Goyes-Peñafiel ve Hernandez-Rojas, 2021) kullanılmıştır.

2.2 Heyelan Kontrol Faaliyetleri

Heyelana karşı alınabilecek mühendislik faaliyetlerine ilişkin bilgiler bu başlık altında verilecektir.

2.2.1 Oyuntu Islahı Tesisleri

Oyuntu, aralıklı olarak ansızın sel sularının meydana getirmiş olduğu, dik yahut yaygan kenarlı ve aşındırılmış suyollarıdır (OGM, 1999). Oyuntular, vejetasyon olarak zayıf olan, kurak ve yarı kurak iklim özelliklerine sahip eğimli yerlerde ve drenaj sorunu olan arazilerde fazlaca görülür (Lohbeck ve Suner, 2009).

Oyuntulardan taşınan sediment, zirai alanlarda verimi düşürür. Sulama su kanallarını ve göletleri doldurmak, tarımsal alanları ayırmak suretiyle maddi kayıplara sebep olmaktadır. Ayrıca oyuntu, yanındaki tarım arazilerinin nemini azaltmakla birlikte, arazi kısa zamanda kuraklaşarak ürün rekoltesinde yıldan yıla düşmeye sebep olur. Yüzey erozyonunun devam etmesi durumunda, sahada oluk erozyon oluşmaya başlar, daha sonrasında oyuntu erozyonu oluşur (Boztaş, 2019).

Oyuntuların ıslah edilebilmesi için oyuntunun su toplama alanının büyüklüğü, oyuntunun genişliği, sıklığı, meyili, havzanın vejetasyon durumu, akış hızı dikkatlice incelenmelidir. Oyuntunun ıslahı sırasında kullanılan mühendislik yapıları yamaç ıslahında kullanılan yapılara göre daha pahalı olmaktadır. Bu sebeple mühendislik hesaplamalarında (denge meyili, yapı adedi, mukavemet hesabı vb.) dikkatli hesaplanarak ele alınması gerekir. Oyuntu ıslahında en çok kullanılan yapılardan bazıları aşağıda sayılmaktadır (ÇEM, 2013);

- Kuru Duvar Eşik
- Ahşap Eşik
- Gabion Eşik

- Kafes Tel Eşik
- Harçlı İslah Sekisi
- Miks eşik

Sel kontrolünü sağlamak amacıyla ana dere ve yan derelerdeki oyulmalar, heyelanlar, yamaç göçmeleri, erozyon, sediment, akarsuyun debisini düzenli hale getirmek ve kontrol altına almak için inşai ve mühendislik yapı önlemleri almak kentsel yerleşimin yoğunlukta bulunduğu yerlerde muhtemel sel zararlarını azaltmada önemli faktörlerdir (Dinçsoy, 2013).

Sel afetine karşı zararı azaltmak amacıyla faaliyete alınan bu yapılar, dereye dik ve sıralı biçimde konuşlandırılır ve derelerdeki taban eğiminin denge meyiline ulaşması ile hem akarsuyun debisinde azalışı ve suyun geçici depolanmasını hem de sediment taşınımının azaltımını sağlamaktadır. Görcelioğlu'nun (2005) yılında yapmış olduğu çalışmaya göre, sel tehlikesi olması muhtemel derelerde tabanın korunması, heyelanlı dere kıyılarının ve yamaçların desteklenmesi, taşınan sediment ve suyun depolanmasının amaçlandığı belirtilmiştir.

Tez çalışması kapsamında ise topografya, sediment taşınımı, debi ve ortamdaki materyallere göre gabion eşik, miks eşik ve harçlı ıslah sekisi oyuntu ıslahı tedbirleri uygun görülmüştür.

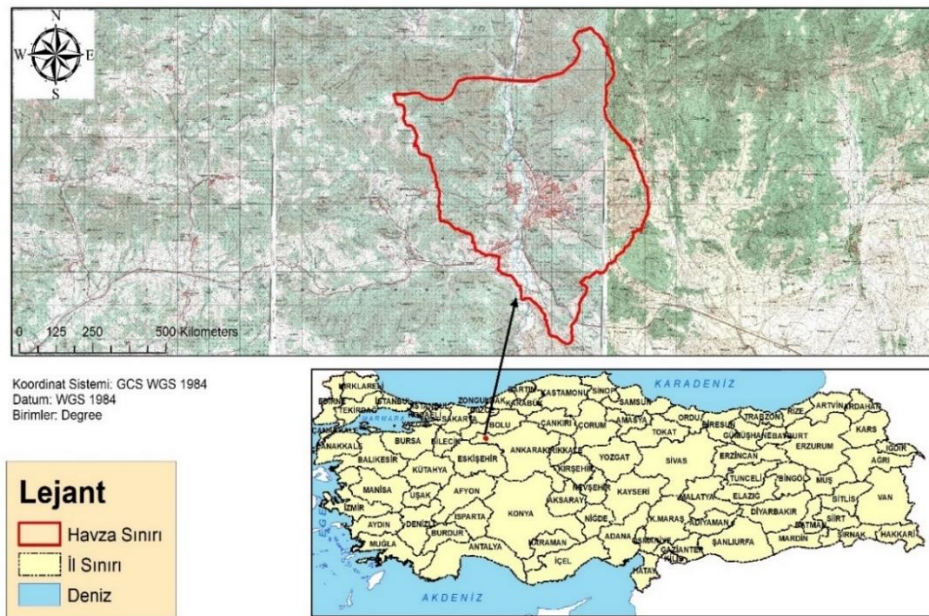
3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Başlık altında çalışmanın seçildiği alan ve alanın fiziksel özellikleri hakkında bilgiler verilecektir.

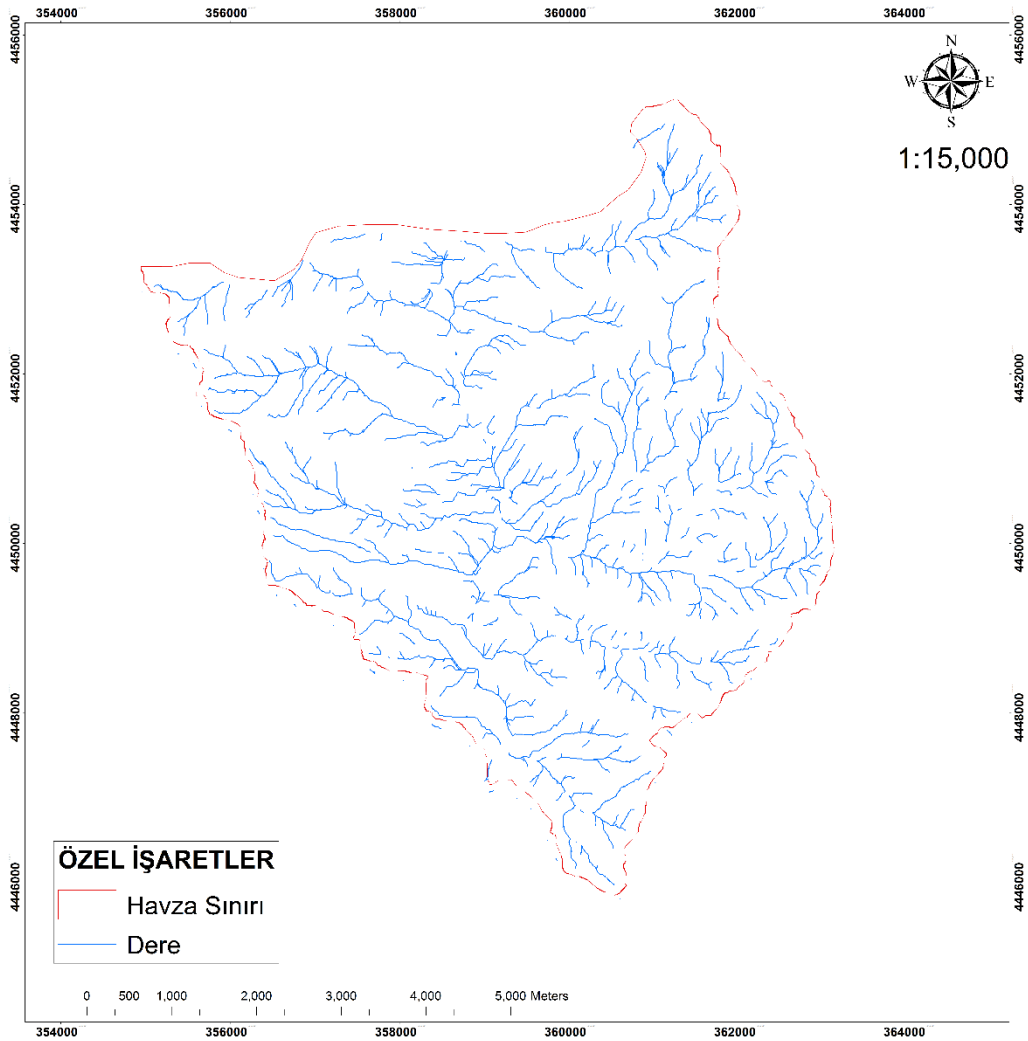
3.1.1 Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler

Çalışma alanı Ankara ili, Nallıhan ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Nallıhan Ankara ilinin batısında yer almakta olup; doğu tarafından Beypazarı, kuzeybatı tarafından Bolu'nun Göynük, kuzeyden Mudurnu, Seben ilçeleri, batıdan Sarıcakaya ilçesi, güneyden Eskişehir ili ve Mihallıccık ilçeleriyle çevrilidir. Ankara il merkezine 160 kilometre olan Nallıhan ilçesinin dört bir tarafı dağ ve tepelerden oluşmuş oldukça engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Bölgede bulunan önemli yükseltiler şu şekilde sıralanabilir; Nalçabayırı Tepe (784 m), Herkinkafa Tepe (861 m), Kuzkaya Tepe (871 m), Kocakızılbayır Tepesi (882 m), Kabalındoruk Tepesi (1023 m), Doruk Tepesi (1185 m) (Ardahanlıoğlu, 2019). Kentsel yerleşim alanı Nallıhan Çayının hizası boyunca kurulmuş olup yüzölçümü 1978 km²'dir. İlçenin deniz seviyesinden yüksekliği (rakım) ise 625 metredir. Nallıhan'ın batısında Andız, kuzeyinde Sarıçalı, doğusunda Karageriş, güneyinde ise Sündiken dağları yer almaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Ankara ili Nallıhan ilçesi ve çalışma alanı sınırı

Çalışma havzasında; Mudurnu, Hacıhasanlar ve Sarılar olmak üzere toplam üç akarsu bulunmaktadır. Derelerde mevsimlik akış vardır. Akarsuların memba tarafında oyuntular mevcut olup derinliği 50 cm'ye kadar ulaşmaktadır. Mansaba doğru oyuntu derinliği gittikçe artmakta ve en az üç metreye kadar ulaştığı görülmektedir. Akarsu kıyılarında ara ara vejetasyon bulunmaktadır. Saha genel olarak güneye doğru eğimli olduğundan alanda bulunan dere ve çaylar bölgenin güneyinden geçmekte olan Sakarya Nehri'ne dökülür. Sakarya Nehri ilçenin en büyük akarsuyudur. Pınarbaşı, Nallıhan Çayı ve Sofulu diğer önemli akarsularıdır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 :Çalışma alanına ait drenaj haritası

Nallıhan ilçesi Batı Karadeniz ve İç Anadolu'nun kesişim noktasında yer almasından dolayı her iki bölgenin de iklimsel özelliklerini yansıtmaktadır. İlkbahar, sonbahar ve kış mevsimleri yağışlı geçse de yaz mevsimleri yağış düşük olmasından dolayı kurak

olmaktadır. Kışlar geçiş ikliminde yer almasından dolayı fazla soğuk olmasa da yağışlı geçmektedir. Sakarya Nehri'nin havzasında bulunan vadilerde rakım 200-250 metreye kadar indiğinden çalışma alanında daha ılıman bir iklim mevcuttur. Nallıhan ilçesinin yamaçlarında am ve meşe meşcereleri mevcuttur. Özellikle kuzey ve batı bakılarda orman örtüsünün oluşturduğu sıklık artar. Doğuda ve güneyde dağ ve tepeler genellikle vejetasyon olarak çıplaktır (Kiper, 1994). Çalışma alanını iklim olarak temsil edebilecek en uygun meteorolojik istasyon Beypazarı İlçe merkezinde yer alan istasyondur (Tablo 1.2).

Meteoroloji tarafından 1975-2005 yılları arasında yapılmış ölçüm verilere göre (31 yıllık rasat) yıllık ortalama yağış 396,2 mm'dir. Ortalama yıllık en yüksek sıcaklık 18,8 °C'dir. En düşük ortalama sıcaklık 7,4 °C'dir. En yüksek sıcaklık 2000 yılı temmuz ayında 43,0 °C; en düşük sıcaklık 1985 yılı şubat ayında -17,7 °C olarak ölçülmüştür.

Tablo 1.2: Ankara ili Beypazarı ilçesi 1975-2005 yılları arası meteorolojik gözlemler çizelgesi (MGM, 2005)

İstasyonun Adı: Beypazarı													
Rakımı (m): 682 m													
Sahaya Mesafesi: 40 km													
AYLAR	Meteorolojik Gözlem Değerleri											Yağış Etkinliği İndisi	İklim Tipi
	Ortalama Yağış (mm)	Günlük en yüksek Yağış Miktarı (mm)	Yağış >= 10 mm Olduğu Günler Sayısı	Yağış >= 50 mm Olduğu Günler Sayısı	Ortalama Kar Örtülü Günler Sayısı	En Yüksek Kar Örtüsü Kalınlığı	En Düşük Sıcaklık	Ortalama Düşük Sıcaklık	En Yüksek Sıcaklık	Ortalama Yüksek Sıcaklık	Ortalama Bağıl Nem		
						(cm)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)		
Ocak	47,6	28,1	1,4	0	8,5	20	-15	-1,8	18,2	4,6	74	124,17	ÇN
Şubat	33,4	30,5	0,8	0	4,6	26	-17	-1,1	20,1	7,3	70	54,9	N
Mart	33,8	29,4	0,8	0	1,5	12	-13,8	1,8	26,2	12,8	63	31,69	YN
Nisan	48,9	37,4	1,3	0	0,1	8	-6,2	6,7	32	18,4	60	31,89	YN
Mayıs	42,5	39,6	0,9	0	0	0	0,4	10,8	35,1	23,9	58	21,34	YK
Haziran	29,4	43,1	0,6	0	0	0	4,8	14,2	39	28,4	53	12,42	K
Temmuz	14	24,4	0,4	0	0	0	7,9	17	43	32,1	49	5,23	TK
Ağustos	14,1	57,3	0,4	0	0	0	8,2	16,8	40,7	31,7	50	5,34	TK
Eylül	12,6	31,5	0,4	0	0	0	4	12,8	38,1	27,3	52	5,54	TK
Ekim	28,3	32,5	0,8	0	0	0	-2	8,5	34,9	20,5	62	16,57	YK
Kasım	37,6	32,6	1	0	0,5	11	-10,1	3,3	23,1	12,6	69	35,81	YN
Aralık	54	46,6	1,7	0	3,8	20	-12,9	0,1	18,2	6,4	76	101,25	ÇN
YILLIK	396,2	57,3	10,5	0	19	26	17,2	7,4	43	18,8	61	21,07	YK
2 yıllık tekerrürlü maksimal saatlik yağış				15,00 mm									
10 yıllık tekerrürlü maksimal saatlik yağış				29,71 mm									
100 yıllık tekerrürlü maksimal saatlik yağış				50,46 mm									
10 yıllık tekerrürlü maksimal 2 saatlik yağış				32,22 mm									

3.2 Metot

Başlık içeriğinde tez de kullanılan lojistik regresyon yöntemi ve kullanılan parametreler hakkında bilgiler verilecektir.

3.2.1 Lojistik Regresyon Yöntemi

Lojistik regresyon yöntemi (LR), heyelan envanteri ile heyelana sebep olan parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biridir (Goyes-Peñafiel ve Hernandez-Rojas 2021; Kaya Topaçlı vd., 2024). LR modelinin kullanılmasının amacı heyelan envanteri ile heyelana sebebiyet veren parametreler arasındaki ilişkiyi göstermektir (Kaya Topaçlı, 2023). Başka bir ifade ile LR analizi, bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki çoklu regresyon ilişkisi aracılığıyla heyelan olasılığını tahmin etmede kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Gong vd., 2018). Bağımsız değişkenler, yükseklik, eğim ve bakı gibi heyelanı tetikleyebilecek parametreleri ifade ederken, bağımlı değişken ise heyelanı belirtmektedir (Yu vd., 2022). İstatistiksel değerlendirmelerde kullanılan diğer yaklaşımların tersine LR yönteminin en önemli üstünlüğü değişkenlerin sürekliliği veya normal dağılım göstermelerine gerek olmamasıdır (Kaya Topaçlı, 2023). Ayrıca, LR yaklaşımında bağımsız değişkenler sürekli ya da kategorik verilerden oluşturulabilmektedir. LR yöntemi sağladığı bu avantaj sebebiyle birçok istatistiksel analizde tercih edilmektedir.

LR olasılık değeri aşağıda verilen eşitlik (Eşitlik 3.1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P(Y = 1) = p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad (3.1)$$

Burada, P ; heyelan olma olasılığını temsil eder. X değerleri; bağımsız değişkenleri, β ise bağımsız değişkenlere ait regresyon katsayılarını ifade etmektedir. LR analizinden alınan sonuç pozitif regresyon katsayısı heyelan duyarlılığı üzerinde etkisinin güçlü olduğu varsayımı yapılırken, negatif regresyon katsayısı heyelan duyarlılık üzerine etkisinin düşük olduğu varsayımı yapılmaktadır (Das ve Lepcha, 2019). Yapılan çalışmada lojistik regresyon denklemi kullanılmış olup, duyarlılık analizleri için ArcGIS 10.4.1 programı

kullanılmıştır. Yazılım programı ilgili alandaki heyelanlı piksel (13279) sayısının iki katı oranında heyelansız piksel (26558) random olarak seçilip veri setleri hazırlanmıştır. Sonrasında oluşturulan veri setlerini kullanıp, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) istatistiksel analiz programı yardımıyla lojistik regresyon analizi yapılmıştır. En sonda elde ettiğimiz veriler yardımıyla duyarlılık haritası görsel hale getirilmiş ve çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere beş değişik duyarlılık sınıfı oluşturulmuştur.

3.2.2. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında Kullanılan Parametreler

Heyelanlara sebep olan parametreler çalışma alanına göre değişiklik gösterdiğinden, kullanılan parametrelerin çalışma alanının özelliklerini yansıtmaları gerekmektedir. Bu nedenle heyelanlara neden olan parametrelerin seçiminde çalışma sahasındaki özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir (Kaya Topaçlı vd., 2024). Bu çalışmada heyelan oluşumu üzerinde etkili olduğu düşünülen toplam 7 parametre kullanılmıştır (Şekil 1.4).

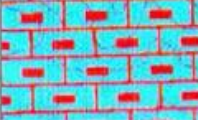


Şekil 1.4 : Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametreler

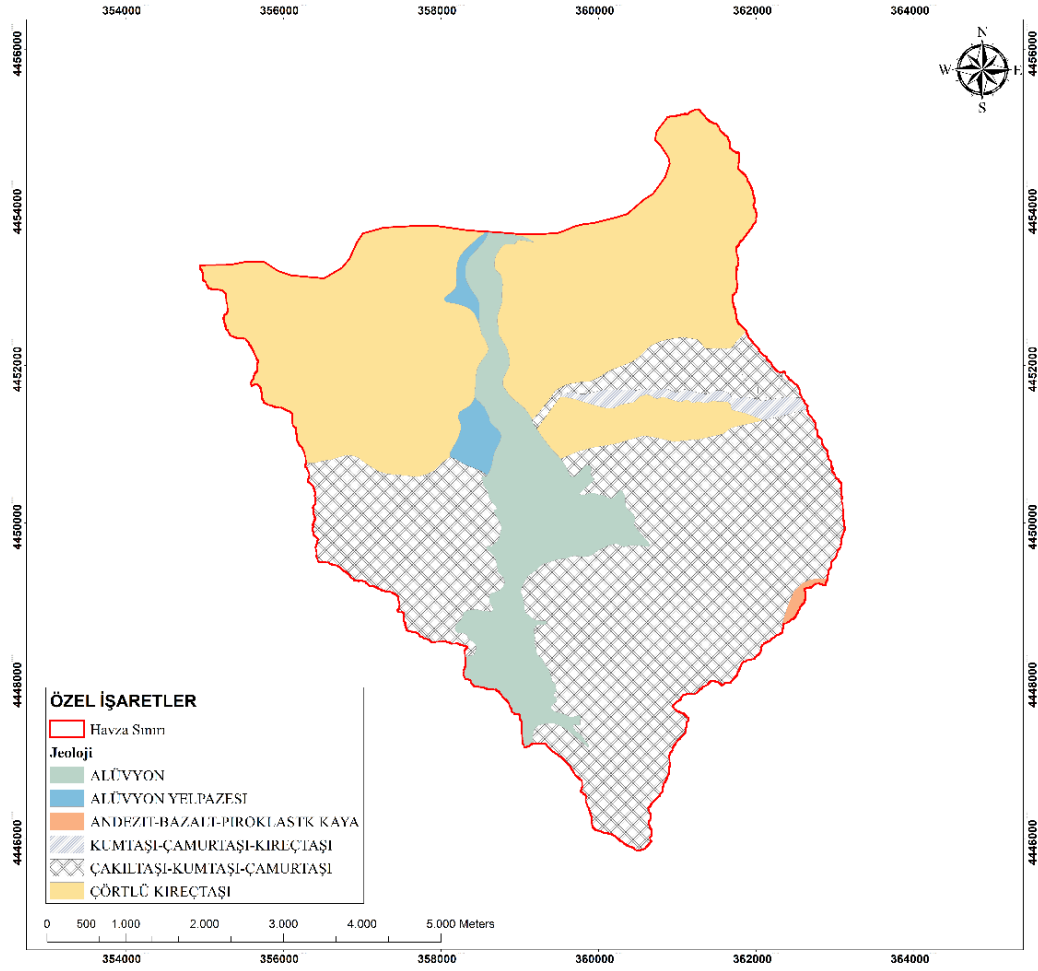
3.2.2.1 Çalışma Alanının Jeolojisi

Ankara ilinin batı tarafında bulunan çalışma sahası İzmir-Ankara Süturu'nun kuzey kısmında Sakarya Zonu içinde yer almaktadır. Bölge, İzmir-Ankara Süturu, Sakarya Zonu, ve Anatolid-Torid Bloğunu kapsayan kayaçlar içerisinde bulunmaktadır (Karaağaç, 2019). Çalışma alanında 8 farklı formasyon bulunmaktadır (Şekil 1.5). Bu sekiz birimin yaşlıdan gence doğru dizilimi, Gökçekaya Metamorfikleri, Soğukçam Formasyonu, Yenipazar Formasyonu, Kızılçay Formasyonu, Meyildere Formasyonu, Ilıcadere Volkaniti, Örencik Formasyonu ve Alüvyon Birimler şeklindedir.

Bölgenin toprak yapısı, Miyosen ve yaşı büyük kayaçlardan oluşan bir temeldeki çanakların Pliyosen çağından sonra dolduran karasal çökellerdir. Çakıllı, kumlu, ama daha çok siltli ve killi katmanlardan oluşan Pliyosen çökelleri, çevredeki kayaçların özellikle andezitik volkanitlerin bozulma ürünlerinin, çukur alanları dolduran sığ göllerde ve yayvan akarsu vadilerindeki çökme sonucunda meydana gelmiştir. Çökeller, genellikle kırmızımsı kahverengi, yer yer de gribej görünümde olup ve ince taneli düzeylerinde egemen olan kil minerali montmorillonittir (Kasapoğlu, 1980; Kiper, 1981). Ankara bölgesinde Pleyistosen, daha çok bölgesel yükselme ve buna bağlı olarak, seki oluşumlarının yoğun olarak bulunduğu bir dönem olarak bilinir (Erol, 1981). Holosen alüvyonları ise Ankara Çayı'nın iki yakasında, yüzeysel bir örtü halinde izlenir. Çalışma alanı ve etrafının jeoloji haritası Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

SENOZOYİK						ÜST SİSTEM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
TERSİYER		KUVATERNER		HOLOSEN	Alüvyon	Qal		Alüvyon
		NEOJEN		PLİYOSEN	Örencik Form	Tplö		Gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı, kilitaşı
				ALT-ORTA MİYOSEN	Ilıcadere Volkaniti	Tmı		Andezit, bazalt, piroklastik kayaç
		PALEOJEN	EOSEN PALEOSEN		Meyildere Volkaniti	Tpem		Andezit, dasit, aglomera
				Kızılcay Form	Tpek		Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı	
MESOZOYİK		KRETASE		MAASTRIHTİYEN ALBİYEN	Yenipazar Form	Kye		Kumtaşı, şeyl, kireçtaşı, tuf
		KRETASE - JURA		Soğukçam Form	Jks		Çörtlü kireçtaşı	
		TRİYAS - PERMİYEN		Gökçekaya Metamorfizmi	pEg		Klorit-serisit şit, fillat, metabazik lav, kalkşist	

Şekil 1.5 : Çalışma alanı çevresi için genelleştirilmiş dikme kesit (MTA, 2019)



Şekil 1.6: Çalışma alanına ait jeoloji haritası

Gökçekaya Metamorfikleri (pEg)

Karakaya grubunda yer alan klorit-serisit-şist, fillat, metabazik lav, kalkışist ve mermer vb. kaya türleri Gökçekaya metamorfikleri olarak ayırt edilmiştir. Birim içerisinde yaş verebilecek fosil bulgusuna rastlanılmadığından dolayı net bir yaş verilememiştir (Karaağaç, 2019). Ancak yapılan diğer çalışmalarda stratigrafik konumuna göre birim yaşının Permien-Orta Triyas (Leven ve Okay, 1996), Alt Triyas (Akyürek vd., 1979) ve Alt-Üst Triyas (Yıkılmaz, 2002) olarak kabul etmiştir.

Soğukçam Formasyonu (Jks)

Çalışma bölgesinin kuzey kesiminde yer alan formasyon, açık bej, grimsi, beyaz renkli miktirik çört yumrulu kireçtaşı ile başlayan birim ince-orta tabakalı ammonit içerikli yeşil,

açık yeşil renkli kumtaşı-şeyl ardışımı ile devam eder. Birimin en üst seviyelerinde ise krem, pembemsi renkli orta-kalın tabakalı tek düze killi kireçtaşları bulunmaktadır (Şahin, 2015). Daha önce yapılmış çalışmalara göre (Altınlı, 1973; Saner, 1980; Granit ve Şener, 1987) aynı isimle adlandırılmış olup Üst Jura – Alt Kretase yaş olarak ortaya konmuştur. Pelajik fosiller içererek, sakin sularda depolandığı belirtilmiştir.

Yenipazar Formasyonu (Kye)

Genel olarak grimsi yeşil renkli, ince-orta tabakalı kumtaşı-şeyl ardalanması ile yeşil ve kahverengi volkanit, yeşil renkli marn ve beyaz, bej, kırmızı, pembe renkli, ince tabakalı mikritik (pelajik-yarı pelajik) kireçtaşı ve az miktarda konglomeralardan oluşan Yenipazar Formasyonuna Saner (1977) tarafından Maastrichtiyen yaşı vermiştir (Şahin, 2015).

Kızılçay Formasyonu (Tpek)

Kızılçay Formasyonu; çoğunlukla kırmızı, alacalı renkli, ince-kalın tabakalı, kötü boylanmalı konglomera, kumtaşı ve kiltaştaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kızılçay formasyonunun yaşı Şahin vd. (2019) tarafından Orta-Üst Eosen olarak güncellenmiş ve akademik olarak çalışmalara konulmuştur. (Ardahanlıoğlu, 2019)

Meyildere Volkaniti (Tpem)

Meyildere Volkaniti; aglomera, volkanojenik kumtaşı, tüf, andezit, bazaltik andezit ve bazalt, yeşil, kahverengi ve mor tabakalı ve masif aglomera, yeşil renkli, kirli beyaz ince-orta tabakalı tüf, tüfit, çamurtaşından ve yine aynı renk bazaltik-andezitik kayalardan oluşmaktadır (Karaağaç, 2019). Lavların bileşimi andezit ve andezitik bazalttır (Göncüoğlu vd., 1996). Birim Orta Eosen yaşı kabul edilmiştir (Şahin, 2015).

Ilıcadere Volkaniti (Tmı)

Ilıcadere Volkaniti; Siyah, Gri, kırmızı, kahverengi, masif, bloklu, cüruf biçimlerinde görünen lavlar, bazalt ve bazaltik andezitlerden oluşmaktadır. Aglomeralar kırmızı, sarı, gri ve kahverenginin farklı tonlarında olup, bazen ufak blok ve çakılların sarı tüfle, bazen de iri

blokların gri renkli t fle tutturulmasından oluşmuşlardır. Birim göreceli olarak Orta Miyosen yaşlıdır.

 rencik Formasyonu (T l )

 rencik formasyonu; kırmızı, sarımsı kırmızı, kahverengi konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ardalanması ile temsil edilir (Karaağaç, 2019). Timur ve Aksay (2002) birim yaşının bulunduğu stratigrafik konumu itibari ile Pliyosen yaşlı olarak ileri sürmüşlerdir (şahin, 2015).

Alüvyon (Qal)

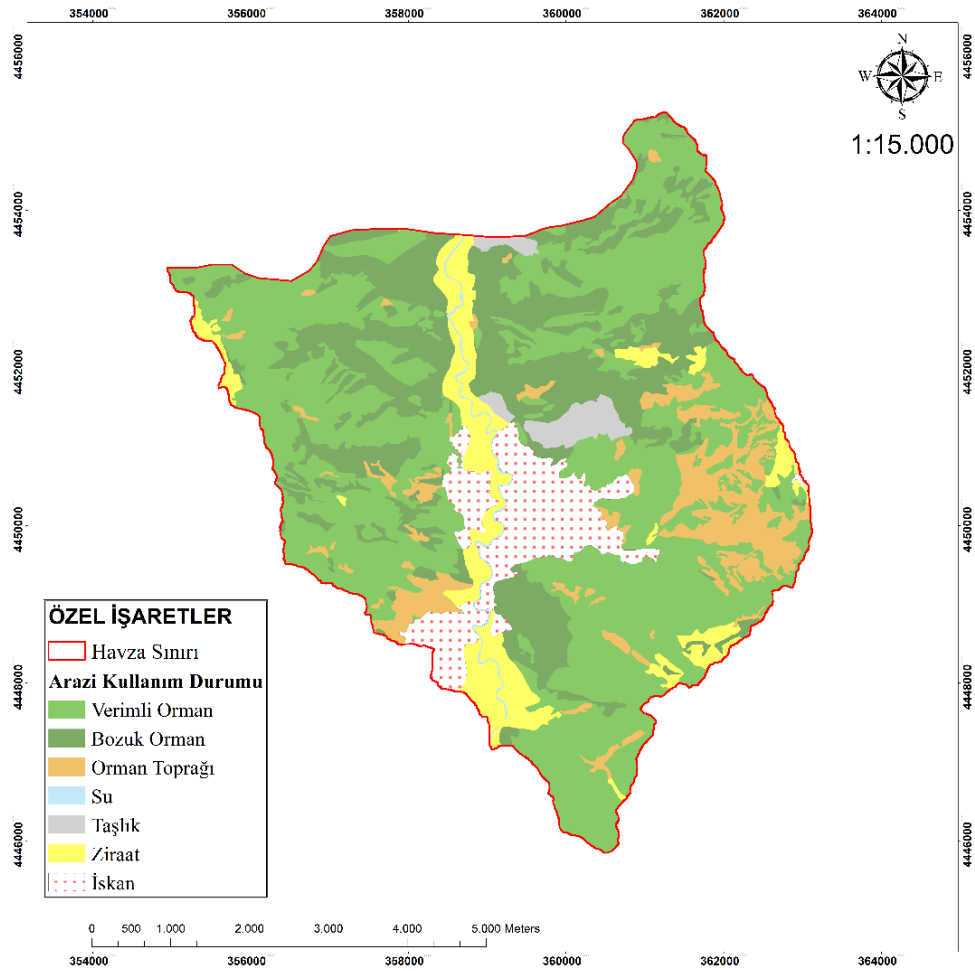
Alüvyon; nehir yataklarında, eskiden oluşmuş çukurluklar üstünde gelişmiş düz alanlardaki tutturulmamış kil, kum, blok, çakıl   ekelleri vardır.

3.2.2.2. Arazi Kullanım Durumu

Herhangi bir yamaca ait duraylılıkta vejetasyonun hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Özellikle kazık kök yapabilen ağaç, ağaççık ve çalı türlerinin güçlü ve büyük köklere sahip olmalarından dolayı vejetasyonun yoğun olarak bulunduğu sahalar yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Bitki ve ağaçlara ait yaprakların yağmur sularını absorbe etmesi ve buharlaştırması, yağış sonrası yağmur sularının toprağa s z lme etkisini azalttığından dolayı olumlu etkisi yüksektir. Yine ağaç ya da bitkiler kökleri sayesinde, topraktaki boşluklar suyu bünyesinde azaltarak, terleme yoluyla buharlaştırır. Ancak, kök ve gövdeler toprak yüzeyinin infiltrasyonunu arttırmasıyla, yüzey sularının zeminden içeriye doğru emilimini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca toprakta nem içeriğinin azalması sonucu oluşan kuruma çatlakları da yağmur suyunun toprağa girmesine ve boşluk suyu basıncının artmasına sebebiyet verdiğinden, yamaç stabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Ancak araştırmacıların büyük bir kısmı, (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzzetti vd., 1999; Dai vd., 2001a; Zhou vd., 2002; Santacana vd., 2003)  zellikle farklı türdeki ağaçların ve bitkilerin duraylılığa bir başka deyişle stabiliteye etkisinin olumlu olduğu yönünde görüşleri belirtmişlerdir ve literatüre geçirmişlerdir. Orman ve bitki örtüsünün yerleşime açılması ya da tarım alanları olarak kullanılmaya başlanması heyelanların oluşmasına neden olmaktadır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu

ormanlık alanların, bitki örtüsü bakımından seyrek alanlara ya da tarımsal faaliyet yapılan alanlara ve yerleşim yerlerine oranla heyelanlardan daha az etkilendiği çalışmalar sonucu ortaya konmuştur.

Çalışmaya konu olan alan, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü, Nallıhan Orman İşletme Müdürlüğü sınırları dâhilinde bulunmaktadır. Çalışma alanının arazi kullanım haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 1.7). Alanın güncel arazi kullanım şekli genel olarak verimli orman, iskân ve ziraat şeklindedir.



Şekil 1.7: Çalışma alanına ait arazi kullanım durumu

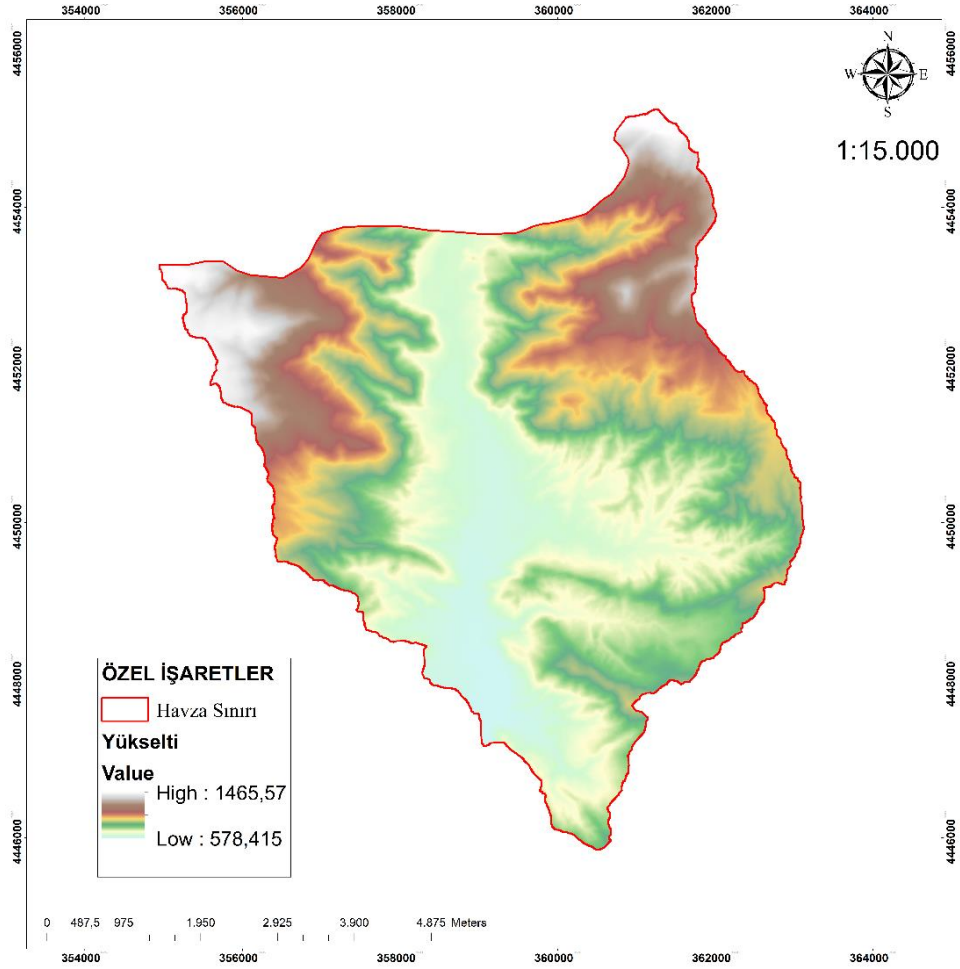
3.2.2.3 Jeomorfoloji

Çalışma alanına ait sayısal kontur haritalarından sayısal modelleme yöntemlerini kullanarak yer şekillerinin yapısı ve çalışma alanı içinde mekânsal değişimi aşağıda ayrı ayrı başlıklar halinde verilen parametreler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.3.1 Sayısallaştırılmış Yükseklik Modeli

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturmayı amaçlayan çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği (rakım) dayalı topoğrafik yükseklik parametresi sıklıkla kullanılmaktadır. Genel olarak çok düşük yükseklikler (0-150 m), şev eğiminin düşük olması ve kalın örtü malzemesinin bulunması nedeniyle, bu alanlar heyelanlara daha az duyarlıdır. Orta dereceli yükseltiler (150-400 m), havza içerisinde yüksek olan kesimden gelen sediment, yüzeysel akış ve ayrışma dolayısıyla oluşacak humus yani verimli toprağın kaybı nedeniyle, heyelanlara karşı daha çok duyarlı olarak değerlendirilmektedir. Yüksek kesimlerdeki alanlar ise (> 400 m), kayaç türü malzemelerden oluşmakta olmasında dolayı ayrıca alt kesimdeki malzemelerin dayanımının yüksek olması nedeniyle, heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları kabul edilmektedir (Dağ vd, 2012).

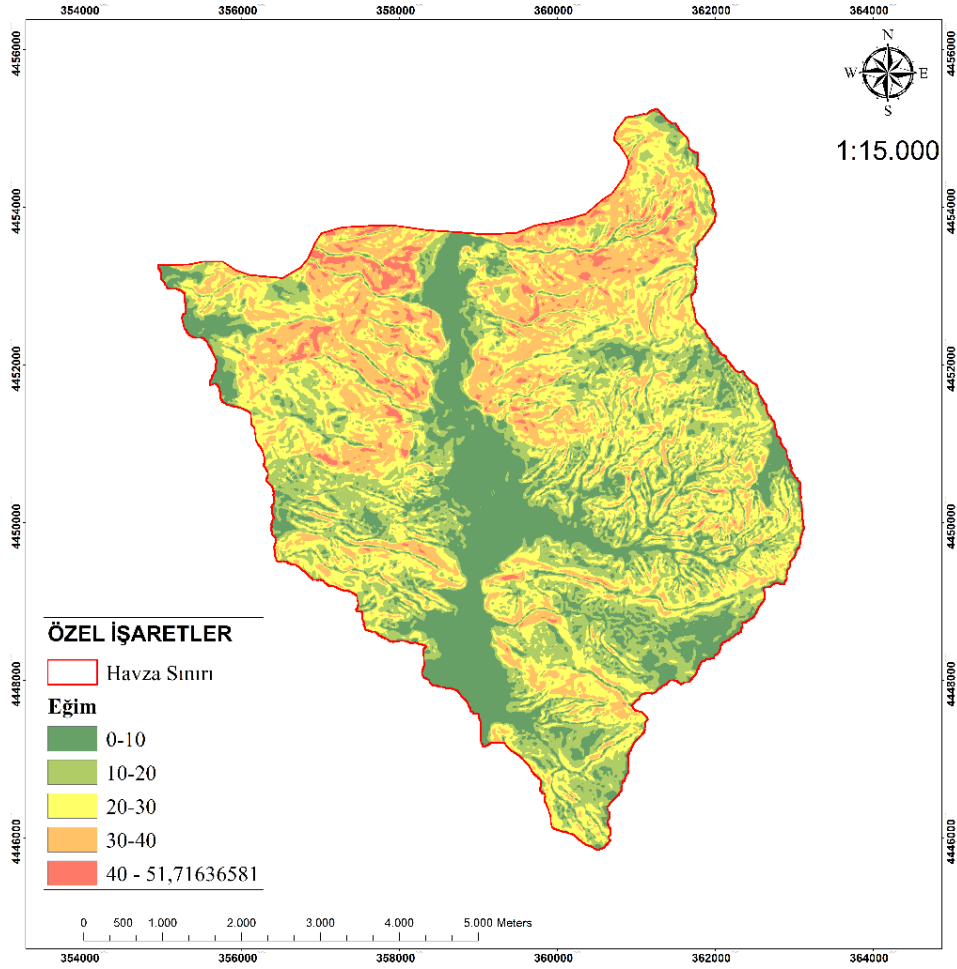
Bu bölümde çalışma alanı çevresinin sayısal yükseklik modeli oluşturularak yükselti haritası elde edilmiştir. Sayısal yükseklik modeline göre yükselti değerleri 578,415 m ile 1465,57 m arasında değişmektedir (Şekil 1.8). Üretilen sayısal yükseklik modeli daha sonra heyelan duyarlılık analizinde parametre olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.8: Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli

3.2.2.3.2 Yamaç Eğimi

Yamaç veya şev eğimi, heyelana sebebiyetle doğrudan etkisinin olduğu saptanmış, duyarlılık üzerine yapılan çalışmalarının temelini oluşturduğu varsayılmaktadır. Yamaç eğimi; yüzeydeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen başlıca duyarlılık faktörüdür. Sayısallaştırılmış yükseklik modelinin türevi olan yamaç eğimi haritası Şekil 1.9'da gösterilmiş olup yamaçların eğim oranı 0 ile 52 derece arasında değişmektedir. Litoloji tipine bağlı olarak yamaç duyarsızlıklarında en mühim parametrelerden birini oluşturmaktadır.

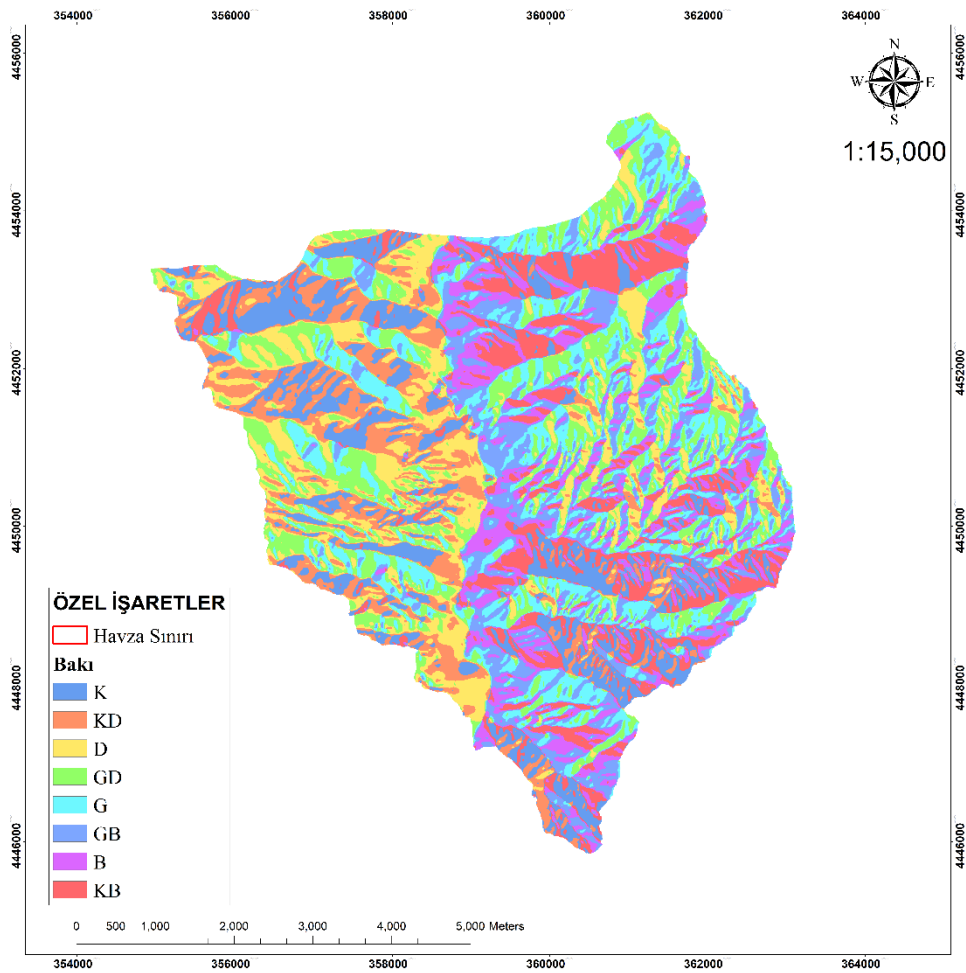


Şekil 1.9: Çalışma alanının ait yamaç eğimi

3.2.2.3.3 Yamaç Yönelimi

Eğim yönü (görünüş) zemin yüzeyinin yönünü belirtir ve zemin yüzeyinde herhangi bir noktada teğet düzlemin işaret ettiği yön olarak ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıklıkla kullanılan parametredir. Çalışma yapan araştırmacıların ortaya koyduğu bulgulara göre istatistiki değerlendirmelerde heyelanların belli bakılara ait yamaçlarda yoğun olduğunu saptamışlardır (Koukis ve Ziourkas, 1991; Pachauri ve Pant, 1992; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzetti vd., 1999; Lee ve Min, 2001; Dai vd., 2001; Lee vd., 2002; Ayalew vd., 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005; Yalçın, 2005). Bu araştırmacıardan Koukis ve Ziourkas, (1991), Gökçeoğlu ve Aksoy (1996), Dai vd. (2001a) ve Lee vd. (2002) heyelanların belirli yönelimlerde birikmesinin sebebini çoğunlukla yağışla ilişkilendiriyorken, Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) bu durumu alanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmektedir.

Genel yağış yönü, bölgenin genel morfolojik yapısı, güneş ışıınının artması gibi meteorolojik olaylar heyelanların yamaçlarda yoğunlaşmasını belirli bir yönelimle etkilemektedir. Daha fazla yağış alan yamaçlar, farklı nedenlerden dolayı (topoğrafik eğim, zeminin türü, geçirgenlik, gözeneklilik, nem ve organik madde içeriği, vejetasyon ve yapının meydana geldiği mevsim) az yağış alan yamaçlara oranla doygunluğa kısa zamanda ulaştığı belirlenmiştir. Zemin içerisinde oluşan boşluk suyu basınçları, bu tür yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu nedenle yamaç eğim yönü(bakı) parametresinin veri olarak değerlendirilmesinde, yoğun yağış alan yamaçlar daha duyarlı olarak belirlenmektedir. Çalışma alanının bakı durumunu gösteren harita Şekil 1.10'da gösterilmiştir.

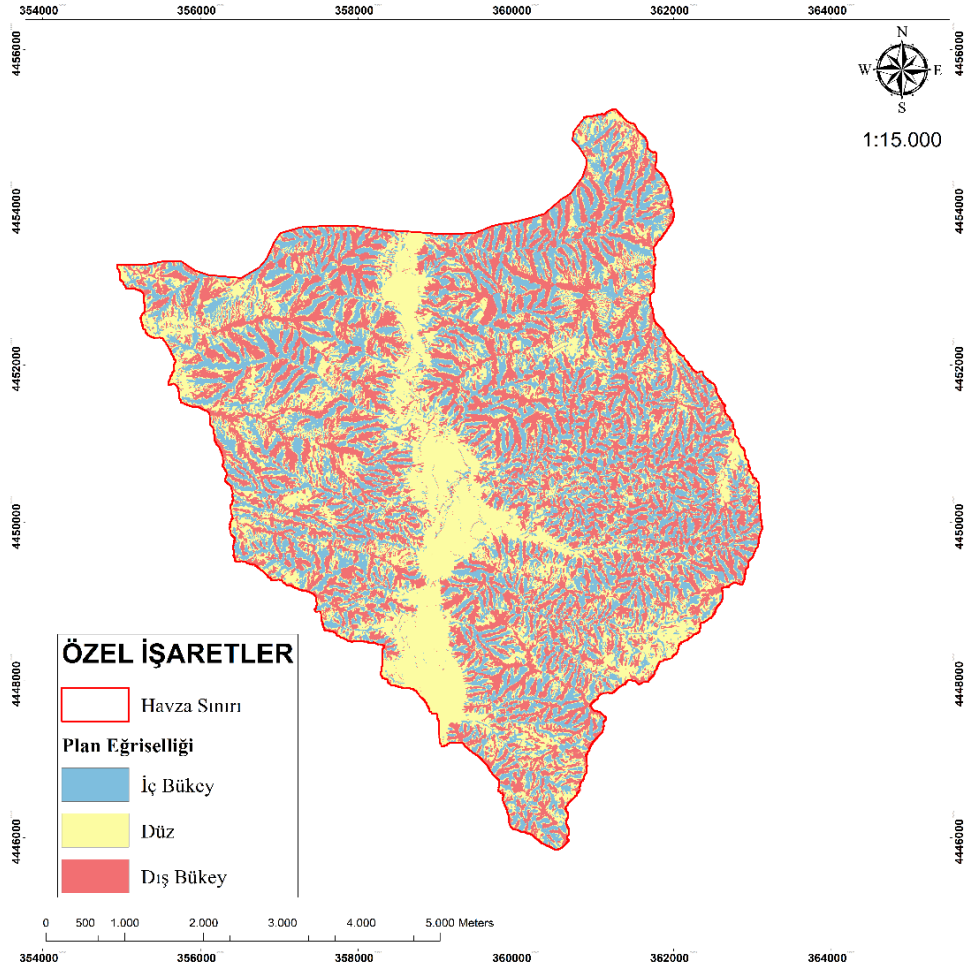


Şekil 1.10: Çalışma alanının yamaç yönelimi (Bakı)

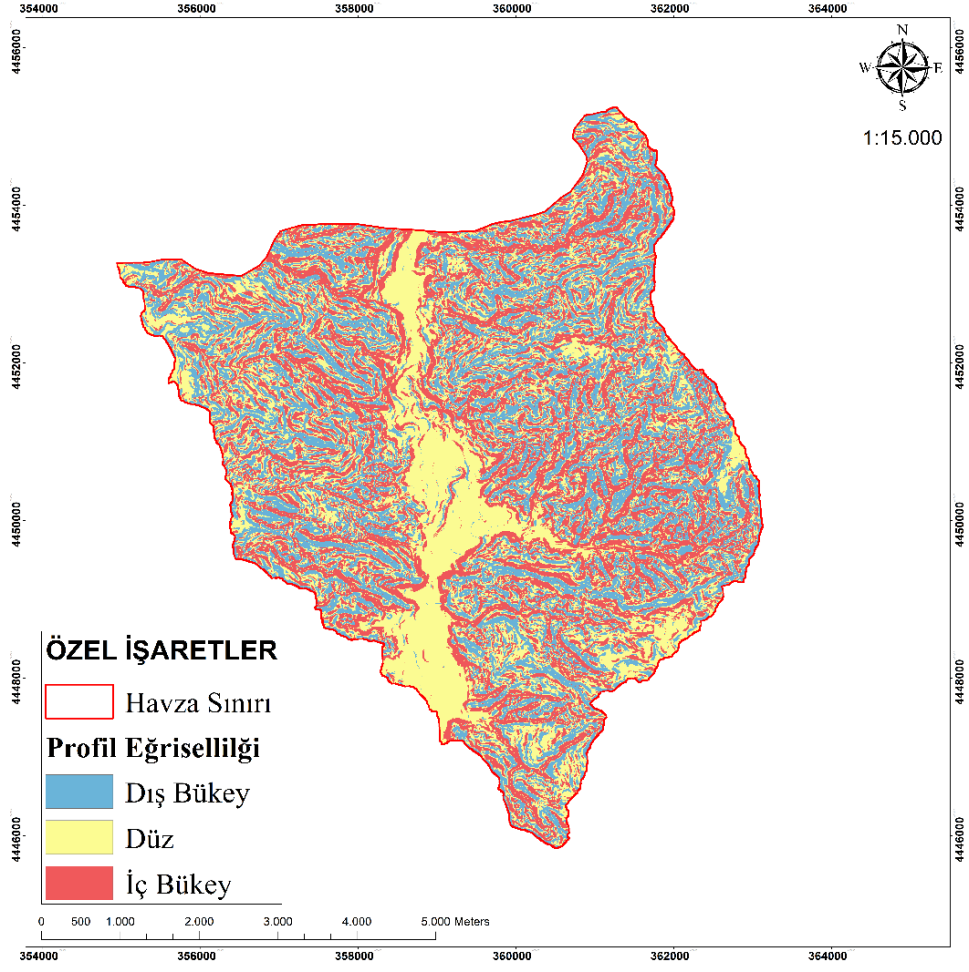
3.2.2.3.4 Yamaç Eğriselliği

İç ve dış bükey olmak üzere iki farklı yamaç şekli tanımlanmaktadır. İç bükey ve dış bükey yamaç şekilleri hidrolojik akış durumunu kontrol etmesi bakımından önem arz etmektedir. Profil yamaç eğriselliği, dikey düzlemde eğim yönüne paralel eğrisellik olarak tanımlanabilir (Wilson ve Gallant, 2000). Profil yamaç eğriselliği; su yüzeyindeki debi ve rusubatların yamaç yönünde harekete geçmesi ve bunun sonucunda oluşan erozyonu, eğim değişim oranını ifade etmek için ortaya koyar. Plan eğriselliği topoğrafik konverjans ve diverjans alanlarını ortaya koyarak yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi tanımlamaktadır. (Wilson ve Gallant, 2000).

Üretilen plan ve profil eğriselliği haritaları aşağıda verilmektedir (Şekil 1.11 ve 1.12). Üretilmiş plan eğriselliği haritasına göre mavi renk ile gösterilen kısımlar o yamacın iç bükey olduğunu, kırmızı renk ile gösterilen kısımlar ise o yamacın dış bükey olduğunu ifade etmektedir. Üretilmiş olan profil eğriselliği haritası verisine göre kırmızı renk ile gösterilen kısımlar o yamacın iç bükey olduğunu, mavi renk ile gösterilmiş alanlar ise o yamacın dış bükey olduğunu ifade etmektedir. Guzzetti vd. (1999) yapmış olduğu çalışmalarında dış bükey yamaç eğriselliğinin iç bükey yamaç eğriselliğine nazaran heyelana olma olasılığına daha duyarlı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1.11: Çalışma alanına ait plan eğriselliği.



Şekil 1.12: Çalışma alanına ait profil eğriselliği.

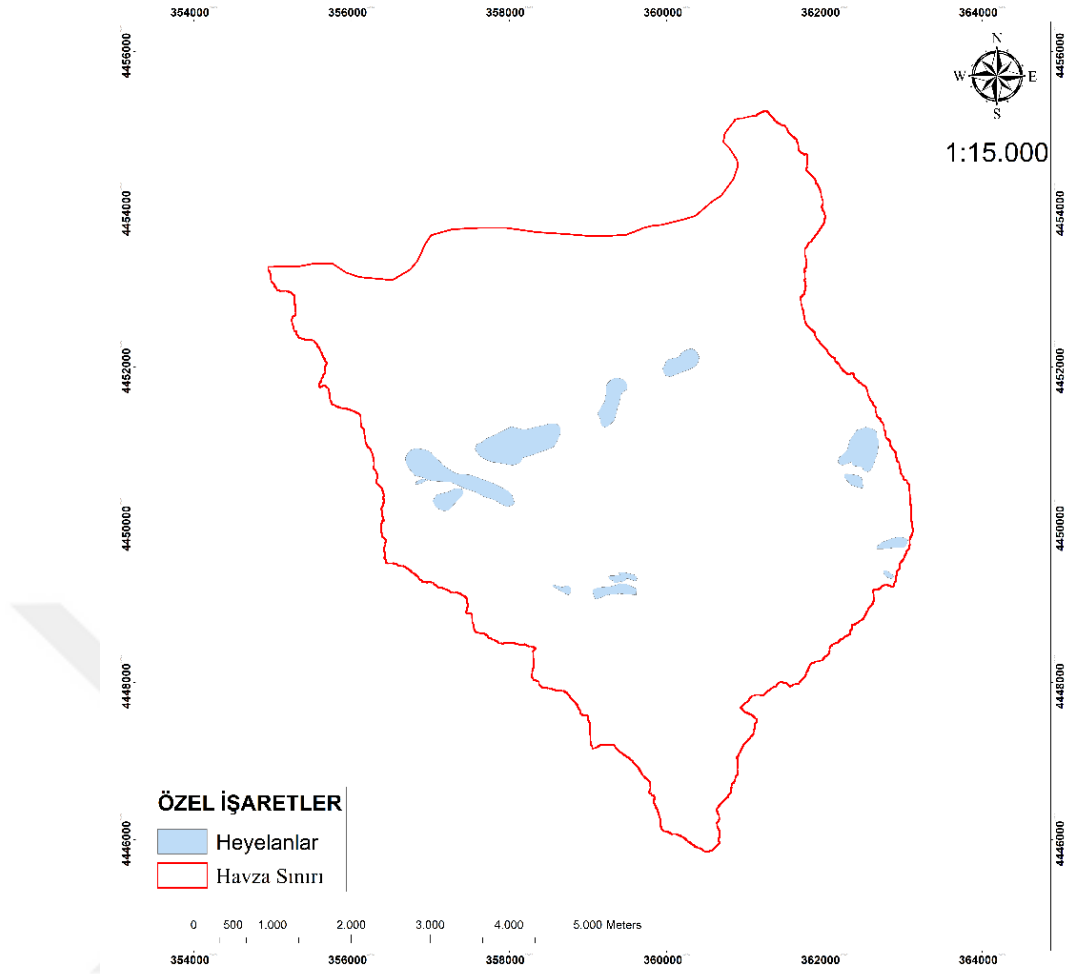
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu başlık altında tez kapsamında çalışma alanına ait üretilen heyelan envanter haritası ve Lojistik regresyon analizi ile üretilen duyarlılık haritası hakkında bilgiler verilecektir.

4.1. Heyelan Envanter Çalışmaları

Heyelan envanter haritaları, geçmişte meydana gelmiş heyelanlı alanların konumu, türünü, aktivite durumu ve meydana gelme süreleri hakkında temel bilgiler sunan haritalar olarak tanımlanmaktadır (Fell vd., 2008; Guzzetti vd., 2012). Heyelan envanter haritaları, heyelan duyarlılık haritalarının ortaya çıkarılmasında en temel girdi parametresini oluşturmaktadır (Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2004). Envanter haritaları literatürde kabul görmüş çok çeşitli yöntemler ile elde edilmektedir (Yıldız, 2019). Arazide yapılan araştırma, uydu görüntüleri, hava fotoğraflarının yorumlanması, topoğrafik haritalar ve sayısal arazi modelleri vb. gibi yöntemler heyelan envanter haritalarını üretmek için en sık kullanılan yöntemler arasında bulunmaktadır. Heyelanların neden olduğu zararların ve kayıpların azaltılması hususunda etkin olan heyelan envanterinin detaylı olarak haritada gösterilmesi gerekmektedir (Kaya Topaçlı, 2023). Böylece gelecekte meydana gelebilecek potansiyel heyelanların sebep olacağı kayıpların azaltılması üzerine yapılacak çalışmaların niteliği iyileştirilebilecektir.

Çalışma alanına ait heyelan envanterinin elde edilmesi için arazi çalışmalarından ve Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından üretilmiş basılı ve sayısal haritalardan yararlanılmıştır. Bu şekilde heyelan envanter haritasının hazırlanması ne kadar zor ve uzun sürse de bu haritanın çalışma alanına ait şartlar dikkate alındığında daha yüksek veri kalitesi içerdiği düşünülmektedir. Elde edilen heyelan verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programlarından birisi olan ArcGIS 10.4.1 yazılımı yardımıyla sayısallaştırılıp haritalanmıştır. Çalışma alanında toplam 13 adet heyelan tespit edilmiştir. Heyelanlı alanlar, 10 m x 10 m boyutlarında toplam 13279 adet pikselden oluşmaktadır. Haritalanan heyelanların %70'i uygulamada heyelan duyarlılık haritaları üretmek için, %30'u ise üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi için test amaçlı kullanılmıştır (Şekil 1.13).



Şekil 1.13: Çalışma alanına ait heyelan envanter haritası.

4.2. Veri Tabanının ve Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Yaşadığımız çevrede heyelan duyarlılık çalışmaları ulusal ve uluslararası literatürde özellikle geçtiğimiz 10 yılda büyük oranla artmıştır. Afetlerle etkin mücadelede modern yaklaşımlardan ve sistemlerden birçok kurum ve kuruluşlardan faydalanılmaktadır. İnsanların doğal afetlerden olumsuz etkilendiği alanları CBS yardımıyla yapılacak modelleme çalışmalarının desteklenmesi ve elde edilecek sonuçların hedefe ulaşmada önemli bir aşama olduğu aşikardır (Özçelik, 2021)

Özçelik (2021), Çankırı ilinde gerçekleştirmiş olduğu modelleme çalışmalarında heyelana neden olan faktörlere göre iki farklı model kullanmıştır. Bunlar AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve LR (Lojistik Regresyon) modelleridir. Yapmış olduğu çalışmada Çankırı ili için AHP yaklaşımına göre elde etmiş olduğu analiz sonuçlarına göre heyelan duyarlılığı %73,9 bulmuş, LR yaklaşımına göre ise %75,2 olarak tespit etmiştir. Çalışmada birbirine yakın

sonuçlar ortaya çıkmış olmasından dolayı, kullandığı parametrelere göre heyelan duyarlılıkta doğru varsayımlar ortaya çıkarmıştır.

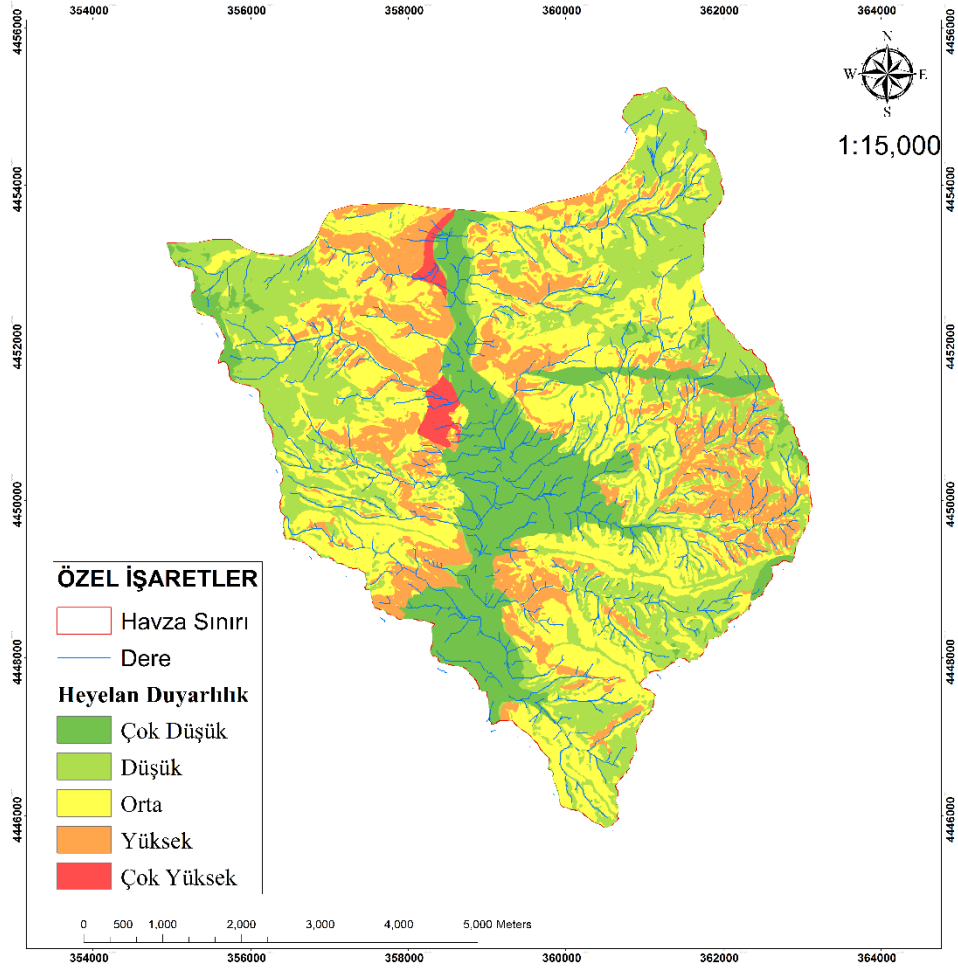
Aydınoğlu ve Altürk (2021), Rize ilinde yapmış oldukları Heyelan Duyarlılık alışmalarında FO (Frekan Oranı), LR (Lojistik regresyon) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) modellerini çalışmasında kullanmışlardır. Yapmış oldukları duyarlılık haritalamaları sonucunda AUC değerlerine bakıldığında, YSA modelinin performans olarak LR modeline çok yakın olmakla birlikte birbirini desteklediğini belirtmişlerdir. YSA, biyolojik sinir ağlarına benzer bir yaklaşımla bilgisayara aktararak, üretilmiş çıktıların dışardan alınarak içeride anlamlandırmak suretiyle yine dışarıya bir çıktı vermesidir. YSA, AUC değerlerine göre daha doğru bir sonuç vermesine karşın karmaşık yapıda bir analiz olmasından kaynaklı ağın iyi tasarlanmış olması gerektiğini vurgulamıştır. Diğer yandan LR yönteminde ise parametrelere ait ağırlık katsayıları ve bu katsayıların analize etkisinin tek tek görülebildiğinden bahsetmiştir. Havzada kullanılabilecek parametrelerin kestirimi yönünden oldukça verimli sonuçlar göstermekte ve YSA'ya göre daha kolay, uygulanabilir bir yöntem olduğunu gözlemlemiştir.

Demir (2018), yaptığı çalışmada Sivas ili Suşehri ilçesinin KAF deprem kuşağı boyunca uzanan bölümünde uygulanan heyelan duyarlılık haritasını oluşturmak için Lojistik Regresyon (LR), Analitik Hiyerarşı Süreci (AHP) ve Frekans Oranı (FR) modellerini kullanarak karşılaştırma yapmıştır. Öncelikle hava fotoğrafları, arazide yapılan araştırmaları, uydu görüntüleri gibi farklı kaynakları kullanarak heyelan envanter haritası oluşturmuş. Çalışmada heyelan duyarlılığı analizinde birtakım faktörler kullanmıştır. Bunlar: litoloji, eğim yönü, topografik yükseklik, akarsuya uzaklık, yollara uzaklık, eğim ve faylara uzaklıktır. Analizde hız ve kolaylık olması için tüm tanımlayıcı ve konumsal bilgiler CBS sistemine girilmiş ve sonuç olarak CBS'deki modeller kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarını üretmiştir. Sonuçlar, AHP, LR ve FR yöntemleri kullanılarak ortaya çıkarılan eğrilerin altında kalan alanın sırasıyla 0.884, 0.837 ve 0.835 olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada genel olarak, her üç modelin de doğru olduğu görülmüştür.

Eker vd. (2011), Bartın ili Ulus ilçesi için yapmış oldukları heyelan duyarlılık çalışmasında YSA (Yapay Sinir Ağları) ve LR (Lojistik Regresyon) modellerini kullanmışlardır. İki modellemenin sonuçlarına göre YSA modelinin LR modeline göre daha üstün olduğu kanısına varmıştır.

Yapılan çalışmalarda LR modelinin doğruluğunun saptandığı ve kullanımının uygun olduğuna karar verilmiştir. Yapılan çalışmaların ve modellemelerin sahalara ve kullanılan parametrelere göre değişkenlik göstereceği unutulmamalıdır.

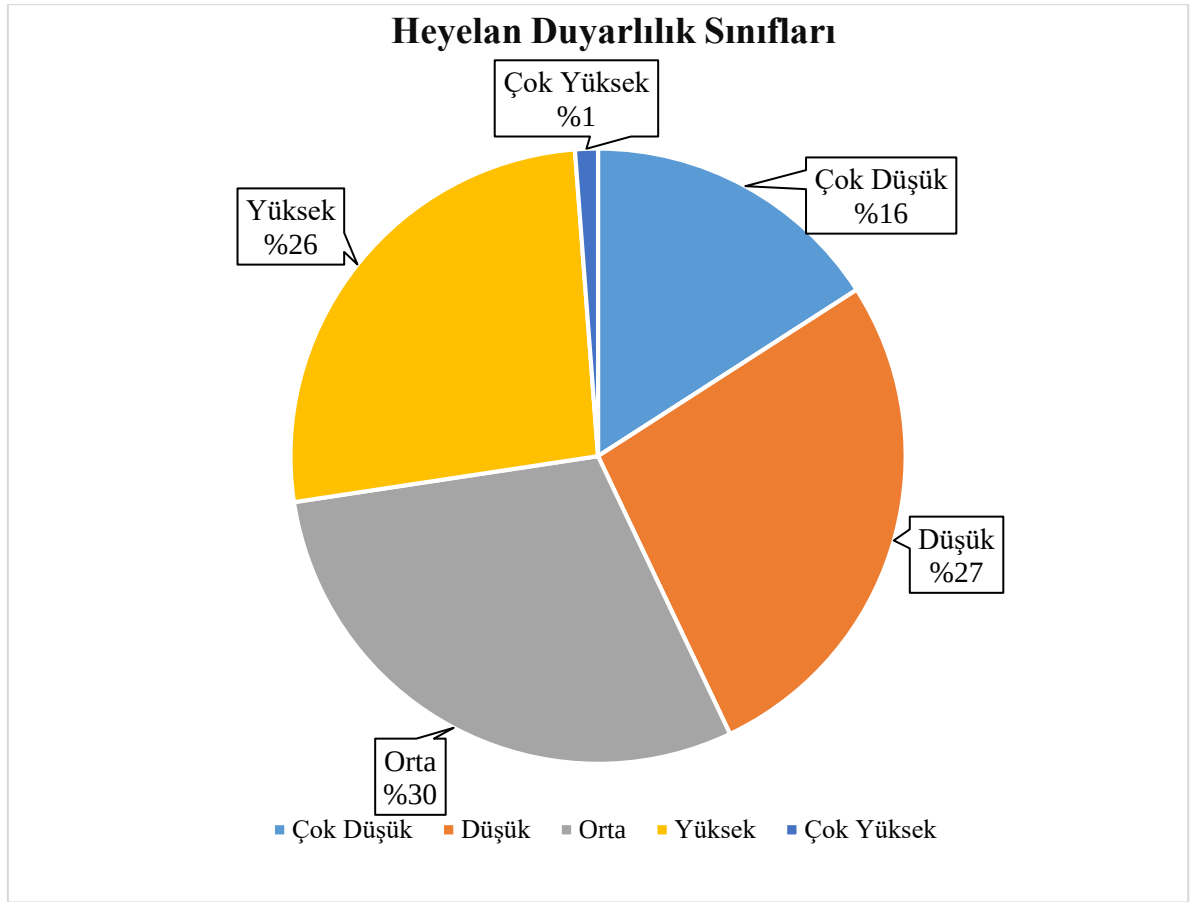
Tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık haritası LR yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık haritasını elde etmek için ArcGIS 10.4.1 yazılımı, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) istatistik analiz programı kullanılmıştır. Duyarlılık analizinde, 7 adet bağımsız değişken (rakım, jeoloji ve arazi kullanım durumu, yamaç yönelimi(bakı), yamaç eğimi, plan eğriselliği, profil eğriselliği,) ve bağımlı değişken olarak 13 adet heyelan kullanılmıştır. Lojistik regresyon analizini gerçekleştirmek için veri matrisinde toplam 389490 adet piksel ile çalışılmıştır. Duyarlılık analizi için 13279 adet heyelanlı piksele (1) karşılık iki katı olan 26558 adet heyelansız piksel (0) random olarak seçilmiş ve veri setleri oluşturulmuştur. Sonrasında ArcGIS 10.4.1 programı yardımıyla birleştirilen rastgele seçilmiş örnek dosyası daha sonra SPSS programı yardımıyla bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler kullanılarak lojistik regreyon analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak elde ettiğimiz veriler ile ArcGIS güncel 10.4.1 haritalama programının yardımıyla duyarlılık haritası görsel hale getirilmiş ve grid format yapısına dönüştürülerek çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş farklı duyarlılık sınıflarına ayrılmıştır (Şekil 1.14). Heyelan envanter haritası, üretilen heyelan duyarlılık haritası ile üst üste çakıştırılıp çıkan sonuca göre var olan heyelanların %27,39'u yüksek ve çok yüksek, %29,67'si orta, %27,04'ü düşük, %19,9'u çok düşük, sınıf içerisinde yer almaktadır (Tablo 1.3, Şekil 1.15).



Şekil 1.14: Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası.

Tablo 1.3: Lojistik regresyon yöntemine dayanarak oluşturulmuş farklı heyelan duyarlılık sınıflarının heyelanlı piksel sayısı ve alansal oranları

Heyelan Duyarlılık Sınıfları	LR Modeli	
	Heyelanlı Piksel	Alan %
Çok Düşük	61899	15.90
Düşük	105314	27.04
Orta	115548	29.67
Yüksek	102005	26.19
Çok Yüksek	4655	1.20



Şekil 1.15: Heyelan duyarlılık sınıfları

5. HEYELAN KONTROL FAALİYETLERİ

Özcan vd. (2017), Eskişehir ili Mihalicçık ilçesinde heyelanlı alanlar için yapmış oldukları çalışmada; heyelanlı sahaların ileriki zamanlarda meydana gelmesi muhtemel aşırı yağışların ardından yeniden harekete geçme olasılığı bulunmakta olduklarına değinmişlerdir. Bu sebeple drenaj kanallarının alandaki heyelan tehlikesini minimum seviyeye indirmeye yardımcı olacağı görüşüne varmışlardır.

Ayrıca alanda ağaçlandırma yapılması durumunda heyelana karşı önlemlerin alınacağına ve heyelanı önlemeye yardımcı olacağına söz konusu çalışmalarında değinmişlerdir.

Akkuş vd. (2023), Ankara ili Nallıhan ilçesi için yapmış oldukları yayın kapsamında tek bir dere üzerinde sel kontrol faaliyeti önermiştir. Çalışmalarında sel olmasının ardından heyelanı tetiklemesi muhtemel dere için en uygun tedbirin Harçlı ıslah sekisi olduğuna karar vermişlerdir.

Heyelan duyarlılık haritaları tabanıyla belirlenen risk alanlarının yüksek olduğu bölgelerde heyelanların oluşma ihtimalinin yüksek olduğu bu sebeple çalışma alanında heyelan risk bölgelerinin içerisinde bulunan ve yağışın fazla olduğu durumlarda sel sebebiyle ortaya çıkabilecek heyelan tehlikesine karşı alınabilecek önlemler olan Miks eşik, Gabion eşik ve Harçlı ıslah sekisi çalışma kapsamında planlanmıştır.

5.1 Hidroloji

Çalışma havzasında 4(dört) dere bulunmaktadır. Bunlar Sarılar, Hacıhasanlar, Mudurnu (Şekil 1.16) ve Yazılıkaya (Şekil 1.17) dereleridir. Yağışın fazla olduğu zamanlarda, sel ve taşkın durumlarında bu derelerin etkisiyle alanda heyelan riski artmakta ve sular bu dere üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple Heyelan riskini indirmek ve afet durumu söz konusu olduğunda oluşabilecek zararı en aza indirmek için bu dereler üzerinde yapılacak çalışmalar büyük önem arz etmektedir.



Şekil 1.16: Mudurnu deresine ait görünüm.



Şekil 17: Yazlıkaya deresine ait görünüm.

5.2 Faaliyetlerin Planlanması

Çalışma sahası sel sebepli heyelan riski açısından çalışmada açıklandığı üzere oldukça riskli bir alanda yer almaktadır. Bu nedenle havza içinde meydana gelebilecek sel ve taşkın olaylarının önüne geçebilmek amacıyla havzada yapılan çalışmalar neticesinde aşağıda belirtilen tedbirlerin yapılması uygun görülmüştür. Çalışma sahasında bu tesislerin amacına hizmet edebilmesi için ana derelerde taşkın, sel ve sediment taşınımını en aza indirmek ve bu sayede heyelanı önlemeye çalışmak için tedbir almak can ve mal güvenliği açısından oldukça önemlidir. Çalışma sahasında yapılan incelemeler sonucunda havzada miks eşik, harçlı ıslah sekisi ve gabion eşik yapılması öngörülmüştür.

5.2.1 Miks Eşik

Çalışma Alanlarında eşik yapılacak malzemelerin bulunmadığı ortamlarda harç ve taş karıştırılarak yapılan yapılardır. Sağlam yapı olması münasebetiyle tercih edilir fakat inşaat malzemesi olması sebebiyle fazla tercih edilmemelidir. Ayrıca miks eşiklerin arkasına yapılacak dikimlerle akışın azaltılması da sağlanabilir.

5.2.2 Gabion Eşik

Gabion eşikler çelikten imal edilen taşıyıcı tel örgülerin çeşitli şekilde bağlanarak içinin irili ufaklı kaya parçaları veya inşaat malzemeleri ile doldurulmasıyla elde edilen kafeslerdir. Gabion duvarlar genellikle hafif dayanma yapısı alternatif olarak kullanılsa da erozyonun önlenmesi, şev stabilitesinin sağlanması ve kıyı aşınmalarının korunması gibi daha birçok mühendislik alanında da kullanılmaktadır. Gabion duvarların kullanılması birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Günümüzde ekonomik durumlar gereği betonarme yapıların inşaat sektöründe kullanımı artan maliyetleri beraberinde getirmektedir. Aksine Gabion duvarlar çelik teller ve kaya parçalarından oluşması sebebiyle kullanıldığı takdirde maliyetleri düşürecektir (Şekil 1.18).

Gabion duvarların yapısında bulunan taşların, kaya parçalarının bazı taş ocaklarının atık depolarından tedarik edilebiliyor olması gabion duvarların hem ekonomikliğini hem de çevre dostu özelliğine dikkat çekmektedir. Gabion duvarların fabrikalarda hazır olarak üretilmesi ve paketlenmesi de nakliye maliyetini azaltmaktadır. Betonarme elemanlara nazaran kolay ve hızlı tedarik edilmesi, montajının kolay olması da ekstra eleman ücretleri gerektirmemektedir. Bu duvarların boşluklu yapıda olması sayesinde drenaja da kolayca izin vermektedir.



Şekil 1.18: Çalışma alanına ait gabion eşik örneği

5.2.3 Harçlı İslah Sekisi

En etkili iyileştirme yöntemi nehir yatağının eğimini azaltarak, su hızını ve dolayısıyla sürüklenmeyi azaltarak nehir erozyonunu önlemektir. Bu amaçla tekil yapılara veya akış eksenine dik aşamalar halinde inşa edilen yapılara enine yapılar adı verilir. Enine yapıların sel ve heyelana karşı en etkin olanı ıslah sekileridir. İslah sekileri sel derelerindeki tabanın korunması, göçmüş, heyelanlı kıyı alanların ve yamaç eteklerinin desteklenmesi bu sayede meydana gelecek toprak kaymalarını engellemesi, dere yatağının yük taşınımının azaltılmasının sağlanması, ya da sele sebebiyet verebilecek fazla sedimentin uygun olan alanlara depolanması maksadıyla, dere içlerinde yapılan tek ya da sıra halinde olan (sistematik) faaliyetlere denir.

Mecra ıslahında kullanılan enine yapılardan en etkin olanı ıslah sekileridir. Tersip bentleriyle karıştırılsa da ıslah sekilerinin işlev farkı, yapıldığı yerlerde ve memba yönüne doğru belirli aralık içerisinde, dere taban ve kıyıları erozyona karşı korumak, oyuntular sonucunda meydana gelen yamaç çökmesi ve tabi ki en önemlisi zararlı olan heyelanları kontrol altına almayı sağlamaktır. Bu mevcut işlevlerin yanında;

- dereye yatağındaki boyutu büyük yükü durdurmaya çalışmak,
- belirli uzunlukta dere eğimini düşürmeye çalışmak,
- oyuntudaki çökmüş malzemenin yeniden hareketini engellemek,
- yüksekte gelmesi muhtemel sedimentasyonu durdurmaya çalışmak ve bir kısmının depolanmasını sağlamak,
- üstte yapılmış ve yapılması planlanan diğer sekilere örnek oluşturmak,
- fazla suyun geçici olarak depolanmasını sağlamak gibi fonksiyonları vardır.

Ancak daha önce de belirttiğimiz gibi asıl amacı toprağı yerinde tutmak ve aşınmasını, hareket etmesini yani sediment oluşturmalarını önlemektir. Adından da anlaşılacağı gibi, ıslah edilmiş seki terasları, nehirlerin bozulan doğal dengesini yeniden sağlayarak ıslah işlevini yerine getirmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ülkemizin İç Anadolu Bölgesinde bulunan Ankara İlinin Nallıhan ilçesi sınırları içerisinde tespit edilen heyelanlar ile Lojistik Regresyon (LR) metodu kullanılarak heyelan duyarlılık haritasını üretilmiştir. Tez kapsamında bölgenin envanter haritası; arazi çalışmaları ve MTA'dan alınan heyelan envanterinden faydalanılarak oluşturulmuş ve toplamda 13 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların duyarlılık analizi, son yıllarda literatürde yaygın bir şekilde kullanılan Lojistik Regresyon yöntemi ile elde edilmiştir. Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde, heyelana sebep olduğu düşünülen bölge özelliklerini yansıtacak nitelikte 7 tane bağımsız değişken; profil eğriselliği, rakım, yamaç eğimi, yamaç yönelimi(bakı), plan eğriselliği, jeoloji ve arazi kullanım durumu ile 13 adet daha önce meydana gelmiş heyelanlar bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Bu tür analizlerin öncelikli hedefi, bölgenin heyelana karşı duyarlılığını ortaya çıkarıp seviyelerini belirlemek ve heyelana karşı en etkin kontrol yapılarını önermektir. Lojistik regresyon analizi yöntemindeki bulgulara göre, mevcut heyelanların %27.39'u yüksek ve çok yüksek, %29.67'si orta, %19.9'u çok düşük ve %27.04'ü düşük sınıf içerisinde bulunmaktadır.

Heyelan duyarlılık haritasının üretimi ve ortaya çıkarılan haritaların ileride teknik çalışmalarda kullanılması, heyelanların neden olacağı düşünülen zararlardan korunmak veya ortadan kaldırmak için oldukça kritik bir öneme sahiptir. Heyelan duyarlılık haritaları üretilerek elde edilen bulgular sonucunda yerleşim yerlerini tehdit eden heyelanlara yönelik risk belirlenebilmekte ve bu sayede heyelan tehlikesi ile karşı karşıya kalınmadan önce yapılacak faaliyetler ile bu risk en aza indirilebilmektedir.

Bu çalışma ile ortaya çıkan sonuçlar; uygulamacılar ve karar verici yetkili merciler tarafından göz önüne alınarak yapılacak olan planlamaları ve çalışmalarlarıyla meydana gelmesi muhtemel sel ve selin tetikleyeceği heyelan olaylarının vereceği zararı azaltmak için önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD, (2018). Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/>.
- Akkuş, H., Yıldız, E. ve Bulut, İ. (2023). HEC-RAS 2B Modeli Kullanılarak Yazılıkaya Deresi (Nallıhan Ankara) Sel Tehlike Haritalarının Hazırlanması ve Sel Kontrol Yapısının Etkinliği, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 47: 29-46
- Akyürek, B., Bilginer, E., Dağ, Z. ve Sunu, O. (1979). Hacılar (Kuzey Çubuk-Ankara) bölgesinde Alt Triyas'ın varlığı, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 169-174.
- Ardahanlıoğlu, A. (2019). Davutoğlu - Çayırhan (Nallıhan/Ankara) Bölgesinin Jeolojisi, Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. ve Ugawa, N. (2004). 'Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata prefecture, Japan' Landslides, 1 (1), pp.73-81.
- Ayalew, L. ve Yamagishi, H. (2005). 'The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan', Geomorphology, 65 (1), pp.15-31.
- Aydinoğlu A.Ç. ve Altürk G. (2021). Heyelan Duyarlılık Haritalarının İstatistik ve Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Üretilmesi: Taşlıdere Havzası Örneği (Rize), Coğrafya Dergisi – Journal of Geograph, pp.167-174
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R. (1999). 'Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives', Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58 (1), pp.21-44.
- Altürk, G. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Makine Öğrenmesi ve İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Rize Taşlıdere Havzası Örneği, Gebze Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- Beven, K.J. ve Kirkby, M.J. (1979). A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology Hydrological Sciences Bulletin Vol. 24, No. 1, p 43-69, March 1979.
- Boztaş, İ. (2019). Erzurum İli Kanlıçay Mikro Havzasında Yapılan Erozyon ve Sel Kontrol Çalışmalarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi
- Carrara, A., Merenda, L. (1976). Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy. Geol Soc Am Bull, 87: 1153–1162.
- Çan, T., Duman, T.Y., Nefeslioğlu, H.A., Durmaz, S., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. (2005a). Earthflows In A Small Catchment From Eastern Black Sea Region (Turkey): Conditional (Environmental) Factors And Susceptibility Assessments. Proceedings

Of The International Symposium On Latest Natural Disaster-New Challenges For Engineering Geology Geotechnics And Civil Protection. Sofia, Bulgaria, 82-83

- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Duman, T.Y. (2005b). Susceptibility Assessments Of Shallow Earthflows Triggered By Heavy Rainfall At Three Catchments By Logistic Regression Analyses. *Geomorphology* 72(1-4):250-271.
- Çan, T., Duman, T.Y., Olgun, S., Çörekcioğlu, S., Karakay Gülmez, F., Elmacı, H., Hamzacebi, S., Emre, O. (2013). Landslide Database Of Turkey. Proceedings Of The TMMOB GIS Congress, Ankara. [In Turkish].
- ÇEM, (2013). Erozyonla mücadele eylem planı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- Çellek, S., Bulut, F. ve Ersoy, H. (2015). AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi), *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39 (2)
- Dağ, S. ve Bulut, F. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye), *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1)
- Dai, C.F., Lee, C.F. (2001). Terrain based mapping of landslide susceptibility using a geographic information system: a case study, *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 911-923.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J. ve Xu, Z.W. (2001). 'Assessment of landslide susceptibility on the Natural terrain of Lantau Island, Hong Kong', *Environmental Geology*, 43 (3), pp.381-391.
- Das, G., Lepcha, K., (2019). Application of logistic regression (LR) and frequency ratio (FR) models for landslide susceptibility mapping in Relli Khola river basin of Darjeeling Himalaya, India: *SN Applied Sciences*, 1 1-22.
- Dinçsoy, Y. (2013). Yan Derelerde Erozyon ve Rusubat Kontrolü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Ankara.
- Du, J., Glade, T., Woldai, T., Chai, B. ve Zeng, B. (2020). Landslide susceptibility assessment based on an incomplete landslide inventory in the Jilong Valley, Tibet, Chinese Himalayas: *Engineering Geology*, 270 105572.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Keçer, M., Doğan, A., Ateş, Ş., ve Durmaz, S. (2005b). Landslide Inventory Of North Western Anatolia, Turkey. *Engineering Geology*, 77, 99-114.
- Duman, T.Y., Nefeslioğlu, H.A., Çan, T., Olgun, Ş., Durmaz, S., Hamzaçebi, S. ve Çörekcioğlu, Ş. (2007a). Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1:500.000 Ölçekli Trabzon Paftası," MTA Özel Yayınlar Serisi-9, 25 S. Ankara.

- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö. (2011). "1:1.500.000 Ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası," MTA Özel Yayınlar Serisi-27 Ankara.
- Eker, A.M., Dikmen, M., Cambazoğlu, S., Düzgün, Ş. ve Akgün, H. (2011). Bartın, Ulus İlçesi İçin Yapay Sinir Ağı ve Lojistik Regresyon Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Çalışmasına Uygulanması ve Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, s. 169-172
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, Th.W.J. (2004). Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques: Natural Hazards, 32(1)
- Ersalman, İ. (2023). Gabion Duvarın Koruma Yapısı Olarak Kullanımında Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, Kırıkkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- Evans, I.S., (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In Chorley, R. J., Spatial Analysis in Geomorphology New York: Harper & Row pp.17 – 90.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning: Engineering Geology, 102 (3-4) ,99-111.
- Fernández, C.I., Del, C., Tomás, F., Hamdouni, R.E. ve Montero, J.C. (1999). ‘Verification of landslide susceptibility mapping: a case study’, Earth Surface Processes and Landforms, 24 (6), pp.537-544.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H. (1996). ‘Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques’, Engineering Geology, 44 (1), pp.147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. (2001). ‘Uncertainties on the parameters employed in preparation of landslide susceptibility maps’, Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, 23, pp. 189-206.
- Gong, Q. H., Zhang, J. X. ve Wang, J. (2018). Application of GIS-Based back propagation artificial neural networks and logistic regression for shallow landslide susceptibility mapping in south china-take meijiang river basin as an example: The Open Civil Engineering Journal, 12(1)
- Goyes-Peñafiel, P. ve Hernandez-Rojas, A. (2021). “Landslide susceptibility index based on the integration of logistic regression and weights of evidence: A case study in Popayan, Colombia” Eng. Geol. 280 (Jan): 105958.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105958>.
- Görçelioğlu, E. (2005). Sel ve Çığ Kontrolü Yapıları, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 4555, O.F. Yayın No. 487, İstanbul.

- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., ve Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy: *Geomorphology*, 31(1-4) 181-216.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. ve Chang, K.T., (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem: *Earth-Science Reviews*, 112(1-2) 42-66.
- Hosmer, D., Stanley Lemeshow, S., Sturdivant, R. (2013). *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, Inc.
- Karaağaç, S. (2019). Nallıhan (Ankara) Dolayının Sedimenter İstifi ve Tektonik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi.
- Kayabaş, A. (2012). Bazı Jipsofil ve Jipsovag Türlerin Jips Stresine Uyum Stratejileri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ss.155, 39-40,
- Kaya Topaçlı, Z., Özcan, A.K., Gökçeoğlu, C. (2024). Performance Comparison of Landslide Susceptibility Maps Derived from Logistic Regression and Random Forest Models in the Bolaman Basin, Türkiye. *Natural Hazards Review*, 25(1), 04023054.
- Kaya Topaçlı, Z. (2023). “Havza Ölçeğinde Heyelandan Kaynaklanan Zararların Azaltılmasına Yönelik Metodoloji ve Yöntemlerin Geliştirilmesi (Bolaman Mikro Havzası, Ordu)”. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Ketin, I. (1966). Tectonic Units Of Anatolia. *Maden Tetkik ve Arama Bulletin*, 66: 23-34.
- Kiper, A. (1994). Nallıhan Çevresinin Fiziki Coğrafyası ve Arazi Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi
- Koukis, G. ve Ziourkas, C. (1991). ‘Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis’, *Bulletin of International Association of Engineering Geologists*, 43, pp.47-60.
- Lee, S. ve Min, K. (2001). ‘Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea’, *Environmental Geology*, 40 (9), pp. 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K. (2002). ‘Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model’, *Environmental Geology*, 43 (1), pp.120-131.
- Lee, S. (2005). ‘Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS’, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (7), pp. 1477–1491.
- Leven, E.J.A. ve Okay, A.İ. (1996). Foraminifera from the exotic Permo-Carboniferous Limestone blocks in the Karakaya Complex, northwestern Turkey, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 102(2), 139-174.

- Lohbeck, H., Suner, A. (2009). Kurak Bölgelerdeki Ağaçlandırma Kimyasal Maddeler Yardımıyla Tutma Oranını Artırma Olanakları Üzerine Araştırmalar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, 89.
- Lucchese, L.V., de Oliveira, G.G. ve Pedrollo, O.C. (2020). Attribute selection using correlations and principal components for artificial neural networks employment for landslide susceptibility assessment: Environmental monitoring and assessment, 192(2) 1-22.
- MGM, (2005). 1975-2005 Yılları arası Meteorolojik gözlem çizelgesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara
- Moharrami, M., Naboureh, A., Gudiyangada Nachappa, T., Ghorbanzadeh, O., Guan, X. ve Blaschke, T. (2020). National-scale landslide susceptibility mapping in Austria using fuzzy best-worst multi-criteria decision-making: ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(6) 393.
- Moore, I.D. ve Burch, G. (1986a). Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50:1294-1298.
- Moore, I.D. ve Burch, G. (1986b). Modeling erosion and deposition: topographic effects. Trans of ASAE 29(6):1624-1630, 1640.
- MTA, (2019). Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü. URL: <https://yerbilimleri.mta.gov.tr>
- OGM, (1999). Proje uygulayıcıları içinde erozyon kontrolü uygulamalarında dikkate alınacak hususlar, 14 nolu Tamim, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Orhan, O., Bilgilioglu, S.S., Kaya, Z., Özcan, A.K. ve Bilgilioglu, H. (2022). Assessing and mapping landslide susceptibility using different machine learning methods: Geocarto International, 37(10) 2795-2820.
- Özcan, A.K., Bulut, İ., Karakaya, S. (2017). Drenaj ve Ağaçlandırma ile Heyelan Rehabilitasyonu Eskişehir, Mihaliççık, Gürleyik Köyü Örneği, Ulusal Mühendislik Jeolojisi - Jeoteknik Sempozyumu, 12-14 Ekim 2017 Adana s. 139-141
- Özçelik, A. (2021). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve İnsansız Hava Araçlarının Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Kullanımının Değerlendirilmesi (Çankırı Örneği), Çankırı Karatekin Üniversitesi
- Pachauri, A.K. ve Pant, M. (1992). 'Landslide hazard mapping based on geological attributes', Engineering Geology, 32 pp. 81-100.
- Riley, S.J., Degloria, S.D., Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. Intermt J Sci 5(1-4):23-27.
- Roberts, D.W. ve Cooper, S.V. (1989). Concepts and techniques of vegetation mapping. In Land Classifications Based on Vegetation: Applications for Resource Management. USDA Forest Service GTR INT-257, Ogden, UT, pp 90-96.

- Saner, S. (1977). Geyve-Osmaneli Gölüzararı-Taraklı alanının jeolojisi: Eski çökelle ortamları çökelle evrimi. (Doktora Tezi.), İstanbul Üniversitesi
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A. ve Marturiá, J. (2003). A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 281-295.
- Shirvani, Z.A. (2020). Holistic analysis for landslide susceptibility mapping applying geographic object-based random forest: A comparison between protected and non-protected forests: *Remote Sensing*, 12(3) 434.
- Stage, A.R. (1976). An Expression of the Effects of Aspect, Slope, and Habitat Type on Tree Growth. *Forest Science* Vol 22, No 3, 457-460.
- Şahin, M. (2015). Nallıhan Kamasının Merkezi Kısmının Tektonik Evrimi (Nallıhan-Çayırhan, Ankara), İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Şahin, M., Yaltırak, C. ve Karacık, Z. (2019). A case study of compression to escape tectonic transition: Tectonic evolution of the Nallıhan Wedge and comparison with the Tercan Wedge (Eastern Mediterranean, Turkey). *Journal of Asian Earth Science*, 174, 311-331.
- Tanrıverdi, B. (2022). Uzaktan Algılama ve Cbs Teknolojileri ile Besni-Tut (Adıyaman) Bölgesinin Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Mersin Üniversitesi, Mersin
- Terlemeş, İ. ve Yılmaz, A. (1980). Ünye-Ordu Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan yörenin stratigrafisi: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.* 23, 179-192.
- Timur, E. ve Aksay, A. (2002). 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Adapazarı - H26 Paftası. Ankara: MTA.
- USGS, (2022). United States Geological Survey, Landslide Types and Processes. URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072>
- Varnes, D.J. (1984). Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, *Natural Hazards*, No. 3, 61 pp.
- Van Westen, C.J. (1997). Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2.1 for Windows application guide. ITC Publication, Enschede, pp. 73-84.
- Yalçın, A. (2005). Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi PhD thesis Karadeniz Teknik Univesity Available at: <http://www.ktu.edu.tr/fbejeoloji-tgdoktoraDt495>.
- Yıkılmaz, M.B. (2002). Eosen yaşlı bir kıvrım-bindirme kuşağının yapısı (Nallıhan-Ankara). Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, A. (2019). Germencik-İncirliova (Aydın) Bölgesinin Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Yu, L., Zhou, C., Wang, Y., Cao, Y. ve Peres, D. J. (2022). "Coupling data and knowledge-driven methods for landslide susceptibility mapping in human-modified environments: A case study from Wanzhou County, Three Gorges Reservoir Area, China." *Remote Sens.* 14 (3): 774. <https://doi.org/10.3390/rs14030774>.
- Wilson, J.P. ve Gallant, J.C. (2000). *Terrain analysis: principles and applications*. John Wiley and Sons: New York.
- Zhao, Y., Wang, R., Jiang, Y., Liu, H. ve Wei, Z. (2019). GIS-based logistic regression for rainfall-induced landslide susceptibility mapping under different grid sizes in Yueqing, Southeastern China: *Engineering Geology*, 259 105147.
- Zhou, G., Esaki, T., Mitani, Y., Xie, M. ve Mori, J. (2003). Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Engineering Geology*, 68(3), 373-386.
- Zhu, A.X., Miao, Y., Wang, R., Zhu, T., Deng, Y., Liu, J. ve Hong, H. (2018). comparative study of an expert knowledge-based model and two data-driven models for landslide susceptibility mapping: *Catena*, 166 317-327.