

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEKİRDAĞ İLİ, ŞARKÖY İLÇESİ'NİN
COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK
HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ HAZIRLANMASI**

Esra DOĞDU

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2025**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Esra DOĞDU tarafından hazırlanan “Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi’nin Coğrafi Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması” adlı tez çalışması 01.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Semih KUTER

Jüri Üyeleri :

Başkan : Doç. Dr. Berk ANBAROĞLU
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Hacettepe Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Semih KUTER
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Muammer ŞENYURT
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi’nin Coğrafi Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması**” konulu 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, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (01.07.2025).

Esra DOĞDU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEKİRDAĞ İLİ, ŞARKÖY İLÇESİ’NİN COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ HAZIRLANMASI

Esra DOĞDU

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Semih KUTER

Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi, jeolojik ve morfolojik yapısı heyelan afetleri bakımından oldukça hassas bir bölge olmakla beraber, pek çok heyelan afetine de maruz kalmıştır. Bu çalışmada Maden Teknik Arama Enstitüsü tarafından belirlenen 104 heyelan alanından elde edilen, litolojik, yükseklik, eğrisellik, bakı ve eğim bilgilerinden yola çıkılarak Şarköy İlçesi’nin heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında 104 heyelan alanı 1161 noktaya dönüştürülmüş, elde edilen bu noktaların %75’ine karşılık gelen 871 nokta haritanın oluşturulmasında, %25’ine karşılık gelen 290 nokta ise doğrulanmasında kullanılmıştır. Hazırlanan heyelan haritası heyelan duyarlılıklarına göre çok düşük, düşük, orta yüksek ve çok yüksek olarak 5 kategoriye ayrılmıştır. Hazırlanan heyelan duyarlılık haritasının doğrulanmasında kullanılan 290 nokta %72’si yüksek ve çok yüksek alanlara, %23’ü orta heyelan duyarlılığına sahip alanlara, %5’i ise düşük ve çok düşük heyelan duyarlılığına sahip alanlara karşılık gelmiştir.

2025, 43 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Heyelan, Coğrafi Bilgi Teknolojileri, Tekirdağ, Şarköy

ABSTRACT

Master of Science Thesis

PREPARATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP OF ŞARKÖY DISTRICT, TEKİRDAĞ PROVINCE USING GEOGRAPHICAL INFORMATION TECHNOLOGIES

Esra DOĞDU

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Semih KUTER

The geological and morphological structure of Şarköy District of Tekirdağ Province is a very sensitive region in terms of landslide disasters and has been exposed to many landslide disasters. In this study, a landslide susceptibility map of Şarköy District was prepared based on the lithologic, elevation, curvature, aspect and slope information obtained from 104 landslide areas determined by the Mineral Technical Exploration Institute. Within the scope of the study, 104 landslide areas were converted into 1161 points, 871 points corresponding to 75% of these points were used in the creation of the map and 290 points corresponding to 25% were used in the verification. The prepared landslide map was divided into 5 categories according to landslide susceptibility: very low, low, medium high and very high. Of the 290 points used in the verification of the prepared landslide susceptibility map, 72% corresponded to high and very high areas, 23% to areas with medium landslide susceptibility, and 5% to areas with low and very low landslide susceptibility.

2025, 43 pages

Keywords: Landslide, Geographic Information Technologies, Tekirdağ, Şarköy

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi’nin Coğrafi Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması” adlı çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma ile; Coğrafi Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi’nin Heyelan Duyarlılık analizi amaçlanmış bulunmaktadır.

Araştırmanın yapılmasına vesile olan öncelikle Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ hocama daha sonra her konuda olduğu gibi, bu konuda da benden yardımlarını esirgemeyen sayın danışman hocam Doç. Dr. Semih KUTER’e, katkılarından dolayı Doç. Dr. Berk ANBAROĞLU ve Doç. Dr. Muammer ŞENYURT hocama teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında desteklerini hissettiğim sevgili kızlarım Zeynep Nil SAKA ve Zehra AYSİMA SAKA’ ya şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca hem maddi hem de manevi olarak beni destekleyen, cesaretlendiren ve her zaman doğru yolu gösterme çabalarında olan annem Hamide DOĞDU ve babam Ahmet DOĞDU’ ya minnettarlığımı sunuyorum. Bana kattıkları ve öğütleri için şükranlarımı sunuyorum.

Esra DOĞDU

Çankırı, Temmuz 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Araştırma Alanına Ait Bilgiler	8
3.2. Veri Temini.....	9
3.2.1 Sınıflandırma İşlemleri	12
3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması	22
3.4. Heyelan Duyarlılık Haritasının Doğrulanması	24
4. BULGULAR	25
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	27
KAYNAKLAR	30

KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
MTA	Meden Teknik Arama Enstitüsü
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
USGS	United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Çalışma alanının yer buldur haritası	8
Şekil 3.2 Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli	8
Şekil 3.3 Heyelan sayısallaştırma işlemlerinin yapıldığı siteden görünüm	9
Şekil 3.4 SYM verisinin temin edildiği siteden görünüm.....	10
Şekil 3.5 Çalışma alanına ait bakı haritası	10
Şekil 3.6 Çalışma alanına ait eğrisellik haritası	11
Şekil 3.7 Çalışma alanına ait eğim haritası	11
Şekil 3.8 Çalışma alanına ait kayaçların dağılımı	12
Şekil 3.9 MTA tarafından tespit edilmiş heyelan poligonları	13
Şekil 3.10 Heyelan poligonlarının nokta dönüşümü sonrası görünümü	13
Şekil 3.11 Poligonların %75'ine karşılık gelen 871 çalışma noktası.....	14
Şekil 3.12 Poligonların %25'ine karşılık gelen 290 doğrulama noktası.....	14
Şekil 3.13 Heyelanlı SYM noktalarının dağılımı.....	15
Şekil 3.14 Sınıflandırılmış SYM.....	16
Şekil 3.15 Heyelanlı bakı noktalarının dağılımı	17
Şekil 3.16 Sınıflandırılmış bakı modeli	17
Şekil 3.17 Heyelanlı eğrisellik noktalarının dağılımı	18
Şekil 3.18 Sınıflandırılmış eğrisellik modeli	19
Şekil 3.19 Heyelanlı eğim noktalarının dağılımı	20
Şekil 3.20 Sınıflandırılmış eğim modeli	20
Şekil 3.21 Heyelanlı noktaların litoloji parametresine göre dağılımı	21
Şekil 3.22 Sınıflandırılmış litoloji modeli.....	22
Şekil 3.23 Heyelan duyarlılık haritası	23

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1 SYM modeline ait ağırlıklandırma tablosu.....	15
Tablo 3.2 Bakı modeline ait ağırlıklandırma tablosu.....	16
Tablo 3.3 Eğrisellik modeline ait ağırlıklandırma tablosu.....	18
Tablo 3.4 Eğim modeline ait ağırlıklandırma tablosu.....	19
Tablo 3.5 Litoloji modeline ait ağırlıklandırma tablosu	21
Tablo 3.6 Kontrol noktalarının dağılımı	24



1. GİRİŞ

Doğal afetler, belirli aralıklarla tekrarlayan ve gerekli tedbirler alınmadığında bölgedeki insan hayatına olumsuz etki eden; çevresel, entelektüel, sosyal, ekonomik, fiziksel politik ve kültürel kayıplara neden olabilen olaylardır. İnsanlık tarihi boyunca yangın, sel, deprem, gibi pek çok doğal afete rastlanılmış; bu afetler ölümler, ekonomik ve çevre kirliliği zararları gibi ciddi sonuçlara neden olmuştur. Bu olayların en yıkıcı olan etkisi insan yaşamının kaybedilmesi olmakla birlikte, beraberinde ekonomik sistemleri etkileyerek hayatı önemli ölçüde aksatmaktadır (Islam ve Chik 2011).

Günümüzde dünyada gerçekleşen heyelanlar, her yıl yüzlerce insanın yaşamını kaybetmesine sebep olmakta ve beraberinde ülke ekonomileri üzerinde önemli olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bilhassa Japonya’da doğal afetlere bağlı olarak can kayıplarının tahmini yarısı heyelanların sonucunda gerçekleşmektedir (Dağ 2007).

Afet risklerinin oluşturulmasında günümüzde genelde kullanılan yöntemlerden biri, duyarlılık haritalarının belirlenmesidir. Bu haritalar aracılığıyla tehlike arz eden bölgeler ortaya konulmakta, bu sayede heyelanların etkilerinin azaltılması ve bu tarz olayların gelecekte oluşabileceği sahalara yönelik öngörülerde bulunulması amaçlanmaktadır (Varnes 1984).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), dijital çağın ortaya koyduğu olanaklarla beraber, çevremizi daha iyi anlayabilme gereksiniminden meydana gelmiş; planlama, araştırma ve karar alma süreçlerini belirli amaçlar doğrultusunda daha etkili ve verimli duruma getiren bir sistemdir (Ertunç ve Çay 2020).

CBS yönetim bilgi sistemleriyle bütünleşebilir yapısıyla ve uydu teknolojileriyle entegrasyonu sayesinde bu alanın gelişimini önemli derecede hızlandırmıştır. Günümüzde CBS vasıtasıyla, yerküredeki doğal ve yapay kaynaklar daha duyarlı ve etkin şekilde yönetilmekte; bu sayede daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir çevrenin meydana gelmesine katkı sağlanmaktadır (Yomralıoğlu 2002).

CBS temel olarak binalar, sokaklar, göller ve ülkeler gibi gerçek yerküredeki coğrafi varlıkların mekânsal konumlarıyla alakadardır. Bu varlıklar sadece konum bilgileriyle

değil, aynı anda isim, özellik, nüfus ya da derinlik gibi grafik olmayan öznitelik verileriyle de ortaya konmaktadır. CBS, çevremizde bulunan varlıklara ait olan hem öznitelik hem de mekânsal verilerinin toplanmasını, bunların veri tabanlarında analiz edilmesini ve düzenlenmesini kolaylaştırmak amacıyla çeşitli veri türlerinin bütünleşmiş bir şekilde bir araya getirilmesine olanak sağlamaktadır (Campbell ve Shin 2011).

Heyelanların sebep olduğu zararların azaltılması için çözüm arayışlarına esas olan ve arazi kullanım planlamasında rehber özelliğine sahip olan heyelan duyarlılık analizleri, günümüzde bu afetlerin neden olduğu ciddi etkilerin daha iyi anlaşılmasıyla beraber giderek daha çok önem kazanmaktadır (Aleotti ve Chowdhury 1999).

Dünyanın birçok yerinde olduğu üzere Türkiye'de de bilhassa nüfusun yoğunlaştığı yerleşim sahalarında oluşan heyelanlar; can ve mal kayıplarının yanında çevresel tahribata ve ülke ekonomisinde ciddi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Türkiye'de heyelanların yaygın olarak görülmesinde iklimsel, jeolojik ve coğrafi unsurların yanında, hatalı arazi kullanımı da ciddi bir payı vardır. Ekseri her bölgede heyelan riski olmasına rağmen, bu afetlerin en sık ve en yıkıcı biçimde yaşandığı sahalardan biri Doğu Karadeniz Bölgesi'dir (AFAD 2018).

CBS, bilgisayar teknolojileri ile uzaktan algılama teknikleri ve yazılım sahasındaki gelişmeler sayesinde, istatistiksel analizin gerçekleştirilmesi ve büyük ölçekli verilerin depolanması mümkün olmuştur. Heyelan duyarlılık analizlerinde tecrübeye dayanmayan yapay zekâ destekli ve istatistiksel yaklaşımların kullanımı bu istikamette giderek yaygınlaşmıştır (Yüksel 2007).

Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi, litolojik ve morfolojik özellikleri sebebiyle pek çok heyelan afetine maruz kalmış ve bu anlamda yüksek bir potansiyel taşımaktadır. Heyelan hareketlerinin gerçekleşme sebepleri bölgenin coğrafi ve ekonomik özelliklerine göre değişmektedir.

Bu çalışmada, bölgedeki heyelanların litolojik, eğim, yükseklik, bakı ve eğrisellik profilleri çıkarılarak İlçe'nin tümünü temsil edebilecek bir heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Heyelan duyarlılık haritalarının meydana getirilmesinde izlenen yöntemler, esas olarak nitel ve nicel yaklaşımlar olarak iki temel kategoriye ayrılır (Soeters ve van Westen 1996, Aleotti ve Chowdhury 1999, Guzzetti vd. 2005). Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler, niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Niteliksel yöntemler, alanda yapılan jeomorfolojik değerlendirmeler ve gözlemlere dayanmakla birlikte, farklı indekslerin vasıtasıyla yapılır. Niteliksel yöntemle meydana getirilen haritalar, mantıksal analiz tekniklerinin uygulanması veya indeks haritalarının çakıştırılmasıyla elde edilir. Niteliksel analizlerde veriler genelde arazi çalışmaları ile toplanıp, hava fotoğraflarıyla desteklenir. Bilhassa yer bilimleri ile ilgili disiplinlerde uzman şahısların deneyim ve bilgilerine esasen hazırlanan zon haritaları, jeomorfolojik haritalar ile beraber değerlendirme yapılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasına katkı sağlar.

Bir başka yönden, niceliksel yöntemler ise jeoteknik yaklaşımlar, istatistiksel analizler, yapay sinir ağları ve bulanık mantık vb. ileri düzey teknikler vasıtasıyla üç farklı biçimde uygulanmaktadır. İstatistiksel analizler; çok değişkenli analiz, ikili değişkenli analiz ve matris analizini kapsamakta; jeoteknik yaklaşımlarsa olasılık ve deterministik temelli yöntemler ile yapılmaktadır. Niceliksel yöntemler, heyelan ve onu etkileyen unsurlar arasındaki bağlantıları sayısal olarak ifade edebildikleri için, araştırmacıların öznel değerlendirmelerinden kaynaklanabilecek kusurları minimize etme avantajı vardır. Bu yöntemler ile yapılan sonuçlar genelde heyelan duyarlılık haritaları olarak takdim edilmektedir (Carrara ve Merenda 1976, Anbalagan 1992, Soeters ve Van Westen 1996, Wachal ve Hudak 2000, Van Westen vd. 2003).

Gorsevski vd. (2000), CBS ve Lojistik regresyon analizi aracılığıyla oluşturulan heyelan tehlikesi belirleme çalışmalarında, incelenen sahaya ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) esas alınarak; eğim, yükseklik, plan eğriliği, profil eğriliği, özgül tutum alanı ve akış yolu uzunluğu gibi hidrografik ve topografik parametreler değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, orman gelişim alanları ve orman yolu inşasının planlanmasında kullanılabilecek özellikte heyelan tehlike haritası meydana getirilmiştir.

Ayalew ve Yamagishi (2005), Orta Japonya’da yapılan ve CBS zeminli lojistik regresyon yönteminin yararlanıldığı heyelan duyarlılık haritalama çalışması için, 87 heyelan alanı analiz edilmiştir. Bu kapsamda, tabakalanma-yamaç eğimi ilişkisi, litoloji, eğim, bakı (yönelim), çizgisel yapılar, yol ağı ile yükseklik bağımsız değişken olarak; heyelanın meydana geldiği noktalar bağımlı değişken (1), meydana gelmediği noktalarsa bağımlı değişken (0) ile modele ilave edilmiştir. Lojistik regresyon analizinden edinilen katsayılar, yol ağının heyelan meydana gelmesinde belirleyici bir unsur olduğunu göstermiştir. Öte yandan, heyelan duyarlılığında yönelim ve yamaç eğiminin, yüksekliğe nazaran daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

Akgün ve Bulut (2007), Trabzon’un kuzey tarafında var olan Arsin-Yomra bölgesinde yapılan “CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılığı” konusu olan çalışmada, ayrıntılı arazi gözlemleri ve topografik haritalar ile yapılan analizler aracılığıyla çalışma sahasına ait heyelan envanteri meydana getirilmiştir. Heyelanı tetikleyen unsurlar olarak yamaç yönelimi, yamaç eğimi, drenaj yollarına ve ağına olan uzaklıkla bozuşmuş litolojik birimler biçiminde adlandırılan jeoteknik birimler oluşturulmuştur. Bölgenin heyelan duyarlılığı analizinde, ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon (ALK) ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılmış; karşılaştırmalı değerlendirmeler neticesinde, ALK yönteminin lojistik regresyon analizine oranla daha uygun neticeler verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, yamaç eğiminin ve jeoteknik birimlerin heyelan oluşumunda belirleyici unsurlar olduğu ortaya konulmuştur.

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), Bu çalışmada, Yenice yöresine ait heyelan duyarlılık haritası, bulanık mantık yöntemi aracılığıyla hazırlanmıştır. Arazi çalışmaları neticesinde heyelan envanteri meydana getirilmiş; heyelan oluşumuna tesir eden parametrelerin ağırlıklarıysa faktör analizi vasıtasıyla oluşturulmuştur. Daha sonra Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamında yamaç eğimi, bakı (yamaç yönelimi), yer altı suyu durumu, arazi kullanımı, litolojik bozuşma derinliği gibi farklı parametreler bulanık mantık yaklaşımıyla analiz edilerek, yörenin heyelan duyarlılığı oluşturulmuştur.

Önalp (1980), Doğu Karadeniz Heyelanlarının Tanımlanması ve Analizi’ konulu araştırma raporunda, heyelan aşamalarının doğru bir biçimde anlaşılabilmesi amacıyla öncelikle ayırışma ve yıpranma mekanizmalarının ayrıntılı olarak incelenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Ayrıca, çeşitli eğimlere ait yamaçlarda yer altı suyu seviyesinin oluşturulması ve buna bağlı olarak belirlenen gerilme ve basınç değerlerinin ölçülmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Bölgesel heyelan riskinin değerlendirilmesi bakımından ilk olarak kapsamlı bir heyelan envanter haritasının meydana getirilmesi, ardından da ayrışma seviyelerini gösteren ayrışma haritasının hazırlanması tavsiye edilmiştir.

Tarhan (1991), Artvin Graniti, potansiyel baraj yeri uygunluğu çerçevesinde ve mühendislik jeolojisi bakış bakımından detaylı olarak incelenmiş bu çalışma doçentlik tezi dahilinde ortaya konulmuştur. Arazi çalışmalarıyla granitin devamlılık özellikleri tanımlanıp kaya gerecinin mühendislik özellikleriyse laboratuvar deneyleri ile ortaya konulmuştur.

Önalp vd. (1987), Doğu Karadeniz yöresinde yapılan araştırmalarda, heyelanların oluşum şartları ayrıntılı şekilde irdelenmiş, farklı heyelan türleri kategorilendirilmiş ve oluşturulan bulgular bir araştırma raporu dahilinde ortaya konulmuştur. Çalışmalar neticesinde, heyelanların oluşumunda en etkili parametrelerin yoğun yağışlar vasıtasıyla mühendislik maksatlı kazılar olduğu ortaya konulmuştur. Tarhan (1991) ise 'Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış' adlı çalışmada, çeşitli kökenli kayaçlarda oluşan tahmini 100 kütle hareketini jeoteknik ve jeolojik bakımından analiz yapmış; bu hareketlerin oluşum sebeplerini değerlendirilerek bölge morfolojisi, iklimsel özellikler, jeolojik yapı, insan kaynaklı kazı faaliyetleri, kayaçların ayrışma derecesi, yapay sarsıntı ve bitki örtüsünün tahribatlarının heyelan meydana gelmesinde önemli etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

Nagarajan vd. (1998), araştırılan sahayla ilgili parametreler, önem aşamalarına göre üç temel grup altında kategorize edilmiştir. İlk grup, arazi kullanım potansiyeli ve yamaç eğimini kapsarken; ikinci grup, göreceli yükseklik ve yamaç şekli, drenaj yoğunluğu gibi unsurları içermektedir. Üçüncü grup ise yol hatları çizgisel yapılar üstünde yoğunlaşmaktadır. Bu parametrelere, oluşturulan önem dereceleri belirlendikten sonra, basit karşılaştırma yöntemi aracılığıyla heyelan duyarlılık haritası meydana getirilmiştir.

Dai ve Lee (2001), çalışmalarında yamaç eğimi, yükseklik, litoloji, yamaç yönelimi, drenaj hatları ve bitki örtüsüne olan uzaklık vb. parametreleri, heyelan oluşumunda etkin unsurlar

olarak ortaya koymuşlardır. Bu parametreler, heyelan duyarlılığına yarar sağlayan ve heyelan etkileyici unsurlar olarak iki temel grupta kategorize edilmiştir. Araştırmacılar, CBS heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kritik bir vasıta olduğunu belirtmişlerdir. Heyelan duyarlılığına fayda sağlayan parametrelerin ağırlıkları, ana bileşen analizinin bir çeşidi olan uygunluk analizi yöntemi aracılığıyla oluşturulmuştur. Öte yandan, heyelan duyarlılık haritalarının meydana getirilmesinde CBS kullanımının vazgeçilmezliğini ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı, deneme yanılma yöntemlerinin tatbikine olanak tanıdığını ortaya koymuşlardır.

Gritzner vd. (2001), Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Payette Nehri havzasının heyelan tehlike haritasını yaparken, yamaç eğimi, litoloji, yükseklik, nemlilik indeksi ve yamaç yönelimi gibi parametrelerine önem vermişlerdir. Araştırmacılar, bilhassa istatistiksel değerlendirmeleri temel alan böyle çalışmaların, bir bölgede belirlenen sonuçların farklı bölgelerde tatbik edilmesinin yanıltıcı neticelere sebep olabileceği konusunda ikazlarda bulunmuşlardır. Buradaki çalışmada, yükseklik ve yamaç eğimi ile heyelan meydana gelmesinde arasında güçlü bir bağ belirlenmiş ve vurgulanmıştır. Öte yandan, araştırmacılar, gelecekte heyelan değerlendirmelerinde daha verimli sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyacak yeni yaklaşımların ve modellerin, özellikle yakın geçmişte bilgisayar teknolojileri ile CBS alanındaki önemli gelişmeler sayesinde belirlenebileceğini ortaya koymuşlardır.

Dai ve Lee (2003), heyelan duyarlılık haritası oluşturmayı Güney Kore'nin Janghung bölgesinde karar vermişlerdir. Bunun için, ilk olarak bölgedeki heyelanlar uydu görüntülerinden tespit edilerek heyelan duyarlılığının yapısal faktörler ile topografik özellikler arasında olan ilişkisi irdelenmiştir. Daha sonra, arazi gözlemleri ile yapısal faktörlerin özellikleri ortaya konulmuş ve heyelanların, jeolojik yapı ve topografik verilerden meydana gelen bir veri tabanı belirlenmiştir. Veri tabanındaki parametreler çakıştırılarak, öncelikle jeolojik ve topografik yapı arasındaki bağlantılar belirlenmiş ve bu geometrik ilişkiler aracılığıyla lüzumlu hesaplamalar her bir piksel için yapılmıştır. Netice olarak, bölgenin heyelan duyarlılık haritası ortaya konulmuştur. Araştırmacılar, yapılan haritanın doğruluğunu değerlendirmek maksadıyla, heyelan duyarlılık haritası ile var olan heyelan sahalarını karşılaştırmış ve elde edilen neticelerin yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

Ayrıca, bu tip haritaların, bilhassa bölgesel planlama süreçleri ve heyelan tehlikesinin belirlenmesinde oldukça yararlı olacağının önemini vurgulamışlardır.

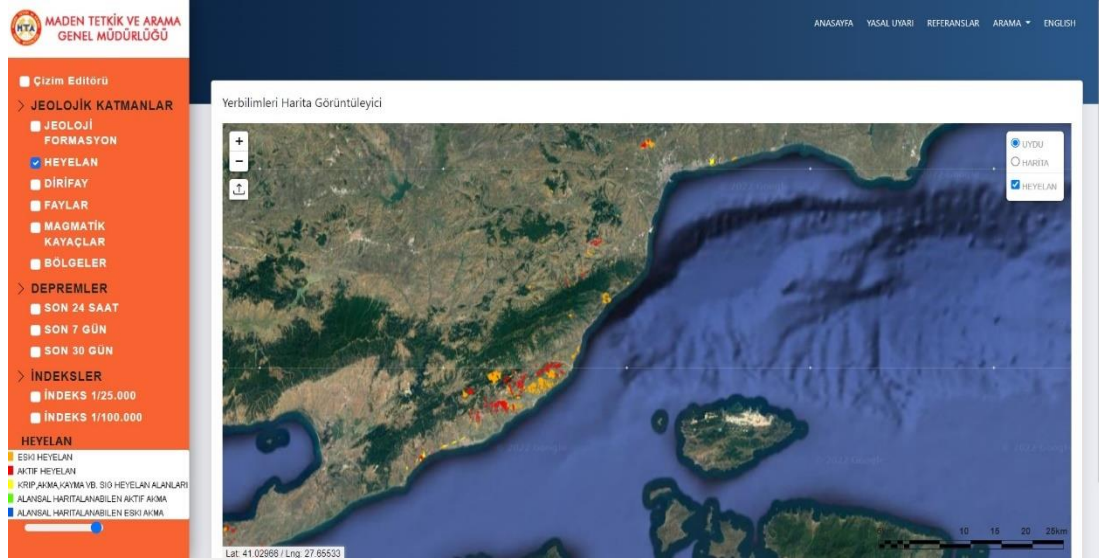
Lee vd. (2004), Boun şehrine yönelik oluşturulan heyelan tehlike analiz çalışmasında, uzaktan algılama teknikleri ve CBS kullanılmıştır. Araştırmacılar, çalışmaları dahilinde heyelan güzergahlarını arazi gözlemleri ve hava fotoğrafları yorumlamaları ile tespit etmişlerdir. Jeoloji, Topografya ve arazi örtüsü vb. veriler, CBS ve uzaktan algılama teknikleri aracılığıyla detaylandırılmıştır. Heyelanın meydana gelmesinde etkili olan bakı, eğim, topoğrafyadaki engebeler vb. parametreler, topoğrafik veri tabanından oluşturulmuştur. Daha sonra, bu veri kümeleri Uzaktan Algılama yöntemleri ve CBS ile analiz edilerek, heyelan bakımından risk taşıyan bölgeler ortaya konulmuştur.

Yalçın ve Bulut (2007), dijital görüntü işleme teknikleri ve CBS'den faydalanılarak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi aracılığıyla Ardeşen bölgesine ait heyelan duyarlılık haritası belirlenmiştir. Haritalama sürecinde; eğim, makaslama dayanımı, litolojik özellikler, bakı, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, akarsulara olan mesafe vb. parametreler analiz edilmiştir. Oluşturulan duyarlılık haritası, çalışma sahasını “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak üzere beş duyarlılık düzeyine ayırarak bölgesel heyelan riskinin mekânsal dağılımını ortaya koymuştur.

Bednarik vd. (2010), Liptovsk Mikulas ve Krolavay arasındaki tahmini 50 kilometrelik yol güzergâhı hattınca bulunan saha için iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası belirlenmiştir. Analiz sürecinde litoloji, yükseklik, eğim ve arazi kullanımı gibi fiziksel ve coğrafi parametreler değerlendirilmiştir. Meydana getirilen duyarlılık haritası, incelenen sahayı “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak şartıyla beş farklı risk kategorisine ayırarak mekânsal heyelan potansiyelini belirlemiştir.

3.2. Veri Temini

Çalışma alanında yapılan duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan 104 heyelan alanı MTA'nın yerbilimleri.mta.gov.tr adresinden sayısallaştırılarak elde edilmiştir (Şekil 3.3).

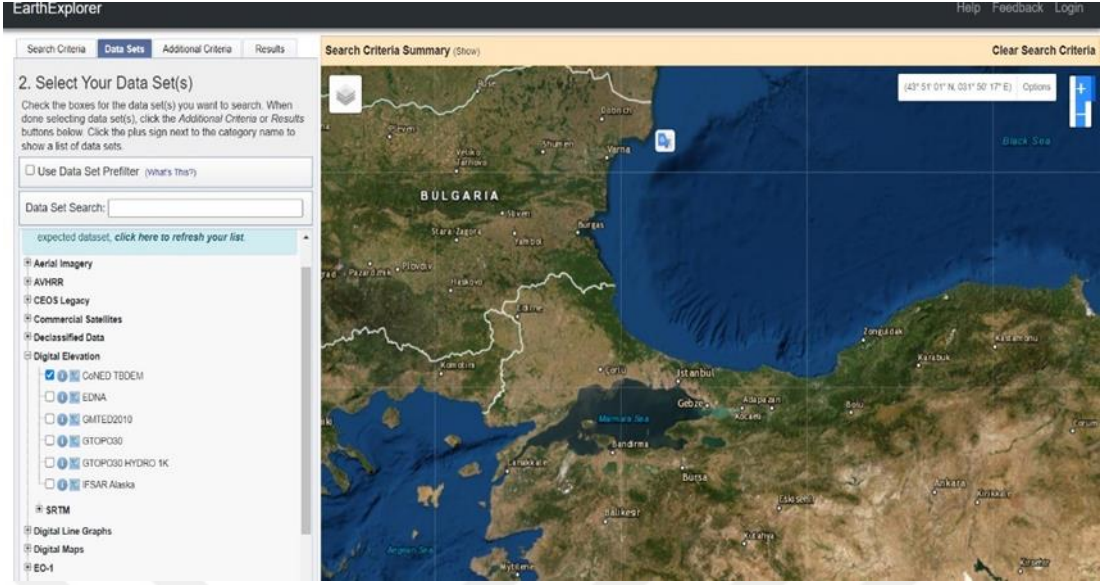


Şekil 3.3 Heyelan sayısallaştırma işlemlerinin yapıldığı siteden görünüm

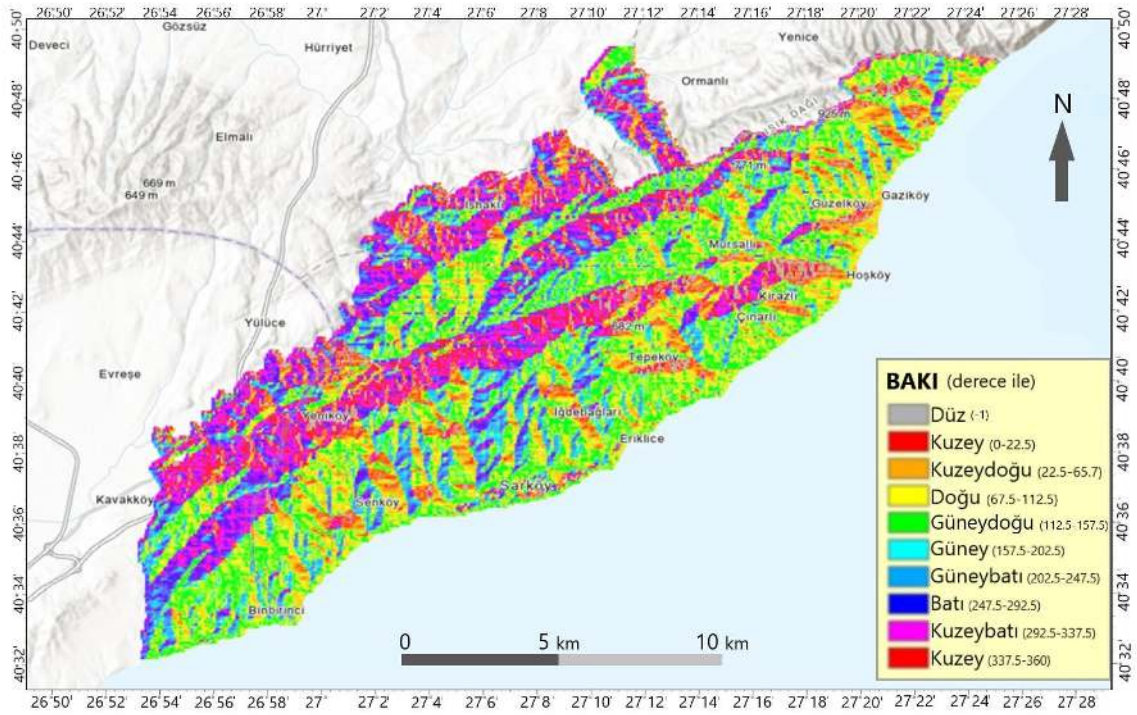
Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli (Şekil 3.2) Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/> sitesinden temin edilmiştir (Şekil 3.4). Elde edilen sayısal yükseklik modelinden CBS yazılımları yardımıyla; bakı (Şekil 3.5), eğrisellik (Şekil 3.6) ve eğim haritaları (Şekil 3.7) üretilmiştir.

Bakı haritasına bakıldığında yamaç yönelimlerinin ağırlık olarak güney-güney batı yönlü olduğu görülmektedir. Bu duruma bölgedeki tektonizmanın etkili olduğu söylenebilir. Eğrisellik haritasına bakıldığında ise yama yüzeylerinin içbükey, dışbükey ya da düz olarak ağırlıklandırılmasının zor olduğu görülebilecektir.

Eğim haritası incelendiğinde; bölgenin en eğimli yerinin kuzeydoğu olduğu, güneybatı yönünde ise eğimin gittikçe azaldığı görülmektedir.



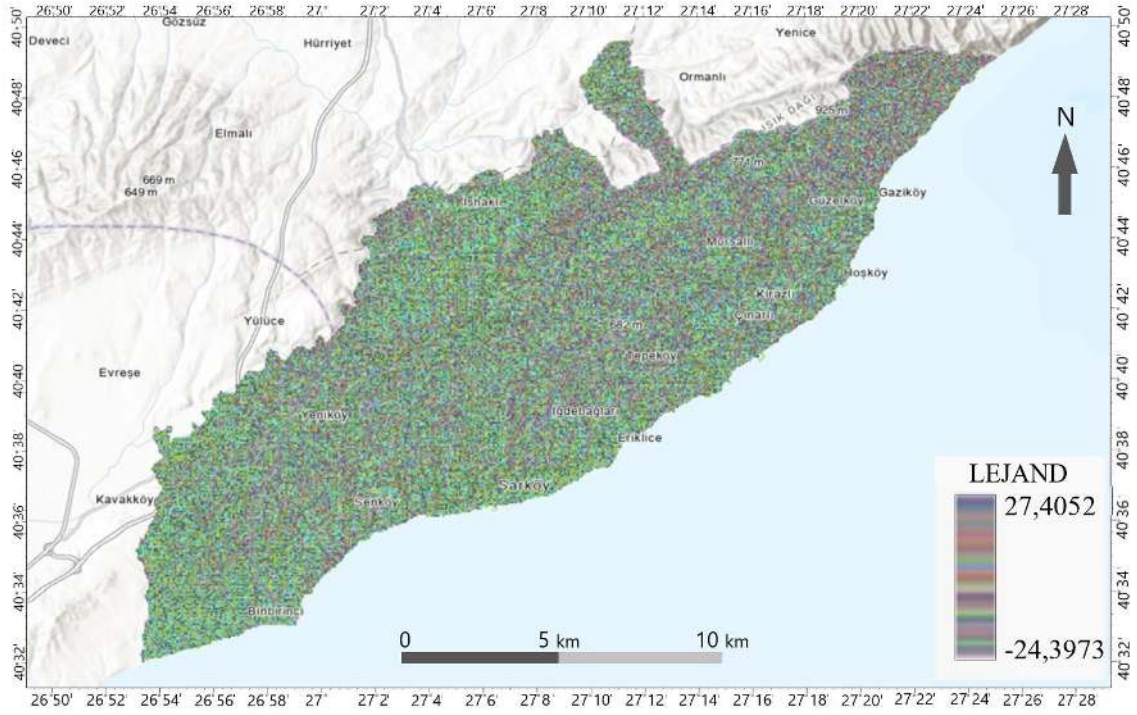
Şekil 3.4 SYM verisinin temin edildiği siteden görünüm



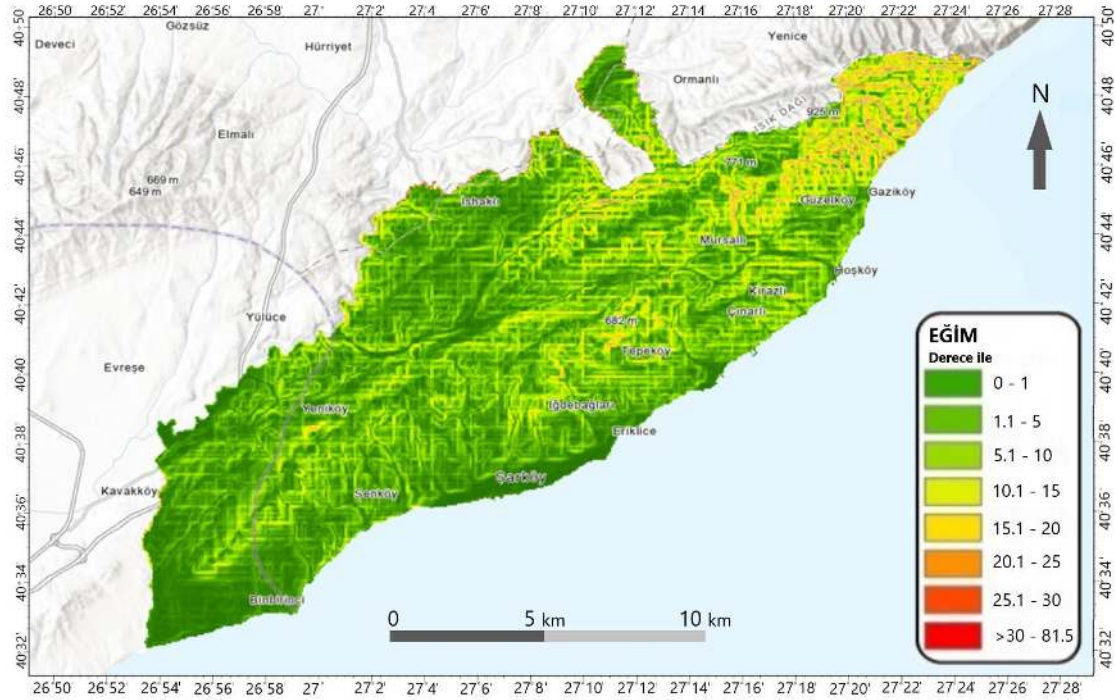
Şekil 3.5 Çalışma alanına ait bakı haritası

Bölgenin jeolojik haritası yine USGS sitesinden temin edilmiş olup, tamamına yakınının heyelan oluşumuna müsait yapıda olan, sedimanter kayaç kökenli olduğu görülmektedir. Kıyı bölgelerinde ise konsolide olmamış sediman malzeme görülmektedir (Şekil 3.8).

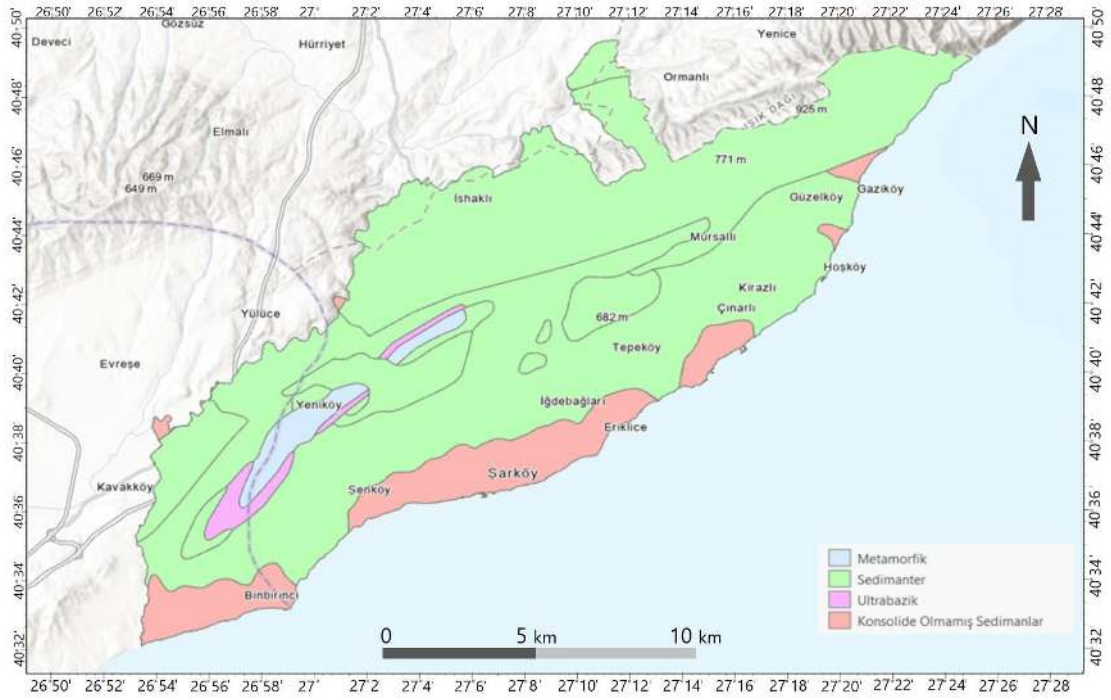
Bölgede ultrabazik ve ultramafik olarak tasvir edilen volkanik kayalar bulunmakta olup bunların heyelan duyarlılıkları oldukça düşüktür.



Şekil 3.6 Çalışma alanına ait eğrisellik haritası



Şekil 3.7 Çalışma alanına ait eğim haritası

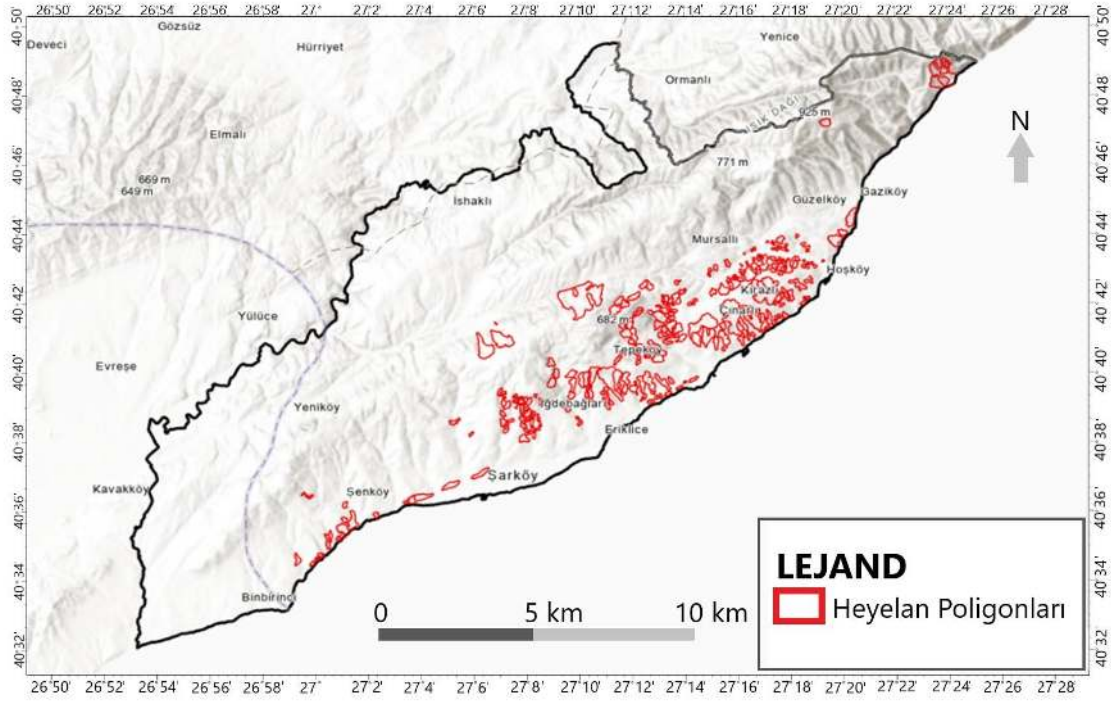


Şekil 3.8 Çalışma alanına ait kayaçların dağılımı

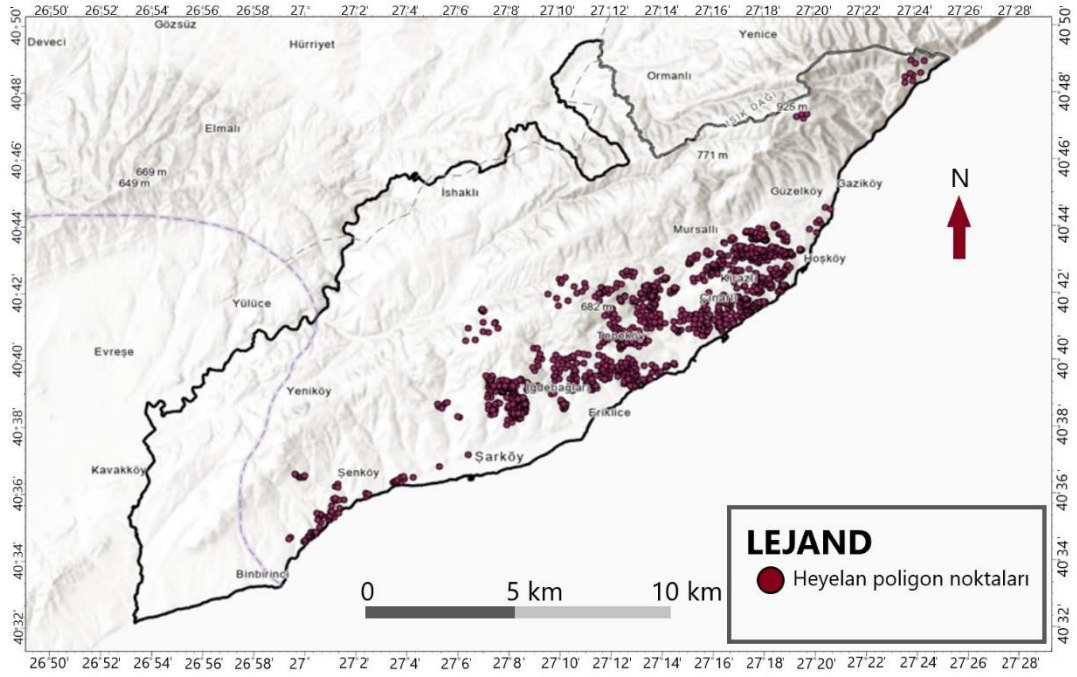
3.2.1 Sınıflandırma İşlemleri

Çalışma alanından bulunan 104 heyelan alanına ait poligonlarda (Şekil 3.9), 1161 nokta üretilmiştir (Şekil 3.10), bu noktaların %75'ine karşılık gelen 871 nokta ile (Şekil 3.11) heyelan duyarlılık haritası üretilmiş, kalan %25'e karşılık gelen 290 nokta ile de doğrulama işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.12).

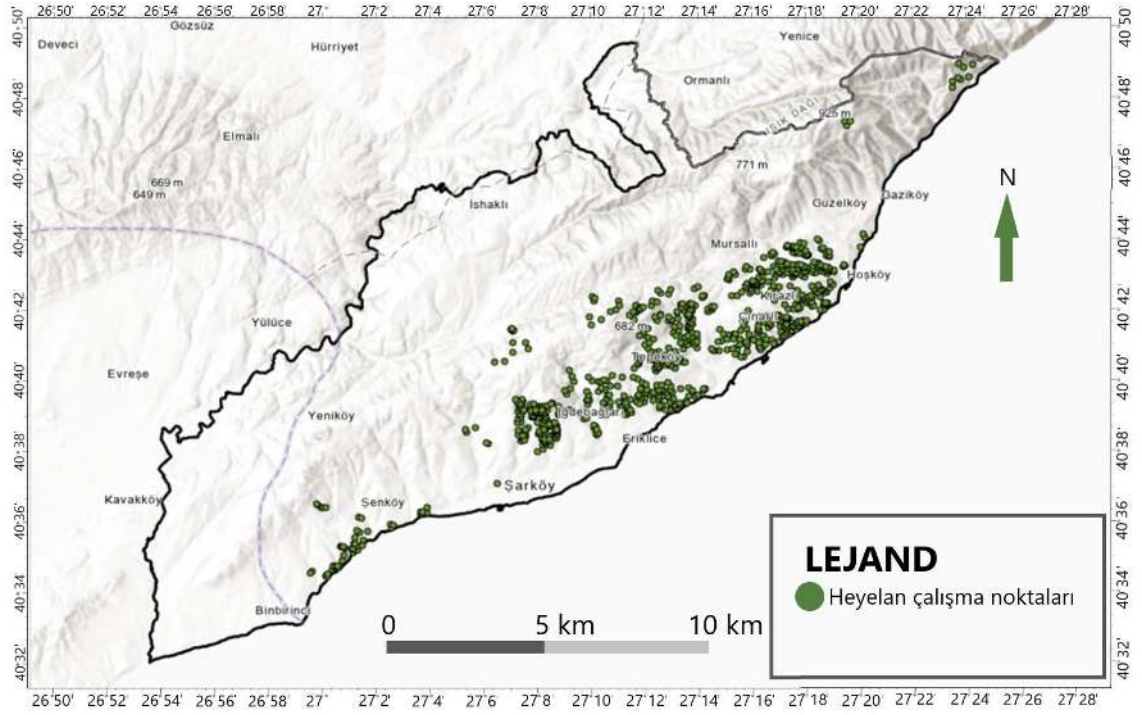
Bu işlemlerin ardından her bir parametre için 871 üretim noktasına raster verilerden (eğim, yükseklik, bakı ve eğrisellik) değerler çekilmiş ve bu veriler sınıflandırılarak (reclassify) ağırlıklarına göre değerler verilmiştir. SYM modelinde yapılan çalışma neticesinde (Tablo 3.1) heyelan alanlarının genelde 200m ve üzerindeki noktalarda yoğunlaştığı görülmüş ve bu şekilde ağırlık verilmiştir (Şekil 3.13).



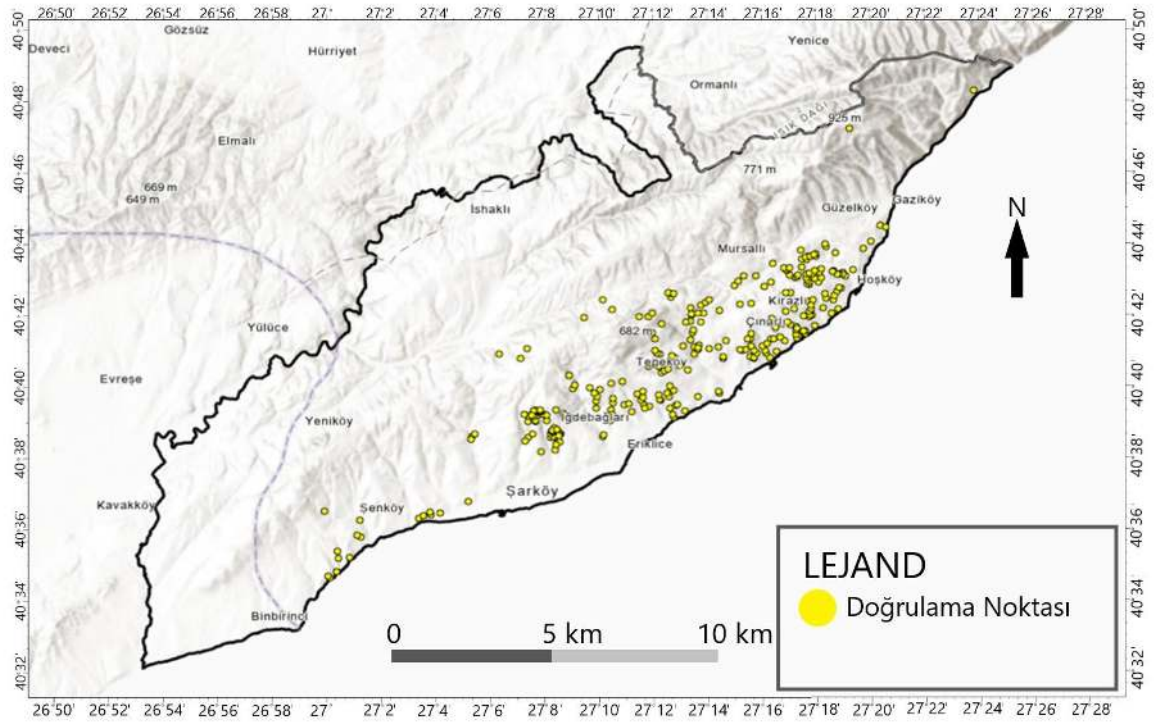
Şekil 3.9 MTA tarafından tespit edilmiş heyelan poligonları



Şekil 3.10 Heyelan poligonlarının nokta dönüşümü sonrası görünümü



Şekil 3.11 Poligonların %75'ine karşılık gelen 871 çalışma noktası



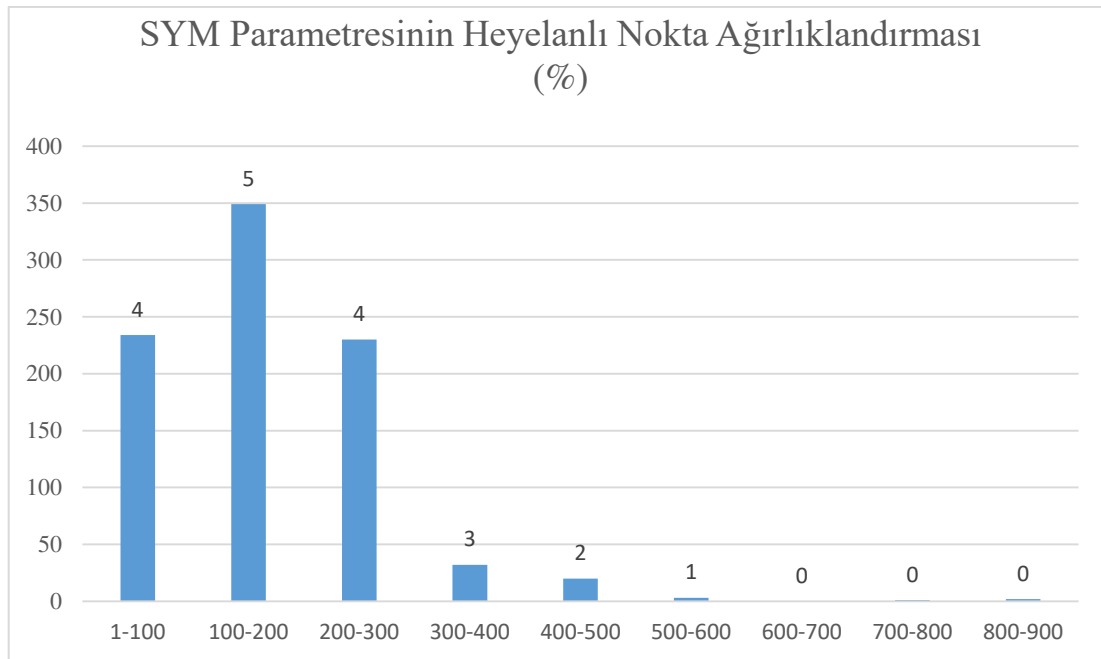
Şekil 3.12 Poligonların %25'ine karşılık gelen 290 doğrulama noktası

Tablo 3.1 SYM modeline ait ağırlıklandırma tablosu

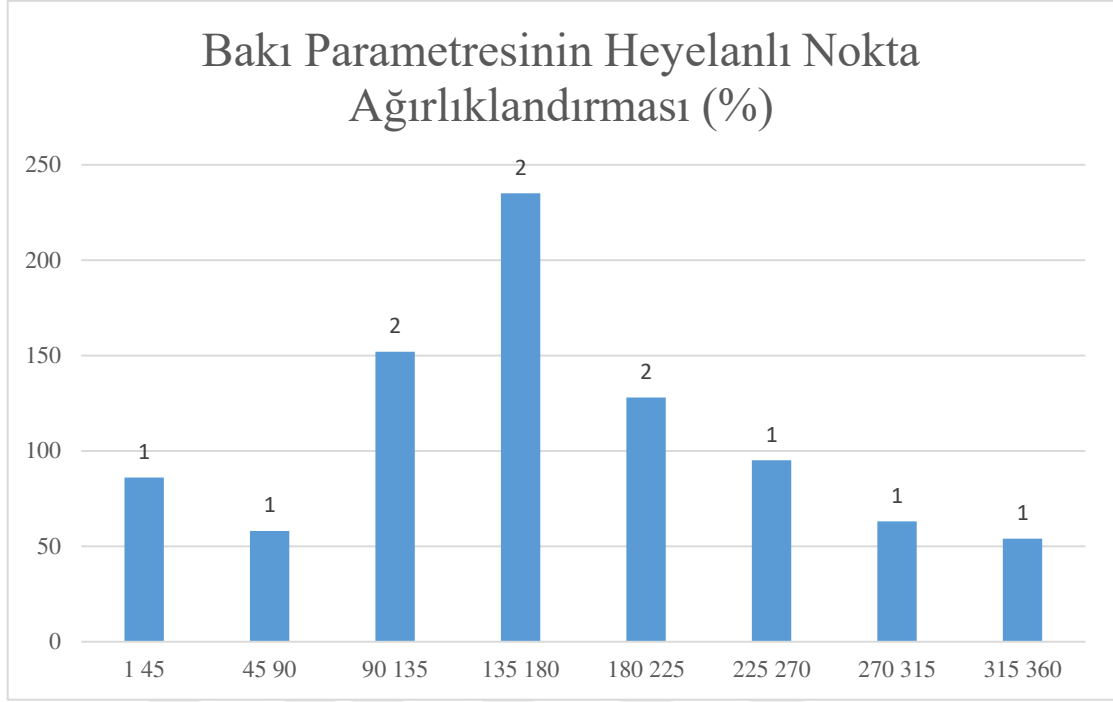
SYM (m)	Nokta Sayısı	Ağırlıklandırma
1-100	234	4
100-200	349	5
200-300	230	4
300-400	32	3
400-500	20	2
500-600	3	1
600-700	0	0
700-800	1	0
800-900	2	0

Heyelanlı noktaların yüksekliği bağlı olarak sütun grafikte gösterilmesinde de görüleceği gibi veriler 5 kümeden yoğunlaşmıştır. 349 veri 100-200 m yükseklik aralığında iken, 1-100 m ve 300-400 m aralıklarında ikincil bir kümelenme olduğu görülmektedir (Şekil 3.13).

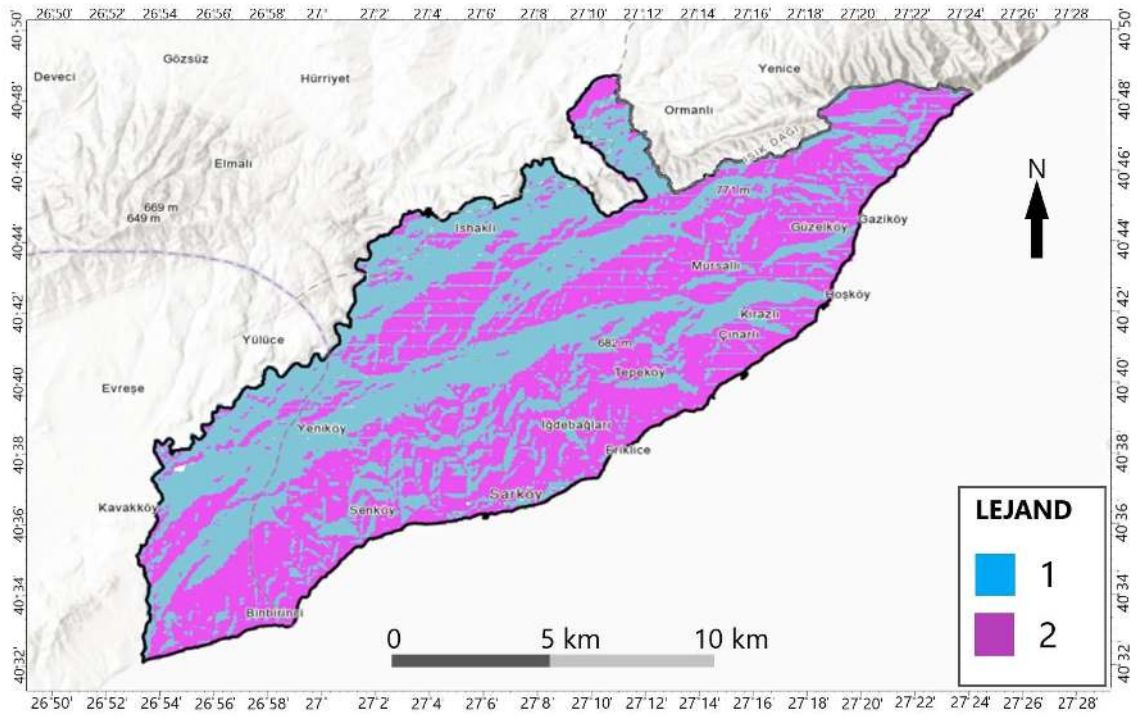
Bakı modeline heyelan alanlarının 90 ile 225 derecelik dilimde yoğunlaştığı görülmüş (Tablo 3.2) olup bu şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 Heyelanlı SYM noktalarının dağılımı



Şekil 3.15 Heyelanlı bakı noktalarının dağılımı

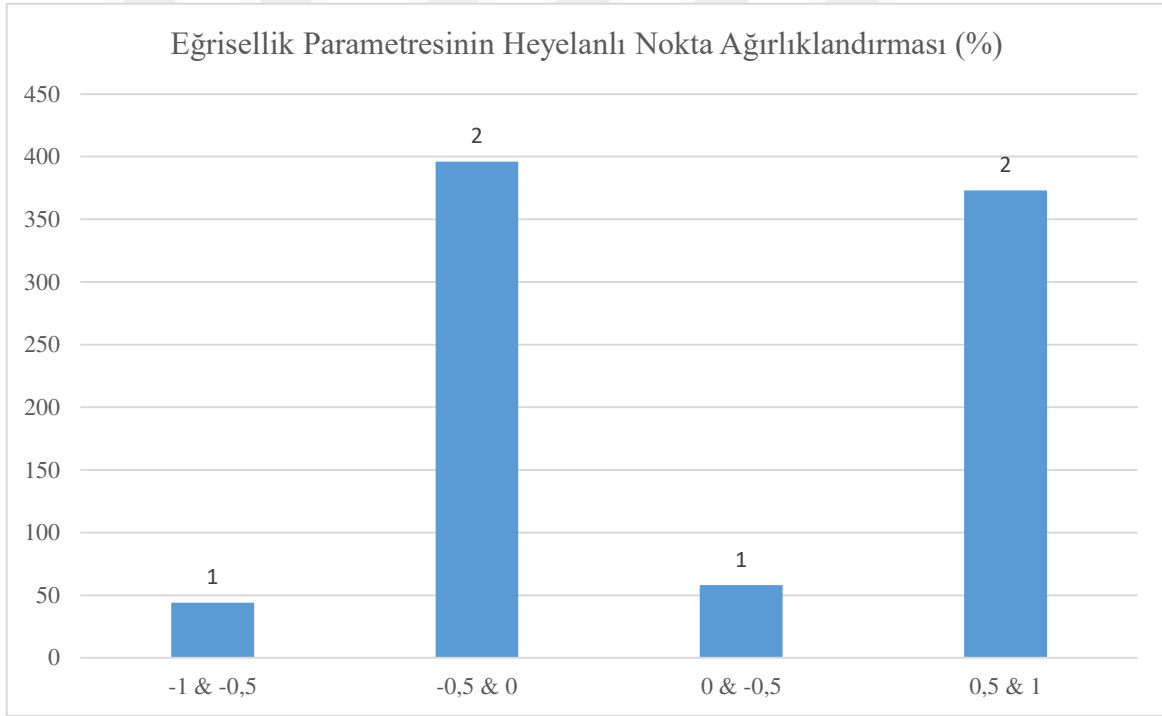


Eğrisellik modelinde heyelan noktalarının 2 aralıkta yoğunlaştığı görülmüş (Tablo 3.3) olup bu şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

Tablo 3.3 Eğrisellik modeline ait ağırlıklandırma tablosu

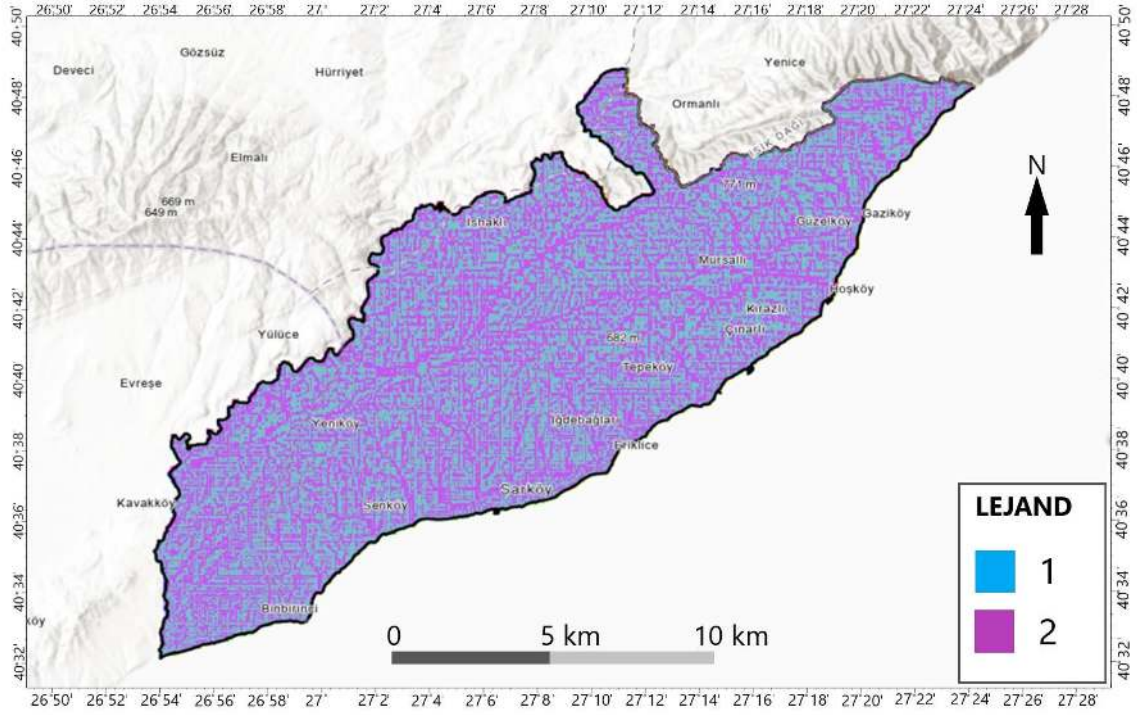
Eğrisellik	Nokta Sayısı	Ağırlıklandırma
-24_-12	44	1
-12_.0	396	2
0_15	58	1
15_27	373	2

Heyelan noktalarının eğrisellik -0.5 ile 0 ve 0.5 ile 1 aralıklarında yoğunlaştığı görülmüş olup veriler 2 sınıfta ağırlıklandırılmıştır.



Şekil 3.17 Heyelanlı eğrisellik noktalarının dağılımı

Eğim modelinde heyelan noktalarının 6 ve 18 derecelik aralıkta yoğunlaştığı görülmüş (Tablo 3.4) olup bu şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 3.19, Şekil 3.20).



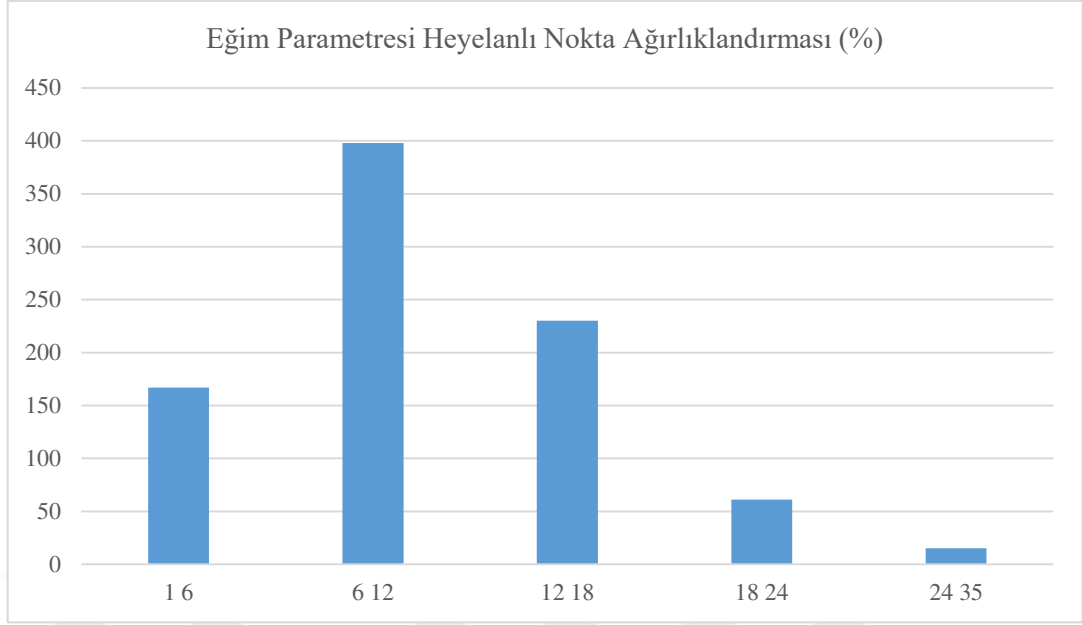
Şekil 3.18 Sınıflandırılmış eğrisellik modeli

Tablo 3.4 Eğim modeline ait ağırlıklandırma tablosu

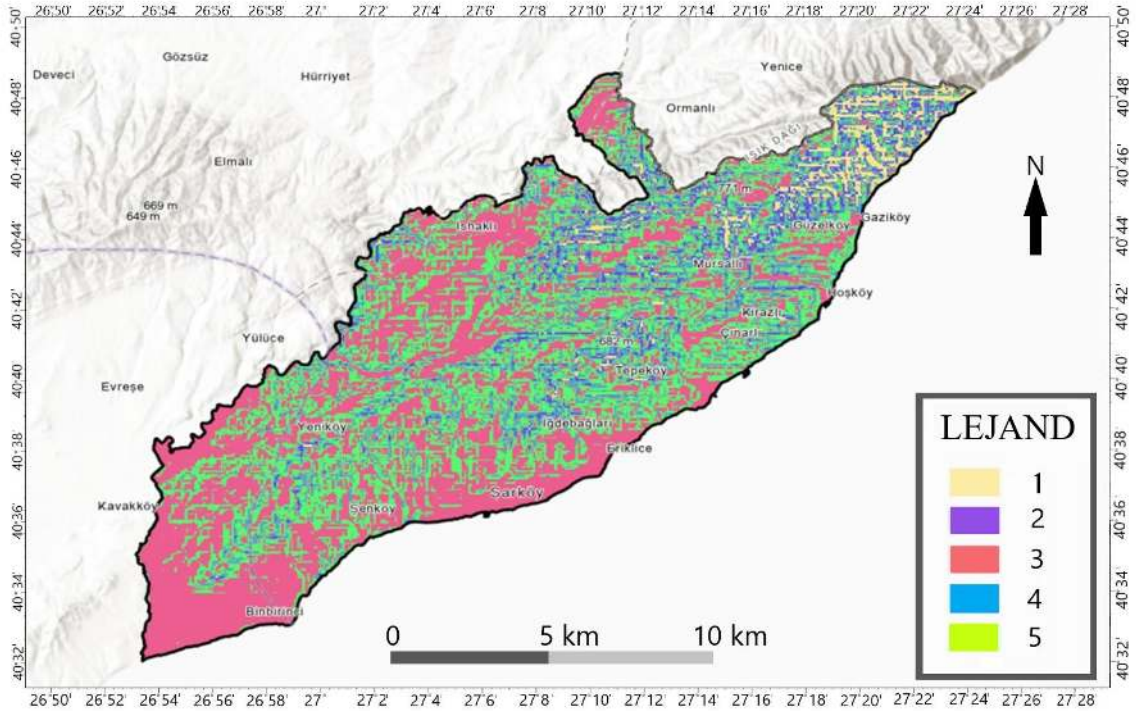
Eğim	Nokta Sayısı	Ağırlıklandırma
1-6	167	3
6-12	398	5
12-18	230	4
18-24	61	2
24-35	15	1

Heyelan noktalarının eğim verisi incelendiğinde 5 aralıkta kümelendiği belirlenmiş ve ağırlıklandırılmıştır.

Bölgedeki litolojik unsurlar da bir parametre olarak çalışmaya dahil edilmiş fakat karmaşık bir jeolojik yapısı olduğundan (Kasar vd. 1983) bölgedeki kayalar sedimanter, konsolide olmamış sedimanlar, ultrabazik ve metamorfik olarak petrografik bir sınıflama ile sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.19 Heyelanlı eğim noktalarının dağılımı

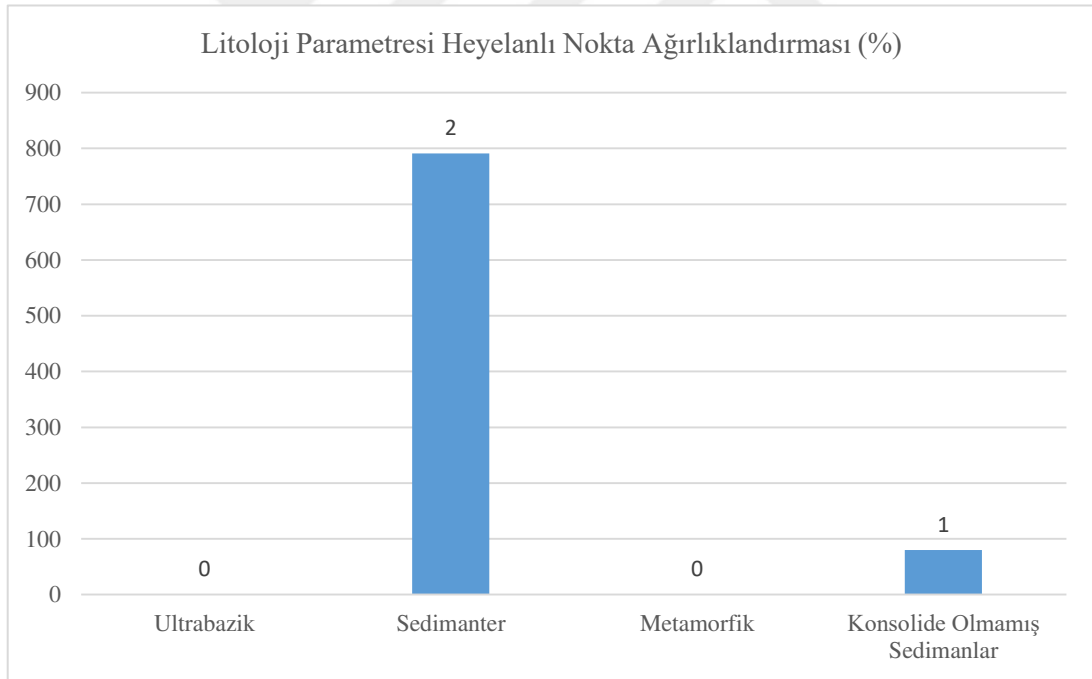


Şekil 3.20 Sınıflandırılmış eğim modeli

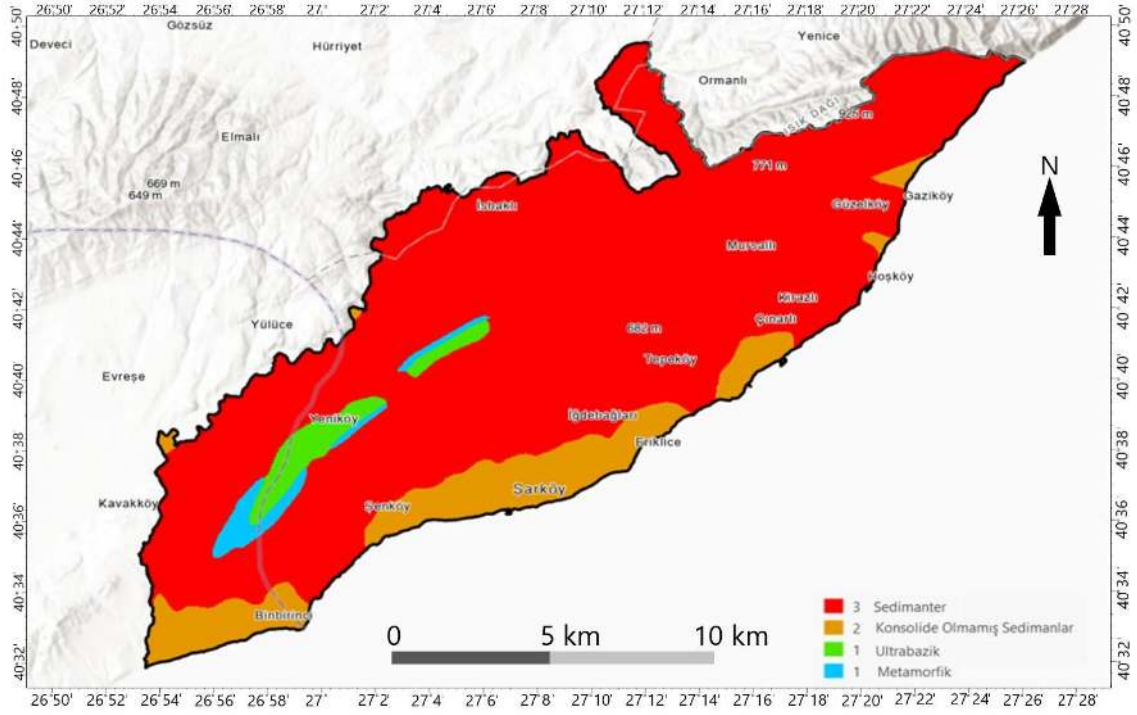
Tablo 3.5 Litoloji modeline ait ağırlıklandırma tablosu

Litoloji	Nokta Sayısı	Ağırlıklandırma
Ultrabazik	0	1
Sedimanter	791	3
Metamorfik	0	1
Konsolide olmamış sedimanlar	80	2

Heyelan noktalarının litoloji parametresi üzerindeki dağılımı incelendiğinde sedimanter kayaçlar üzerindeki dağılımın fazla olduğu sonrasında konsolide olmamış sedimanlar üzerinde dağılımın olduğu, ultrabazik ve metamorfik kayaçlar üzerinde ise heyelanlı noktanın olmadığı görülmüştür (Şekil 3.21, Şekil 3.22).



Şekil 3.21 Heyelanlı noktaların litoloji parametresine göre dağılımı

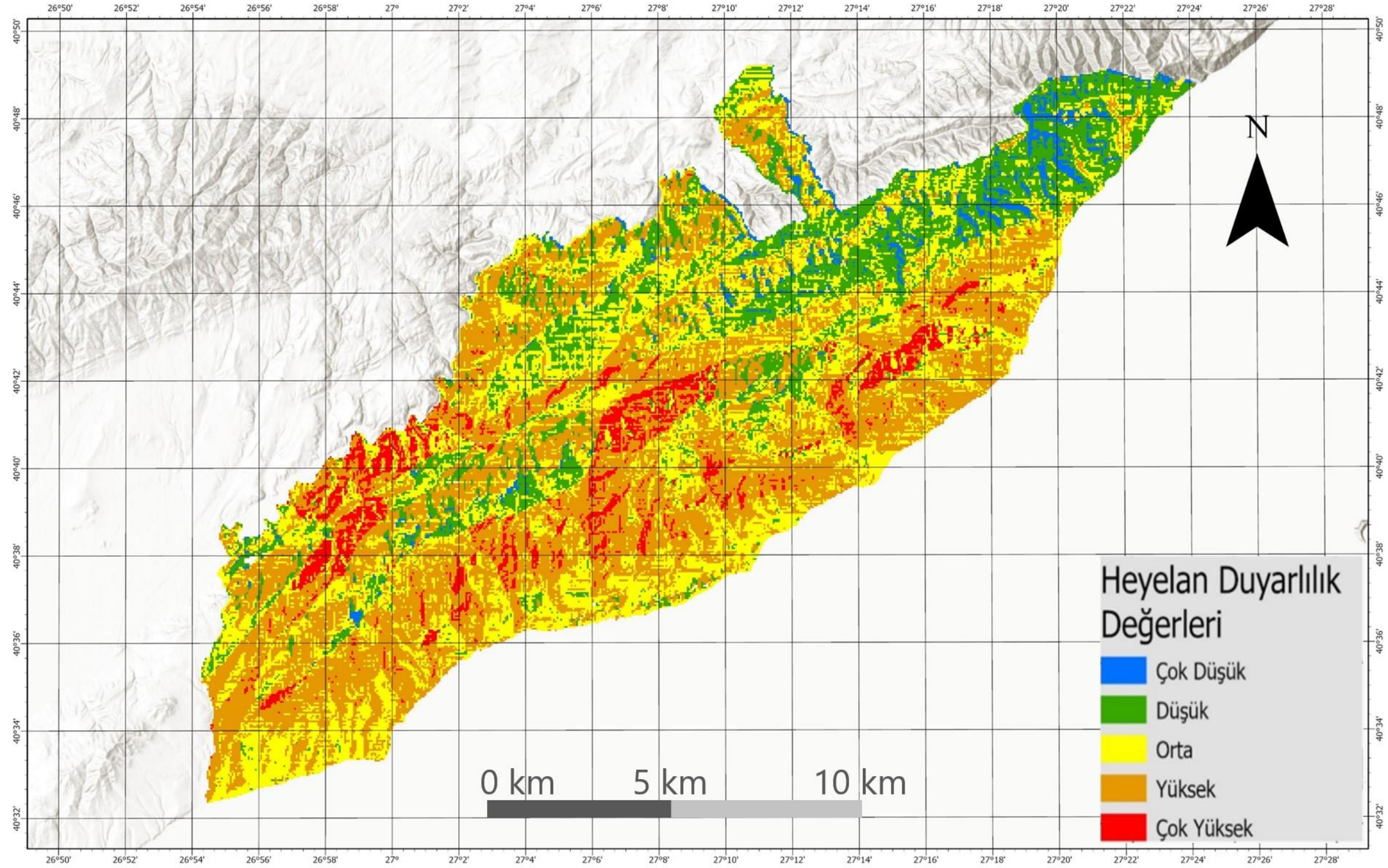


Şekil 3.22 Sınıflandırılmış litoloji modeli

3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında eğim, bakı, yükseklik, eğrisellik ve litoloji olarak 5 parametre kullanılmıştır. Bu parametreler MTA heyelan poligonlarından elde edilen 1161 heyelan noktasının %75'ine karşılık gelen 871 noktanın beş parametrenin hangi değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilerek bir ağırlıklandırma yapılmış, bu ağırlıklandırmalar ile elde edilen 5 raster verisi CBS yazılımlarında eklenti olarak bulunan raster hesap makinesi ile toplanmış ardından bu değerler 5 bölüme ayrılarak harita üzerinde çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek heyelan alanları tespit edilmiştir. (Şekil 23).

TEKİRDAĞ İLİ, ŞARKÖY İLÇESİ HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI



Şekil 3.23 Heyelan duyarlılık haritası

3.4. Heyelan Duyarlılık Haritasının Doğrulanması

Heyelan duyarlılık haritasının doğrulanması için 1161 heyelan noktasının %25'ine karşılık gelen 290 nokta kullanılmıştır. Bu kontrol noktalarının heyelan duyarlılık haritasının hangi duyarlılık bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda kontrol noktalarının yaklaşık %72'sinin yüksek ve çok yüksek heyelan alanlarında bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Kontrol noktalarının dağılımı

Duyarlılık Sınıflaması	Duyarlılık Değeri	Heyelanlı Nokta Dağılımı	Dağılım Yüzdesi
Çok Düşük	1	0	0%
Düşük	2	12	4%
Orta	3	68	23%
Yüksek	4	181	62%
Çok Yüksek	5	29	10%
Toplam		290	100%

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi'nde heyelan duyarlılığını belirlemek amacıyla yürütülen analizlerde, eğim, yükseklik, bakı (yamaç yönelimi), eğrisellik ve litoloji parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin CBS ortamında raster tabanlı olarak analiz edilmesiyle elde edilen sonuçlar, heyelan oluşumunu etkileyen faktörlerin bölgesel düzeyde nasıl değişkenlik gösterdiğine ışık tutmuştur.

Elde edilen bulgulara göre, heyelan olaylarının büyük çoğunluğu 200 m üzerindeki yükselti aralıklarında, güney ve güneybatı yönelimli yamaçlarda, sedimanter nitelikteki jeolojik birimler üzerinde ve özellikle 6° – 18° eğim aralığında yoğunlaşmaktadır. Eğrisellik açısından ise heyelanlar, genellikle -12 ile 0 ve 15 ile 27 değer aralıklarında kümelenmiştir. Bu durum, yamaçların hem içbükey hem de dışbükey eğriliklere sahip alanlarında heyelan gelişiminin mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak eğriselliğin diğer parametrelere göre daha düşük bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Heyelan duyarlılığı analizinde en dikkat çekici bulgulardan biri, litoloji parametresiyle ilgilidir. Çalışma alanındaki heyelan noktalarının büyük bir kısmının sedimanter kayalar üzerinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum, bölgenin litolojik yapısının heyelan oluşumunda belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle konsolide olmamış sedimanter birimlerin su geçirgenliğinin düşük olması, yağışlı dönemlerde doygunluk derecesinin hızla artmasına ve buna bağlı olarak zemin stabilitesinin bozulmasına yol açabilmektedir.

Eğim parametresi incelendiğinde ise düşük ve orta eğim sınıflarında (özellikle 6° – 12°) önemli sayıda heyelan gözlemlenmiştir. Bu bulgu, yüksek eğimli alanların değil, aksine belli bir eşiğin altındaki eğim aralıklarının da heyelan açısından risk taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu durumun temel nedeni, düşük eğimli alanlarda suyun drenaj kapasitesinin az olması ve bu alanlarda suyun daha uzun süre tutunarak zemin doygunluğunu artırması olabilir.

Bakı (yönelim) açısından ise heyelanların 90° ile 225° arasında kalan yönelimlerde yoğunlaştığı, yani doğu-güney-güneybatı doğrultusunda gelişen yamaçlarda heyelan oluşumunun daha sık olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, hem güneşlenme süresiyle zemin kuruması arasındaki ilişki hem de meteorolojik etkilerin bu yönelimlerde toprak stabilitesini daha fazla etkilemesiyle açıklanabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans çalışmasında, Tekirdağ İli, Şarköy İlçesi sınırlarında heyelan duyarlılığının belirlenmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, heyelan oluşumunu etkileyen başlıca beş parametre —eğim, yükseklik, bakı, eğrisellik ve litoloji— dikkate alınmış, bu faktörlerin mekânsal dağılımı raster tabanlı analiz teknikleriyle değerlendirilmiştir. Saha verileri MTA tarafından sunulan heyelan envanterinden sağlanmış ve bu veriler doğrultusunda 1161 heyelan noktası üretilmiştir. Noktaların %75'i (871 adet) haritanın oluşturulmasında, kalan %25'i (290 adet) ise duyarlılık haritasının doğrulanmasında kullanılmıştır.

Harita üretimi sürecinde her bir parametreye ilişkin raster veriler sınıflandırılmış, bu sınıflara belirli ağırlıklar atanmış ve CBS yazılımları üzerinden raster hesaplama işlemleriyle bütüncül bir duyarlılık skoru elde edilmiştir. Elde edilen değerler üzerinden çalışma alanı “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” duyarlılık olmak üzere beş farklı gruba ayrılmıştır. Bu şekilde üretilen haritanın doğruluğu kontrol noktalarıyla test edilmiş ve noktaların %72'sinin “yüksek” ve “çok yüksek” duyarlılık sınıflarında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu doğrulama, yöntemin sahaya özgü etkili bir değerlendirme sağladığını göstermektedir.

Analiz sonucunda, heyelanların özellikle sedimanter litolojiye sahip zeminlerde, 6° – 18° arasında değişen orta eğim sınıflarında, 100–300 metre yükseklik aralığında ve 90° ile 225° yönelimli (doğu-güneybatı) yamaçlarda yoğunlaştığı görülmüştür. Eğrisellik bakımından ise hem içbükey hem dışbükey yamaç şekillerinde heyelan riski taşıyan örüntüler ortaya çıkmıştır. Ancak eğrisellik değişkeninin diğerlerine kıyasla daha düşük etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu durum, morfolojik yapı ile litolojik yapının bir arada değerlendirilmesinin, tek başına topografik özelliklerden daha güçlü sonuçlar vereceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın en temel katkılarından biri, bölgeye özgü heyelan risk profili çıkarılması ve CBS tabanlı mekânsal analiz tekniklerinin saha gerçekliği ile uyumlu bir şekilde

çalıştığını ortaya koymasındır. Ayrıca çalışmada kullanılan metodoloji, benzer coğrafi yapıya sahip bölgelerde de uyarlanabilir nitelikte olup, tekrar üretilebilir bir analiz süreci sunmaktadır. Literatürde sıklıkla kullanılan ağırlıklandırma ve yeniden sınıflandırma temelli duyarlılık haritalama yaklaşımının bu tezde başarılı bir şekilde uygulanması, yöntemsel olarak da önemli bir doğrulama teşkil etmektedir. Bu doğrultuda, çalışma sonuçlarına dayalı olarak hem uygulayıcı kurumlara hem de araştırmacılara yönelik aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- İmar ve arazi kullanım planları, bu haritadan elde edilen veriler ışığında revize edilmelidir. Özellikle “yüksek” ve “çok yüksek” riskli bölgelerde yapılacak altyapı projeleri öncesinde detaylı jeoteknik çalışmalar zorunlu hale getirilmelidir.
- Yerel yönetimler ve ilgili kamu kurumları, bu tür haritaları afet öncesi planlama süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline getirmelidir. Heyelan erken uyarı sistemleri gibi uygulamalarda da bu haritalar rehber niteliğinde kullanılabilir.
- Elde edilen bulgular ışığında, su yönetimi uygulamaları da yeniden gözden geçirilmelidir. Özellikle yüksek riskli alanlarda yağmur suyu drenajı, yüzey akış kontrolü ve zemin doygunluğunu azaltıcı mühendislik çözümleri devreye sokulmalıdır.
- CBS yazılımlarına entegre çalışan dinamik karar destek sistemleri ile bu tür risk haritalarının daha güncel ve gerçek zamanlı hale getirilmesi mümkündür. Bu nedenle belediyelerin CBS altyapıları güçlendirilmelidir.
- Akademik anlamda, çalışmanın benzer parametrik yapıdaki bölgelerde uygulanabilirliği test edilmeli; farklı mekânsal çözünürlükteki verilerle model yeniden kurulmalıdır. Özellikle yüksek çözünürlüklü LiDAR verileri ile eğim, eğrisellik ve bakı gibi parametreler daha hassas biçimde analiz edilebilir.
- Gelecekte yapılacak çalışmalarda makine öğrenmesi algoritmaları, özellikle de değişken önem düzeyine (özellik önemine – feature importance) dayalı çalışan modeller kullanılarak, hangi parametrenin heyelan duyarlılığı üzerinde ne ölçüde

etkili olduğu daha nesnel biçimde ortaya konabilir. Bu sayede uzman görüşüne dayalı ağırlıklandırma yerine, veriye dayalı ağırlık tahminleri yapılabilir.

- Ayrıca bu tür çalışmalar iklim değışikliğı perspektifi ile ele alınmalı; uzun yıllara ait yağış, sıcaklık ve toprak nemi verileriyle ilişkilendirilerek dinamik bir heyelan riski izleme sistemine dönüştürülmelidir.



KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara. (Erişim Tarihi: 17 Şubat 2021).
- Akgün, A. ve Bulut, F. 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R. 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58, 21-44.
- Anbalagan, R. 1992. Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain. *Proc. Soeters, R., Van Westen, C.J.* 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides: investigation and mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247, pp 129–177
- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M., ve Marschalko, M. 2010. Landslide susceptibility assessment of the Kral'ovany–Liptovsky' Mikuláš railway case study, *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 162–171
- Campbell, J.E. ve Shin, M. 2011, *Essentials of geographic information systems*, iberty University, USA.
- Carrara, A. ve Merenda, L. 1976. Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy. *Geol. Soc. Am. Bull*, 87: 1153–1162.
- Dağ, S. 2007. Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi*, 241.
- Dai, F.C. ve Lee, C.F. 2001. Terrain-Based Mapping of Landslide Susceptibility Using a Geographical Information System: A Case Study, *Can. Geotech. J.*, 38, 911-923.
- Dai, F.C. ve Lee, C.F. 2002. Landslide Characteristics and Slope Instability Modelling Using GIS, *Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology*, 42, 213-228
- Ertunç, E. ve Çay, T. 2020, Havaalanı yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri (cbs) ve analitik hiyerarşi süreci (ahp) kullanımı, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 200-210.

- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere ilişkin Belirsizlikler, *Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 23, 201-219.
- Gritzner, M.L., Marcus, W.A., Aspinall, R., ve Custer, S.G. 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes. *Payette River, Idaho, Geomorphology*, 37, 149-165
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., ve Ardizzone, F. 2005. Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines. *Geomorphology*, 72: 272–299.
- Islam, S.T. ve Chik, Z. 2011. Disaster in Bangladesh and management with advanced information system, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 20 (5): 521–530.
- Kasar, S., Bürkan, K., Siyako, M., ve Demir, O. 1983, Tekirdağ- Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. TPAO Arama Grubu Arşivi, (yayımlanmamış) rapor no, 1771, 71 s., Ankara.
- Lee, S., Choi, J., ve Min, K. 2004. Landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea, *Int J Remote Sensing*, 25, 2037-2052.
- Nagarajan, R., Mukherjee, A., Roy, A., ve Khire, M.V. 1998. Temporal Remote Sensing Data and GIS Application in Landslide Hazard Zonation of Part of Western Ghat, India. *Int. J. Rem. Sens.*, 9, 4, 573-585.
- Önalp. A. 1980. Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, *Araştırma Raporu, TUBİTAK*, M-441.
- Önalp, A., Tarhan, F., ve Sevinç, N. 1987. Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, *Dengeli Yamaç Tasarımı. TUBİTAK, MAG: 585*, Ankara.
- Soeters, R. ve Van Westen, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247*, pp 129–177
- Tarhan, F. 1991. Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış, *Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon*, 38-64.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., ve Soeters, R. 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment, *Natural Hazards* 30: 399–419, 2003.

Varnes, D.J. 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. UNESCO Pres, Paris, 63.

Wachal, D.J. Hudak, P.F. 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. GeoJournal 51:245–253, 2000

Yalçın, A. ve Bulut, F. 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey), Natural Hazards, 41, 241-255

Yüksel N. 2007. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında İstatistiksel Yöntemlerin ve Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi. Ege Coğrafya Dergisi, 23(2), 19-35.



