

**KARABURUN YARIMADASI HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ÜRETİMİ**

Muhittin Ozan KARAMAN

YÜKSEK LİSANS

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Saye Nihan ÇABUK

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ağustos, 2019**

ÖZET

KARABURUN YARIMADASI HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ÜRETİMİ

Muhittin Ozan KARAMAN

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2019

Danışman: Doç. Dr. Saye Nihan ÇABUK

Heyelanlar doğal afetlerin en çok zarar veren çeşitlerinden birisidir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) özellikle heyelanların gerek mevcut envanterinin haritalandırılmasında gerekse gelecekte yaşanabilecek heyelanların konumsal olarak tahmin edilebilmesinde çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Çalışma kapsamında İzmir ili, Karaburun Yarımadası'nda yaşanabilecek olası heyelanların zararlarını azaltmak için heyelan duyarlılık haritalama çalışması yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda; ilk olarak, ilgili veri tabanlarından heyelan envanter haritası üretilmiş, daha sonra, bölgede heyelan oluşumunu etkilediği düşünülen 10 parametre (yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, litoloji, yollara uzaklık, akarsuya uzaklık, faya uzaklık, arazi kullanımı ve bitki örtüsü) haritası oluşturulmuştur. Üretilen parametre haritaları lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemleri ile değerlendirilerek heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bu yöntemlerle yapılan haritalar ROC analizi ile karşılaştırılmış ve analiz sonucunda lojistik regresyonla üretilen haritanın frekans yöntemi ile üretilen haritaya göre daha yüksek doğrulukta olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, her iki yöntemle de oluşturulan duyarlılık haritalarının, mevcut heyelan envanter haritası ile uyumlu olduğu, gelecekte planlanan çalışmalar için önemli bir veri olarak yararlanılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Karaburun Yarımadası, CBS, Heyelan duyarlılık haritası, Frekans oranı, Lojistik regresyon

ABSTRACT

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING OF KARABURUN PENINSULA WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Muhittin Ozan KARAMAN

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Eskisehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2019

Supervisor: Doç. Dr. Saye Nihan ÇABUK

Landslides are one of the most damaging types of natural disasters. Geographical Information Systems (GIS) provide to facilitate both for mapping the current landslides and for predicting the landslides that may be experienced in the future. Within the scope of the study, landslide susceptibility mapping study was carried out in order to reduce the damages of possible landslides in Karaburun Peninsula of İzmir province. In accordance with this purpose; firstly, landslide inventory map was produced from related databases and then 10 parameters (altitude, slope, aspect, curvature, lithology, distance to roads, distance to faults, distance of stream, land use and vegetation) map which are thought to affect landslide formation in the region were created. Landslide susceptibility maps were produced by logistic regression and frequency ratio methods. The maps made with these methods were compared with ROC analysis and it was found that the map produced by logistic regression was more accurate than the map produced by frequency method. As a result, it was determined that the susceptibility maps created by both methods are compatible with the existing landslide inventory map and can be used as an important data in the future.

Keywords: Karaburun Peninsula, GIS, Landslide susceptibility mapping, Frequency ratio, Logistic regression

TEŞEKKÜR

İlk olarak tez danışmanı Doç. Dr. Saye Nihan Çabuk’a süreç boyunca yaptığı yönlendirmeler, katkılar ve eleştiriler için teşekkür ederim. Onun motive edici katkıları olmasa bu tez olmazdı.

Danışmanımın yanı sıra özellikle jüri esnasındaki katkıları sebebiyle Doç. Dr. Sibel Sarıçam ve Dr. Öğretim Üyesi Emrah Pekkan’a teşekkürü borç bilirim.

Özellikle jeoloji konusundaki sorularıma cevap veren, yardımcı olan DSİ 3. Bölge Müdürlüğü personeli Rabia Gören ve Engin Kaplan’a teşekkür ederim.

Çok yoğun geçen bir yılda desteğini hiç esirgemeyen eşim Berna’ya, Can’a ve bütün aileme minnettarım.

Muhittin Ozan KARAMAN

....../....../20....

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

(İmza)

.....

(Öğrencinin Adı ve SOYADI)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLOLAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç.....	3
1.2. Önem..	4
2. ALANYAZIN	5
2.1. Kütle Hareketi ve Heyelan	5
2.2. Kütle Hareketlerini Etkileyen Faktörler	8
2.2.1. Doğal faktörler	8
2.2.2.1. Jeolojik faktörler.....	8
2.2.2.2. Bitki örtüsü	8
2.2.2.3. Şev açısı.....	9
2.2.2.4. İklim koşulları.....	9
2.2.2. Tetikleyici Faktörler	10
2.2.2.1. Aşırı yüklenme	10
2.2.2.2. Titreşimler.....	10
2.3. Kütle Hareketleri Tipleri.....	10
2.3.1. Hareket türü (düşme, akma ya da kayma)	11
2.3.2. İçerdiği malzeme türü (kaya, toprak ya da moloz).....	12
2.4. Kütle Hareketleri Zararları	12
2.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi.....	17
2.5.1. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS)	17

2.5.2. CBS ile heyelan duyarlılık haritası üretimi	21
2.5.3. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler.....	25
2.5.3.1. Nitel (Kalitatif) yöntemler	28
2.5.3.2. Nicel (Kantitatif) yöntemler.....	29
2.6. Literatür Özeti.....	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
3.1. Materyal.....	38
3.1.1. Literatür araştırmasına dayalı veri kaynakları	38
3.1.2. Mekansal veriler.....	38
3.1.3. Kullanılan yazılımlar	39
3.1.4. Çalışma alanı	39
3.1.4.1. Coğrafi konum.....	40
3.1.4.2. İklim	40
3.1.4.3. Topoğrafya.....	41
3.1.4.4. Jeoloji.....	41
3.1.4.5. Heyelan	42
3.1.4.6. Demografik ve sosyal yapı.....	45
3.1.4.7. Tarihi.....	46
3.1.4.8. Diğer özellikler.....	47
3.2. Yöntem	48
3.2.1. Kullanılacak parametrelerin belirlenmesi.....	51
3.2.2. Mevcut heyelan alanlarının belirlenmesi.....	53
3.2.3. Topoğrafik analiz	53
3.2.4. Parametre verilerinin üretilmesi	53
3.2.5. Verilerin analizi.....	53
3.2.6. Parametre haritaları	58
3.2.6.1. Yükseklik parametresi	58
3.2.6.2. Bakı parametresi.....	58
3.2.6.3. Eğim parametresi.....	59
3.2.6.4. Yamaç eğriselliği parametresi.....	59
3.2.6.5. Arazi kullanımı parametresi.....	60
3.2.6.6. Bitki örtüsü parametresi.....	60

3.2.6.7. Jeolojik formasyon parametresi.....	60
3.2.6.8. Yola uzaklık parametresi.....	61
3.2.6.9. Akarsuya uzaklık parametresi.....	61
3.2.6.10. Faya uzaklık parametresi	61
3.2.7. Frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası.....	62
3.2.8. Lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası.....	63
4. BULGULAR.....	64
4.1. Parametre Haritaları	64
4.1.1. Yükseklik haritası	64
4.1.2. Bakı haritası.....	66
4.1.3. Eğim haritası	68
4.1.4. Yamaç eğriselliği haritası	70
4.1.5. Fay hatlarına uzaklık haritası.....	72
4.1.6. Yollara uzaklık haritası	74
4.1.7. Akarsulara uzaklık haritası	76
4.1.8. Jeolojik formasyon haritası.....	78
4.1.9. Arazi kullanım haritası.....	81
4.1.10. Bitki örtüsü haritası	84
4.2. Heyelan Duyarlılık Haritaları.....	86
4.2.1. Frekans oranı ile üretilen heyelan duyarlılık haritası	86
4.2.2. Lojistik regresyon ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	89
4.2.3. Haritaların değerlendirilmesi	91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKÇA.....	97
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması	11
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan mekansal veriler.....	39
Tablo 3.2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler	52
Tablo 3.3. İncelenen çalışmalarda kullanılan parametreler	52
Tablo 4.1. Litoloji sınıflandırma tablosu.....	80
Tablo 4.2. Arazi kullanımı haritası sınıflandırma tablosu.....	82
Tablo 4.3. Lojistik regresyon analiz sonuçları.....	89
Tablo 4.4. Eğri altındaki alanları.....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Doğal afetlerin bileşenleri.....	1
Şekil 2.1. Dünya genelinde 1998-2017 yılları arasında yaşanan afetlerin dağılımı .	15
Şekil 2.2. Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında yaşanan afetlerin dağılımı	16
Şekil 2.3. 1950-2008 yılları arasında yaşanan afetlerin etkilediği yapı sayısı.....	16
Şekil 2.4. CBS kullanım alanları	21
Şekil 2.5. Türkiye heyelan envanter haritası	23
Şekil 2.6. Türkiye heyelan yoğunluk haritası	24
Şekil 2.7. İlk dönemlere ait farklı yöntemlerle yapılmış heyelan tehlike haritaları ...	26
Şekil 2.8. Heyelan duyarlılık haritası üretimi yöntemleri	28
Şekil 3.1.Karaburun Yarımadası’nın konumu	40
Şekil 3.2. Karaburun Yarımadası topoğrafyası ve jeolojisi	42
Şekil 3.3. Karaburun Yarımadası heyelanları	43
Şekil 3.4. Karaburun Yarımadası heyelanları fotoğrafları.....	44
Şekil 3.5. Karaburun Yarımadası beşeri haritası.....	46
Şekil 3.6. Yöntem akış şeması.....	50
Şekil 3.7. Frekans yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretimi akış şeması.....	55
Şekil 3.8. Lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretimi akış şeması.....	57
Şekil 4.1. İzmir ili sayısal yükseklik modeli	65
Şekil 4.2. İzmir ili bakı haritası	67
Şekil 4.3. İzmir ili eğim haritası	69
Şekil 4.4. İzmir ili yamaç eğriselliği haritası	71
Şekil 4.5. İzmir ili fay hatlarına uzaklık	73
Şekil 4.6. İzmir ili yollara uzaklık haritası.....	75
Şekil 4.7. İzmir ili akarsulara uzaklık haritası	77
Şekil 4.8. İzmir jeolojik formasyon haritası	79
Şekil 4.9. İzmir ili arazi kullanım haritası	83
Şekil 4.10. İzmir ili bitki örtüsü haritası	85
Şekil 4.11. İzmir ili frekans oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası...	87

Şekil 4.12. Karaburun Yarımadası frekans oranı ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	88
Şekil 4.13. İzmir ili lojistik regresyon yöntemi ile üretilen duyarlılık haritası.....	90
Şekil 4.14. Karaburun Yarımadası lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası	91
Şekil 4.15. Frekans yöntemi ile oluşan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi	92
Şekil 4.16. Lojistik regresyon yöntemi ile oluşan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi.....	93



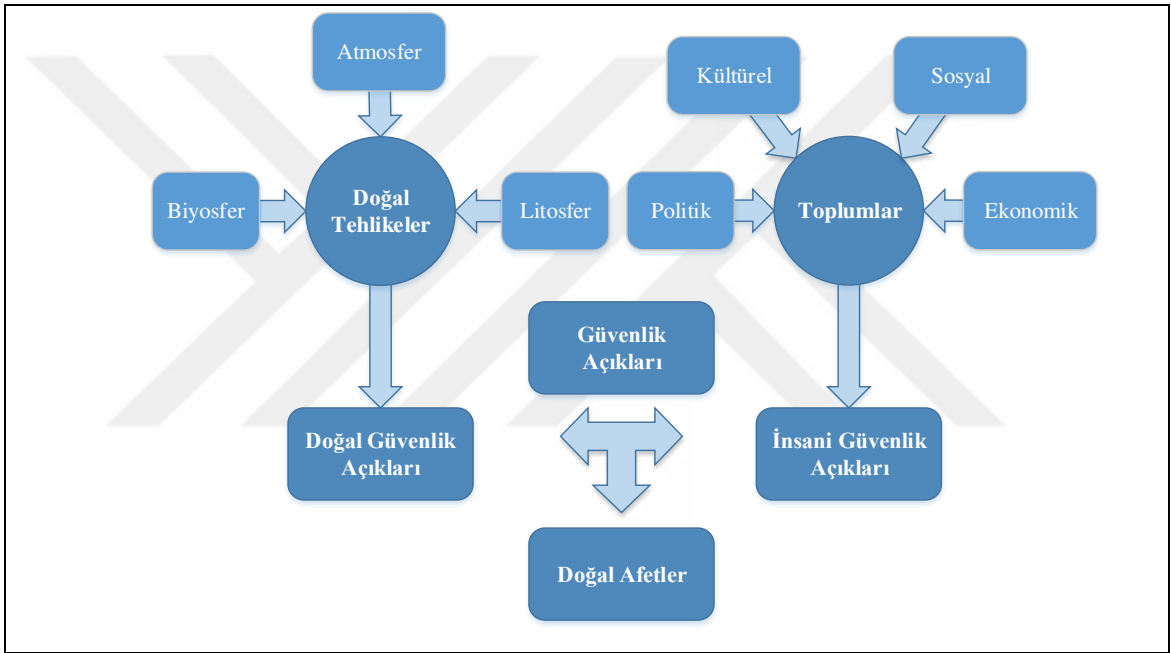
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ABEP	:	Afet Bilgi Envanteri Projesi
AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AGİ	:	Akarsu Gücü İndeksi
AHS	:	Analitik Hiyerarşi Süreci
ASTER	:	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BİA	:	Bivariate (Tek Değişkenli) İstatistik Analizi
BLR	:	Bayesian Lojistik Regresyon
CAD	:	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CBS	:	Ccoğrafi Bilgi Sistemleri
CLC	:	Corine Land Cover (Corine Arazi Örtüsü)
CORINE	:	Coordination of Information on the Environment
CRED	:	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
ÇEM	:	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
DA	:	Duyarlılık Analizi
EM-DAT	:	The Emergency Events Database
ESRI	:	Environmental Systems Research Institute
FR	:	Frekans Oranı
GDEM	:	Global Digital Elevation Model (Küresel Sayısal Yükseklik Modeli)
HAPS	:	Heyelanlı Alanlar Piksel Sayısı
HGK	:	Harita Genel Komutanlığı
HPS	:	Heyelan Piksel Sayısı
IAEG	:	The International Aerospace Environmental Group
IZKA	:	İzmir Kalkınma Ajansı
İHA	:	İnsansız Hava Aracı
İM	:	İndeks Metodu
LİDAR	:	Laser Imaging Detection and Ranging
LR	:	Lojistik Regresyon
METİ	:	Ministry of Economy, Trade and Industry (Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı)

MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	:	Maden Tetkik Arama
NASA	:	The National Aeronautics and Space Administration
NDVI	:	The Normalized Difference Vegetation Index (Normalize edilmiş fark bitki örtüsü endeksi)
ODYSSEY	:	Harvard Üniversitesi Bilgisayar Grafik Ve Görüntü Analizi Laboratuvarı Programı
RES	:	Rüzgar Enerji Santrali
ROC	:	Receiver Operating Characteristic
Se	:	Eğim Değeri
Sh	:	Toprak Nemlilik Değeri
SI	:	Litoloji
SPSS	:	The Statistical Package for the Social Sciences
Sr	:	Eğim
St	:	Toprak Nemlilik İndeksi
SYM	:	Sayısal Yüksek Modeli
TAPS	:	Toplam Alt Sınıflandırma Piksel Sayısı
TDK	:	Türk Dil Kurumu
TNİ	:	Topoğrafik Nemlilik İndeksi
Tp	:	Yağış Yoğunluğu
TPS	:	Toplam Piksel Sayısı
Ts	:	Sismik Tehlike Göstergesi
TUAA	:	Türkiye Ulusal Afet Arşivi
Ty	:	Aylık Ortalama Yağış
USGS	:	The United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu)
VTYS	:	Veri Tabanı Yönetim Sistemi
WHO	:	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
ZERMOS	:	Zone Exposed to Risks

1. GİRİŞ

Yerkürenin oluşumundan itibaren dinamik içyapısı sürekli değişmekte, doğal ve beşeri faktörler nedeniyle bu değişim günümüzde halâ devam etmektedir. Bu değişim çoğu zaman deprem, yanardağ patlaması, sel, heyelan, fırtına gibi doğa olayları ile gözlemlenmektedir. İnsanların yerleşik hayata geçişiyle birlikte artmaya başlayan ve Endüstri Devrimi sonrası hızlanan beşeri etkiler ise bu doğa olaylarının can ve mal kayıplarına neden olan felaketlere dönüşmesine neden olmaktadır (Alcantara-Ayala, 2002). Şekil 1.1’de doğal afetlerin bileşenleri özetlenmektedir.



Şekil 1.1. Doğal Afetlerin Bileşenleri (Alcantara-Ayala, 2002)

Ülkemizde de sıkça yaşanan deprem, heyelan gibi doğa olayları, yaşandığı alanlara bağlı olarak doğal afetlere dönüşmekte, ciddi mal ve can kaybına yol açmaktadır. İnsanların yoğun yaşadığı, ekonomik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerin, bu kayıpların yaşanmaması için afetler açısından analiz edilmesi, mevcut ve potansiyel afet alanlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Heyelanlar bu doğal afetlerin en önemlilerinden birisidir. Kütle hareketlerinin bir parçası olarak değerlendirilen heyelanlar; yerleşim alanları, ziraat ve orman alanları, maden işletmeleri, yollar, tüneller, su, kanalizasyon, elektrik ve gaz şebekeleri, sığ deniz yapıları, barajlar, göletler ve inşaat alanları gibi yerlerde meydana geldiğinde büyük maddi ve manevi zararlara sebep olmaktadır. Değişik dönemleri kapsayan çalışmaların tamamında doğal afet olay sayısı baz

alındığında heyelanların ilk sırada yer aldığı, doğal afetlerden etkilenen konut sayısı dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde ise heyelanlardan kaynaklanan kayıpların, depremlerden sonra ikinci sırayı aldığı görülmektedir (Çan vd., 2013). Ülkemizde özellikle Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu Bölgelerinde sıkça rastlanan doğal afetlerden biri olan heyelanlar, önemli maddi ve insani kayıplara yol açmaktadır. Türkiye’de son 50 yılda 13.494 heyelan ve 2.596 kaya düşmesi yaşanmıştır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı [AFAD], 2015). Sadece 2018 yılında AFAD verilerine göre 151 heyelan ve kaya düşmesi olayı gözlenmiştir. Yerleşim yerlerinin belirlenmesinde, mevcut yerleşim yerlerindeki risklerin tespit edilmesinde, mühendislik yapılarının (baraj, yol vb.) inşası sürecindeki risklerin ortaya çıkarılmasında önceden heyelan ve kaya düşmesi risk haritalarının hazırlanması olası insani ve ekonomik kayıpların azaltılmasında yararlı olmaktadır.

Bu çerçevede, afet değerlendirmelerinde ön sıralarda yer alan ve ciddi etkileri olan bir olay olarak heyelanların incelenmesi, heyelan duyarlılığı olan alanların belirlenmesi ve böylelikle heyelanların neden olacağı olası etkilerin en aza indirilmesi önemli bir gerekliliktir. Yapılacak bu tespitler hem alan kullanım kararlarının alınmasında hem de çevre koruma faaliyetleri ile peyzaja yapılacak müdahalelerin belirlenmesinde önemli girdiler teşkil etmektedir. Söz konusu tespitler neredeyse tamamına yakını mekânsal verilerden oluşan farklı verilerin tespiti, toplanması, depolanması, analizi, görselleştirmesi ve raporlamaların yapılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Günümüzde bu fonksiyonları yerine getiren en etkili araç ise şüphesiz Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)’dir. CBS, Demirci ve Karakuyu (2004) tarafından:

“Yeryüzüne ait her türlü verinin, mekan ile ilişkileri kurularak bilgisayar ortamına aktarılması ve bu verilerin kullanılan özel programlar vasıtasıyla depolanması, sınıflandırılması, birbirleri ile karşılaştırılması, analiz edilmesi, güncellenmesi ve istenilen şekilde harita, grafik ve tablo olarak görsel hale getirilmesi işlemlerini gerçekleştiren bir araç”

olarak tarif edilmiştir.

CBS mekânsal çalışmaların daha hızlı, daha ekonomik ve istenilen doğrulukta yapılmasını sağlamaktadır. CBS, afet yönetiminde birçok alanda kullanılıyor olmakla birlikte, bu yüksek lisans tezi çalışmasında CBS’nin iki işlevi öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi mevcut afet envanterlerinin hazırlanması ve afet lokasyonlarının işaretlenmesi, diğeri ise doğal afetler oluşmadan önce önleyici tedbirlerin alınması

amacıyla duyarlılık haritalarının hazırlanmasıdır. Çalışma özelinde mevcut heyelan bölgeleri veri olarak kullanılmış, bu bölgelerin ilgili çalışma alanının jeolojik, topoğrafik ve çevresel özelliklerle ilişkisi analiz edilerek duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Söz konusu çalışma için seçilen çalışma alanı İzmir ili Karaburun ilçesi olarak belirlenmiştir. İzmir ilindeki heyelanlı bölgelerin veri olarak kullanılması ile yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. CBS ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi olan lojistik regresyon yöntemi ArcGIS ve istatistik paket programları ile kullanılmıştır.

Özet olarak, bu yüksek lisans tezinin temel amacı jeolojik, topoğrafik ve çevresel veriler başta olmak üzere farklı veri setlerinin CBS yardımıyla değerlendirmesi suretiyle İzmir ili Karaburun ilçesi için heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ve özellikle kentsel planlama çalışmaları için riskli alanların belirlenmesidir. Bu sayede alan kullanım ve koruma kararlarının alınmasında önemli bir altlık veri üretilmiş ve sonraki süreçlerde bu tez çalışması ile sunulan yöntemin benzer çalışmalara örnek teşkil etmesi sağlanmış olacaktır.

1.1. Amaç

Daha önce yaşanmış heyelan alanları referans alınarak, bu alanlara etkide bulunan parametrelerin analiz edilmesi ve heyelan riski olan alanların belirlenmesi çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Karaburun'un sahip olduğu doğal ve kültürel zenginlikler, biyosfer rezervi ilan edilme potansiyeli, sunduğu alternatif turizm imkanları, bölgede son yıllarda hızla devam eden karayolu ve rüzgar enerji santralleri (RES) tesis etme çalışmaları heyelan risklerinin karar alma süreçlerinde göz önüne alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla, CBS teknolojileri kullanılarak bölgedeki risklerin ortaya konması, böylelikle planlama süreçlerinde sıklıkla göz ardı edilen bu tarz tehlikelerin söz konusu süreçlere entegre edilmesinin önemine, ayrıca CBS kullanımının sağladığı kolaylıklara dikkat çekilmesi hedeflenmektedir. Karaburun Yarımadası için gerçekleştirilen bu çalışmanın benzer karakteristiklere sahip alanlar için de örnek teşkil etmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Önem

20. yüzyılda özellikle hızlı kentleşme ile beraber doğal afetler çok sayıda insanı ve ekonomiyi etkiler duruma gelmiştir. Doğal afetlere yol açan faktörlerin önceden belirlenmesi, doğal afetlerin sosyo-ekonomik etkilerinin ortaya çıkarılması, mekanların doğal afetten etkilenme derecelerinin belirlenmesi kentsel planlamada ve mühendislik yapılarının projelendirilmesinde önemli hususlardan biri haline gelmiştir. Birçok projede deprem risk analizleri, heyelan analizleri projenin ana bileşenlerinden birisidir. CBS, bu risklerin belirlenmesi, yorumlanması, topluma etkisinin tespit edilmesi hususlarında hız, doğruluk ve ekonomik açıdan kolaylıklar sağlayan en önemli araçlardan birisidir. Bu çalışma, CBS'nin heyelan risklerinin belirlenmesinde sağlayacağı faydaları örnekleyecek olması, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasına yönelik bir metodoloji ortaya koyması ve hızlı bir gelişimin yaşandığı Karaburun Yarımadası'ndaki heyelana duyarlı alanların tespit edilmesi açısından önem taşımaktadır.

2. ALANYAZIN

Bu bölümde yüksek lisans tezinin amaç ve hedeflerine uygun alanlarda bilgiler aktaran alan yazın incelenmiş, çalışma ile ilgili kuramsal temellere yer verilmiştir.

2.1. Kütle Hareketi ve Heyelan

Kütle hareketleri doğrudan yerçekimi etkisi altında malzemenin eğim aşağı hareketi olarak tanımlanmaktadır (Monroe and Wicander, 2007). Daha detaylı bir anlatımla kütle hareketi, yerkabuğunu kaplayan ayrıışmış malzemenin başta yerçekiminin, sonra da su, malzeme, bitki örtüsü, topografya, jeolojik yapı, yapay ve doğal titreşim etkisiyle yamaçlardan aşağıya doğru yavaş veya hızlı bir şekilde hareket etmesidir (Ersoy, 2017). Burada yaşanan, arazinin mevcut stabilitesinin bozulmasıdır. Heyelan olayında zeminin, çeşitli etkenlerle içyapısındaki değişiklikler olması ile kararsız bir durumdan kararlı bir pozisyona geçmeye çalışması söz konusudur (Brunsden, 1993). Hamblin (1991) de benzer şekilde yerçekimi etkisi altında toprağın dik bir yamaçtan veya hava şartları nedeniyle kaya parçasının bir uçurumdan düşüşü sonucu gerçekleşen direkt hareketlere kütle hareketi veya toprak kayması dendiğini belirtmiştir. Literatürde “kütle hareketi” olarak da ifade edilebilen kütle hareketini Canik (1997) ise eğim etkisiyle her türlü yer değiştirme hareketine verilen genel isim olarak tarif etmekte, kütle hareketini etkileyen ana kuvvetin yer çekimi olduğunu, bununla birlikte söz konusu hareketi kolaylaştıran bazı doğal ve yapay unsurların bulunduğunu ifade etmektedir. Bir başka tanımda Erguvanlu (1994), kütle hareketini, hiçbir taşıyıcı (rüzgâr, su, buzul) etkisi olmaksızın yeryüzünün aşağıya doğru hareket etmesi, şekil ve yer değiştirmesi olarak açıklamaktadır.

Kütle hareketleri, mühendislik jeolojisinde hareketin türü, şekli, hızı, yeri ve hareket eden malzemenin cinsi gibi parametrelere bağlı olarak akma, kayma, düşme, devrilme, heyelan, çökme ve karmaşık kütle hareketleri gibi isimler de almakta ve sınıflara ayrılmaktadır (Canik, 1997; Ersoy, 2017). Heyelanların tanımlanması ve sınıflandırılması heyelana hazırlık süreci, heyelanın oluş süreci ve tetikleyici mekanizmaları ile oldukça karışık bir problemidir. Terzaghi'ye (1950) göre neredeyse bilim adamı sayısı kadar sınıflandırma sayısı vardır (Brunsden, 1993). Genellikle kütle hareketleri iki ana grupta tanımlanmaktadır. Bunlar; çoğunlukla hızlı hareketler ve yavaş hareketlerdir (Hamblin, 1991). Malzeme, sürünmede olduğu gibi hiç fark edilemeyen hızlardan, kaya düşmesi ya da kaymasında olduğu gibi aşırı hızlara kadar değişen hızlarda

hareket edebilmektedir. En olağan hareketlenme mekanizmaları depremlerden oluşan güçlü titreşimler ile karın erimesi ya da yoğun bir yağış fırtınası ile gelen aşırı su miktarlarıdır (Monroe and Wicander, 2007).

İster hızlı ister yavaş olsun söz konusu hareketin gerçekleşmesi için eğimli bir yapı gerekmektedir. Bu yapıda yerçekimi kuvveti şevin dayanım kuvvetini aştığında kütle hareketi meydana gelmektedir. Yerçekimi kuvveti ataletten kurtulamadığında üzerindeki malzemeyi de taşıyamaz hale gelmekte bunun sonucunda harekete direnci azaltma eğilimi gösteren herhangi bir faktör kütle hareketine yardımcı olmaktadır (Hamblin, 1991). Monroe ve Wicander (2007), kütle hareketini şev üzerine etki eden yerçekimi kuvvetinin şevin dayanım kuvvetini aşması halinde meydana gelen şev yenilmesi olarak açıklamakta, şev duraylılığının sürmesine yardım eden kuvvetlerin şev malzemesinin dayanımı ve kohezyonunu, taneler arasındaki içsel sürtünme miktarını ve şevin dış desteğini kapsadığını belirtmekte ve bu etmenlerin birlikte şevin kesme dayanımını belirlediğini ifade etmektedirler. Yine Monroe ve Wicander'e (2007) göre yerçekimi kuvveti düşey boyutta etki etmekle beraber şev açısının artması ile birlikte şeve paralel etkiyen bir kuvvete de sahip olmakta, şev açısı ne kadar büyükse yerçekimi kuvvetinin paralel bileşeni o kadar büyümektedir. Çökme olmadan bir şevin dayanabildiği en yüksek açı ise duruş açısıdır.

Tanımlarda ve açıklamalarda da belirtildiği gibi eğim faktörü ve yerçekimi kuvvetinin yanı sıra kütle hareketinin oluşması için mevcut denge durumunu bozucu doğal veya insani etkenlerin büyük katkısı olmaktadır. Canik (1997), kütlelerin dengesinde etkili olan faktörlerin bir kısmının kütlenin kendisinden kaynaklandığını, bir kısmının ise kütleye dışarıdan etki eden müdahale sebebiyle meydana geldiğini belirtmektedir. İki durumda da kütlede gerilme artışları ve direnç azalması olmaktadır. Denge durumu bozulan malzeme, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle aşağı doğru hareket etmektedir. Pekişmemiş malzemelerde şev ya da yamaçlardaki kütlelerin dengesine etki yapan faktörlerin en önemlileri; litolojik özellik, bileşim, jeolojik yapı, süreksizlikler, yeraltı suyu basıncı, gerilme durumu ve miktarlarıdır (Erguvanlı, 1994). Zemin formasyonlarının hidrolojik özellikleri heyelanların başlatılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Eğim ne kadar dik olursa zemindeki gözenek basıncı oluşumu o kadar hassas olur ve zeminin kayma direnci azalır (Sujatha and Rajamanickam, 2014). Sujatha ve Rajamanickam (2014)'e göre heyelanı belirleyen en önemli faktörler irtifa, eğim ve

yöndür. Kaya ve zeminlerin denge durumları etkileyen bu faktörler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Jeolojik faktörler: Litoloji, stratigrafi, yapı (kıvrımlanma, tabaka eğim yönü ve derecesi, faylar), yeraltı suyu ve hareketleri, depremsellik, zeminin jeoteknik özellikleri (atterberg limitleri, granülometri, su kapsamı, özgül ağırlık, kesme direnci, sıkışma ve genişleme kapasitesi)

Morfolojik faktörler: Yüzey ve aşınma şekilleri, yamaç ve şev eğimleri.

Atmosferik faktörler: Yağış miktarı ve mevsimlere dağılımı, donma ve çözülme dönemleri.

Bazı araştırmacılar kütle hareketini meydana getiren unsurları “sebebi olan” ve “tetikleyen” faktörler olarak ayırmaktadırlar. Örneğin Mora ve Vahrson (1994) tarafından hızlı, düşük maliyetli ve basit morfolojik girdilerle heyelan duyarlılığının belirlenmesi çalışmasında eğim, litoloji ve toprak nemliliği kütle hareketine/heyelana sebebi olan faktörler, sismik parametre ve yağış yoğunluğu tetikleyici faktörler olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıda bahsi geçen faktörler, sonuç olarak kütle hareketini etkileyen doğal faktörler arasında yer almaktadır. Ancak dengenin bozulması sadece doğa olayları sonucu meydana gelmemektedir. Beşeri faktörler de en az doğal faktörler kadar etkili olmaktadır. Yerkürenin oluşumunun doğal bir çıktısı olan (Hamblin, 1991) ve şevlerin değişen yüzey koşullarına ayak uydurmalarının bir parçası olarak görülen (Monroe and Wicander, 2007) kütle hareketi, beşeri faktörler devreye girdiğinde çoğu zaman çok daha fazla olumsuz sonucun yaşanmasına, doğal afetlere neden olmaktadır. Yapay ya da beşeri faktörler ise Canik (1997) tarafından yamaç eğiminin değişmesi, yamaçların aşırı yüklenmesi ve titreşimler olarak belirtilmektedir. Teraslama, yol ve sulama için yamaçların dikleştirilmesi ve yamaçlardaki yükün daha yüksek yerleşim yoğunluğu ile artırılması gibi değişiklikler, yamaç kararsızlığı sorununu arttıran faktörlerdir (Sujatha and Rajamanickam, 2014). İnsan eliyle yapılan büyük kazılar ve yapılar da dengeyi olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir (Ersoy, 2017).

2.2. Kütle Hareketlerini Etkileyen Faktörler

Kütle hareketlerini etkileyen faktörler; heyelana etki eden arazinin doğal özelliklerini tanımlayan doğal faktörler ile kütlenin ilk hareketini tetikleyen, hızlandıran faktörler olan tetikleyici faktörler olarak iki başlıkta incelenmektedir.

2.2.1. Doğal faktörler

2.2.2.1. Jeolojik faktörler

Jeolojik faktörlerin kütle hareketine etkisi iki yönlüdür. Birincisi litoloji yani jeolojik yapının cinsi, diğeri ise süreksizliktir. Şevin altında uzanan kayalar şevle aynı eğime sahip olduğunda kütle hareketinin olma olasılığı, kayaların şevin zıt yönünde yatay ya da eğimli olması durumundan daha yüksektir. İlk durumda yamaç boyunca sızan sular kil tabakasını ıslatarak tabakanın şişmesini ve kayganlaşmasını sağlar (Monroe and Wicander, 2007). Bunun yanında sıkışmış kumtaşı, kireçtaşı gibi yapılarda kütle hareketinin etkisi daha azdır (Canik, 1997). Malzeme taneciklerinin yuvarlak veya köşeli olması sürtünme kuvvetini veya boşluk oranını belirlemektedir. Kireçtaşı, jips vb. kayaların erimesi ile yeraltında büyük erime kanalları ve büyük mağaralar boyutunda boşlukların oluşması ve üstteki yükü taşıyamaması sonucu çökme, kayma, oturma gibi değişik kütle hareketleri meydana gelmektedir (Canik, 1997). İnce taneli tortul çökeltilerde, kil minerallerinin nispi bolluğu, kil minerolojisi, parçacıklar arası bağlar ve suyun varlığı şev stabilitesini etkileyen baskın faktörlerdir. Su içeriği arttıkça killi malzemeler mukavemetini kaybeder (Varnes, 1984).

Süreksizlikte ise özellikle kayalarda kaya ile şevin birleştiği yer şevin eğimi ile aynı yönde eğimlenmektedir. Kayaçların içine çatlaklı yapıdan dolayı su dolması, donma, çözülme, kayaların zeminle birleştiği yerleri suyun aşındırması kaya hareketlerine sebep olmaktadır.

2.2.2.2. Bitki örtüsü

Bitki örtüsü yamaç duraylılığını birkaç şekilde etkilemektedir. Bitki örtüsünün kök sisteminin toprak partiküllerini birbirine bağlaması ve bitkinin zemine tutunmasını ile yamaç duraylılığı sağlanabilir. Yine bitki örtüsü topraktaki fazla suyu emerek de yamaç duraylılığını sağlayabilir. Ormanlık alanların altında oluşan ölü örtü kendi ağırlığının 10

katı kadar suyu tutarak suyun yüzeysel akışa geçmesini engellemektedir (Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü [ÇEM], 2016) . Bitki örtüsünün tipi de yamaç duraylılığını etkilemektedir. Örneğin büyük ağaç gövdeleri ağırlıklarından dolayı yamaç duraylılığını olumsuz yönde etkileyebilir. Kök yapısı bir diğer önemli faktördür. Toprak koruma yeteneği yüksek olan bitki örtüsünün tahrip edilerek; toprak koruma yeteneği az olan türlerin alana getirilmesi sonucunda heyelan olma ihtimali artmaktadır (ÇEM, 2016). Örneğin Yeni Zelanda’da koyun otlatmak için kullanılan sık köklü otlar derin köklü yerli çalıların yerini alması sebebiyle çoğu yamacın zemini kaymaktadır. Yoğun yağışlar zemini doygun hale getirdiğinde sık köklü otlar şev tutamamakta ve zeminin bir bölümü yamaç boyunca kaymaktadır (Monroe and Wicander, 2007).

2.2.2.3. Şev açısı

Eğim açısının en önemli kütle hareketi etkeni olduğu genel kabul gören bir değerlendirmedir. Araştırmacılar eğim arttıkça, heyelana karşı duyarlılığının da artacağını belirtmektedir. Bu görüş gözlenen heyelanların meydana geldiği yamaçların en küçük ve en büyük eğim değerleri aralığı için kabul edilmekle beraber, genelde toprak zeminlerde kaymaların meydana gelmesi için 1-2 m toprak kalınlığı olması gerekmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Çok dik eğim açısını sahip yamaçlarda erozyon sebebi ile malzeme tutunamadığı için heyelan riski de düşmektedir. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), heyelan duyarlılık parametreleri ile ilgili yaptığı çalışmada, diğer ülkelerde yapılan bazı çalışmaları referans alarak farklı ülkelerde heyelanların meydana geldiği eğim açılarını incelemiştir. Örneğin İran’da yapılan çalışmalarda heyelanların tamamının 25⁰’den küçük eğimlerde, California’da yapılan bir çalışmada ise heyelanların tamamına yakınının 15⁰-35⁰ arasında eğime sahip yamaçlarda gözlemlendiği belirtilmiştir. Mühendislik yapılarının özellikle yol inşaatlarının şevin doğal eğimini bozması da kütle hareketlerine yol açmaktadır.

2.2.2.4. İklim koşulları

Ani sıcaklık değişimlerinin olduğu bölgelerde kaya çatlaklarında donan ve çözülen sular kayalar da büzülme ve genişlemeye sebep olmaktadır. Bu değişimlerin sürekli olması parçalanmalara yol açmaktadır. Gevşek malzemede kütle hareketi olması ana kayada olasından daha olasıdır. Monroe and Wicander’e (2007) göre günlenme, kaya

yeryüzüne çıkar çıkmaz kayanın kesme dayanımını azaltır ve kütle hareketlerine sebep olacak biçimde ayrıştırmaya ve parçalamaya başlar. İklim, günlenmede önemli bir etkindir. Günlenme kuşağı, sıcaklıkların yüksek olduğu ve bol yağış alan bölgelerde yaklaşık yirmi metre derine uzanırken, kurak ve yarı kurak bölgelerde çok daha sığdır. Yağış da en önemli kütle hareketi sebeplerindendir. Eriyen karlar ya da şiddetli fırtınalardan gelen sular yamaç yenilmesi olasılığını attırır. Özellikle yeraltı suyunun alçalıp yükselmesi zeminin su sebebiyle daha akıcı olmasına neden olmaktadır. Yer içine süzülen sular süreksizlikleri dolduran ince malzemeyi yıkayarak ve kimyasal aşındırma ile eriterek kütle hareketine neden olmaktadır (Canik, 1997).

2.2.2. Tetikleyici Faktörler

2.2.2.1. Aşırı yüklenme

Çoğunlukla insan etkinlikleri sonucu olan aşırı yüklenme malzemenin doldurulması, boşaltılması veya yığılmasından kaynaklanmaktadır. Normal koşullarda malzemenin tanecikleri arasındaki sürtünme kuvveti şev desteklemektedir. Ek ağırlıklar kesme dayanımını ve şev malzemesini azaltıp şev malzemesini zayıflatarak malzeme içindeki su basıncını arttırmaktadır. Yeterli malzeme eklendiğinde şev yenilmektedir (Monroe ve Wicander, 2007). Kazı dolgu işleri yol inşaatlarında heyelana sebep olan en önemli faktörlerdendir.

2.2.2.2. Titreşimler

Volkanik olaylar, depremler gibi doğa olaylarının ortaya çıkardığı titreşimler kütlelerde geçici gerilimler oluşturmaktadır. Bu durum ise yamaçların dengesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Canik, 1997). Burada şevin mevcut duraysızlığı titreşimlerle harekete geçmektedir.

2.3. Kütle Hareketleri Tipleri

Kütle hareketleri genelde üç ana ölçüt ışığında sınıflandırılmaktadır. Literatürde farklı araştırmacılar tarafından yapılan farklı sınıflandırma sistemleri mevcuttur. En geçerli olan heyelan sınıflandırması Varnes tarafından 1978 yılında yapılan hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre yapılan sınıflandırmadır. Uluslararası Mühendislik Jeolojisi

ve Çevre Birliği (IAEG) Heyelan Komisyonu 1990 yılında bu sınıflandırmayı aynen kullanarak yeni bir blok diyagram hazırlamıştır (Anaçali & Şirin, 2015). Buna ek olarak hareketin hızına göre de sınıflandırma yapılmaktadır. Kütle hareketi tipleri Tablo 2.1’de özetlemiştir.

Tablo 2.1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Anaçali ve Şirin, 2015)

HAREKETİN TİPİ		MALZEME TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Taneli	İnce Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
KAYMA	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Yanal			
YAYILMA		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
AKMA		Kaya Akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Kribi)
KARIŞIK		İki veya daha fazla hareket türü		

Bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

2.3.1. Hareket türü (düşme, akma ya da kayma)

Heyelanlar malzemenin yüzeydeki hareketine göre sınıflandırılmaktadır (AFAD, 2015; Varnes, 1978). Bu sınıflandırmalar Ulusay (2010) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Düşme: Kayalarda ve zeminlerde münferit blokların ya da iri malzemenin yerçekimi etkisi altında düşmesi şeklinde gerçekleşir. Hareket, hızlı veya aşırı derecede hızlıdır. Yamaç topuğundaki erozyon nedeni ile münferit blokların desteklerini yitirmesi, aşırı sökülmeden kaynaklanan parçalanmalar, süreksizlikler arasındaki suyun donması, insanlar tarafından yapılan patlatma ve kazıların etkisi kaya düşmelerine yol açan önemli faktörlerdir.

Devrilme: Kolonsal yapıya sahip eklemlili kaya kütleleri ile fisürlü killerde gözlenen kolonların belirli bir dönme noktasının üzerinde, komşu kolonların ve yerçekiminin etkisiyle kazı boşluğuna devrilmesi şeklinde gelişir.

Kayma: Tek bir yüzey ya da birden fazla yüzey üzerinde ve makaslama deformasyonu sonucu meydana gelen hareketlerdir. Dairesel (dönel) ve ötelenmeli olmak üzere iki grupta değerlendirilir. Dairesel kayma, kaşık şeklindeki bir yüzey boyunca gelişir ve şev üzerindeki yapılar, ağaç, vb. ile kayan kütle geriye yatıktır. Ötelenmeli kaymada ise kütle; düzlemsel veya ondüleli bir kayma yüzeyi üzerinde ve geriye yatmadan hareket eder.

Yanal Yayılma: Makaslama ve tansiyon çatlaklarının eşliğinde gelişen yanal yöndeki bir yayılma hareketidir.

Akma: Konsolide olmamış malzemenin yamaç boyunca akması şeklinde gelişir. Bu duraysızlıkta kaymaya oranla malzemenin içsel deformasyonu daha fazladır. Su içeriği yüksekte malzeme akışkan gibi davranır. Zemin akması ise topukta gerçekleşen bir hareket olup malzemenin yavaş hareketiyle gelişir ve kısa sürelidir. Hız malzemenin su içeriği ve yamaç eğimine bağılı olarak değişir.

Karmaşık Kaymalar: Birden fazla sayıda farklı duraysızlık türünün geliştiği duraysızlıklardır.

2.3.2. İçerdiği malzeme türü (kaya, toprak ya da moloz)

Oluşan heyelanın malzeme içeriğine göre yapılan sınıflandırmadır. Büyük bloklar halinde hareketlenen malzemeye kaya, iri taneli malzeme hareketlenmesine moloz, ince taneli malzeme hareketlenmesine toprak türü heyelan adı verilmektedir (AFAD, 2015).

2.4. Kütle Hareketleri Zararları

Doğal afet olarak adlandırılan kütle hareketleri aslında yerkürenin doğal gelişim sürecinde yaşanan bir olaydır. Doğal afet, deprem, sel, heyelan, çığ, kuraklık, fırtına, dolu, hortum gibi oluşumu engellenemeyen jeolojik, meteorolojik ve hidrolojik kökenli ve/veya tetikli olayların sonuçlarına verilen genel addır (Gökçe , Özden, ve Demir, 2008). İnsan topluluklarının yerleşik hayata geçmesi, tarım yapması, çeşitli ekonomik faaliyetlerde bulunması ile beraber yerkürenin kendi içyapısındaki bu değişiklikler etkilerinden dolayı doğal afet olarak adlandırılmaya başlamıştır. “Homo sapiens” ortaya çıkmadan önce Dünya’nın kendi iç doğal sistemi bulunmakta idi. Depremler, volkanik

patlamalar, heyelanlar ve sellerden oluşan bu jeofiziksel olaylar sadece egemen flora ve faunayı tehdit etmekteydi. Ancak milyonlarca yıl sonra insanlığın dönüşümü ile birlikte bu jeofiziksel olaylar doğal afetlere dönüşmüştür (Alcantara-Ayala, 2002).

Gezeganimizin geldiği noktada ekonomik ve sosyal ihtiyaçlar, eğitim eksikliği gibi faktörler sebebi ile insanoğlu doğal afetlere karşı risk taşıyan bölgelerde hiç önlem almadan şehirler kurmuş daha sonra ise binlerce insanın hayatını kaybetmesi ile bu vurdumduymazlığın bedelini ağır bir şekilde ödemiştir (Demirci ve Karakuyu, 2004). Doğal afetlerle ilgili çeşitli veri kaynakları incelendiğinde özellikle 1950-1960'lı yıllarla birlikte, doğal afetlerin sayısında önemli bir artışın olduğu gözlenmekte, etkilenen insan sayıları ve maddi kayıplarda önemli artışların yaşandığı belirtilmektedir. Temelde yerkürenin doğasında var olan bu olayların sayısındaki artışın ana nedenleri, nüfus artışı, sanayileşme ve bunlara bağlı olarak, afetlerin gerçekleşme potansiyelinin yüksek olduğu/olabileceği alanlarda yerleşimlerin gelişmesi olarak değerlendirilmektedir. Doğal afetlerin tarih boyunca neden olduğu can kayıplarına günümüzde önemli maddi kayıplarda eklenmiştir. Örneğin M.Ö 218 yılında Alpler'de yaşanan (Avrupa) çık düşmesi Hannibal'ın ordusuna 18000 askere mal olmuştur. 1556'da depremin tetiklediği heyelan Çin'de bir milyona yakın insanın hayatını kaybetmesine sebep olmuştur. 1900'lü yılların başında Panama Kanalı'nın yapımında meydana gelen heyelanlar nedeni ile kanalın yapımı iki yıl uzamıştır. 15 Aralık 1999'da başlayan ve Venezuela'yı etkisi altına alan şiddetli yağmurlar sebebi ile yaşanan çamur akması sonucu 10.000 ile 30.000 arasında insan ölmüş, yüzbinlerce insan evsiz kalmış, 10-20 milyar dolar arası maddi zarar meydana gelmiştir (Monroe and Wicander, 2007). 2017 yılında dünya genelinde 335 doğal afet yaşanmış, bu afetlerden 95,6 milyon insan etkilenmiş, 9697 kişi hayatını kaybetmiş, 335 milyar dolarlık maddi kayıp oluşmuştur (Below and Wallemacq, 2017) .

Heyelanlar deprem, sel, kasırga gibi diğer doğal afetler kadar gündemde olmakla beraber, diğer doğal afetlerden daha yaygındır ve daha fazla mal kaybına sebep olmaktadır (Varnes, 1984). Ülkelerin içinde bulundukları coğrafi, jeolojik ve meteorolojik koşullar heyelan oluşumu ve türü üzerinde etkin bir rol oynamaktadır (AFAD, 2015). Artan nüfus ve kentleşme sonucu stabil olmayan tepelik alanlara yerleşimler kurulması, yol ve şantiyeler için yamaçların ormansızlaştırılması ve yamaç kazıları gibi faaliyetler heyelan oluşumu için önemli tetikleyiciler haline gelmiştir (Dai, Lee and Ngai, 2001). Zeminin üzerindeki örtü tabakasının aşağı hareketi olarak tanımlanan heyelanlar, şiddetli yağış, deprem, su seviyesi değişimi gibi dış uyaranlarla

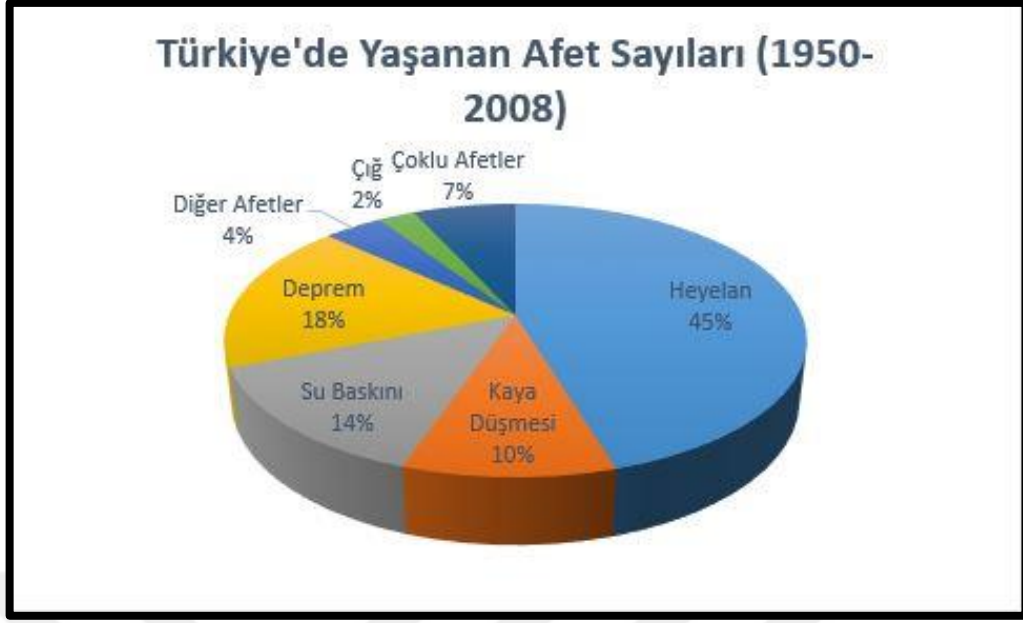
tetiklenebilir. Özellikle deprem ve fırtına gibi doğal afetlerin bir kısmında can kayıplarının önemli kısmı kütle hareketleri sebebiyle olmaktadır. Örneğin 70000 kişinin hayatını kaybettiği Mayıs 1970'te Peru'da yaşanan depremde bu can kayıplarının 20000'inin sebebi Huascaran Dağı'nın kuzey yamacından düşen çığ olmuştur (Varnes, 1984). Dünyada çok büyük ekonomik kayıplara ve yüzbinlerce insanın yaşamına mal olan heyelanlar ABD'de her yıl 1-2 milyar dolarlık ekonomik kayba ve 25-50 arası insanın ölümüne sebep olmaktadır. Benzer şekilde 1951-1989 arası Çin'de yaşanan 5000 heyelan sonucu her sene ortalama 125 kişi hayatını kaybetmiştir (Dai, Lee and Ngai, 2001). 1979'da Uluslararası Jeoloji Mühendisleri Birliği Heyelan Komisyonu doğal afetlerde kaybedilen yaşamların %14'ünün heyelanlara bağlı olabileceğini tahmin etmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalar bu oranı %1,2'ye indirmiştir. Eğer yaşanan afetler volkanik patlamalar, depremler, tsunamiler ve heyelanlar olsaydı bu oran %5'e tekabül edecekti (Aleotti and Chowdhury, 1999).

Belçika Hükümeti ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) beraber oluşturduğu Uluslararası Doğal Afetler Veri Tabanı (EM-DAT) verilerine göre 1976 ile 2017 yılları arasında Türkiye'de 10 heyelan olmuş, bunlarda toplam 293 kişi hayatını kaybetmiş, 26 milyon dolarlık ekonomik kayıp meydana gelmiştir. Yine EM-DAT verilerine göre Avrupa'da 1922-2011 yılları arasında 39 heyelan olmuş, bu afetlerde 15461 kişi hayatını kaybetmiş, 2,3 milyar dolarlık ekonomik kayıp ortaya çıkmıştır. Sadece 2017 yılında Dünya'da 25 büyük heyelan vakası yaşanmıştır. Bu heyelanlarda 2312 kişi hayatını kaybetmiştir (Below and Wallemacq, 2017). 2018 yılında yaklaşık 62 milyon kişi doğal afetlerden etkilenirken bunun yaklaşık 55.000 kişisi yaşanan heyelanlardan etkilenmiştir. Türkiye de ise 2016 yılında 66 heyelan vakası yaşanmış, bunların ölümle sonuçlanan 7'sinde 29 kişi hayatını kaybetmiştir (Ersoy, 2017). Şekil 2.1'de 1998-2017 yılları arasında dünya genelinde yaşanan afetlerin yüzdelik dağılımları verilmiştir.



Şekil 2.1. Dünya genelinde 1998-2017 yılları arasında yaşanan afet dağılımı (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters [CRED], 2018)

AFAD arşivinde bulunan veriler 2008 yılında Afet Bilgi Envanteri Projesi (ABEP) kapsamında veri tabanına aktarılmıştır. Bu veri tabanında da görüleceği gibi ülkemizde yaşanan doğal afetler arasında heyelan %45 ile en çok meydana gelen afet türüdür. Yapılara verdiği zarar açısından ise depremler %55’lik oranla ilk sırada yer alırken, heyelanlar %21’lik oranla ikinci sırada yer almaktadır. İller yaşanan heyelan olayı sayısına göre incelendiğinde en az 3, en fazla 1123 heyelan olayı ile karşılaşılmıştır. En çok heyelan yaşanan iller Trabzon (1123), Rize (1049) ve Kastamonu (613)’dur. En az heyelan olayı yaşanan iller ise sırasıyla Kırklareli (3), Mardin (4) ve Şanlıurfa (6)’dır. ABEP veri tabanına göre 1950 -2008 yılları arasında toplam 13494 heyelan yaşanmıştır. EM-DAT ile AFAD’ın verilerinde heyelanların büyüklüğünün temel alınması, heyelanların deprem sonrası yaşanması gibi sebeplerden dolayı farklılıklar görülmektedir. Benzer bir şekilde heyelanın yaşandığı bölgeler sebebi ile yaşanan heyelan oranları ile heyelandan etkilenen yapı oranları arasında ciddi farklar bulunmaktadır. Ülkemizde 1950-2008 yılları arasında afetlerden etkilenen yapıların %24’ü heyelanlardan etkilenmiştir. Bu oran ilk sıradaki depremden hemen sonra gelmektedir (Gökçe , Özden ve Demir, 2008). Şekil 2.2 ve 2.3’de Türkiye’de yaşanan afetlerin yüzdelik dağılımı ile bu afetlerin etkilediği konutların yüzdelik dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında yaşanan afet dağılımı (Gökçe , Özden ve Demir, 2008)



Şekil 2.3. Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında yaşanan afetlerin etkilediği yapı sayısı dağılımı (Gökçe , Özden ve Demir, 2008)

2.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi

Bu bölümde CBS'nin tarihçesi, gelişimi, veri ve bilgi sistemleri kavramları ile heyelan duyarlılık haritalarının CBS yardımı ile üretilmesi konusu ele alınmıştır.

2.5.1. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS)

İnsanoğlunun bütün aktiviteleri yerküre yüzeyinde veya yerküre yüzeyine yakın bölgelerde gerçekleşmektedir. Bu aktiviteleri gerçekleştirirken insanoğlu yaşadığı doğal çevreye uyum sağlamak, müdahale etmek durumundadır. Bunun için çevresindeki objeleri tanımlamak için onların bilgisine ulaşmaya çalışmaktadır. Burada devreye veri ve bilgi kavramları girmektedir. Türk Dil Kurumu'na (TDK) göre veri; “Bir araştırmanın, bir tartışmanın, bir muhakemenin temeli olan ana öge, muta, done ([http-1](http://1))” olarak tanımlanmaktadır. Matematik terimleri sözlüğüne göre ise bilgisayar için işlenebilir duruma getirilmiş sayısal ya da sayısal olmayan bilgi olarak tanımlanmaktadır. Yomralıoğlu (2000) veriyi, bilginin hammaddesi olup bilginin temsil biçimi olarak tanımlamaktadır. Tecim'e (2008) göre veri, belirli konuların herhangi bir sembol grubu ile ifade edilmesidir. Gene Fazal'a (2008) göre veri, bir veya daha fazla özel amaç için sistematik olarak toplanmış olan bir gerçekler veya figürler kümesi olarak tanımlanır. Longley vd.'ne (2005) göre veri tarafsız ve neredeyse bağlam içermeyen sayılar, metinler veya sembollerden oluşur. Sıklıkla veri kavramı ile karıştırılan bilgi ise kullanıcı tarafında anlaşılabilir formlara dönüştürülmüş verilerden oluşan bir grup olarak da tanımlanmaktadır (Yomralıoğlu, 2000). Bilişim Terimleri Sözlüğüne göre bilgi; “bilgi işlemde, kullanılan uzlaşım sal kurallardan yararlanılarak kişinin veriye yönelttiği anlam” olarak tarif edilmiştir ([http-1](http://1)). Bilgi amacımıza göre belirli derecede yorumlanmış, işlenmiş veridir. Bilgisayar sistemlerinin gelişimiyle beraber bütün bu verileri işlemek, depolamak, analiz etmek, görselleştirmek kısaca verilerden anlamlı bilgiler üretmek için bilgi sistemleri ortaya çıkmıştır. Balcı, Çoban ve Eker (2000)'ın aktardığına göre bilgi sistemi veri depolama, işleme, analiz ve bilgi sunumu gibi temel işlevleri olan sistemlerdir. Bilgi sistemi organizasyonların yönetsel fonksiyonlarını desteklemek için bilgiyi depolayan, üreten ve dağıtan sistemlerdir (Yomralıoğlu, 2000). Bilgi sistemindeki amaç eldeki verilerden ve bilgilerden yararlanarak en doğru kararı vermektir. Sistemin işleyişi veri toplama, veri depolama, analiz ve sonuç zincirini takip eder. Özellikle bilgisayar sistemlerinin gelişimi ile beraber bilgi sistemi birçok farklı alanda kullanılmaya

başlanmıştır. Haberleşme, yönetim, muhasebe, ulaşım bilgi sistemleri her gün günlük hayatta kullanılan bilgi sistemleridir. Bilgi sistemlerini konuma ve konuma dayalı olmayan bilgi sistemleri ikiye ayırmak mümkündür (Yomralıoğlu, 2000).

Konuma dayalı olmayan bilgi sistemleri herhangi bir konum bilgisi ile ilişkisi olmayan bilgi sistemleridir. Örneğin bir şirketin personel bilgi sistemi, yönetim bilgi sistemi bu tip bilgi sistemlerine örnek olarak verilebilir.

Konuma dayalı bilgi sistemleri ise bir konum bilgisi ile ilişkili bilgi sistemleridir ve CBS bu tip bilgi sistemlerinin en yaygın olanıdır. İnsanoğlu tarihi boyunca konum bilgisine devamlı ihtiyaç duymuş, bu bilgiyi günlük yaşantısında kullanmış, zaman zaman bunu görselleştirmiştir. İlk insanlar avlanma ve yiyecek bölgelerini mağara duvarlarına işaretleyerek ilk haritalarını oluşturmuşlardır. Bilinen en eski harita günümüzden yaklaşık 8200 yıl kadar önce üretilen Çatalhöyük Şehir Planı'dır. Duvara çizilen bu harita 3 metreye 90 santimetre ölçülerindedir. Yaygın olarak en eski haritalar deniz seferlerini kolaylaştırmak için üretilmiştir. Bu haritalara göre kıyılar ve limanlar titizlikle çizilirken iç mekânlar çok detaylandırılmamıştır. Yerleşik hayata geçen insanoğlu için tarımsal arazilerin sınırlandırılması, coğrafi keşifler sırasında deniz seferlerini kolaylaştırmak, sanayinin gelişmesi ile beraber kentlerin planlanması haritacılığı geliştiren süreçlerdir. Bütün bu süreçler boyunca haritalar esas olarak konum bilgisi için kullanılırken daha sonraki süreçlerde konum bilgisi ile verinin birlikte değerlendirilmesine ihtiyacı duyulmaya başlanmıştır.

İlk CBS uygulamaları olarak 1832 de Fransız Coğrafyacı Charles Picquet tarafından yapılan Paris'in 48 farklı semtindeki kolera epidemiyolojisini sınıflandıran harita ile 1854'de Londra'da yaşayan John Snow isimli doktorun yaşanan kolera ölümlerinin yerlerini Londra haritasına işlediği çalışmalar gösterilebilir (Dempsey, 2012). John Snow bu haritadaki kolera dağılımına bakarak kolera salgınına içme suyunun sebep olduğunu bulmuş, ayrıca haritadan su kuyusunun yerini tespit etmiştir. Bu ilk coğrafi analiz örneklerinden birisidir.

1950'li yıllarda bilgisayar bilimlerinin gelişmesi ile birlikte konum bilgisini, konuma ait diğer bilgilerle ilişkilendirme, değerlendirme, sunma imkânları çok hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır. CBS'nin gelişimi ile ilgili çeşitli tartışmalar yapılmakta ve esas olarak ABD katkısına odaklanılmakla beraber 1963'te başlayıp 1970'de tamamlanan Kanada Coğrafi Bilgi Sistemleri projesi ilk gerçek CBS projesi olarak kabul edilmektedir.

(Tecim 2008; Longley vd., 2005) Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi, tarımsal arazilerin dağılımını ve hangi verimde kullanıldıklarının belirlenmesi amacıyla tasarlamıştır. Modern standartlara göre inanılmaz derecede ilkel ve pahalı olan bu sistem tamamen tablolar şeklinde çıktılar veriyordu. İkinci önemli CBS uygulaması ise ABD Nüfus Sayım Bürosu tarafından 1970 yılındaki nüfus sayımını planlamak için yapılmıştır. Bu proje kapsamında bütün ABD sokakları sayısallaştırılmıştır. Harvard Üniversitesi bilgisayar grafikleri ve mekânsal analizlerin her ikisini de yapabilecek bir CBS geliştirmek için program başlatmıştır. Bu proje 1970'lerde ODYSSEY programını ortaya çıkardı. ESRI bu programın altyapısını kullandı ve bu da CBS yazılımlarının ticarileşmesi sürecinde yeni bir aşamayı oluşturmuştur (http-2).

Bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler 1980'lerin ortalarında uydu görüntülerinin ve diğer raster görüntülerinde işlenmesini sağlamıştır. Yazılım sistemleri büyük bir hızla gelişirken 1995'de İngiltere harita veri tabanını ilk sayısallaştıran ülke olmuştur (Longley vd., 2005; Fazal, 2008). 2000'lerin sonlarından itibaren açık kaynaklı veriler ve yazılımlar CBS dünyasına damga vurmaya başlamıştır. Artık internetten uydu görüntüleri ihtiyaca göre ücretsiz indirilmekte, açık kaynak kodlu ücretsiz yazılımlar kullanılabilmektedir. CBS sistemleri sadece vektör veri ve tablo halindeki verilerden ibaret olmamakta bu sistemlere multimedia içerikleri eklenebilmektedir.

CBS'nin ilk tanımı Burrough ve McDonnell (1998) tarafından yapılmıştır. Burrough ve McDonnell'a (1998) göre CBS, belirli bir amaç ile yeryüzüne ait gerçek verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, transferi ve görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren araçların tümüdür. Aranoff (1989) tanımına göre CBS, mekânsal kökenli bilgilerin bilgisayar ortamında toplanması, depolanması, analiz edilmesi için tasarlanan sistemlerdir. Uluğtekin ve Bildirici'ye (1997) göre CBS tanımında genel olarak iki genel yaklaşım vardır. Teknolojik açıdan CBS tanımı fiziksel dünyaya ait mekânsal veriyi toplayan, depolayan, işleyen, dönüştüren ve gösteren oldukça güçlü araçlar bütünü olarak yapılmaktadır. Kuramsal/kurumsal açıdan CBS, mekânsal bilginin etkileşimi ile karar destekleme sistemidir. Her iki tanımın birleştirilmesinden elde edilen CBS tanımı ise, bağlı bulunduğu kurumun ihtiyaçlarına göre mekânsal-konumsal verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve gösterimini yapan, karar destekleme işlevi olan, sayısal bir bilgi sistemi biçiminde yapılabilmektedir. Yomralıoğlu (2000) diğer araştırmacıların tanımlarından yola çıkarak şu şekilde bir tanım yapmaktadır:

CBS, kısaca, konumsal verilerden ve belirli bir konumla ilişkili konumsal olmayan verilerden bilgi elde edilmesi, bu verilerin depolanması, yönetilmesi, sunulmasına için oluşturulan sistemlerdir.

Tecim (2008) CBS'nin üç temel amacından bahsetmektedir:

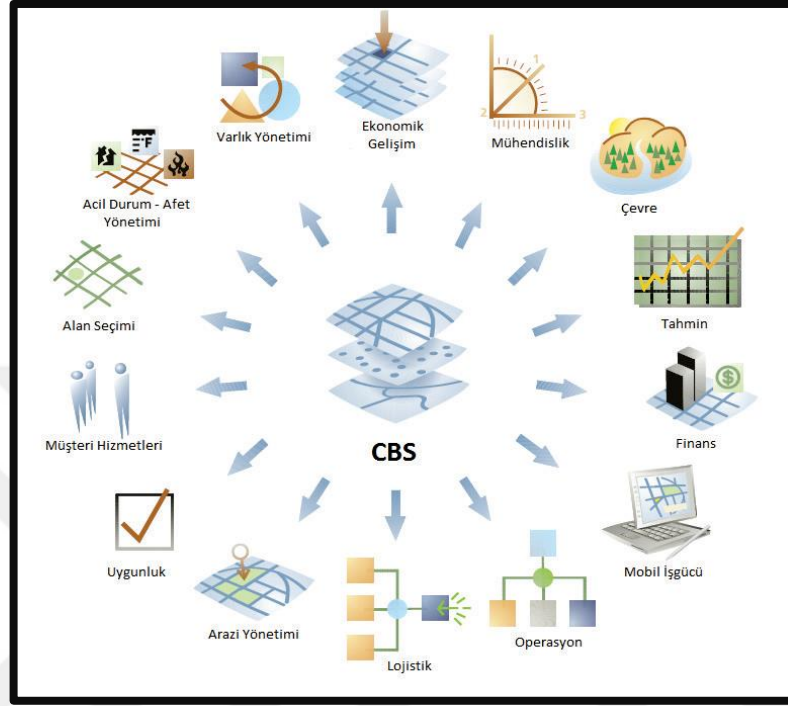
1. Yeterince fazla sayıda verinin saklanması, yönetilmesi ve entegre edilmesi,
2. Coğrafi tabanlı verilerin analiz edilmesi,
3. Oldukça fazla sayıda ve çeşitte olan verilerin kullanıcılara en uygun bir şekilde bilgi verebilmesi için organize edilip yönetilmesi.

Bu amaçları gerçekleştiren CBS, yazılımlar aracılığı ile vektörel verileri tablosal verilerle ilişkilendirir. Burada vektörel verilerin en önemli özelliği konum bilgisidir. Konum bilgisi yerküre ile koordinat sistemleri aracılığı ile ilişkilendirilmektedir. Vektörel veriler bilgisayarlarda bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları ile tablosal veriler ise veri tabanı yönetim sistemleri (VTYS) yazılımları ile oluşturulmakta, işlenmekte, değerlendirilmektedir. CBS bu iki sistemin entegrasyonu olarak da tanımlanabilir. Fakat bu yeterli gelmeyecektir; CBS bu sistemlerin entegre etmenin yanında tablo halindeki verinin konumsal veriye dönüştürülmesi, analiz edilmesi, modellenmesi işlemlerini yapmaktadır.

CBS, yukarıdaki işlemleri gerçekleştiren bir sistem olmakla beraber başka veri tabanları da adres, posta kodu bilgisi içerebilirken CBS'nin farkı bu bilgiyi coğrafi olarak referanslandırmasıdır. Diğer teknolojilerde de istatistiksel model oluşturmak, uydu görüntüsü analizi yapmak gibi işlevleri yaparken CBS bu teknolojileri hepsini bütünleştirmektedir. Son olarak CBS sadece yazılım ve donanımın bütünleştiği bir platform değil verinin girilme, saklanma ve analiz edilme süreçlerini bir karar alma süreci içinde değerlendiren bütünlüklü bir sistemdir. CBS'yi sadece bir yazılım veya donanım sistemi olarak görmek, kapsamlı bir karar alma sürecinde oynayabileceği rolü göz ardı etmek anlamına gelmektedir (Fazal, 2008).

CBS günümüzde bilimsel çalışmalardan günlük hayata birçok alanda kullanılmaktadır. Suç haritalarının hazırlanmasında, navigasyon sistemlerine gayrimenkul değerlemesinden afet yönetimine bütün bu alanlarda günümüzde CBS kullanılmaktadır. CBS ile mekânsal analizlerde mekânsal bölgedeki birçok parametre aynı anda değerlendirilebilir. Bu da kara vericiler için en uygun ve anlaşılır altlıkların üretilmesine yardımcı olmaktadır (Çabuk , 2014). Maliyet, zaman ve görselleştirme açısından sağladığı avantajlar CBS'nin son zamanlarda çok fazla tercih edilmesinin

sebepleri arasındadır. Özel olarak heyelan duyarlılık çalışmaları da son dönemlerde CBS'nin çok sık yararlanıldığı alanlardandır. Şekil 2.5'te CBS'nin kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 2.4. CBS kullanım alanları (Çabuk, 2014)

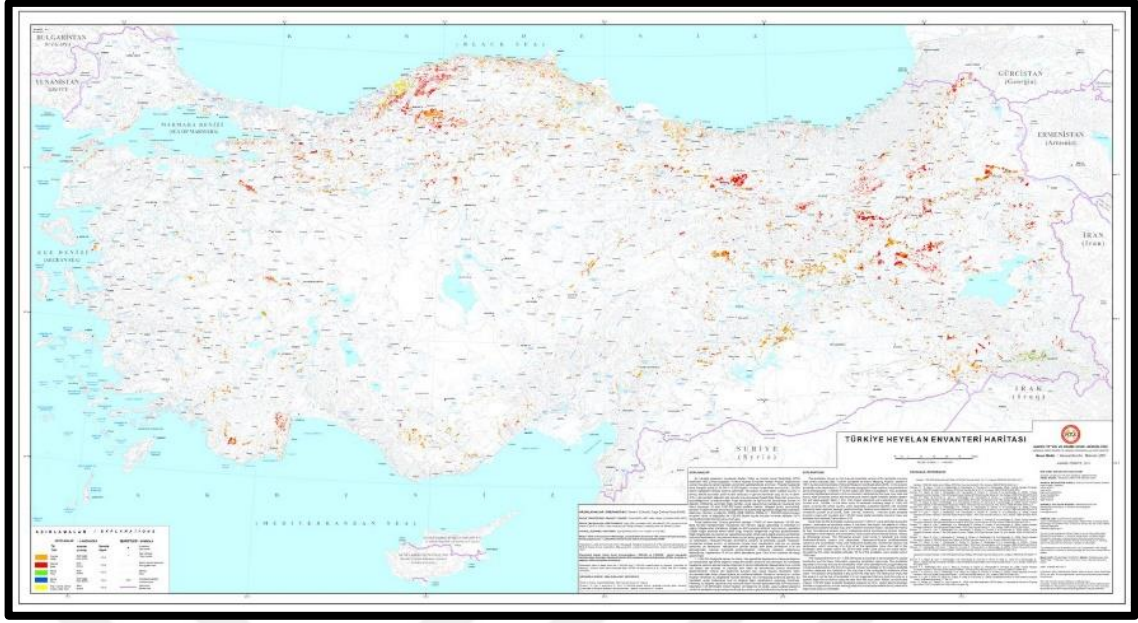
2.5.2. CBS ile heyelan duyarlılık haritası üretimi

Doğal afetlerin en çok yaşanan türlerinden birisi olan heyelanların yol açtığı zararların azaltılması, kentlerin ve canlıların korunması için çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Doğal afetlerin afet yaşanmadan önce mekânsal ve zamansal olarak tahmin edilebilmesi afet yönteminin önemli bileşenlerinden birisidir. Bunun için önce mevcut afet envanter haritaları hazırlanmakta ardından envanter haritalarından yararlanılarak afetlerin zamansal ve mekansal olarak tahmini yapılmaya çalışılmaktadır. Deprem yaşanan bir bölgedeki depremi yaratan mevcut fay hatlarının gösteren veya yaşanan bir taşkın bölgesi sınırlarını gösteren haritalar bunlardan ilkinde örnek gösterilebilirken, olası bir depremin zarar verebileceği bölge sınırlarını veya olası bir taşkın sınırlarını gösteren taşkın koruma haritaları ikinciye örnektir. Üretilen bu haritalar doğal afetlerin nerede gerçekleşeceğini tahmin etmeye yardımcı olmakta, arazideki farklı risk ve tehlikeye sahip bölgeleri ayırt etmektedir (Guzzetti, Cardinali and Reichenbach, 2000).

Heyelanlar için de benzer çalışmalar mevcuttur. Özellikle son yıllarda heyelan tehlikesi ve risk değerlendirmesi yerbilimcilerin ve mühendislerin önemli ilgi alanlarından birisi olmuştur. Heyelanların sosyo-ekonomik etkileri ile kentleşme ve kalkınmanın çevre üzerindeki baskısı bu ilginin en önemli sebeplerinden ikisi olarak görülmektedir. Kentsel gelişim alanlarındaki eğimli arazi miktarı arttıkça heyelan riski de artmaya başlamaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999). Heyelanlara ilişkin önlem alınması amacıyla riski ve mevcut heyelanları haritalandırma çalışmaları yapılmaktadır. Bu haritalar, yaşanmış mevcut heyelanların konumunun gösterildiği envanter haritaları, heyelanların mekansal bolluğunu gösteren yoğunluk haritaları ve gerçekleşmesi olası heyelanlar hakkında bilgi veren tehlike haritaları olarak üçe ayrılmaktadır (Guzzetti, Cardinali and Reichenbach, 2000).

Envanter Haritaları: Envanter haritaları, yaşanmış mevcut heyelanların alansal dağılımını gösteren haritalardır. Bu haritalarda heyelanların oluş tarihi ve konum bilgileri yer almakla beraber, heyelanların zamansal gelişimi ve değişimi hakkında bilgi bulunmamaktadır. Haritalarda heyelan tipi ve aktivite durumuyla ilgili bilgilerde sunulmaktadır (Maden Tetkik ve Arama [MTA], 2019). Envanter haritaları duyarlılık haritalarının hazırlanmasında altlık olarak kullanılmakla beraber asıl amacı heyelanların dağılımını göstermektir (Mazman, 2005). Envanter haritalarının sahip olduğu veri kalitesi ile üretilen duyarlılık haritasının doğruluğu doğru orantılıdır (Kavzoğlu, Şahin ve Çölkesen, 2012). Envanter haritaları ağırlıklı olarak arazi gözlemleri ile hazırlanmaktayken son zamanlarda sıklıkla hava ve uydu fotoğraflarından da yararlanılmaktadır. Özellikle envanter haritalarını baz alan heyelan aktivite haritaları, farklı zamanlarda çekilmiş hava fotoğrafları yorumları ve düzenli arazi gözlemlerine dayanılarak üretilmektedir (Görüm, 2006). Şekil 2.6’da Türkiye heyelan envanter haritası gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Türkiye heyelan envanter haritası (<http-3>)

Yoğunluk Haritaları: Yoğunluk haritaları, dolaylı haritalama aracılığıyla heyelanların mekansal bolluğunu gösteren haritalardır (Guzzetti, Cardinali ve Reichenbach, 2000). Bu haritalar bölgelerde yaşanan heyelan sayısına göre çok yoğun, yoğun, az yoğun gibi sınıflandırılmalar şeklinde ile üretilmektedir. Ülkemizde yaşanan afet olaylarının mekansal ve istatistiksel dağılımını ortaya koyabilmek, her tür ve ölçekteki afet tehlikesi çalışmalarına temel altlık oluşturabilmek için Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ABEP gerçekleştirilmiş, bu proje kapsamında “Türkiye Heyelan Yoğunluk Haritası” hazırlanmıştır. Oluşturulan bu harita heyelan olayı gözlenen yerlerdeki heyelan sayıları temel alınarak oluşturulmuştur. Yoğunluk haritaları heyelan duyarlılık veya tehlike haritaları ile karıştırılmamalıdır. Yoğunluk haritasında “çok düşük” heyelan yoğunluğuna sahip bir alan heyelan olmayacağı anlamına gelmemektedir (AFAD, 2019). Şekil 2.7’de Türkiye heyelan yoğunluk haritası gösterilmiştir.



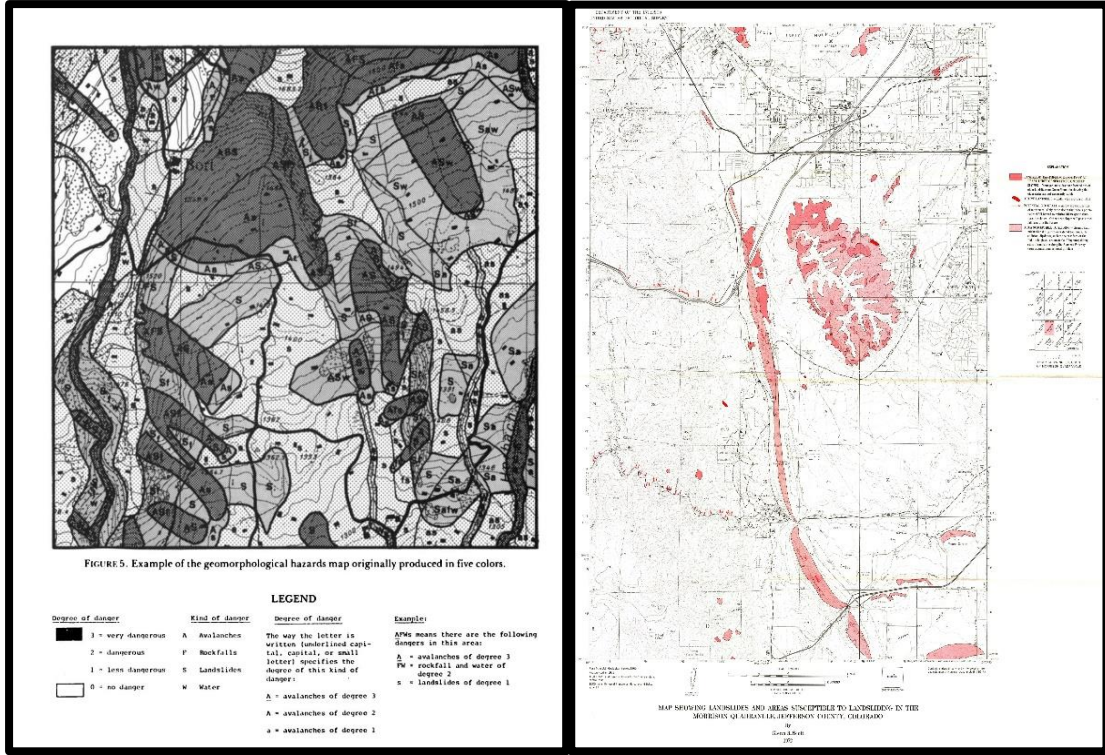
Şekil 2.6. Türkiye heyelan yoğunluk haritası (http-4)

Tehlike Haritaları: Çalışmanın ana konusunu oluşturan tehlike veya duyarlılık haritaları yaşanması muhtemel heyelanların konumlarını göstermektedir. Duyarlılık haritaları yaşanacak heyelanlara dair bir mekansal tahminde bulunmaktadır. Bu haritalar yaşanması muhtemel heyelan tehlikesini değerlendirmek ve riskli bölgelerin mekansal dağılımını göstermek için üretilmektedir. Tehlike haritaları hem gerçek hem de olası eğitim arızalarının yerlerini göstermeli ve gelecekteki oluşumların zamanı veya olasılığı hakkında bilgi sağlamalıdır (Carrara vd., 1995). Guzzetti, Cardinali ve Reichenbach'a (2000) göre tehlike haritaları hesaplanan heyelan tehlikesini gösterir. Sujatha ve Rajamanickam'a (2015) göre ise tehlike haritaları bölgedeki duyarlılık bölgelerinin mekansal dağılımının haritalandırılması, tehlike ve hasar potansiyelinin değerlendirilmesini içermektedir. Tehlike haritaları ile heyelanın yeri ve büyüklüğü hakkında kestirimlerde bulunulabilirken, heyelanın oluş zamanını kestirebilmek çok güçtür. Bu haritalar olası heyelanlarla ilgili zaman ve büyüklük bilgisinden ziyade ilgili bölgenin heyelana duyarlılık derecesi ile ilgili bilgi vermektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bu haritalarda tehlike veya risk yüksek, orta ve düşük olarak sınıflandırılmaktadır (Fell, 1994). Bazı kaynaklarda ilgili haritaların üretilmesinde

kullanılan parametrelerle ilgili belirsizliklerden dolayı bu haritalara “heyelan tehlike haritası” değil “heyelan duyarlılık haritası” denilmesi daha doğru bulunmaktadır.

2.5.3. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinin ilk aşaması olan duyarlılık değerlendirilmesi ilk olarak belirli bir alan için belirli bir duyarlılık seviyesi üreten kararsızlık faktörlerinin saha keşfine bağlıydı ve toprak kayması envanteri analizi ve haritalamasına yönelik bir adımdı. Yöntem, araştırmacının uzmanlığına dayanıyordu ve temel amaç gözlemlenen heyelanlar çevresindeki jeolojik dengesizlik faktörlerinin tespit edilmesi idi (Chacon vd., 2006). Geçmişten günümüze heyelan alanları için risk ve olası tehlike haritalandırılması özellikle arazi değerlendirilmesinde kullanılmak üzere üretilmektedir. Bu tür haritaların üretimi özellikle Fransa, İtalya ve İspanya’da gelişmiştir. Fransa’daki ZERMOS (Zone Exposed to Risks) projesi en eski heyelan tehlike haritası üretilmesi projelerinden birisidir (Mazman, 2005). Benzer bir şekilde ABD’de 1960’ların sonlarından itibaren şev stabilitesi durumlarını gösteren bir dizi harita yapılmıştır. İlk dönem haritaları araştırmacının uzmanlığı ve gözlemleri ile yapılırken daha sonrasında yarı nicel duyarlılık haritaları da üretilmiştir. Bu haritalar eğim açıları, litoloji ve toprak kaymasındaki malzemelerin analizine dayanmaktadır. Bu haritalar heyelanı etkileyeceği düşünülen eğim açısı dereceleri ve litoloji gruplarının sınıflandırılıp birleştirilmesiyle üretilmiştir. Bu çalışmalarda niceliksel bir gözlem yapılmamış heyelan yaşanan alanlara dair yayınlanmış veriler ve kişisel uzmanlıklara göre sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Aynı dönemlerde eğim ve jeolojik faktörler gibi jeoteknik verilerin sayısal olarak derecelendirilmesi ve ağırlıklandırılması yöntemi ile de tehlike haritaları üretilmiştir. 1990’lardan itibaren CBS ve bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde çok büyük kolaylıklar sağlamıştır. Bilgi işlem gücünün artması iki değişkenli, çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının yapılmasını sağlamıştır. (Chacon vd., 2006). Şekil 2.8’de ilk dönemlere ait heyelan tehlike haritaları verilmiştir.

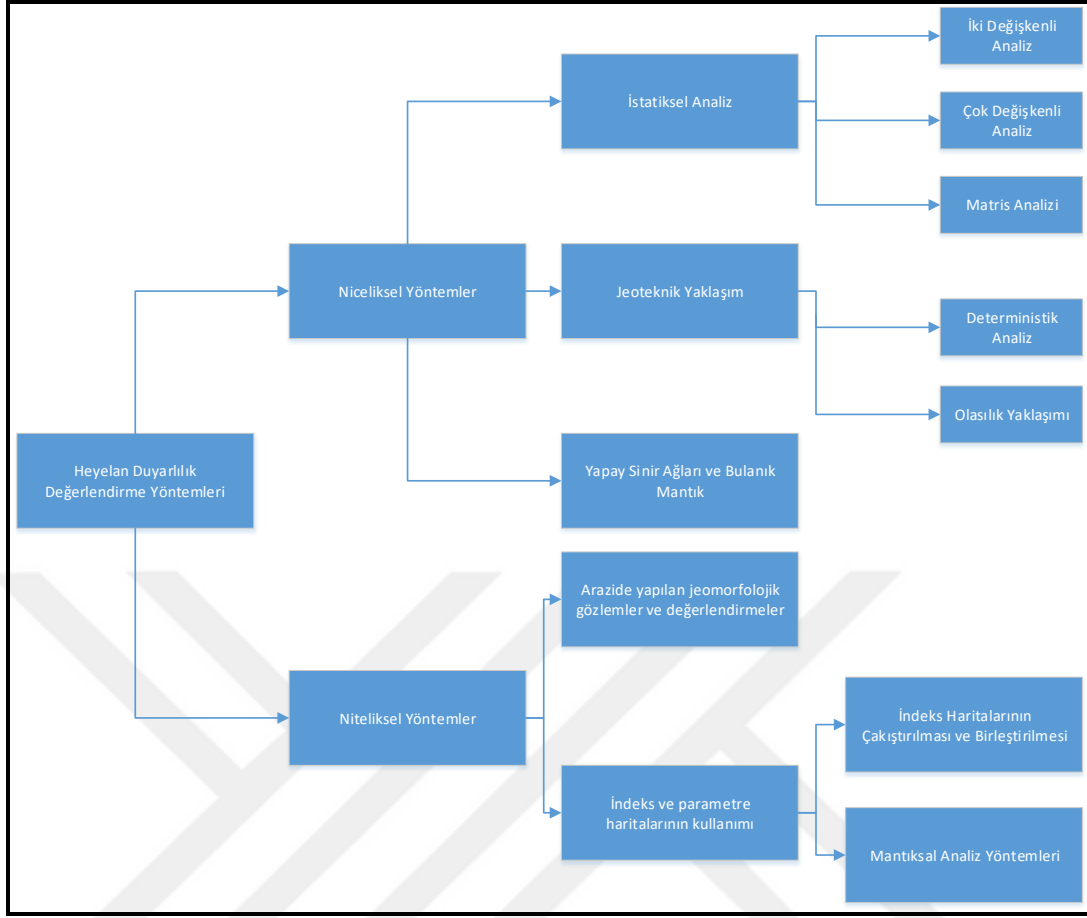


Şekil 2.7. İlk dönemlere ait farklı yöntemlerle yapılmış heyelan tehlike haritaları (Scott, 1972; Kienholz, 1978)

Heyelanlar ile ilgili tehlike analizleri yapılması ve duyarlılık haritalarının üretilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler daha önce bölgede yaşanan heyelanlar ile heyelan yaşanan bölgedeki heyelanı etkileyen parametreler arasındaki ilişkiyi temel almaktadır. Bu haritaların üretilmesinin ilk aşaması olan duyarlılık değerlendirilmesi belirli bir alan için belirli bir duyarlılık seviyesi üreten kararsızlık faktörlerinin saha keşfine dayanıyordu ve toprak kayması envanteri analizi ve haritalamasına yönelik bir adımdı. Yöntem, her yazarın uzmanlığına dayanıyordu ve temel amaç gözlemlenen heyelanlar çevresindeki jeolojik dengesizlik faktörlerinin tespit edilmesiydi (Chacon vd., 2006). Bir dizi jeolojik ve jeomorfolojik faktörün heyelan oluşumuna nispi katkısı ve bunların haritalanmasından yararlanarak, çalışma bölgesinin farklı heyelan duyarlılıklarının sınıflandırılması çalışmanın ana mantığıdır. Bu çalışmalar jeolojide diğer haritalama çalışmalarına mantık olarak çok benzemektedir. Petrol yataklarını veya cevher kütlelerini tahmin etmek veya eğim dengesizliğinin bölgesel ölçekte tahmin edilebilmesi, mekansal olarak tanımlanan bilinmeyen birbiriyle ilişkili birçok faktörün etkileşiminin sonucu ortaya çıkmaktadır (Carrara, 1983). Analizdeki temel ilke “ Geçmiş ve şimdiki zaman geleceğin anahtarıdır.” ilkesidir. Buna “Geçmişte

heyelana sebep olan parametreler, gelecekte de benzer koşullarda heyelana sebep olabilir.” varsayımı da eklenebilir (AFAD, 2015). Uzun zamandır jeolojide yararlı bulunan bu ilke, gelecekteki heyelanların büyük olasılıkla geçmişte ve günümüzdeki jeolojik, jeomorfolojik ve hidrolojik durumlarda gizli olduğu anlamına gelmektedir. Bu ilke ile gelecekte yaşanması muhtemel heyelanların tipini, sıklığını, kapsamını ve sonuçlarını tahmin etme olanağı bulunmaktadır (Varnes, 1984). Bu tahmini yapabilmek için geçmişte heyelana yol açan faktörlerin belirlenmesi, değişen yeni koşulların değerlendirilebilmesi gerekmektedir. Bununla beraber geçmiş ya da mevcut heyelan olmaması, heyelanların gelecekte gerçekleşmeyeceği anlamına gelmemektedir. Örnek olarak İskandinavya’daki bazı hızlı kil kaymaları daha önce kayma geçmişi olmayan bölgelerde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, kazı dolgu çalışmaları gibi insan aktiviteleri, doğal topoğrafik ve hidrolojik koşulları değiştirebilir, böylece eğim hareketi olasılığı büyük ölçüde artar (Varnes, 1984). Ayrıca üretilen bu haritaların güvenilirliği mevcut verilerin miktarına, kalitesine, ölçeğine ve uygun analiz ve modelleme metodolojisinin seçimine bağlıdır (Ayalew and Yamagishi, 2005).

Heyelan tehlike haritası üretilirken heyelana sebep olan faktörleri tanımlamak ve bunların ağırlığını belirlemek için kullanılan yöntemler literatürde nicel ve nitel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu tanımlar bazı kaynaklarda doğrudan ve dolaylı yöntemler olarak da adlandırılmaktadır. Nitel yöntemler doğrudan saha gözlemine ve tecrübeye dayanırken, nicel yöntemler bilgisayar destekli verilerin analizine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir (Carrara vd., 1995; Kumtepe vd., 2009; Sarkar and Kanungo, 2004; Ayalew and Yamagishi, 2005). Şekil 2.9’da heyelan duyarlılık haritaları üretim yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Heyelan duyarlılık haritası üretimi yöntemleri (Aleotti and Chowdhury 1999)

2.5.3.1. Nitel (Kalitatif) yöntemler

Nitel yöntemler ile heyelan duyarlılık haritası, uzman kişinin görüşüne bağlı olarak saha gözlemleri veya heyelanı etkileyen faktörlerin indeks haritalarının birleştirilmesi ile üretilmektedir (Erener and Lacasse, 2007). Bu çalışmalarda gerektiğinde saha ziyaretleri hava fotoğrafları ile de desteklenmektedir. Nitel yöntemler de araştırmacının bilgi birikimi ve uzmanlığı belirleyici olduğu için, öznel yargılara daha açık bir yöntemdir. Aleotti ve Chowdhury'ye (1999) göre nitel yöntem iki tipe ayrılmaktadır. İlki alanın jeomorfolojik analizi, diğeri ise alana ait indeks haritalarının ağırlıklı veya ağırlıksız üst üste çakıştırılmasıdır. Jeomorfolojik analiz tamamen ilgili uzmanın benzer durumlardan edindiği deneyime dayanarak çalışma alanını analiz etmesi ile gerçekleştirilir. Bu yöntem oldukça öznel bir yöntemdir ve uzun saha araştırmalarına dayanmaktadır. 70 ve 80'li yıllara ait çalışmalarda bu yöntem sıkça kullanılmıştır. Diğer nitel yöntem ise çalışma alanındaki indeks haritalarının birleştirilmesi yöntemidir. Bu yaklaşımda araştırmacı, çalışma alanının şev stabilitesini etkileyen parametreleri belirlemekte, her bir

parametreye uzmanlığına göre veya basit istatistiksel yöntemler ile belirlediği bir ağırlık değeri atamaktadır. Oluşturduğu ağırlıklı haritaları karşılaştırmakta ve duyarlılık sınıflarını gösteren haritayı elde etmektedir (Aksoy, 2011). Bu yöntemin avantajı CBS'nin de kullanımı ile yapılması gereken işlem adımlarının otomatikleşmesidir. Dezavantajı ise uzmanlığa bağlı olarak atanan öznel ağırlık değerlerinin devamlı güncellenmesi ihtiyacıdır. Bu yöntemde atanan ağırlık değerlerinin değiştirilmesi ile oluşan farklı heyelan duyarlılık haritaları ile heyelanlar arasında ilişki kurularak iyileştirmeler yapılabilmektedir (Aleotti and Chowdhury, 1999). Bu yöntemler özellikle çok özel bölgelerdeki çalışmalarda, heyelana neden olan faktörlerin bazılarının özel ağırlığı olduğu bölgelerde yararlıdır.

2.5.3.2. Nicel (Kantitatif) yöntemler

İkinci yöntem olarak belirlenen nicel veya dolaylı yöntemler parametrelerin heyelanlarla ilişkisinin sayısal ifadelerine dayanmaktadır (Ayalew and Yamagishi, 2005). Nicel yöntemlerle duyarlılık haritalarının üretilmesinde, basit istatistiksel hesaplamalardan son derece karmaşık matematiksel modellerin kullanıldığı çok çeşitli yöntemlerden faydalanılmaktadır (AFAD, 2015). Bu yöntemde sahaya ilişkin veriler bilgisayar yazılımları ile değerlendirilir, uzman görüşü burada ortaya çıkan sonuçların anlamlılığı ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasında devreye girer (Görüm , 2006). Bu yaklaşım bu açıdan nitel yaklaşıma göre nesnel bir yaklaşımdır. Yapılan analiz temel olarak her bir faktör ile geçmiş ve şimdiki heyelan arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Nicel yöntemlerde toplanan verilerin kalitesi ve miktarı doğrudan çalışmayı etkilemektedir. Bu yöntem heyelan arşivinin kısıtlı olduğu yerlerde çok doğru sonuçlar vermeyebilir. Değerlendirmeye giren heyelan stoku arttıkça daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Nicel yöntemler, istatistiksel analizler, jeoteknik yaklaşımlar ve son dönemde kullanılmaya başlayan yapay sinir ağları olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999; Mazman, 2005). İstatistiksel analiz yöntemi iki değişkenli analiz, çok değişkenli analiz ve mantıksal analiz olarak üçe ayrılırken, jeoteknik yaklaşımlar deterministik analiz ve olasılık yaklaşımı olarak ikiye ayrılır.

a. Jeoteknik yaklaşımlar

Jeoteknik yaklaşımlar en eski heyelan değerlendirme yöntemleridir. Bu yöntem, heyelanlarla ilgili güvenilir jeoteknik parametrelerin ve çalışılan alandaki duraysızlıkları doğru bir şekilde temsil eden model ve analiz yönteminin seçilmesini esas alır (Dağ, 2007).

Deterministik analiz özellikle küçük ölçekli bölgelerin tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem ile heyelanlı bölgenin güvenlik katsayısı hesaplanmaktadır. Metodolojisi heyelan mekanizmalarının sahaya özgü jeoteknik özelliklerine dayanmaktadır. Yöntemin kullanılabilmesi için sahanın topoğrafik özellikleri, malzeme özellikleri, kayma dayanımı parametreleri ve boşluk suyu basıncı gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemde temel fiziksel ve jeoteknik özellikler ölçülür ardından belirli matematiksel modellere uygulanır ve güvenlik katsayısı hesaplanır (Aleotti and Chowdhury, 1999; Dağ, 2007; Cotecchia vd., 2010).

Olasılık yaklaşımı deterministik modelde hesaplanan veya ölçülen verilerin mekansal veya zamansal değişikliğini göz önüne almaktadır. Bu verilere dair belirsizliklerin tanınması, temel jeoteknik modeller korunurken, olasılıklı bir çerçevede analiz yöntemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır (Aleotti and Chowdhury, 1999).

b. İstatistiksel yöntemler

Heyelan duyarlık haritaları hazırlanırken heyelana sebep olan parametrelere ilgili ağırlık değerini atamak en önemli sorunlardan birisidir. Bu değer nitel yaklaşımlarda araştırmacının uzmanlığı ile belirlenirken, istatistiksel yöntemlerle de belirlenebilmektedir. Bu işlemde heyelana neden olduğu düşünülen parametreler ile heyelan arasında matematiksel bir ilişki kurulmaktadır. Bu yöntem iki değişkenli istatistiksel analiz, lojistik regresyon, matris analizi gibi yöntemlerle uygulanmaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999).

İki değişkenli istatistiksel analizlerde üretilen jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametre haritaları ile heyelan yerleri ilişkilendirilerek parametre ağırlıkları hesaplanmaktadır. Buradaki en kritik noktalardan biri etkin olacak parametrelerin seçimi ve bunların uygun alt sınıflar altında gruplandırılmasıdır. Parametreler ve heyelan yerleri arasındaki ilişkileri belirlemek için istatistiksel indeks ve frekans oranı yöntemi

kullanılmaktadır. Çalışmalarda çok fazla kullanılan frekans oranı, raster formatına dönüştürülen parametre haritalarının alt birimlerinin heyelanlı alana denk gelen piksel sayılarının toplam piksel sayısına oranı bulunmaktadır. Frekans oranlarından ağırlık katsayıları elde edilmekte ve ağırlıklandırılmış parametre haritalarının karşılaştırılması ile heyelan duyarlılık haritası üretilmektedir (Dağ ve Bulut, 2012; AFAD, 2015).

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinde kullanılan ağırlık katsayısı hesaplamak için kullanılan istatistiksel yöntemler iki değişkenli istatistiksel yöntemlere göre daha karmaşıktır. Başlıca çok değişkenli istatistiksel yöntemler diskriminant analizi, faktör analizi ve lojistik regresyondur (AFAD, 2015). Bu yüksek lisans çalışmasında kullanılan lojistik regresyonda asıl amaç bağımlı değişkeni bağımsız değişkenlerden yola çıkarak en uygun modelle tahmin edebilmektir. Lojistik regresyonda bağımlı değişkenin “0” ve “1” değerleri belirlenmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında heyelanlı alanlar “1” değerini, heyelan olmayan alanlar “0” değerini almaktadır. Bu değerlere göre kurulan matematiksel denklemler istatistik paket programları ile çözülmektedir. Bu çözümünden elde edilen katsayılar yardımı ile heyelan duyarlılık haritası üretilmektedir (Çokluk, 2010; Kleinbaum and Klein, 2002).

2.6. Literatür Özeti

Çalışmanın bu kısmında daha önce kütle hareketlerinin incelenmesinde CBS kullanımı, heyelan risk haritaları hazırlanırken kullanılan parametreler ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş ve özetlenmiştir.

Bu çalışmalardan biri Mora ve Vahrson (1994) tarafından gerçekleştirilen “Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination” isimli çalışmadır. Yazarlar hızlı ve düşük maliyetli basit morfolojik girdiler ile heyelan duyarlılık analizi için yöntem geliştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmanın amaçları içinde daha detaylı incelemelerin yapılması gereken alanların belirlenmesi de yer almıştır. O güne kadar kullanılan yöntemlerin çoğunlukla lokal alanlar için geçerli olması yazarları geniş alanlarda kullanılabilecek bir yöntem geliştirmeye yöneltmiştir. Geliştirilen yöntemde heyelana sebep olan faktörler olarak eğim (Sr), litoloji (Sl), toprak nemlilik değeri (Sh); tetikleyici faktörler olarak ise sismik (Ts) ve yağış yoğunluğu (Tp) kullanılmıştır. Yöntem çerçevesinde, sebep olan faktörler ile tetikleyici faktörlerin heyelana etkisi ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklara göre ilgili faktörlerin sınıflandırma haritaları yapılmış,

bu sınıflandırma haritalarına ilgili formül uygulanmıştır. Yöntemin avantajlı yanları ucuz, hızlı olması ve kolay ulaşılabilir kaynaklardan faydalanılarak haritaların üretilmesidir. Dezavantajlı yanı ise diğer birçok faktörün göz ardı edilmiş olmasıdır.

Özşahin (2013), “CBS Kullanılarak Hatay Heyelan Duyarlılık Analizi” isimli çalışmasında Hatay ilinin kütle hareketi duyarlılık haritasını CBS kullanılarak üretmiştir. Bu çalışmada Mora ve Vahrson (1994) tarafından geliştirilen CBS destekli heyelan duyarlılık modeli kullanılmıştır. Bu modelde heyelana sebep olan ve tetikleyici faktörler temel alınarak bir formül üretilmiştir.

$$A(fet) \text{ heyelan} = (Se \times Sl \times St) \times (Ty + Ts) \quad (2.1)$$

Sebebi olan faktörler olarak litoloji ve stratigrafi (Sl), toprak nemlilik indeksi (St), eğim değeri (Se); tetikleyici faktörler olarak da en yüksek aylık ortalama yağış (Ty) ve sismik tehlike göstergesi (Ts) kullanılmıştır.

Çalışmada veri olarak Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından üretilen 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar, jeoloji haritaları ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) elde edilen 1970-2012 yılları arasındaki meteoroloji bültenleri ile 1/250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası’ndan yararlanılmıştır. Yazılım olarak ArcGIS tercih edilmiştir. Ayrıca, Mora ve Vahrson (1994) tarafından kullanılan parametrelerin hepsinin duyarlılık sınıfları oluşturulmuş, bu sınıflara bağlı olarak eğim, litoloji, toprak, nemlilik, yağış dağılımı ve sismik tehlike haritaları sınıflandırılmıştır. İlgili haritalar yukarıda belirtilen formüle göre çakıştırılarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Analiz sonuçlarının MTA ve Türkiye Ulusal Afet Arşivi (TUAA) tarafından tespit edilen heyelanlarla, heyelan açısından riskli alanlara benzer olduğu görülmüştür. Genellikle yaşanan heyelanların orta risk sınıfı ile örtüştüğü ulaşılan bir diğer sonuçtur. Sonuç olarak yukarıda belirtilen heyelan duyarlılık analiz yönteminin Türkiye için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler” isimli çalışmalarında, bölgesel ölçekte üretilen heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikleri tartışmışlardır. İlgili çalışmaya göre CBS’deki ilerlemeler ve sayısal haritaların hazırlanmasına ilişkin yöntemlerdeki gelişmelere, ayrıca bunların heyelan zararlarının azaltılmasına yönelik kullanımlarının artmasına bağlı olarak heyelan duyarlılık haritalarına ilgi sürekli artmış ve bunlarla ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Bununla beraber heyelan duyarlılık haritaların üretilmesinde kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler bulunduğu tespit edilmiştir. Eğim, litoloji, arazi kullanım potansiyeli ve bitki örtüsü kullanımına ilişkin bir görüş birliği olmakla beraber yamaç yönelimi, yamaç şekli, topoğrafik yükseklik vb. faktörler hakkında bir uzlaşma bulunmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada 21 adet çalışma, kullanılan parametreler yönünden incelenmiştir. Çalışmaların tamamında eğimin, 20'sinde litolojinin, 11 tanesinde ana faylara uzaklığın, 10 tanesinde topoğrafik yüksekliğin ve yamaç eğim yönünün, 8 tanesinde ise arazi kullanım potansiyelin, bitki örtüsü ve drenaj özelliklerinin parametre olarak kullanıldığı raporlanmıştır. Eğim ve litoloji üzerinde görüş birliği olmakla beraber, arazi kullanımı veya bitki örtüsü de bütün çalışmalarda dikkate alınmıştır.

Dağ vd. (2011), “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel bir Değerlendirme” isimli çalışmalarında, özellikle son 20 yılda yapılmış 118 adet çalışmayı incelemiş ve bu çalışmalarda kullanılan parametreler ve yöntemleri değerlendirmişlerdir. İncelenen çalışmaların % 50'sinde istatistiksel yöntemler kullanıldığı görülmüş, 25 farklı parametre bu yöntemlere göre değerlendirilmiştir. Eğim ve litoloji %95 ile en çok kullanılan parametrelerdir. Yamaç eğim yönü ve arazi örtüsü en çok kullanılan diğer parametrelerdir. Bu çalışmada da heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken kullanılan yöntem ve parametreler konusunda bir fikir birliği olmadığı vurgulanmıştır. Eğim, litoloji, yamaç eğim yönü (bakı), arazi örtüsü parametreleri konusundan araştırmacıların uzlaştıkları belirtilmiştir. Yöntem konusunda ise istatistiksel analizler en çok kullanılan yöntem olmakla beraber yapay zekâ yöntemleri (bulanık mantık ve yapay sinir ağları) gibi yöntemler ile duyarlılık haritalarının hazırlanması son yıllarda giderek artmıştır.

Akıncı vd. (2010), “Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi” isimli çalışmalarında, frekans oranı yöntemi ile litoloji, yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, plan ve profil eğriliği, yola ve akarsuya yakınlık parametrelerini kullanarak Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Çalışmada, Türkiye’de son 50 yılda en çok meydana gelen doğal afetin heyelan olduğu ve Samsun’un son 25 yılda meydana gelen 219 heyelan ile riskli bölgelerden biri olduğu belirtilmiştir. Çalışmada veri olarak MTA tarafından üretilen 1/25000 ölçekli heyelan envanter ve jeoloji haritası ile HGK tarafından üretilen 1/25000 ölçekli topoğrafik harita kullanılmıştır. Elde edilen parametreler mevcut heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmış,

her bir parametrenin mevcut heyelanlar üzerinde ne gibi etkisi olabileceği incelenmiştir. Örneğin mevcut heyelanların % 68'i 5-10°, %16'sı 10°-15° eğimlerde gerçekleşmiştir. Diğer parametrelerin de mevcut heyelanlı alanlardaki değerleri hesaplanmıştır. Frekans oranı yöntemi ile ilgili parametrelerin alt gruplarının heyelanlı alanlardaki değerleri ile bütün alandaki değerinin oranından frekans oranları hesaplanmıştır. Oluşturulan duyarlılık haritası ile kontrol için çalışmaya dâhil edilmeyen heyelanlı bölgeler karşılaştırılmış, sonuç olarak çok yüksek ve yüksek dereceli alanlar ile kontrol heyelanları arasında %72,9'luk çakışma gerçekleşmiştir.

Özşahin (2015)'in, "Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ)" isimli çalışmasında iki değişkenli istatistiksel yöntemine dayandırılmış Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) metodundan yararlanılarak Ganos Dağı heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmada heyelan envanter haritalarından yararlanılarak bu heyelanlara etki eden parametrelerin ağırlıkları belirlenmiş, bu değerlerin değerlendirilmesi sonucu heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Parametre olarak, Çellek (2013) tarafından tespit edilmiş parametreler kullanılmıştır. HGK tarafından üretilen 1/25000 ölçekli paftalar, 1/10000 ölçekli jeoloji haritası, MGM tarafından üretilen yağış verileri, 1/10000 ölçekli toprak haritası, Türkiye Heyelan Enventer Haritası, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)'nden elde edilen sayısal yüksekli modeli (SYM) ham veri olarak kullanılmış, bu ham verilerden litoloji, fay hatlarına mesafe, yükseklik, eğim, eğim şekli, bakı, yağış, akarsulara mesafe, toprak, arazi kullanımı ve yollara mesafe verileri üretilmiştir. AHS yönteminde parametrelerin bütün çalışma alanı ve heyelanlı alandaki yüzdeleri bulunmuş, bunların oranından ise frekans oranı elde edilmiştir. AHP Template yazılımı kullanılarak bu frekans oranlarının AHS alternatif ağırlık değerleri bulunmuştur. Bu çalışma ile AHS yönteminin heyelan duyarlılık analizinde yararlı bir araç olduğu açığa çıkmıştır.

Akgün ve Türk (2010), "İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği" isimli çalışmalarında, heyelan duyarlılık analizlerinde çokça kullanılan iki yöntem olan iki ve çok değişkenli istatistik model ile sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada yamaç eğimi, yamaç yönelimi, litoloji, kayaların ayrışma durumu, akarsu gücü indeksi (AGİ), topoğrafik nemlilik indeksi (TNİ), drenaj ağından uzaklık, yapısal unsurların yoğunluğu, arazi ve bitki örtüsü

yoğunluğu parametre olarak kullanılmıştır. Heyelan envanter haritası; arazi gözlemleri, 1/35000 ölçekli 1995 yılına ait stereo pankromatik hava fotoğrafları ve 15 m yersel çözünürlüklü 2004 yılına ait Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) 301 uydu görüntüsü kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmada her bir parametre için bir kural oluşturulmuştur. Bu kurallar daha sonra sırasıyla iki değişkenli istatistik değerlendirilmesi, çok değişkenli istatistik değerlendirmesi ve sezgisel tabanlı yöntem değerlendirmesine tabi tutulmuş, bu yöntemler ile parametrelerin ağırlık değerleri bulunmuş ve bu ağırlık değerleri ile heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Daha sonra bu haritaların doğruluğu İşlem Karakteristik Eğrisi (ROC) altında kalan alan yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre sezgisel yaklaşıma dayalı AHS sonucu elde edilen duyarlılık haritası en güvenilir harita olarak belirlenmiştir.

Özdemir (2007), “Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi” isimli çalışmasında, seçilen bölgenin heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuştur. İlk olarak Afet İşleri Genel Müdürlüğüne tespit edilen 3 heyelana ek olarak arazide gözlem yoluyla yeni heyelanlar belirlenmiştir. Bu heyelanlar tiplerine göre dönel kayma, kaya düşmesi, yamaç döküntüleri, yüzeysel akmlar ve blok devrilmeleri olarak sınıflandırılmışlardır. Böylelikle yeni heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Çalışmada heyelan duyarlılık haritasını yapmak için niceliksel yöntemler arasından Bivariate (Tek Değişkenli) İstatistik Analizi (BİA) içerisinde yer alan Duyarlılık Analizi (DA) ve İndeks Metodu (IM) yöntem olarak seçilmiştir. Çalışmada; uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), arazi örtüsü parametresi ile yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, yollar, litoloji, yağış, toprak parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerden eğim ve yol daha önceki çalışmalardan çıkarılan sonuçlara göre sınıflandırılırken, diğer parametreler genel olarak parametreler içerisindeki farklılıklara göre sınıflandırılmıştır. Çalışılan yöntem ile her parametrenin mevcut heyelan alanları içerisindeki yoğunluğu hesaplanmış ve buradan elde edilen ağırlık değerleri ile bütün çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulur. Yapılan analize göre heyelan oluşumunda eğim, litoloji ve bakı parametreleri en fazla etkiye sahip parametreler olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada heyelan duyarlılık analizi ayrıca indeks yöntemiyle de yapılmıştır. Daha sonra bu iki çalışmadan elde edilen veriler mevcut heyelanlar ile zonal istatistiğe tabii tutulmuş, indeks metodu ile oluşturulan harita daha güvenilir bulunmuştur.

Sarkar ve Kanungo (2004), “An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS” isimli çalışmalarında, Himalayaların bir bölümü için heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Çalışmada veri olarak SYM, litoloji, faylar, drenaj, toprak, arazi kullanımı ve heyelan dağılımları kullanılmıştır. Arazideki mevcut heyelanlar tespit edilirken, mevcut heyelan envanteri yerine uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Bunun için PAN ve PAN-LISS III birleştirilmiş görüntüleri kullanılmıştır. Önceki çalışmalardan yararlanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Parametreler önem sırasına göre 1 ile 9 (R) arasında sınıflandırılırken, parametrelerin iç farklılıkları heyelana sebep olmaları açısından “0” ile “9” (W) arasında ağırlıklandırılmıştır. Örneğin drenaj ağı en önemli parametre olarak 9 ile ağırlıklandırılırken, drenaj yoğunluğu az (1), orta (5), yüksek (9) olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra her 25x25 m’lik piksel için aşağıdaki formül kullanılarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir.

$$LPI = \sum_{i=1}^9 (R_i \times W_{ij}) \quad (2.2)$$

Formüldeki *LPI* heyelan duyarlılık indeksi, *R_i* ilgili parametrenin heyelan oluşumuna etkisini gösteren ağırlık değerini, *W_{ij}* ise parametrenin alt grubunun heyelan oluşumuna etkisini gösteren ağırlık değerinin simgelemektedir.

Ki-kare testinin değeri haritanın yatkinlik sınıflarını doğrulamaktadır. Çalışmada kullanılan ağırlıkların bölgede yaşanan heyelanlar için kullanıldığı özellikle belirtilmiştir. Bu açıdan parametrelerin heyelan oluşumuna katkısı lokaldir.

Sujatha ve Rajamanickam (2015) “Landslide Hazard and Risk Mapping Using the Weighted Linear Combination Model Applied to the Tevankarai Stream Watershed, Kodaikkanaal, India” isimli çalışmalarında Hindistan’ın batısında yer alan Ghat kasabası için heyelan risk değerlendirmesi yapmışlardır. Yöntem olarak ağırlıklı doğrusal kombinasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde belirlenmiş ağırlıklara uzman görüşünü yansıtacak şekilde müdahale edilebilmektedir. Dolayısıyla bu yöntem nicel ve nitel yöntemlerin bir kombinasyonudur. Modelde kullanılacak ağırlık katsayılarını belirlemek için 2007-2011 yılları arasında yaşanmış 84 heyelan kullanılmıştır. 2009 yılında yaşanmış olan 36 heyelan doğrulama verisi olarak seçilmiştir. Parametre haritası olarak yükseklik, eğim, bakı, ayrışma, toprak tipi, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımı

verileri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmede heyelanların %27,8'inin yüksek heyelan sınıfına , %11'inin ise düşük heyelan sınıfına düştüğü görülmüştür. Sonuçlar eğim ve arazi kullanımının ve bunların ardından toprak tipi ve yaşlanmanın heyelan oluşumunda kritik rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca yağışın tetikleyici olduğu ve yol civarlarında daha fazla heyelana rastlandığı sonucu da elde edilmiştir. Ağırlıklık doğrusal kombinasyon modeli heyelana sebep olan faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için başarılı bir yöntemdir.

Demoulin ve Chung (2007) "Mapping Landslide Suspectibility From Small Datasets: A Case Study in the Pays de Herve (E Belgium)" isimli çalışmalarında Belçika'nın Pays de Herve adlı küçük bir bölgesinde Bayesian yaklaşımı isimli istatistiksel yöntem ile heyelan duyarlılık çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için altlık olarak 10 adet mevcut heyelan kullanılmıştır. Heyelana sebep olan parametreler olarak litoloji, aktif faylara yakınlık, eğim açısı, bakı, yükseklik ve en yakın vadiye uzaklık kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile küçük veri setlerinde öngörü gücüne sahip heyelan duyarlılık analizleri yapılabileceği görülmüştür. Bunda tek etken Bayesien yöntemler değil, iyi belirlenmiş çevresel parametrelerdir. Duyarlılık haritasının doğruluğu ve güvenilirliği hangi çevresel değişkenlerin toprak kaymasını belirlediğinin iyi belirlenmesi ve bu verilerin kalitesine bağlıdır.

Das, ve diğerleri (2012) "Landslide Suspectibility Mapping Along Road Corridors in thr Indian Himayalas Using Bayesian Logistic Regression Models" isimli çalışmalarında Hint Himalayarı'nın yol geçen bölgelerin için heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bölgeden ulusal bir karayolu koridoru geçmektedir ve 12 km uzunluğundaki yol boyunca bayesian yaklaşım ve lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Çalışma bölgesindeki 178 heyelan envanter olarak kullanılmıştır. Çalışmada eğim, litoloji, arazi örtüsü, araiz birimleri, toprak derinliği, ayrışma, bakı, drenaj yoğunluğu ve akarsu ağları parametre haritaları hazırlanmıştır. Çalışmada parametre haritalarının her sınıfının heyelanlı alanlardaki piksel sayısının o sınıfın piksel sayısına oranı bulunmuştur. Bu orandan heyelan yaşanan bölgelerdeki parametre sınıfları belirlenmiş, bu oranlara göre parametre haritaları sınıflandırılmıştır. Çalışmada yolların heyelan oluşumunda güçlü bir etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Bayesian lojistik regresyon (BLR) ile lojistik regresyon karşılaştırıldığında BLR lojistik regresyona göre daha yüksek bir başarı oranını yakalamıştır

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde yüksek lisans tez çalışmasının amacına uygun olarak, çalışma alanı olan Karaburun ilçesi sınırları içerisinde CBS ile heyelan duyarlılık haritası oluşturmak üzere kullanılan materyal ve yöntem açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Bu yüksek lisans tezinde kullanılan materyal, çalışma alanı ile ilgili grafik ve sözel veriler, literatürde yer alan kaynaklar ve benzer çalışmalar kapsamında ele alınan yöntem ve süreçler ve analizlerin yapılmasında yararlanılan yazılımlardır.

3.1.1. Literatür araştırmasına dayalı veri kaynakları

Çalışmanın birincil materyalini alan yazın kısmında çalışmanın konusu ile ilgili literatür araştırmasına dayalı olarak incelenen kaynaklar ve literatürde konuyla ilgili daha önceden yapılmış benzer çalışmalar oluşturmaktadır. Literatür çalışmasından elde edilen bilgiler ışığında çalışmanın yöntemi belirlenmiştir.

3.1.2. Mekansal veriler

Literatür araştırması sonucu yapılacak heyelan duyarlılık analizi için kullanılması gereken mekansal veriler, benzer çalışmalardan da faydalanarak belirlenmiştir. Çalışmanın ikincil materyali, analizde kullanılan mekansal verilerdir.

Bu mekansal veriler çalışma alanının tanıtılması için kullanılan nüfus, ekonomik ve sosyal yapı, iklim gibi sözel veriler ile doğrudan analizde kullanılan mevcut heyelan sahaları, SYM, eğim haritası, arazi kullanım haritası, bakı haritası, jeoloji haritası gibi sayısal verilerdir. Tablo 3.1’de çalışmada kullandığımız mekansal veriler gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan mekansal veriler

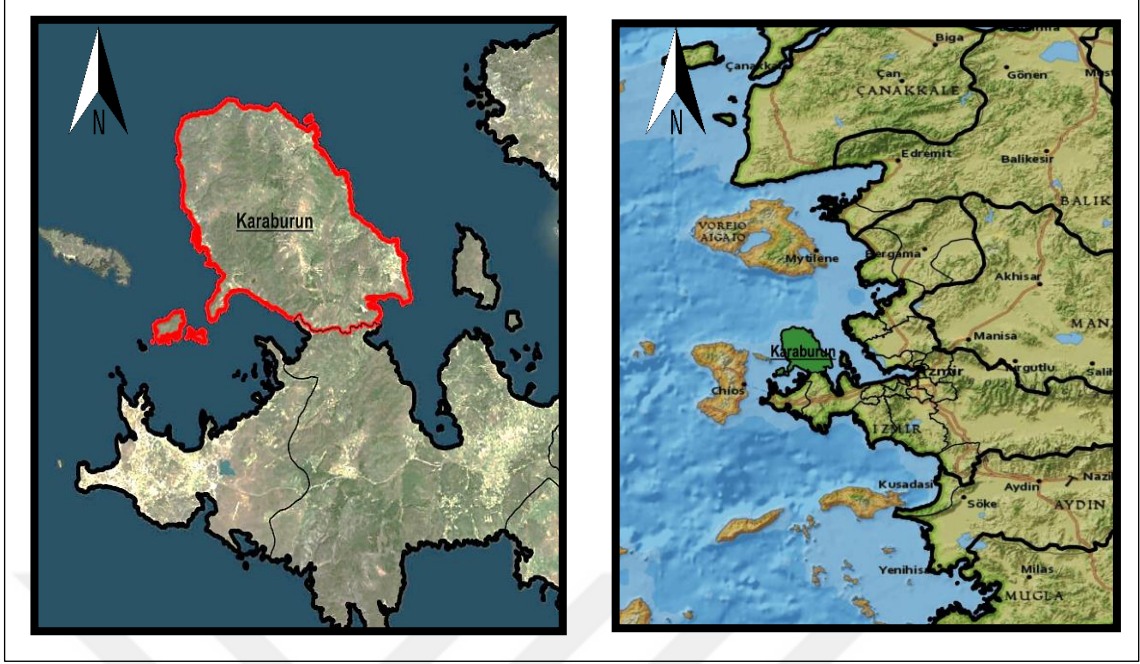
Üretilen parametre haritası	Veri adı	Veri tipi	Orijinal ismi	Kaynak	Kullanılan analiz
Heyelan envanter	Heyelan	Vektör	Heyelan	http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx	Sınıflandırma
Yükseklik, eğim, baki, eğrisellik	Sayısal yükseklik modeli	Raster	ASTER Global Digital Elevation Model V003 30 m çözünürlük	https://search.earthdata.nasa.gov/search	Topoğrafik analiz
Arazi kullanım	Arazi kullanım haritası	Raster	Corine Land Cover Change 100 metre çözünürlük	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover	Sınıflandırma
Litoloji	Litoloji	Vektör	Jeoloji formasyon	http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx	Sınıflandırma
Yola uzaklık	Yola uzaklık	Vektör	Yol	https://www.opensreetmap.org/	Uzaklık analizi ve sınıflandırma
Akarsuya uzaklık	Akarsuya uzaklık	Vektör	ASTER Global Digital Elevation Model V003 30 m çözünürlük	https://search.earthdata.nasa.gov/search	Hidroloji analizi, uzaklık, sınıflandırma
Faya uzaklık	Faya uzaklık	Vektör	Fay	http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx	Uzaklık analizi ve sınıflandırma
Bitki örtüsü	Bitki örtüsü	Raster	Landsat 8 TM 30 metre çözünürlük	https://earthexplorer.usgs.gov/	NDVI analizi, sınıflandırma

3.1.3. Kullanılan yazılımlar

Çalışmada verilerin işlenmesi, analiz edilmesi, görselleştirilmesi için ArcGIS 10.1, Microsoft Excel ve IBM SPSS Statistics programları kullanılmıştır. Veriler Shape file (*.shp) formatına dönüştürülerek kullanılmıştır.

3.1.4. Çalışma alanı

Çalışma alanı İzmir ili Karaburun Yarımadasıdır. Şekil 3.1 'de çalışma alanı gösterilmektedir. Bu bölümde çalışma alanına ait coğrafi konum, iklim, topoğrafya, jeoloji, demografik bilgileri aktarılmıştır.



Şekil 3.1. Karaburun Yarımadası konumu

3.1.4.1. Coğrafi konum

Çalışma alanı İzmir'in batısında Ege Denizi'ne doğru uzanan yarımada'nın kuzey bölümünü oluşturan Karaburun Yarımadası'dır. Büyüklüğü yaklaşık 420 km² olup, İzmir'e 100 km mesafededir (http-5). Yarımada'nın batısı, kuzeyi ve güneyi denizle çevrili olup, 26° 21' 48'' – 26° 38' 12'' boylamları ile 38° 25' 38'' - 38° 40' 31'' enlemleri arasında bulunmaktadır. Kuzeyinde Midilli Adası, batısında ise Sakız Adası yer almaktadır. Yarımada denizden Foça'ya 14 mil, Midilli Adası'na 20 mil, Sakız Adası'na 15 mil uzaklıktadır. Yarımada batı-doğu ekseninde 45 km, kuzey-güney ekseninde yaklaşık 65 km uzunluğundadır.

3.1.4.2. İklim

Karaburun Yarımadası iklimi genellikle Akdeniz iklimi özellikleri göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak geçer. Ortalama sıcaklık 15 – 20 °C'dir. En yüksek hava sıcaklığı değeri Temmuz ve Ağustos aylarında 40 °C'ye kadar ulaşabilir. Bu aylarda yağış çok nadir gözlenir. Kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Özellikle Aralık ve Ocak aylarında yağmur ve fırtına gözlenmektedir. Sıcaklık değerinin -4 °C'ye kadar düştüğünü gözlemlemek mümkündür. Yılın ortalama 70 günü yağış gözlemlenmektedir. Toplam

yağış miktarı 650-700 mm civarındadır. Hâkim rüzgar yönü kuzeydoğu ve kuzey yönündedir. Rüzgâr hızının 50 km\saat'lik hızlara ulaştığı gözlenmiştir. Türkiye'nin rüzgâr enerji haritasından ideal rejime sahip olmasından dolayı bölgede RES projeleri bulunmaktadır (http-6).

3.1.4.3. Topoğrafya

Yarımada oldukça engebeli yeryüzü şekillerine sahip olup, kuzey –güney doğrultusunda dağlık alanlar bulunmaktadır. Bölgede yükseklikler çok fazla değildir. Bölgenin en yüksek dağları Akdağ (1212 m), Bölmece dağ (848 m), Kırandağ (707 m)'dır. En yüksek yeri 1212 m ile Akdağ Tepesi'dir. Yarımada'nın orta ve batı kesiminde yükselti pek fazla değildir. Deniz seviyesindeki ovalar ve tektonik çukurlarla çevrili yarımada, bu düzlükleri çevreleyen kalker ve andezitlerden oluşan dağlarla çevrilmiştir. Deniz kıyısında aniden yükselen tepeler sebebiyle kıyı kesimleri çok girintili ve çıkıntılıdır (İzmir Kalkınma Ajansı [İZKA], 2013) (Kalafatçıoğlu, 1961). Yarımada topoğrafyası sebebi ile birçok koya sahiptir. Sığacıbükü, Kumburnu, Çatalkaya Körfeşi, Mordoğan İskelesi, Ardiç, Kaynarpınar, Karaburun İskelesi, Boyabağı, Akbük, Eşendere, Olcabük, Bodrum, Yeniliman, Denizgiren, Kocadere ve Gerence bu koyların isimleridir (http-5).

3.1.4.4. Jeoloji

Karaburun Yarımadasında, kalın bir Mesozoyik istifin bulunduğu tektonik kuşak İzmir-Ankara zonunu batısından çevreler. Yarımada'da en yaşlı birim; ağırlıklı olarak fosilli kireçtaşlarından oluşan ve Alt-Orta Karbonifer yaşlı Alandere formasyonudur. Bunun üzerine Alt Triyas yaşlı Karareis ve Gerence formasyonları gelir. Karareis Formasyonu; kumtaşları, tabakalı siyah çörtler, pelajik kireçtaşları ve mafik volkaniklerden meydana gelir. Gerence formasyonu ise ağırlıklı olarak ammonitli kırmızı kireçtaşları, ince tabakalı gri kireçtaşları ve çörtlü kireçtaşlarından meydana gelmiştir. Formasyon en ince olduğu yerlerde 150-200 m kalınlık sunar ve Balıklıova kuzeyinde 500 m'ye ulaşır. Bunun üzerine Ladiniyen-Karniyen yaşlı yer yer resifal fasiyes sunan masif kireçtaşlarının oluşturduğu Camiboğazı Formasyonu gelir. Formasyon; sarp morfoloji sunmasıyla belirgindir. Birimin alt kısımları pembe renkte olup antik çağlarda mermer ocağı olarak işletilmiştir. Üzerine uyumlu bir şekilde gelen Güvercinlik

Ardıç mahallesi civarında ise bir adet heyelan gözlenmiştir. Şekil 3.3’de heyelanların konumu, Şekil 3.4’de ise heyelanların fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 3.3. Karaburun Yarımadası heyelanları



Şekil 3.4. *Karaburun Yarımadası heyelan fotoğrafları*

3.1.4.6. Demografik ve sosyal yapı

Yarımada da düşük bir nüfus yoğunluğu bulunmakta, ilçe nüfus yaklaşık 10000'dir (http-5). Turizm bölgesi de olan bölgede yazları yoğun bir nüfus artışı görülmektedir. Yarımadanın başlıca ekonomik faaliyetleri tarım, hayvancılık, balıkçılık ve turizmdir.

Yarımadanın en önce gelen tarımsal faaliyeti zeytincilik olmakla beraber diğer önemli tarımsal ürünleri enginar, nergis ve sümbül yetiştiriciliğidir (Yiğiter Sarıçam ve Erdem, 2010). Yarımada daha önceleri bağları ve zeytin ağaçları ile bilinmekteyken zaman içinde bağcılık gerilemiştir. Yarımadada 2560 hektar arazide yaklaşık 471000 zeytin ağacı bulunmaktadır (http-5). Yarımadanın dağlık olması sebebiyle hayvancılık önemli geçim kaynaklarından birisidir. İzmir ilindeki keçi varlığının %7,7'si Karaburun'da bulunmaktadır. Su ürünlerinde çipura, levrek ve orkinos önemlidir (İZKA, 2013) . Yöreye özgü süt ürünleri bulunmaktadır.

Yarımada coğrafi konumu, kültürel ve doğal kaynakları ile İzmir'in en fazla turizm potansiyeline sahip bölgesidir. Yarımadanın batısında bulunan Çeşme turizm açısından ülkenin en gelişmiş bölgelerinden birisiyken Yarımada'nın diğer bölgeleri bu konuda bakirdir. Bu Yarımada'nın diğer bölgelerinin turizm potansiyeli olmadığı anlamına gelmemekte, aksine uygun politikaların geliştirilmesi, ulaşım ve iletişim ağlarının oluşturulması, kıyı ıslahı düzenlemelerinin yapılması, doğal sit ve tarihi sit alanlarının saptanması ile turizm açısından ciddi gelişmeler gösterebileceği anlamına gelmektedir. Yarımadanın uzun kıyı şeridinin, bakir yapısının doğa ve deniz turizmi açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. (İZKA, 2013; Yanardağ, 2014).

Yarımada da son dönemde ortaya çıkan diğer ekonomik yatırım RES'lerdir. 2015 yılı itibari ile 223 MW Kurulu güce sahip olması planlanan RES yatırımları bölge yüzölçümünün yaklaşık %71 gibi ciddi bir kısmını kaplamaktadır (http-7; http-8; http-9).

Yarımada iş ve yaşam olanakları sebebi ile nüfus göçü vermekte iken özellikle ikinci konut yapılaşması yarımadanın doğal yapısını tehdit etmektedir (Yiğiter, Sarıçam ve Erdem, 2010). Yarımadaya ulaşım Urla İlçesi üzerinden karayolu ile sağlanmaktadır. Bu yolun 45 km'lik kısmı otoyol, kalan kısmı ise asfaltdır. Şekil 3.5'de çalışma alanının beşeri haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Karaburun Yarımadası beşeri haritası (http-9)

3.1.4.7. Tarihi

İzmir Körfezini kontrol eden en önemli noktalardan birisi olan yarımada da eskiçağlardan bu yana yerleşim izine rastlanır. Yarımada'nın tarihi Prehistorik dönemden başlar. Yarımada da yapılan kazılarda M.Ö 4000 yıllarına Kalkolitik Döneme ait kesici araçlara, taş el baltalarına ve ilkel çanak çömleklere rastlanılmıştır. M.Ö 3000 yıllarından itibaren Hititlerin egemenliği altında kalan bölge daha sonra daha sonra Eritrea Krallığı egemenliğine girmiştir. Eritrea Krallığının en önemli ve zengin kenti Mimas yarımada da bulunmaktadır. M.Ö 5. yüzyılda Pers egemenliği altına giren Eritrea Büyük İskenderin Persleri yenmesiyle M.Ö 334 tekrar bağımsızlığını kazanmıştır. M.Ö 133'de Bergama Krallığının Roma İmparatorluğuna bağlanması ile Roma topraklarına katılmıştır. Bölge daha sonra Bizans (Doğu Roma) kenti olmuştur. Özet olarak bölge sırasıyla Yunanlılar, Persler, Romalılar ve Bizanslılar egemenlik kurmuştur (http-10; http-11 ; Metin, 2017). Antik dönemde önemli merkezlerden biri olan bölge, Helenistik ve Roma döneminde eski cazibesini yitirmiştir. 1086-1095 yılları arasında Çaka Bey tarafından Türkler'in

yönetimine giren bölge kısa süre sonra tekrar Bizanslıların eline geçmiştir. Daha sonra bölge Aydınogulları Beyliği yönetimine girmiştir. Yıldırım Beyazıt zamanında Osmanlı egemenliği altına giren bölge Ankara Savaşının (1402) ardından tekrar Aydınogulları Beyliğinin eline geçmiştir. 1425-1426 yılında Çelebi Mehmet bölgeyi tekrar Osmanlı topraklarına dâhil etmiştir. Bu dönemde bölgede Şeyh Bedreddin felsefesi hâkim olmuştur (http-11). Bu olay tarihe “Şeyh Bedreddin İsyanı” olarak geçmiştir. Birinci Dünya Savaşı sonrası işgal edilen bölge 17 Eylül 1922’de Büyük Zafer sonrası işgalden kurtulmuştur. Karaburun (Ahırlı) 1867’ye kadar İzmir Livasına bağlı bir nahiye olan bölge, 1868’de Çeşme kazasının nahiyelerinden biri olmuştur. 1902 yılında belediye olmuş, 1910 yılında ilçe sıfatını kazanmıştır (http-4; http-11).

3.1.4.8. Diğer özellikler

2010 yılında yapılan çalışmaya göre yarımada'nın % 9.15’i tarım arazisi, % 9.12’si orman, % 2.42’si kentsel ve kırsal yerleşme, %78 ‘i maki ve çıplak araziden oluşmaktadır. (Erdoğan vd., 2015). Bölge orman bakımından fakirdir. Yaklaşık 27.000 hektar çam ormanı bulunmaktadır. Ulaşımın diğer Ege kıyılarına nazaran zor olması sebebiyle yarımada nispeten korunmuştur. Fakat 2015 yılında başlayan yol çalışmasının yarımada'daki kentsel ve kırsal yerleşmeyi arttıracakı düşünülmektedir. Bunun yarımada'nın çok sınırlı fakat en önemli geçim kaynağı olan tarımsal üretimi olumsuz etkilemesi beklenmektedir. Yarımada zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir. Yarımada'da dağılmış 70 aileye ait 384 civarında bitki çeşidi bulunmaktadır. Bitki örtüsünü oluşturan başlıca bitkiler deliceler, kocayemiş, sandal, menengiç, kermez meşesi, teşbih, akça ağaç, sakız ve ladendir (Metin, 2017).

Karaburun faunası açısından çok zengindir. Yarımada’da Yaban domuzu, tilki, sansar, su samuru, porsuk, tavşan, sincap, yırtıcı kuşlar, tatlı su kaplumbağaları ve yengeçleri, bukalemun, kertenkele gibi çeşitli hayvanlar yaşamaktadır. Yarımada da yaşayan hayvanlar arasında tüm dünyada sayıları 500 ve ülkemizde ise 100’e düşmüş olan “Akdeniz Foku” (*Monachus monachus*) ve nesli tükenmeye yüz tutmuş “Ada Martısı” özellikle önemlidir (http-8)

3.2. Yöntem

Bu bölümde çalışmanın yöntemi, veri toplanması ve bu verilerin heyelan duyarlılık haritası için işlenmesi hakkında bilgi verilmektedir.

Çalışmanın temel yöntemi mevcut heyelan alanları ile parametre haritaların arasındaki ilişkinin frekans oranı yöntemi ve lojistik regresyon ile belirlenmesi ve bu ilişkiden yararlanarak heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasıdır. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ile ilgili literatür incelenerek Karaburun Yarımadası'nda heyelan riski oluşturabileceği düşünülen alanlar belirlenmiştir.

Öncelikle çalışmada ele alınan sorun, çalışmanın amacı ve önemi belirtilmiş daha sonra çalışmanın konusu ile ilgili teorik çerçeve çizilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın amacı, heyelan gibi yüksek kayıplı doğal afetler ile ilgili önleyici çalışmalar yapabilmek için gerekli altlığı oluşturabilmek olarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda heyelan yaşanması muhtemel alanların belirlenmesi, yani heyelan duyarlılık haritasının CBS ortamında üretilmesi çalışmanın uygulama amacıdır.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak heyelan ve kütle hareketi, heyelana sebep olan faktörler, heyelanların doğal afetleri içindeki yeri ve zararları gibi konular araştırılmıştır. Heyelana sebep olan faktörlerden doğal faktörler ve tetikleyici faktörler ayrı ayrı incelenmiştir. Kullanılacak parametrelerin belirlenmesinde bu faktörler özellikle önemlidir. Ardından CBS ve heyelan çalışmalarında kullanım alanları araştırılmıştır. CBS kullanılarak üretilen heyelan haritaları sınıflandırılmış, bu haritalardan heyelan duyarlılık haritaları üzerinde özellikle durulmuştur. Heyelan tehlikesinin önceden belirlenmesi için yapılan çalışmaların tarihçesi ve yöntemleri araştırılmış, bu yöntemlerden istatistik yöntemler üzerinde özellikle yoğunlaşmıştır.

Bu çalışma kapsamında çalışma alanı olarak Karaburun Yarımadası seçilmiştir. Karaburun Yarımadası'na ait heyelan duyarlılık haritasını hazırlanması çalışmanın somut çıktısıdır.

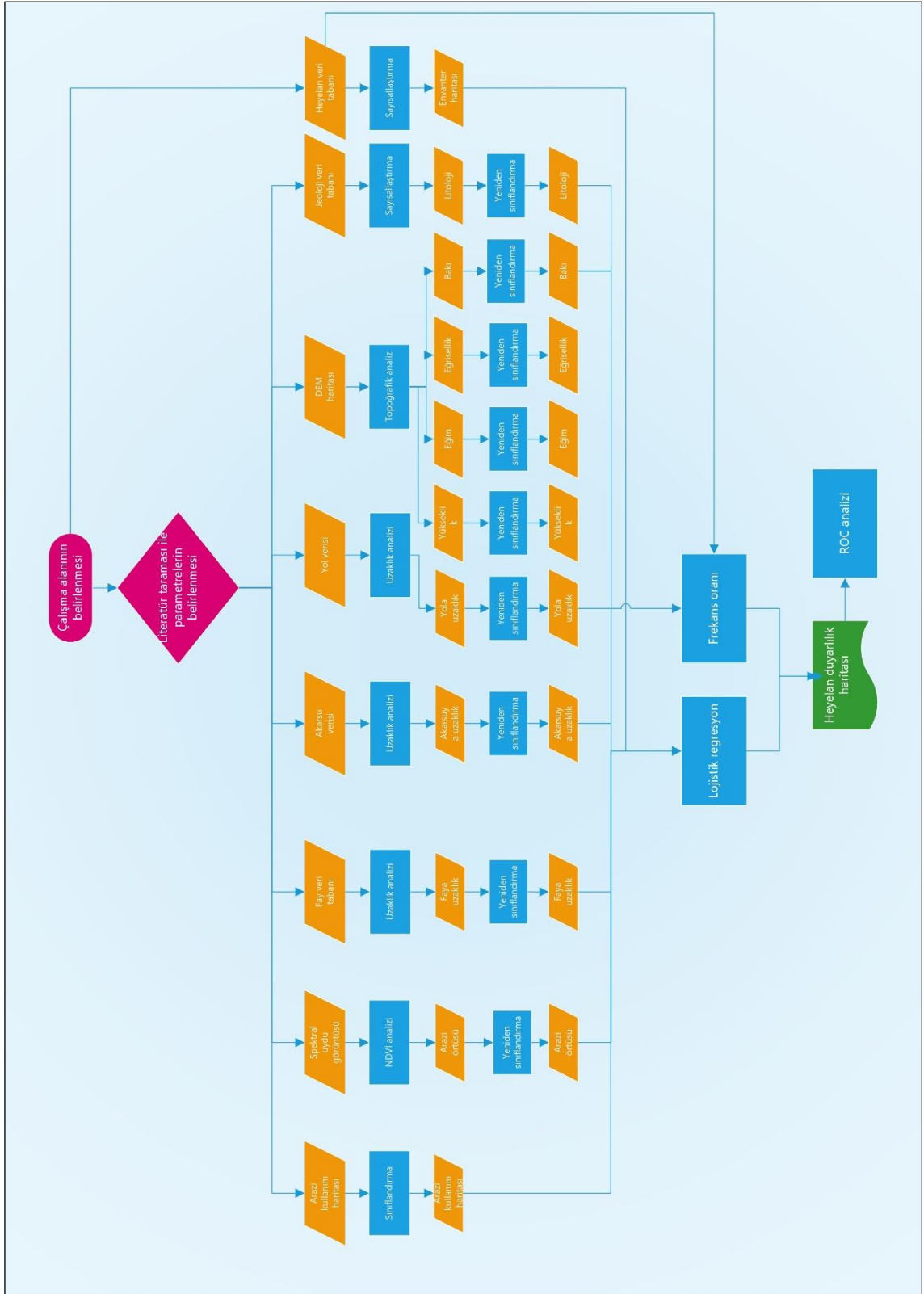
Çalışmanın amacı ve çalışma alanının belirlenmesinin ardından CBS ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan çalışma alanına ait veriler elde edilmiştir.

İlk olarak MTA veri tabanı kullanılarak İzmir İli heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Burada Karaburun Yarımadası yerine İzmir İli heyelanlarının seçilmesinin sebebi heyelanlar ve parametre haritaları arasındaki ilişkiyi kurabilmek için

Karaburun Yarımadası'nda sadece 3 heyelanın yer almasıdır. İstatiksel yöntemlerde ne kadar çok mevcut heyelan bilgisi olursa o kadar fazla doğruluk elde edilmektedir. Bu yüzden yarımadaadaki heyelan sayısı bu ilişkinin kurulabilmesi için yeterli bulunmamıştır. Heyelan oluşumunu etkileyen faktörler arasında gösterilen ve literatür taraması sonucu daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılmış olan bakı, yükseklik haritası, yamaç eğriselliği, eğim bilgilerini içeren parametre haritaları SYM'den üretilmiştir. Arazi kullanım, yol, akarsu, arazi örtüsü, litoloji, fay hattı bilgilerini içeren parametre haritaları ise mevcut kaynaklardan elde edilmiştir. Daha önce yaşanmış olan heyelanların yarımadanın kıyı kesimlerinde meydana geldiği değerlendirilerek kıyı çizgisi de heyelanı etkileyen faktörler arasına dâhil edilmiştir.

Çalışmada temel yöntem olarak frekans oranı ve lojistik regresyon kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde istatistiksel yöntemlerden frekans oranı ve lojistik regresyonun sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Frekans oranı yöntemi temelde heyelanlı bölgelerde parametre alt sınıflarının gözlenme sıklığını hesaplama prensibine dayanmaktadır. Lojistik regresyonda heyelanın (bağımlı değişken) varlığı ve yokluğu ile bağımsız değişkenler arasındaki (litoloji, eğim, bakı vb.) ilişki tanımlanır. (Ayalew and Yamagishi, 2005) Lojistik regresyonda amaç bağımlı değişkeni bağımsız değişkenlerden yola çıkarak en uygun modelle tahmin edebilmektir (Çokluk, 2010). Lojistik regresyon ile her bir parametrenin heyelan oluşumuna etkisini temsil eden ağırlıklar bulunmuş, bu ağırlıklar ile parametre haritaları karşılaştırılarak ilgili bölgenin heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritalarına ROC analizi yöntemi ile doğruluk analizi yapılmıştır.

Çalışmanın sonunda parametre haritalarının ağırlıklı karşılaştırılması sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritası değerlendirilmiş çalışma ile ilgili öneriler getirilmiştir. Şekil 3.4'de yöntem akış şeması özetlenmiştir.



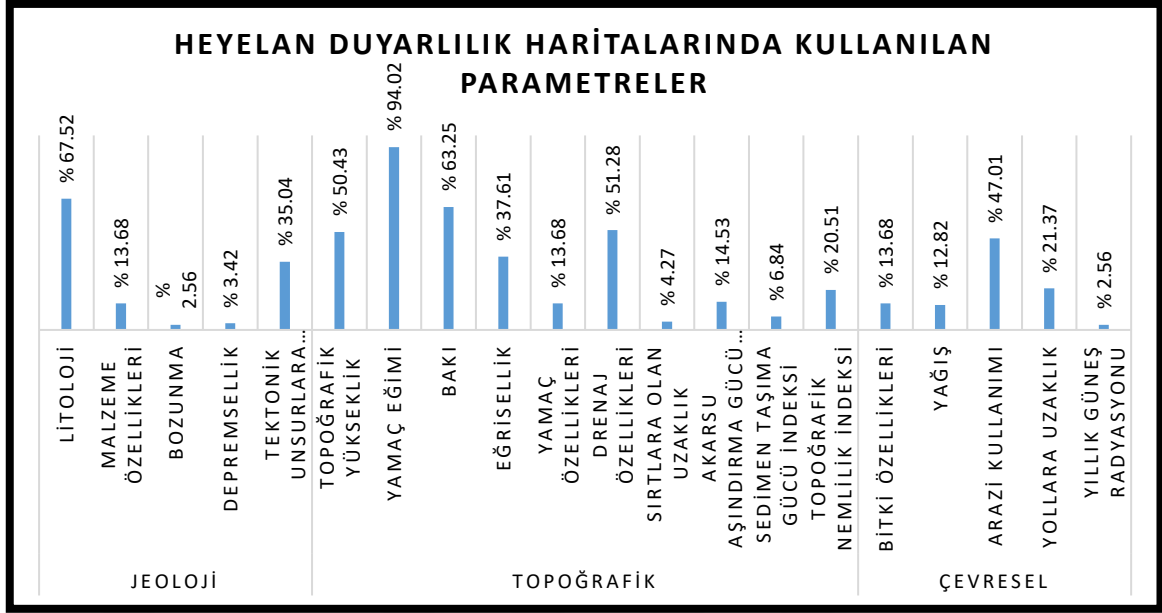
Şekil 3.6. Yöntem akış şeması

3.2.1. Kullanılacak parametrelerin belirlenmesi

Kullanılacak veriler belirlenirken daha önce yapılan çalışmalar ve literatür taramasından yararlanılmıştır. Heyelan duyarlık haritalarının üretilmesi çok yaygınlaşmasına karşın, üretilen haritalarda kullanılan parametrelerde ve hazırlama yöntemlerinde henüz bir görüş birliğine varılmamıştır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Çalışmada bu parametrelerin belirlenmesinde heyelan oluşumunu etkileyen genel faktörler ve daha önce yapılan çalışmalar kıstas olarak değerlendirilmiştir.

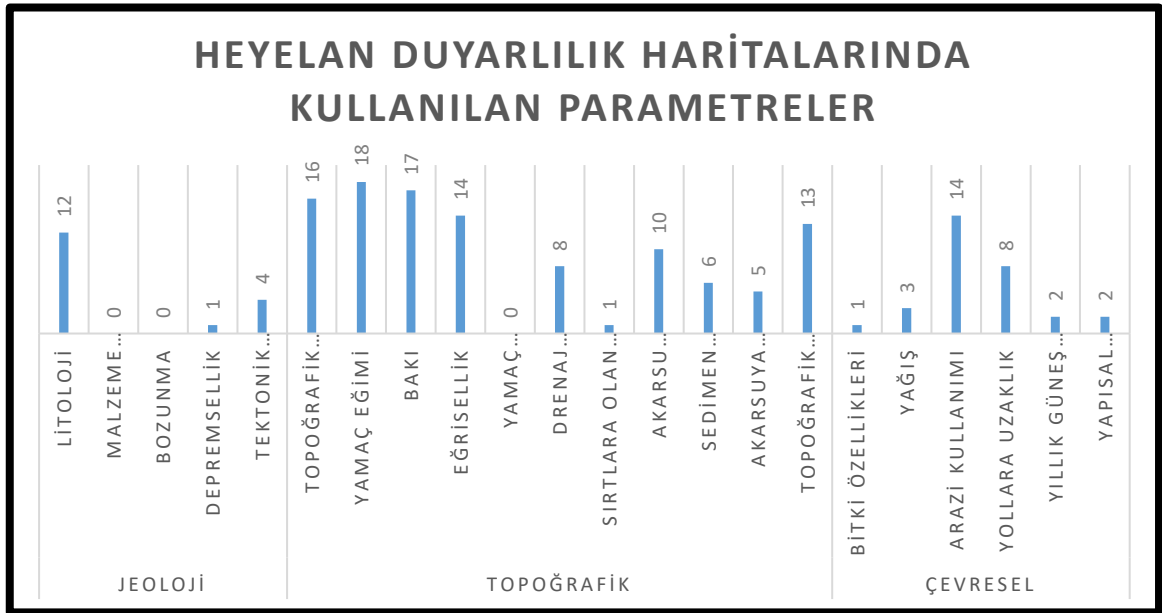
Heyelanlar çeşitli jeolojik, jeomorfolojik, iklimsel ve meteorolojik etkenler ile oluşabilmektedir. Buna ek olarak son dönemlerde insan faaliyetleri de heyelan oluşumunda etkili olmaktadır. Heyelan oluşumunu hazırlayan bu faktörlerin yanı sıra tetikleyici faktörler olarak ifade edilen harekete geçirici faktörler de bulunmaktadır (Ercanoğlu, Hasekioğulları, ve Günel, 2008). Gökçeoğlu ve Ercanoğlu'nun (2001) yaptığı çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının üretimi ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve incelenen 21 çalışmanın tamamında eğim parametresinin, 20 tanesinde litolojinin, 11 tanesinde ana faylara uzaklığın, 10 tanesinde yamaç eğim yönelimi ile topoğrafik yüksekliğin, 8 tanesinde ise drenaj ağı, bitki örtüsü ve arazi kullanım potansiyelinin kullanıldığı görülmüştür. Benzer bir çalışmada 2004 -2014 yılları arasında yapılmış olan 117 adet konuyla ilgili çalışma incelenmiş, kullanılan parametreler analiz edilmiştir. Bu analize göre yapılan çalışmaların %94.02'sinde yamaç eğimi, %67.52'sinde litoloji, %63.25'inde bakı, %51.28'inde drenaj özellikleri, %50.43'ünde topoğrafik yükseklik kullanılmıştır (AFAD, 2015). Tablo 3.2'de heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan parametrelerin yüzdelik oranları verilmiştir.

Tablo 3.2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler (AFAD, 2015)



Bu çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritası üretilmesi ile ilgili ülkemizde yapılmış olan 18 adet yüksek lisans ve doktora tezi incelenmiş ve kullanılan parametrelerin dağılımı aşağıda gösterilmiştir. Bütün bu çalışmalar sonucunda yaptığımız çalışmada litoloji, fay hattı, yükseklik, bakı, eğim, eğrisellik, arazi kullanımı, bitki örtüsü, yollara uzaklık, akarsuya uzaklık bilgilerini içeren parametre haritaları kullanılmıştır. Tablo 3.3’de incelenen 18 çalışmada kullanılan parametrelerin sayısı verilmiştir.

Tablo 3.3. İncelenen çalışmalarda kullanılan parametreler



3.2.2. Mevcut heyelan alanlarının belirlenmesi

Mevcut heyelan alanlarının belirlenmesi için MTA yerbilimleri veri tabanı kullanılmıştır. İlgili veri tabanının internet portalından sayısallaştırma işlemi yapılarak heyelan envanter haritası hazırlanmıştır. MTA veri tabanında Karaburun Yarımadasında 3 adet heyelan meydana gelmiştir. Bu sayı istatistiki değerlendirmeler için yetersiz bulunmuş, İzmir İli sınırları içerisindeki bütün heyelanlar analiz için kullanılmıştır. Bu sınırlar içerisinde aktif heyelan ve eski heyelan olarak toplam 33 adet heyelan bulunmaktadır.

3.2.3. Topoğrafik analiz

Topoğrafik analiz için ASTER Global Dijital Yüksekli Modeli (ASTER GDEM) verileri kullanılmıştır. Bu veriler ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI) tarafından ortaklaşa geliştirilmektedir. İnternet portalı EarthExplorer bu verileri ücretsiz olarak yayınlamaktadır (<http://13>). İzmir İline ait 30 m çözünürlüklü bu SYM'den ArcGIS programı kullanılarak eğim, eğrisellik, bakı parametre haritaları üretilmiştir.

3.2.4. Parametre verilerinin üretilmesi

Çalışmada kullanılan diğer parametre haritaları mevcut veri kaynaklarından vektör ve raster veri olarak veya sayısallaştırarak üretilmiştir. Litoloji ve fay hattı verisi MTA yerbilimleri veri tabanından sayısallaştırılarak üretilmiştir. Arazi kullanımı verisi CORINE projesi kapsamında üretilen Avrupa arazi kullanım haritasından üretilmiştir. Veri, ilgili projenin internet portalından ücretsiz olarak indirilmiştir. Akarsu verisi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden vektör veri olarak temin edilmiştir. Yol verisi açık Türkiye Ulusal Coğrafi Veri Portalından temin edilmiştir.

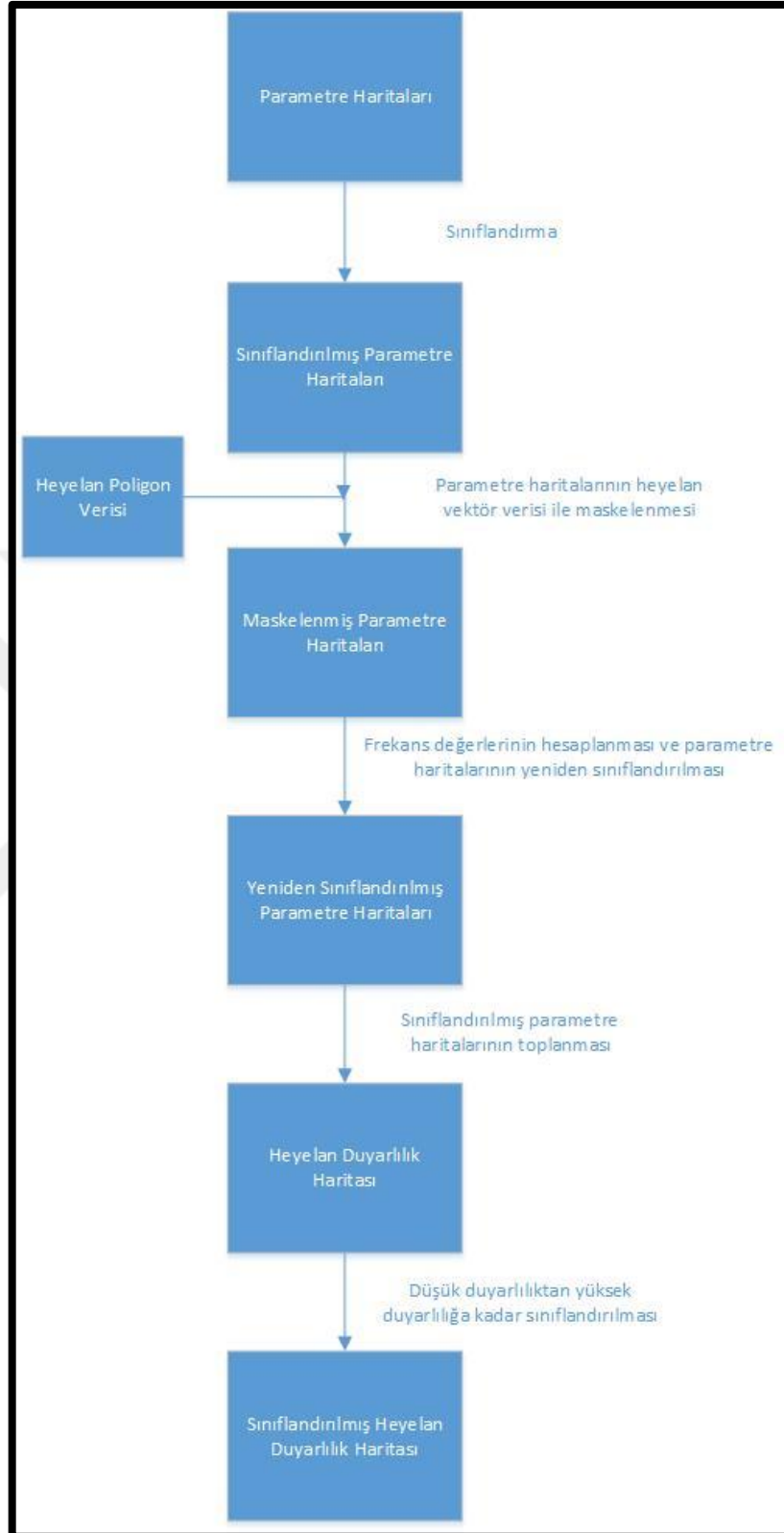
3.2.5. Verilerin analizi

Veriler istatistiki yöntemlerden frekans oranı yöntemi ve lojistik regresyon yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Frekans oranı yönteminde çalışma alanındaki parametre haritalarının alt katmanları ile heyelanlı alanların ilişkisi kurulmaktadır. Frekans oranı metodu bir olasılık modeline sahip olup, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanabilmektedir (Ataol ve Yeşilyurt, 2014). Bu yöntemde parametre haritasındaki her bir alt katmanın heyelan alanına denk gelen piksel sayısı bulunmuş daha sonra bu değerden heyelanlı alanlardaki alt katmanların frekans oranları hesaplanmıştır. Bu yöntem heyelan duyarlılık alanlarının belirlenmesinde, parametre haritalarının alt katmanları ile beraber nesnel bir şekilde ağırlıklandırılmasını sağlamaktadır. Frekans oranında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$FR = PLO \setminus PIF \quad (3.1)$$

Burada *PLO* heyelanı etkileyen her bir alt kategorinin içindeki heyelan varlığının yüzdesi, *PIF* ise heyelanı etkileyen her bir alt kategorinin parametre haritası içerisindeki yüzdesini vermektedir. Bu formülden hesaplanan frekans oranı parametre haritasının ağırlıklandırılmasında kullanılmaktadır (Erener ve Lacasse 2007; Demir, 2018). Ağırlıklandırılan parametre haritalarının toplanması ile oluşan harita heyelan duyarlılık haritasıdır. Bu haritadaki düşük değerler düşük heyelan duyarlılığına sahip bölgeleri gösterir iken yüksek değerler yüksek heyelan duyarlılığına sahip bölgeleri göstermektedir. Bu değerlerin eşit aralıklar ile yeniden sınıflandırılması ile heyelan duyarlılık haritasının son hali elde edilmektedir. Şekil 3.5'te frekans oranı ile heyelan duyarlılık haritası üretilmesinin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Frekans yöntemi ile heyelan duyarılık haritası üretimi akışı

Lojistik regresyon, bağımlı değişkenin ikili veya çoklu kategorilerde gözlemlendiği durumlarda bağımsız değişkenlerle ilişkisini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Bütün istatistik yöntemler aynı amaçla kullanılmakla beraber bu yöntemler arasındaki fark en uyumlu ilişkinin belirlenebilmesidir. Lojistik regresyon yönteminde, yanıt değişkeni doğrudan çözümlenememektedir. Bununla beraber lojistik regresyonda doğrusal regresyon analizindeki varsayımların hiçbirisi aranmaz. Bu da lojistik regresyonu daha fazla tercih edilen bir yöntem haline getirmektedir. Lojistik regresyonda son zamanlarda bu amaçla sıkça kullanılmaktadır. Burada bağımlı değişken iki kategorili olabileceği gibi çoklu kategorili de olabilir (Hosmer and Lemeshow, 2000; Çokluk, 2010). İki kategorili durumda var-yok, yaşıyor-ölü seçenekler alabileceği gibi çoklu kategoride çok etkili-orta etkili-etkisiz, çalışıyor-çalışmıyor-emekli gibi seçenekler olabilir. Çalışmamızda bağımlı değişken heyelan var ve heyelan yok seçeneklerini içermektedir. Lojistik regresyonda aşağıdaki formüldeki katsayılar Y 'nin aldığı "0" ve "1" değerlerine göre tahmin edilmektedir.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots\dots\dots b_nX_n \quad (3.2)$$

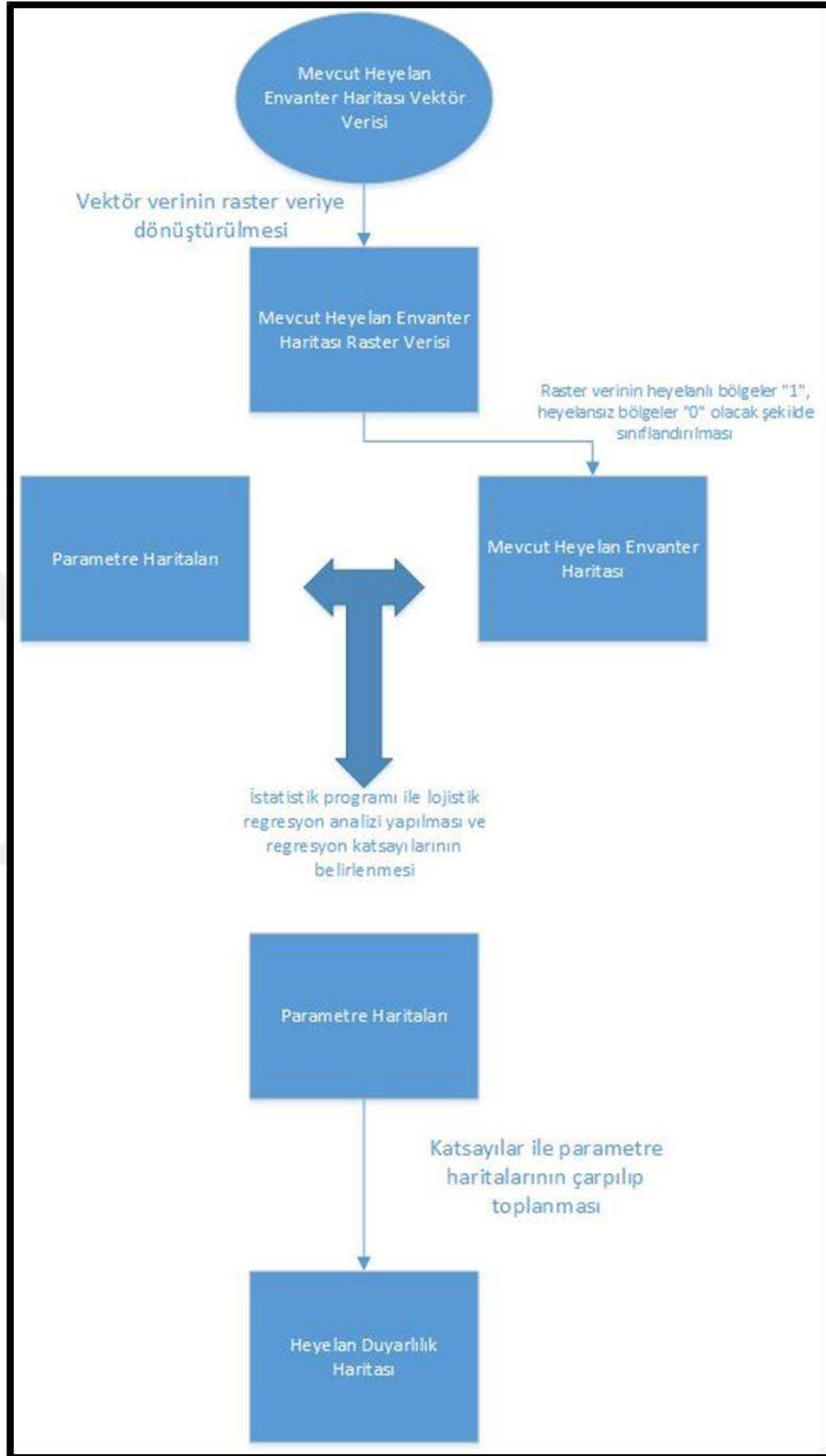
Burada Y olayın olma olasılığını, X_n heyelana sebep olan parametrelerden herbirini, b_n ise bu parametrelerin heyelana etkisini belirten katsayıları temsil etmektedir.

İkili lojistik regresyonda lojistik fonksiyon "0" ile "1" arasında bulunmak zorundadır. Lojistik model için asla "1"'in üstünde veya "0"'ın altında bir tahminde bulunamayız. Analizle elde ettiğimiz katsayılardan bulduğumuz Y değerini aşağıdaki formül ile "0" ile "1" arasındaki bir olasılık değerine dönüştürürüz (Kleinbaum & Klein, 2002). Bu olasılık değeri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$f(Y) = \frac{1}{1 + e^{-Y}} \quad (3.3)$$

Burada Y olayın olma olasılığını, e doğal logaritmayı temsil etmektedir.

Şekil 3.6'de lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretilmesinin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretimi akışı

3.2.6. Parametre haritaları

3.2.6.1. Yükseklik parametresi

Yükseklik parametresi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde sıklıkla kullanılan parametrelerden biridir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yükseklik göreceli yüksekliktir. Çalışma alanının başlangıç kotu “0”’dan başladığı için göreceli yükseklik haritası olarak sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Parametre kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların yaklaşık %50’sin de yükseklik verisi kullanılmıştır (AFAD, 2015; Dağ vd., 2011). Yüksekliğin heyelana etkisine dair farklı görüşler mevcuttur. Genelde yüksek kotlardaki bölgeler daha düşük kotlardaki bölgelere göre daha duyarlı değerlendirilmektedir. Buna sebep olarak yüksek bölgelerin daha yoğun yağış alması gösterilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Benzer bir değerlendirme orta yükseklikteki alanların yüksek kotlardan gelen malzemeler sebebi ile heyelana daha duyarlı olduğu şeklinde de yapılmaktadır (Dağ vd., 2011). Çalışmada ASTER GDEM verisi kullanılmıştır. Yükseklik parametresi her 100m’ye göre alt sınıflara ayrılmıştır (AFAD, 2015; Yılmaz, 2009)

3.2.6.2. Bakı parametresi

Bakı haritası çalışma alanının yamaç yüzeylerinin baktığı yönleri gösteren haritadır. Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Heyelanla ilişkisi iklim koşullarının heyelanı etkilemesindeki dolayımından kaynaklanmaktadır. Nem tutma ve bitki örtüsü, toprak kaymalarını ve kuvvetini yamacın yönü aracılığı ile etkilemektedir. Yamaç yönünün aldığı güneş veya rüzgâr yamaç yönündeki nemi, bitki örtüsünü belirler (Dai and Lee, 2002). Yamaçların yoğun yağış alan yüzeyleri diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşmaktadır. Toprağın suya doygunluğu yamaçları heyelana daha duyarlı hale getirmektedir (Dağ vd., 2011).

Yamaç yönelimi haritası SYM’den ARCGIS programındaki aspect komutu ile üretilmiştir. Programın verdiği aç haritası yönlere göre sınıflandırılmıştır (Akgün, 2007; AFAD, 2015; Ayalew and Yamagishi, 2005; Lee and Dan, 2005; Yılmaz, 2009).

3.2.6.3. Eğim parametresi

Eğim haritası yamaç yüzeylerinin eğimini açı cinsinden gösteren haritadır. Daha önce yapılan çalışmaların yaklaşık % 90'ında eğim parametresi kullanılmıştır. Heyelana sebep olan ana sebeplerden birisi yamaç eğimidir. Yerçekimi kuvveti yamaç şevine düşey doğrultuda etkide bulunmakla beraber malzemeyi hareket ettirici yatay bileşene de sahiptir. Şev açısı arttıkça yatay kuvvet ve dolayısıyla malzemenin hareket etme olasılığı da artmaktadır (Monroe and Wicander, 2007). Eğim yamacın üst kısımlarındaki malzemenin yerçekimi etkisi ile stabilitesini yitirmesinin ana faktörüdür. Yüksek eğime sahip bölgeler yüzey malzemesinin olmaması sebebi ile genelde sağlam kayalardan oluşmakta iken, yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak 20° – 40° derece arası eğimlerin heyelan oluşumuna daha duyarlı olduğu görülmüştür. Yüksek eğime sahip bölgelerde genelde sağlam kayalar bulunmaktadır (Koukis and Ziourkas, 1991; Dağ, vd., 2011; Pachauri and Pant, 1992).

Eğim haritası SYM'den ARCGIS programındaki slope komutu ile üretilmiştir. Eğim parametresi kendi içinde 10°'lik alt sınıflara ayrılmıştır (AFAD, 2015; Akgün, Dag ve Bulut, 2008)

3.2.6.4. Yamaç eğriselliği parametresi

Yamaç eğriselliği heyelan duyarlılık analizinde sıklıkla kullanılan parametrelerden biridir. Literatür taramasında incelediğimiz çalışmaların % 80'inde yamaç eğriselliği kullanılmıştır. Yamaç eğriselliği arazinin içbükey ve dışbükey olan yerlerini göstermektedir. “0” dan küçük değerler içbükey, “0” olan değerler düz. “0” dan büyük değerler ise dışbükey bölgeleri göstermektedir. Yamaç eğrisellikleri; yüzey akış durumunu kontrol etmesi bakımından oldukça önemlidir (Elmacı, Tekin ve Ünsal, 2017; Costanzo vd., 2012). Moloz ve çamur akışları genelde içbükey eğrilikte meydana gelmektedir (Ayalew, Yamagishi and Ugawa, 2003).

Heyelanlar sınıflandırılırken içbükey ve dışbükey durumları kendi içinde sınıflandırılarak 6 sınıfa ayrılmıştır (AFAD, 2015; Ozdemir ve Altural, 2013). Yamaç eğriselliği haritası ArcGIS programındaki curvature komutu ile çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden elde edilmiştir.

3.2.6.5. Arazi kullanımı parametresi

Literatür taramasında incelenen çalışmaların % 80'in de arazi kullanımı heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bir parametre olarak kullanılmıştır. Arazi kullanımı parametresi büyük oranda bitki örtüsü dağılımıyla benzeşse de aralarında farklılıklar mevcuttur. Arazi kullanımındaki değişimlerin heyelana olan etkisi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalar orman alanlarının azalması, kentleşme gibi değişimlerin heyelan duyarlılığını arttırdığını göstermektedir (Reichenbach vd., 2014; Karslı vd., 2009; ÇEM, 2016) . Arazi kullanım verisi olarak 100 m çözünürlüklü Corine Land Cover (CLC) 2018 verisi kullanılmıştır.

3.2.6.6. Bitki örtüsü parametresi

Heyelan duyarlılık kullanılan parametrelerin seçimi ile ilgili yapılan çalışma da bitki örtüsü parametre haritasının bu çalışmaların %40'ında kullanıldığı belirtilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Kütle hareketlerinde bitki örtüsünün yüzey suyunu kontrol ederek, toprak tabakasını bir arada tutması açısından zemin duraylılığını artırıcı bir etkisi vardır. Bitki örtüsünün olmaması heyelanı oluşumunu sağlayan doğal nedenlerden kabul edilirken, bitki örtüsünün yok edilmesi yapay nedenlerden kabul edilmektedir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

Bitki örtüsü parametre haritası Landsat 8 TM isimli farklı bantlara sahip uygu görüntüsünden NDVI analizi yapılarak üretilmiştir.

3.2.6.7. Jeolojik formasyon parametresi

Litoloji parametresi bugüne kadar yapılan çalışmaların neredeyse tümünde kullanılmıştır (AFAD, 2015; Akgün, 2007). Genel olarak heyelan meydana gelmesi muhtemel olan bölgelerin jeolojik durumuna bakıldığında; dayanımı düşük kil, şilt, kil taşı, birimlerinin suya doymun hale gelmesiyle üst kısımlarında kayma gösterdiği ve şist gibi yoğun metamorfizmaya uğramış birimlerin su ve yüzey şartlara bağlı olarak bozuşması neticesinde, kohezyonunu kaybedip kayması şeklinde heyelan meydana geldiği görülmektedir. Bu birimlerde heyelan görülme olasılığı diğer jeolojik birimlere göre daha yüksek olduğu bilinmektedir. Çalışmada kullanılan litoloji haritası MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizimi web sayfasından sayısallaştırılmıştır.

3.2.6.8. Yola uzaklık parametresi

Yola mesafe heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan parametrelerden birisidir. Yol çalışmaları ve yol şevleri heyelanı tetikleyici mekanizmalar arasında değerlendirilmektedir. Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafya da hem de yamaç topuğunda yük azalmasına sebep olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının gelişmesine neden olmaktadır (Yalçın, 2007). Benzer şekilde yol çalışmalarında yapılan yapıların yetersizliği de heyelana sebep olmaktadır. Heyelan riski olan bölgelerde şevlerin eğiminin azaltılarak mevcut yükün azaltılması gerekmektedir (Ataol ve Yeşilyurt, 2014).

Yollar alt gruplara ayrılırken 50 m’lik mesafelerle sınıflandırılmıştır (Akgün, Dag ve Bulut, 2008; AFAD, 2015). Çalışma alanındaki heyelanlar özellikle yollara 500 m’lik mesafelerde yoğunlaşmıştır. Mevcut yollar Open Street veri tabanından vektör veri olarak temin edilmiş, rastera dönüştürülmüş ve ArcGIS programındaki buffer analizi ve distance komutu ile yola uzaklık haritası elde edilmiştir.

3.2.6.9. Akarsuya uzaklık parametresi

Literatür taramasının yapıldığı çalışmaların % 25’inde akarsuya uzaklık heyelan duyarlılık parametresi olarak kullanılmıştır. Akarsuya uzaklığın kullanılmadığı çalışmalarda ise akarsu taşıma gücü indeksi, drenaj özellikleri gibi akarsu ile ilgili diğer parametreler kullanılmıştır. Akarsular yamaç topuğunu tıraşlayarak veya akarsuya seviyesine kadar olan kısmı suya doymun hale getirmesi, zeminin kayma direncini azaltmakta ve heyelana sebep olmaktadır (Demir, 2018; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Çalışma alanındaki akarsular ArcGIS programı Hydrology aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra buffer analizi ve distance aracı ile akarsuya uzaklık haritası üretilmiştir. Akarsuya uzaklık parametre haritası 100 m’lik uzaklıklara göre yeniden sınıflandırmaya tabii tutulmuştur (Mohammady, Pourghasemi and Pradhan, 2012)

3.2.6.10. Faya uzaklık parametresi

Depremler en önemli heyelan tetikleyici mekanizmalardan birisidir. Depremlerin yol açtığı titreşimler yamaç duraysızlığına yol açmaktadır. Dünyada yaşanan büyük

heyelanların önemli kısmı depremlerden sonra oluşmaktadır. Yamaç şevlerinin stabilitesini bozan en önemli sebeplerden biri yükleme koşullarındaki değişikliklerdir. Statik olarak dengede olduğu bilinen şevlerin deprem sırasında veya sonrasında stabilitesinin bozulduğu bilinmektedir (Siyahi, 1994).

Daha önce yapılan heyelan duyarlılık çalışmaları incelendiğinde yapılan çalışmaların yaklaşık % 40'ında deprensellik ve tektonik unsurlara uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan fay verileri MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizimi web sayfasından sayısallaştırılmıştır. ArcGIS programında yer alan buffer analizi ve distance aracı ile faylara uzaklık haritası üretilmiştir.

Faya uzaklık parametresi faya 50 m'lik uzaklıklara göre sınıflandırılmıştır (Özşahin, 2013; Ozdemir ve Altural, 2013).

3.2.7. Frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası

Mevcut heyelanlı alanlar belirlenmiş, çalışma alanının kuzeyinde Çandarlı Körfezi civarında bulunan ve çok büyük bir alanı kaplayan heyelan istatistiksel sonuçları etkileyebileceği için işleme dâhil edilmemiştir. Toplam 33 adet heyelan analize dâhil edilmiştir. Bütün verilerin koordinat sistemleri kontrol edilmiş, farklı koordinat sisteminde bulunan veriler koordinat dönüşümü yapılarak bütün verilerin WGS84 Zone 35 datumunda aynı koordinat sistemini kullanması sağlanmıştır. Piksel büyüklükleri farklı olan verilerin piksel büyüklükleri 30 metreye sabitlenmiştir. Bu heyelanlara ait ve Sınıflandırma tablosu aşağıdaki gibidir. Çalışma alanındaki parametre haritaları oluşturulduktan sonra parametre haritaları alt gruplarına göre yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işleminde uygun alt sınıfların sınırları olarak literatürdeki çalışmaların sınıflarından yararlanılmıştır. Parametre alt sınıfları EK-3.1'de gösterilmiştir.

Bu sınıflandırmanın ardından her bir alt grubun heyelanlı bölgedeki piksel sayısı hesaplanmıştır. Bu piksel sayılarını bulabilmek için sınıflandırılmış parametre haritaları heyelan alanlarının poligon vektör verisi ile maskelenmiştir. Hesaplanan frekans değerleri EK-3.2 gösterilmiştir.

EK-3.2'de gösterilen frekans değerleri tablosunda HAPS parametre alt sınıfının heyelanlı alandaki piksel sayısını, TAPS parametre alt sınıfının toplam alandaki piksel

sayısını, HPS heyelanlı alanlardaki toplam piksel sayısını, TPS toplam piksel sayısını, FR ise hesaplanan frekans oranı değerini göstermektedir.

Hesaplanan frekans oranlarına göre yeniden sınıflandırılan parametre haritaları ArcGIS programındaki Raster Calculator aracı kullanılarak toplanır. Toplama işlemi sonucunda değerleri 295- 877 arasında değişen İzmir İli heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Bu harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarını içeren 5 sınıfa ayrılacak şekilde yeniden sınıflandırılmıştır.

3.2.8. Lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası

Lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretiminde öncelikle mevcut heyelan sahaları vektör veriden raster veriye dönüştürülmüştür. Mevcut heyelanlı bölgeler 1, heyelan olmayan alanlar 0 kabul edilerek heyelan envanter haritası tekrar sınıflandırılmıştır. Lojistik regresyonda frekans oranından farklı olarak parametre haritalarının alt gruplandırılması gerekmez. Bu yüzden yola, faya, akarsuya uzaklık haritaları ve diğer parametre haritaları yeniden sınıflandırma yapılmadan kullanılmıştır.

Çalışma sahası Karaburun Yarımadasındaki heyelan envanteri yeterli bulunmadığı için İzmir İli sınırları olarak belirlenmiştir. İzmir İli sınırları seçildiğinde kurulan regresyon denklemi R^2 değeri çok düşük bulunmuş model anlamlı bulunmamıştır. Bu yüzden sınırlar Çeşme ve Karaburun Yarımadasının tamamı olarak değiştirilmiştir. Heyelan envanter haritasına ait raster harita nokta cinsinden vektöre veriye dönüştürülmüş, ArcGIS'teki Extraction aracındaki Extract Multi Values to Point komutu ile her bir heyelan noktasındaki 1 ve 0 değerine karşılık gelen parametre değerleri bulunmuştur.

Lojistik regresyon analizi SPSS Statistics yazılımı ile yapılmıştır. İlk olarak düzensiz veriler ayıklanmış daha sonra bütün veriler analiz edilmiştir. Yapay R^2 değeri istatistiksel modelin uyumluluğunu gösteren ve 0 ile 1 arasındaki bir değerdir. 1 mükemmel uyumu simgelerken, 0 uyumsuzluğu simgelemektedir.

4. BULGULAR

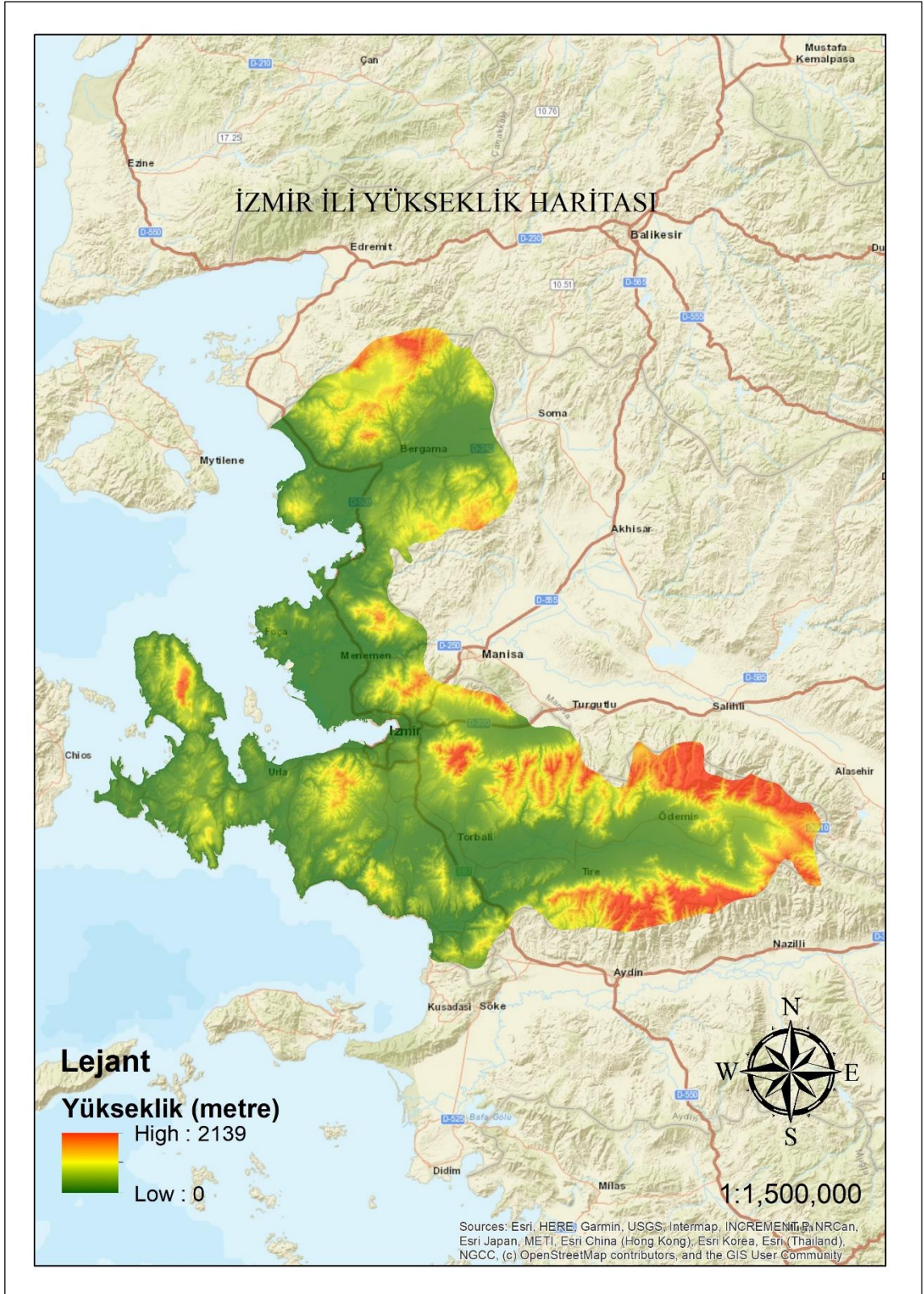
Yüksek lisans tezinin bu bölümünde çalışmanın Materyal ve Yöntem Bölümünde aktarılan veriler ve yöntemlerin kullanılması sonucu elde edilen parametre haritaları ile çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritaları verilmiştir. Heyelan duyarlılık haritaları frekans oranı ve lojistik regresyon olmak üzere farklı iki yöntemler elde edilmiştir.

4.1. Parametre Haritaları

Bu bölümde heyelan duyarlılık haritası üretimi için hazırlanan, çalışma alanına ait parametre haritaları verilmiştir.

4.1.1. Yükseklik haritası

Yükseklik haritası ASTER GDEM verisinden topoğrafik analiz ile elde edilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanlar özellikle 300 ile 900 metre arasında yoğunlaşmıştır. 1000 metrenin İzmir genelinde heyelana rastlanmamıştır. Karaburun Yarımadasındaki heyelanlar kıyı bölgelerinde yer almakta, en yüksek 200 m'lik yükseklikte yer almaktadır. Yerleşim alanlarının da genelde düşük yüksekliklerde yer aldığı gözlenmiş olup yükseklik açısından değerlendirildiğinde yerleşim alanlarının riskli olduğu düşünülmektedir. Yükseklik parametresine ait harita Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

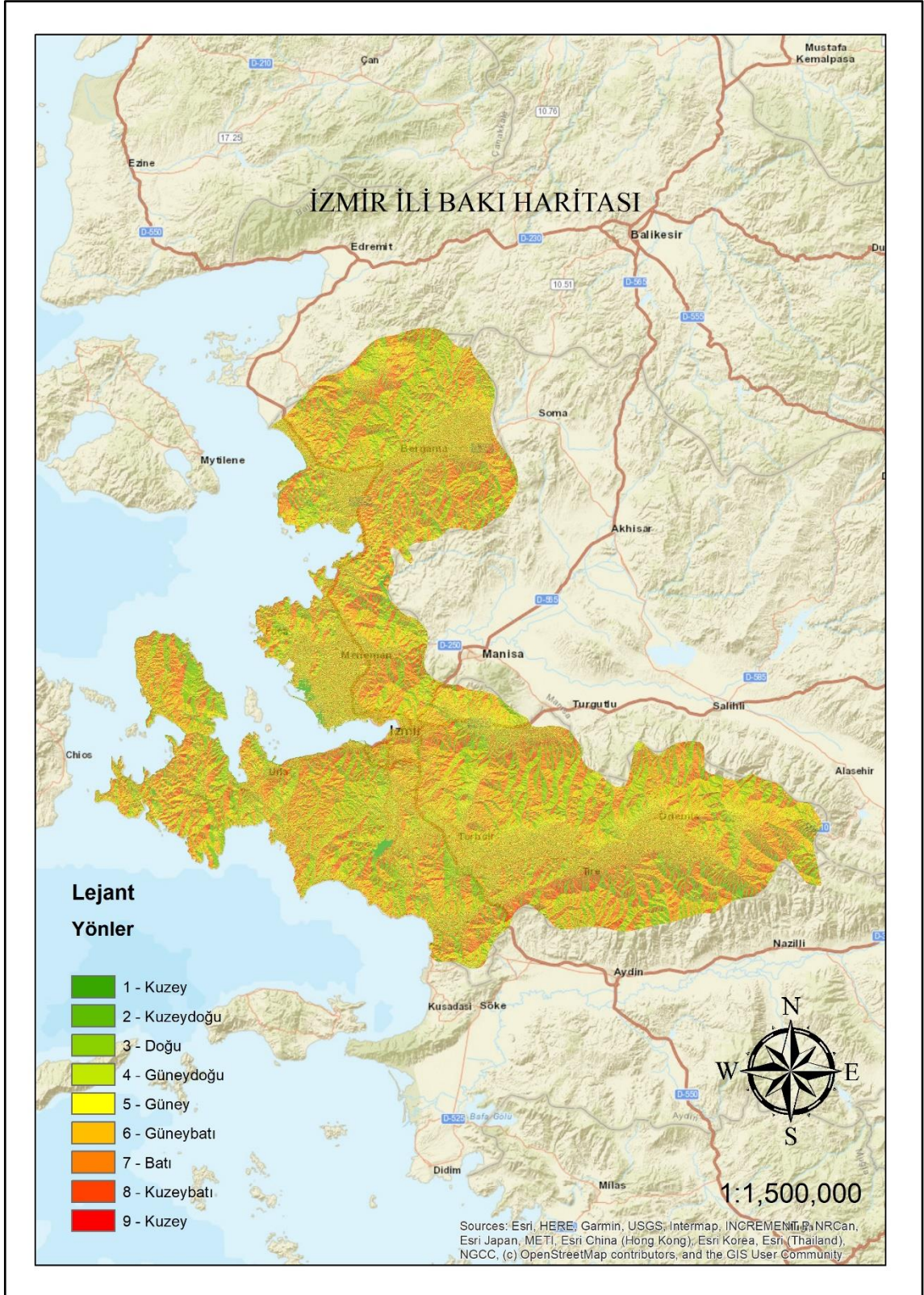


Şekil 4.1. İzmir ili yükseklik haritası

4.1.2. Bakı haritası

Bakı haritası SYM'den yön analizi yapılarak üretilmiştir. ARCGIS programındaki aspect komutu bu işlemi yapmaktadır. İzmir İlinin bütününe baktığımızda heyelanların güneydoğu, güney ve güneybatı yönlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yarımadaadaki heyelanların % 65'i kuzey ve kuzeydoğu yönlerinde yaşanmıştır. Bakı parametresinin, heyelanla ilişkisi iklim koşullarının heyelanı etkilemesindeki dolayımından kaynaklanmaktadır. Yarımada kuzey ve kuzeydoğu yönlerinde heyelan oluşumuna bu kadar çok rastlanmasının sebebinin iklim ile ilişkisi irdelenmelidir. Bakı parametresine ait harita Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



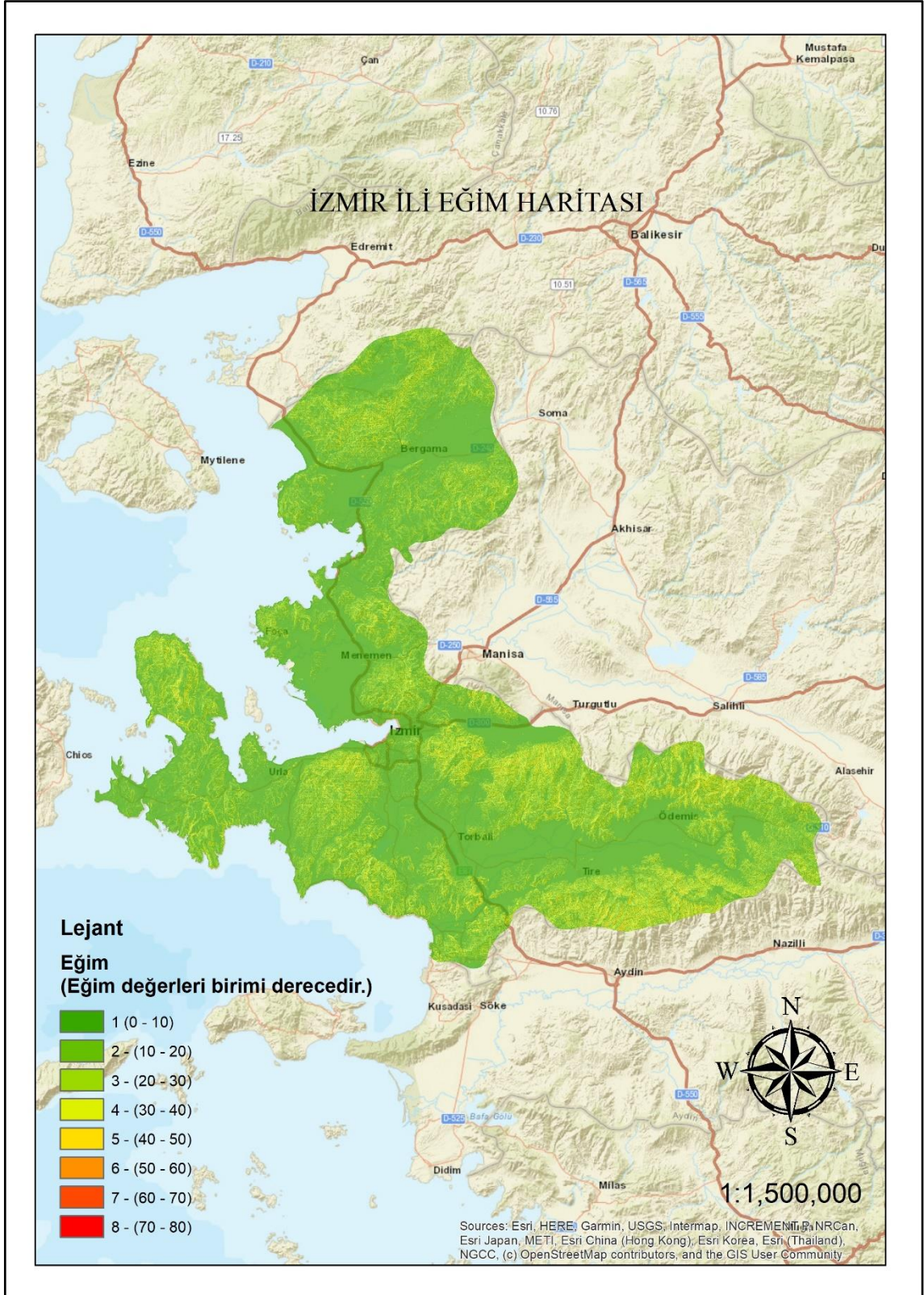


Şekil 4.2. İzmir ili baki haritası

4.1.3. Eğim haritası

Eğim haritası SYM'den eğim analizi yapılarak üretilmiştir. ARCGIS programındaki slope komutu bu işlemi yapmaktadır. Yapılan analizler sonucu İzmir İli sınırları içerisinde oluşan heyelanların % 97'si 0° - 30° derecelik eğime sahip bölgelerde görülmektedir. Yarımada'daki heyelanlar ise 0° - 20° derecelik eğime sahip bölgelerde yaşanmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda genelde 20° – 40° arasında heyelanlara rastlandığı belirtilmekle beraber çalışma alanımızda farklı bir sonuca rastlanmıştır. Eğim parametresine ait harita Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



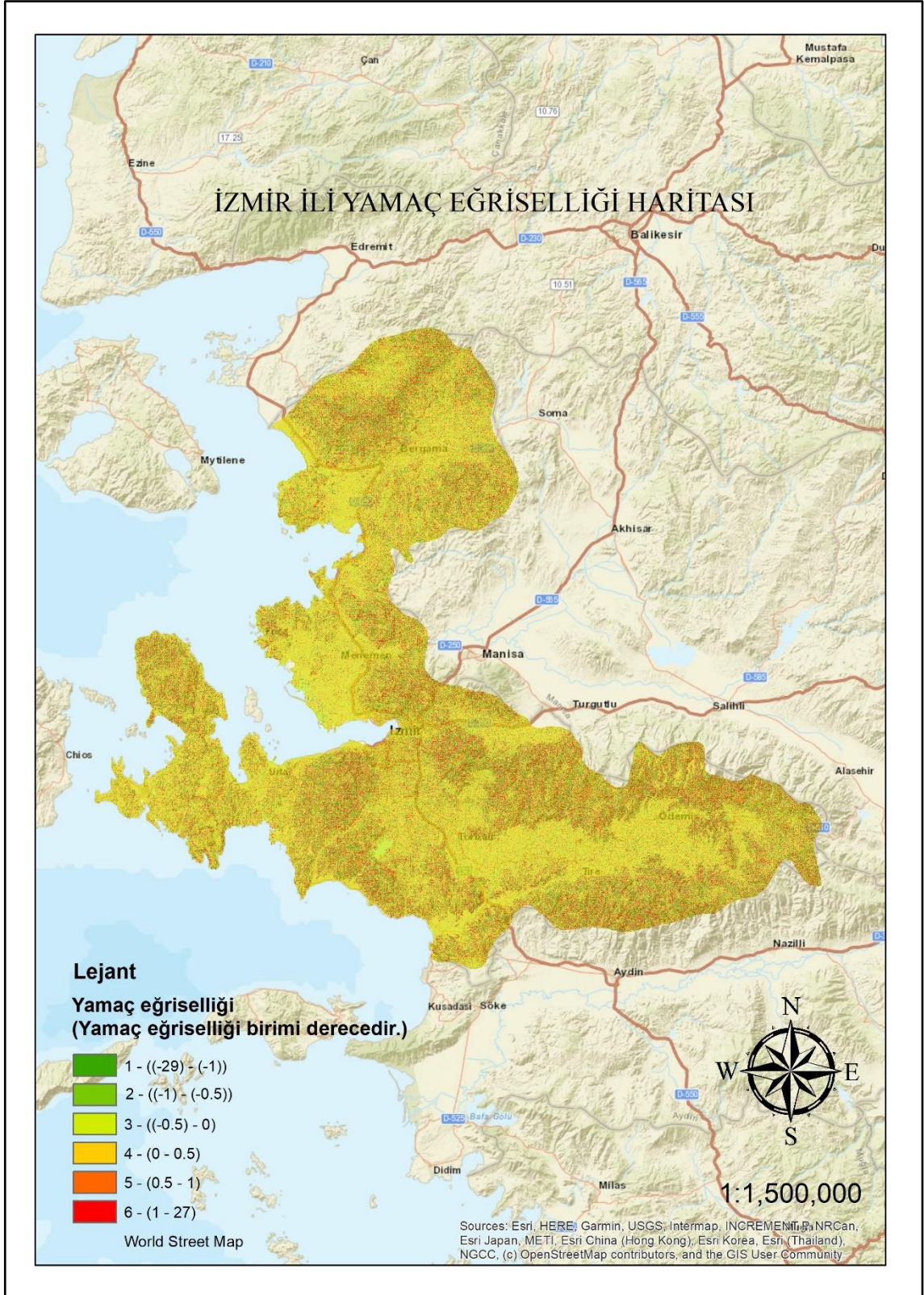


Şekil 4.3. İzmir ili eğim haritası

4.1.4. Yamaç eğriselliği haritası

Yamaç eğriselliği haritası SYM'den üretilmiştir ve yamaçların iç bükey veya dış bükey olduğunu gösterir. Bu analiz ARCGIS programında curvature komutu ile yapılmaktadır. İzmir ilinde heyelanların yaşandığı bölgeler genelde üç tip eğriliği de içermektedir. Yarımada da yaşanan heyelanların % 50'si içbükey yamaçlarda yaşanmıştır. Literatürde heyelanların genelde içbükey yamaçlarda oluştuğu belirtilmektedir. Yamaç eğriselliği haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.4'de gösterilmektedir.

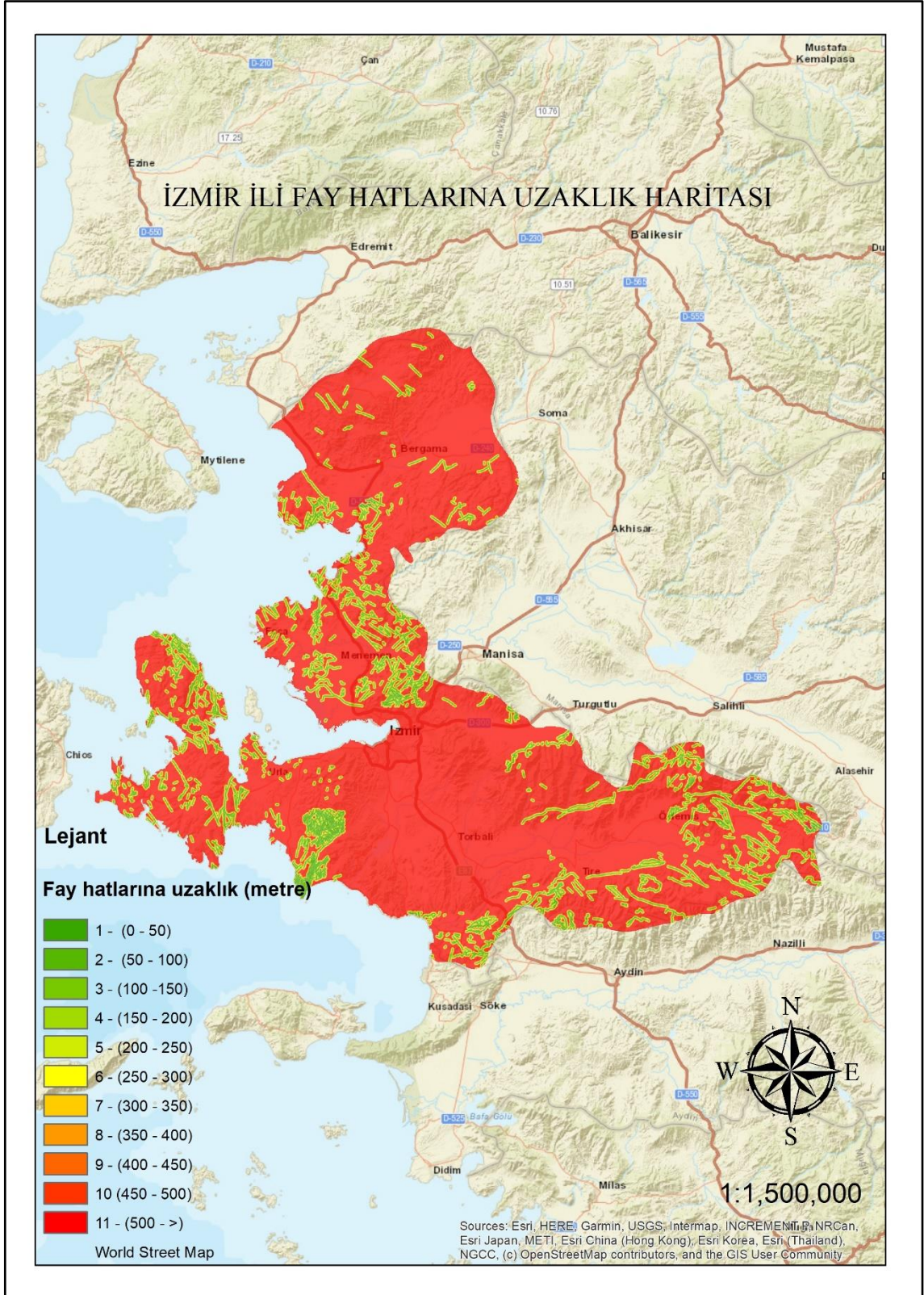




Şekil 4.4. İzmir ili yamaç eğriliği haritası

4.1.5. Fay hatlarına uzaklık haritası

Fay hatlarına uzaklık haritası fay verilerinin MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizimi web sayfasından sayısallaştırılması ve ardından buffer analizi ile 50 m'lik bantlara ayrılması ile üretilmiştir. Daha sonra bu vektör veri rastera dönüştürülmüştür. İzmir İli sınırları içerisinde yaşanan heyelanların % 52'si ilk 500 m'lik bant içerisinde meydana gelmiştir. En büyük heyelanlara rastlanan Dikili İlçesinin güney kısımları çok yoğun fay hattı içermektedir. Karaburun Yarımadasında çok yoğun fay hatları gözlenmektedir. Yarımadaadaki heyelanların tamamı ilk 300 m'lik bandın içerisinde kalmaktadır. Buradan Yarımadaanın yoğun fay hattının heyelan oluşumuna pozitif yönlü etkide bulunduğu söylenebilir. Şekil 4.5'de fay hatlarına uzaklık parametre haritası gösterilmektedir.

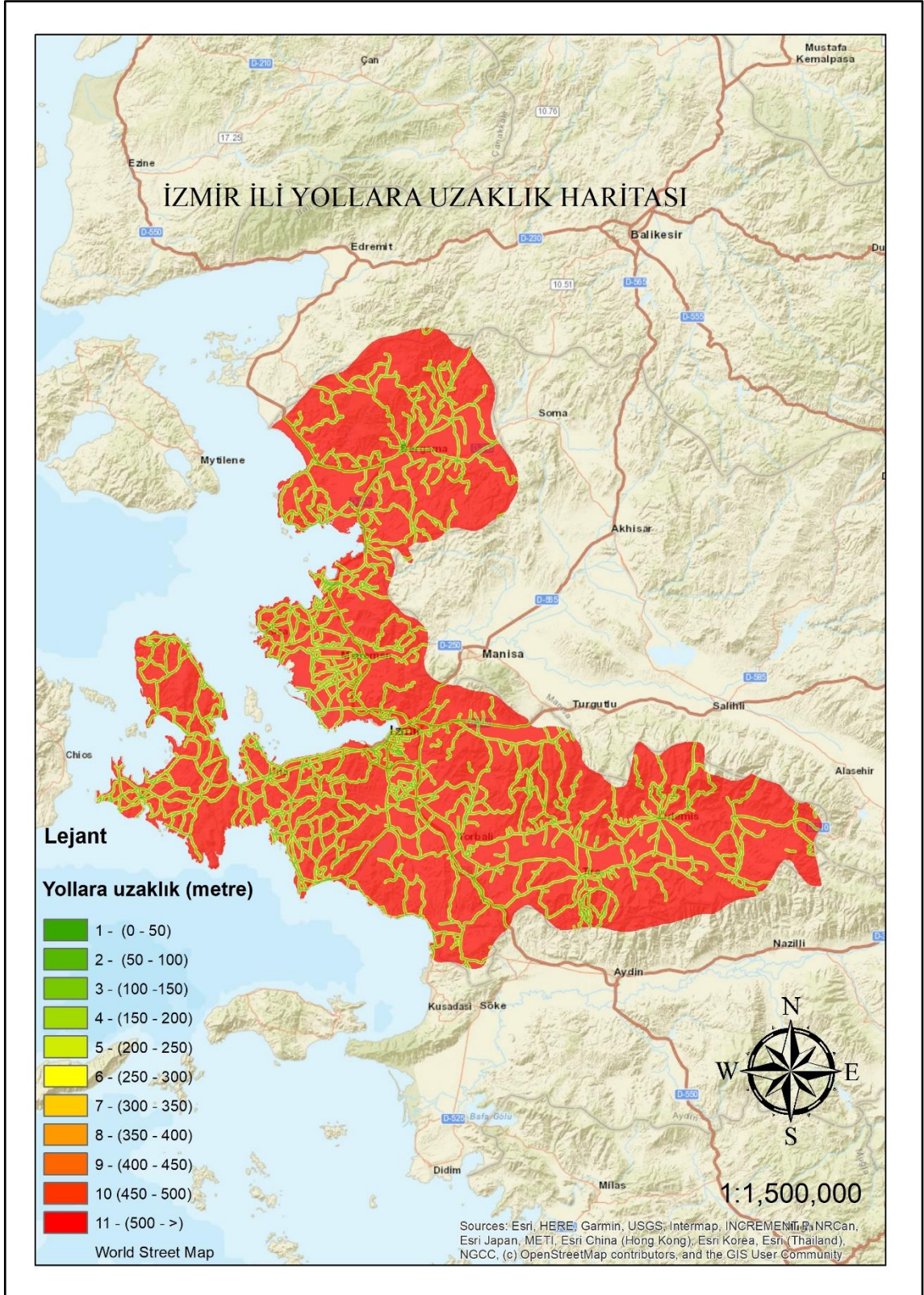


Şekil 4.5. İzmir ili fay hatlarına uzaklık haritası

4.1.6. Yollara uzaklık haritası

Yol verileri Open Street veri tabanından temin edilmiş olup, veriler tekrar düzenlendikten sonra buffer analizi yapılarak 50 m'lik bantlar oluşturulmuştur. İzmir İlindeki heyelanların özellikle yollara 500 m'lik mesafelerde yoğunlaşmıştır. Heyelanlı alanların % 50'si bu alanda birikmiştir. Çalışma alanındaki heyelanların % 60'ı 300 m'lik bant içerisinde gerçekleşmiştir. Literatürde yol inşaatları, kazı dolgu çalışmaları en önemli tetikleyici etkenlerden kabul edilmektedir. Özellikle RES inşaatları için açılan yollar ve yapılmakta olan yol çalışmalarının heyelan oluşumunda tetikleyici etkisi olabilir. Yollara uzaklık parametre haritası Şekil 4.6 da gösterilmektedir.



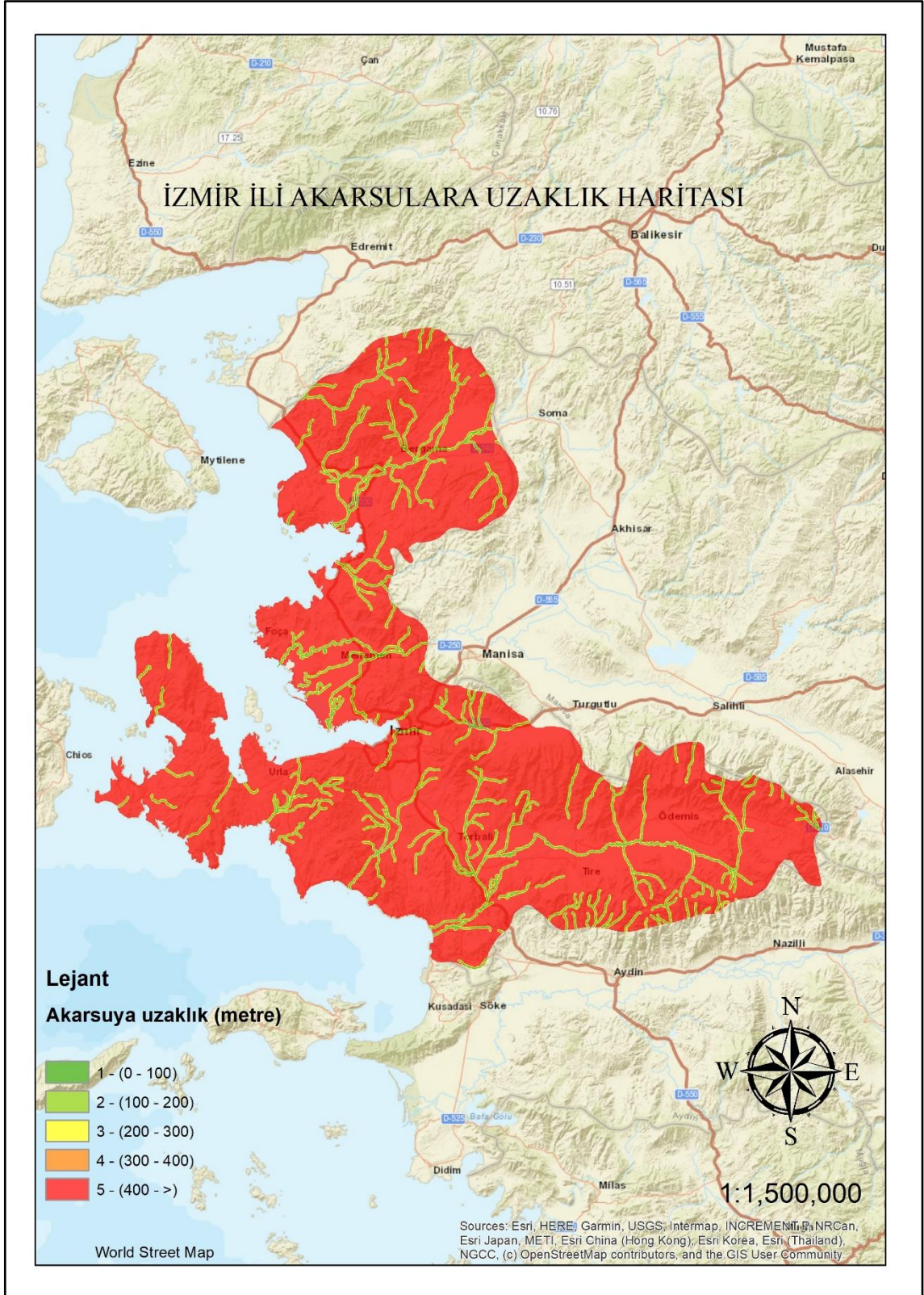


Şekil 4.6. İzmir ili yollara uzaklık haritası

4.1.7. Akarsulara uzaklık haritası

Çalışma alanındaki SYM'den Hydrology modülü ile üretilmiş, buffer analizi ile 100 m'lik bantlar oluşturulmuştur. Karaburun Yarımadasında üç adet akarsu gözlenmekte, bu akarsuların da heyelanlı alanlarla ilişkisi zayıf bulunmaktadır. Akarsular özellikle akarsu seviyesine kadar olan kısımları suya doymun hale getirmekte, kıyı oyulması ile eğimi bozmakta ve heyelana sebep olmaktadır. Akarsuların sadece kış suları ile akışa sahip olmasının bu akarsu etkisini gözleyemememizin sebebi olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.7'de akarsulara uzaklık parametre haritası gösterilmektedir.





Şekil 4.7. İzmir ili akarsulara uzaklık haritası

4.1.8. Jeolojik formasyon haritası

Çalışma alanının jeolojik formasyon haritası MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizimi web sayfasından sayısallaştırılmıştır. Vektör veri olarak sayısallaştırılan veri rastera dönüştürülmüştür. İzmir İli sınırları incelendiğinde çalışma alanındaki büyük heyelanlar öncelikle volkanik kökenli tuf, aglomera birimlerde meydana gelmiştir ikinci olarak, daha küçük heyelanlar, karbonatlı gölsel çökeller olan kireçtaşları ve killi kireçtaşlarında meydana gelmiştir. Karaburun Yarımadasında yaşanan heyelanlar ise kireçtaşı ve karbonatlarda meydana gelmiştir. Heyelan yaşanan formasyonlar genel olarak heyelan yaşanan jeolojik birimler arasında yer almamasına rağmen heyelanların gerçekleştiği görülmüştür. Buradaki formasyonun yumuşak yapılı olduğu düşünülmektedir.

Bu heyelanların gerçekleşmesinde jeolojik birimlerin yanında diğer etmenlerinde önemli rol aldığı anlaşılmaktadır. Bu etmenler yüzeysel ayrışmasına sebep olan rüzgâr ve güneş ışınları, topoğrafik eğim olabileceği düşünülmektedir. Yukarıda sayılan dış etmenler birleştiğinde jeolojik formasyon bozuşmakta ve topoğrafya etkisiyle kayma göstermektedir. Şekil 4.8’de jeoloji formasyon parametre haritası, Tablo 4.1’de sınıflandırma tablosu gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Litoloji sınıflandırma tablosu

Litoloji kod	Yaş	Kod	Formasyon	Sınıflandırma değeri
1000	Kuvaterner	Q	Ayrılmamış kuvaterner	1
1014	Üst Miyosen	m3	Karasal kırıntılar	2
129	Mesozoyik	y	Peridotit	3
110_5	Paleozoyik	b	Şistler	4
132	Mesozoyik	s	Serpatinit (yer yer metaserpanitit)	5
96	Oligosen	o1n	Ayrılmamış volkanitler	6
51	Permiyen	p	Karbonatlar, yer yer kırıntılar	7
84	Üst miyosen	m3b	Bazalt	8
1022	Alt - orta miyosen	m1-2	Karasal kırıntılar	9
251	Oligosen	g8	Granitoyidler	10
1076	Permo - Triyas	pt	Kırıntılar ve karbonatlar (yer yer bloklu ve volkanitli)	11
110_2	Üst paleozoyik - triyas	b	Şist, fillat, mermer, metabazit vb.	12
112	Permiyen	mr	Mermer	13
90	Orta miyosen	m2a	Andezit	14
94	Alt - orta miyosen	m1-2n	Ayrılmamış volkanitler (genellikle andezitik)	15
1035	Alt - orta eosen	e1-2	Kırıntılar ve karbonatlar	16
107_2	Üst kretase	f	Metaflış	17
91	Orta miyosen	m2qr	Dasit, riolit, riodyasit (genellikle Alt miyosen)	18
11	Miyosen	m2	Karasal kırıntılar	19
95	Alt - orta miyosen	m1-2p	Piroklastik kayalar	20
0	Gölet alanı			21
107_3	Üst Kretase	f	Metaflis	22
109_5	Paleozoyik	mr	Mermer	23
109_1	Jura - Kretase	mr	Mermer	24
1025	Orta - üst miyosen	m2-3	Karasal karbonatlar	25
43	Orta triyas - jura	t2j	Neritik kireçtaşı	26
107	Üst paleosen - eosen	f	Metaflış	27
1049	Üst senoniyen	k2s	Kırıntılar ve karbonatlar (flış)	28
1017	Orta miyosen	m2	Karasal kırıntılar	29
119	Prekambriyen	gba	Gnays, şist	30
238_5	Prekambriyen	g1	Granitoyidler	31
93	Alt - orta miyosen	m1-2	Bazalt	32
1021	Alt - orta miyosen	m1-2	Gölsel kireçtaşı, marn, şeyl vb.	33
101_1	Üst Kretase	k2b	Bazalt, spilit	34
1055	Üst kretase	k2	Pelajik kireçtaşı	35
89	Orta miyosen	m2b	Bazalt	36
1001	Kuvaterner	Q	Alüvyon yelpazesi, yamaç molozu vs.	37
1064	Jura - Kretase	jk	Neritik kireçtaşı	38
110_4	Üst paleozoyik	b	Şistler	39
1009	Üst miyosen - Pliyosen	m3pl	Karasal kırıntılar	40
111	Alt triyas	bk	Şist, kalkışist	41
121	Prekambriyen	mg	Migmatit, gnays	42

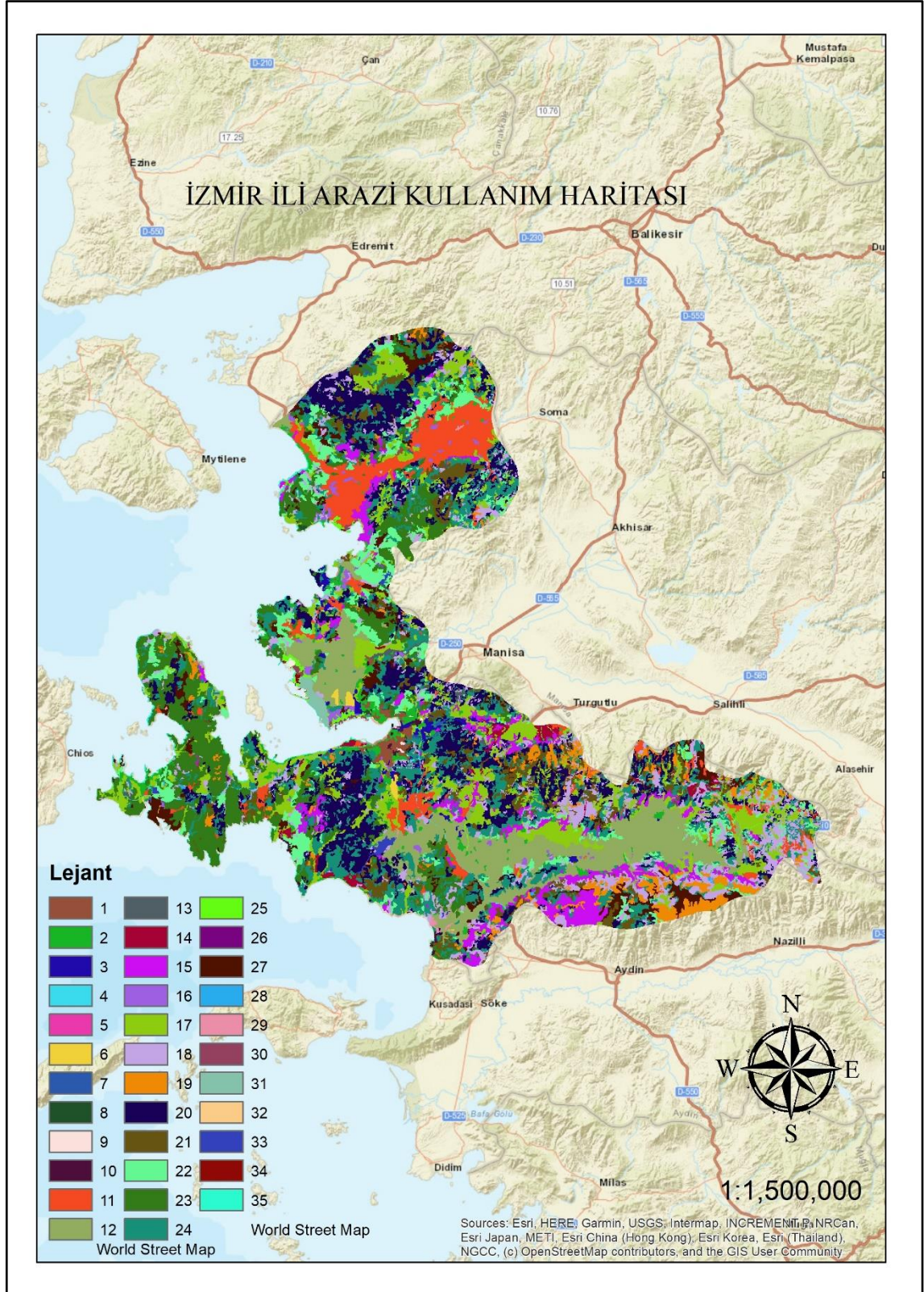
1069	Orta triyas - Kretase	t2k	Neritik kireçtaşı	43
117	Prekambriyen	g	Gnays	44
241_5	Üst Paleozoyik veya Prekambriyen	g1-5	Granitoyidler	45
59	Siluriyen - Devoniyen	sd1	Kırıntılılar ve karbonatlar	46
1078	Permo - Karbonifer	f	c (b): Flis	47
228	Triyas	g3	Granitoyid	48
109_4	Üst paleozoyik	mr	Mermer	49
116_1	Üst paleozoyik	q	Kuvarsit, kuvars şist	50
46	Alt - orta triyas	t2-1	Karbonatlar ve kırıntılar	51
1054	Üst kretase	k2	Neritik kireçtaşı	52
1077	Karbonifer	c	Karbonatlar ve yer yer kırıntılar	53
2	Pleyistosen	Q1	Ayrılmamış karasal kırıntılar	54
3	Pliyo - Kuvartener	plQ	Ayrılmamış karasal kırıntılar	55
116	Paleozoyik	q	Kuvarsit, kuvars şist	56
2005	Miyosen	g9	Granitoyid	57
115	Üst paleozoyik	fl	Fillit	58
238	Prekambriyen	g1	Granitoyidler	59
112_5	Permiyen	m	Mermer	60

4.1.9. Arazi kullanım haritası

Arazi kullanım verisi olarak 100 m çözünürlüklü CLC 2018 verisi kullanılmıştır. İzmir İlindeki heyelanların % 72'si makilik alanlarda, doğal bitki örtüsüne sahip tarım arazilerinde yaşanmıştır. Karaburun Yarımadasındaki heyelanlar doğal bitki örtüsüne sahip tarım alanları ile geçiş ormanlık çalılık bölgelerinde yaşanmıştır. Arazi kullanımında orman alanlarının yok edilmesi ve kentleşme gibi faktörlerin heyelana sebep olduğu literatürde belirtilmekle beraber çalışma alanında kentleşmeye açık alanlarda eğimin az olmasının arazi kullanımının bu özelliğini ön plana çıkarmadığı düşünülmektedir. Tablo 4.2'de arazi kullanım haritasındaki kodların sınıflandırması, Şekil 4.9'da arazi kullanımı parametre haritası gösterilmektedir.

Tablo 4.2.. Arazi kullanımı haritası sınıflandırma tablosu

KOD	Arazi Örtüsü
111	Sürekli kentsel bölgeler
112	Süreksiz kentsel bölgeler
121	Endüstriyel veya ticari üniteler
122	Karayolu ve demiryolu ağları ile ilgili araziler
123	Limanlar
124	Havaalanları
131	Maden sahaları
133	İnşaat bölgeleri
141	Yeşil kentsel alanlar
142	Spor ve eğlence tesisleri
211	Sulanmayan ekilebilir arazi
212	Kalıcı olarak sulanan arazi
221	Bağlar
222	Meyve bahçeleri
223	Zeytinlik
231	Meralar
242	Karışık tarım alanları
243	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları
311	Geniş yapraklı orman
312	İğne yapraklı orman
313	Karışık orman
321	Doğal otlaklar
323	Makilik
324	Bitki değişim alanları
331	Plajlar, kumsallar
332	Çıplak kayalar
333	Seyrek bitki alanları
334	Yanmış alanlar
411	İç bataklıklar
421	Tuz bataklıkları
422	Tuzlalar
511	Akarsular
512	Gölller
521	Kıyı lagünleri
523	Deniz ve okyanus

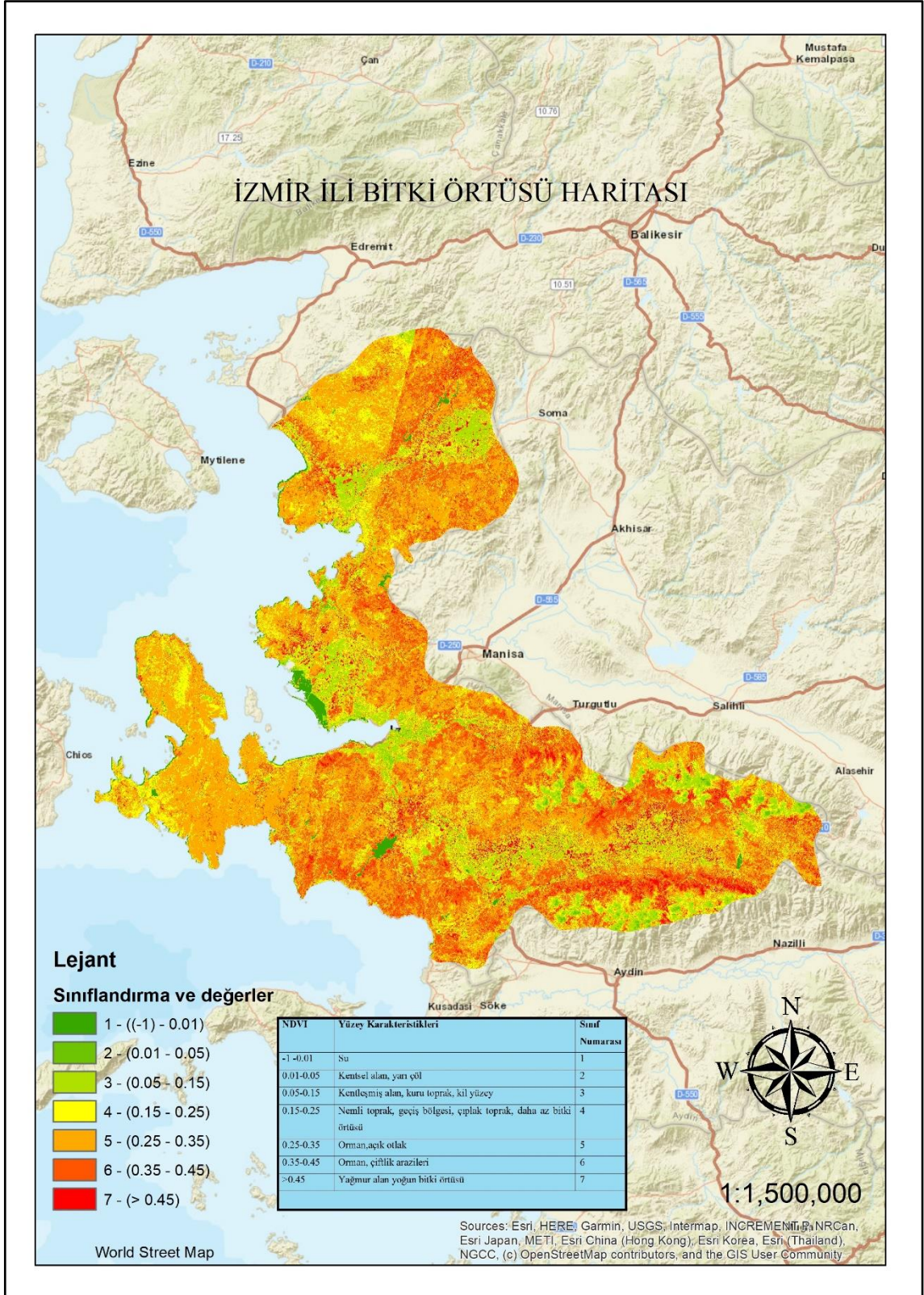


Şekil 4.9. İzmir ili arazi kullanım haritası

4.1.10. Bitki örtüsü haritası

Bitki örtüsü haritası Landsat 8 TM görüntülerinin NDVI analizi ile elde edilmiştir. Karaburun Yarımadasında yaşanan heyelanların % 90'ı çıplak toprak, az bitki örtüsü ile orman, açık otlak sınıfında oluşmuştur. İzmir İlinde yaşanan heyelanların % 61'i ise açık otlak sınıfındaki bitki yoğunluğunun olduğu bölgelerde yaşanmıştır. Bitki örtüsü yoğunluğu arttıkça heyelan oluşumu azalırken özellikle düşük yoğunluklu ve maki tipi bitki örtüsü olan alanlarda heyelana rastlanmaktadır. Bu arazi kullanım verisi ile de uyuşmaktadır. Şekil 4.10'de bitki örtüsü parametre haritası gösterilmektedir.





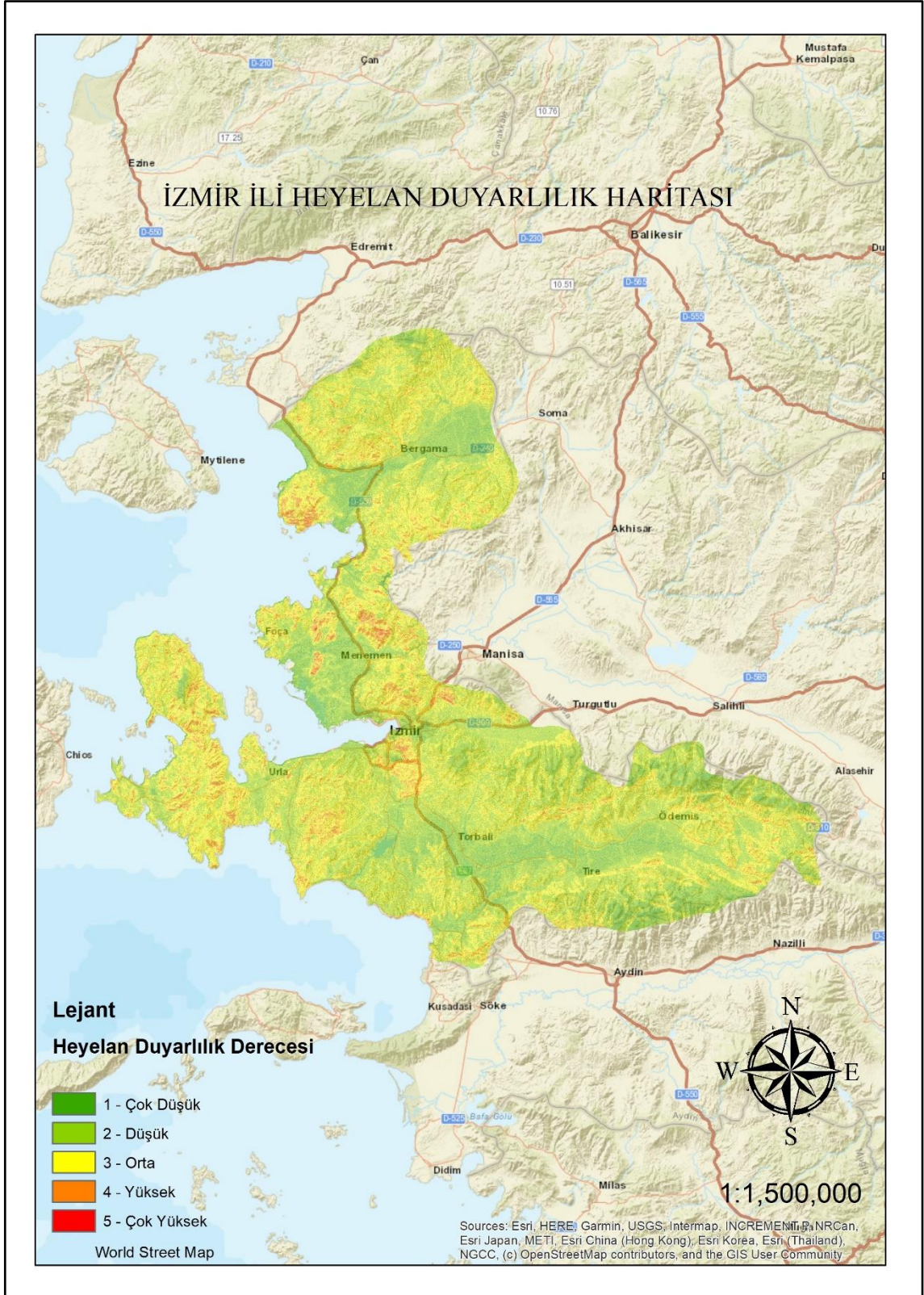
Şekil 4.10. İzmir ili bitki örtüsü haritası

4.2. Heyelan Duyarlılık Haritaları

Oluşturulan parametre haritaları frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemleri ile değerlendirilmiş ve çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir.

4.2.1. Frekans oranı ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

İzmir ili sınırları içerisindeki parametre haritaları frekans oranı yöntemi ile değerlendirilmiş İzmir ili ve Karaburun Yarımadası heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu çalışma alanının % 45'i düşük, % 40'ı orta dereceli heyelan duyarlılığını temsil etmektedir. Mevcut heyelanların % 40' orta, % 50'si yüksek dereceli heyelan duyarlılık bölgesinden oluşmaktadır. Karaburun Yarımadası düşük ve orta dereceli heyelan duyarlılık bölgelerinden oluşmaktadır. Yarımada'nın % 23'ü düşük, % 62'si orta, %13'ü yüksek dereceli heyelan bölgesidir. Yüksek kotlarda heyelan duyarlılık derecesi çok düşüktür. Karaburun ve Mordoğan ilçe merkezleri orta dereceli heyelan duyarlılık bölgesindedir. Şekil 4.10 ve 4.11'de heyelan duyarlılık haritaları gösterilmiştir.



Şekil 4.11. İzmir ili frekans oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil 4.12. Karaburun Yarımadası frekans oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

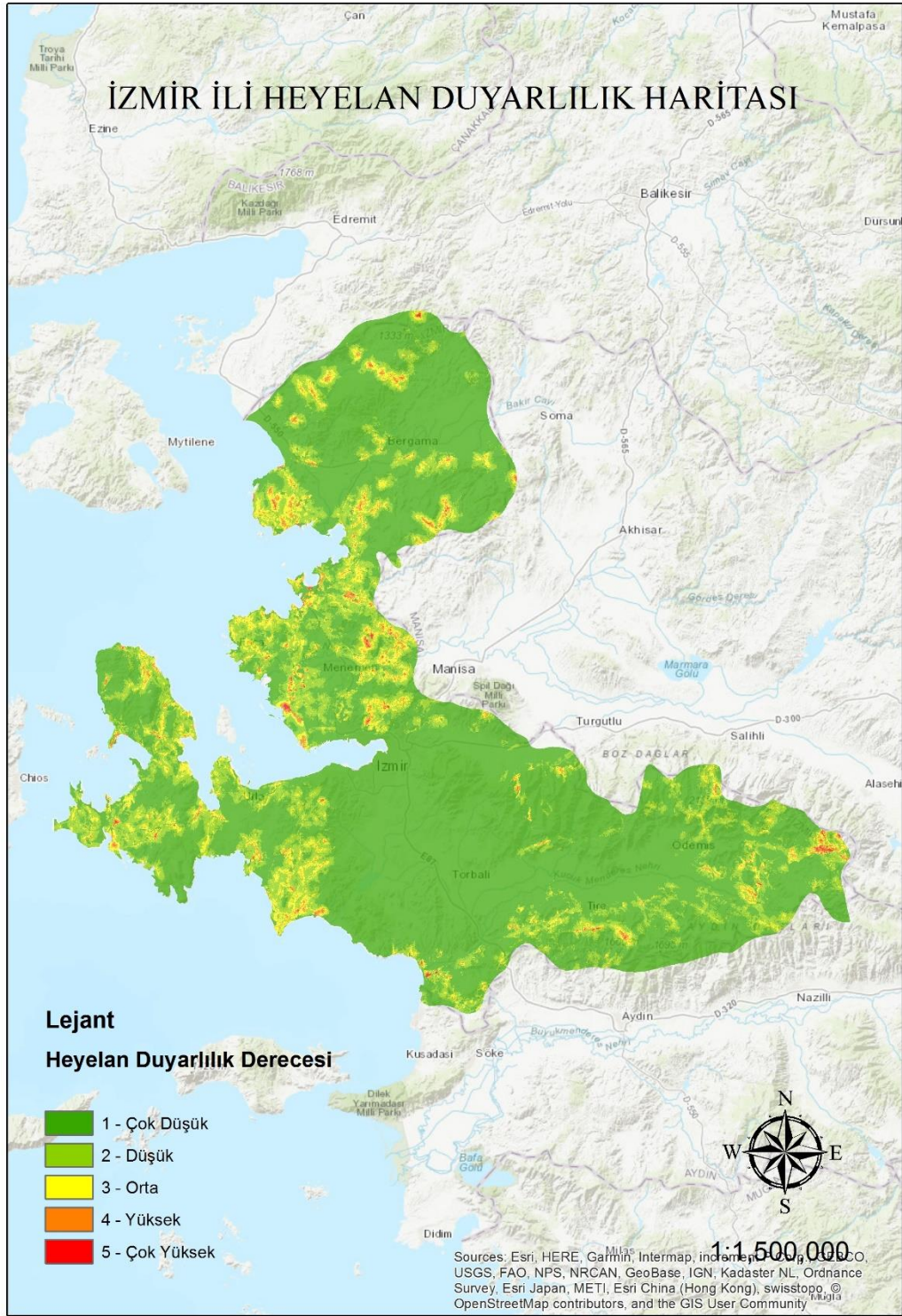
4.2.2. Lojistik regresyon ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

Lojistik regresyon yöntemi ile İzmir ili sınırları çalışma alanı sınırı kabul edilerek lojistik regresyon analizi yapılmıştır. Lojistik regresyonun anlamlılığını veren R^2 değeri düşük olmakla beraber özellikle akarsu ve eğriselliğin etkisini bu analiz sonucunda oldukça düşük çıkmıştır. Akarsu ve eğrisellik etkisi frekans oranı yöntemindeki analiz sonuçlarına benzemektedir. Bu yüzden düşük anlamlılık katsayısına rağmen lojistik regresyon analizi kabul edilebilir bulunmuştur. Akarsu ve eğrisellik parametreleri analiz girdilerinden çıkarılarak analiz tekrarlanmıştır. Regresyon denklemi katsayıları Tablo 4.3'deki gibidir.

Tablo 4.3. Lojistik regresyon analiz sonuçları

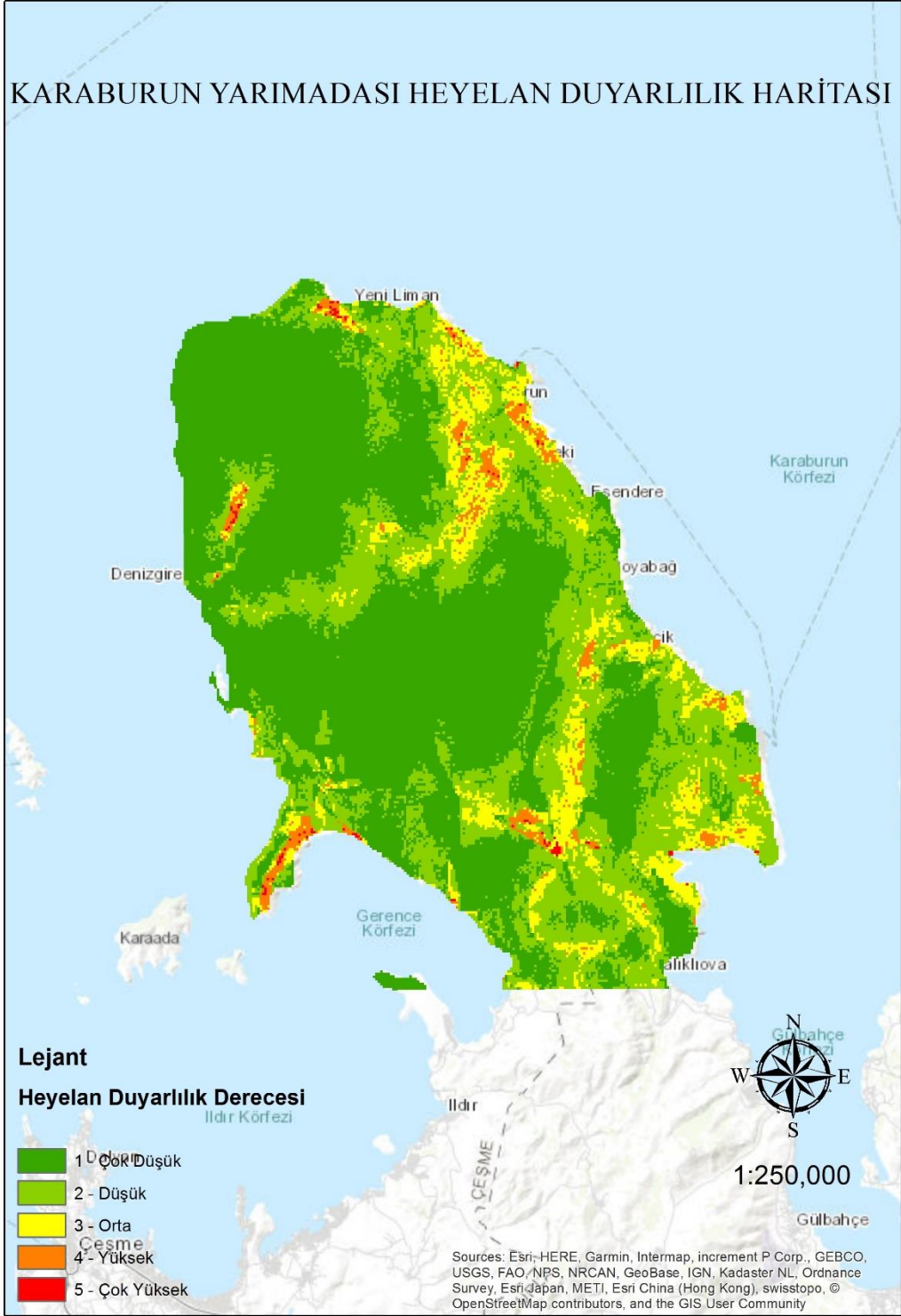
Arazi kullanımı	0.141
Bakı	-0.058
Eğim	-0.294
Faya uzaklık	-0.001
Litoloji	-0.044
NDVI	0.248
Yükseklik	0.116
Yola uzaklık	-0.0014
Katsayı	-6.867
-2 Log benzerlik	61931.726
Nagelkerke R^2	0.131

Karaburun Yarımadası heyelan duyarlılık haritası Şekil 4.12 ve 4.13'de gösterilmektedir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre çalışma İzmir ilinin %73'ü çok düşük, % 19'u düşük, % 6 orta dereceli ve % 1.3'ü yüksek heyelan riski taşımaktadır. Karaburun Yarımadası'nın % 55'i çok düşük, % 31'i düşük, % 9 orta dereceli ve % 2'si yüksek heyelan riski taşımaktadır. İzmir ilindeki mevcut heyelanların % 51'si düşük, % 38'i orta, %10'u yüksek dereceli heyelan duyarlılığına sahiptir. Karaburun Yarımadası'ndaki heyelanların % 40'ı düşük, % 50'si orta dereceli heyelan duyarlılığına sahiptir. Yarımadanın iç kısımları düşük heyelan duyarlılığına sahipken, kıyı kesimlerinin riski daha yüksektir. Karaburun orta dereceli heyelan duyarlılığına sahipken, Mordoğan düşük dereceli heyelan duyarlılığına sahiptir.



Şekil 4.13. İzmir ili lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

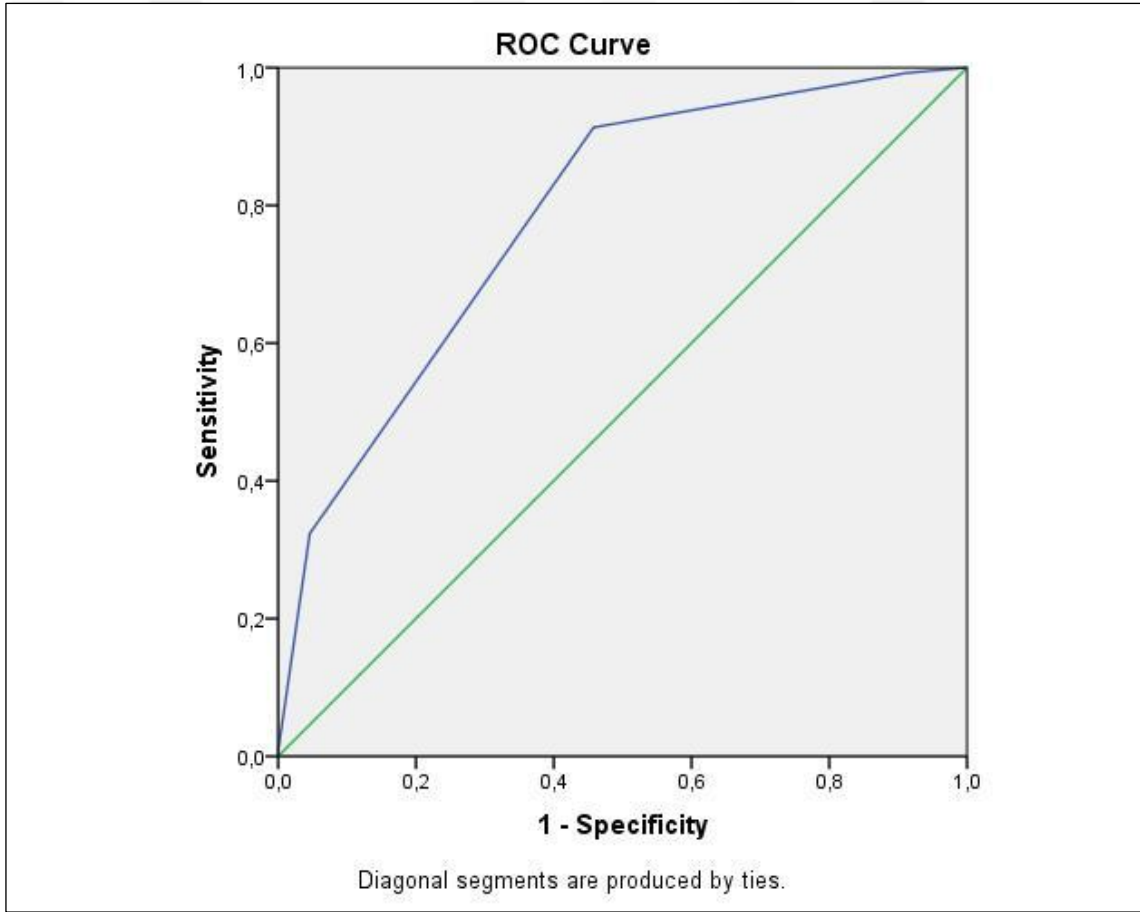
KARABURUN YARIMADASI HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI



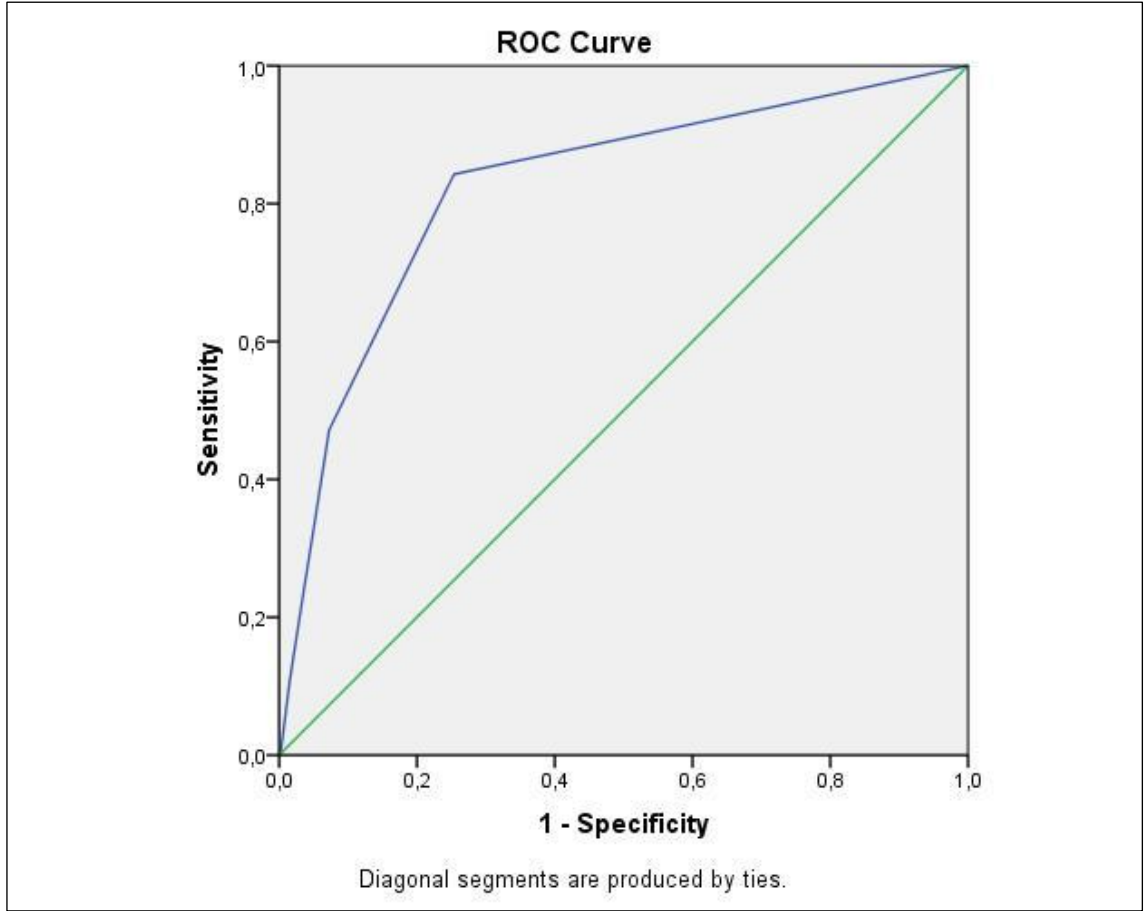
Şekil 4.14. Karaburun Yarımadası lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

4.2.3. Haritaların değerlendirilmesi

Literatürde üretilen heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerden en sık kullanılan Relative Operating Characteristic (ROC)-Göreceli İşlem Özellikleri adıyla bilinen yöntemdir. Bu yöntem özellikle biyoistatistik alanında bir tanı testinin performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemde çizilen eğrinin altından kalan yapılan testin tanılar ile ilişkisinin kalitesini göstermektedir. Eğrinin altında kalan alan 0.5 ile 1 arasında değişmekte 1 mükemmel uyumu temsil ederken 0.5 rasgele uyumu temsil etmektedir (Ayalew ve Yamagishi 2005; Reyhanlıoğlu Keçeoğlu, Gelbal ve Doğan 2016). Çalışma sonucunda elde edilen ROC eğrileri Şekil 4.15 ve 4.16 de gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Frekans yöntemi ile oluşan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi



Şekil 4.16. Lojistik regresyon yöntemi ile oluşan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi

Bu eğrilere ait alan bilgileri Tablo 4.4’de verilmiştir. Bu tabloya göre lojistik regresyonla yapılan duyarlılık haritası % 82.4 doğruluğa sahipken, frekans yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık haritası % 78.3 doğruluğa sahiptir.

Tablo 4.4. Eğri altındaki alanları

	Alan	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Frekans Yöntemi İle Duyarlılık Haritası	0.783	0	0.777	0.788
Lojistik Regresyon Duyarlılık Haritası	0.824	0	0.818	0.830

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada heyelanların önceden konumsal olarak tahmin edilebilmesini sağlayan heyelan duyarlılık haritalarının Karaburun Yarımadası özelinde üretiminin nasıl yapıldığı örneklendirilmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen Karaburun Yarımadası ülkemizin en batısında bulunan yarımadadır. Son yıllarda özellikle doğası, turizm, rüzgâr enerji santralleri yatırımları ile adı sıkça duyulan yarımada son derece hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bölge 15 Mart 2019 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan karar ile Özel Çevre Koruma Bölgesi ilan edilmiştir. Bölgede son yıllarda yoğun bir şekilde yol inşaatı, turizm tesis inşaatları, rüzgâr enerji santralleri yatırımları göze çarpmaktadır. Yarımadanın bu sebeplerden dolayı afetler açısından da değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu değerlendirme hem mevcut yatırımların yapılacağı alanların risklerinin, hem de son derece bakir olan yarımadanın doğasının bu yatırımlardan nasıl etkileneceğinin belirlenmesi olmak üzere iki boyutu bulunmaktadır. Çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritası ilk olarak bu ihtiyaçlardan ilkinde yanıt vermektedir. Mevcut yol, inşaat ve diğer yatırım çalışmalarının yarımadayı heyelan yönünden nasıl etkileyebileceği değerlendirilmeyi beklemektedir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi çalışmaları son yıllarda oldukça fazla yapılmaktadır. Bu çalışmalar doğal, çevresel ve tetikleyici parametrelerin farklı istatistiksel yöntemler analiz edilmesine dayanmaktadır. Çalışmada daha önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılan yükseklik, bakı, eğim, yamaç eğriselliği, litoloji, arazi kullanımı, bitki örtüsü, yola uzaklık, faylara uzaklık ve akarsuya uzaklıktan oluşan 10 adet parametreleri, frekans oranı ve lojistik regresyon adlı iki istatistiksel yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler ve yöntemler daha önceki bilimsel çalışmalar incelenerek belirlenmiştir. Belirlenen verilerden oluşturulan parametre haritaları sınır, tip, ölçek, raster çözünürlüğü ve koordinat sistemi olarak standart haline getirilmiştir. Ek olarak çalışmada heyelan ve heyelana sebep olan parametrelerin ilişkisi hakkında uzmanlara da danışılmıştır.

- Daha önceden yapılmış olan heyelan duyarlılık çalışmaları, genelde heyelanın çok yaşandığı bölgelerde yapılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan parametrelerde buna dayanarak belirlenmiştir. Az heyelanın yaşandığı bölgelerde heyelana sebep olan bölgelerde hangi parametrelerin kullanılacağı ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir.

- Yapılan çalışmalar elde edilen veriler doğrultusunda yapılmıştır. Temin edilen veriler farklı ölçeklerde ve farklı doğrulukta verilerdir. Özellikle jeoloji, arazi kullanımı, mevcut heyelan yerleri verilerinin elde edildiği kurumlar tarafından ne zaman üretildiğine dair bilgiye ulaşılamamıştır. Parametre haritaları raster formatında oluşturulur iken farklı hassasiyet, ölçek ve koordinat sisteminde temin edilen veriler aynı piksel büyüklüğü ve koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Burada yapılan işlem daha düşük doğruluğu olan verileri yüksek doğrultulu olan verilere dönüştürmek değil düşük çözünürlüklü verilerin piksel büyüklüklerini daha yüksek çözünürlüklü verilerin piksel büyüklüğüne dönüştürmektir. Bu işlem veri doğruluğunu arttırmamaktadır. Jeoloji, arazi kullanımı parametre haritalarının daha yüksek doğruluğa veya daha büyük ölçeğe sahip verileri elde edilebilirse daha yüksek doğruluğu olan analiz yapılabilir. Çalışma sonucunda özellikle litoloji parametresinin heyelana katkısı ile uzman görüşleri arasında uyumsuzluklar vardır. Daha büyük ölçekli bir jeoloji haritası ile de değerlendirme yapılabilir.
- Özellikle frekans yönteminde akarsuya yakınlığın heyelana etkisinin çok fazla olamduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin bölgedeki akarsularda ana nehirler haricinde genelde kış suları akış gözlenmesi olabileceği düşünülmektedir. Yılın büyük kısmında bölgedeki akarsular genelde kurudur. Zeminin boşluk suyu basıncının artması heyelan sebep olan nedenlerden birisidir. Çalışma bölgesinde yaşanan heyelanların kıyı bölgelerinde olmasının sebebinin bu olabileceği düşünülmektedir.
- Karaburun Yarımadasında MTA'nın internet üzerinden ulaşılabilen veri tabanına göre yalnızca 3 adet heyelan yaşanmıştır. 3 adet heyelan istatistiksel olarak çok anlamlı bir sonuç vermeyeceği düşünüldüğü çalışmada bütün İzmir İli sınırları içerisindeki heyelanlar ve veriler kullanılmıştır. Bilindiği üzere AFAD'de yaşanmış olan heyelanları verilerini bulundurmaktadır. Bu kurumların heyelan envanterleri beraber değerlendirilmelidir. Saha çalışmaları, uydu görüntüleri, insansız hava araçları (İHA), Laser Imaging Detection and Ranging (LİDAR) uygulamaları heyelanların tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Heyelan envanterinin teknolojinin de yardımı ile sürekli güncellenmesi gerekmektedir. Mevcut heyelan envanteri ne kadar güncel olursa üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu da o kadar fazla olacaktır.

- İzmir ili sınırlarının kullanıldığı lojistik regresyon yönteminin istatistiksel olarak kurulan modelinin anlamlılığı düşük çıkmıştır. Bunun sebebinin bölgede yaşanan heyelan sayısının düşük olması olduğu düşünülmektedir. Bu frekans oranı yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ile uyum göstermektedir. Haritaların doğruluğunu değerlendirmek için ROC Analizi yapılmış bu analiz sonucu lojistik regresyon ile yapılan haritanın doğruluğu daha yüksek çıkmıştır.
- Çalışma alanında çok fazla RES yatırımı bulunmaktadır. Yapılan RES inşaatları genelde yüksek kotlarda bulunmaktadır. RES'lere ulaşım için çok fazla yol inşaatı yapılmıştır. Kullanılan yol verisi RES'lere ait ulaşım yollarını içermemektedir. Yol çalışmaları heyelanı tetikleyen en önemli mekanizmalardan birisidir. Çalışma alanındaki santrallere ulaşım için yapılan yol çalışmalarının heyelan riskini arttıracığı düşünülmektedir.
- Üretilen heyelan duyarlılık haritası sonucu yarımada da heyelan riski gelen olarak düşük ve orta görülmektedir. Üretilen heyelan duyarlılık haritaları yarımada da yapılacak ekonomik, sosyal, coğrafi çalışmalarda altlık olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- AFAD. (2015). *Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan ve Kaya Düşmesi Pratik Kılavuz*. Ankara: AFAD.
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54 (6), 1127-1143.
- Aksoy, G. (2011). *Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alcantara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2-4), 107-124.
- Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assesment:summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58 (1), 21-44.
- Anaçalı, İ., Şirin, A. (2015). *Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Aranoff, S. (1991). *Geographic Information Systems : A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- Ataol, M., Yeşilyurt, S. (2014). Çankırı-Ankara Karayolu Boyunca (Akyurt-Çankırı Arası) Heyelan Risk Bölgelerinin Belirlenmesi . *Coğrafya Dergisi*, 29, 51-69.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N. (2003). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1 (1), 73-81.
- Balcı, İ., Çoban, H., Eker, M. (2000). Coğrafi Bilgi Sistemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (1), 115-132.
- Below, R., Wallemacq, P. (2017). *Natural Disasters*. CRED.
- Brunsden, D. (1993). Mass movement; the research frontier and beyond: a geomorphological approach. *Geomorphology*, 7 (1-3), 85-128.
- Burrough, P., McDonnell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.

- Canik, B. (1997). *Mühendislik Jeolojisi*. Ankara: A.Ü.F.F Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.
- Carrara, A. (1983). Multivariate Models for Landslide Hazard Evalution. *Mathematical Geology*, 15 (3), 403-426.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS Technology In Mapping Landslide Hazard. A. Carrara and F. Guzzetti (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* içinde (s. 135-175). Dordrecht: Springer
- Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R. (2006). Engineering Geology Maps: Landslides and Geographical Information Systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(4), 341-411.
- Cicalo, E. (2016). Beyond geospatial visualisation: maps for health research. *INPUT 2016 9th International Conference on Innovation in Urban and Regional Planning* Torino: Università di Torino, s. 25-31
- Cotecchia, F., Santaloia, F., Lollino, P., Vitone, C., Mitaritonna, G. (2010). Deterministic Landslide Hazard Assessment At Regional Scale. *GeoFlorida 2010*, Florida: Geotechnical Special Publication, s. 3130-3139.
- CRED. (2018). *Economic Losses, Poverty and Disasters: 1998-2017*. CRED.
- Çabuk , S. (2014). CBS'de Proje Planlama ve CBS'nin Ülkemizdeki Gelişimi. S. Erdoğan (Ed.) , *Bilgisayar Destekli Harita Yapımı ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temelleri-1* içinde (s. 278-351). Uyum Ajans.
- Çan, T., Duman, T., Olgun, Ş., Çörekçioğlu , Ş., Gülmez, F., Elmacı , H., Hamzaçebi S., Emre, Ö. (2013). Türkiye Heyelan Veri Tabanı. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013*’ inde sunulan bildiri. Ankara: ODTÜ
- Çellek, S. (2013). *Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇEM. (2016). *Heyelanlar*. Ankara: ÇEM.
- ÇEM. (2016). *Taşlıdere Havzası (Rize, Güneysu) Heyelan Duyarlılık Haritası ve Tehlike Değerlendirme Projesi* . Ankara: ÇEM.
- Çokluk, Ö. (2010). Lojistik Regresyon Analizi: Kavram ve Uygulama. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri* 10, 1357-1407.

- Dağ, S. (2007). *Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dağ, S., Bulut, F. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek : Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1), 35-62.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A. (2011). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1 (2), 151-176.
- Dai, F., Lee, C. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42 (3-), 213-228.
- Dai, F., Lee, C., Ngai, Y. (2001). Landslide risk assessment and management an overview. *Engineering Geology*, 64 (1), 65-87.
- Das, I., Stein, A., Kerle, N., Dadhwal, V. (2012). Landslide Suspectibility Mapping Along Road Corridors in thr Indian Himayalas Using Bayesian Logistic Regression Models. *Geomorphology*, 179, 116-125.
- Demir, G. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8, 96-112.
- Demirci, A., Karakuyu, M. (2004). Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Teknolojilerini Rolü. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9 (12), 67-100.
- Demoulin, A., Chung, C. (2007). Mapping Landslide Suspectibility From Small Datasets: A Case Study in the Pays de Herve (E Belgium). *Geomorphology*, 89 (3-4), 391-404.
- Dempsey, C. (2012). History of GIS. *GISLOUNGE*. <https://www.gislounge.com/history-of-gis/> (Erişim tarihi: 13.08.2019)
- Ercanoğlu, M., Hasekioğulları, G., Günal, B. (2008). Heyelan Duyarlılığı Çalışmalarında Türkiye'nin Uluslararası Bilimsel Literatürdeki Yeri. *Mühendislik Jeoloji Bülten*, 26-27, 35-51.
- Erdoğan, B., Altın, D., Güngör, T., Özer, S. (1990). Karaburun Yarımadasının Stratigrafisi. *MTA Dergisi*, 111, 1-20.

- Erdoğan, N., Nurlu, E., Guvensen, A., Erdem, U. (2015). Land Use/Land Cover Change Detection For Environmental Monitoring In Turkey. A Case Study In Karaburun Peninsula. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 16 (1), 252-263.
- Erener, A., Lacasse, S. (2007). Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı. *TMMOB Harita Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*. Trabzon: KTÜ.
- Erguvanlı, K. (1994). *Mühendislik Jeolojisi*. Ankara: Seç Yayınevi.
- Ersoy, Ş. (2017). *2016 Yılı Doğa Kaynaklı Afetler Yıllığı Dünya ve Türkiye*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Fazal, S. (2008). *GIS Basics*. New Delhi: New Age International (P) Ltd. Publishers.
- Fell, R. (1994). Landslide risk assesment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, 31 (2), 261-272.
- Gökçe, O., Özden, Ş., Demir, A. (2008). *Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri*. Ankara: Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreleri İlişkin Belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Görüm , T. (2006). *Coğrafi Bilgi Sistemi ve İstatiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Melen Boğazı ve Yakın Çevresi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. (2000). Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25 (3), 247-263.
- Hamblin, K. (1991). *Introduction To Physical Geology*. New York: Macmillan.
- Hosmer, D., Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*. New York: A Wiley-Interscience Publication.
- İZKA. (2013). *Urla-Çeşme-Karaburun Yarımadası Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi*. İzmir: İzmir Kalkınma Ajansı.
- Kalafatçıoğlu, A. (1961). Karaburun Yarımadasının Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 56, 53-63 .
- Karlı, F., Atasoy, M., Demir, O., Reis, S., Gokceoglu, C., Yalcin, A. (2008). Effects of land-use changes on landslides in a landslide-prone area (Ardesen, Rize, NE Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 156-241.

- Kavzoğlu, T., Şahin, E., Çölkesen, İ. (2012). Heyelan Duyarlılığının İncelenmesinde Regresyon Ağaçlarının Kullanımı: Trabzon Örneği. *Harita Dergisi*, 147 (3), 21-33.
- Kienholz, H. (1978). Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland: Scale 1:10.000. *Arctic and Alpine Search*, 10 (2), 169-184.
- Kleinbaum, D., Klein, M. (2002). *Logistic Regression A Self Learning Text*. New York: Springer.
- Koukis, G., Ziourkas, C. (1991). Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43 (1), 47-60.
- Kumtepe , P., Nurlu, Y., Cengiz, T., Sütçü, E. (2009). Bolu Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2009*. İzmir.
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D. (2005). *Geographical Information Systems and Science*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Mazman, T. (2005). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve İstatistiksel Analiz Teknikleri İle Kumluca Havzası (GB Bartın) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Metin, T. (2017). *Rekreasyon Fırsat Dağılımı ve Planlamasında Yöntem Arayışları: Karaburun Yarımadası Örneği*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Mohammady , M., Pourghasemi, H., Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236.
- Monroe, J. , Wicander, R. (2007). *Fiziksel Jeoloji* (Çev: K. Dirik ve M. Şener). Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası .
- Özdemir, A., Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Özşahin, E. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 47-63.

- Pachauri, A., Pant, M. (1992). Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes. *Engineering Geology*, 32 (1-2), 81-100.
- Reichenbach, P., Busca, C., Mondini, C., Rossi, M. (2014). The influence of land use change on landslide susceptibility zonation: the Briga catchment test site (Messina, Italy). *Environ Manage*, 54(6), 1372-1384.
- Sarıçam, S., Erdem, Ü. (2010). İzmir-Karaburun Yarımadası'nın Biyosfer Rezerv Alanı Olarak Planlanması. *Ekoloji*, 19 (77), 42-50.
- Sarkar, S., Kanungo, D. (2004). An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 617-625.
- Scott, G. (1972). *Map Showing Landslides And Areas Suspectible To Landsliding In The Morrison Quadrangle, Jefferson County, Colorado*. Washington D.C: The U.S. Geological Survey
- Siyahi, B. (1994). *Deprem Etkisindeki Şevlerde Stabilitenin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sujatha, E., Rajamanickam, G. (2014). Landslide Hazard and Risk Mapping Using the Weighted Linear Combination Model Applied to the Tevankarai Stream Watershed, Kodaikkanal, India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21 (6), 1-17.
- Terzaghi, K. (1950). Mechanisms of Landslides. S. Paige (Ed.), *Application of Geology to Engineering Practice; Berkey Volume* içinde (s. 83-125). New York: Geological Society of America.
- Uluğtekin, N., Bildirici, İ. (1997). Coğrafi Bilgi Sistemi ve Harita. 6. *Harita Kurultayı*, Ankara. s.85-95
- Ulusay, R. (2010). *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement Types and Processes*. Washington D. C.: National Academy of Sciences.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. . Paris: United Nations.
- Yalçın, A. (2007). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı. *S.Ü. Müh. Mim. Fak. Derg.*, 23(3), 1-14.

- Yanardağ, M. Ö. (2014). İzmir'de Turizm Yatırımlarının İhtiyaç Analizi . *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1 (1), 81-104.
- Yıldırım, M., Gökaşan, E. (2013). *Mühendisler İçin Jeoloji Bilgisi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Trabzon: KTÜ.
- http-1: <https://sozluk.gov.tr> (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-2: <https://gisgeography.com/what-gis-geographic-information-systems/> (Erişim tarihi: 10.06.2019)
- http-3: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/1-1250000-olcekli-turkiye-heyelan-haritasi.jpg> (Erişim tarihi: 10.07.2019)
- http-4: https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3506/xfiles/96-2014060215311-heyelan_yogunluk_a1_olceksiz.pdf (Erişim tarihi: 10.07.2019)
- http-5 : <http://www.karaburun.gov.tr> (Erişim tarihi: 10.06.2019)
- http-6: https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/modelclimate/karaburun_t%C3%BCrkiye_310200 (Erişim tarihi: 01.06.2019)
- http-7: <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/karaburun-ruzgar-santrali.html> adresinden alındı (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-8: <https://www.enerjigunlugu.net/karaburun-res-kapasitesini-ikiye-katlayacak-15316h.htm> (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-9: http://www.emo.org.tr/ekler/57fa1bbb2ff5344_ek.pdf (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-10: <https://www.atlasdergisi.com/arsiv/kitaplar/turkiye-sakli-cennetler-atlası-50-muhtesem-yer/22/29/1> (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-11: <http://www.izmirkulturturizm.gov.tr/TR-77455/karaburun.html> (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-12: <http://karaburun.bel.tr/hakkında/> (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- http-13: <https://earthexplorer.usgs.gov> (Erişim tarihi: 13.06.2019)

EKLER

EK-3.1. Parametre haritaları sınıflandırma tablosu

Parametre	Parametre değerleri	Yeni değer
SYM	0 -100	1
	100 -200	2
	200 - 300	3
	300 - 400	4
	400 - 500	5
	500 - 600	6
	600 - 700	7
	700 - 800	8
	800 - 900	9
	900 - 1000	10
	1000 - 1100	11
	1100 - 1200	12
	1200 - 1300	13
	1300 - 1400	14
	1400 - 1500	15
	1500 - 1600	16
	1600 - 1700	17
	1700 - 1800	18
	1800 - 1900	19
	1900 - 2000	20
	2000 - 2100	21
	2100 - 2200	
EĞRİSELLİK	-28	1
	-0.5	2
	-0.5	3
	0 - 0.5	4
	0.5 - 1	5
	1 -27	6
BAKI	-23.5	1
	22.5 - 67.5	2
	67.5 - 112.5	3
	112.5 - 157.5	4
	157.5 - 202.5	5
	202.5 - 247.5	6

	247.5 - 292.5	7
	292.5 - 337.5	8
	337.5 - 360	9
EĞİM	0 - 10	1
	Eki.20	2
	20 - 30	3
	30 - 40	4
	40 - 50	5
	50 - 60	6
	60 - 70	7
	70 - 80	8
FAYA UZAKLIK	0 - 50	1
	50 - 100	2
	100 - 150	3
	150 - 200	4
	200 - 250	5
	250 - 300	6
	300 - 350	7
	350 - 400	8
	400 - 450	9
	450 - 500	10
	500	11
YOLA UZAKLIK	0 - 50	1
	50 - 100	2
	100 - 150	3
	150 - 200	4
	200 - 250	5
	250 - 300	6
	300 - 350	7
	350 - 400	8
	400 - 450	9
	450 - 500	10
	500	11
NDVİ	-1.01	1
	0.01 - 0.05	2

	0.05 - 0.15	3
	0.15 - 0.25	4
	0.25 - 0.35	5
	0.35 - 0.45	6
	>0.45	7
LİTOLOJİ	1000	1
	1014	2
	129	3
	110_5	4
	132	5
	96	6
	51	7
	84	8
	1022	9
	251	10
	1076	11
	110_2	12
	112	13
	90	14
	94	15
	1035	16
	107_2	17
	91	18
	11	19
	95	20
	0	21
	107_3	22
	109_5	23
	109_1	24
	1025	25
	43	26
	107	27
	1049	28
	1017	29
	119	30
	238_5	31
	93	32
	1021	33

	101_1	34
	1055	35
	89	36
	1001	37
	1064	38
	110_4	39
	1009	40
	111	41
	121	42
	1069	43
	117	44
	241_5	45
	59	46
	1078	47
	228	48
	109_4	49
	116_1	50
	46	51
	1054	52
	1077	53
	2	54
	3	55
	116	56
	2005	57
	115	58
	238	59
	112_5	60
ARAZİ KULLANIMI	111	1
	112	2
	121	3
	122	4
	123	5
	124	6
	131	7
	133	8
	141	9
	142	10
	211	11

	212	12
	221	13
	222	14
	223	15
	231	16
	242	17
	243	18
	311	19
	312	20
	313	21
	321	22
	323	23
	324	24
	331	25
	332	26
	333	27
	334	28
	411	29
	421	30
	422	31
	511	32
	512	33
	521	34
	523	35
AKARSUYA UZAKLIK	0 -100	1
	100 -200	2
	200 -300	3
	300 - 400	4
	>400	5

EK-3.2. Frekans değerleri tablosu

		HAPS	TAPS	HPS	TPS	FR	Düzeltilmiş FR	Alt Birimin Ağırlık Değeri
BAKI	1	223	953383	8592	13476420	0.37	0.19	19
	2	432	1456450			0.47	0.24	24
	3	937	1620128			0.91	0.47	47
	4	1341	1615719			1.3	0.68	68
	5	2222	1815014			1.92	1	100
	6	1683	1699565			1.55	0.81	81
	7	1022	1854223			0.86	0.45	45
	8	531	1696565			0.49	0.26	26
	9	201	765373			0.41	0.21	21
LİTOLOJİ	1	87	2651540	8578	13437428	0.05	0	0
	2		68316			0	0	0
	3		7617			0	0	0
	4		134079			0	0	0
	5		12982			0	0	0
	6		30786			0	0	0
	7		67042			0	0	0
	8	3	586			8.02	0.56	56
	9	178	862174			0.32	0.02	2
	10		467397			0	0	0
	11		171943			0	0	0
	12		96198			0	0	0
	13		127253			0	0	0
	14		1539			0	0	0
	15	3850	916814			6.58	0.46	46
	16		2505			0	0	0
	17		79080			0	0	0
	18		94381			0	0	0
	19		4057			0	0	0
	20	1899	1318818			2.26	0.16	16
	21		57045			0	0	0
	22		10980			0	0	0
	23		51789			0	0	0
	24		155682			0	0	0
	25	1834	201532			14.26	1	100
	26	203	509173			0.62	0.04	4

	27		34245			0	0	0
	28	397	840901			0.74	0.05	5
	29		4974			0	0	0
	30		678662			0	0	0
	31		223754			0	0	0
	32		128367			0	0	0
	33	30	267257			0.18	0.01	1
	34		26621			0	0	0
	35		896			0	0	0
	36		813			0	0	0
	37		632772			0	0	0
	38		135460			0	0	0
	39		384482			0	0	0
	40		11449			0	0	0
	41		1025			0	0	0
	42		246674			0	0	0
	43		161697			0	0	0
	44		479227			0	0	0
	45		28047			0	0	0
	46	73	78994			1.45	0.1	10
	47		103028			0	0	0
	48		16840			0	0	0
	49		59667			0	0	0
	50		6453			0	0	0
	51	24	86938			0.43	0.03	3
	52		70980			0	0	0
	53		22300			0	0	0
	54		94266			0	0	0
	55		608			0	0	0
	56		362676			0	0	0
	57		3506			0	0	0
	58		136474			0	0	0
	59		1442			0	0	0
	60		4625			0	0	0
SYM	1	1379	4095521	8592	13476420	0.53	0.26	26
	2	1831	2205466			1.3	0.65	65
	3	1218	1657074			1.15	0.57	57
	4	1097	1171393			1.47	0.73	73

	5	706	975024			1.14	0.56	56
	6	971	756978			2.01	1	100
	7	397	608446			1.02	0.51	51
	8	546	494541			1.73	0.86	86
	9	374	395701			1.48	0.74	74
	10	73	316844			0.36	0.18	18
	11		256263			0	0	0
	12		200989			0	0	0
	13		130529			0	0	0
	14		93634			0	0	0
	15		58856			0	0	0
	16		29777			0	0	0
	17		14355			0	0	0
	18		6697			0	0	0
	19		4077			0	0	0
	20		2514			0	0	0
	21		1551			0	0	0
	22		190			0	0	0
EĞİM	1	3555	7030007	8592	13476420	0.79	0.55	55
	2	3555	3867652			1.44	1	100
	3	1227	1952788			0.99	0.68	68
	4	212	549330			0.61	0.42	42
	5	40	71998			0.87	0.6	60
	6	3	4432			1.06	0.74	74
	7	0	206			0	0	0
	8	0	7			0	0	0
EĞRİSELLİK	1	1138	1620875	8592	13476420	1.1	0.98	98
	2	1155	1619875			1.12	1	100
	3	2402	4048772			0.93	0.83	83
	4	1756	2959658			0.93	0.83	83
	5	1246	1819230			1.07	0.96	96
	6	895	1408010			1	0.89	89
FAYA UZAKLIK	1	729	395870	8588	13449867	2.88	0.98	98
	2	651	346242			2.94	1	100
	3	550	342965			2.51	0.85	85
	4	414	249929			2.59	0.88	88

	5	532	302224			2.76	0.94	94
	6	447	293165			2.39	0.81	81
	7	328	249249			2.06	0.7	70
	8	307	237623			2.02	0.69	69
	9	279	269906			1.62	0.55	55
	10	284	229177			1.94	0.66	66
	11	4067	10533517			0.6	0.21	21
YOLA UZAKLIK	1	552	558744	8592	13478992	1.55	1	100
	2	436	520750			1.31	0.85	85
	3	463	516927			1.41	0.91	91
	4	320	372524			1.35	0.87	87
	5	401	479677			1.31	0.85	85
	6	388	459079			1.33	0.86	86
	7	297	381911			1.22	0.79	79
	8	249	382282			1.02	0.66	66
	9	268	429561			0.98	0.63	63
	10	273	352712			1.21	0.78	78
	11	4945	9024825			0.86	0.55	55
								0
AKARSUYA UZAKLIK	1	237	476156	8592	13476420	0.78	0.54	54
	2	192	409911			0.73	0.51	51
	3	328	452304			1.14	0.79	79
	4	355	385941			1.44	1	100
	5	7480	11752108			1	0.69	69
NDVİ	1	18	175733	8592	13477158	0.16	0.11	11
	2	6	96889			0.1	0.07	7
	3	318	1457435			0.34	0.24	24
	4	1169	2453285			0.75	0.53	53
	5	5255	5856671			1.41	1	100
	6	1642	2947414			0.87	0.62	62
	7	184	489731			0.59	0.42	42
ARAZİ KULLANIMI	1	394	78259	8586	13483317	7.91	1	100
	2	30	276585			0.17	0.02	2
	3		85002			0	0	0
	4	57	20827			4.3	0.54	54
	5		2664			0	0	0

	6		25738			0	0	0
	7		21302			0	0	0
	8		25313			0	0	0
	9		3452			0	0	0
	10	112	28247			6.23	0.79	79
	11		813014			0	0	0
	12		1361956			0	0	0
	13		29772			0	0	0
	14		103004			0	0	0
	15	99	582068			0.27	0.03	3
	16	63	83958			1.18	0.15	15
	17	1519	1408127			1.69	0.21	21
	18	1039	1012556			1.61	0.2	20
	19		412355			0	0	0
	20	824	1751269			0.74	0.09	9
	21		660369			0	0	0
	22	12	804359			0.02	0	0
	23	3607	1475824			3.84	0.49	49
	24	820	1725108			0.75	0.09	9
	25		45927			0	0	0
	26		470			0	0	0
	27		452660			0	0	0
	28		10334			0	0	0
	29		12373			0	0	0
	30		15378			0	0	0
	31		43688			0	0	0
	32		527			0	0	0
	33		35260			0	0	0
	34		4716			0	0	0
	35	10	70856			0.22	0.03	3

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhittin Ozan KARAMAN
Yabancı Dil :İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı :İzmir / 1981
E-Posta :ozan0104@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

2007, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

2017-halen, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

2007-halen, Harita Mühendisi, DSİ 3. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi , İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü

Yayınları ve/veya Bilimsel Faaliyetleri:

Ödülleri:

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

2007, TMMOB Harita Kadastro Mühendisleri Odası