

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK HEYELAN
DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ VE
KONUMSAL HASSASİYETLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Aslan Cihat BAŞARA

Danışman

Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Aslan Cihat BAŞARA tarafından, Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN danışmanlığında hazırlanan “İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve Konumsal Hassasiyetlerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15.6.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Orhan DENGİZ		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı		Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye (Danışman)	Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı		Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK		<input checked="" type="checkbox"/>
	Gaziosmanpaşa Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı		Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Dönem Projesi tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza
12 / 07 / 2021
Aslan Cihat BAŞARA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve Konumsal Hassasiyetlerinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 06.05.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 11
Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza
12 / 07 / 2021
Yasemin ŞİŞMAN

ÖZET

İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ VE KONUMSAL HASSASİYETLERİNİN İNCELENMESİ

Aslan Cihat BAŞARA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2021

Danışman: Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

Heyelan ülkemizde meydana gelme sayısı bakımından incelendiğinde sıkça karşılaştığımız doğal afetlerden biridir. Bu tez çalışmasında genel olarak afet kavramı ve heyelan kavramından bahsedilmiştir. Heyelanların Türkiye’de meydana gelmesiyle ilgili istatistiklere yer verilmiştir. Heyelanların topluma verdiği zararların önceden tahmin edilebilmesi amacıyla yapılan heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve yöntemlerden bahsedilmiştir. Bu konuda daha önce yapılmış çalışmalarda en çok kullanılan yöntem ve parametreler araştırılarak detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışmanın uygulama kısmında Samsun ili ve ilçelerini kapsayan alanda Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Çalışmada Eğim, Bakı, Yükseklik, Eğrisellik, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Bitki Örtüsü İndeksi, Yıllık Toplam Yağış, Fay Hatlarına Yakınlık, Jeoloji ve Arazi Kullanım Durumu parametreleri kullanılmıştır. Parametreler Frekans Oranı Yöntemi, Kanıt Ağırlığı Yöntemi ve Lojistik Regresyon Yöntemi kullanılarak Heyelan Envanter Haritası ile ilişkilendirilmiş ve analiz edilmiştir. Analizler sonucunda Heyelan Duyarlılık Haritaları üretilmiştir. Üretilen haritalar “Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek” olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Parametre grupları duyarlılık sınıflarıyla karşılaştırılarak risk grupları oluşturulmuş ve tablolar halinde verilmiştir. Analizler sonucunda oluşan modellerin performanslarının değerlendirilmesinde ROC eğrisi ve AUC değerleri kullanılmış, model doğruluklarının değerlendirilmesinde eski heyelan olaylarının risk gruplarıyla uyumu incelenmiş ve modellerin konumsal hassasiyetlerinin incelenmesinde jeodezik hata yayılma kuralları uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Afet Yönetimi, Heyelan, Heyelan Duyarlılık Haritası, Heyelan Duyarlılık Parametreleri, Heyelan Duyarlılık Analizi Yöntemleri, Frekans Oranı Yöntemi, Kanıt Ağırlığı Yöntemi, Lojistik Regresyon Yöntemi, Hata Yayılma Hesabı

ABSTRACT

PRODUCTION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS BY STATISTICAL METHODS AND INVESTIGATION OF SPATIAL SUSCEPTIBILITY

Aslan Cihat BAŞARA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Geomatics Engineering

Master, June/2021

Supervisor: Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

When examined in terms of the number of occurrences in our country, one of the natural disasters we encounter frequently is landslides. In this thesis, the concept of disaster and landslides is generally mentioned. Statistics are given for the formation of the landslide in Turkey. In the landslide susceptibility analysis, the parameters and methods used to estimate the damage caused by landslides to the society are mentioned. The most used methods and parameters in previous studies on this subject have been investigated and explained in detail. Landslide Susceptibility Map was produced in the area covering Samsun province and its districts in the application part of the study. Slope, Aspect, Elevation, Curvature, Topographic Wetness Index, NDVI, Annual Total Precipitation, Proximity to Fault Lines, Geology and Land Use Status parameters were used in the study. Parameters were correlated and analyzed with the Heyalan Inventory Map using the Frequency Ratio Method, the Evidence Weight Method and the Logistic Regression Method. Landslide Susceptibility Maps were produced as a result of the analysis. The maps produced are divided into 5 classes as "Very Low, Low, Medium, High, Very High". Risk groups were created by comparing parameter groups and sensitivity classes and presented in tables. The ROC curve and AUC values were used to evaluate the performance of the models created as a result of the analysis, the compatibility of the old landslide events with the risk groups was examined in the evaluation of the model accuracy, the spatial accuracy of the models was determined by applying the error propagation rules.

Keywords: Disaster Management, Landslide, Landslide Susceptibility Map, Landslide Susceptibility Parameters, Landslide Susceptibility Analysis Methods, Frequency Ratio Method, Weight of Evidence Method, Logistic Regression Method, Error Propagation Calculation

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans sürecimde çalışmalarım boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Yasemin Şişman'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca her konuda yardımcı olmaya çalışan ve deneyimlerinden yararlandığım değerli arkadaşlarım Mehmet Emin TABAR ve Osman Enes Güneş'e teşekkür ederim.

Beni bugünlere getirmek için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan annem Ayşe BAŞARA'ya, babam Ömer BAŞARA'ya, kardeşlerime ve bütün aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aslan Cihat BAŞARA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Afet Kavramı	3
2.2. Afetlerin Sınıflandırılması.....	4
2.3. Doğal Afetlerin Dünyaya Etkileri	7
2.4. Heyelan Kavramı.....	10
2.5. Türkiye’de Yaşanan Heyelanlar	12
2.6. Heyelan Duyarlılık Analizi Alanında Literatür Özeti	15
2.7. Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Önemi.....	16
2.7.1. CBS’nin Bileşenleri	18
2.7.2. CBS’de Veri Türleri	22
2.7.3. CBS’de Veri Modelleri.....	23
2.8. Doğruluk ve Duyarlılık Kavramları	24
2.9. Konum Duyarlık ve Doğruluğu.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. Yamaç Eğimi	33
3.1.2. Litolojik Durum	34
3.1.3. Bakı Durumu	34
3.1.4. Yükseklik Durumu.....	35
3.1.5. Drenaj Özellikleri	36
3.1.6. Arazi Kullanım Durumu	37
3.1.7. Eğrisellik Durumu	37
3.1.8. Tektonik Unsura Yakınlık	38

3.1.9. Bitki Örtüsü Durumu	38
3.1.10. Yıllık Yağış Durumu	38
3.1.11. Heyelan Envanter Haritası	39
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Frekans Oranı Yöntemi (FR)	41
3.2.2. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE)	42
3.2.3. Lojistik Regresyon Yöntemi (LR)	43
3.2.4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)	46
3.2.5. Rastgele Orman Yöntemi (RF)	47
3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanma Aşamaları	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Çalışma Alanı	50
4.2. Parametre Haritalarının Üretilmesi	50
4.2.1. Eğim Haritasının Üretilmesi	51
4.2.2. Bakı Haritasının Üretilmesi	51
4.2.3. Yükseklik Haritasının Üretilmesi	52
4.2.4. Topoğrafik Nemlilik Haritasının Üretilmesi	53
4.2.5. Jeoloji Haritasının Üretilmesi	53
4.2.6. Eğrisellik Haritasının Üretilmesi	54
4.2.7. Fay Hatları Haritasının Üretilmesi	55
4.2.8. Bitki İndeksi (NDVI) Haritasının Üretilmesi	55
4.2.9. Yıllık Yağış Haritasının Üretilmesi	56
4.2.10. Arazi Kullanım Durumu Haritasının Üretilmesi	57
4.3. Haritaların Yeniden Sınıflandırılması	58
4.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi	70
4.4.1. Frekans Oranı Yöntemi (FR) ile Heyelan Duyarlılık Analizi	70
4.4.2. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE) ile Heyelan Duyarlılık Analizi	80
4.4.3. Lojistik Regresyon Yöntemi (LR) ile Heyelan Duyarlılık Analizi	93
4.5. Model Performansları	102
4.6. Model Doğrulukları	105
4.7. Modellerin Konumsal Hassasiyeti	105
5. SONUÇ	109
KAYNAKÇA	112
ÖZ GEÇMİŞ.....	119

SİMGELER VE KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CRED	: Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
FR	: Frekans Oranı Yöntemi
LR	: Lojistik Regresyon Yöntemi
WoE	: Kanıt Ağırlığı Yöntemi
RF	: Rastgele Orman Yöntemi
AHP	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
NDVI	: Bitki İndeksi
TWI	: Topoğrafik Nemlilik İndeksi
CORINE	: Avrupa Çevre Ajansı Arazi Örtüsü Sınıflandırması
SCI	: Bilim Alıntı Endeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünya'da Doğal Afetlerin Gerçekleşme Oranı	9
Şekil 2.2. Dünya'da Doğal Afetlerden Ölüm Oranı	9
Şekil 2.3. Dünya'da Doğal Afetlerden Etkilenme Oranı	10
Şekil 2.4. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Akma (AFAD, 2018)	11
Şekil 2.5. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Devrilme (AFAD, 2018).....	12
Şekil 2.6. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Düşme (AFAD, 2018).....	12
Şekil 2.7. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Yanal Yayılma (AFAD, 2018)..	12
Şekil 2.8. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Kayma (AFAD, 2018)	12
Şekil 2.9. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Karmaşık (AFAD, 2018)	12
Şekil 2.10. 1950-2008 Arasında Heyelanların Dağılımı (Gökçe, vd., 2008).....	13
Şekil 2.11. 1950-2018 Arasında Heyelanların Dağılımı (AFAD, 2018)	15
Şekil 2.12. CBS Bileşenleri.....	18
Şekil 2.13. CBS Veri Türleri.....	22
Şekil 2.14. CBS Veri Modelleri	24
Şekil 2.15. Doğruluk ve Duyarlılık Ölçütleri.....	24
Şekil 2.16. Doğruluk ve Duyarlılık Kavramı	25
Şekil 3.1. 1990-1994 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri	29
Şekil 3.2. 1995-1999 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri	29
Şekil 3.3. 2000-2004 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri	30
Şekil 3.4. 2005-2009 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri	30
Şekil 3.5. 2010-2014 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri	31
Şekil 3.6. 2015-2016 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri	31
Şekil 3.7. Heyelan Envanter Haritası	39
Şekil 3.8. Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması için İş Akış Şeması.....	49
Şekil 4.1. Çalışma Alanı	50
Şekil 4.2. Eğim Haritası	51
Şekil 4.3. Bakı Haritası	52
Şekil 4.4. Yükseklik Haritası	52
Şekil 4.5. Topoğrafik Nemlilik Haritası.....	53
Şekil 4.6. Jeoloji Haritası	54
Şekil 4.7. Eğrisellik Haritası	54
Şekil 4.8. Fay Hatları Haritası.....	55
Şekil 4.9. Bitki İndeksi (NDVI) Haritası	56
Şekil 4.10. Yıllık Yağış Haritası	56
Şekil 4.11. Arazi Kullanımı Haritası.....	58
Şekil 4.12. Sınıflandırılmış Eğim Haritası	60
Şekil 4.13. Sınıflandırılmış Jeoloji Haritası	61
Şekil 4.14. Sınıflandırılmış Bakı Haritası	62
Şekil 4.15. Sınıflandırılmış Yükseklik Haritası	63
Şekil 4.16. Sınıflandırılmış Topoğrafik Nemlilik Haritası.....	64
Şekil 4.17. Sınıflandırılmış Arazi Kullanımı Haritası.....	65
Şekil 4.18. Sınıflandırılmış Eğrisellik Haritası	66
Şekil 4.19. Sınıflandırılmış Faya Yakınlık Haritası	67
Şekil 4.20. Sınıflandırılmış Bitki İndeksi (NDVI) Haritası	68
Şekil 4.21. Sınıflandırılmış Yıllık Yağış Haritası	69
Şekil 4.22. Heyelan Duyarlılık Haritası (Frekans Oranı Yöntemi).....	73
Şekil 4.23. Heyelan Duyarlılık Haritası (Kanıt Ağırlığı Yöntemi).....	86
Şekil 4.24. Heyelan Duyarlılık Haritası (Lojistik Regresyon Yöntemi).....	95

Şekil 4.25. Frekans Oranı Yöntemi ROC Eğrisi	103
Şekil 4.26. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ROC Eğrisi	104
Şekil 4.27. Lojistik Regresyon Yöntemi ROC Eğrisi	104

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Doğal Afetler (Guha-Sapir, et al., 2016)	7
Tablo 2.2. Doğal Olmayan Afetler (Sawada, et al., 2011).....	7
Tablo 2.3. Doğal Afet Sayısı (CRED, 2018)	8
Tablo 2.4. Doğal Afetlerden Ölen Kişi Sayısı (CRED, 2018).....	8
Tablo 2.5. Doğal Afetlerden Etkilenen Kişi Sayısı (CRED, 2018)	8
Tablo 3.1. Heyelan Duyarlılık Parametreleri (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).....	27
Tablo 3.2. 1990-2016 Arasında Yapılan Analizlerde Parametre Kullanım Oranı	32
Tablo 3.3. Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler (Aleotti and Chowdhury, 1999).....	41
Tablo 3.4. AHP Tercih Ölçekleri (Saaty, 1980)	47
Tablo 4.1. CORINE Arazi Örtüsü Sınıfları.....	57
Tablo 4.2. Parametre Sınıfları	59
Tablo 4.3. Eğim Sınıflarının Alansal Dağılımı	60
Tablo 4.4. Jeoloji Sınıflarının Alansal Dağılımı	61
Tablo 4.5. Bakı Sınıflarının Alansal Dağılımı	62
Tablo 4.6. Yükseklik Sınıflarının Alansal Dağılımı	63
Tablo 4.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi Sınıflarının Alansal Dağılımı.....	64
Tablo 4.8. Arazi Kullanım Durumu Sınıflarının Alansal Dağılımı	65
Tablo 4.9. Eğrisellik Sınıflarının Alansal Dağılımı	66
Tablo 4.10. Fay Hatlarına Yakınlık Sınıflarının Alansal Dağılımı.....	67
Tablo 4.11. Bitki İndeksi (NDVI) Sınıflarının Alansal Dağılımı	68
Tablo 4.12. Yıllık Yağış Sınıflarının Alansal Dağılımı	69
Tablo 4.13. Frekans Oranı Yöntemi Yükseklik Değerleri	70
Tablo 4.14. Frekans Oranı Yöntemi Eğim Değerleri.....	70
Tablo 4.15. Frekans Oranı Yöntemi Bakı Değerleri	70
Tablo 4.16. Frekans Oranı Yöntemi Bitki İndeksi (NDVI) Değerleri	71
Tablo 4.17. Frekans Oranı Yöntemi Yıllık Yağış Değerleri.....	71
Tablo 4.18. Frekans Oranı Yöntemi Topoğrafik Nemlilik Değerleri	71
Tablo 4.19. Frekans Oranı Yöntemi Jeoloji Değerleri.....	71
Tablo 4.20. Frekans Oranı Yöntemi Faya Yakınlık Değerleri.....	72
Tablo 4.21. Frekans Oranı Yöntemi Eğrisellik Değerleri	72
Tablo 4.22. Frekans Oranı Yöntemi Arazi Kullanımı Değerleri	72
Tablo 4.23. Frekans Oranı Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Dağılımı ...	74
Tablo 4.24. Frekans Oranı Yöntemi ile Yükseklik Çıktı Verileri.....	74
Tablo 4.25. Frekans Oranı Yöntemi ile Eğim Çıktı Verileri	75
Tablo 4.26. Frekans Oranı Yöntemi ile Bakı Çıktı Verileri.....	76
Tablo 4.27. Frekans Oranı Yöntemi ile Bitki İndeksi (NDVI) Çıktı Verileri.....	76
Tablo 4.28. Frekans Oranı Yöntemi ile Yıllık Yağış Çıktı Verileri	77
Tablo 4.29. Frekans Oranı Yöntemi ile Topoğrafik Nemlilik Çıktı Verileri.....	77
Tablo 4.30. Frekans Oranı Yöntemi ile Eğrisellik Çıktı Verileri.....	78
Tablo 4.31. Frekans Oranı Yöntemi ile Faya Yakınlık Çıktı Verileri	78
Tablo 4.32. Frekans Oranı Yöntemi ile Jeoloji Çıktı Verileri	79
Tablo 4.33. Frekans Oranı Yöntemi ile Arazi Kullanımı Çıktı Verileri	80
Tablo 4.34. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Yükseklik Değerleri	81
Tablo 4.35. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Eğim Değerleri	81
Tablo 4.36. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Bakı Değerleri	82
Tablo 4.37. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Eğrisellik Değerleri	82
Tablo 4.38. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Yıllık Yağış Değerleri	82
Tablo 4.39. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Topoğrafik Nemlilik Değerleri.....	83
Tablo 4.40. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Faya Yakınlık Değerleri.....	83

Tablo 4.41. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Bitki İndeksi Değerleri	84
Tablo 4.42. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Jeoloji Değerleri	84
Tablo 4.43. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Arazi Kullanımı Değerleri.....	85
Tablo 4.44. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Dağılımı.....	87
Tablo 4.45. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Yükseklik Çıktı Verileri	87
Tablo 4.46. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Eğim Çıktı Verileri.....	88
Tablo 4.47. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Bakı Çıktı Verileri.....	89
Tablo 4.48. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Yıllık Yağış Çıktı Verileri.....	89
Tablo 4.49. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Bitki İndeksi (NDVI) Çıktı Verileri	90
Tablo 4.50. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Topoğrafik Nemlilik Çıktı Verileri	90
Tablo 4.51. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Eğrisellik Çıktı Verileri.....	91
Tablo 4.52. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Faya Yakınlık Çıktı Verileri.....	91
Tablo 4.53. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Arazi Kullanımı Çıktı Verileri	92
Tablo 4.54. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Jeoloji Çıktı Verileri.....	93
Tablo 4.55. Lojistik Regresyon Yöntemi Katsayıları	94
Tablo 4.56. Lojistik Regresyon Yöntemi Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Dağılımı. 96	
Tablo 4.57. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Yükseklik Çıktı Verileri	96
Tablo 4.58. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Eğim Çıktı Verileri.....	97
Tablo 4.59. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Bakı Çıktı Verileri.....	98
Tablo 4.60. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Bitki İndeksi Çıktı Verileri.....	98
Tablo 4.61. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Yıllık Toplam Yağış Çıktı Verileri	99
Tablo 4.62. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Topoğrafik Nemlilik Çıktı Verileri	99
Tablo 4.63. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Eğrisellik Çıktı Verileri.....	100
Tablo 4.64. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Faya Yakınlık Çıktı Verileri.....	100
Tablo 4.65. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Arazi Kullanımı Çıktı Verileri	101
Tablo 4.66. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Jeoloji Çıktı Verileri.....	102
Tablo 4.67. Model Doğrulukları	105
Tablo 4.68. Ölçek Çözünürlük İlişkisi (Cabuk, et al., 2010)	107
Tablo 4.69. Parametrelere Ait Konum Doğruluğu.....	107

1. GİRİŞ

Doğal afetler, yüksek oranda ya da tümüyle insan etkileri dışında gerçekleşen, can kaybına ve mal kaybına sebebiyet veren tehlikeli ve geneli itibarıyla büyük alanlarda etkisini gösteren olaylardır. Ülkemizde doğal afetlerin sebep olduğu hasarlar incelendiğinde, deprem olaylarının ardından en çok mal kaybına ve can kaybına sebep teşkil eden doğal afet çeşidinin kütlelerin hareket etmesi olarak tanımlanan heyelan sonucu olduğu görülmektedir (İlçir, 1995). Doğal afetler arasında bulunan heyelanlar, küresel olarak bakıldığında tüm dünyada mal kayıplarının ve can kayıplarının yanında, orman alanları ve tarım alanları gibi doğal çevreyi etkileyen önemli alanlara zarar vererek doğal ekosistemi etkileyerek negatif sonuçlar doğurmaktadır (Brabb, 1989; Brown, 1983; Kato, et al., 1997; Lee, et al., 2000; Schuster, 1996; Schuster and Fleming, 1986).

Tarım alanlarında ve ormanlık alanlarda, konut ve işyeri gibi yapıların bulunduğu alanlarda heyelanlar sonucunda sorunlar meydana gelmektedir. Bu sorunlar tarımsal üretimin kalitesinin düşmesine, ekonomik kazancın azalmasına, konut değerlerinin düşmesine ve işyerlerinin faaliyetlerinin durmasına sebep olabilmektedir (Alexander, 1995; Guzzetti, 2000; Rosenfeld, 1994; Schuster and Fleming, 1986). Bu pencereden baktığımız zaman ülkemizde meydana gelen heyelanlar ve sebep oldukları negatif etkiler birçok bilimsel çalışma ile incelenmiştir.

Heyelanların sebep olduğu negatif etkiler dikkatle incelendiğinde ilk olarak mevcut kütle hareketlerinin mekana bağlı dağılımı olan envanter bilgisinin ortaya çıkarılması gerektiği görülür. Mevcut olan envanter verisinden yararlanarak heyelan duyarlılık analizleri, risk ve tehlike değerleri belirlenebilmektedir (Fell, et al., 2008; Guzzetti, et al., 1999; Van Westen, et al., 2008). Gelecekte olması muhtemel heyelan olaylarına karşı duyarlı bölgeleri ortaya çıkaran heyelan duyarlılığı analizi, herhangi bir bölgenin toprak kayması meydana gelme olasılığını ortaya koyar (Guzzetti, et al., 2006).

Bu kapsamda hazırlanmış yüksek lisans tez çalışmasında, genel olarak afet kavramı, heyelan analizinde kullanılacak parametreler ve yöntemlerin seçimi incelenmiştir. Özel olarak ise Frekans Oranı Yöntemi, Kanıt Ağırlığı Yöntemi ve Lojistik Regresyon Yöntemi kullanılarak Samsun iline ait heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çalışmada kullanılan parametrelere ait alt sınıflar yöntemler sonucunda üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile ilişkilendirilmiş ve riskli sınıflar

belirlenmiştir. Üretilen haritaların doğrulukları ROC eğrisi ve genel doğruluk denklemleri kullanılarak, konumsal olarak hassasiyetleri jeodezik hata yayılma kuralları uygulanarak belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Her gün dünyanın farklı birçok ülkesinde yaşayan insanların mal ve can kayıplarıyla ilgili birçok haber, medya aracılığıyla servis edilmekte, sıkıntıya düşmüş olanlara ulaşabilmek amacıyla çaba sarf eden personellerin ve kurumların uğraşları gözler önüne serilmektedir. Afetler farklı şekillerde ortaya çıkarlar ve hepsi farklı etkiler doğurur. Afetler bir anda oluşup etkilerini açığa çıkarabileceği gibi uzun yıllara bağlı olarak da oluşabilmektedir. Bazıları doğal koşulların getirdiği sonuçlardır, bazıları ise beşeri kaynaklı nedenlerde oluşmaktadır. Her ne sebeple meydana gelirse gelsin afetler, büyük kayıplara, birkaç nesil sonrasını etkisi altında bırakabilecek büyük acılara, sosyolojik problemlere ve psikolojik olarak olumsuz etkilere, ekonomik açıdan servet niteliğinde zararlara sebep olan alışılmışın dışında gerçekleşen olaylardır. Bazı afetler oluşmadan tahmin yürütülmekte ve oluşabilecek riskin mertebesine göre oluşumundan önce insanlara önlem alabilecek zaman vermektedir. Bazı afetler ise büyüklüğü, şiddeti ve merkezi bugün ulaştığımız teknoloji ile önceden tespit edilememektedir ve bu afetlere karşı önlem almak oldukça zordur (Arca, 2012).

2.1. Afet Kavramı

Afet kavramı, AFAD'ın (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) hazırlamış olduğu terimler sözlüğünde genel olarak şöyle tanımlanmaktadır: Toplumun bir kısmında ya da bütününde fiziksel hasarlara, ekonomik kayıplara ve sosyal problemlere sebep olan, gündelik yaşamı ve insan etkinliklerini sona erdiren ya da yavaşlatan, etkisi altında kalan toplumun başa çıkamayacağı teknoloji kaynaklı, insan kaynaklı ve doğa kaynaklı olaylardır. Aslında bir olayın direkt olarak kendisi değildir, olayın meydana getirdiği sonuçtur (AFAD, 2014).

Birleşmiş Milletler afetin tanımını terminolojik olarak şöyle vermiştir: “Etkisi altında kalan toplumun öz kaynaklarını kullanabilme becerisini yok edecek kadar büyük oranda, insani etkileri, maddi ve ekonomik problemleri ya da oluştuğu çevre bağlamında olumsuz sonuç ve etkileri barındıran toplumun hareket kabiliyetinde önemli derecede aksamalar getiren olaylardır” (UNISDR, 2009).

Açıklamalardan da görüleceği gibi, gerçekleşen olayı afet diye adlandırılabilmesi için meydana getirdiği sonuçlar bakımından, etkisini gösterdiği toplumda maddi-manevi zararlara ve günlük hayatın akışında büyük problemlere

neden olması gereklidir.

Afetlerin sahip oldukları ortak nitelikler şu şekilde listelenebilir: İnsanları, hayvanları, bitkileri ve doğal ekosistemi etkilerler; uygulanan müdahale gerekenden daha azdır; sosyal süreçler önemli rol oynar; toplumların başa çıkma becerilerinin üzerindedir ve travmatik bir olaylardır; doğa veya teknolojiden ayrı olarak etkileri toplumla alakalıdır; zarar görme ihtimali ile ilişkisi doğrudandır; İhtiyaçlar kaynaklardan daha fazladır; çoğunlukla bir tehlike tarafından tetiklenirler (Önsüz ve Atalay, 2015).

Bir afetin niceliği oluşturduğu can kaybı, mal kaybı ve ekonomik kayıplarla, sebebiyet verdiği çevresel zararların, göçlerin ve nüfus hareketlerinin büyüklüğüne göre tespit edilir. Nitelikleri itibariyle afetler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Etkisi altında bıraktıkları mekâna ya da insan sayısına bakıldığında küçük ölçekli, orta ölçekli ve büyük ölçekli afetler olarak sınıflandırılacakları gibi oluşum sürelerine bakıldığında aniden ortaya çıkan ya da uzun sürelerde meydana gelen afetler olarak da sınıflandırılabilir. Çok sayıda etkiyi harekete geçirmeleri halinde dinamik afetler, nedenleri bakımından, doğal afetler ve teknolojik afetler olarak sınıflandırılabilir (Kadıoğlu, 2011).

2.2. Afetlerin Sınıflandırılması

Afetler; doğal afetler ve doğal olmayan afetler (insan kökenli, teknoloji kaynaklı) olmak üzere 2 ana başlıkta (Tablo 2.1 – 2.2) ve bu ana başlıklar altında çeşitli özelliklerine göre alt başlıklarla sınıflandırılabilir.

Doğal afetler; oluşumlarına engel olunamayan heyelan, deprem, sel, çığ, fırtına, kuraklık, hortum, dolu gibi hidrolojik, jeolojik ve meteorolojik faaliyetli doğa olaylarına verilen isimdir (Ergünay, et al., 2008).

Doğal afetler; doğa olaylarından kaynaklıdır ve meydana gelmeleri doğanın rutin hareketleri çerçevesindedir. Görülme oranı yüksek çeşitleri depremler, heyelanlar, su baskınları, çamur akıntıları, çekirge istilaları, çığlar, çölleşme, deniz-göl su seviye değişimleri, dolu, don, fırtına kabarması, hortum, kaya düşmesi, kuraklık, orman yangınları, salgın hastalıklar, bulaşıcı hastalıklar, seller, sis ve düşük görüş mesafesi sıcak hava dalgaları, soğuk hava dalgaları, , şiddetli rüzgâr, tarımsal zararlılar, toz fırtınaları, kum fırtınaları, yağmur fırtınaları, kar fırtınaları, tsunami, yanardağ patlaması, buzlanma, lav akıntısı ve küller, yıldırım, zemin çökmesi şeklinde sıralanabilir (Kadıoğlu, 2011).

Doğal afetlerin ortaya çıkış nedenlerinde insan etkisinin ne miktarda devrede bulunduğu veya bu felaketlerin meydana gelme şartlarına bir etkisi var mı diye tartışılırken, son yüzyıllarda doğanın iç dengesinin yüksek miktarda bozulması neticesinde, doğal afetlerin meydana gelmesinde bir yükselme olduğu hemen hemen bütün çevrelerce onaylanmaktadır (Kanlı, 2018).

1999 yılının Aralık ayında gerçekleşen Birleşmiş Milletler Genel Kurulu toplantısında, “Birleşmiş Milletler Afet Zararlarının Azaltılması Uluslararası Stratejisi (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR))” kabul edilerek, afetler olaylarına karşı farkındalık kazanmış kitleler oluşması hedeflenmiştir. Bu kitleler afet tehditlerinin indirgenmesinde, sürdürülebilir gelişmenin değerli bir parçası olmuştur. UNISDR sayesinde afetler nedeniyle meydana gelen can ve mal kayıplarının en aza düşürülmesi amaçlanmıştır (UNISDR, 2017). Küresel manada doğal afetler 6 başlık altında sınıflandırılmakta ve sayısal olarak kayıt altına alınmaktadır. Bu sınıflandırma sonucu oluşan başlıklar ve bazı örnekler şöyledir (Guha-Sapir, et al., 2016):

- Jeofiziksel oluşumlu doğal afetler: Örneğin volkanik aktiviteler ve depremler
- Hidrolojik oluşumlu doğal afetler: Örneğin toprak kaymaları ve seller
- Meteorolojik oluşumlu doğal afetler: Örneğin aşırı sıcaklar ve kasırgalar
- İklimsel oluşumlu doğal afetler: Örneğin buzullardaki erimeler ve kuraklık
- Biyolojik oluşumlu doğal afetler: Örneğin böcek istilaları ve salgın hastalıklar
- Dünya dışı etkilerin sebep olduğu doğal afetler: Örneğin uzaydan gelebilecek etkiler ve göktaşı faaliyetleri.

Doğal afetleri biyolojik kaynaklı afetler (salgın hastalıklar), hidrolojik kaynaklı afetler (sel), jeolojik kaynaklı afetler (heyelan), jeofiziksel kaynaklı afetler (deprem), meteorolojik kaynaklı afetler (fırtına), oşionografik kaynaklı afetler (tsunami) şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Kadıoğlu, 2011).

Doğal olmayan afetler, UNISDR terminolojisinde, “İnsan Kökenli Tehlikeler/Afetler” ve “Teknolojik Tehlikeler/Afetler” olmak üzere iki yardımcı başlıkta sınıflandırılmakta olup, "bütünüyle veya çoğunluğuyla insan davranışları ve tercihleriyle oluşturulan felaketler" şeklinde tanımlanır. Milletlerarası hukuk kurallarına ve ulusal yazılı kaynaklara bağlı olan silahlı çarpışmaların ve sosyal istikrar problemlerinin ve gerginlik hallerinin ya da tehditlerinin dışında teknolojik kaynaklı tehlikeler, insan eliyle yapılmış tehlikelerin altında bir sınıfta olduğu düşünülür. Bunlar nükleer tehlikeler, kimyasal tehlikeler ve radyolojik tehlikelerin

yanında ulaşım tehlikelerinin, teknoloji durumlarının ya da endüstri şartlarının, alt yapı sorunlarının ya da belli insan davranışlarının sebep olduğu tehlikelerdir. Endüstriyel kirlenme olayı, kimyasal sızıntılar, ulaşım kazaları, toksik atık maddeler ve fabrika patlamaları örnek olarak verilebilir. Doğal afetler etki alanları bakımından teknoloji kaynaklı afetlere doğrudan sebep olabilir. Doğal afetlerden sonucunda oluşan teknolojik afetlere “Natech” adı verilir (UNISDR, 2017).

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi) gruplandırmasına göre, doğal olmayan afetler iki yardımcı gruba ayrılır. Bu gruplar teknolojik kaynaklı afetler ve insan kaynaklı afetlerdir. Bu iki yardımcı grupta kendi içerisinde iki alt gruptan meydana gelir (Sawada, et al., 2011):

Teknolojik Kaynaklı Afetler:

a) Endüstriyel oluşumlu kazalar: Örneğin kimyasal sızıntılar ve radyoaktif madde zararları

b) Ulaşımdan kaynaklanan kazalar: Örneğin havayolu kazaları ve demiryolu kazaları

İnsan Kaynaklı Afetler:

a) Ekonomik oluşumlu afetler: Örneğin yüksek enflasyon ve mali krizler

b) Şiddet kaynaklı afetler: Örneğin savaşlar ve terör eylemleri

Doğal olmayan afetler, insanların ve politik faaliyetlerin ortaya çıkardığı savaşlar, iç savaşlar, terörist faaliyetler, büyük çapta meydana gelen nüfus hareketleri gibi olaylar ve bu olayların meydana getirdiği sonuçların tamamını ifade eder. Doğal olmayan teknolojik kökenli afetler ise insanların teknolojiyi yanlış kullanmaları sonucunda meydana gelen negatif etkilerdir (Ergünay, vd., 2008).

Teknoloji kaynaklı afetler de doğal afet oluşturabilir. Teknoloji kaynaklı afetlerden kaynaklı nedenlerden dolayı doğal afetlerin tetiklenmesi, birbirlerini etkileyerek harekete geçmesi de mümkündür. Örnek verirsek özellikle çevresel felaketlere neden olan teknoloji kaynaklı afetlerin meydana gelmesinin ardında doğal afet sınıfında yer alan böcek istilaları, salgın hastalıklar, ormanlık alanlardaki yangınlar, vb. afetlerde görülebilir. Bu yüzden, doğal afette olsa insan kaynaklı veya teknoloji kaynaklı afette de olsa birbirlerini tetikleyebilirler.

Teknoloji kaynaklı afetlere toplumda gerçekleşen olaylar, pilotajın sebep olduğu kara, deniz, hava ve demiryolu kazaları, tehlikeli madde nakliyesi yapan ulaşım aracı kazaları, asit yağmurları, binalarda meydana gelen çökmeler, yollarda

meydana gelen çökmeler, tünellerde meydana gelen çökmeler, maden ocaklarında meydana gelen çökmeler, hidroelektrik barajların yıkılmaları, gaz sızıntıları, kimyasal sızıntıları, endüstri kaynaklı kazalar, hava kirliliği, hayvanlarda meydana gelen salgın hastalıklar, bitkilerde meydana gelen salgın hastalıklar, çevrenin sürekli kirlenmesi, savaş olayları, iş kazaları, ekonomik kriz, kıtlık ve açlık, küresel ısınma, orman alanlarının yok olması, kimyasal kazalar, biyolojik kazalar, radyasyon-nükleer serpintiler, terör eylemleri örnek olarak verilebilir (Kadioğlu, 2011).

Tablo 2.1. Doğal Afetler (Guha-Sapir, et al., 2016)

DOĞAL AFETLER							
Jeofiziksel Afetler		Hidrolojik Afetler		Meteorolojik Afetler	Biyolojik Afetler	İklimsel Afetler	Dünya Dışı Kaynaklı
Deprem	Heyelan	Taşkın	Heyelan	Kasırgalar	Salgın Hastalıklar	Kuraklık	Göktaşı Faaliyetleri
Volkanik Patlama	Çığ	Ani Sel	Çığ	Aşırı Sıcaklıklar	Böcek İstilası	Buzul Erimeleri	Uzay Etkileri
Kaya Düşmesi	Çökme	Kaya Düşmesi	Çökme				

Tablo 2.2. Doğal Olmayan Afetler (Sawada, et al., 2011)

DOĞAL OLMAYAN AFETLER							
Teknolojik Afetler				İnsan Kaynaklı Afetler			
Endüstriyel Kazalar		Ulaşım Kazaları		Ekonomik Krizler		Şiddet İçeren Krizler	
Kimyasal Sızıntılar	Yangınlar	Havayolu Kazalar	Denizyolu Kazaları	Yüksek Enflasyon	Finansal Krizler	Savaşlar	Terör Eylemleri
Radyoaktif Madde Zararları	Endüstriyel Altyapı Çökmeleri	Demiryolu Kazaları	Karayolu Kazaları	Mali Krizler		Ayaklanmalar	

2.3. Doğal Afetlerin Dünyaya Etkileri

CRED tarafından 2018 yılında Dünya doğal afet verileri açıklanmıştır. Bu verilere göre 2018'de 11.804 ölüm, 68 milyondan fazla etkilenen insan ve dünya genelinde 131.7 milyar dolarlık ekonomik kayıp ile 315 doğal afet olayı kaydedilmiştir. Afet etkisinin en fazla görüldüğü kıta Asya kıtasıdır. Asya kıtasında meydana gelen afetler, afet olaylarının %45'ini, ölümlerin% 80'ini ve afetten etkilenen insanların %76'sını oluşturmaktadır. Küresel olarak, Endonezya'da toplam

ölümlerin %47'si gerçekleşirken, afetlerden etkilenme bakımından Hindistan %35 ile birinci sırada yer almaktadır.

CRED 2018 doğal afet verileri incelenerek meydana gelen toplam doğal afet sayısı Tablo 2.3'te, afetlerden ölen kişi sayısı Tablo 2.4'te ve afetlerden etkilenen kişi sayısı Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Doğal Afet Sayısı (CRED, 2018)

DOĞAL AFET SAYISI		
Afet Türü	2018	Ort. (2000-2017)
Kuraklık	16	17
Deprem	20	26
Aşırı Sıcaklık	26	20
Sel	127	153
Heyelan, Kütle Hareketi	14	20
Fırtına	95	101
Volkanik Faaliyet	7	4
Orman Yangını	10	9

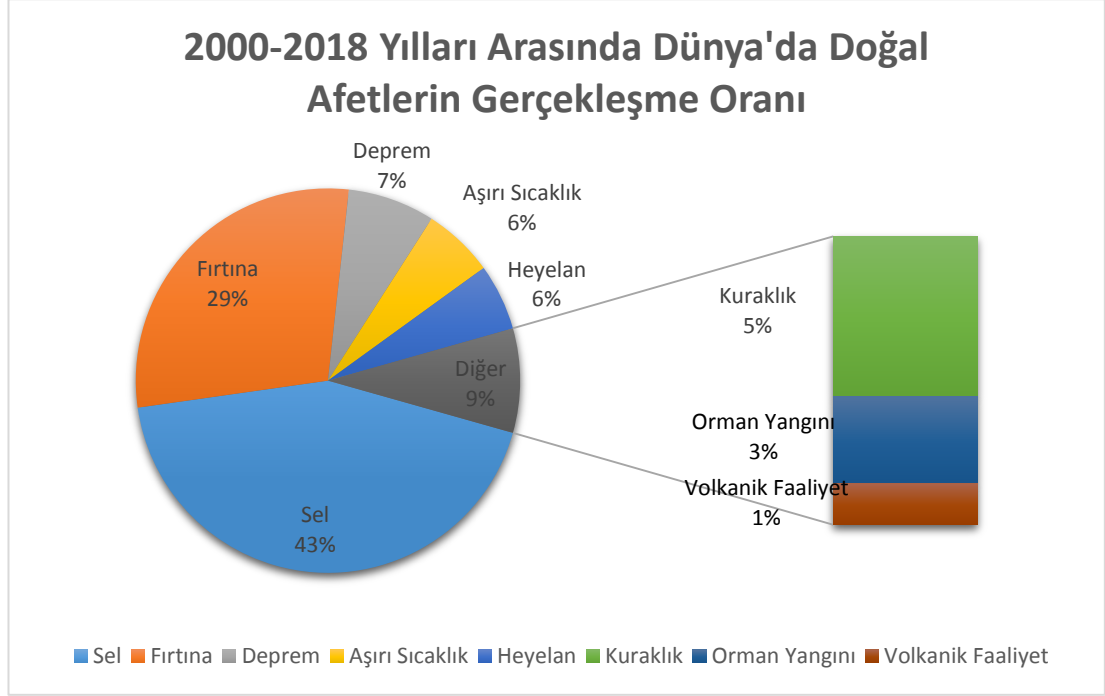
Tablo 2.4. Doğal Afetlerden Ölen Kişi Sayısı (CRED, 2018)

DOĞAL AFETLERDEN ÖLEN KİŞİ SAYISI		
Afet Türü	2018	2000-2017
Kuraklık	0	2004
Deprem	5264	35197
Aşırı Sıcaklık	536	7388
Sel	2879	5039
Heyelan, Kütle Hareketi	292	1058
Fırtına	1734	16762
Volkanik Faaliyet	878	44
Orman Yangını	221	80

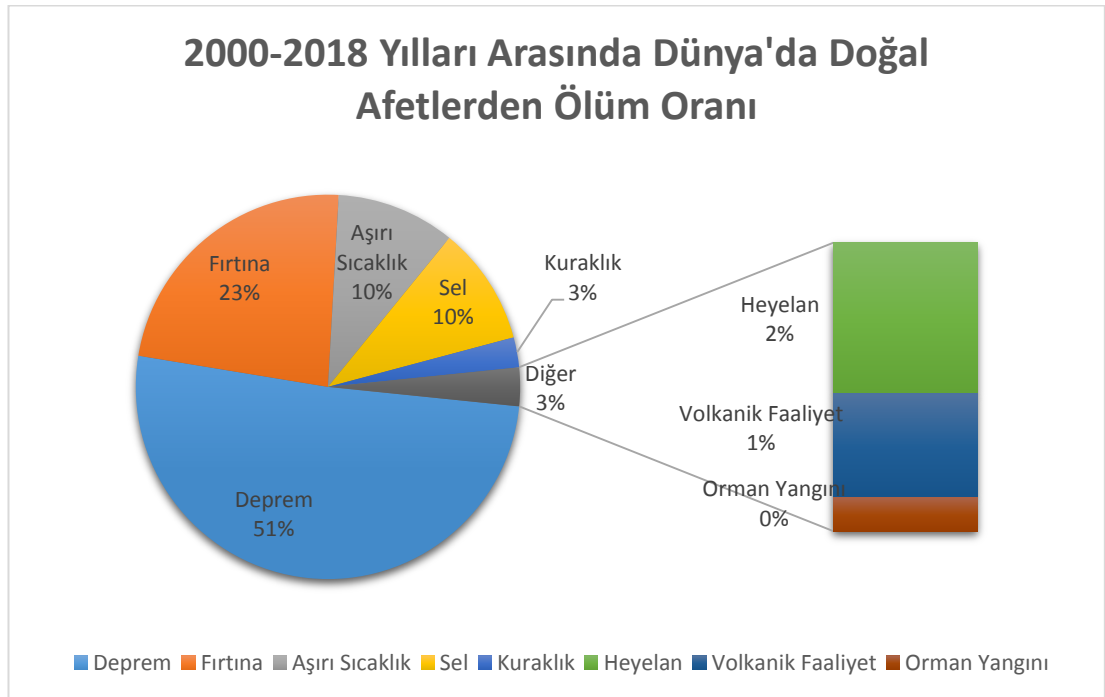
Tablo 2.5. Doğal Afetlerden Etkilenen Kişi Sayısı (CRED, 2018)

DOĞAL AFETLERDEN ETKİLENEN KİŞİ SAYISI (MİLYON)		
Afet Türü	2018	2000-2017
Kuraklık	10.8	73.9
Deprem	1.4	8.3
Aşırı Sıcaklık	0.3	9.0
Sel	34.2	73.1
Heyelan, Kütle Hareketi	0.06	0.3
Fırtına	19.4	33.9
Volkanik Faaliyet	1.9	0.2
Orman Yangını	0.3	0.1

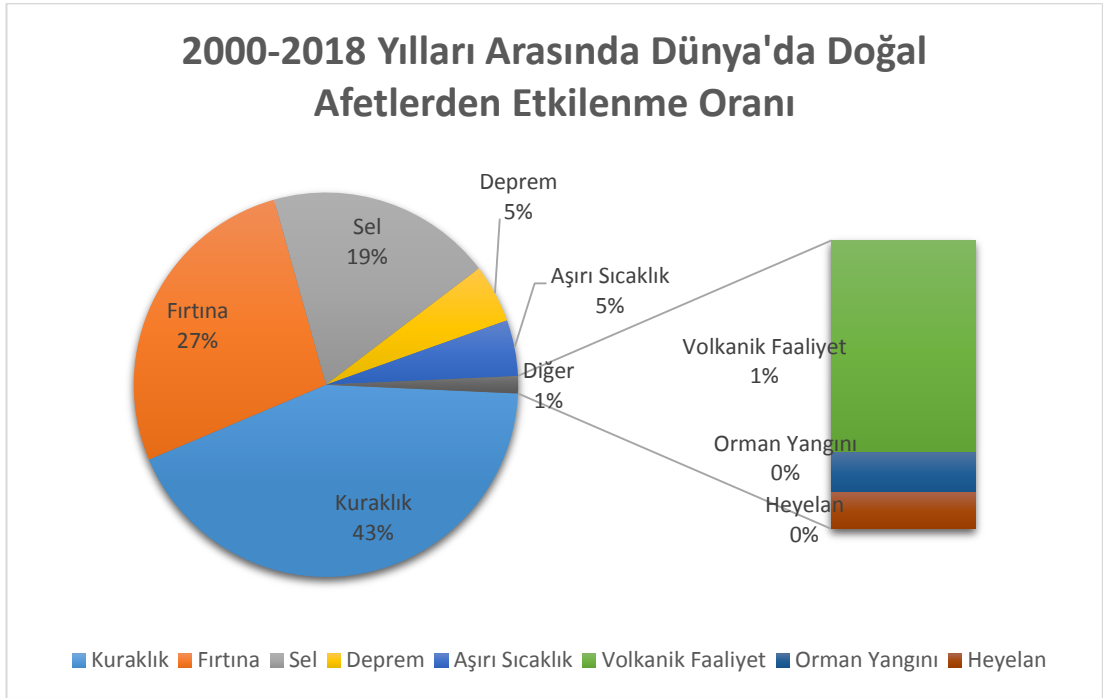
Tablolarda verdiğimiz bilgilerden yola çıkarak 2000-2018 yılları arasında Dünya’da doğal afetlerin gerçekleşme oranı Şekil 2.1’de, doğal afetlerden ölüm oranı Şekil 2.2’de ve doğal afetlerden etkilenme oranı Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.1. Dünya'da Doğal Afetlerin Gerçekleşme Oranı



Şekil 2.2. Dünya'da Doğal Afetlerden Ölüm Oranı



Şekil 2.3. Dünya'da Doğal Afetlerden Etkilenme Oranı

2.4. Heyelan Kavramı

Afet terimleri sözlüğüne göre heyelan; toprak ve kaya gibi parçaların, yer çekiminin etkisiyle ya da meydana gelen depremler ve sürekli yağmurlar gibi dış faktörlerin etkisi ile anlaşılabilir oranda, aşağı yönde hareket etmesi ya da kayması sonucu oluşmaktadır (AFAD, 2014).

Heyelan, toprak kayması olarak da adlandırılır. Ülkemizde eğimli, sürekli ve bol miktarda yağmur yağan yerlerde fazla meydana gelen doğal afet çeşitlerinden biridir. Doğal afet gruplandırmasında hidrolojik kaynaklı afetler grubundadır. Su kaynaklı oluşan sel ve çığ gibi doğal afetlerle de birlikte incelenir. Bahsedilen doğal afetleri harekete geçiren etkenler fırtınalar ve yağışlardır. Bu iki etken arazi koşullarının da uygun olmasıyla bir araya gelince, afetler meydana gelmekte ve can kayıpları ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Su miktarının az olması kuraklığa, kıtlığa ve yoksulluğa, çok olması ise heyelan, sel, çığ ve taşkın gibi afetlere neden olmaktadır (Kadıoğlu ve Özdamar, 2008).

Heyelan olayları, Türkiye’de en fazla eğim açısı yüksek, dik ve yüksek miktarda yağış alan Kuzey Anadolu bölümünün dağlık yerlerinde meydana gelmektedir (Öztürk, 2002).

Heyelanlar, genellikle hareketin meydana geliş biçimlerine ve materyal

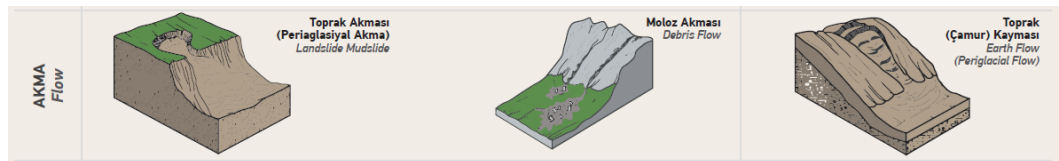
türlerine bağlı olarak gruplandırılmaktadır. Derinlikleri açısından baktığımızda derin heyelanlar ve sığ heyelanlar olmak üzere gruplandırılabilir (Eker ve Aydın, 2014).

Heyelanların meydana gelebilmesinin öncelikli ilk koşulu, eğimin olmasıdır. Çünkü yağıştan kaynaklanan etkiler veya zeminin yapısından kaynaklı etkiler eğer arazide eğim bulunmuyorsa kaya kütleleri, çakıl ya da toprağı harekete geçiremez (Öztürk, 2002). Bunun yanı sıra volkan kaynaklı püskürükler sonucunda oluşan veya erozyon sonucunda üzerinde toprak bulunmayan, bitki örtüsü yok olmuş eğim açısı yüksek alanlarda heyelan meydana gelmez. Arazinin eğim değeri, arazinin kaplı olduğu bitki örtüsü, ormanla kaplı olması durumunda ormanın yaşlı veya genç ağaçlardan oluşması, ağaçların türü, iklim, yağışın süreklilik durumu, toprak yapısı gibi pek çok faktör heyelanın etkisini belirleyen ölçütlerdendir.

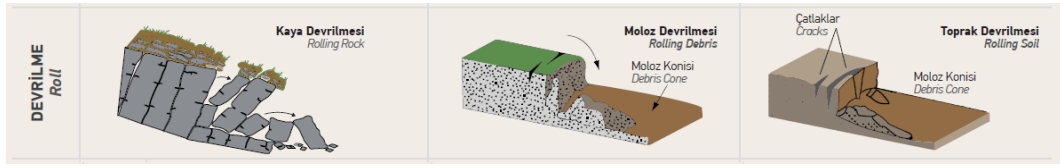
Orman varlığının heyelan olaylarına etkisi üzerinde yapılmış bir çalışmada, yaşlanmış ağaçların bulunduğu orman alanlarının yıllar içerisinde köklerinin zeminin gevşek olduğu yerlerde alt katmanlara inmesi nedeniyle sert zeminde tutunmaları, heyelanın meydana gelmesine engel teşkil ettiği, genç ağaçların bulunduğu orman alanlarında ise aynı durumun oluşmadığına tespit edilmiştir (Eker ve Aydın, 2014).

Diğer doğal afet çeşitleriyle karşılaştırıldığında tedbirli davranarak sonucunda oluşacak zararlardan korunma açısından bakıldığında en basit denilebilecek doğal afet heyelandır. Eğimin yüksek olduğu kısımlarda konut yapımına ruhsat verilirken, zeminin analizi yapıp heyelan riskine karşı, riskli alanların boş bırakılması veya ağaç dikimi ile ormanlık alan oluşturma gibi doğal engeller ya da teknolojik yöntemlerden yararlanarak engeller oluşturulmalıdır. Heyelan karşısında maddi ve manevi kayıpları en alt seviyeye düşürecek önlemler alınmalıdır.

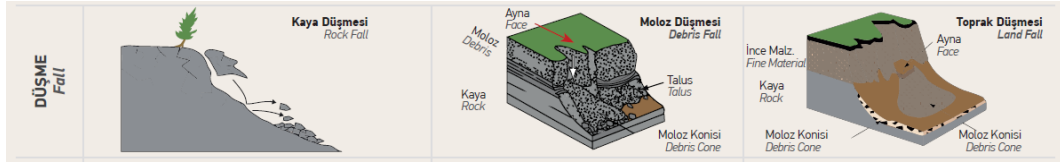
Akma türündeki heyelanların şematik gösterimleri Şekil 2.4, devrilme türündeki heyelanların şematik gösterimleri Şekil 2.5, düşme türündeki heyelanların şematik gösterimleri Şekil 2.6, yanal yayılma türündeki heyelanların şematik gösterimleri Şekil 2.7, kayma türündeki heyelanların şematik gösterimleri Şekil 2.8 ve karmaşık oluşumlu heyelanların şematik gösterimleri Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.4. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Akma (AFAD, 2018)



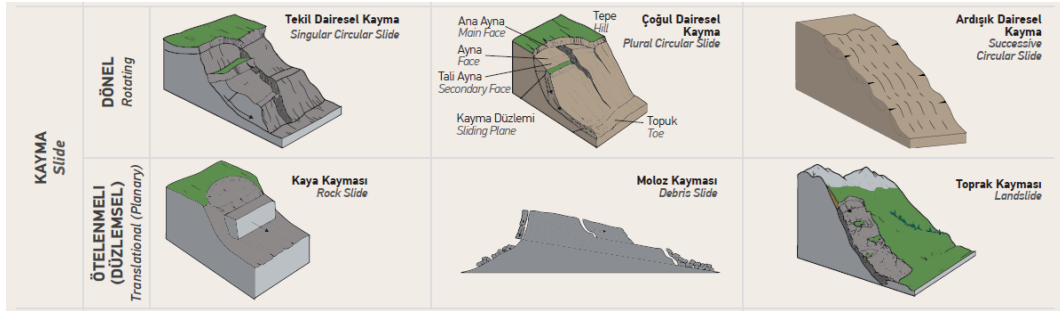
Şekil 2.5. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Devrilme (AFAD, 2018)



Şekil 2.6. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Düşme (AFAD, 2018)



Şekil 2.7. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Yanal Yayılma (AFAD, 2018)



Şekil 2.8. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Kayma (AFAD, 2018)



Şekil 2.9. Heyelan Türlerinin Şematik Gösterimi - Karmaşık (AFAD, 2018)

2.5. Türkiye’de Yaşanan Heyelanlar

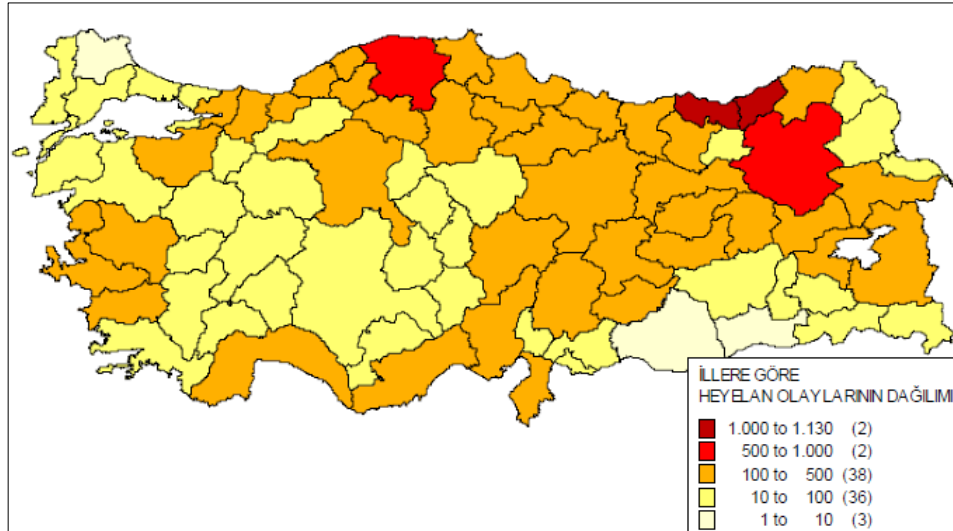
Heyelan afeti ülkemizin tüm bölümlerinde belirli derecelerde etkili olmaktadır. Bu bölümde afetin etkilerini daha iyi anlayabilmek için heyelanın ülkemizde nerelerde ve ne sıklıkta görüldüğü ile ilgili değerlendirmeler incelenecektir.

Türkiye’de en fazla görülen doğal afet çeşitlerinden biri de heyelanlardır. Kayıplar, diğer afetlerle karşılaştırıldığında bölgesel olmaları nedeniyle daha düşük düzeylerde kalmıştır.

Yapılan çalışmalarda (Gökçe, vd., 2008) çalışması incelendiğinde illerin heyelan olay sayılarının tespit edildiği ve tematik haritası hazırlandığı görülmektedir. Çalışma 1950-2008 yılları arasını kapsamaktadır. İllerin durumlarına baktığımızda 3 heyelan olayı ile en az Kırklareli, 1123 heyelan olayı ile en fazla Trabzon’da olduğu görülmektedir. En fazla heyelan olayı görülen illerde 1. sırada 1123 heyelan olayı ile Trabzon, 2. sırada 1049 heyelan olayı ile Rize, 3. sırada 613 heyelan olayı ile Kastamonu, 4. sırada 573 heyelan olayı Erzurum ve 5. sırada 471 heyelan olayı ile Artvin yer almaktadır. En az heyelan olayı gözlenen illerde ise 1. sırada 3 heyelan ile Kırklareli, 2. sırada 4 heyelan olayı ile Mardin ve 3. sırada 6 heyelan olayı ile Şanlıurfa yer almaktadır. Toplam heyelan sayısı ise 13494’dür (Gökçe, vd., 2008).

Ülkemizde heyelanın en sık görüldüğü yerler, Karadeniz Bölgesi’nin doğu kısmında yer alan Trabzon ve Rize çevresi, orta ve batı kısmında yer alan Zonguldak, Bartın, Karabük ve Kastamonu çevresidir.

İllere göre 1950-2008 yılları arasında gerçekleşen heyelan olaylarının dağılımını gösteren tematik harita Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10. 1950-2008 Arasında Heyelanların Dağılımı (Gökçe, vd., 2008)

Ülkemizde oluşmuş olan heyelanlar incelendiğinde genellikle kayma + akma, kaya düşmesi tipinde heyelanların oluştuğu ve bu saydığımız 2 heyelan tipinin birlikte oluşturduğu heyelanlar meydana geldiği görülmüştür. Jeomorfolojik ve

jeolojik niteliklerine bakıldığında ülkemizde ilk sırada Karadeniz Bölgesi daha sonrasında ise Doğu Anadolu Bölgesi ve Orta Anadolu Bölgesi heyelanların sürekli olarak oluştuğu yerlerdir.

AFAD'ın 2018 yılında yayınlamış olduğu "Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri" raporunun "Sayılarla Türkiye'de Doğa Kaynaklı Afetler" bölümünde heyelan ile ilgili verilere yer verilmiştir. Bu veriler 01.01.1950-01.06.2018 tarihleri arasında kapsamaktadır.

İllerin durumlarına baktığımızda 6 heyelan olayı en az Kırklareli, 1517 heyelan olayı ile en fazla Trabzon'da olduğu görülmektedir. En fazla heyelan görülen illerde 1. sırada 1517 heyelan olayı ile Trabzon, 2. sırada 1319 heyelan olayı ile Rize, 3. sırada 939 heyelan olayı ile Erzurum ve 4. sırada 913 heyelan olayı ile Giresun yer almaktadır. Bugüne kadar toplam 23041 adet heyelan oluşmuştur bu da en fazla heyelan olayının görüldüğü dört ilde Türkiye genelinin yaklaşık %21'ine denk gelmektedir. Her 5 depremden 1'i bu illerden birinde gerçekleşmektedir. Bu 4 ilden sonra 768 heyelan olayı ile Kastamonu, 765 heyelan olayı ile Artvin, 693 heyelan olayı ile Bingöl, 688 heyelan olayı ile Malatya, 666 heyelan olayı ile Sivas ve 622 heyelan olayı ile Erzincan ciddi heyelan potansiyeline sahip şehirlerdir. En az heyelan olayı gözlenen illerde ise 1. sırada 6 heyelan olayı Kırklareli, 2. sırada 19 heyelan olayı ile Edirne, 3. sırada 22 heyelan olayı ile Tekirdağ yer almaktadır. Bunları sırasıyla Kırşehir, Mardin ve Şırnak takip etmektedir. Bu şehirlerin heyelan potansiyelleri ise yılda 1 bile değildir (AFAD, 2018).

İllerin heyelan gerçekleşme sayılarına baktığımızda heyelanların dağılımında yükseklik faktörünü etkisi ciddi derece de görülmektedir. Arazi engebesinin Türkiye ortalamasının altında olduğu Marmara Bölgesi'nin Trakya Bölümü ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi alanlarda heyelan olayları diğer alanlarla kıyaslandığında daha az görülmektedir. Arazi engebesinin yüksek olduğu Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise çok yüksek miktarda heyelan meydana geldiği görülmektedir (AFAD, 2018).

İllere göre 1950-2018 yılları arasında gerçekleşen heyelan olaylarının dağılımını gösteren tematik harita Şekil 2.11'da verilmiştir.

parametreleri kullanırken farklı bakış açısı kullanmaya gayret etmişlerdir. Gelinek noktada çalışmalarda genel olarak bulgular üzerinde durulmuş, ayrıntılı alan çalışmalarda detaylardan uzak durulmuştur.

(Aleotti and Chowdhury, 1999), çalışmalarında heyelan duyarlılık çalışmasının heyelanın nerede oluşacağını, ne tür bir duraysızlık oluşturacağını ve duraysızlığın nasıl oluşacağını anlatması noktasında yeterli olması gerektiğini savunmuştur. Mevcut heyelan duyarlılık analizi çalışmalarının yaklaşımlarını nitel yöntemler ve nicel yöntemler olarak gruplandırmıştır. Bunları da 5 yardımcı gruba ayırmıştır. Heyelan duyarlılığının belirlenmesinde standart ve geleneksel sayısal metotların sınırlı olduğunu belirten araştırmacılar, yerine son zamanlarda sürekli olarak kullanılan bulanık mantık yöntemi ve yapay sinir ağı yöntemi gibi esnek çalışılabilen hesaplama metotlarından heyelan duyarlılığının belirlenmesinde başarıyla kullanılabileceğinden bahsedilmiştir.

(Ercanoğlu and Temiz, 2011), Batı Karadeniz bölümünde yer alan Kastamonu ilinde heyelanların sürekli olarak yaşandığı Azdavay'da çalışmalar yapmışlardır. 18 tane heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Çalışmalarını bulanık yaklaşım ve cebirsel çarpım, toplam ve gama işlemleri ile yapmışlardır. Envanter haritalarını, arazide yaptıkları yoğun gözlemler ile elde etmişlerdir. 96 tane heyelanın veri tabanını oluşturmuşlardır. Bu haritalarda parametre olarak yükselti değeri, litolojik özelliği, arazi kullanım durumu, eğim açısı, bakı durumu ve derelere olan uzaklık katmanlarını kullanmışlardır. En iyi doğruluğu bulanık gamma işlemci ile üretilen duyarlılık haritası vermiştir.

(Sayın, 2017) çalışmalarında; Marmara Bölgesi'nde yer alan Bilecik ili Gölpaazarı ilçesini incelemişlerdir. Frekans Oranı (FR) metodundan yararlanılarak heyelan duyarlılık analizi yapılmış ve haritasının üretilmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmada heyelanı tetiklediği düşünülen 5 çeşit parametre dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar "çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 dereceye ayrılmıştır. Bu etkenlerle birlikte değerlendirildiğinde yapılan çalışmanın doğruluğu %91.36 tespit edilmiştir.

2.7. Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Önemi

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabiri, İngilizce Geographical Information Systems (GIS) ifadesinin Türkçe'ye çevrilmesiyle elde edilmiştir. Kullanıcıların çok

farklı disiplinlerden olması nedeniyle, bu kavram da değişik şekillerde tanımlanmaktadır.

Bilgi sistemleri karar verme sürecinde gerekli veriye ulaşmak için, ham veri üzerinde yürütülen bir dizi işlemler bütünüdür. Verinin toplanmasından analiz edilip bilginin sunumuna kadar adım adım ilerleyen bir süreçtir. Bilgi sistemi amacını gerçekleştirebilmek için, gözlemlene, ölçme, tanımlama, açıklama, tahmin etme ve karar verme fonksiyonlarının tamamını içermelidir (Seker, 2000).

Bilgi sistemlerini konumsal ve konumsal olmayan bilgi sistemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Konumsal olmayan bilgi sistemleri, herhangi bir yer referansına sahip olmayan mekandan bağımsız işleyen bilgi sistemleridir. Muhasebe, firma yönetimi, organizasyon gibi sistemler için tasarlanan bilgi sistemleri örnek verilebilir. Konumsal bilgi sistemlerinde mevcut veriler mutlaka bir konumsal referans sisteminde tanımlanmış olması gerekmektedir. Bununla birlikte konumsal bilgi sistemleri sahip olduğu nesnelere koordinat değerlerinin dışında bu nesnelere ait öznitelik verilerini de içeren bir bilgi sistemidir. Çevresel, altyapı, kadastral ve sosyo-ekonomik verilerin işlenmesi için geliştirilen bilgi sistemleri konumsal bilgi sistemleri olarak adlandırılır (Kavzoğlu, vd., 2010).

CBS, coğrafi nesnelere ait coğrafi verilerin toplanması, doğrulanması, depolanması, bu verilerin veri tabanı işlemleri, sorgulamalar, dönüşümler ve coğrafi analizler ile coğrafi bilgiye dönüştürülmesi ve coğrafi veri ve bilgilerin gösterimi için kullanılan gelişmiş bilgi sistemleridir (Batuk, vd., 1996).

CBS'nin geçmişine bakıldığında ilk kullanımı 1960'lı yılların başına dayanmaktadır. İlk olarak Kanada ve Amerika'da özel ve askeri amaçlı olarak kullanılmış; daha sonra 1980'li yılların başlarından itibaren kişisel bilgisayarların ortaya çıkması ve yaygınlaşması ile birlikte ilk defa ticari bir sistem olarak piyasaya sürülmüştür. 1990'lı yıllarla beraber içeriğinde devamlı yenilikler olmuş, kapasite ve yetenekler her geçen gün geliştirilmiştir. Böylece program daha kullanışlı hale gelmiştir. Bugün dünyada yüz binlerce insanın istihdam edildiği milyarlarca dolarlık bir endüstri halini almıştır (Çukur, 2002).

CBS'lerin en yararlı yönü coğrafi analiz sonuçlarının anında ekranda görülmesidir. Bir coğrafi alanda eski ve mevcut verilerle mevcut koşullarda tasarlanan modelin, ölçüler değiştiğinde ya da koşulların değişeceği varsayıldığında, model tasarımının da etkileşimli olarak değiştiği ekranda gözlenir. Nüfus artışı, yeryüzü sıcaklık artışının bitki örtüsüne etkisi vb. olaylardan doğabilecek olası

sorunların değerlendirilmesi yapılır ve bunlara ilişkin birçok istatistik sayılar üretilir. Oysa bunların CBS’de tasarımı ile ekranda etkileşimli olarak görülmesi sayılardan daha etkileyicidir (Alkış, 1996).

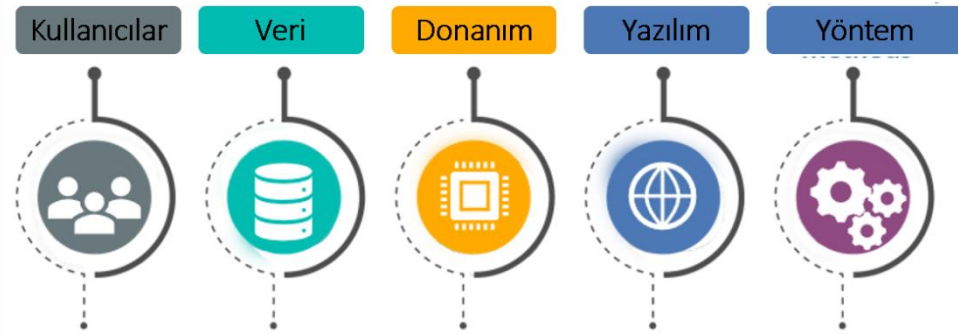
CBS’nin, bilgisayar uzmanı olması gerekmeyen geniş kitlelerce kullanılabilir olması ve CBS teknolojisinin gerçek problemlerin çözümündeki başarısı CBS’nin hızla gelişmesini sağlamıştır.

CBS’nin yararları şu şekilde sıralana bilir (Özkan, 2005):

- Bilgi akışını hızlandırır.
- İş verimliliğini artırır.
- Etkili ve doğru analiz sağlar.
- Veri güncellemeyi kolaylaştırır.
- Zaman kaybını önler.
- Kullanıcıya daha iyi karar verme imkanı sağlar.
- Veri tekrarını engeller.

2.7.1. CBS’nin Bileşenleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kurulabilmesi ve işlevlerini düzenli bir şekilde yerine getirebilmesi için gerekli bileşenler Şekil 2.12’de verilmiştir. Bunlar; donanım, yazılım, veri, kullanıcı ve yöntemdir.



Şekil 2.12. CBS Bileşenleri

CBS yazılımlarının çalıştırılması için gerekli olan bilgisayar sistemleri CBS’nin donanım kısmını oluşturmaktadır. Yapılacak uygulamalar ve kullanım ihtiyaçlarına göre donanım seçimleri kişisel bilgisayar ve süper bilgisayarlar olabilmektedir. Bu nedenle tercih edilen bilgisayar donanımının ihtiyacı karşılayacak şekilde işlemci, hafıza ve depolama birimleri belirlenmelidir. Bilgisayar bileşeni

CBS donanımları içerisinde ana parça iken; yazıcı, tarayıcı ve çizici gibi yan donanımlara da ihtiyaç duyulabilmektedir (Kavzoğlu, vd., 2010).

CBS'nin işlenmesini mümkün kılan bilgisayar ve buna bağlı yan ürünlerin bütünüdür. Bütün sistem içerisinde en önemli araç olan bilgisayar yanında, yazıcı, çizici, tarayıcı, sayısallaştırıcı, veri kayıt üniteleri gibi yan donanımlara da ihtiyaç vardır. Bugün birçok CBS yazılımı merkezi bilgisayar sistemlerinden masaüstü bilgisayarlara, kişisel bilgisayarlardan ağ donanımlı (network) bilgisayar sistemlerine kadar çok değişik donanımlar üzerinde çalışmaktadır.

Donanım, CBS için oldukça esnek bir yapıya sahiptir. CBS için bir konfigürasyon oluştururken bu birimlerden hangilerinin kullanılacağını belirlemede dikkate alınacak en önemli husus, yapılacak uygulamanın gereksinimleridir. Kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda değişik bilgisayar yapıları belirlenebilir. Daha sonraları ise teknolojik gelişmelere paralel olarak, konfigürasyonda değişiklikler yapılabilir (Bayramoğlu, 2004).

CBS'de kullanılan yazılımlar, uygulamalarda kullanılacak verilerin depolanmasına, analizine ve görsel şekilde sunulmasına yarayan fonksiyonları ve araçları içerirler. Kullanılan yazılımlar uygulamalara göre farklılıklar göstermektedir. Bazı yazılımlar vektörel tabanlı çalışırken, bazı yazılımlar da raster tabanlı çalışmaktadır. Tüm CBS yazılımları farklı ihtiyaçlara cevap vermekte ve her yazılımın kendine özgü arayüzleri bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan popüler CBS yazılımlarına örnek olarak Arc/Info, MapInfo, Idrisi, Grass, Genesis, SmallWord, vb. verilebilir. CBS'ye yönelik bir yazılımda; verilerin girilmesi, işlenmesi, veri tabanı yönetimi, konumsal sorgu, analiz, görüntüleme ve ek donanım desteği gibi gerekli araçlar bulunmalıdır (Kavzoğlu, vd., 2010). Coğrafi bilgileri depolamak, analiz etmek ve görüntülemek gibi ihtiyaçları kullanıcıya sağlamak üzere, yüksek düzeyli programlama dilleriyle gerçekleştirilen algoritmalar. Bir coğrafi bilgi sistemi yazılımında olması gereken temel unsurlar (Yomralıoğlu, 2000b):

- Coğrafi verilerin oluşturulması ve düzenlenmesi, sorgulanması, analizi, ve görselleştirilmesi için bir araç olmaları,
- Bir veritabanı yönetim sistemine sahip olmaları,
- Konumsal sorgulama, analiz ve görüntülemeyi desteklemeleri,
- Ek donanımlar ile olan bağlantılar için ara yüz desteğine sahip olmaları, olarak sıralanabilir.

Coğrafi veriler ve ilişkili öznitelikleri CBS'nin bel kemiğini oluşturmaktadır. Veriler mevcut kaynaklardan veya piyasada bulunan hazır verilerin satın alınması ile elde edilebilir. Veri CBS için temel öge ve elde edilmesi en zor bileşenlerden biri olarak kabul edilir. Ayrıca elde edilen verilerin güvenilir olması önemlidir. Bu nedenle istenilen verilerin üretilmesi, toplanması ve depolanması gibi aşamalarda dikkatli olunması gerekmektedir. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları, bu verilerin toplanması için büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. Nitekim CBS'ye yönelik kurulması tasarlanan bir sistem için harcanacak zaman ve maliyetin yaklaşık %50'den fazlası veri toplamak için gerekmektedir (Yomralioglu, 2002).

CBS'nin en önemli bileşenlerinden biri "veri" dir. Coğrafi veriler; konumsal, öznitelik ve topolojik verilerdir. Mekansal veriler geometrik verilerdir ve koordinat bilgilerini içerirler. Öznitelik verisi mekansal olmayan, semantik veridir ve konumu bilinen nesnelere ait tanımsal bilgiler içerir. Topolojik veri ise verilerin birbirine bağlanma bilgisini, birbirleriyle nasıl ve ne şekilde ilişkilendirildiğini gösteren geometriden bağımsız verileri içerir.

Veri, CBS'nin en temel ve elde edilmesi en zor bileşenidir. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları nedeniyle CBS'ye yönelik kurulması tasarlanan bir sistem için harcanacak zaman ve maliyetin yaklaşık %50 den fazlası veri toplamak için gerekmektedir.

Başarılı bir CBS için veri kalitesi çok önemlidir. Veri kalitesi, yersel yöntemler, uydu, fotogrametrik veya uzaktan algılama teknikleriyle veya mevcut plan ya da haritalardan veri elde etmeye bağlı olarak, geometrinin, topolojinin, detayların ve öznitelikler ile aralarındaki ilişkilerin kalitesiyle ilgilidir. Veri kalite parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- Verinin doğruluğu (konum, yükseklik, detay, topoloji)
- Verinin bütünlüğü
- Verinin topolojik uyumluluğu
- Verinin güvenilirliği
- Verinin eksiksizliği

Mekansal verinin doğruluğu, güvenilirliği, kullanılabilirliği ve geçerlilik alanı, dayandığı jeodezik altyapıya bağlıdır. Coğrafi konumlar için referans koordinat sisteminin, yükseklik parametrelerinin ve bunların doğruluklarının tanımlanması CBS'nin jeodezik altyapısını oluşturmaktadır. Jeodezik alt yapının yanı sıra toplanan

geometrik verilerin öznitelik bilgilerinin güvenilir, bütün ve eksiksiz olması, topolojilerinin kurulması, geometrik ve öznitelik bilgilerin görselleştirme kriterlerine uygun olması gerekmektedir.

CBS kullanıcılarını basit amaçlı kullanıcıdan gelişmiş seviye kullanıcıya kadar sınıflandırmak mümkündür. CBS sistemlerini tasarlayan teknik işleri yürüten ve sürekli işleten gelişmiş seviye kullanıcıları iken, CBS’de yapılan uygulamaları basit amaçlarla, sınırlı sürelerde ihtiyaç halinde kullanan ise giriş seviyede kullanıcılarıdır. CBS operatörleri konumsal problemleri gerçek zamanlı çözerken, karar verme işlemlerinin çözümü için planlama, tasarım ve yürütme işlemlerini görürler (Kavzoğlu, vd., 2010).

Gerçek dünyadaki problemleri uygulamak üzere gerekli sistemleri yönetir ve gelişme planları hazırlar. CBS kullanıcıları, sistemleri tasarlayan ve koruyan uzman teknisyenlerden günlük işlerindeki performanslarını arttırmak için bu sistemleri kullanan kişilerden oluşan geniş bir kitledir. CBS yöneticileri, CBS geliştiricileri ve CBS aktif kullanıcıları temel kullanıcı bileşenleridir.

Coğrafi bilgi sistemlerinde insanların istekleri ve yine insanların bu istekleri karşılamaları gibi bir süreç yaşanır. CBS’nin gelişmesi mutlak suretle insanların yani kullanıcıların ona sahip çıkmalarına ve konuma bağlı her türlü analiz için CBS’yi kullanabilme yeteneklerini arttırmalarıyla mümkün olacaktır (Söğüt, 1990).

Tüm yazılım, donanım, veri elde etme teknolojilerini transfer ederek uygulamak ve geliştirmek mümkündür. Ancak, sistemin başarısı bu teknolojileri kullanacak personel ve yöneticilerin eğitimine bağlıdır ve en önemli faktör bu konuda yetişmiş insandır.

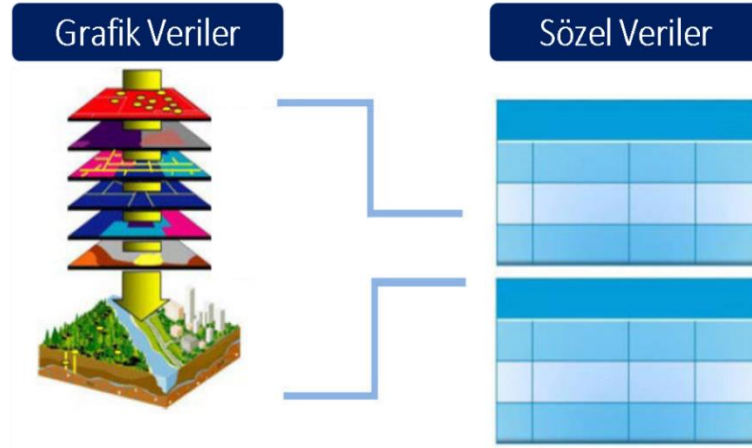
Başarılı bir CBS modeli ve uygulaması her görev için iyi tasarlanmış bir plana göre çalışır. CBS uygulamaları kapsamında haritaların elde edilmesi, veri tabanlarının oluşturulması, analizi ve sunulması işlemleri belli bir uygulama, kural ve standartlarda işlemelidir. Bu işlem adımlarında seçilecek yöntem türleri yapısal organizasyonlarla ilgidir. Bu amaçla yürütülecek işlemlerde gerekli yönetmeliklere ve standartlara uygun olmalı ve bu amaca yönelik yöntemler belirlenmelidir (Kavzoğlu, vd., 2010).

Başarılı bir CBS, çok iyi tasarlanmış plan ve iş kurallarına göre işler. Bu tür işlevler her kuruma özgü model ve uygulamalar şeklindedir. CBS’nin kurumlar içerisindeki birimler veya kurumlar arasındaki konumsal bilgi akışının verimli bir şekilde sağlanabilmesi için gerekli kuralların yani metotların geliştirilerek

uygulanıyor olması gerekir. Konuma dayalı verilerin elde edilerek kullanıcı talebine göre üretilmesi ve sunulması mutlaka belli standartlar yani kurallar çerçevesinde gerçekleştirilir. Genellikle standartların tespiti şeklinde olan bu uygulamalar bir bakıma kurumun yapısal organizasyonu ile doğrudan ilgilidir. Bu amaçla yasal düzenlemelere gidilerek gerekli yönetmelikler hazırlanarak ilkeler tespit edilir (Yomralıoğlu, 2000a).

2.7.2. CBS'de Veri Türleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan iki tür veri vardır. Bunlar grafik veriler ve sözel (öznitelik) verilerdir. CBS'nin veri türlerine ait görsel Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. CBS Veri Türleri

Grafik veriler coğrafi varlığın konumu, geometrisi, büyüklüğü ve biçimi hakkında bilgi vermektedir. Grafik bilgiler, belli bir koordinat sistemini referans kabul ederek, sistem uzayında koordinatlarla ifade edilir. Grafik bilgiler koordinatlarla ifade edildiğinden detayın geometrisi ve büyüklüğü hakkında bilgi verirler (Yomralıoğlu, 2002).

Sözel veriler coğrafi varlıkların sahip olduğu grafiklerle ifade edilemeyen yapısal özellikleri hakkında bilgi verir. Coğrafi varlıkların grafik olmayan veri yapılarını tanımlayıcı nitelikteki yazılı bilgilerine öznitelik bilgileri denir. Öznitelik bilgisi, coğrafi detayın sahip olduğu karakteristik özelliğın sayısal gösterimidir. Daha farklı bir şekilde ifade edilirse, grafik olarak ifade edilemeyen özniteliklerin şekilden bağımsız metinsel olarak ifade edilmesidir. Bu veri yapısı ile büyük çaplı ulaşılması

zor kayıt altındaki dosyalara hızlı bir şekilde ulaşmak mümkün olmaktadır. CBS uygulamalarında kullanılan objelerin sahip oldukları grafiksel bilgilerin dışında cins/tür bilgileri, yükseklik bilgileri, zamansal bilgiler, sahiplik bilgileri gibi birçok yazılı bilgiye sahip olması için öznitelik verileri oluşturulur.

2.7.3. CBS’de Veri Modelleri

Coğrafi bilgi sistemlerinde uygulamada kullanılacak konumsal ve konumsal olmayan verilerin öncelikle sayısallaştırılarak bir bilgisayar ortamına aktarılması gerekir. Diğer bir taraftan ise coğrafi verilerin grafik olmayan öznitelik bilgileri ise tablo dokümanlar şeklinde metin formatında bilgisayara aktarılırlar. Bu iki veri grubunun bilgisayara aktarılmasından sonraki aşama, bunların birbirleri ile bağlantılarının kurulmasıdır.

Vektör veriler coğrafi varlıkların kesin konumlarını tanımlamada son derece yararlı verilerdir. Ancak, süreklilik özelliği gösteren coğrafi varlıkların, örneğin; toprak yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin ifadesinde daha az kullanışlı bir model olarak bilinir. Vektörel verilerde grafik objeleri tanımlayan öznitelik bilgilerine ulaşma, bu bilgileri güncelleme ve düzeltme mümkün ve daha kolaydır. Belirli bir koordinata sahip (x,y) olan vektör veriler “nokta, çizgi, alan” veriler olmak üzere 3’e ayrılır (Şekil 2.14).

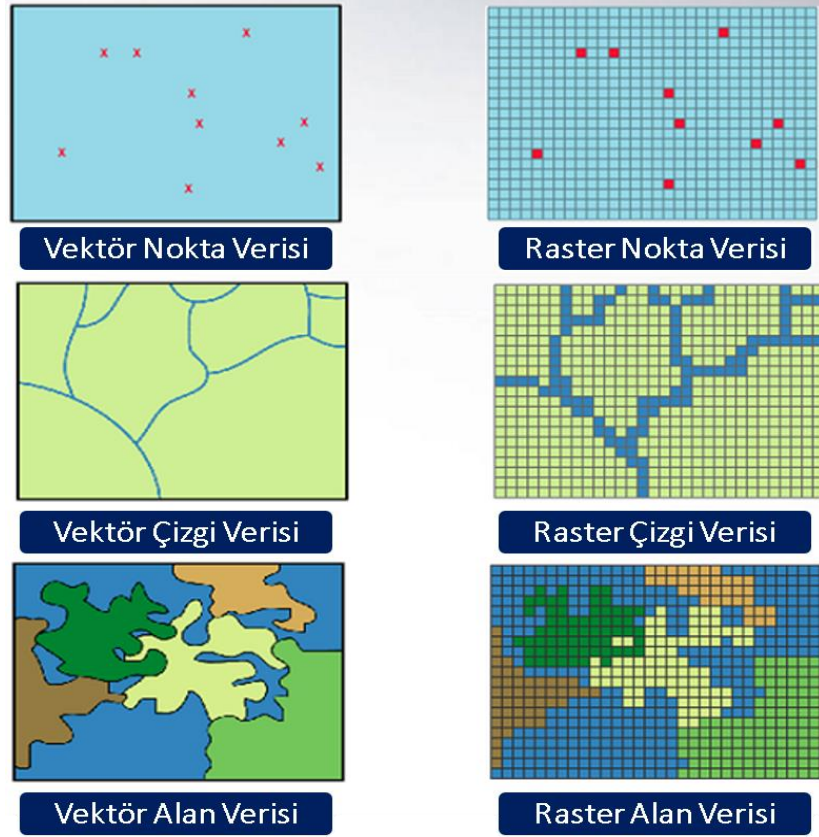
Noktasal (Point) Veri, tek bir (x,y) koordinat çifti ile temsil edilen verilerdir. Bu tür vektör veriler şekli ve sınırları çok küçük olan birimlerin tanımlanmasında kullanılırlar. Örneğin; tepe noktaları (zirve), elektrik direkleri, kuyular, ağaçlar, vb.

Çizgisel (Line) Veri, birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi şeklinde sistemde depolanan verilerdir. Bir dizi halinde birbirini izleyen ve alan olarak gösterilemeyen birimler için kullanılırlar. Örneğin; yol, akarsu, elektrik hattı, vb.

Alansal (Polygon) Veri, başlangıç ve bitiş noktalarında aynı koordinata (x,y) sahip olan ve bir dizi koordinatlar ile sistemde depolanan verilerdir. Örneğin; parseller, binalar, göller, yerleşim sınırları, orman alanı, arazi kullanımı, vb.

Raster veriler, hücrelere (pixel) bağlı olarak temsil edilen verilerdir. Raster veri, birbirine komşu grid yapıdaki hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Çekilen fotoğrafların, taranan haritaların ya da paftaların sisteme aktarılması ve vektör verilerden dönüşüm (convert) işlemleri sonucu ile elde edilirler. Raster veriler vektör verilere oranla daha fazla veri depolama kapasitesine sahiptirler. Bazı konumsal analizler (En uygun yer analizi, maliyet analizi,vb.) raster verilerde daha kolaydır.

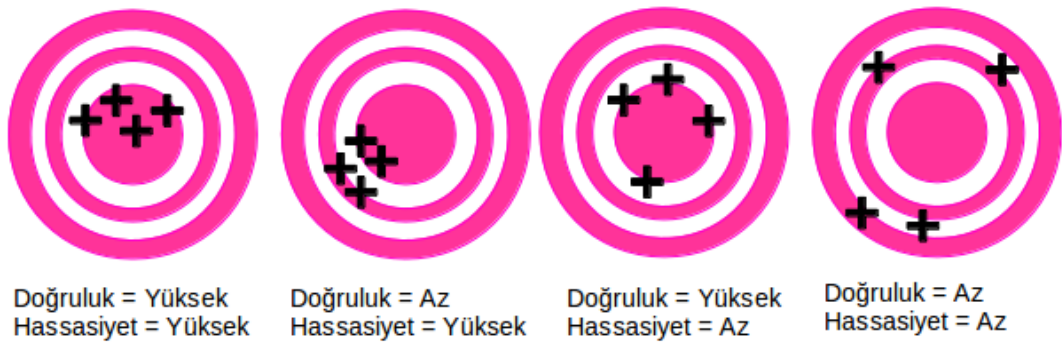
Ancak verilerin hassasiyeti raster verilerde hücre boyutuyla (pixel size) orantılı olduğu için hassas çalışmalarda veri kayıplarına neden olabilir.



Şekil 2.14. CBS Veri Modelleri

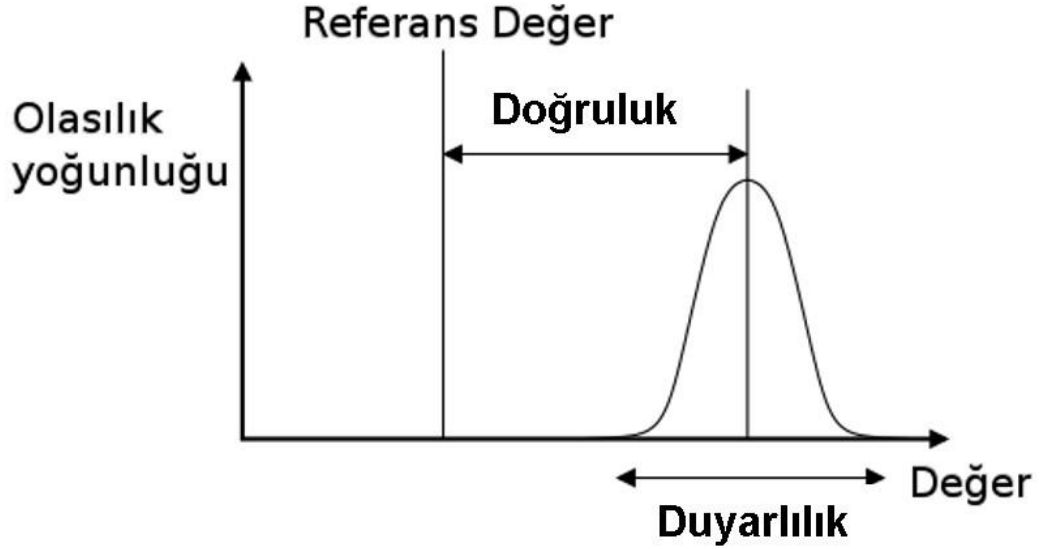
2.8. Doğruluk ve Duyarlılık Kavramları

Bilimsel çalışmaların tamamında doğruluk ve duyarlılık kavramının önemi yüksektir. Dolayısıyla bu iki kavram çok iyi anlaşılmalı ve birbiriyle karıştırılmamalıdır. Doğruluk ve duyarlılık kavramlarına ait görsel Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15. Doğruluk ve Duyarlılık Ölçütleri

Doğruluk bir ölçünün önceden bilinen teorik veya deneysel olarak belirlenmiş bir değere olan yakınlık uzaklık ilişkisini inceleyen bir ölçüttür. Duyarlılık (hassasiyet) ise deneysel değerlerin kendi ortalamaları etrafındaki dağılım ilişkisini inceleyen bir ölçüttür (Şekil 2.16) (Chapra and Canale, 2010).



Şekil 2.16. Doğruluk ve Duyarlılık Kavramı

2.9. Konum Duyarlılık ve Doğruluğu

Ölçülen büyüklüklerin herhangi bir fonksiyonunun hatası ölçü hatalarından etkilenir. Fonksiyonların karesel ortalama hataları ve fonksiyonlar arasındaki korelasyonlar hata yayılma kuralı uygulanarak bulunur. Bu işlemde ilk ölçüler olarak verilen ölçülerinin varyans-kovaryans matrisinin biliniyor olması gerekir. Deneysel varyansları ve kovaryansları bilinen x ve y ölçü gruplarının bir fonksiyonu olan $F(x, y) = x + y$ fonksiyonunun karesel ortalama hatası ve aralarındaki korelasyonun hesaplanması Eşitlik 2.1'deki hata yayılma kuralı uygulanarak yapılabilir (Bektaş, 2005).

$$K_{ff} = A K_{\ell\ell} A^T \quad (2.1)$$

Burada ölçülerin varyans-kovaryans matrisi $K_{\ell\ell} = \begin{bmatrix} m_x^2 & m_{xy} \\ m_{xy} & m_y^2 \end{bmatrix}$ olarak alınır. Bu

matrisin köşegen terimleri fonksiyonların varyansını, köşegen dışındaki terimleri ise fonksiyonlar arasındaki kovaryansı verir. Hata yayılma için fonksiyonun ölçülere

göre kısmi türevi alınarak A matrisi elde edilir.

$$df = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy = dx + dy ; df = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = Ad\ell$$

Hata yayılma eşitliği uygulanarak fonksiyonun varyansı ve karesel ortalama hatası; $K_{ff} = m_f^2 = A K_{\ell\ell} A^T$; $m_f = \pm\sqrt{K_{ff}}$ şeklinde bulunur. Hata yayılma kuralının sadece ölçüler cinsinden yazılan fonksiyonlara uygulanabilir.

Bu şekilde yapılan çözümlerde ölçülerin ağırlıkları eşit yada farklı olması durumunda sonuçlar farklı olur. Ölçüler için ağırlık kavramı; yapılan ölçülerin duyarlılıklarını gösteren bir güvenilirlik ölçütüdür. Bir büyüklüğe ait n sayıda yapılan ölçüler genellikle ilk bağımsız ölçülerin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkarlar. Ölçülerin tekrarlama sayısına P ağırlık denirse ağırlık bağıntısı Eşitlik 2.2 kullanılarak hesaplanabilir (Bektaş, 2005).

$$P_i = \frac{m_0^2}{m_i^2} = \frac{\text{sabit}}{m_i^2} = \frac{c}{m_i^2} \quad (2.2)$$

Burada, m_0 : İlk bağımsız ölçülerin karesel ortalama hatası, m_i : Herhangi bir ölçünün karesel ortalama hatasıdır.

Duyarlılıkları (hassasiyet) farklı olan ölçülerin bir fonksiyonu olan $F(x,y)$ fonksiyonunun karesel ortalama hatasının hesabında ölçü ağırlıklarının dikkate alınması gerekir. P_i ölçü ağırlıklarını göstermek üzere; $F(x,y) = P_1x + P_2y$ fonksiyonunun karesel ortalama hatası hata yayılma kuralı uygulanarak hesaplanır.

$$df = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy = P_1 dx + P_2 dy ; df = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = Ad\ell$$

Hata yayılma eşitliği uygulanarak fonksiyonun varyansı ve karesel ortalama hatası $K_{ff} = m_f^2 = A K_{\ell\ell} A^T$; $m_f = \pm\sqrt{K_{ff}}$ şeklinde bulunur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde materyal olarak heyelan oluşumunda etkili olan faktörler hakkında bilgiler verilecek ve yöntem olarak duyarlılık analizinde kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

3.1. Materyal

Materyalin oluşturulmasında heyelan oluşumuna etki eden parametreler dikkate alınmıştır. Heyelanların oluşmasına sebebiyet veren parametreleri (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001) çalışmalarında tetikleyici parametreler ve hazırlayıcı parametreler olarak iki ana gruba ayrılmıştır (Tablo 3.1). Heyelanların gelişmesi ve değerlendirilmesinde yüksek derecede önemli olan hazırlayıcı parametreler, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında temel parametre olarak görülmektedir (Ercanoğlu, 2005). Bu parametreler, bir yerin heyelan duyarlılığı açısından göreceli olarak gruplandırılmasında temel alınan parametrelerdir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bunun yanında, hazırlayıcı parametreler tehlike ve risk haritalamalarında ön değerlendirme çalışmalarında da kullanılması elzem olan parametreler olarak kabul görmektedir (Ercanoğlu, 2005). Fakat heyelan tehlike ve risk haritalamalarında tetikleyici roldeki parametrelerin de dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

Tablo 3.1. Heyelan Duyarlılık Parametreleri (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001)

HEYELAN DUYARLILIK PARAMETRELERİ					
HAZIRLAYICI FAKTÖRLER					TETİKLEYİCİ FAKTÖRLER
JEOLOJİK		TOPOĞRAFİK		ÇEVRESEL	
Litoloji	Faya Yakınlık	Eğim	Bakı	Arazi Örtüsü	Yağış
Güvenlik Sayısı	Yeraltı Suyu	Yükseklik	Drenaj Ağı	Yola Yakınlık	Deprem
Zemin Kalınlığı	Süreksizlik Yoğunluğu	Yamaç Şekli	Akarsuya Yakınlık		İnsan
Ayrışma Derinliği	Zemin Yapısı	Göreceli Yükseklik			
Zemin Makaslama Dayanımı	Yapısal Yamaç İlişkisi				

Parametreler, haritalama nedenlerindeki çeşitli farklılıklardan ötürü çalışmanın yapılacağı alandan alana farklılık gösterebilmekte ve heyelan duyarlılık analizinin yapılması sırasında hangi parametrelerin kullanılması durumunda iyi sonuç alınıp hangi parametrelerin kullanılması durumunda eksik sonuç alınabileceğine dair bir standart bulunmamaktadır.

SCI (Science Citation Index) kapsamında taranan dergilerde yayımlanmış, genellikle zeminin toprak kaplı olduğu yerlerde meydana gelmiş heyelan olayları ve bu heyelanların duyarlılık analizlerinde kullanılan parametreler istatistiksel olarak (Tetik Biçer, 2017) çalışmada incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen verilerden yola çıkılarak parametrelerin kullanım oranlarına ulaşılmıştır. Parametrelerin yıllar içinde kullanım miktarlarını gösteren sütun grafikleri oluşturulmuştur.

1990 - 1994 yılları arasında heyelan duyarlılık analizi çalışmaları henüz yaygın değildir. İncelenen 13 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler tespit edilmiş ve Şekil 3.1’de verilmiştir.

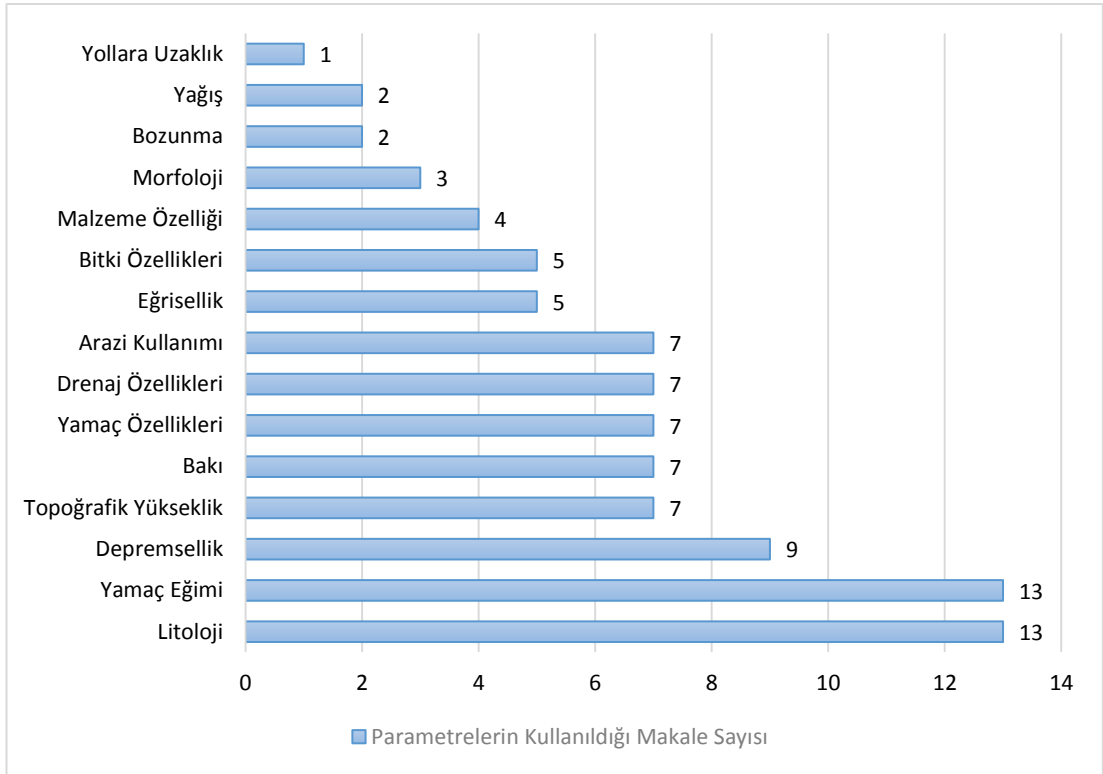
1995 - 1999 yılları arasındaki çalışmalardan incelenen 12 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler tespit edilmiş ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

2000 - 2004 yılları arasındaki çalışmalarda incelenen 22 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler tespit edilmiş ve Şekil 3.3’te verilmiştir.

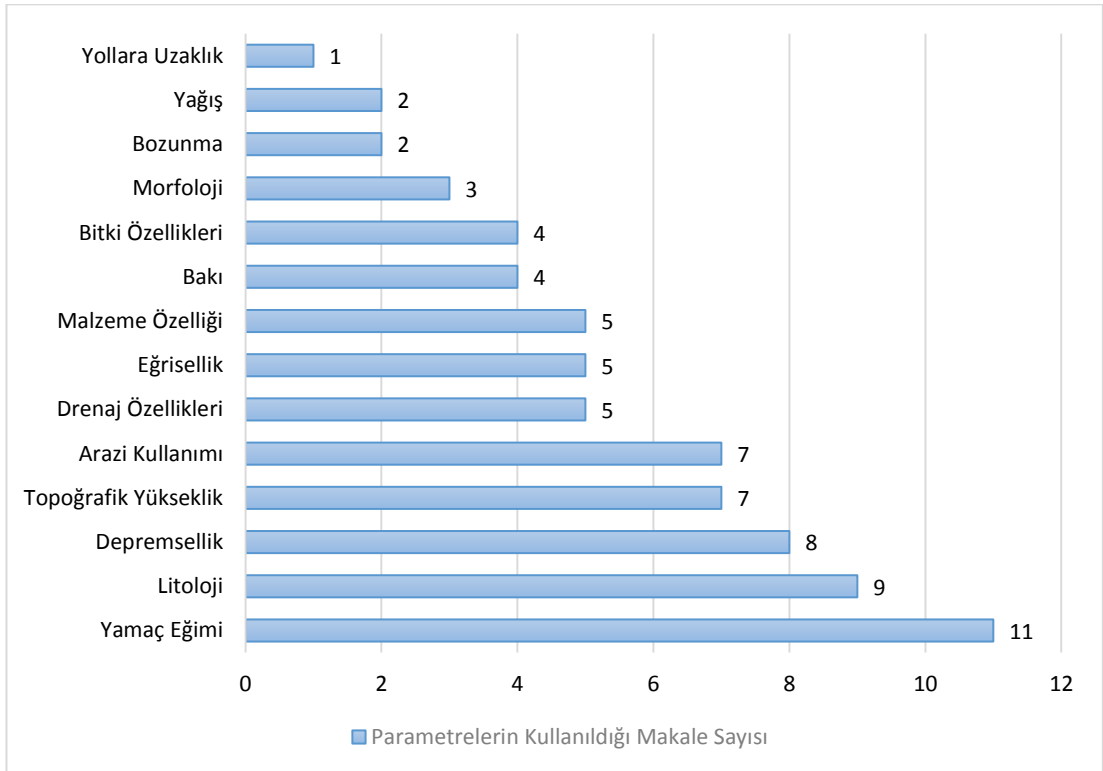
2005 - 2009 yılları arasındaki çalışmalardan parametre trendleri içerisinde bulunan 53 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler tespit edilmiş ve Şekil 3.4’te verilmiştir.

2010 - 2014 yılları arasındaki çalışmalarda parametre trendleri içerisinde bulunan 61 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler tespit edilmiş ve Şekil 3.5’te verilmiştir.

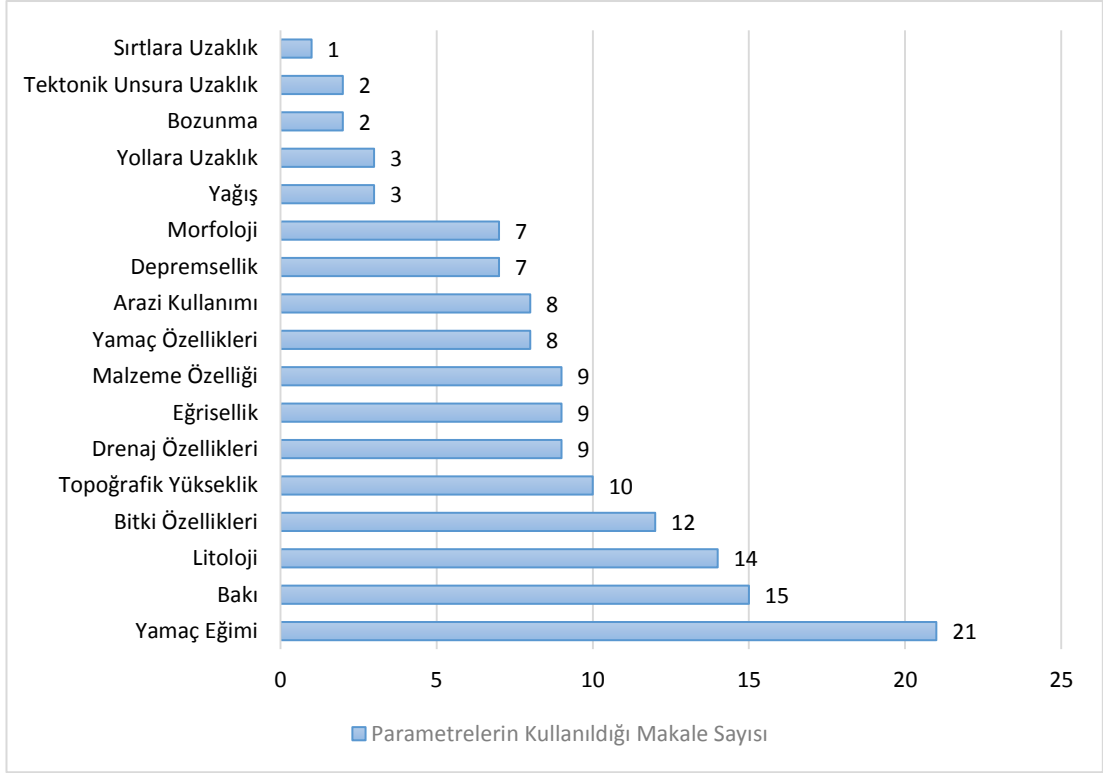
Daha güncel bir yorum yapabilmek adına 2015 - 2016 yılları arasındaki çalışmalardan parametre trendleri içerisinde bulunan 105 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler tespit edilmiş ve Şekil 3.6’da verilmiştir.



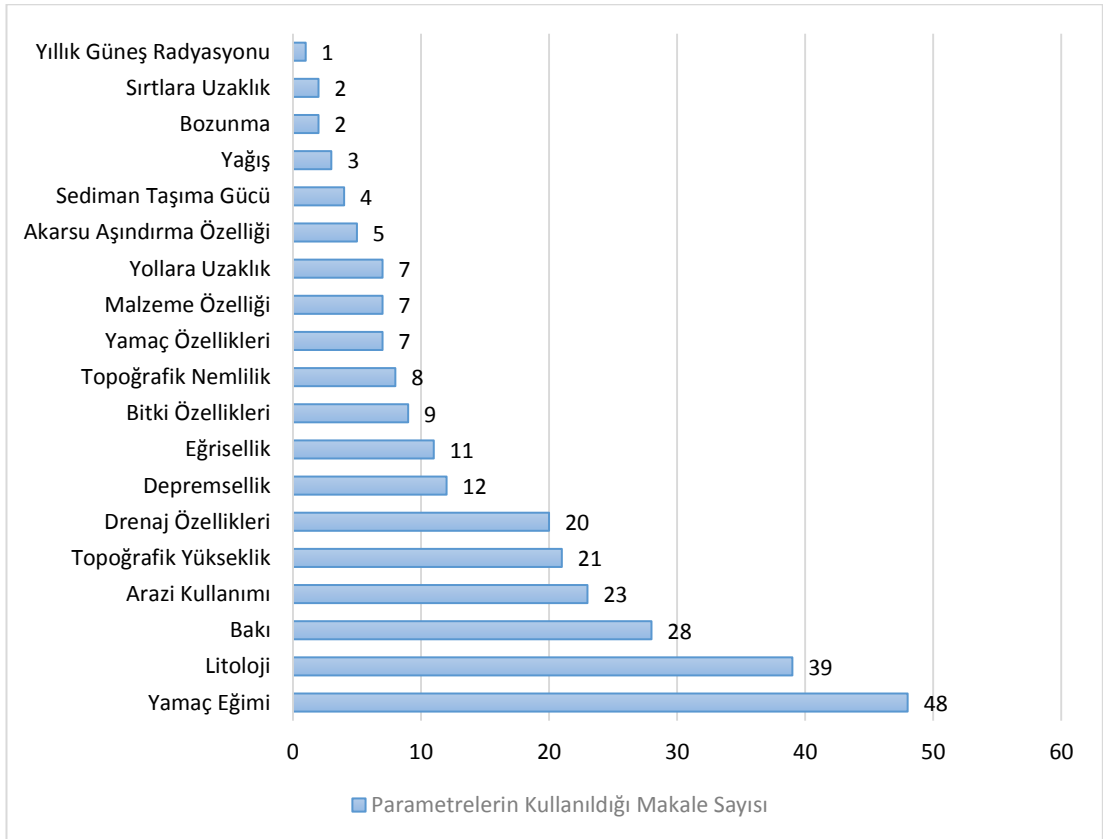
Şekil 3.1. 1990-1994 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri



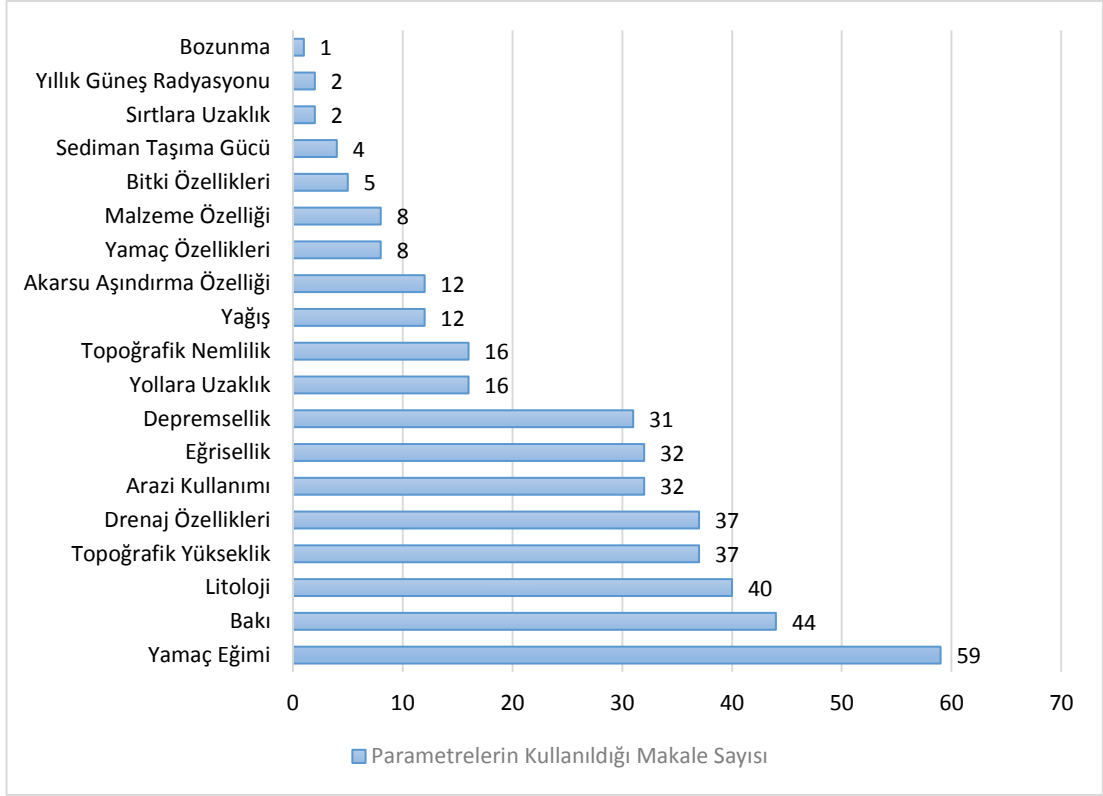
Şekil 3.2. 1995-1999 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri



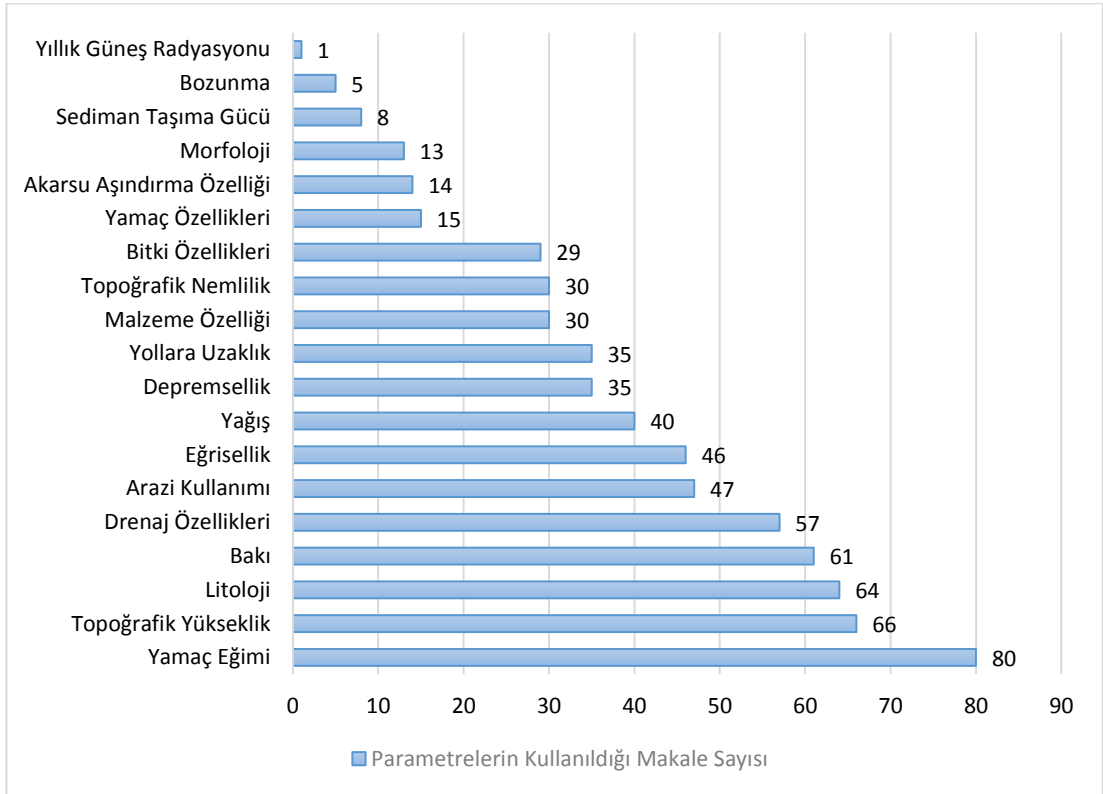
Şekil 3.3. 2000-2004 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri



Şekil 3.4. 2005-2009 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri



Şekil 3.5. 2010-2014 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri



Şekil 3.6. 2015-2016 Yılları Arasında Kullanılan Heyelan Parametreleri

Veriler birleştirilerek 1990-2016 yılları arasındaki heyelan duyarlılık analizi, tehlike ve risk değerlendirmesi amacıyla yapılan 266 çalışmada parametrelerin kullanım oranı tablo haline getirilerek Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. 1990-2016 Arasında Yapılan Analizlerde Parametre Kullanım Oranı

Sıra	Parametre Adı	Kullanım Sayısı	Kullanım Oranı (%)
1	Yamaç Eğimi	230	86,47
2	Litoloji	179	67,29
3	Bakı	159	59,77
4	Yükseklik	148	55,64
5	Drenaj Özellikleri	135	50,75
6	Arazi Kullanımı	124	46,62
7	Eğrisellik	108	40,60
8	Tektonik Unsura Uzaklık	76	28,57
9	Bitki Özellikleri – NDVI	64	24,06
10	Malzeme Özelliği	63	23,68
11	Yollara Uzaklık	63	23,68
12	Yağış	62	23,31
13	Topoğrafik Nemlilik İndeksi	54	20,30
14	Depremsellik	50	18,80
15	Yamaç Özellikleri	45	16,92
16	Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi	31	11,65
17	Sediman Taşıma Gücü İndeksi	17	6,39
18	Morfoloji	13	4,89
19	Bozunma	12	4,51
20	Sırtlara Olan Uzaklık	5	1,88
21	Yıllık Güneş Radyasyonu	4	1,50

Yapılan çalışmalara genel hatlarıyla bakıldığında; 1990 yılından itibaren başlayan süreçte CBS ile bilgisayar teknolojileri ve yazılımları çok fazla değişim ve gelişim göstermesinin sayısal tabanlı heyelan duyarlılık çalışmalarına olanak sağladığı ve sayıları her geçen gün artış göstererek, geldiğimiz noktada artık vazgeçilemeyecek bir konuma sahip olduğu görülmüştür. Bu tür çalışmalarda, akademisyenler kökü itibarıyla birbirine benzer yapıda ve çeşitte veri kaynakları kullanarak, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri yapmaktadırlar. Heyelan duyarlılık analizinde hangi parametrelerin kullanılması gerektiğine dair bir

standart bulunmamasının asıl nedeni heyelanların tek parametreye bağımlı olarak gelişmemesidir.

3.1.1. Yamaç Eğimi

Yamaç eğimi, kütle hareketlerinin meydana gelişini ve hareketli malzemenin hareket alanını belirleyen etmenlerdendir. Yamaç eğimi yüzeydeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen temel duraylılık parametresidir. Yamaç eğiminin heyelan duyarlılık alanında yapılan analizlerde bir girdi parametresi olması konusunda araştırmacılar bir fikir birliğine varmıştı ancak (Van Westen, et al., 2003), İtalya’da yaptıkları heyelan duyarlılık analizi çalışmasında bütün yamaç eğimi sınıflarındaki heyelan olma ihtimallerinin birbirine yakın olmasından dolayı, yamaç eğiminin çalışma yapılacak alanlarda etkili bir parametre olmadığını belirtmiştir. Araştırmacılar arasında, yamacın eğim açısı arttıkça, heyelana olması riskinin de artacağı yönündeki görüş daha hâkimdir.

Bu genellemelerin dışında, (Ayenew and Barbieri, 2005), heyelanların düşük eğim açısına sahip yamaçlarda oluştuğu fikrini savunmaktadırlar. (Ercanoğlu, 2005), çalışmasını yaptığı alandaki heyelanların düşük eğim açısına sahip yamaçlarda oluştuğunu, bu durumun nedeninin yüksek eğim açısına sahip yamaçlarda, dayanımı yüksek kaya malzemelerinin olduğunu söylemiştir. (Chau and Chan, 2005), 10°-15° arasında ve 25°-30° arasında eğime sahip yamaçlarda heyelan meydana gelmesinin daha uygun olmasına karşın, heyelanların daha yüksek eğim açısına sahip alanlarda gelişim gösterdiğine dikkat çekmektedirler. (Clerici, et al., 2006), çalışmalarında heyelan çeşitlerine göre, heyelanların oluştuğu eğim değerlerinin çeşitlilik gösterdiğini; dairesel kaymalardan dolayı oluşan heyelanların 26°-30° arası eğimlerde ve daha yüksek eğimlerde, karmaşık şekilde oluşan heyelanların 16°-25° arası eğimlerde ve akmalardan dolayı oluşan heyelanların 11°-20° arasındaki eğimlerde daha fazla meydana geldiğini belirlemişlerdir. (Akgün, et al., 2008) ise, çok küçük eğim açısına sahip yamaçlarda düşük makaslama kuvvetinden dolayı sığ heyelanların beklenmediğini, 10°-20° arasındaki eğimlerde ve 30° ‘den yüksek eğime sahip yamaçlarda heyelan olma ihtimalinin düşük olduğunu, 20°-30° arasındaki eğime sahip yamaçlarda ise heyelan meydana gelme ihtimalinin fazla olduğunu söylemişlerdir.

Yamaç eğimi kavramı ile heyelan arasındaki ilişki çeşitli fikirlerin bulunduğu, bu durumun da bölgeden bölgeye farklılıklar oluşturabileceği ve heyelan oluşumuna

neden olan yamaç eğimlerinin istatistiksel analizinin yapılması ve böyle karar verilmesi gerektiği görüşü ortaya çıkmaktadır.

3.1.2. Litolojik Durum

Litoloji, yamacın duraylılığını etkileyen çok fazla öneme sahip olan parametrelerden biridir. Malzemelerin dayanım, geçirimsizlik, sertlik gibi çeşitli özellikleri ile ilişkilidir (Baeza and Corominas, 2001). Litoloji parametresi, kohezyonu yani cisimlerin suya yapışma oranını kontrol eden bir parametredir (Remondo, et al., 2003). Heyelanlar, litolojik çeşitliliklerin gözlemlendiği alanlarda daha fazla meydana gelmektedir. Bu sebeple litolojik çeşitliliklerin çalışmalarda dikkatle incelenmesi gerekmektedir (Komac, 2006).

Litolojik özellikler, çalışma alanının heyelana karşı duyarlılığı konusunda önemli bilgiler vereceğinden kesinlikle doğru bir şekilde değerlendirilmelidir. Oluşturulan haritalarda bazı araştırmacılar direkt arazi gözlemlerini esas alan nitel değerlendirmeleri, bazıları ise nicel değerlendirmeleri temel almışlardır. Nitel değerlendirmeler, genellikle kişiye özgü yani öznel değerlendirmelere sebep olmaktadır ve oluşturulan haritalarda, farklı sonuçların çıkmasına neden olmaktadır (Guzzetti, et al., 1999). Nicel değerlendirmelerde oluşabilecek hata daha düşüktür. Çünkü nicel değerlendirmelerde, incelemesi yapılan alandaki mevcut heyelanların hangi litolojik sınıflarda dağılım gösterdiği bilinmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

3.1.3. Bakı Durumu

Aynı cismin farklı yönlere bakan yamaçlarında bakıdan bahsedilebilir. Bakı, güneş ışığı, yağış, donma-çözülme gibi atmosferik olaylardan etkilenmez. Bu etkiler bölgeden bölgeye farklı özellikler gösterir ve heyelan için önem arz eder. Bu sebeple yamaç yönelimi, değerlendirilmelerde dikkate alınan parametreler arasında yer alır. Bakı (Yamaç eğim yönü), arazi yüzeyinin güneş ışınlarını almasına göre yönünü gösteren parametredir. Yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yöndür (Dağ, 2007).

Yoğun yağış oranına sahip yamaçlar, topoğrafik yamaç eğimi ile zemin çeşidi, geçirimsiz olup olmadığı, gözenekli olup olmadığı, bitki örtüsünün varlığı, nem miktarı, organik madde içeriği ve yağmurun olduğu mevsim gibi çeşitli faktörler ile kontrol edilebilir. Süzülme potansiyeli ile ilişkili olarak, egemen yöneline sahip

yamaçların bulunduğu alanlarda malzeme başka yamaçlara kıyasla hızlı bir şekilde doyunlaşır. Bununla ilişkili olarak bu yamaçlarda boşluk suyunun basıncında yükselme meydana gelir ve bu tipteki yamaçlar heyelana karşı daha duyarlı olurlar (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bu sebeple bakı parametresinin kullanımında yağışın yoğun olduğu yamaçların daha duyarlı olduğu söylenmektedir.

(Dai and Lee, 2002) bakı kavramının heyelanın meydana gelmesinde etkili bir parametre olduğunu, yamacın nem tutmasının ve bitki örtüsünün bakı tarafından denetlendiğini belirtmektedir. (Santacana, et al., 2003) Yamacın güneş ışığını almasının, toprak nemi, bitki örtüsü miktarı ve drenaj özellikleriyle bağlantılı olduğunu söylemiştir. (Gorsevski and Jankowski, 2008) güneşten etkilenme, güneş ışığının düşük olması durumunda, yamaçta bulunan yüksek nem içeriği ve düşük buharlaşmanın, heyelanların meydana gelmesinde etkili olacağını belirtmiştir.

3.1.4. Yükseklik Durumu

Yükseklik durumu heyelan duyarlılık analizinde kullanımı, deniz seviyesindeki yükseklik değerlerini temel alan topoğrafik yükseklik veya çalışma yapılan alandaki topoğrafya elemanlarının birbirlerine göre yükseklik farklarını temel alan göreceli yükseklik şeklindedir. Çalışmacılar fazla yükseklikteki yamaçlarda bulunan birimlerin, kayaç tipi malzemelerden meydana geldiğini ve daha düşük seviyedeki yamaçlarda bulunan malzemelere kıyasla daha yüksek dayanımlı olmaları sebebiyle, heyelan olaylarına karşı daha düşük duyarlılığa sahip olduğunu söylemişlerdir (Caniani, et al., 2008). Orta yükseklikte bulunan yamaçlarda, yüksek yamaçlardan gelmiş olan malzeme sebebiyle meydana gelecek toprak örtüsünün heyelan olaylarına karşı duyarlılığı arttıracığını söylenmiştir (Gorsevski and Jankowski, 2008). Çok düşük yüksekliğe sahip yamaçlarda ise yamaç eğim açısının düşük ve örtü malzemesinin kalın olması sebebiyle, heyelan olaylarına karşı duyarlılığı daha az olacağı söylenmiştir.

(Ercanoğlu and Gokceoglu, 2002), heyelanların daha düşük yükseklikte bulunan yerlerde oluşmasını, çalışma yapılan alanda bulunan yüksek yerlerde, birimlerin duraylı olması ve bu alanların bitki örtüsünün yoğun olmasıyla açıklamıştır. (Cevik and Topal, 2003), bu durumu çalışmanın yapıldığı alanı oluşturan birimlerin litolojik özellikleri ile ilgili olduğu söylemiştir. (Chau and Chan, 2005) ile (Ayalew and Yamagishi, 2005) ise, bu yüksekliklerde buluna yerlerde nüfus yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle, yol yarmalarının yüksek bölümünün

buralarda olmasıyla ilgili olduğunu söylemiştir. Topoğrafik yükseklik değerinin fazla olduğu alanlarda heyelan yoğunluğu tespit eden araştırmacılar da vardır. (Clerici, et al., 2006), çalışma yaptıkları alandaki heyelanların daha çok yüksek kotlara sahip yerlerde oluşmasını bu yerlerde daha çok yağmur yağışının olması, kar yağışının olması ve donma çözünme olaylarının olması gibi döngülere bağlamaktadırlar.

Açıklamalar ışığında, yükseklik durumunun, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında en fazla kullanılan parametre olmasına karşı, litolojik yapı, bitki örtüsü, eğim durumu ve bakı gibi diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmesi gereklidir.

3.1.5. Drenaj Özellikleri

Drenaj özellikleri parametresi daha önce yapılan çalışmalara baktığımızda araştırmacılar tarafından yarı yarıya kullanılmış olup, heyelan oluşma ihtimali bakımından hangi uzaklık değerinin alınacağı konusunda sabit bir fikir birliği yoktur. Araştırmacıların en fazla üzerinde durduğu görüş akarsuya uzaklığın çok olduğu yerlerde heyelan duyarlılığı düşük, uzaklığın az olduğu yerlerde ise heyelan duyarlılığının yüksek olduğu yönündedir.

Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritaları, yüzey akış modeline bağlı olarak üretilen ve bir alanın bağıl nemliliğine bakarak ne kadar ıslak olduğunu gösteren verilere sahiptir. Eğime bağlı olarak yamaçlardaki su muhtevasının artma ihtimalinin ve dolayısıyla suya doymuş, kaymaya karşı duyarlı hale gelen zeminlerin belirlenmesinde bir değerlendirme parametresi olarak kullanılmaktadır.

Yer altı suyu ile ilgili veri olmadığı durumlarda kullanılır. Göreceli olarak yüksek değerlerin olduğu sahalar, suyun daha çok birikerek heyelan oluşumuna karşı duyarlı hale gelen yerlerdir.

Akarsular yamaçlarda bulunan malzemeleri akarsu seviyesi altında bulunan kesimini suya doymuş biçime getirerek veya topuk denilen kısmında aşındırma yaparak yamacım stabilitesini olumsuz etkilemektedir (Cevik and Topal, 2003; Ercanoğlu and Gokceoğlu, 2004; Nagarajan, et al., 2000; Pachauri, et al., 1998; Yalçın, 2005). Saha gözlemleri sonucunda akarsuların yamaç duyarlılığına olan etkisi belirlenerek tampon bölge oluşturulmalıdır. Çünkü çoğu zaman akarsuya olan yakınlık arttıkça aşındırma ve yeraltı suyu varlığı heyelan meydana gelme ihtimalini yükseltmektedir.

3.1.6. Arazi Kullanım Durumu

Arazi kullanımı parametresinde; yerleşim alanları, ormanlık alanlar, tarım alanları, seyrek ve yoğun bitki örtüsü içeren alanlar gibi alanların heyelanlarla olan bağlantısı değerlendirilmektedir. Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde bazen pozitif bazen negatif etkileri olmaktadır. Özellikle büyük ve güçlü köklere sahip bitkilerin yoğun olduğu yerlerde yamaç duraylılığını pozitif etkilediği görüşü yaygındır. Bilindiği gibi bitkiler, yaprakları aracılığıyla suyu emmekte ve buharlaştırarak, yağışın süzülme etkisini düşürmektedir. Diğer taraftan, bitkinin kök ve gövdeleri zemin yüzeyinin geçirgenliğini yükselterek, yüzeyde bulunan suyun zemin içerisine direkt olarak geçebilmesinin önünü açmaktadır. Bu olay sonucunda ise yamaç duraylılığı negatif yönde etkilenmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Ormanlık yerlerde meydana gelen heyelanların değerlendirildiği bir çalışmada (Lee and Min, 2001) ormanlık yerlerde yerleşim yerlerine oranla daha yüksek sayıda heyelan oluştuğunu söylemişlerdir. Araştırmacılara göre yerleşim yerleri düz alanlar olup, ormanlık yerler ise daha eğimlidir ve çoğunlukla heyelanlar eğimli arazilerde oluşmaktadır. Bu görüşler de bize arazi kullanım durumunun çalışmalarda kullanılan önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

3.1.7. Eğrisellik Durumu

Eğrisellik parametresi; çoğunlukla arazi yüzeyiyle bir düzlemin kesişimi sonucu oluşan bir hattın ikinci türevinin alınmasıyla belirlenmektedir (Lainas, et al., 2016). Yamaç eğriselliği 3 alt sınıflara ayrılmışlardır. Bunlardan pozitif (+) eğrisellik dışbükey yamacı, negatif (-) eğrisellik içbükey yamacı, sıfır (0) değeri ise düz yamacı anlatan sınıflardır. Hakim olan görüş; iç bükey olan yamaçlarda genellikle dairesel kayma türü heyelanların, dış bükey yamaçlarda ise akma türü heyelanların oluştuğu yönündedir (Wilson and Gallant, 2000). Fakat eğrisellik parametresi konusunda araştırmacılar arasında diğer parametrelerde de olduğu bir standart belirlenmemiştir.

Eğrisellik durumu başka bir sınıflandırmaya göre çoğunlukla, profil eğriselliği ve plan eğriselliği şeklinde 2 alt sınıfa ayrılmaktadır. Yamaç yönelimine dik olarak belirlenen eğriselliğe plan eğriselliği denir. Yamaç yönelimine paralel olan eğriselliğe ise profil eğriselliği denir. Plan eğriselliğinde, sıfırdan küçük değerler konkav yüzeyleri, sıfırdan büyük değerler konveks yüzeyleri, sıfır ve sıfıra yakın

değerler düz alanları belirtmektedir.

3.1.8. Tektonik Unsura Yakınlık

Faylara yakın olmanın kayaçalarda parçalanmaya neden olabileceğini ve bu durumun da yamaçların duraylılığını olumsuz yönde etkileyeceğini ifade etmişlerdir (Luzi and Pergalani, 1999).

Yapısal unsurlara yakın mesafelerde daha fazla heyelan oluşmasını, yapısal unsurların, kendilerini çevreleyen malzemeyi zayıflatması ile ilişkilendirmişlerdir. Yapısal unsurlara yakınlık parametresi kullanırken, farklı yakınlıklar dikkate alınarak, birden fazla tampon bölge oluşturulmaktadır (Wachal and Hudak, 2000).

Arazi gözlemleri neticesinde, heyelanların büyük bir çoğunluğunun faylara çok yakın alanlarda gerçekleştiğini belirtmiş duyarlılık için 0, 50, 100, 150, 200 ve 200 m den büyük uzaklıkları esas alan bir sınıflama önermişlerdir (Gökceoglu and Aksoy, 1996).

3.1.9. Bitki Örtüsü Durumu

Bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisi ile ilgili olarak araştırmacılar arasında farklı görüşler mevcut olup, genellikle; bitki örtüsünün hem olumlu, hem de olumsuz etkileri üzerinde durularak ağaç kökü, ağaç çapı, yaşı gibi özellikler dikkate alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Bitki örtüsü değerlendirmesinde, tez çalışması kapsamında NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) haritası üretilerek değerlendirmeler yapılmıştır. NDVI değeri, -1 ile + 1 arasında değişmekte olup, negatif değerler çoğunlukla çıplak / kayalık alanları, 1'e yakın pozitif değerler ise sağlıklı bitki örtüsünü ifade etmektedir (Rouse, et al., 1974).

NDVI hesaplaması için uydu görüntülerinin 4. bandı olan yakın kızılötesi (NIR) ve 3. bant olan kırmızı (R) arasındaki matematiksel ilişkiden yararlanılır.

3.1.10. Yıllık Yağış Durumu

Heyelanların oluşmasındaki en önemli parametrelerden birinin yağış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca volkanik birimlerin ayrışma derecelerinin çok fazla olması, şiddetli yağışların etkisiyle, ayrışmış malzemenin su içeriğini artırmakta ve heyelan oluşumunu hızlandırmaktadır. Nitekim heyelan raporlarında da heyelanlarının büyük bir bölümünün şiddetli yağışlar sonucu meydana geldiği görülmüştür (Selçuk, vd., 2008).

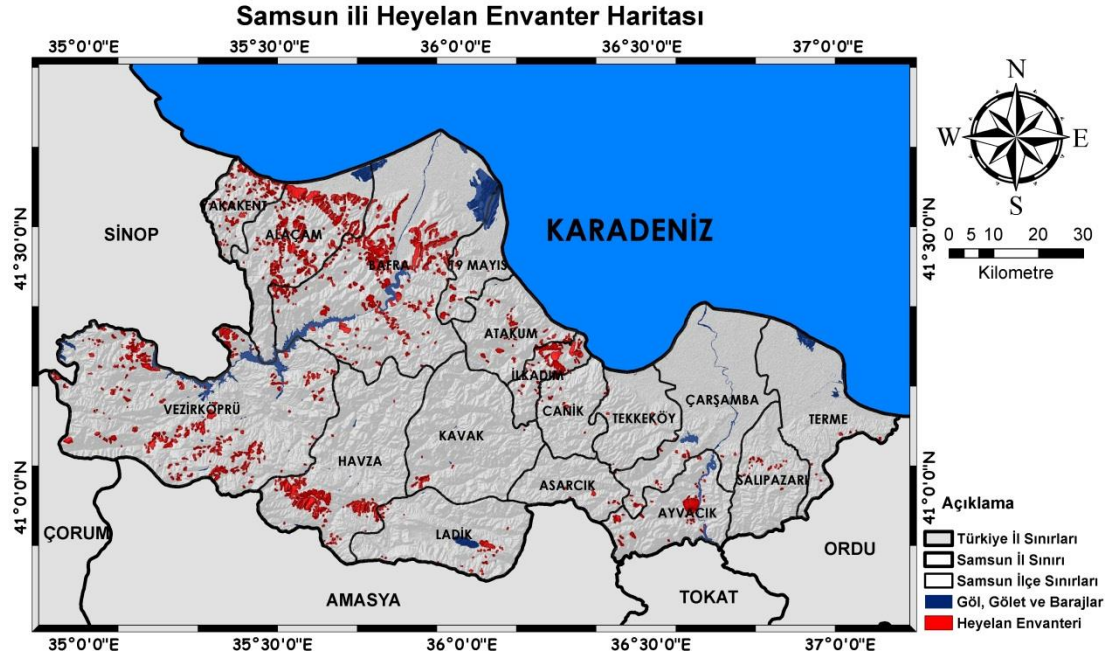
Yıllık yağış ortalaması yüksek olan yerlerde açılacak bir yol, herhangi bir sebeple yapılacak bir hafriyat heyelana sebep olmak için kâfi gelecektir. Doğu Karadeniz, Orta Karadeniz Bölgesi'nin bir kısmı, Istrancaların Karadeniz'e bakan yamaçları, Akdeniz Bölgesi'nde Toroslar üzerinde daha geniş ve devamlı bir saha yağış faktörünün etkili bulunduğu yerlerdir (Sür, 1972).

3.1.11. Heyelan Envanter Haritası

Heyelan envanteri, bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, aktivitesi ve fiziksel özellikleri gibi konulara ilişkin bilgileri içeren veri topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Fell, et al., 2008).

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yapılacak ilk aşama geçmişte olmuş olan heyelanlar hakkında bilgi edinmektir. Çünkü, gelecekte olabilecek heyelanların geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır (Varnes, 1984).

Bu bilgilerden de yola çıkarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) bünyesinde kayıtlı 01.01.1950 - 01.08.2020 yıllarını kapsayan heyelan verilerinden yararlanılarak çalışma alanına ait Heyelan Envanter Haritası oluşturulmuş ve Şekil 3.7'de verilmiştir.



3.2. Yöntem

Bu bölümde heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yöntemler açıklanacaktır. Heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında kullanılan parametreler belirlendikten sonra yapılacak olan işlem analizde hangi yöntemin kullanılması gerektiğine karar verilmesidir. Önceki çalışmalara baktığımızda birçok farklı yöntemin kullanıldığı görülmektedir.

1980’li yılların başından itibaren teknolojik ve coğrafi bilgi sistemlerinde meydana gelen gelişmelerle bağlantılı olarak heyelan duyarlılık değerlendirilmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan başlıca yöntemler, niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere 2 sınıf altında toplanmaktadır. Bu sınıflandırma da kullanılan envantere dayalı yöntem oluşturulan haritaları doğrulamak ve değerlendirme çalışmalarına girdi oluşturması sebebiyle diğer bütün yöntemler için ilk adım olarak gerekli olduğu söylenebilir (Balaban, 2019).

Niteliksel yöntemler, kullanılan en genel yöntem olup, araştırmacının sahip oldukları bilgi ve deneyimlerine dayalı saha gözlemleriyle ilişkili olarak oluşturulan yöntemdir. Niceliksel yöntemler ise, heyelana neden olan faktörler arasına geniş bir şekilde yer veren, istatistiksel ve matematiksel işlemlerin yoğun kullanıldığı, akademik alanda en çok kullanılan ve bu tez çalışmasında da üzerinde durulacak yöntemlerdir.

Tablo 3.3’te belirttiğimiz gibi niteliksel yöntemler ve niceliksel yöntemler başlığı altında duyarlılık haritalarının oluşturulmasında çeşitli pek çok yöntem vardır. Niceliksel yöntemler saha çalışması sonucu arazide elde edilen verilerinin bilgisayar ortamında analizlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Yöntemlerin çalışmalarda kullanılabilir olması çok büyük önem taşımaktadır. Heyelanı etkileyen parametreleri en iyi irdeleyen yöntem belirlenmelidir ve daha önceden yapılmış çalışmalarda kullanılan yöntemlerin doğruluk oranlarını kıyaslanmalıdır. Çünkü heyelana etki eden parametrelerin toplanması ve sonrasında değerlendirilmesi ve belli bir veri tabanının oluşturulması zor bir çalışmadır. Niceliksel yöntemler en çok kullanılan yöntemlerden arasında yer alır (Aleotti and Chowdhury, 1999). İstatistiksel analizler geçmişte meydana gelmiş heyelanların özelliklerini, farklı parametreler kullanarak analiz edilmesi ve değerlendirilmesidir (Dağ, 2007). CBS’nin kullanımının artmasıyla bu yöntemlerin kullanımı da artmıştır.

Tablo 3.3. Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler (Aleotti and Chowdhury, 1999)

HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER				
Niteliksel Yöntemler		Niceliksel Yöntemler		
Arazide Yapılan Jeomorfolojik Değerlendirmeler ve Gözlemler	Parametre Haritalarının Kullanımı	İstatistiksel Analiz	Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yaklaşımı	Jeoteknik Yöntem
	Mantıksal Analiz Yöntemleri	İki Değişkenli Parametre Analizi		Deterministik Yaklaşım
	İndeks Haritalarının Çakıştırılması	Çok Değişkenli Parametre Analizi		Olasılık Yaklaşımı

İstatistiksel yöntemler; iki değişkenli ve çok değişkenli parametre analizi olarak iki grupta toplanmaktadır. Çalışmalar uygulanan yöntem bakımından incelendiğinde; en fazla uygulanan analiz yöntemleri sırasıyla;

1. Lojistik Regresyon (LR),
2. Frekans Oranı (FR),
3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP),
4. Destek Vektör Makinası (SVM)
5. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE) dir. (Tetik Biçer, 2017)

Bu tez çalışmasında istatistiki yöntemler arasında dünya genelinde yaygın kullanıma sahip Frekans Oranı Yöntemi, Kanıt Ağırlığı Yöntemi ve Lojistik Regresyon Yöntemi kullanılmıştır. Yöntemler arasından Kanıt Ağırlığı Yöntemi Türkiye’de yaygın kullanımı olmaması dolayısıyla önemli görülmüştür.

3.2.1. Frekans Oranı Yöntemi (FR)

Son yıllarda en çok kullanılan ikinci yöntem olan Frekans Oranı (FR) uygulanması ve anlaşılması kolay bir olasılık modeline sahip olması açısından tercih edilmektedir. Lee ve Talib (Lee and Talib, 2005) tarafından önerilen Frekans Oranı yönteminin temeli yoğunluk analizine dayanmakta olup, temel prensibi dikkate alınacak tüm parametrelerin CBS ortamına aktarılıp, heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilerek, yoğunluk analizlerinin yapılması esasına dayanmaktadır. FR yöntemi için heyelan duyarlılık analizinde Eşitlik 3.1’deki formülden yararlanılarak frekans oranı değeri hesaplanır.

$$FR = (A1 / A2) \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

FR; Frekans Oranına,

A1; parametre alt grubundaki heyelanlı alanların, toplam heyelanlı alanlara oranına;

A2; parametre alt grubundaki alanın, toplam alana oranına karşılık gelmektedir.

Yöntem; her bir parametre alt grubu için hesaplanan FR değerlerinin normalleştirme ve parametre haritalarına atanmasıyla oluşturulan yeni parametre haritalarının birbirleri ile toplanmasıyla heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasına dayanmaktadır (Eşitlik 3.2). FR yönteminin heyelan uyarlamasında FR değerinin;

> 1 değerleri, heyelan oluşumunda daha etkin olduğu,

< 1 değerleri heyelan oluşumunda daha az etkiye sahip olduğu belirtilmektedir.

$$LS = \Sigma FR \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

LS; Landslide Susceptibility Index (Heyelan Duyarlılık İndeksi),

ΣFR ; dikkate alınan alandaki her bir parametre sınıfı için hesaplanan FR değerlerinin matematiksel toplamını ifade etmektedir (Lee and Talib, 2005).

3.2.2. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE)

Kanıt Ağırlığı (WoE) yöntemi istatistiksel yöntemlerden olup, ilk olarak maden araştırmalarında kullanılmıştır (Bonham-Carter, et al., 1988). Bu metotla yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Bonham-Carter, et al., 1988; Chen et al., 2014; Doğan, vd., 2012; Ozdemir and Altural, 2013; Regmi, et al., 2010).

WoE yöntemi Bayes olasılık teoreminin log-linear biçimine dayanmaktadır (Bonham-Carter et al., 1988). Bu teorem, bir olayın gerçekleşme olasılığı ile ilgili öncül olasılık beklentilerinin, olayın gerçekleşmesi durumunda elde edilen yeni bilgilerle güncelleştirilerek, soncul olasılıkların bulunmasını sağlayan bir olasılık teoremidir. Buna göre, bir bölgede heyelan riskinin tahmin edilmesi istendiğinde, bazı olası durumların belirlenmesi gerekir. Bunun için, seçilen alanda heyelan olayıyla ilgili şu durumların var olabileceği açıktır. Seçilen alan gerçekten heyelan alanı olabilir ve bu alanla ilgili iki tahmin yapılabilir. Gelecekte burada tekrar

heyelan olacağı ya da olmayacağı söylenebilir. Seçilen alan, gerçekte heyelan alanı olmayabilir ve bu alan için de gelecekle ilgili iki tahmin söz konusudur (Doğan, vd., 2012). Bu durum olasılık önermeleri olarak şu şekilde ifade edilir. Seçilen alanın, geçmişte heyelan alanı olması durumunda, gelecekte de heyelan olma olasılığı $P(A|H)$ nedir? Seçilen alanın geçmişte heyelan alanı olmaması durumunda, gelecekte heyelan olma olasılığı $P(A|\text{not}H)$ nedir? Seçilen alanın geçmişte heyelan alanı olması durumunda, gelecekte heyelan olmama olasılığı $P(\text{not}A|H)$ ve benzer şekilde $P(\text{not}A|\text{not}H)$ olasılıklarının sonuç kararda etkili olması gerektiği açıktır. Bu olasılıkları, olasılık aksiyomlarına uygun olarak birlikte değerlendirerek soncul olasılık değerleri Bayes Teoremi ile hesaplanabilmektedir. Seçilen alanın gelecekte heyelanla karşılaşacağını öngören tahminler pozitif bir ağırlıkla, tersi ise negatif bir ağırlıkla ifade edilir (Doğan, vd., 2012).

Bu çalışmada, heyelanı etkileyen faktörlerin alt kategorilerinin ağırlıkları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir (Ozdemir and Altural, 2013; Regmi, et al., 2010; Van Westen, et al., 2003).

$$(W+) = \ln [(A1 / (A1 + A2)) / (A3 / (A3 + A4))] \quad (3.3)$$

$$(W-) = \ln [(A2 / (A1 + A2)) / (A4 / (A3 + A4))] \quad (3.4)$$

$$C = (W+) - (W-) \quad (3.5)$$

Formülde A1; seçilen bir alt kategorideki heyelanlı alanları, A2; seçilen kategori dışındaki toplam heyelanlı alanları, A3; seçilen kategorideki heyelansız alanları ve A4; seçilen kategori dışındaki toplam heyelansız alanları ifade etmektedir. A1+A2; toplam heyelanlı alanları, A3+A4; ise çalışma alanındaki toplam heyelansız alanları ifade etmektedir (Regmi, et al., 2010).

$W+$ ve $W-$ ağırlıkları arasındaki fark ağırlıklar kontrastı (C) olarak adlandırılır ve heyelan olayı ile tahmin değişkeni arasındaki nihai konumsal ilişkiyi gösterir. Sıfıra eşit bir kontrast değeri heyelana neden olan faktörün alt kategorisinin analiz için önemli olmadığını gösterir. Pozitif kontrast pozitif bir konumsal ilişkiyi, negatif kontrast ise tersini ifade etmektedir.

3.2.3. Lojistik Regresyon Yöntemi (LR)

Son yıllarda heyelan duyarlılığını modellemek için Lojistik Regresyon (LR)

yöntemi sıklıkla kullanılmıştır. Olasılıklı istatistiksel bir model ve kategorilere ayrılarak sınıflandırılmış bağımlı bir değişken ile birden çok bağımsız değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan LR, diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin gerektirdiği varsayımsal kabullenmeleri dikkate almadan, diğer yöntemlerden daha az teorik varsayım gerektirir (Ercanoğlu and Temiz, 2011).

Lojistik regresyonun en önemli üstünlüğü, değişkenlerin sürekli, kesikli ya da her iki türün herhangi bir kombinasyonu olabilmesi ve değişkenlerin normal dağılıma sahip olmalarının gerekmemesidir. Tatlıdil'e (Tatlıdil, 1996) göre; LR yönteminin bir diğer önemli üstünlüğü ise, bağımlı değişkenin 1,0 gibi ikili veya ikiden fazla düzey içeren kesikli değişken olması halinde normallik varsayım kısıtı bulunmaması sebebiyle kullanım rahatlığı ve elde edilen modelin cebirsel olarak kolay anlaşılabilir olmasıdır.

LR'nin temel ilkesi, bir sorunun analizine dayanmakta olup, 0-1 gibi ikili değişkenlerle veya doğru-yanlış gibi ölçülen sonuç, bir veya daha fazla bağımsız faktörün analiz edilmesiyle tespit edilir. Geleneksel olarak, heyelan duyarlılığı haritalamasında lojistik regresyonun uygulanması, genellikle, bağımsız parametrelerin ve bağımlı heyelan envanter haritalarının hazırlanmasını ve heyelan verilerinin yokluğu veya varlığı göz önüne alınarak binom (veya ikili) lojistik regresyonun uygulanmasını içerir (Tatlıdil, 1996). Başka bir deyişle, LR genellikle bir veya daha fazla bağımsız değişken (ler) ile ikili bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir modelin tahmininde kullanılmaktadır (Eastman, 2009).

Heyelan duyarlılık uygulamalarındaki LR kullanımında, CBS ve istatistiksel yazılımlardan yararlanılmakta, bağımlı değişken olarak adlandırılan heyelanlı pikseller "1", heyelan olmayan piksellere ise "0" değeri atanarak, parametrik ilişkilendirmeler yapılmaktadır. Bağımlı değişken ikili olduğunda, dağılım y tek bir değere azalır ve olasılık;

$$p = \Pr(y = 1) \quad (3.6)$$

Eşitlikteki; p, 0 ile 1 arasında değişirken, açıklayıcı değişkenlerin doğrusal kombinasyonları $+\infty$ ile $-\infty$ arasında değişebilmektedir. Olasılıklar 0 ile 1 arasında değiştiği için, olasılık oranı 0 ve ∞ arasında değişir. Olasılık oranının logaritmasını alarak, lojistik regresyon modelinde $+\infty$ ile $-\infty$ arasında değişen bir dönüştürülmüş değişken elde edilmiş ve olasılık oranının doğal logaritması açıklayıcı veya bağımsız

değişkenlerle doğrusal bir model ile ilişkilendirilmiştir (Ott, 2001).

Bağımlı değişken olasılığının 1 değerini aldığı temel varsayım (pozitif yanıt, diğer bir deyişle heyelan), lojistik eğrisini izler ve bu durum Eşitlik 3.7 ile ifade edilebilir.

$$P(y = 1/X) = (\exp(\Sigma BX)) / (1 + \exp(\Sigma BX)) \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

P; bağımlı değişkenin 1 olma olasılığını temsil eder. Heyelanlı alanlardaki piksellerin 1, heyelan olmayan alanlardaki piksellerin 0 olarak kabul edilmesi örnek olarak verilebilir. X; bağımsız değişkenleri temsil eder. Jeolojik, topoğrafik, çevresel parametreler örnek olarak verilebilir. B; parametre ağırlık katsayılarını temsil eder. Parametrelerin sonucu etkileme durumu örnek olarak verilebilir.

Eşitlik 3.7'yi doğrusallaştırmak ve sonsuza giden değerlerden kurtarmak için, lojistik dönüşüm adı verilen ilişkinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Eşitlik 3.8 ile bahsedilen işlem uygulanmaktadır:

$$P_1 = \ln(P/1 - P) = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_k \cdot X_k + \varepsilon \quad (3.8)$$

P₁ dönüşümünün teorik olarak $-\infty$ ile $+\infty$ arasındaki herhangi bir değeri alabileceği unutulmamalıdır. Buna ek olarak, ikili veri değişimi, regresyonun bağımlı değişkeninin sürekli olmasını ve yeni bağımlı değişkenin (olasılık logit dönüşümü) sınırsız olmasını ve tahmin edilen olasılığın 0 ile 1 aralığında sürekli olmasını sağlar (Eastman, 2009). Bu modül bağımsız parametrelerin en iyi uyum değerini (best fit) bulmak için maksimum tahmin algoritmasını (ML, Maximum Likelihood) kullanır. Bu işlem Eşitlik 3.9'da ifade edilmektedir.

$$\prod_{i=1}^N \mu_i^{y_i} \cdot (1 - \mu_i)^{1-y_i} \quad (3.9)$$

Eşitlikteki;

L = benzerlik olasılığı,

N = numune sayısı,

μ_i = örnek i için bağımlı değişkenin tahmin edilen değeri,

y_i = örnek i için bağımlı değişkenin gözlenen değeridir.

Minitab uygulamasında bulunan LogisticReg modülü, girdi parametrelerinin girilmesinin ardından, sonuç verilerinin yanı sıra bazı istatistik veriler sunmaktadır. Bunlardan, $-2 \cdot \log(L_0)$, kesişim noktası (intercept) dışındaki bütün katsayıların 0 olması durumundaki olasılık fonksiyonunun değerini, $-2 \cdot \log(L)$ bütün modelin uyumunun en iyi olduğu olasılığı belirtmektedir.

Bu iki istatistiğe dayanarak; yapay R^2 (pseudo R^2) ($1 - (\log(L) / \log(L_0))$), χ^2 (Kikare) ($-2 \cdot (\log(L) - \log(L_0))$) ve uyum iyiliği (goodness of fit) değerleri de, bağımlı değişkenin gözlenen ve tahmin edilen değerleri arasındaki fark LogisticReg modülü tarafından hesaplanır. R^2 (pseudo), LR modelinin veri kümesine ne şekilde uyduğunu gösterir (Menard, 2002). R^2 'nin "1" değeri mükemmel bir uyumu ifade ederken, "0" değeri hiçbir ilişki olmadığını gösterir. R^2 'nin değeri 0,2'den büyük olduğunda, diğerlerine oranla iyi bir uyum gösterir (Clark, 1986).

3.2.4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Analytic Hierarchy Process), 1977 yılında L. Saaty tarafından çok parametrelili karar verme problemlerinin sonuca ulaştırılmasını sağlayacak bir model olarak üretilmiştir (Kavas, 2009). Bu yöntem en çok parametrelili analiz yöntemleri arasında en fazla kullanıcıya ulaşan ve iyi bilinen yöntemlerden biridir. Parametrelerin birbirlerine göre ağırlıklarını belirleyerek problemlerin çözümüne yardımcı olmaktadır. Analitik hiyerarşi yönteminde kullanılan model, her problem için hedef, parametreler, alt parametreler ve tercihlerden meydana gelir (Özcan, vd., 2009). Problemin, hiyerarşik durumu oluşturulmasının ardından, parametrelerin birbirlerine göre ağırlıkları hesaplanmaktadır (Öztürk ve Batuk, 2010).

Parametrelerin hiyerarşik sınıflandırmada kendinden hemen bir üst sınıfta bulunan parametreler açısından değerlendirmesinde 1'den 9'a kadar değerler içeren AHP tercih ölçekleri Tablo 3.4'te verilmiştir (Saaty, 1980). Bu ölçeklerden yararlanılarak derecelendirme yapılır ve parametreler için ikili karşılaştırma matrisleri elde edilir. İkili karşılaştırma matrisi n tane parametre için $n \cdot (n-1) / 2$ tane karşılaştırmadan meydana gelir (Malczewski, 1999; Öztürk ve Batuk, 2010).

AHP yönteminde bir probleminin sonucunun bulunması, ikili karşılaştırmaları yapılan parametrelerin öncelikleri veya ağırlıkları kullanılarak sağlanır. Önceliğin belirlenmesi ya da ağırlığın belirlenmesi, ikili karşılaştırma matrisinin normalize hale getirilmesiyle hesaplanmaktadır. O yüzden, matrisin sütunlarında bulunan elemanlar her sütunun toplamına bölünerek normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Yeni matriste bulunan satır elemanları toplanır ve toplam sonucunda elde edilen değer satırda bulunan elemanların sayısına bölünür. Bu sayede ağırlık vektörü veya öncelik vektörü oluşturulmuş olur (Kavas, 2009; Tombuş, 2005). Ağırlıklar 0 ile 1 arasında bir değer alır ve toplamları 1'e eşittir (Malczewski,

1999; Öztürk ve Batuk, 2010). AHP yöntemi kullanılırken parametrelerin ikili karşılaştırmalarında belirli seviyede uyumsuzluk meydana gelebilir. O yüzden ikili karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığın olup olmadığı incelenmelidir (Öztürk ve Batuk, 2010). İkili karşılaştırmaların tutarlılığını hesaplamak için (Saaty, 1980) tarafından tavsiye edilen tutarlılık oranı (CR) kullanılmaktadır. Bu oranın tavan değeri 0,10'dur. Yargılar için ölçülen tutarlılık oranı 0,10'dan düşük ise yargıların tutarlılık seviyesinin yeterli olduğu ve işlemlere devam edebileceği anlamına gelmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0,10'dan fazla ise yargıların tutarlılık seviyesinin yeterli olmadığı ve iyileştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir (Öztürk ve Batuk, 2007).

Tablo 3.4. AHP Tercih Ölçekleri (Saaty, 1980)

AHP TERCİH ÖLÇEKLERİ	
ÖLÇEK	ÖNEM DERECESİ
1	Parametreler birbiriyle aynı önemde
3	1. parametre 2. parametreden biraz daha önemli
5	1. parametre 2. parametreden fazla önemli
7	1. parametre 2. parametreden daha fazla önemli
9	1. parametre 2. parametreden aşırı önemli
2, 4, 6, 8	Ölçekler arasındaki ara önem değerleri

3.2.5. Rastgele Orman Yöntemi (RF)

Rastgele Orman (RF) Yöntemi belirli bir sınıflandırma ve regresyon problemi çözümünde birçok karar ağacı modelinin bir arada kullanılmasını esas alan toplu öğrenme algoritmalarından birisidir (Breiman, 2001). RF model oluşumunda birden çok karar ağacını kullanması nedeniyle literatürde karar ormanı olarak da bilinmektedir. Algoritma, sınıf etiketi belli olmayan bir örneğe ilişkin tahmin işleminin gerçekleştirilmesinde ormanı oluşturan karar ağaçlarının her birinin yaptığı tahminlerin birleştirilmesi ve ilgili örnek için nihai kararın verilmesi prensibini esas almaktadır. Bu amaç doğrultusunda öncelikli olarak kontrollü sınıflandırma işleminin gerçekleştirmek üzere hazırlanan orijinal eğitim veri seti içerisinde kullanıcı tarafından belirlenen karar ağacı sayısı kadar rastgele altkümeler oluşturulur. Bu işlemdeki temel düşünce ormandaki her bir karar ağacı modelinin farklı eğitim veri

setleri ile oluşturulması ve ormandaki çeşitliliğin sağlanmasıdır (Kuncheva and Whitaker, 2003).

RF algoritmasının genel formülü Eşitlik 3.10'daki gibi tanımlanır. Algoritma K sayıda karar ağacı oluşturduğundan, tahmin edilen değer (P), tüm ağaçlarda tahmin edilen değerlerin (T) ortalaması ile verilir (Costa, et al., 2020).

$$P = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K T \quad (3.10)$$

Rastgele Orman algoritmasında genelleme hatası Eşitlik 3.11'deki gibi tanımlanır. Buradaki “x ve y” değerleri; x, y uzayı ve mg üzerindeki olasılığı gösteren heyelan koşullandırma faktörleri olup Eşitlik 3.12'deki gibi tanımlanır. Buradaki “I” değerleri doğru çıktı için rastgele vektörlerdeki ortalama oy sayısının başka herhangi bir çıktı için ortalama oyu ne ölçüde aştığını ölçer (Masetic and Subasi, 2016).

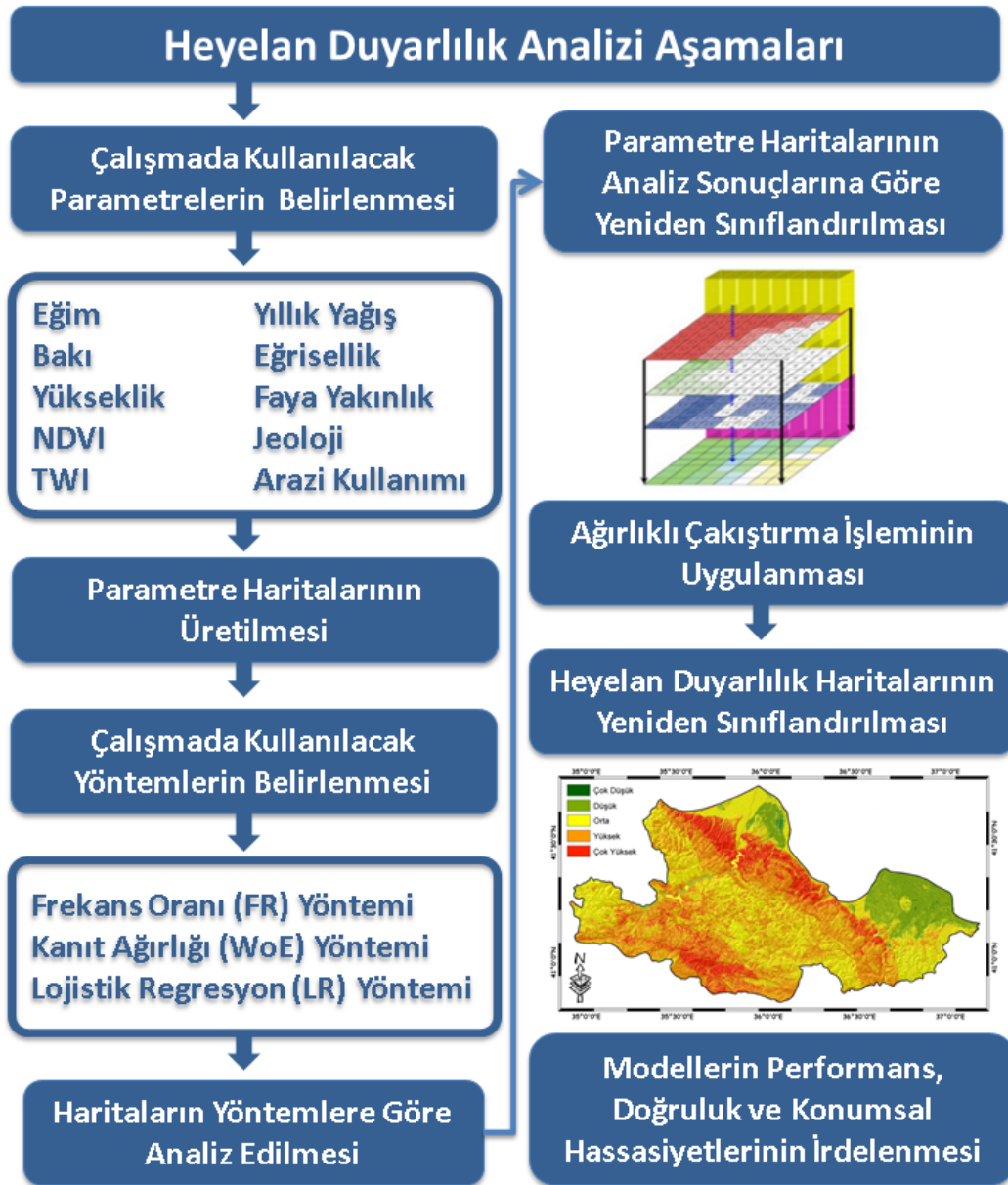
$$GE = P_{x,y} (mg (x,y) < 0) \quad (3.11)$$

$$mg (x,y) = av_k I(h_k(x) = y) - \max_{j \neq y} av_k I(h_k(x) = j) \quad (3.12)$$

3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanma Aşamaları

Heyelan duyarlılık analizinin doğru ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için buraya kadar incelediğimiz bilgilerden de yararlanarak ilk önce heyelan kavramı incelenmeli, çalışma alanı belirlenmelidir. Analiz kısmı için parametreler ve yöntemler belirlenmeli, analiz sonuçlarının doğruluğu irdelenmelidir.

Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması için İş Akış Şeması Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması için İş Akış Şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde çalışma alanı hakkında bilgiler verilmiş, parametre haritalarının üretilmesi ve heyelan duyarlılık analizleri detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1. Çalışma Alanı

Yapılan Heyelan Duyarlılık Haritası için çalışma alanı 41.27900° Kuzey ve 36.33700° Batı koordinatlarında yer alan Samsun ili olarak belirlenmiştir. Çalışma Samsun ilinin tüm ilçelerini kapsamaktadır (Şekil 4.1). Samsun ili Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde, Türkiye coğrafyasının en kuzeyinde merkezî bir noktada yer almaktadır. On yedi ilçesi ve 1.247 mahallesi bulunan Samsun, 2020 TÜİK verilerine göre 1.356.079 kişilik nüfusıyla bölgenin en yüksek, Türkiye'nin ise on altıncı en yüksek nüfuslu ilidir. Doğusunda Ordu, güneyinde Tokat ve Amasya, batısında ise Çorum ve Sinop illeri ile çevrilidir. Kuzeyi sahil şeridi ile kaplı olup Karadeniz bulunmaktadır.



4.2. Parametre Haritalarının Üretilmesi

Çalışmada yamaç eğimi, litolojik durum, bakı durumu, yükseklik, topoğrafik nemlilik, arazi kullanım durumu, eğrisellik durumu, tektonik unsura yakınlık ve yıllık toplam yağış verileri materyal olarak belirlenmiştir. Materyale ait veriler

ArcGIS uygulaması kullanılarak haritalanmıştır.

4.2.1. Eğim Haritasının Üretilmesi

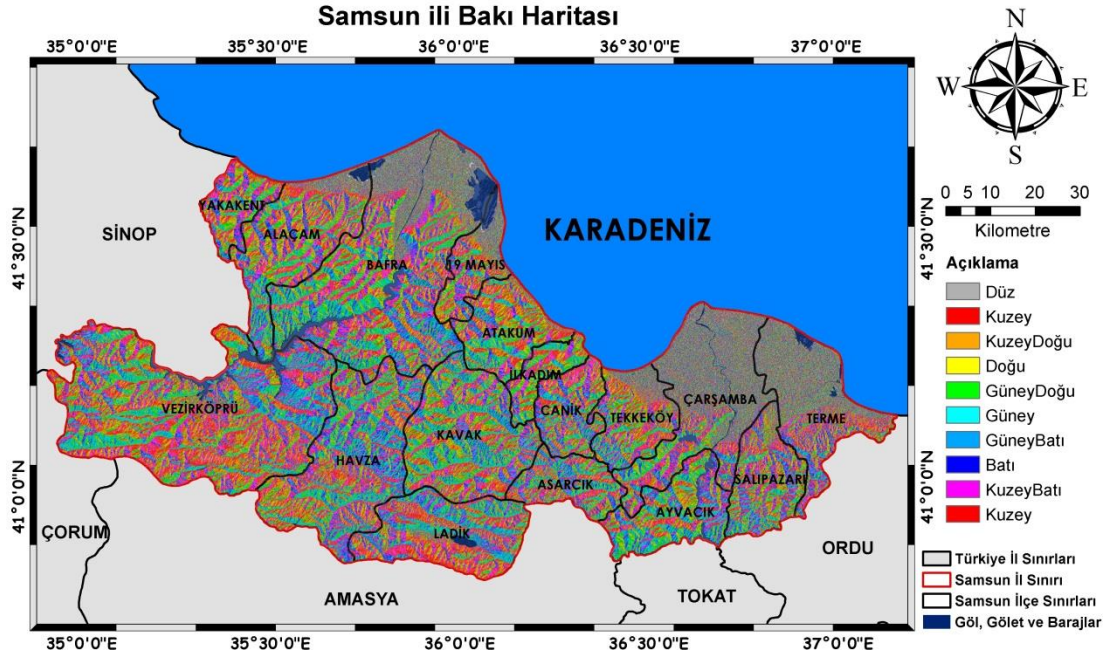
Eğim haritasının hazırlanmasında, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “<https://earthexplorer.usgs.gov/>” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Slope” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Eğim Haritası

4.2.2. Bakı Haritasının Üretilmesi

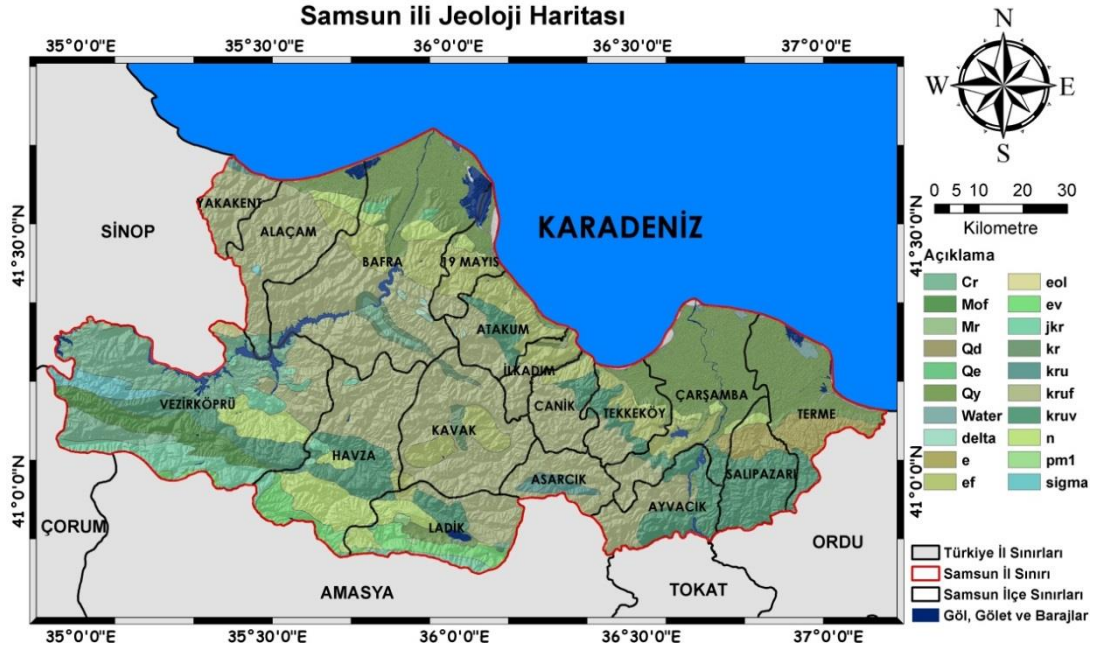
Bakı haritasının hazırlanmasında, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “<https://earthexplorer.usgs.gov/>” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Aspect” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir (Şekil 4.3).



4.2.3. Yükseklik Haritasının Üretilmesi

Yükseklik haritasının hazırlanmasında, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “<https://earthexplorer.usgs.gov/>” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisi yükselti değerleri belirgin olacak şekilde renklendirilmiştir (Şekil 4.4).





4.2.6. Eğrisellik Haritasının Üretilmesi

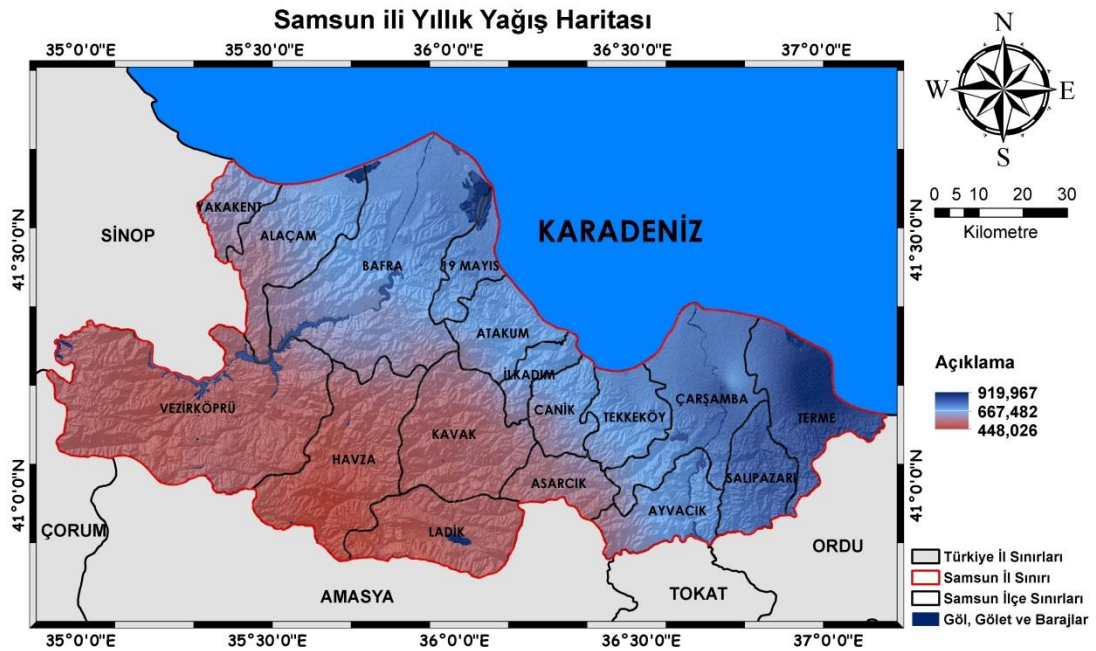
Eğrisellik haritasının hazırlanmasında, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “<https://earthexplorer.usgs.gov/>” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Curvature” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir (Şekil 4.7).





4.2.9. Yıllık Yağış Haritasının Üretilmesi

Yağış haritasının üretilmesi için gerekli veriler “<http://tr.climate-data.org/>” adresinden temin edilmiştir. Çalışmada Samsun ilinin 17 ilçesine ve 30 farklı lokasyona ait yıllık ortalama toplam yağış miktarı verileri kullanılmıştır. ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde bulunan “Geostatistical Analyst Tools-> Interpolation -> IDW” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir (Şekil 4.10).



4.2.10. Arazi Kullanım Durumu Haritasının Üretilmesi

Haritanın üretilmesi için gerekli veriler “<https://land.copernicus.eu/>” adresinden “ESRI Geodatabase” formatında vektör biçimde indirilmiştir. Veriler 2018 yılına ait olup tüm Avrupa ülkelerini içermektedir. Veriler ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde bulunan “Analysis Tools-> Extract -> Clip” işlemi uygulanarak çalışma alanına uygun olacak şekilde kırılmış ve CORINE arazi örtüsü sınıfları standardına göre renklendirilmiştir (Şekil 4.11).

CORINE arazi örtüsü sınıflarının kodlarına göre hangi arazi sınıfında yer aldığı Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. CORINE Arazi Örtüsü Sınıfları

CORINE ARAZİ ÖRTÜSÜ SINIFLARI		
111:Kesintisiz Şehir Yapısı	211:Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	321:Doğal Çayırliklar
112:Kesintili Şehir Yapısı	212:Sürekli Sulanan Alanlar	324:Bitki Değişim Alanları
121:Endüstriyel Veya Ticari Alanlar	213:Çeltik Tarlaları	331:Sahiller, Kumsallar
122:Karayolu, Demiryolu vb. Araziler	222:Meyve Bahçeleri	332:Çıplak Kayaliklar
123:Liman Alanları	231:Meralar	333:Seyrek Bitki Alanları
124:Hava Alanları	242:Karışık Tarım Alanları	411:Bataklıklar
131:Maden Çıkarım Alanları	243:Doğal Bitki Örtüsü İle Karışık Tarım Alanları	421:Tuz Bataklığı
132:Çöp Boşaltım Alanları	244:Ormanla Karışık Tarım Alanları	511:Su Yolları
133:İnşaat Atıkları Boşaltım Alanları	311:Geniş Yapraklı Ormanlar	512:Su Kütleleri
141:Yeşil Yerleşim Alanları	312:İğne Yapraklı Ormanlar	521:Kıyı Lagünleri
142:Spor Ve Dinlenme Alanları	313:Karışık Ormanlar	523: Deniz Ve Okyanus



4.3. Haritaların Yeniden Sınıflandırılması

Parametrelere ait haritaların heyelan duyarlılık analizinde kullanılmasından önce sınıflandırılması gerekmektedir çünkü heyelan olaylarının hangi aralıklarda daha sık görüldüğünün ayırt edilmesi ve hangi aralıktaki verilerin birbirlerine benzer özellikler gösterdiğinin belirlenmesi önemlidir. Bu sınıflandırma işlemi sayesinde raster formattaki eğim, bakı, yükseklik, topoğrafik nemlilik indeksi, eğrisellik, bitki örtüsü indeksi (NDVI) gibi parametrelerin 0 - 255 renk aralığındaki değerlerinin normalleştirilmesi de sağlanmış olur.

Her bir parametre için heyelan olayının görülme sıklığı Bölüm 3.1.11’de anlatılan ve AFAD tarafından temin edilen Heyelan Envanter Haritası yardımıyla incelenmiştir. Aralıkların belirlenmesi için Heyelan Envanter Haritası ile parametre haritaları karşılaştırılmıştır. Parametrelerin birbirine benzer özellikler gösterdiği aralıkların belirlenmesinde ise daha önce yapılan çalışmalar ve konu hakkında bilgi edinilebilecek kaynaklar incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında parametre sınıfları belirlenmiş ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Parametre Sınıfları

PARAMETRE	SINIF ARALIKLARI		
Eğim	0 – 2 derece	2 – 5 derece	5 – 10 derece
	10 – 15 derece	15 – 20 derece	20 – 71 derece
Jeoloji	Üst Kretase	Mesozoyik	Jura
	Neojen	Eosen	Permiyen
	Oligosen	Holosen	Pleyistosen
	Kretase	Kuvaterner	Diğer
Baki	Kuzey	Düz	Güney
Yükseklik	-27 - 100	100 - 400	400 – 700
	700 - 1000	1000 – 1982	
Topoğrafik Nemlilik İndeksi	2,37 – 5,12	5,12 – 5,72	5,72 – 6,23
	6,23 – 6,83	6,83 – 7,52	7,52 – 8,72
	8,72 – 24,26		
Arazi Kullanım Durumu	Yapay Alanlar	Susuz Tarım Alanı	Sulu Tarım Alanı
	Çeltik Arazileri	Meyve Bahçeleri	Mera Alanları
	Karışık Tarım Arazileri	Ormanlık Alanlar	Kumsallar ve Kayalık Alanlar
	Bataklıklar ve Tuz Sahaları	Su Kütleri	
Eğrisellik	İç Bükey Yamaç	Düz	Dış Bükey Yamaç
Fay Hatlarına Yakınlık	0 – 1 km	1 – 2,5 km	2,5 – 5 km
	5 – 10 km	10+ km	
Bitki İndeksi	Zayıf Bitki Örtüsü	Geçiş Alanı	Güçlü Bitki Örtüsü
Yıllık Yağış	448 – 500 mm	500 – 575 mm	575 – 650 mm
	650 – 725 mm	725 – 919 mm	

Eğim haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.12’de ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.12. Sınıflandırılmış Eğim Haritası

Tablo 4.3. Eğim Sınıflarının Alansal Dağılımı

EĞİM SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar (derece)	Toplam Alan (m2)	Yüzelik Dilim (%)
0 - 2	1.730.037.695,713	17,81%
2 - 5	1.284.435.111,096	13,23%
5 - 10	1.896.264.298,209	19,53%
10 - 15	1.682.291.222,870	17,32%
15 - 20	1.386.938.113,362	14,28%
20 - 71	1.731.387.739,950	17,83%

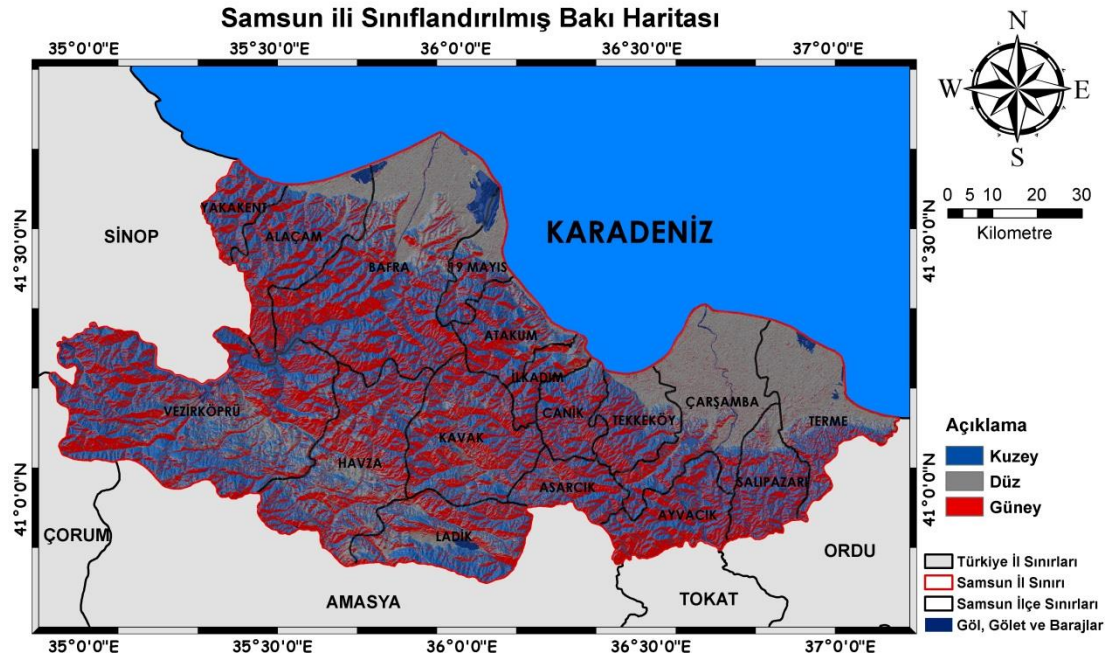
Jeoloji haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.13'te ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.4'te verilmiştir.



Tablo 4.4. Jeoloji Sınıflarının Alansal Dağılımı

JEOLJİ SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar	Toplam Alan (m ²)	Yüzelik Dilim
Üst Kretase	4.637.472.753,908	48,10%
Mesozoyik	219.632.400,287	2,28%
Kuvaterner	1.009.783,596	0,01%
Jura	333.797.750,067	3,46%
Neojen	573.219.571,700	5,95%
Eosen	1.336.226.904,882	13,86%
Permian	9.952.795,570	0,10%
Oligosen	20.746.275,509	0,22%
Holosen	1.612.706.203,494	16,73%
Pleyistosen	25.046.620,083	0,26%
Kretase	85.272.753,371	0,88%
Diğer	786.211.734,042	8,15%

Bakı haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.14'te ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Sınıflandırılmış Bakı Haritası

Tablo 4.5. Bakı Sınıflarının Alansal Dağılımı

BAKİ SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar	Toplam Alan (m ²)	Yüzdellik Dilim
Kuzey	3.297.772.440,917	33,96%
Düz	3.280.286.480,995	33,78%
Güney	3.133.295.259,288	32,26%

Yükseklik haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.15'te ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.6'da verilmiştir.



Tablo 4.6. Yükseklik Sınıflarının Alansal Dağılımı

YÜKSEKLİK SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar (m)	Toplam Alan (m ²)	Yüzdelik Dilim
-27 - 100	2.055.003.791,834	21,13%
100 - 400	1.730.900.376,730	17,80%
400 - 700	2.295.427.148,321	23,60%
700 - 1000	2.660.269.729,269	27,36%
1000 - 1982	982.916.066,353	10,11%

Topoğrafik Nemlilik haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.16'da ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.7'de verilmiştir.



Tablo 4.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi Sınıflarının Alansal Dağılımı

TOPOĞRAFİK NEMLİLİK İNDEKSİ SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar	Toplam Alan (m ²)	Yüzelik Dilim
2,37 - 5,12	1.325.817.678,877	13,65%
5,12 - 5,72	1.499.493.583,507	15,44%
5,72 - 6,23	1.432.049.112,884	14,75%
6,23 - 6,83	1.497.107.634,655	15,42%
6,83 - 7,52	1.381.274.664,042	14,22%
7,52 - 8,72	1.320.621.658,315	13,60%
8,72 - 24,26	1.255.045.527,934	12,92%

Arazi Kullanım haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.17’de ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.8’de verilmiştir.



Tablo 4.8. Arazi Kullanım Durumu Sınıflarının Alansal Dağılımı

ARAZİ KULLANIM DURUMU SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar	Toplam Alan (m ²)	Yüzdelik Dilim
100 - Yerleşim Yerleri	194.336.255,735	2,00%
211 - Susuz Tarım Alanları	1.375.378.875,134	14,14%
212 - Sulmuş Tarım Alanları	536.893.483,248	5,52%
213 - Çeltik Tarlaları	39.308.696,365	0,40%
222 - Meyve Bahçeleri	581.342.521,161	5,98%
231 - Mera Alanları	88.493.887,430	0,91%
240 - Karışık Tarım Alanları	2.460.672.837,820	25,30%
310 - Orman Alanları	3.899.160.781,846	40,10%
330 - Kumsal Ve Kayalıklar	239.655.536,012	2,46%
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	98.632.967,108	1,01%
500 - Su Kütleleri	210.677.702,595	2,17%

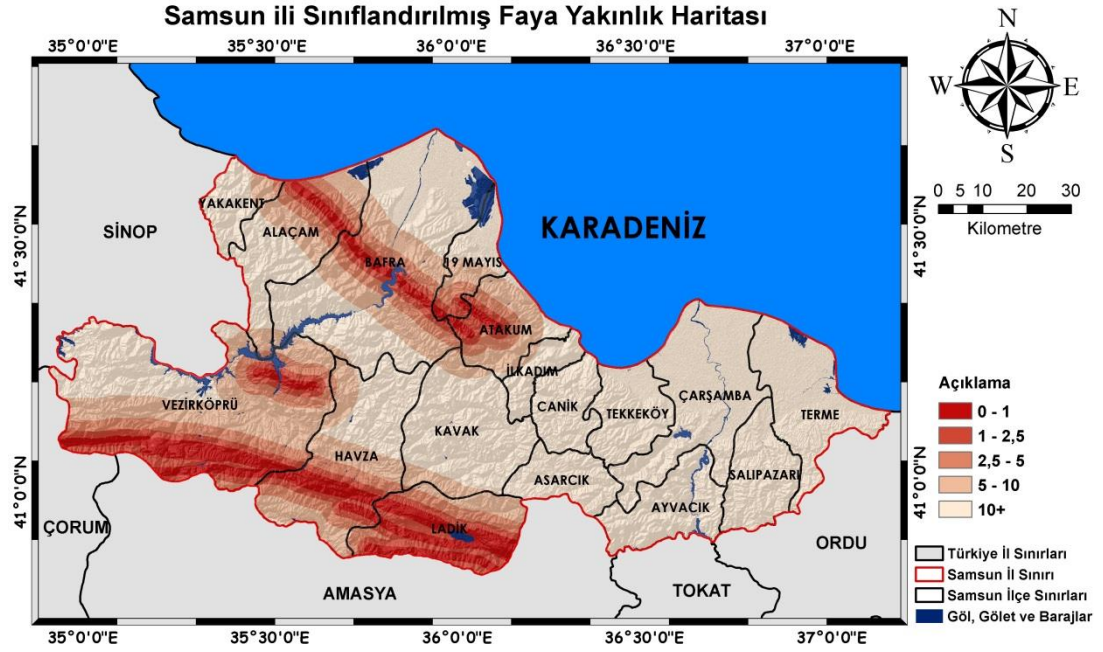
Eğrisellik haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.18’de ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.9’da verilmiştir.



Tablo 4.9. Eğrisellik Sınıflarının Alansal Dağılımı

EĞRİSELLİK SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar	Toplam Alan (m2)	Yüzdelik Dilim
İç Bükey Yamaç	3.118.244.053,279	32,07%
Düz	3.366.546.333,920	34,62%
Dış Bükey Yamaç	3.239.726.725,307	33,32%

Fay Hatlarına Yakınlık haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.19'da ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.10'da verilmiştir.



Tablo 4.10. Fay Hatlarına Yakınlık Sınıflarının Alansal Dağılımı

FAY HATLARINA YAKINLIK SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar (km)	Toplam Alan (m2)	Yüzelik Dilim
0 – 1	676.635.434,835	6,96%
1 - 2,5	671.933.651,445	6,91%
2,5 - 5	834.976.926,620	8,59%
5 - 10	1.705.980.237,370	17,54%
10+	5.835.115.280,775	60,00%

Bitki İndeksi (NDVI) haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.20’de ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.11’de verilmiştir.

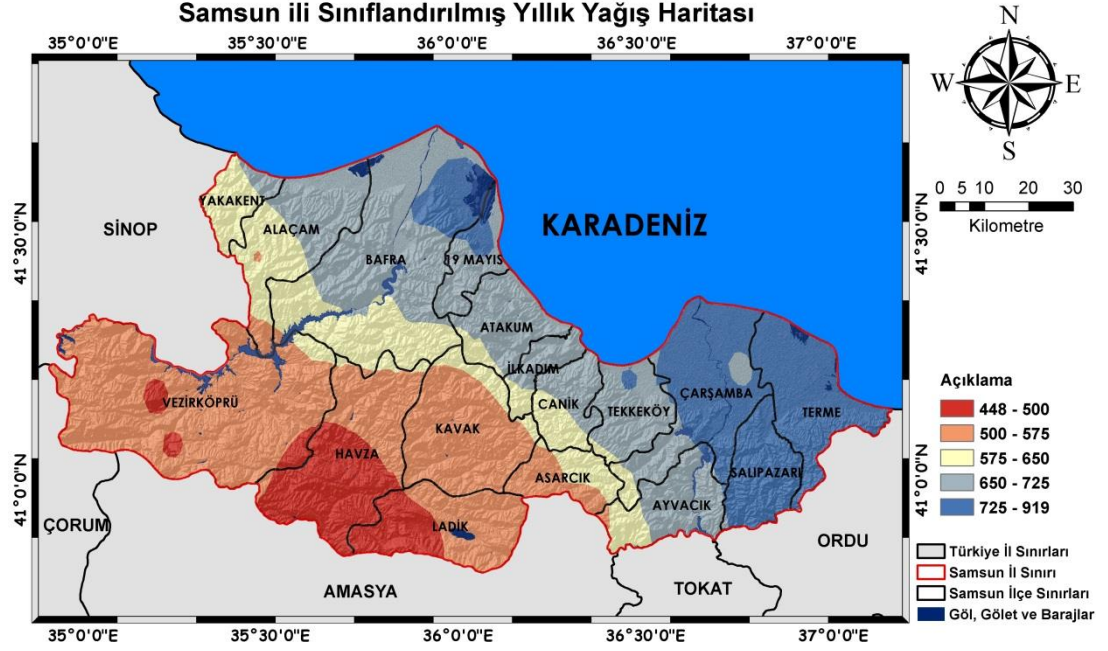


Şekil 4.20. Sınıflandırılmış Bitki İndeksi (NDVI) Haritası

Tablo 4.11. Bitki İndeksi (NDVI) Sınıflarının Alansal Dağılımı

BİTKİ İNDEKSİ (NDVI) SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar	Toplam Alan (m2)	Yüzelik Dilim
Zayıf Bitki Örtüsü	352.168.200,000	3,62%
Geçiş Alanı	3.625.509.600,000	37,28%
Güçlü Bitki Örtüsü	5.746.826.700,000	59,10%

Yıllık yağış haritasının sınıflandırılmış hali Şekil 4.21’de ve sınıfların alansal dağılımı Tablo 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Sınıflandırılmış Yıllık Yağış Haritası

Tablo 4.12. Yıllık Yağış Sınıflarının Alansal Dağılımı

YILLIK YAĞIŞ SINIFLARININ ALANSAL DAĞILIMI		
Sınıflar (mm)	Toplam Alan (m ²)	Yüzdellik Dilim
448 - 500	804.730.746,025	8,30%
500 - 575	3.010.807.157,852	31,05%
575 - 650	1.452.067.056,536	14,97%
650 - 725	2.666.217.949,344	27,49%
725 - 919	1.763.693.442,769	18,19%

4.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

4.4.1. Frekans Oranı Yöntemi (FR) ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Frekans Oranı (Frequency Ratio) yönteminin uygulanması için 10 parametre ve 60 parametre alt sınıfı incelenmiştir. Yönteme ilişkin parametre verileri ArcGIS yazılımının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Zonal -> Tabulated Area” işlemi kullanılarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler yönteme uygun olarak işlenmiş ve Tablo 4.13 – 4.22’de verilmiştir.

Tablolarda yer alan A1; değeri parametre sınıfındaki heyelanlı alanların metrekare cinsinden değerini, A2; değeri parametre sınıfındaki toplam alanın metrekare cinsinden değerini, A3; değeri parametre sınıfındaki heyelanlı alanların toplam heyelanlı alanlara oranını, A4; değeri parametre sınıfındaki alanın toplam alana oranını ve “FR” değeri ise A3 değerinin A4 değerine oranı olan parametre sınıflarının frekans oranlarını göstermektedir.

Tablo 4.13. Frekans Oranı Yöntemi Yükseklik Değerleri

YÜKSEKLİK (m)	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
-27 - 100	49,913	2.055,003	13,17%	21,13%	0,62
100 - 400	125,927	1.730,900	33,22%	17,80%	1,87
400 - 700	81,874	2.295,427	21,60%	23,60%	0,92
700 - 1000	92,829	2.660,269	24,49%	27,36%	0,90
1000 - 1982	28,514	982,916	7,52%	10,11%	0,74

Tablo 4.14. Frekans Oranı Yöntemi Eğim Değerleri

EĞİM (derece)	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
0 - 2	11,237	1.730,037	2,97%	17,81%	0,17
2 - 5	56,008	1.284,435	14,78%	13,23%	1,12
5 - 10	130,081	1.896,264	34,33%	19,53%	1,76
10 - 15	82,118	1.682,291	21,67%	17,32%	1,25
15 - 20	53,454	1.386,938	14,11%	14,28%	0,99
20 - 71	46,056	1.731,387	12,15%	17,83%	0,68

Tablo 4.15. Frekans Oranı Yöntemi Bakı Değerleri

BAKI	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
Kuzey	160,369	3.297,772	42,32%	33,96%	1,25
Düz	89,120	3.280,286	23,52%	33,78%	0,70
Güney	129,466	3.133,295	34,16%	32,26%	1,06

Tablo 4.16. Frekans Oranı Yöntemi Bitki İndeksi (NDVI) Değerleri

NDVI	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
Zayıf Bitki Örtüsü	8,392	352,168	2,21%	3,62%	0,61
Geçiş Alanı	165,369	3.625,509	43,59%	37,28%	1,17
Güçlü Bitki Örtüsü	205,584	5.746,826	54,19%	59,10%	0,92

Tablo 4.17. Frekans Oranı Yöntemi Yıllık Yağış Değerleri

YAĞIŞ (mm)	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
448 - 500	46,342	804,730	12,51%	8,30%	1,51
500 - 575	79,548	3.010,807	21,48%	31,05%	0,69
575 - 650	54,613	1.452,067	14,75%	14,97%	0,98
650 - 725	181,234	2.666,217	48,93%	27,49%	1,78
725 - 919	8,636	1.763,693	2,33%	18,19%	0,13

Tablo 4.18. Frekans Oranı Yöntemi Topoğrafik Nemlilik Değerleri

TWI	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
2,37 - 5,12	43,736	1.325,817	11,54%	13,65%	0,85
5,12 - 5,72	62,372	1.499,493	16,46%	15,44%	1,07
5,72 - 6,23	63,727	1.432,049	16,82%	14,75%	1,14
6,23 - 6,83	63,519	1.497,107	16,76%	15,42%	1,09
6,83 - 7,52	50,396	1.381,274	13,30%	14,22%	0,93
7,52 - 8,72	49,075	1.320,621	12,95%	13,60%	0,95
8,72 - 24,26	46,134	1.255,045	12,17%	12,92%	0,94

Tablo 4.19. Frekans Oranı Yöntemi Jeoloji Değerleri

JEOLJİ	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
Üst Kretase	140,821	4.637,472	37,15%	48,10%	0,77
Mesozoyik	14,205	219,632	3,75%	2,28%	1,65
Kuvaterner	0,387	1,009	0,10%	0,01%	9,75
Jura	9,277	333,797	2,45%	3,46%	0,71
Neojen	60,974	573,219	16,09%	5,95%	2,71
Eosen	86,830	1.336,226	22,91%	13,86%	1,65
Permian	0,000	9,952	0,00%	0,10%	0,00
Oligosen	4,817	20,746	1,27%	0,22%	5,91
Holosen	16,091	1.612,706	4,25%	16,73%	0,25
Pleyistosen	1,103	25,046	0,29%	0,26%	1,12
Kretase	4,753	85,272	1,25%	0,88%	1,42
Diğer	39,776	786,211	10,49%	8,15%	1,29

Tablo 4.20. Frekans Oranı Yöntemi Faya Yakınlık Değerleri

FAYA YAKINLIK	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
0 - 1	62,257	676,635	16,43%	6,96%	2,36
1 - 2,5	51,685	671,933	13,64%	6,91%	1,97
2,5 – 5	53,007	834,976	13,98%	8,59%	1,63
5 – 10	75,579	1.705,980	19,94%	17,54%	1,14
10+	136,508	5.835,115	36,01%	60,00%	0,60

Tablo 4.21. Frekans Oranı Yöntemi Eğrisellik Değerleri

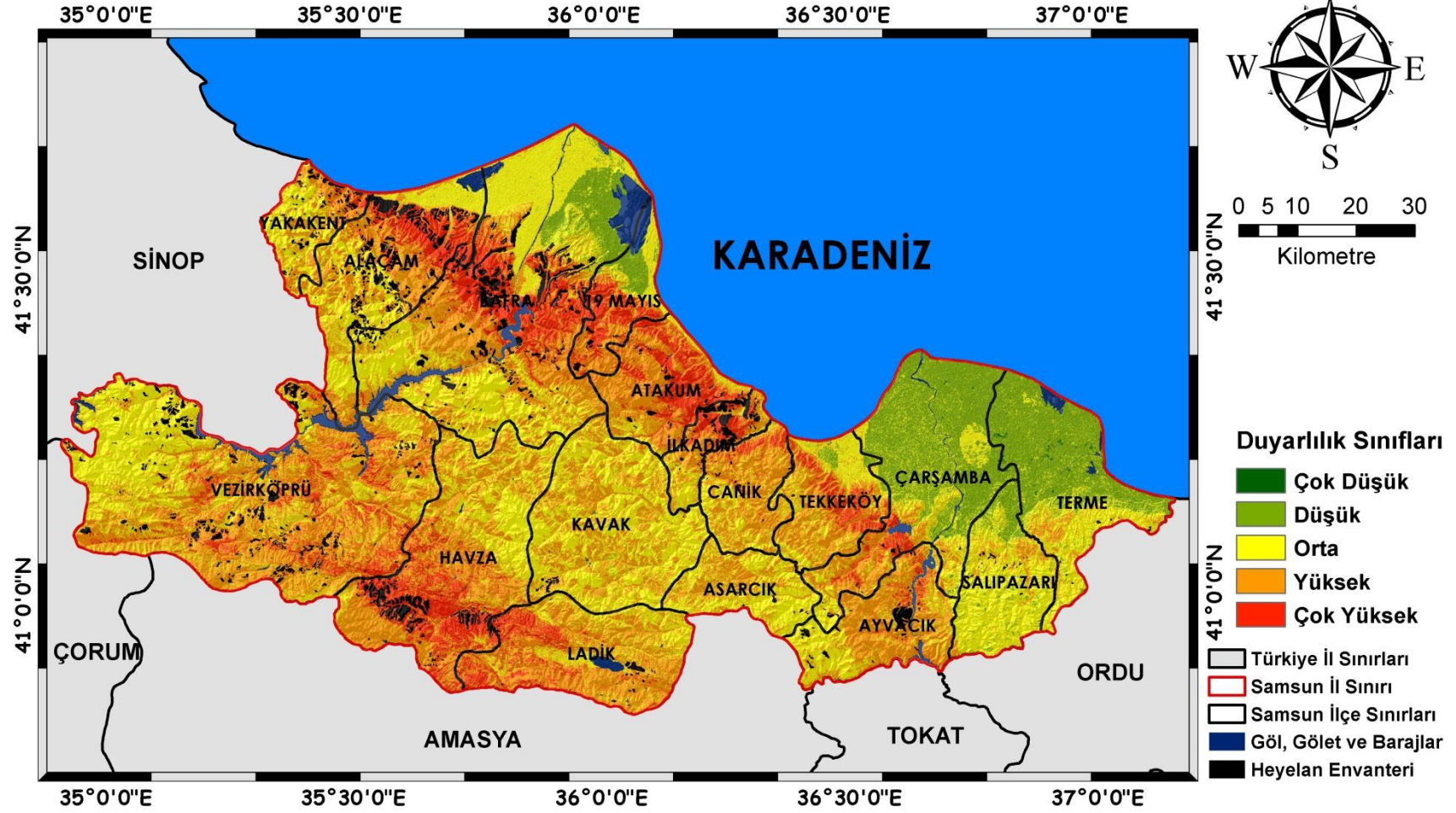
EĞRİSELLİK	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
İç Bükey Yamaç	130,294	3.118,244	34,37%	32,07%	1,07
Düz	124,683	3.366,546	32,89%	34,62%	0,95
Dış Bükey Yamaç	124,081	3.239,726	32,73%	33,32%	0,98

Tablo 4.22. Frekans Oranı Yöntemi Arazi Kullanımı Değerleri

ARAZİ KULLANIM	A1 (km2)	A2 (km2)	(A3)	(A4)	FR
100 - Yerleşim Yerleri	6,187	194,336	1,63%	2,00%	0,82
211 - Susuz Tarım Alanları	97,856	1.375,378	25,82%	14,14%	1,83
212 - Sulu Tarım Alanları	7,854	536,893	2,07%	5,52%	0,38
213 - Çeltik Tarlaları	0,000	39,308	0,00%	0,40%	0,00
222 - Meyve Bahçeleri	5,407	581,342	1,43%	5,98%	0,24
231 - Mera Alanları	2,120	88,493	0,56%	0,91%	0,61
240 - Karışık Tarım Alanları	144,138	2.460,672	38,03%	25,30%	1,50
310 - Orman Alanları	93,311	3.899,160	24,62%	40,10%	0,61
330 - Kumsal Ve Kayalıklar	20,434	239,655	5,39%	2,46%	2,19
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	0,00	98,632	0,00%	1,01%	0,00
500 – Su Kütleleri	1,745	210,677	0,46%	2,17%	0,21

Frekans Oranı değerleri hesaplanan parametre alt sınıfları, parametrelerin birbirlerine göre heyelanı etkileme öncelikleri dikkate alınmadan eşit ağırlıklı olarak ArcGIS programıyla Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) işlemi uygulanarak işlenmiş ve Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere “Natural Breaks” sınıflandırma işlemi uygulanarak 5 sınıfta yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 4.22).

Frekans Oranı Yöntemi (FR) ile Samsun İli Heyelan Duyarlılık Haritası



Şekil 4.22. Heyelan Duyarlılık Haritası (Frekans Oranı Yöntemi)

FR yöntemi ile yapılan analizden elde edilen heyelan duyarlılık haritası sınıflarının dağılımı Tablo 4.23'te verilmiştir.

Tablo 4.23. Frekans Oranı Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Dağılımı

FREKANS ORANI YÖNTEMİ (FR)				
DUYARLILIK SINIFLARI	HEYELANLI ALAN (km ²)	TOPLAM ALAN (km ²)	HEYELANLI ALAN (%)	TOPLAM ALAN (%)
ÇOK DÜŞÜK	0,00	20,52	0,00%	0,22%
DÜŞÜK	1,23	1074,84	0,33%	11,31%
ORTA	63,42	3523,32	16,76%	37,08%
YÜKSEK	158,65	3894,99	41,94%	40,99%
ÇOK YÜKSEK	155,01	1172,55	40,97%	12,34%

Frekans Oranı Yöntemi (FR) uygulanarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarına ilişkin veriler incelendiğinde heyelan olaylarının %82,91'inin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında gerçekleştiği, %16,76'sının orta duyarlılık sınıfında yer aldığı ve %0,33'ünün ise düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu oranlara baktığımızda çalışmanın yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür.

Heyelan duyarlılık sınıfları alansal olarak incelendiğinde toplam alanın %11,53'ünün düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında, %37,08'inin orta duyarlılık sınıfında ve %53,30'unun yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.

Çalışmada kullanılan parametreler de frekans oranı yöntemi kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritası sınıflarıyla karşılaştırılmış ve alansal değerleri kilometrekare olarak Tablo 4.24 – 4.33'te verilmiştir. Parametre sınıflarının yüksek ve çok yüksek sınıfta bulunan alanlarının, parametre sınıfında bulunan toplam alana oranı alınarak parametre sınıflarının risk yüzdesi hesaplanmıştır.

Tablo 4.24. Frekans Oranı Yöntemi ile Yükseklik Çıktı Verileri

YÜKSEKLİK (metre)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
-27 - 100	20,52	990,65	748,41	233,94	49,85	13,89%
100 - 400	0,00	41,59	251,54	783,02	648,13	83,00%
400 - 700	0,00	21,19	970,00	1134,65	166,05	56,75%
700 - 1000	0,00	17,01	1158,00	1212,22	266,90	55,73%
1000 - 1982	0,00	4,38	395,35	531,15	41,63	58,90%

Yükseklik parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %83,00 oranıyla “100 – 400 metre” aralığında, en düşük risk ise %13,89 oranıyla “-27 – 100 metre” aralığında bulunmaktadır. Diğer yükseklik sınıfları incelendiğinde ise “400 – 700 metre” aralığı %56,75 oranında, “700 – 1000 metre” aralığı %55,73 oranında, “1000 – 1982 metre” aralığı %58,90 oranında riskli görülmüştür.

Yükseklik sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerine genel olarak yakın olması parametrenin ayırt ediciliğini düşürmüştür ancak farklı değerlerin de bulunması çalışma alanı için yükseklik parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.25. Frekans Oranı Yöntemi ile Eğim Çıktı Verileri

EĞİM (derece)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
0 - 2	20,01	938,57	610,37	142,25	11,60	8,93%
2 - 5	0,45	104,65	417,81	561,30	196,50	59,17%
5 - 10	0,03	3,80	309,43	1005,90	573,51	83,45%
10 - 15	0,00	1,95	556,21	877,49	243,33	66,76%
15 - 20	0,00	3,80	612,32	662,63	104,83	55,47%
20 - 71	0,00	21,56	1016,44	645,09	42,75	39,86%

Eğim parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %83,45 oranıyla “5 – 10 derece” aralığında, en düşük risk ise %8,93 oranıyla “0 – 2 derece” aralığında bulunmaktadır. Diğer eğim sınıfları incelendiğinde ise “2 – 5 derece” aralığı %59,17 oranında, “10 – 15 derece” aralığı %66,76 oranında, “15 – 20 derece” aralığı %55,47 oranında, “20 – 71 derece” aralığı %39,86 oranında riskli görülmüştür.

Eğim sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini ve çalışma alanı için eğim parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.26. Frekans Oranı Yöntemi ile Bakı Çıktı Verileri

BAKI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Kuzey Yönlü	0,01	10,30	1132,11	1579,92	565,77	65,26%
Düze Yakın	20,39	1037,67	1203,55	804,94	203,75	30,84%
Güney Yönlü	0,09	26,36	1186,93	1509,79	403,01	61,19%

Bakı parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %65,26 oranıyla Kuzey yönlü alanlarda, en düşük risk ise %30,84 oranıyla düze yakın alanlarda bulunmaktadır. Güney yönlü alanlar incelendiğinde ise %61,19 oranında riskli görülmüştür.

Bakı sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerine genel olarak yakın olması parametrenin ayırt ediciliğini düşürmüştür ancak farklı değerlerin de bulunması çalışma alanı için bakı parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.27. Frekans Oranı Yöntemi ile Bitki İndeksi (NDVI) Çıktı Verileri

NDVI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Zayıf Bitki Örtüsü	19,85	94,88	158,88	63,86	5,09	20,13%
Geçiş Alanı	0,63	347,29	913,43	1672,05	678,88	65,08%
Güçlü Bitki Örtüsü	0,05	632,65	2450,99	2159,07	488,58	46,20%

Bitki indeksi (NDVI) parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %65,08 oranıyla zayıf ve güçlü bitki örtülerinin geçiş alanlarında, en düşük risk ise %20,13 oranıyla zayıf bitki örtüsüne sahip alanlarda bulunmaktadır. Güçlü bitki örtüsüne sahip alanlar incelendiğinde ise %46,20 oranında riskli görülmüştür.

Bitki indeksi (NDVI) sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerine genel olarak yakın olması parametrenin ayırt ediciliğini düşürmüştür ancak farklı değerlerin de bulunması çalışma alanı için bitki indeksi (NDVI) parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca bitki indeksi değerleri sınıflandırılırken aralıklar değiştirilerek daha iyi sonuçlar alınabilir.

Tablo 4.28. Frekans Oranı Yöntemi ile Yıllık Yağış Çıktı Verileri

YAĞIŞ (mm)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
448 - 500	0,00	0,00	47,75	436,40	318,25	94,05%
500 - 575	0,00	43,43	1370,13	1471,12	125,85	53,05%
575 - 650	0,00	16,23	847,34	577,54	9,81	40,48%
650 - 725	0,00	41,91	619,69	1282,69	716,24	75,13%
725 - 919	20,20	979,03	639,65	124,10	0,23	7,05%

Yıllık yağış parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %94,05 oranıyla “448 – 500 mm” aralığında, en düşük risk ise %7,05 oranıyla “725 – 919 mm” aralığında bulunmaktadır. Diğer yağış sınıfları incelendiğinde ise “500 – 575 mm” aralığı %53,05 oranında, “575 – 650 mm” aralığı %40,48 oranında, “650 – 725 mm” aralığı %75,13 oranında riskli görülmüştür.

Yıllık yağış sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt edici olduğunu göstermektedir ancak yağış miktarının artış veya azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmayışı yıllık yağış parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.29. Frekans Oranı Yöntemi ile Topoğrafik Nemlilik Çıktı Verileri

TWI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
2,37 - 5,12	0,00	12,64	678,15	549,98	80,39	47,71%
5,12 - 5,72	0,01	9,50	604,94	693,37	188,28	58,93%
5,72 - 6,23	0,04	12,30	471,80	707,68	236,47	66,10%
6,23 - 6,83	0,45	85,04	481,57	684,27	242,49	62,04%
6,83 - 7,52	2,41	272,27	461,96	479,98	162,34	46,58%
7,52 - 8,72	3,17	343,71	419,98	404,77	144,85	41,75%
8,72 - 24,26	14,42	339,17	403,82	373,84	117,61	39,35%

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %66,10 oranıyla “5,72 – 6,23” aralığında, en düşük risk ise %39,35 oranıyla “8,72 – 24,26” aralığında bulunmaktadır. Diğer topoğrafik nemlilik indeksi sınıfları incelendiğinde ise “2,37 – 5,12” aralığı %47,71 oranında, “5,12 – 5,72” aralığı %58,93 oranında, “6,23 – 6,83” aralığı %62,04 oranında, “6,83

– 7,52” aralığı %46,58 oranında ve “7,52 – 8,72” aralığı %41,75 oranında riskli görülmüştür.

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerine genel olarak yakın olması parametrenin ayırt ediciliğini düşürmüştür. Topoğrafik Nemlilik İndeksi değerlerinin artış veya azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmayışı ve sınıflar arasında birbirine yakın değerlerin varlığı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.30. Frekans Oranı Yöntemi ile Eğrisellik Çıktı Verileri

EĞRİSELLİK	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
İç Bükey Yamaç	1,12	209,41	1112,84	1384,70	398,03	57,39%
Düze Yakın	17,61	654,02	1129,17	1146,67	405,73	46,30%
Dış Bükey Yamaç	1,79	211,39	1281,29	1363,61	368,79	53,69%

Eğrisellik parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %57,39 oranıyla iç bükey yamaçlarda, en düşük risk ise %46,30 oranıyla düze yakın alanlarda bulunmaktadır. Dış bükey yamaçlar incelendiğinde ise %53,69 oranında riskli görülmüştür.

Eğrisellik sınıflarındaki risk değerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerine ve birbirlerine yakın değerler olması eğrisellik parametresinin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.31. Frekans Oranı Yöntemi ile Faya Yakınlık Çıktı Verileri

FAYA YAKINLIK (km)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
0 - 1	0,00	1,74	55,59	369,04	248,54	91,51%
1 - 2,5	0,00	0,25	89,91	378,80	199,28	86,51%
2,5 - 5	0,00	0,22	141,02	467,11	224,35	83,04%
5 - 10	0,00	16,86	464,04	927,74	293,42	71,75%
10+	20,52	1055,77	2772,75	1752,29	206,95	33,73%

Fay Hatlarına Yakınlık parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %91,51 oranıyla “0 – 1 km” aralığında, en düşük risk ise %33,73

oranıyla “10 km ve üzeri” aralığında bulunmaktadır. Diğer fay hatlarına yakınlık sınıfları incelendiğinde ise “1 – 2,5 km” aralığı %86,51 oranında, “2,5 – 5 km” aralığı %83,04 oranında, “5 – 10 km” aralığı %71,75 oranında riskli görülmüştür.

Fay hatlarına yakınlık sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerinden farklı olması ve risk oranlarının artan uzaklık değeriyle birlikte düşmesi parametre sınıflarının uygun olarak belirlendiğini ve fay hatlarına yakınlık parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.32. Frekans Oranı Yöntemi ile Jeoloji Çıktı Verileri

JEOLOJİ	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Üst Kretase	0,65	46,42	1971,08	2262,98	345,64	56,38%
Mesozoyik	0,00	0,54	73,79	121,13	23,88	66,11%
Kuvaterner	0,00	0,00	0,00	0,11	0,91	100,00%
Jura	0,00	0,49	73,29	223,49	32,79	77,65%
Neojen	0,00	24,53	69,16	232,21	247,18	83,65%
Eosen	0,00	43,22	273,78	558,42	455,42	76,18%
Permiyen	9,44	41,96	23,64	10,61	2,05	14,44%
Oligosen	0,00	0,00	3,25	14,58	2,39	83,94%
Holosen	9,67	851,68	604,55	120,58	20,33	8,77%
Pleyistosen	0,00	2,16	9,12	11,43	2,28	54,87%
Kretase	0,00	0,96	39,74	43,15	1,38	52,24%
Diğer	0,76	62,88	381,91	296,29	38,29	42,89%

Jeoloji parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %100,00 oranıyla “kuvaterner” sınıfında, en düşük risk ise %8,77 oranıyla “holosen” sınıfında bulunmaktadır. Diğer jeoloji sınıfları incelendiğinde ise “üst kretase” sınıfının %56,38 oranında, “mesozoyik” sınıfı %66,11 oranında, “jura” sınıfı %77,65 oranında, “neojen” sınıfı %83,65 oranında, “eosen” sınıfı %76,18 oranında, “permiyen” sınıfı %14,44 oranında, “oligosen” sınıfı %83,94 oranında, “pleyistosen” sınıfı %54,87 oranında, “kretase” sınıfı %52,24 oranında ve diğer jeolojik dönem sınıfları %42,89 oranında riskli görülmüştür.

Jeoloji sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerinden genel olarak farklı olması ve sınıflar arasındaki risk değerlerinin birbirinden bağımsız olması jeoloji parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.33. Frekans Oranı Yöntemi ile Arazi Kullanımı Çıktı Verileri

ARAZİ KULLANIM	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
100 - Yerleşim Yerleri	0,03	48,12	73,17	57,38	13,60	36,91%
211 - Susuz Tarım Alanları	0,01	25,14	143,04	740,03	466,15	87,76%
212 - Sulu Tarım Alanları	0,00	84,67	301,82	133,68	16,46	27,98%
213 - Çeltik Tarlaları	0,77	34,00	3,97	0,37	0,00	0,94%
222 - Meyve Bahçeleri	4,40	281,28	214,97	75,17	3,60	13,60%
231 - Mera Alanları	0,00	12,30	36,79	32,44	6,83	44,44%
240 - Karışık Tarım Alanları	0,03	367,82	548,35	1074,80	464,37	62,69%
310 - Orman Alanları	0,00	67,40	2070,40	1594,36	151,16	44,95%
330 - Kayalık ve Kumlu Alanlar	0,04	2,82	24,59	157,91	49,61	88,31%
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	1,60	71,53	23,38	1,31	0,00	1,34%
500 - Su Kütleleri	13,64	79,73	82,78	27,52	0,76	13,83%

Arazi Kullanım Durumu parametresine ait sınıflar frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %88,31 oranıyla “Kayalık ve Kumlu Alanlar” sınıfında, en düşük risk ise %0,94 oranıyla “Çeltik Tarlaları” sınıfında bulunmaktadır. Diğer arazi kullanım durumu sınıfları incelendiğinde ise “Yerleşim Yerleri” sınıfı %36,91 oranında, “Susuz Tarım Alanları” sınıfı %87,76 oranında, “Sulu Tarım Alanları” sınıfı %27,98 oranında, “Meyve Bahçeleri” sınıfı %13,60 oranında, “Mera Alanları” sınıfı %44,44 oranında, “Karışık Tarım Alanları” sınıfı %62,69 oranında, “Orman Alanları” sınıfı %44,95 oranında, “Bataklık ve Tuz Sahaları” sınıfı %1,34 oranında ve “Su Kütleleri” sınıfı %13,84 oranında riskli görülmüştür.

Arazi Kullanım Durumu sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %53,30 değerinden genel olarak farklı olması ve sınıflar arasındaki risk değerlerinin birbirinden bağımsız olması arazi kullanım durumu parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

4.4.2. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE) ile Heyelan Duyarlılık Analizi

WoE yönteminin uygulanması için 10 parametre ve 60 parametre alt sınıfı incelenmiştir. Yönteme ilişkin parametre verileri ArcGIS yazılımının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Zonal -> Tabulated Area” işlemi kullanılarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler yöntemine uygun olarak işlenmiş ve Tablo 4.34 – 4.42’de verilmiştir.

Tablolarda yer alan A1; değeri parametre sınıfındaki heyelanlı alanları, A2;

değeri parametre sınıfını dışındaki heyelanlı alanları, A3; değeri parametre sınıfındaki heyelansız alanları, A4; değeri parametre sınıfı dışındaki heyelansız alanları, W+; değeri $\ln [(A1 / (A1+A2)) / (A3 / (A3+A4))]$ işleminin sonucunu, W-; değeri $\ln [(A2 / (A1+A2)) / (A4 / (A3+A4))]$ işleminin sonucunu ve C değeri ise (W+) değerinin (W-) değerinden farkı olan parametre sınıflarının kanıt ağırlığı oranlarını göstermektedir.

Tablo 4.34. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Yükseklik Değerleri

YÜKSEKLİK (m)	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
-27 - 100	49,913	329,146	2.005,090	7.340,367
100 - 400	125,927	253,131	1.604,973	7.740,484
400 - 700	81,874	297,185	2.213,552	7.131,904
700 - 1000	92,829	286,229	2.567,439	6.778,018
1000 - 1982	28,514	350,544	954,401	8.391,056
YÜKSEKLİK (m)	(W+)	(W-)	(C)	
-27 - 100	-0,4882	0,1003	-0,5885	
100 - 400	0,6598	-0,2154	0,8752	
400 - 700	-0,0922	0,0270	-0,1192	
700 - 1000	-0,1149	0,0403	-0,1552	
1000 - 1982	-0,3057	0,0295	-0,3352	

Tablo 4.35. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Eğim Değerleri

EĞİM (derece)	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
0 - 2	11,238	367,719	1.718,800	7.613,597
2 - 5	56,008	322,949	1.228,427	8.103,970
5 - 10	130,081	248,876	1.766,183	7.566,214
10 - 15	82,119	296,838	1.600,172	7.732,225
15 - 20	53,455	325,502	1.333,484	7.998,914
20 - 71	46,056	332,901	1.685,332	7.647,066
EĞİM (derece)	(W+)	(W-)	(C)	
0 - 2	-1,8263	0,1735	-1,9998	
2 - 5	0,1158	-0,0188	0,1346	
5 - 10	0,5954	-0,2107	0,8061	
10 - 15	0,2341	-0,0561	0,2903	
15 - 20	-0,0129	0,0021	-0,0150	
20 - 71	-0,3960	0,0696	-0,4656	

Tablo 4.36. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Bakı Değerleri

BAKI	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
Kuzey	160,370	218,587	3.137,402	6.194,995
Düz	89,121	289,836	3.191,166	6.141,232
Güney	129,466	249,491	3.003,829	6.328,568
BAKI	(W+)	(W-)	(C)	
Kuzey	0,2302	-0,1405	0,3706	
Düz	-0,3743	0,1504	-0,5247	
Güney	0,0596	-0,0296	0,0892	

Tablo 4.37. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Eğrisellik Değerleri

EĞRİSELLİK	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
İç Bükey Yamaç	130,294	248,765	2.987,950	6.357,508
Düz	124,684	254,375	3.241,862	6.103,595
Dış Bükey Yamaç	124,081	254,978	3.115,646	6.229,812
EĞRİSELLİK	(W+)	(W-)	(C)	
İç Bükey Yamaç	0,0724	-0,0359	0,1083	
Düz	-0,0532	0,0271	-0,0803	
Dış Bükey Yamaç	-0,0183	0,0090	-0,0273	

Tablo 4.38. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Yıllık Yağış Değerleri

YAĞIŞ (mm)	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
448 - 500	46,343	324,033	758,388	8.568,753
500 - 575	79,549	290,827	2.931,259	6.395,882
575 - 650	54,614	315,762	1.397,453	7.929,687
650 - 725	181,235	189,141	2.484,983	6.842,157
725- 919	8,636	361,740	1.755,057	7.572,083
YAĞIŞ (mm)	(W+)	(W-)	(C)	
448 - 500	0,4310	-0,0489	0,4799	
500 - 575	-0,3807	0,1355	-0,5161	
575 - 650	-0,0160	0,0028	-0,0187	
650 - 725	0,6079	-0,3622	0,9701	
725- 919	-2,0881	0,1849	-2,2730	

Tablo 4.39. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Topoğrafik Nemlilik Değerleri

TWI	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
2,37 - 5,12	43,737	335,227	1.282,081	8.050,365
5,12 - 5,72	62,373	316,591	1.437,121	7.895,325
5,72 - 6,23	63,728	315,236	1.368,321	7.964,125
6,23 - 6,83	63,519	315,444	1.433,588	7.898,858
6,83 - 7,52	50,396	328,567	1.330,878	8.001,568
7,52 - 8,72	49,076	329,888	1.271,546	8.060,900
8,72 - 24,26	46,135	332,829	1.208,911	8.123,535
TWI	(W+)	(W-)	(C)	
2,37 - 5,12	-0,1742	0,0251	-0,1994	
5,12 - 5,72	0,0665	-0,0126	0,0791	
5,72 - 6,23	0,1371	-0,0256	0,1627	
6,23 - 6,83	0,0872	-0,0167	0,1039	
6,83 - 7,52	-0,0699	0,0112	-0,0810	
7,52 - 8,72	-0,0508	0,0078	-0,0586	
8,72 - 24,26	-0,0621	0,0089	-0,0710	

Tablo 4.40. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Faya Yakınlık Değerleri

FAYA YAKINLIK	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
0 - 1	62,257	316,781	614,378	8.731,226
1 - 2,5	51,685	327,353	620,248	8.725,355
2,5 - 5	53,008	326,030	781,969	8.563,634
5 - 10	75,579	303,459	1.630,401	7.715,202
10+	136,508	242,530	5.698,607	3.646,997
FAYA YAKINLIK	(W+)	(W-)	(C)	
0 - 1	0,9157	-0,1114	1,0271	
1 - 2,5	0,7201	-0,0779	0,7980	
2,5 - 5	0,5136	-0,0633	0,5769	
5 - 10	0,1336	-0,0307	0,1643	
10+	-0,5266	0,4945	-1,0211	

Tablo 4.41. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Bitki İndeksi Değerleri

NDVI	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
Zayıf Bitki Örtüsü	8,393	370,954	343,776	9.001,382
Geçiş Alanı	165,370	213,977	3.460,140	5.885,018
Güçlü Bitki Örtüsü	205,584	173,762	5.541,242	3.803,916
NDVI	(W+)	(W-)	(C)	
Zayıf Bitki Örtüsü	-0,5085	0,0151	-0,5236	
Geçiş Alanı	0,1633	-0,1101	0,2734	
Güçlü Bitki Örtüsü	-0,0900	0,1181	-0,2080	

Tablo 4.42. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Jeoloji Değerleri

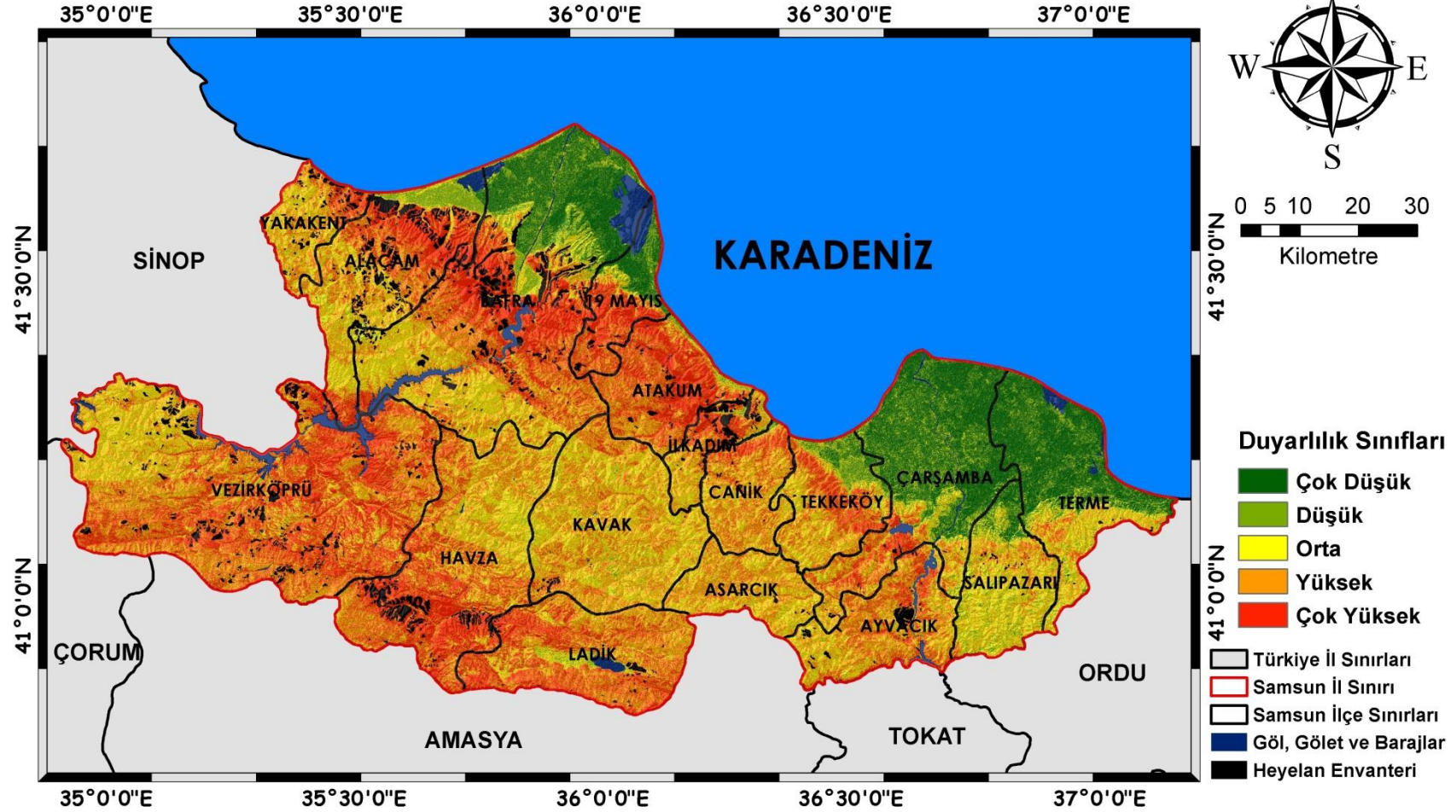
JEOLOJİ	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
Üst Kretase	140,821	238,218	4.496,652	4.765,605
Mesozoyik	14,206	364,834	205,427	9.056,830
Kuvaterner	0,387	378,652	0,623	9.261,633
Jura	9,278	369,762	324,520	8.937,736
Neojen	60,975	318,065	512,245	8.750,011
Eosen	86,830	292,209	1.249,397	8.012,860
Permıyen	0,000	379,039	9,953	9.252,303
Oligosen	4,818	374,221	15,928	9.246,328
Holosen	16,091	362,948	1.596,615	7.665,641
Pleyistosen	1,103	377,936	23,943	9.238,313
Kretase	4,753	374,286	80,519	9.181,737
Diğer	140,821	238,218	4.496,652	4.765,605
JEOLOJİ	(W+)	(W-)	(C)	
Üst Kretase	-0,2675	0,2001	-0,4676	
Mesozoyik	0,5246	-0,0158	0,5404	
Kuvaterner	2,7203	-0,0010	2,7213	
Jura	-0,3587	0,0109	-0,3695	
Neojen	1,0677	-0,1185	1,1862	
Eosen	0,5296	-0,1153	0,6449	
Permıyen	-12,9173	0,0011	-12,9184	
Oligosen	2,0003	-0,0111	2,0114	
Holosen	-1,4013	0,1458	-1,5471	
Pleyistosen	0,1187	-0,0003	0,1190	
Kretase	0,3664	-0,0039	0,3703	
Diğer	0,2640	-0,0268	0,2909	

Tablo 4.43. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Arazi Kullanımı Değerleri

ARAZİ KULLANIM	A1 (km2)	A2 (km2)	A3 (km2)	A4 (km2)
100 - Yerleşim Yerleri	6,188	372,868	188,148	9.157,349
211 - Susuz Tarım Alanları	97,856	281,200	1.277,523	8.067,975
212 - Sulu Tarım Alanları	7,854	371,202	529,039	8.816,458
213 - Çeltik Tarlaları	0,000	379,056	39,309	9.306,189
222 - Meyve Bahçeleri	5,407	373,649	575,935	8.769,562
231 - Mera Alanları	2,121	376,935	86,373	9.259,124
240 - Karışık Tarım Alanları	144,139	234,917	2.316,534	7.028,963
310 - Orman Alanları	93,312	285,744	3.805,849	5.539,649
330 - Kumsal Ve Kayalıklar	20,434	358,622	219,221	9.126,276
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	0,000	379,056	98,633	9.246,865
500 – Su Kütleleri	1,745	377,311	208,932	9.136,565
ARAZİ KULLANIM	(W+)	(W-)	(C)	
100 - Yerleşim Yerleri	-0,2097	0,0039	-0,2135	
211 - Susuz Tarım Alanları	0,6358	-0,1516	0,7874	
212 - Sulu Tarım Alanları	-1,0051	0,0373	-1,0424	
213 - Çeltik Tarlaları	-14,2820	0,0042	-14,2862	
222 - Meyve Bahçeleri	-1,4633	0,0492	-1,5126	
231 - Mera Alanları	-0,5020	0,0037	-0,5057	
240 - Karışık Tarım Alanları	0,4279	-0,1936	0,6215	
310 - Orman Alanları	-0,5034	0,2404	-0,7438	
330 - Kumsal Ve Kayalıklar	0,8321	-0,0317	0,8638	
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	-15,2019	0,0106	-15,2126	
500 – Su Kütleleri	-1,5801	0,0180	-1,5981	

Kanıt ağırlığı değerleri hesaplanan parametre alt sınıfları, parametrelerin birbirlerine göre heyelanı etkileme öncelikleri dikkate alınmadan eşit ağırlıklı olarak ArcGIS programıyla Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) işlemi uygulanarak işlenmiş ve Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere “Natural Breaks” sınıf ayırma yöntemiyle 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.23).

Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE) ile Samsun İli Heyelan Duyarlılık Haritası



Şekil 4.23. Heyelan Duyarlılık Haritası (Kanıt Ağırlığı Yöntemi)

WoE yöntemi ile yapılan analizden elde edilen heyelan duyarlılık haritası sınıflarının dağılımı Tablo 4.44'te verilmiştir.

Tablo 4.44. Kanıt Ağırlığı Yöntemi Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Dağılımı

KANIT AĞIRLIĞI YÖNTEMİ (WoE)				
DUYARLILIK SINIFLARI	HEYELANLI ALAN (km ²)	TOPLAM ALAN (km ²)	HEYELANLI ALAN (%)	TOPLAM ALAN (%)
ÇOK DÜŞÜK	0,92	1079,45	0,24%	11,36%
DÜŞÜK	7,69	867,95	2,03%	9,13%
ORTA	53,83	2131,82	14,23%	22,43%
YÜKSEK	114,62	3100,90	30,30%	32,63%
ÇOK YÜKSEK	201,26	2506,10	53,20%	26,37%

Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WoE) uygulanarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarını ilişkin veriler incelendiğinde heyelan olaylarının %83,50'sinin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında gerçekleştiği, %14,23'ünün orta duyarlılık sınıfında yer aldığı ve %2,27'sinin ise düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu oranlara baktığımızda çalışmanın yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür.

Heyelan duyarlılık sınıfları alansal olarak incelendiğinde toplam alanın %20,49'unun düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında, %22,43'ünün orta duyarlılık sınıfında ve %59,00'u ise yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.

Çalışmada kullanılan parametreler de kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritası sınıflarıyla karşılaştırılmış ve alansal değerleri kilometrekare olarak Tablo 4.45 – 4.54'te verilmiştir. Parametre sınıflarının yüksek ve çok yüksek sınıfta bulunan alanlarının, parametre sınıfında bulunan toplam alana oranı alınarak parametre sınıflarının risk yüzdesi hesaplanmıştır.

Tablo 4.45. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Yükseklik Çıktı Verileri

YÜKSEKLİK	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
-27 - 100	1042,23	563,98	236,73	128,41	72,02	9,81%
100 - 400	30,95	52,33	187,75	493,86	959,40	84,28%
400 - 700	2,52	99,64	673,81	958,16	557,77	66,14%
700 - 1000	2,72	110,91	768,82	1096,61	675,08	66,75%
1000 - 1982	1,01	41,08	264,72	423,86	241,84	68,45%

Yükseklik parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %84,28 oranıyla “100 – 400 metre” aralığında, en düşük risk ise %9,81 oranıyla “-27 – 100 metre” aralığında bulunmaktadır. Diğer yükseklik sınıfları incelendiğinde ise “400 – 700 metre” aralığı %66,14 oranında, “700 – 1000 metre” aralığı %66,75 oranında, “1000 – 1982 metre” aralığı %68,45 oranında riskli görülmüştür.

Yükseklik sınıflarındaki risk değerleri arasında birbirine yakın değerlerin olması ayırt ediciliği düşürmüştür ancak çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini ve çalışma alanı için yükseklik parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.46. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Eğim Çıktı Verileri

EĞİM	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
0 - 2	978,62	457,29	174,37	89,02	23,50	6,53%
2 - 5	94,76	190,22	308,51	379,74	307,47	53,66%
5 - 10	2,38	44,25	314,10	670,05	861,88	80,94%
10 - 15	0,59	44,01	392,44	659,77	582,19	73,97%
15 - 20	0,67	46,21	379,24	579,71	377,75	69,20%
20 - 71	1,81	85,70	562,83	722,30	353,20	62,32%

Eğim parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %80,94 oranıyla “5 – 10 derece” aralığında, en düşük risk ise %6,53 oranıyla “0 – 2 derece” aralığında bulunmaktadır. Diğer eğim sınıfları incelendiğinde ise “2 – 5 derece” aralığı %53,66 oranında, “10 – 15 derece” aralığı %73,97 oranında, “15 – 20 derece” aralığı %69,20 oranında, “20 – 71 derece” aralığı %62,32 oranında riskli görülmüştür.

Eğim sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini ve çalışma alanı için eğim parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.47. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Bakı Çıktı Verileri

BAKI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Kuzey	3,01	69,42	612,23	1275,39	1328,07	79,18%
Düz	1063,62	669,39	646,38	586,71	304,18	27,24%
Güney	12,20	128,88	872,87	1238,50	873,73	67,57%

Bakı parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %79,18 oranıyla Kuzey yönlü alanlarda, en düşük risk ise %27,24 oranıyla düze yakın alanlarda bulunmaktadır. Güney yönlü alanlar incelendiğinde ise %67,57 oranında riskli görülmüştür.

Bakı sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini ve çalışma alanı için bakı parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.48. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Yıllık Yağış Çıktı Verileri

YAĞIŞ (mm)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
448 - 500	0,00	10,97	104,49	263,73	423,20	85,61%
500 - 575	16,34	137,18	796,09	1245,68	815,24	68,46%
575 - 650	14,36	70,63	515,67	636,38	213,88	58,60%
650 - 725	220,65	272,72	374,87	771,46	1020,83	67,37%
725 - 919	825,28	382,58	332,61	191,35	31,40	12,63%

Yıllık yağış parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %85,61 oranıyla “448 – 500 mm” aralığında, en düşük risk ise %12,63 oranıyla “725 – 919 mm” aralığında bulunmaktadır. Diğer yağış sınıfları incelendiğinde ise “500 – 575 mm” aralığı %68,46 oranında, “575 – 650 mm” aralığı %58,60 oranında, “650 – 725 mm” aralığı %67,37 oranında riskli görülmüştür.

Yıllık yağış sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt edici olduğunu göstermektedir ancak yağış miktarının artış veya azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmayışı yıllık yağış parametresinin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.49. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Bitki İndeksi (NDVI) Çıktı Verileri

NDVI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Zayıf Bitki Örtüsü	102,20	81,85	89,38	55,29	13,83	20,18%
Geçiş Alanı	289,39	278,40	582,30	1129,89	1332,31	68,16%
Güçlü Bitki Örtüsü	687,85	507,69	1460,13	1915,71	1159,96	53,66%

Bitki indeksi (NDVI) parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %68,16 oranıyla zayıf ve güçlü bitki örtülerinin geçiş alanlarında, en düşük risk ise %20,18 oranıyla zayıf bitki örtüsüne sahip alanlarda bulunmaktadır. Güçlü bitki örtüsüne sahip alanlar incelendiğinde ise %53,66 oranında riskli görülmüştür.

Bitki indeksi (NDVI) sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini artırmıştır ve çalışma alanı için bitki indeksi (NDVI) parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca bitki indeksi değerleri sınıflandırılırken aralıklar değiştirilerek daha iyi sonuçlar alınabilir.

Tablo 4.50. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Topoğrafik Nemlilik Çıktı Verileri

TWI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
2,37 - 5,12	1,93	89,71	520,45	476,85	232,21	53,67%
5,12 - 5,72	1,21	41,38	359,08	608,95	485,47	73,15%
5,72 - 6,23	6,27	44,49	287,14	552,96	537,44	76,34%
6,23 - 6,83	74,00	119,48	293,73	516,89	489,71	67,38%
6,83 - 7,52	281,27	180,19	266,28	362,94	288,28	47,23%
7,52 - 8,72	352,75	195,91	206,01	303,72	258,08	42,67%
8,72 - 24,26	361,75	196,52	198,52	277,72	214,35	39,40%

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %76,34 oranıyla “5,72 – 6,23” aralığında, en düşük risk ise %39,40 oranıyla “8,72 – 24,26” aralığında bulunmaktadır. Diğer topoğrafik nemlilik indeksi sınıfları incelendiğinde ise “2,37 – 5,12” aralığı %53,67 oranında, “5,12 – 5,72” aralığı %73,15 oranında, “6,23 – 6,83” aralığı %67,38 oranında, “6,83 – 7,52” aralığı %47,23 oranında ve “7,52 – 8,72” aralığı %42,67 oranında riskli görülmüştür.

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini göstermiştir. Ancak Topoğrafik Nemlilik İndeksi değerlerinin artış veya azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmayışı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.51. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Eğrisellik Çıktı Verileri

EĞRİSELLİK	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
İç Bükey Yamaç	158,25	208,07	560,39	1117,30	1062,10	70,17%
Düz	739,08	432,09	703,34	849,59	629,09	44,10%
Dış Bükey Yamaç	182,09	227,78	868,08	1134,01	814,91	60,40%

Eğrisellik parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %70,17 oranıyla iç bükey yamaçlarda, en düşük risk ise %44,10 oranıyla düze yakın alanlarda bulunmaktadır. Dış bükey yamaçlar incelendiğinde ise %60,40 oranında riskli görülmüştür.

Eğrisellik sınıflarındaki risk değerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerine ve birbirlerine yakın değerler olması eğrisellik parametresinin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.52. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Faya Yakınlık Çıktı Verileri

FAYA YAKINLIK	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
0 - 1	0,86	11,97	59,30	212,48	390,29	89,31%
1 - 2,5	0,19	18,34	78,22	228,63	342,87	85,52%
2,5 - 5	4,76	23,94	85,44	269,07	449,48	86,29%
5 - 10	1,98	65,63	260,37	639,86	734,24	80,73%
10+	1071,66	748,06	1648,50	1750,86	589,22	40,29%

Fay Hatlarına Yakınlık parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %89,31 oranıyla “0 – 1 km” aralığında, en düşük risk ise %40,29 oranıyla “10 km ve üzeri” aralığında bulunmaktadır. Diğer fay hatlarına yakınlık sınıfları incelendiğinde ise “1 – 2,5 km” aralığı %85,52 oranında, “2,5 – 5 km” aralığı %86,29 oranında, “5 – 10 km” aralığı %80,73 oranında riskli görülmüştür.

Fay hatlarına yakınlık sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden farklı olması ve risk oranlarının artan uzaklık değeriyle birlikte düşmesi parametre sınıflarının uygun olarak belirlendiğini ve fay hatlarına yakınlık parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.53. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Arazi Kullanımı Çıktı Verileri

ARAZİ KULLANIM	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
100 - Yerleşim Yerleri	47,30	42,28	37,92	36,27	28,53	33,70%
211 - Susuz Tarım Alanları	29,58	47,78	189,81	434,85	672,36	80,56%
212 - Sulu Tarım Alanları	191,22	119,36	73,96	83,02	69,07	28,34%
213 - Çeltik Tarlaları	32,92	4,94	1,08	0,16	0,01	0,43%
222 - Meyve Bahçeleri	258,13	94,66	124,59	86,64	15,40	17,61%
231 - Mera Alanları	17,53	17,16	13,78	20,61	19,29	45,15%
240 - Karışık Tarım Alanları	277,80	256,46	394,33	707,95	818,83	62,18%
310 - Orman Alanları	50,66	199,91	1225,55	1622,79	784,41	61,99%
330 - Kayalık ve Kumlu Alanlar	5,00	11,88	42,75	87,14	88,21	74,62%
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	78,54	15,46	3,36	0,45	0,02	0,48%
500 - Su Kütleleri	90,75	58,06	24,67	20,99	9,97	15,15%

Arazi Kullanım Durumu parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %80,56 oranıyla “Susuz Tarım Alanları” sınıfında, en düşük risk ise %0,43 oranıyla “Çeltik Tarlaları” sınıfında bulunmaktadır. Diğer arazi kullanım durumu sınıfları incelendiğinde ise “Yerleşim Yerleri” sınıfı %33,70 oranında, “Kayalık ve Kumlu Alanlar” sınıfı %74,62 oranında, “Sulu Tarım Alanları” sınıfı %28,34 oranında, “Meyve Bahçeleri” sınıfı %17,61 oranında, “Mera Alanları” sınıfı %45,15 oranında, “Karışık Tarım Alanları” sınıfı %62,18 oranında, “Orman Alanları” sınıfı %61,99 oranında, “Bataklık ve Tuz Sahaları” sınıfı %0,48 oranında ve “Su Kütleleri” sınıfı %15,15 oranında riskli görülmüştür.

Arazi Kullanım Durumu sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması ve sınıflar arasındaki risk değerlerinin birbirinden bağımsız olması arazi kullanım durumu parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.54. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile Jeoloji Çıktı Verileri

JEOLOJİ	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Üst Kretase	27,76	215,51	1392,28	1937,89	1053,35	64,65%
Mesozoyik	0,06	2,74	35,45	85,01	96,09	82,57%
Kuvaterner	0,00	0,00	0,08	0,29	0,65	92,40%
Jura	0,01	2,63	45,90	145,61	135,90	85,29%
Neojen	13,82	27,64	70,78	142,73	318,10	80,41%
Eosen	26,05	67,49	221,48	404,14	611,69	76,33%
Permian	60,14	13,77	6,57	5,48	1,76	8,25%
Oligosen	0,00	0,06	1,92	7,73	10,50	90,20%
Holosen	910,47	469,46	147,14	55,65	24,10	4,96%
Pleyistosen	1,13	5,48	7,63	6,52	4,23	43,00%
Kretase	0,57	2,22	19,75	37,74	24,95	73,56%
Diğer	39,45	60,93	182,86	272,12	224,79	63,69%

Jeoloji parametresine ait sınıflar kanıt ağırlığı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %92,40 oranıyla “kuvaterner” sınıfında, en düşük risk ise %4,96 oranıyla “holosen” sınıfında bulunmaktadır. Diğer jeoloji sınıfları incelendiğinde ise “üst kretase” sınıfının %64,65 oranında, “mesozoyik” sınıfı %82,57 oranında, “jura” sınıfı %85,29 oranında, “neojen” sınıfı %80,41 oranında, “eosen” sınıfı %76,33 oranında, “permian” sınıfı %8,25 oranında, “oligosen” sınıfı %90,20 oranında, “pleyistosen” sınıfı %43,00 oranında, “kretase” sınıfı %73,56 oranında ve diğer jeolojik dönem sınıfları %63,69 oranında riskli görülmüştür.

Jeoloji sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %59,00 değerinden genel olarak farklı olması ve sınıflar arasındaki risk değerlerinin birbirinden bağımsız olması jeoloji parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

4.4.3. Lojistik Regresyon Yöntemi (LR) ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Lojistik Regresyon (LR) yönteminin uygulanması için 10 parametre incelenmiştir. Parametrelere ait 60 alt sınıf için ise WoE yöntemi için hesaplanan veriler kullanılmıştır. Lojistik Regresyon yöntemine ilişkin parametre verileri ArcGIS yazılımının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Zonal -> Tabulated Area” işlemi kullanılarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler Minitab yazılımı kullanılarak yonteme uygun olarak işlenmiştir. Analiz sonucuna ait katsayılar Tablo 4.55’te verilmiştir. Elde edilen model Eşitlik 4.1’de verilmiştir.

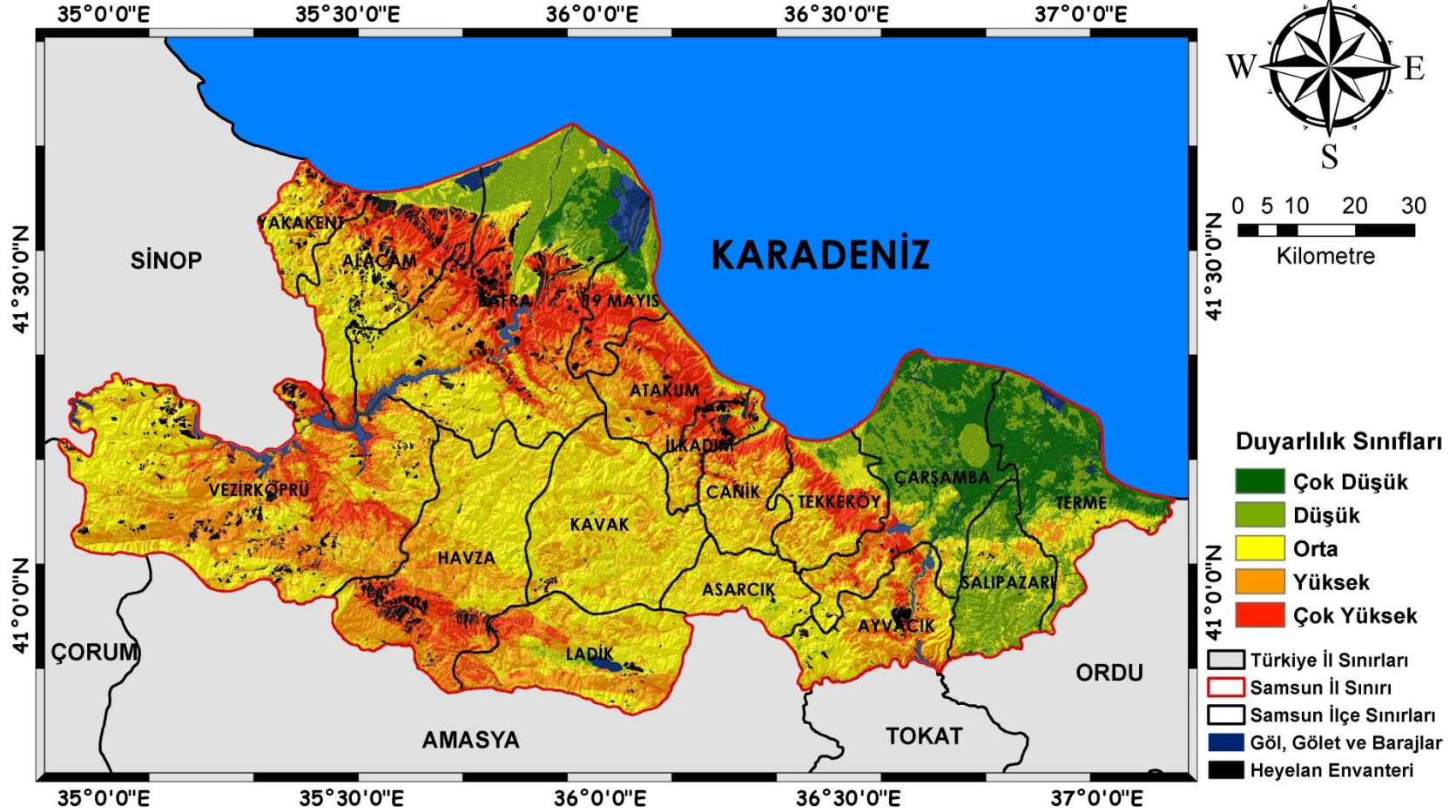
Tablo 4.55. Lojistik Regresyon Yöntemi Katsayıları

	Katsayı	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Regresyon Sabiti	-3,3247	0,0901	-36,91	0	
Yükseklik	0,05778	0,00664	8,7	0	1,07
Arazi Kullanım Durumu	0,23356	0,00957	24,41	0	1,05
Baki	0,01678	0,00581	2,89	0,004	1,11
Eğim	0,1592	0,0133	12,01	0	1,18
Eğrisellik	0,00455	0,00514	0,88	0,376	1,01
Fay Hatlarına Yakınlık	0,09523	0,00505	18,86	0	1,09
Jeoloji	0,2623	0,0154	17,08	0	1,16
Bitki Örtüsü İndeksi	-0,1034	0,0419	-2,47	0,014	1,02
Topoğrafik Nemlilik İndeksi	-0,01743	0,0064	-2,72	0,007	1,03

$$\begin{aligned}
 \text{Lojistik Regresyon Modeli} = & (-3,3247 + 0,05778 \times \text{Yükseklik}_{W_{OE}} + \\
 & 0,23356 \times \text{Arazi}_{W_{OE}} + 0,01678 \times \text{Baki}_{W_{OE}} + 0,1592 \times \text{Eğim}_{W_{OE}} + \\
 & 0,00455 \times \text{Eğrisellik}_{W_{OE}} + 0,09523 \times \text{Faya Yakınlık}_{W_{OE}} + 0,2623 \times \\
 & \text{Jeoloji}_{W_{OE}} - 0,1034 \times \text{NDVI}_{W_{OE}} - 0,01743 \times \text{TWI}_{W_{OE}}) \quad (4.1)
 \end{aligned}$$

Lojistik regresyon yöntemine ait katsayıları hesaplanan parametreler, ArcGIS programıyla Raster Hesaplayıcı (Raster Calculator) kullanılarak işlenmiş ve Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere “Natural Breaks” sınıf ayırma yöntemiyle 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.24).

Lojistik Regresyon Yöntemi (LR) ile Samsun İli Heyelan Duyarlılık Haritası



Şekil 4.24. Heyelan Duyarlılık Haritası (Lojistik Regresyon Yöntemi)

LR yöntemi ile yapılan analizden elde edilen heyelan duyarlılık haritası sınıflarının dağılımı Tablo 4.56’da verilmiştir.

Tablo 4.56. Lojistik Regresyon Yöntemi Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Dağılımı

LOJİSTİK REGRESYON YÖNTEMİ (LR)				
DUYARLILIK SINIFLARI	HEYELANLI ALAN (m ²)	TOPLAM ALAN (m ²)	HEYELANLI ALAN (%)	TOPLAM ALAN (%)
ÇOK DÜŞÜK	0,11	730,33	0,03%	7,53%
DÜŞÜK	3,63	1182,94	0,96%	12,20%
ORTA	83,20	3580,06	21,96%	36,91%
YÜKSEK	128,96	2863,86	34,04%	29,53%
ÇOK YÜKSEK	162,95	1341,74	43,01%	13,83%

Lojistik Regresyon (LR) yöntemi uygulanarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarına ilişkin veriler incelendiğinde heyelan olaylarının %77,05’inin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında gerçekleştiği, %21,96’sının orta duyarlılık sınıfında yer aldığı ve %0,99’unun ise düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu oranlara baktığımızda çalışmanın yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür.

Heyelan duyarlılık sınıfları alansal olarak incelendiğinde toplam alanın %19,73’ünün düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında, %36,91’inin orta duyarlılık sınıfında ve %43,36’sı ise yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.

Çalışmada kullanılan parametreler de lojistik regresyon yöntemi kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritası sınıflarıyla karşılaştırılmış ve alansal değerleri kilometrekare olarak Tablo 4.57 – 4.66’da verilmiştir. Parametre sınıflarının yüksek ve çok yüksek sınıfta bulunan alanlarının, parametre sınıfında bulunan toplam alana oranı alınarak parametre sınıflarının risk yüzdesi hesaplanmıştır.

Tablo 4.57. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Yükseklik Çıktı Verileri

YÜKSEKLİK (m)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
-27 - 100	725,26	883,11	258,39	148,07	37,76	9,05%
100 - 400	0,45	28,84	199,07	496,67	1002,43	86,78%
400 - 700	4,81	120,04	1035,19	1020,82	112,58	49,42%
700 - 1000	0,51	112,89	1460,04	893,32	184,14	40,64%
1000 - 1982	0,08	39,31	625,42	303,96	5,78	31,78%

Yükseklik parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %86,78 oranıyla “100 – 400 metre” aralığında, en düşük risk ise %9,05 oranıyla “-27 – 100 metre” aralığında bulunmaktadır. Diğer yükseklik sınıfları incelendiğinde ise “400 – 700 metre” aralığı %49,42 oranında, “700 – 1000 metre” aralığı %40,64 oranında, “1000 – 1982 metre” aralığı %31,78 oranında riskli görülmüştür.

Yükseklik sınıflarındaki risk değerlerinin birbirine yakın değerler olmaması ve çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini ve çalışma alanı için yükseklik parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.58. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Eğim Çıktı Verileri

EĞİM (derece)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
0 - 2	642,29	678,03	260,77	123,15	25,76	8,61%
2 - 5	77,51	203,71	431,68	368,43	201,06	44,41%
5 - 10	5,38	52,76	592,82	750,26	493,11	65,64%
10 - 15	0,64	36,75	699,93	648,37	294,92	56,13%
15 - 20	0,55	53,08	673,75	480,98	176,08	47,46%
20 - 71	4,74	159,89	918,87	491,94	151,84	37,27%

Eğim parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %65,64 oranıyla “5 – 10 derece” aralığında, en düşük risk ise %8,61 oranıyla “0 – 2 derece” aralığında bulunmaktadır. Diğer eğim sınıfları incelendiğinde ise “2 – 5 derece” aralığı %44,41 oranında, “10 – 15 derece” aralığı %56,13 oranında, “15 – 20 derece” aralığı %47,46 oranında, “20 – 71 derece” aralığı %37,27 oranında riskli görülmüştür.

Eğim sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini ve çalışma alanı için eğim parametresinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.59. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Bakı Çıktı Verileri

BAKI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Kuzey	9,36	167,94	1390,05	1141,93	582,56	52,39%
Düz	701,18	852,01	830,87	606,70	288,64	27,30%
Güney	20,58	164,27	1356,90	1114,52	471,56	50,71%

Bakı parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %52,39 oranıyla Kuzey yönlü alanlarda, en düşük risk ise %27,30 oranıyla düze yakın alanlarda bulunmaktadır. Güney yönlü alanlar incelendiğinde ise %50,71 oranında riskli görülmüştür.

Bakı sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt ediciliğini göstermiştir ancak parametre sınıflarındaki değerlerin yakın olması çalışma alanı için bakı parametresinin kullanımının uygun olmadığını göstermiştir. Farklı çalışmalarda bakı parametresinin ara yönlerinin de kullanılması parametrenin uygunluğunu arttırabilir.

Tablo 4.60. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Bitki İndeksi Çıktı Verileri

NDVI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Zayıf Bitki Örtüsü	28,53	56,52	122,67	113,25	23,64	39,72%
Geçiş Alanı	372,97	444,76	1323,35	979,10	498,65	40,84%
Güçlü Bitki Örtüsü	328,26	681,33	2136,55	1773,40	819,56	45,18%

Bitki indeksi (NDVI) parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %45,18 oranıyla güçlü bitki örtüsüne sahip alanlarda, en düşük risk ise %39,72 oranıyla zayıf bitki örtüsüne sahip alanlarda bulunmaktadır. Geçiş alanları incelendiğinde ise %40,84 oranında riskli görülmüştür.

Bitki indeksi (NDVI) sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değeriyle genel olarak aynı olması parametrenin ayırt edici olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.61. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Yıllık Toplam Yağış Çıktı Verileri

YAĞIŞ (mm)	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
448 - 500	3,75	376,46	479,41	894,37	916,11	67,81%
500 - 575	727,37	745,55	234,76	56,07	0,64	3,21%
575 - 650	0,00	40,64	1743,10	1031,73	194,68	40,74%
650 - 725	0,00	6,52	139,14	467,07	187,87	81,81%
725 - 919	0,00	15,04	981,43	413,91	43,45	31,46%

Yıllık yağış parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %81,81 oranıyla “650 - 725 mm” aralığında, en düşük risk ise %3,21 oranıyla “500 - 575 mm” aralığında bulunmaktadır. Diğer yağış sınıfları incelendiğinde ise “448 – 500 mm” aralığı %67,81 oranında, “575 – 650 mm” aralığı %40,74 oranında, “725 – 919 mm” aralığı %31,46 oranında riskli görülmüştür.

Yıllık yağış sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden genel olarak farklı olması parametrenin ayırt edici olduğunu göstermektedir ancak yağış miktarının artış veya azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmayışı yıllık yağış parametresinin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.62. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Topoğrafik Nemlilik Çıktı Verileri

TWI	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
2,37 - 5,12	1,39	89,01	621,48	447,11	163,57	46,17%
5,12 - 5,72	3,06	75,13	684,22	511,03	223,59	49,07%
5,72 - 6,23	10,65	76,64	642,44	477,82	222,84	48,98%
6,23 - 6,83	66,12	147,01	583,35	465,48	233,27	46,73%
6,83 - 7,52	188,72	249,84	399,64	352,63	189,45	39,27%
7,52 - 8,72	238,73	291,94	321,24	301,43	167,04	35,48%
8,72 - 24,26	222,44	254,63	325,46	307,67	142,99	35,96%

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %49,07 oranıyla “5,12 – 5,72” aralığında, en düşük risk ise %35,48 oranıyla “7,52 – 8,72” aralığında bulunmaktadır. Diğer topoğrafik nemlilik indeksi sınıfları incelendiğinde ise “2,37 – 5,12” aralığı %46,17 oranında, “5,72 – 6,23” aralığı %48,98 oranında, “6,23 – 6,83” aralığı %46,73 oranında, “6,83

– 7,52” aralığı %39,27 oranında ve “8,72 – 24,26” aralığı %35,96 oranında riskli görülmüştür.

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değeri etrafında yayılım göstermesi ve topoğrafik nemlilik indeksi değerlerinin artış veya azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmayışı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.63. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Eğrisellik Çıktı Verileri

EĞRİSELLİK	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
İç Bükey Yamaç	144,33	298,09	1192,64	1003,21	471,00	47,41%
Düz	442,05	581,25	1056,45	851,21	428,34	38,09%
Dış Bükey Yamaç	144,74	304,86	1328,73	1008,72	443,43	44,95%

Eğrisellik parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %47,41 oranıyla iç bükey yamaçlarda, en düşük risk ise %38,09 oranıyla düze yakın alanlarda bulunmaktadır. Dış bükey yamaçlar incelendiğinde ise %44,95 oranında riskli görülmüştür.

Eğrisellik sınıflarındaki risk değerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerine ve birbirlerine yakın değerler olması eğrisellik parametresinin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Tablo 4.64. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Faya Yakınlık Çıktı Verileri

FAYA YAKINLIK	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
0 - 1	0,00	11,22	169,13	322,85	171,11	73,25%
1 - 2,5	0,00	10,97	203,71	293,24	161,69	67,94%
2,5 - 5	0,00	9,55	205,08	377,69	240,96	74,24%
5 - 10	0,00	36,16	471,62	747,79	448,83	70,21%
10+	731,12	1116,31	2528,28	1121,59	320,16	24,78%

Fay Hatlarına Yakınlık parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %74,24 oranıyla “2,5 – 5 km” aralığında, en düşük risk ise %24,78 oranıyla “10 km ve üzeri” aralığında bulunmaktadır. Diğer fay hatlarına yakınlık sınıfları incelendiğinde ise “0 – 1 km” aralığı %73,25 oranında, “1 – 2,5 km” aralığı

%67,94 oranında, “5 – 10 km” aralığı %70,21 oranında riskli görülmüştür.

Fay hatlarına yakınlık sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden farklı olması ve risk oranlarının artan uzaklık değeriyle uyumlu olması parametre sınıflarının uygun olarak belirlendiğini ve fay hatlarına yakınlık parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.65. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Arazi Kullanımı Çıktı Verileri

ARAZİ KULLANIM	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
100 - Yerleşim Yerleri	44,05	43,01	57,84	31,10	17,27	25,03%
211 - Susuz Tarım Alanları	11,16	50,14	341,93	597,19	374,33	70,67%
212 - Sulu Tarım Alanları	76,37	228,09	162,16	66,86	3,00	13,02%
213 - Çeltik Tarlaları	35,56	3,06	0,32	0,24	0,00	0,61%
222 - Meyve Bahçeleri	277,94	127,57	142,68	28,57	3,30	5,49%
231 - Mera Alanları	11,22	23,77	34,83	15,02	3,48	20,94%
240 - Karışık Tarım Alanları	136,91	410,62	444,53	855,12	609,61	59,62%
310 - Orman Alanları	34,17	219,13	2259,64	1091,95	280,13	35,32%
330 - Kumsal Ve Kayalıklar	1,71	6,17	65,82	116,36	46,88	68,89%
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	61,61	33,69	3,01	0,01	0,00	0,01%
500 – Su Kütleleri	39,22	36,99	66,53	60,16	2,76	30,59%

Arazi Kullanım Durumu parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %70,67 oranıyla “Susuz Tarım Alanları” sınıfında, en düşük risk ise %0,01 oranıyla “Bataklık ve Tuz Sahaları” sınıfında bulunmaktadır. Diğer arazi kullanım durumu sınıfları incelendiğinde ise “Yerleşim Yerleri” sınıfı %25,03 oranında, “Kayalık ve Kumlu Alanlar” sınıfı %68,89 oranında, “Sulu Tarım Alanları” sınıfı %13,02 oranında, “Meyve Bahçeleri” sınıfı %5,49 oranında, “Mera Alanları” sınıfı %20,94 oranında, “Karışık Tarım Alanları” sınıfı %59,62 oranında, “Orman Alanları” sınıfı %35,32 oranında, “Çeltik Tarlaları” sınıfı %0,61 oranında ve “Su Kütleleri” sınıfı %30,59 oranında riskli görülmüştür.

Arazi Kullanım Durumu sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden genel olarak farklı olması ve sınıflar arasındaki risk değerlerinin birbirinden bağımsız olması arazi kullanım durumu parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.66. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Jeoloji Çıktı Verileri

JEOLOJİ	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Sınıftaki Risk
Üst Kretase	6,69	266,78	2463,38	1537,48	354,20	40,87%
Mesozoyik	0,00	0,24	63,04	138,46	17,48	71,13%
Kuvaterner	0,00	0,00	0,00	0,01	1,01	100,00%
Jura	0,00	0,57	203,75	119,51	6,61	38,17%
Neojen	4,86	32,66	47,07	208,24	279,82	85,23%
Eosen	17,01	85,22	263,01	434,35	532,81	72,59%
Permiyen	49,26	27,25	12,63	0,49	0,00	0,55%
Oligosen	0,00	0,00	0,84	8,99	10,45	95,87%
Holosen	639,27	746,06	181,46	39,40	6,38	2,84%
Pleyistosen	0,23	6,10	6,55	8,42	3,82	48,72%
Kretase	0,00	0,24	26,85	43,72	14,58	68,27%
Diğer	13,79	19,07	309,24	324,07	115,59	56,24%

Jeoloji parametresine ait sınıflar lojistik regresyon yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflarıyla incelendiğinde en yüksek risk %100,00 oranıyla “kuvaterner” sınıfında, en düşük risk ise %0,55 oranıyla “permiyen” sınıfında bulunmaktadır. Diğer jeoloji sınıfları incelendiğinde ise “üst kretase” sınıfının %40,87 oranında, “mesozoyik” sınıfı %71,13 oranında, “jura” sınıfı %38,17 oranında, “neojen” sınıfı %85,23 oranında, “eosen” sınıfı %72,59 oranında, “holosen” sınıfı %2,84 oranında, “oligosen” sınıfı %95,87 oranında, “pleyistosen” sınıfı %48,72 oranında, “kretase” sınıfı %68,27 oranında ve diğer jeolojik dönem sınıfları %56,24 oranında riskli görülmüştür.

Jeoloji sınıflarındaki risk değerlerinin çalışma alanına ait genel risk olan %43,36 değerinden genel olarak farklı olması ve sınıflar arasındaki risk değerlerinin birbirinden bağımsız olması jeoloji parametresinin çalışma alanı için ayırt edici ve uygun olduğunu göstermiştir.

4.5. Model Performansları

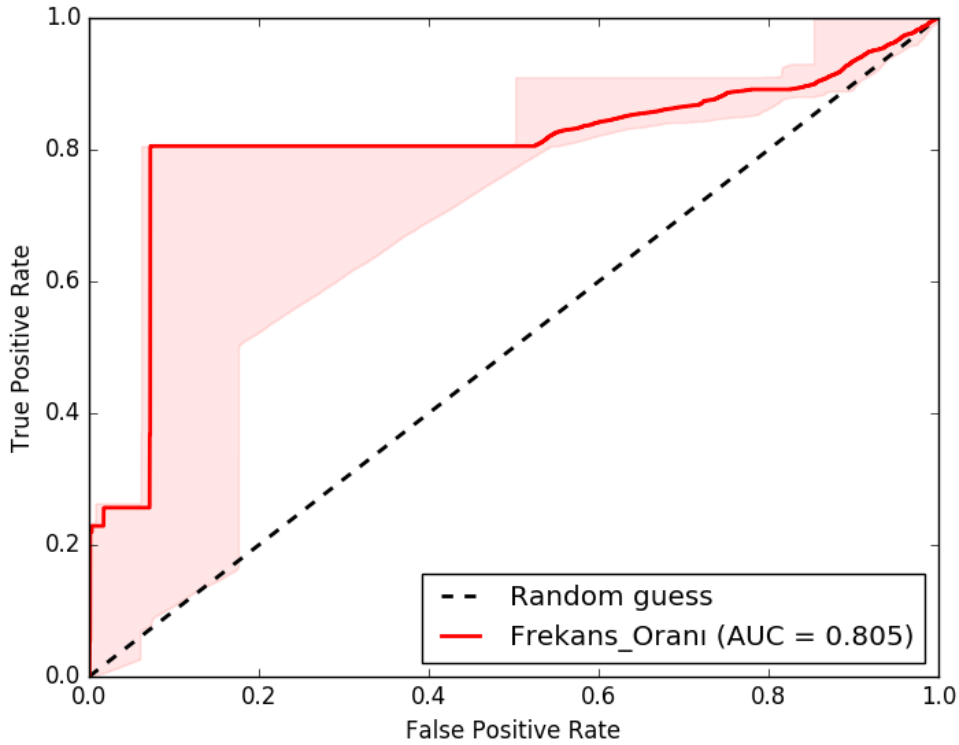
Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmelerinde hata matrislerinden faydalanılmaktadır (Şahin, 2018). ROC eğrileri model performansını test etmek için birçok alanda uygulanır. ROC eğrileri ile iki sınıf arasındaki ayrımı ve sınıflandırıcının performansını görselleştirmek mümkündür (Swets, 1988). ROC eğrileri analizlerde test ve eğitim verilerinden faydalanan ve işlemlerde ayırt ediciliği göstermekle beraber, farklı modellerin performans açısından karşılaştırılmasında, eğri altında kalan alana (AUC) gereksinim olur. AUC bir olayın meydana gelme ya

da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir (Akgun and Türk, 2010). AUC değerinin 1'e yakınlığı ideal durumu gösterirken, 0,5'e yakın bir değer ise söz konusu modelin performansının oldukça az olduğunu işaret etmektedir.

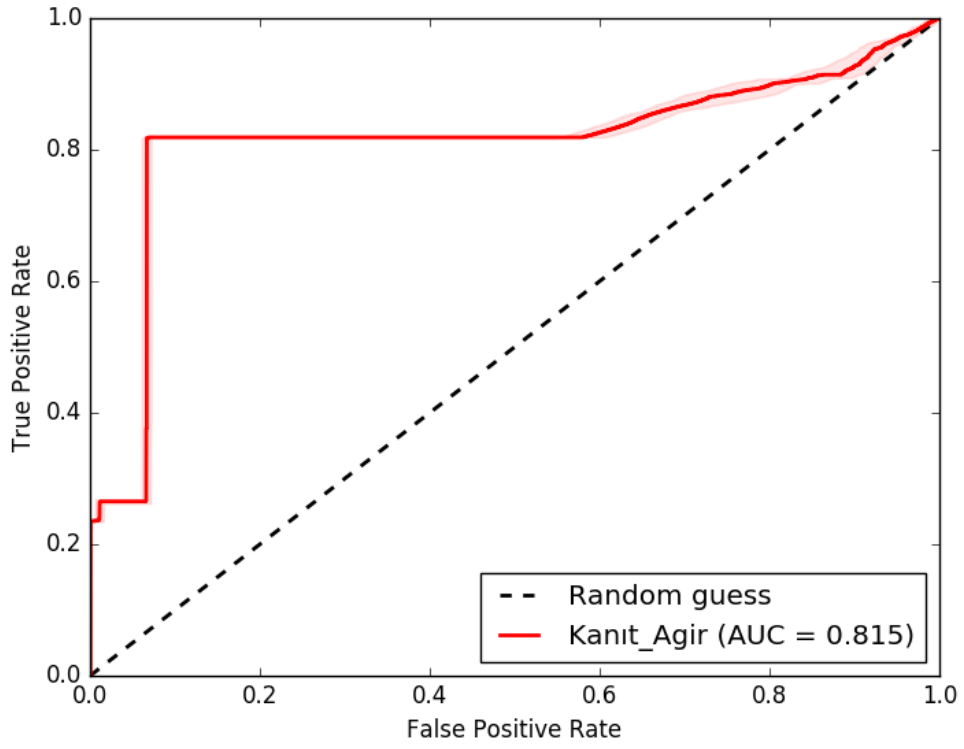
Frekans Oranı (FR), Kanıt Ağırlığı (WoE) ve Lojistik Regresyon (LR) yöntemleri kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının analiz edilmesi amacıyla ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi ve AUC (Area Under Curve) değerlerine bakılmıştır.

Bu çalışmada, ROC eğrisi hesaplamasında heyelan duyarlılık haritalarındaki çok yüksek ve yüksek sınıfları "1" ve orta, düşük ve çok düşük sınıflar ise "0" olarak değerlendirilmiştir. Eğitim verisi olarak ise Heyelan Envanter Haritası kullanılmıştır. Çalışma bölgesi için üretilen heyelan duyarlılık haritalarına ait model performansları Şekil 4.25 – 4.27'de verilmiştir.

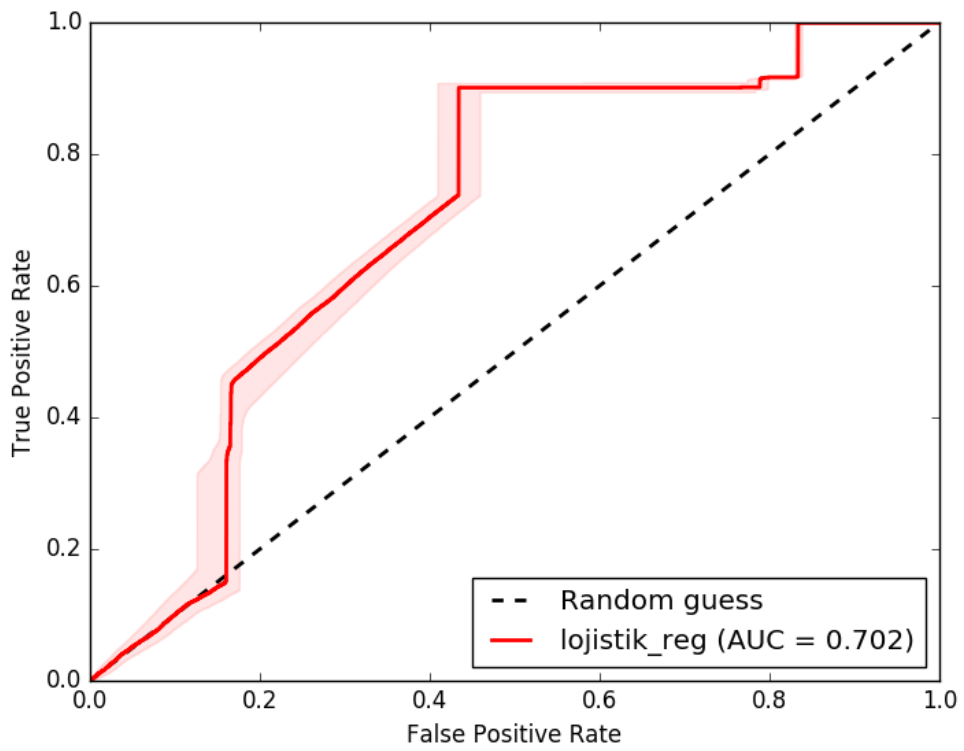
Frekans Oranı yöntemi ile oluşturulan model %80,5 oranında, Kanıt Ağırlığı yöntemi ile oluşturulan model %81,5 oranında ve Lojistik Regresyon yöntemi ile oluşturulan model %70,2 oranında performans göstermiştir.



Şekil 4.25. Frekans Oranı Yöntemi ROC Eğrisi



Şekil 4.26. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ROC Eğrisi



Şekil 4.27. Lojistik Regresyon Yöntemi ROC Eğrisi

4.6. Model Doğrulukları

Heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer yöntem de genel doğruluk değeridir. Bu değer hesaplanması için üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılır. Bu işlem sonucunda eski heyelan olaylarının hangi heyelan duyarlılık sınıfından kaldığı alansal olarak incelenerek yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfından yer alan heyelan verileri doğruluğun belirlenmesinde kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının yüksek ve çok yüksek sınıfında kalan alanlar ise riskli alanlar olarak kabul edilmiştir.

Frekans Oranı yöntemi %82,91 oranında doğruluk göstermiş ve toplam alanların %53,33'ünü riskli olarak haritalamıştır. Kanıt Ağırlığı yöntemi %83,50 oranında doğruluk göstermiş ve toplam alanların %59,00'unu riskli olarak haritalamıştır. Lojistik Regresyon yöntemi %77,05 oranında doğruluk göstermiş ve toplam alanların %43,36'sını riskli olarak haritalamıştır.

Modellere ait genel doğruluk değerleri Tablo 4.67'de verilmiştir.

Tablo 4.67. Model Doğrulukları

DUYARLILIK SINIFLARI	FREKANS ORANI (FR)		KANIT AĞIRLIĞI (WoE)		LOJİSTİK REGRESYON (LR)	
	HEYELANLI ALAN (%)	TOPLAM ALAN(%)	HEYELANLI ALAN (%)	TOPLAM ALAN(%)	HEYELANLI ALAN (%)	TOPLAM ALAN(%)
ÇOK DÜŞÜK	0,00%	0,22%	0,24%	11,36%	0,03%	7,53%
DÜŞÜK	0,33%	11,31%	2,03%	9,13%	0,96%	12,20%
ORTA	16,76%	37,08%	14,23%	22,43%	21,96%	36,91%
YÜKSEK	41,94%	40,99%	30,30%	32,63%	34,04%	29,53%
ÇOK YÜKSEK	40,97%	12,34%	53,20%	26,37%	43,01%	13,83%
	DOĞRULUK	RİSK	DOĞRULUK	RİSK	DOĞRULUK	RİSK
	82,91%	53,33%	83,50%	59,00%	77,05%	43,36%

4.7. Modellerin Konumsal Hassasiyeti

Modellerin konumsal hassasiyetini belirlemek için 2.8 ve 2.9 bölümünde açıklanan duyarlılık (hassasiyet) ve hata yayılma kuralı ile karesel ortalama hata hesabı yapılmalıdır. Heyelan duyarlılık (risk) haritaları farklı kaynaklardan elde edilen haritaların karşılaştırılması ile elde edildiğinden konumsal duyarlılık (hassasiyet) ve duyarlılık kriteri olan karesel ortalama hata toplam alınarak bulunur.

$$\text{Konumsal Hassasiyet(KH)} = \sum_i^n \text{Parametre Doğruluğu}_i$$

Bu çalışmada kullanılan 10 parametre için bu eşitlik düzenlenirse;

$\text{KH} = \text{Eğim} + \text{Bakı} + \text{Yükseklik} + \text{Eğrisellik} + \text{Topoğrafik Nemlilik} + \text{Jeoloji} + \text{NDVI} + \text{Faya Yakınlık} + \text{Yıllık Toplam Yağış} + \text{Arazi Kullanımı}$ eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikten konumsal hassasiyetin (duyarlık) karesel ortalama hatasını bulmak için Hata yayılma kuralı uygulanırsa;

$$d_{KD} = d_{\text{Eğim}} + d_{\text{Bakı}} + d_{\text{Yükseklik}} + d_{\text{Eğrisellik}} + d_{\text{Topoğrafik Nemlilik}} + d_{\text{Jeoloji}} + d_{\text{NDVI}} + d_{\text{Faya Yakınlık}} + d_{\text{Yıllık Toplam Yağış}} + d_{\text{Arazi Kullanımı}}$$

$$d_{kd} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{\text{Eğim}} \\ d_{\text{Bakı}} \\ d_{\text{Yükseklik}} \\ d_{\text{Eğrisellik}} \\ d_{\text{Topoğrafik Nemlilik}} \\ d_{\text{Jeoloji}} \\ d_{\text{NDVI}} \\ d_{\text{Faya Yakınlık}} \\ d_{\text{Yıllık Toplam Yağış}} \\ d_{\text{Arazi Kullanımı}} \end{bmatrix} = Ad\ell$$

elde edilir. $K_{ff} = AK_{\ell\ell}A^T$ eşitliğinde $K_{\ell\ell}$ parametrelerin doğruluğu bulunmalıdır. Bu işlem için parametrelerin piksel çözünürlüklerinin belirlenmelidir. Raster verilerde piksel boyutu doğrudan belirlenebilirken sayısallaştırılarak vektör veri haline getirilen haritalarda çözünürlük belirsizliği meydana gelmektedir. Bu belirsizliği gidermek için (Cabuk, vd., 2010) kitabında yer alan bilgilerden (Tablo 4.68) yararlanılmıştır.

Tablo 4.68. Ölçek Çözünürlük İlişkisi (Cabuk, et al., 2010)

Ölçek	Eş Yükselti Eğrisi Aralıkları	Raster Piksel Büyüklüğü
1/500	0,5 m	0,05 m
1/1.000	1 m	0,10 m
1/2.500	2 m	2,50 m
1/5.000	5 m	0,50 m
1/10.000	10 m	1,00 m
1/25.000	12-20 m	2,50 m
1/50.000	20-40 m	5,00 m
1/100.000	50 m	10,00 m
1/250.000	100 m	25,00 m
1/500.000	100-200 m	50,00 m
1/1.000.000	200 m	100,00 m

Parametrelere ait çözünürlük bilgileri incelendikten sonra parametrelerin konum doğruluğu için Tablo 4.69’da verilen değerler belirlenmiştir.

Tablo 4.69. Parametrelere Ait Konum Doğruluğu

Parametre	Konum Doğruluğu	Parametre	Konum Doğruluğu
Eğim	25	Jeoloji	50
Bakı	25	NDVI	30
Yükseklik	25	Faya Yakınlık	50
Eğrisellik	25	Yıllık Yağış	200
Topoğrafik Nemlilik	25	Arazi Kullanımı	25

Buradan parametrelerin varyans-kovaryans matrisi;

$$K_{\ell\ell} = \begin{bmatrix} 25^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 25^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 25^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 25^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 25^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 200^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 25^2 \end{bmatrix}$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda heyelan duyarlılık (risk) haritasının konum hassasiyetinin karesel ortalama hatası;

$$K_{KH} = m_{KH}^2 = AK_{\ell\ell}A^T = 223,439 \quad \text{Karekökü} = \pm 14,947\text{m.}$$

olarak elde edilir.

Parametrelerin doğrulukları eşit olmadığından her parametrenin aynı katsayı ile sonuca yansımaları yerine ağırlıklandırılmalı çözümler yapılmalıdır. 2.9 bölümünde

açıklanan ağırlıklandırma her parametre için yapılırsa; $P_i = \frac{m_0^2}{m_i^2}$ eşitliğinden ağırlıklar

sırası ile [1 1 1 1 1 0,25 0,694 0,25 0,015625 1] olarak bulunur. Bu aynı zamanda

hata yayılma eşitliğindeki A matrisine de eşit olur. Bu durumda heyelan duyarlılık (risk) haritasının konum hassasiyetinin karesel ortalama hatası;

$$K_{KH} = m_{KH}^2 = AK_{\ell\ell}A^T = 69,143 \quad \text{Karekökü} = \pm 8,315\text{m.}$$

olarak elde edilir.

5. SONUÇ

Tez çalışmasının ilk aşamasında afet kavramından, afetlerin sınıflandırılmasından, afetlerin dünyaya etkilerinden bahsedilmiştir. Heyelan kavramı açıklanmış, Türkiye’de meydana gelmiş heyelanlara ait mekansal istatistiklere yer verilmiştir.

Genel bilgiler ve kavram açıklamaları verildikten sonra heyelan çalışmalarında kullanılan parametre ve yöntemler incelenmiştir. Yaygın kullanıma sahip olan ve önemli görülen parametre ve analiz yöntemleri açıklanmıştır. Yamaç eğimi, litolojik durum, bakı durumu, yükseklik durumu, drenaj özellikleri, arazi kullanım durumu, eğrisellik durumu, tektonik unsura yakınlık, bitki örtüsü durumu (NDVI) ve yıllık toplam yağış durumu parametreleri çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen parametreler coğrafi bilgi sistemi yazılımlarından ArcGIS kullanılarak yeniden sınıflandırılmıştır. Eğim haritası 5 sınıfa, Jeroloji haritası 12 sınıfa, Bakı haritası 3 sınıfa, Yükseklik haritası 5 sınıfa, Topoğrafik Nemlilik haritası 7 sınıfa, Arazi Kullanım Durumu haritası 11 sınıfa, Eğrisellik haritası 3 sınıfa, Fay Hatlarına yakınlık haritası 5 sınıfa, NDVI haritası 3 sınıfa ve Yıllık toplam yağış haritası 5 sınıfa ayrılmıştır. Parametreler belirlendikten sonra heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında kullanılan yöntemlerle ilgili istatistikler incelenmiş frekans oranı yöntemi, kanıt ağırlığı yöntemi, analitik hiyerarşi yöntemi, lojistik regresyon yöntemi ve Rastgele Orman yöntemi açıklanmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere frekans oranı, kanıt ağırlığı ve lojistik regresyon yöntemleri seçilmiştir.

Samsun ili ve ilçelerini kapsayan 9376 km²’lik bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında daha önce meydana gelmiş heyelanlara ait Heyelan Envanter Haritası Afet ve Acil Durum Başkanlığı’ndan temin edilmiştir. Seçilen parametreler heyelan envanter haritasıyla ilişkilendirilerek çalışmada kullanılan yöntemler ile analiz edilmiştir.

Heyelan Duyarlılık analizleri sonucunda üretilen haritalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1- Heyelan duyarlılık haritalarına ait model performansları ROC eğrisi kullanılarak incelendiğinde Frekans Oranı Yöntemi %80,5 oranında, Kanıt Ağırlığı Yöntemi %81,5 oranında ve Lojistik Regresyon Yöntemi %70,2 oranında performans göstermiştir.

2- Heyelan duyarlılık haritalarına ait model doğrulukları heyelan envanter

haritası ile çakıştırma işlemi uygulanarak incelendiğinde Frekans Oranı Yöntemi %82,9 oranında, Kanıt AĞırlığı Yöntemi %83,5 oranında ve Lojistik Regresyon Yöntemi %77,1 oranında doğruluk göstermiştir.

3- Modellerin performansları, doğrulukları ve konumsal hassasiyetleri birlikte irdelendiğinde en uygun modelin Kanıt AĞırlığı Yöntemi (WoE) kullanılarak üretildiği tespit edilmiştir. Yöntem Türkiye’de gerçekleştirilen heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaması açısından da önemlidir.

4- Seçilen modele göre Samsun ilinin %11,36’sı çok düşük risk grubunda, %9,13’ü düşük risk grubunda, %22,43’ü orta risk grubunda, % 32,63’ü yüksek risk grubunda ve %26,37’si çok yüksek risk grubunda bulunmaktadır.

5- Çalışmada kullanılan parametreler analiz sonucunda elde edilen 3 model (FR, WoE, LR) ile birlikte değerlendirilmiştir. Yükseklik parametresinin her 3 modelde de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin 100 – 400 metre aralığında olduğu görölmüştür. EĞim parametresinin her 3 model de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin 5 – 10 derece aralığında olduğu görölmüştür. Bakı parametresinin her 3 modelde de çalışma alanının için anlamlı olduğu ancak kuzey ve güney yönelimli alanların risk değerlerinin birbirine yakın olması ayırt ediciliği düşürmüştür. Bitki Örtüsü (NDVI) parametresinin her 3 model de anlamlı olduğu ve en yüksek riskin zayıf bitki örtüsünden güçlü bitki örtüsüne geçiş alanlarında olduğu görölmüştür. Yıllık toplam yağış parametresi incelendiğinde yağış değerlerinin artış ve azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin her 3 modelde de olmayışı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir. Topoğrafik nemlilik parametresi incelendiğinde nemlilik indeksi değerlerinin artış ve azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin her 3 modelde de olmayışı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir. EĞrisellik parametresinin alt sınıfları incelendiğinde risk değerlerinin her 3 modelde de genel olarak birbirine yakın olması parametrenin ayırt ediciliğini düşürmüştür ve çalışma alanı için parametrenin uygun olmadığını göstermiştir. Arazi kullanım durumu parametresinin her 3 modelde de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin susuz tarım alanlarında olduğu görölmüştür. Jeoloji parametresinin her 3 modelde de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin kuvaterner sınıfında olduğu görölmüştür. Fay hatlarına yakınlık parametresinin her 3 model de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin 0 – 10 km aralığında olduğu 10 km üzerindeki alanlarda heyelanlara nadiren rastlandığı görölmüştür.

6- Heyelan duyarlılık (risk) haritalarına ait modeller jeodezik hata yayılma kuralları kullanılarak incelendiğinde harita çözünürlüğü olan 25m x 25m piksellerin konumsal hassasiyetinin ağırlıksız hesaplanması sonucu $\pm 14,947$ m hata ile ağırlıklı hesaplanması sonucu $\pm 8,315$ m hata ile yüklü olduğu hesaplanmıştır.

Elde edilen bütün sonuçlar ışığında insan yaşamını çok yakından ilgilendiren yerleşim alanları, okul alanları, sağlık tesisleri, alış-veriş merkezleri gibi konut alanlarının planlanmasında, ulaşımda kullandığımız yolların planlanmasında, tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği arazilerinin planlanmasında, hayvancılık faaliyetlerinin gerçekleştirildiği mera alanlarının planlanmasında ve daha birçok planlama faaliyetinde bu çalışmayla oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının önemi yüksektir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üzerinde tehlike oluşturan sahalarda gerekli önlemlerin alınmasında ve yeni alt ve üst yapı tesislerinin belirlenmesinde altlık olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının doğru ve güncel olarak üretilmesi afet planlaması başta olmak üzere heyelan kaynaklı maddi ve manevi kayıpların önlenmesi amacıyla gerçekleştirilen planlama faaliyetleri açısından son derece önemlidir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken en önemli husus ise, bu haritaların güncel verilerle değişen şartlara göre yeniden üretilmesi gerekliliğidir.

KAYNAKÇA

- AFAD. (2014). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. *TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.*
- AFAD. (2018). Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri. *T.C. İç İşleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.*
- Akgun, A., Dag, 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.
- Akgun, A., & Türk, N. (2010). Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences, 61(3)*, 595-611.
- Akgün, A., & Bulut, F. (2007). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental geology, 51(8)*, 1377-1387.
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment, 58(1)*, 21-44.
- Alexander, D. E. (1995). A survey of the field of natural hazards and disaster studies. In *Geographical information systems in assessing natural hazards* (pp. 1-19): Springer.
- Alkış, Z. (1996). Yönetimlerde Karar-Destek Sistemi Olarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Önemi. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 96*, 71-75.
- Arca, D. (2012). Afet yönetiminde coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama. *Karaelmas Science and Engineering Journal, 2(2)*, 53-61.
- Atkinson, P. M., & Massari, R. (1998). Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy. *Computers & Geosciences, 24(4)*, 373-385.
- 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.
- Aynew, T., & Barbieri, G. (2005). Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. *Engineering Geology, 77(1-2)*, 1-15.
- Baeza, C., & Corominas, J. (2001). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 26(12)*, 1251-1263.
- Baeza, C., Lantada, N., & Moya, J. (2010). Validation and evaluation of two multivariate statistical models for predictive shallow landslide susceptibility mapping of the Eastern Pyrenees (Spain). *Environmental Earth Sciences, 61(3)*, 507-523.
- Balaban, B. (2019). *Gölpazarı (Bilecik) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizleri.* Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Batuk, G., Külür, S., Sarbanoğlu, H., & Toz, G. (1996). Veriden Bilgiye: Coğrafi Bilgi Sistemleri. *Coğrafi Bilgi Sistemi Sempozyumu, İstanbul*, 35-47.
- Bayramoğlu, G. (2004). *İlköğretim ve ortaöğretim eğitim donatılarının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla niteliksel, niceliksel ve mekansal olarak değerlendirilmesi İstanbul Şişli örneği.*

- Bektaş, S. (2005). Dengeleme Hesabı. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun*.
- Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 54(11), 1585-1592.
- Brabb, E. E. (1989). *Geologic map of Santa Cruz County, California*: US Geological Survey.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Brown, W. (1983). The changing imprint of the landslide on rural landscapes of New Zealand. *Landscape planning*, 10(3), 173-204.
- Cabuk, A., Uygucgil, H., Sorman, A., Avdan, U., Küpçü, S., Bektöre, E., & Işık, Ö. (2010). Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analiz ve Yorumlama
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., & Sole, A. (2008). Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. *Natural Hazards*, 45(1), 55-72.
- Cevik, E., & Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental geology*, 44(8), 949-962.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2010). *Numerical methods for engineers*: Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- Chau, K., & Chan, J. (2005). Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: case of Hong Kong Island. *Landslides*, 2(4), 280-290.
- Chen, W., Li, W., Hou, E., Zhao, Z., Deng, N., Bai, H., & Wang, D. (2014). Landslide susceptibility mapping based on GIS and information value model for the Chencang District of Baoji, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(11), 4499-4511.
- Clark, W. H., PL. (1986). *Statistical methods for geographers*, Wiley, USA.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., & Vescovi, P. (2006). A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environmental geology*, 50(7), 941-961.
- Costa, I. S. L., Serafim, I. C. C. d. O., Tavares, F. M., & Polo, H. J. d. O. (2020). Uranium anomalies detection through Random Forest regression. *51(5)*, 555-569.
- CRED. (2018). *Natural Disasters*.
- Çukur, H. (2002). Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Esasları ve Net CAD Kullanımı.
- Dağ, S. (2007). *Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. Doktora Tezi, 241 s (yayımlanmamış),
- Dai, F., & Lee, C. (2001). Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. *Canadian Geotechnical Journal*, 38(5), 911-923.
- Dai, F., & Lee, C. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228.
- Dai, F., Lee, C., Li, J., & Xu, Z. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental geology*, 40(3), 381-391.

- Doğan, S., Akıncı, H., & Kılıçoğlu, C. (2012). Bayes olasılık teoremi kullanılarak Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi, 65. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2-6.
- Eastman, J. (2009). Idrisi Taiga, guide to GIS and image processing, user's guide (Ver. 15). *Press Clark University, USA*, 328.
- Eker, R., & Aydın, A. (2014). Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 15(1), 84-93.
- Ercanoğlu, M. (2005). Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks.
- Ercanoğlu, M., & Gökçeoğlu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental geology*, 41(6), 720-730.
- Ercanoğlu, M., & Gökçeoğlu, C. (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3-4), 229-250.
- Ercanoğlu, M., Kasmer, O., & Temiz, N. (2008). Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 67(4), 565-578.
- Ercanoğlu, M., & Temiz, F. (2011). Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 949-964.
- Ergünay, O., Gülkan, P., & Güler, H. (2008). Afet Yönetimi İle İlgili Terimler: Açıklamalı Sözlük. *Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri. JICA Türkiye Ofisi, Yayın o, 2*, 301-353.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., & Leroi, E. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 85-98.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 99-111.
- Fernández, C. I., Del Castillo, T. F., Hamdouni, R. E., & Montero, J. C. (1999). Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 24(6), 537-544.
- Gorsevski, P. V., & Jankowski, P. (2008). Discerning landslide susceptibility using rough sets. *Computers, environment and urban systems*, 32(1), 53-65.
- Gökçeoğlu, C., & Aksoy, H. (1996). Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44(1-4), 147-161.
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). Türkiye'de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı. *Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara*.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri Dergisi*, 22(23), 189-206.
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P., Wallemacq, P., & Below, R. (2016). Annual disaster statistical review 2016: The numbers and trends brussels. *Brussels: CRED*.
- Guzzetti, F. (2000). Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, 58(2), 89-107.

- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1-2), 166-184.
- Ildir, B. (1995). *Türkiyede heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar*. Paper presented at the Proceedings of 2nd National Landslide Symposium Turkey. Sakarya University.
- Kadıoğlu, M. (2011). Afet yönetimi beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek. *TC Marmara belediyeler birliği yayını*.
- Kadıoğlu, M., & Özdamar, E. (2008). Afet zararlarını azaltmanın temel ilkeleri. *JICA Türkiye Ofisi Yayınları*(2), 1-34.
- Kanlı, İ. B., D. (2018). Küreselleşme ve Çevre Sorunları Bağlamında Göç: İklim Mültecileri. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 6(3).
- Kato, Y., Yokohari, M., & Brown, R. D. (1997). Integration and visualization of the ecological value of rural landscapes in maintaining the physical environment of Japan. *Landscape and Urban Planning*, 39(1), 69-82.
- Kavas, E. (2009). Analitik hiyerarşik süreç yöntemiyle İzmir ilinde heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. İzmir*.
- Kavzoğlu, T., Şahin, E., & Çölkesen, İ. (2010). CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği.
- Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1-4), 17-28.
- Kuncheva, L. I., & Whitaker, C. J. (2003). Measures of diversity in classifier ensembles and their relationship with the ensemble accuracy. *Machine learning*, 51(2), 181-207.
- Lainas, S., Sabatakakis, N., & Koukis, G. (2016). Rainfall thresholds for possible landslide initiation in wildfire-affected areas of western Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 75(3), 883-896.
- Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environmental Management*, 34(2), 223-232.
- Lee, S., & Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental geology*, 40(9), 1095-1113.
- Lee, S., Ryu, J.-H., Won, J.-S., & Park, H.-J. (2004). Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, 71(3-4), 289-302.
- Lee, S., Ryu, J., Min, K., Choi, W., & Won, J. (2000). *Development and application of landslide susceptibility analysis techniques using geographic information system (GIS)*. Paper presented at the IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120).
- Lee, S., & Talib, J. A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental geology*, 47(7), 982-990.

- Luzi, L., & Pergalani, F. (1999). Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the 'Oltre Po Pavese' case history (Regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20(1), 57-82.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*: John Wiley & Sons.
- Masetic, Z., & Subasi, A. (2016). Congestive heart failure detection using random forest classifier. *Computer methods programs in biomedicine*, 130, 54-64.
- Menard, S. (2002). *Applied logistic regression analysis*. Sage.
- Nagarajan, R., Roy, A., Kumar, R. V., Mukherjee, A., & Khire, M. (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(4), 275-287.
- Nefeslioglu, H., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A., & Duman, T. (2010). Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010.
- Nefeslioglu, H. A., San, B. T., Gokceoglu, C., & Duman, T. (2012). An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 14(1), 40-60.
- Ott, R. L., M. (2001). *An introduction to statistical methods and data analysis*, 5th edn. Duxbury Press, USA.
- Ozdemir, 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.
- Önsüz, M., & Atalay, B. (2015). Afet Lojistiği. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 37(3), 1-6.
- Özcan, O., Musaoğlu, N., & Şeker, D. Z. (2009). Taşkın alanlarının CBS ve uzaktan algılama yardımıyla belirlenmesi ve risk yönetimi: Sakarya Havzası örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 12, 11-15.
- Özkan, Ö. (2005). *İstanbul Belediyelerinde Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Öztürk, D., & Batuk, F. (2007). Çok sayıda kriter ile karar vermede kriter ağırlıkları. *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 86-98.
- Öztürk, D., & Batuk, F. (2010). Konumsal karar problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2).
- Pachauri, A., Gupta, P., & Chander, R. (1998). Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental geology*, 36(3-4), 325-334.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1-2), 172-187.
- Remondo, J., González, A., De Terán, J. R. D., Cendrero, A., Fabbri, A., & Chung, C.-J. F. (2003). Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in Northern Spain. *Natural Hazards*, 30(3), 437-449.
- Rosenfeld, C. L. (1994). The geomorphological dimensions of natural disasters. In *Geomorphology and Natural Hazards* (pp. 27-36): Elsevier.

- Rouse, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351(1974), 309.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill Comp., New York, USA.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A., & Marturiá, J. (2003). A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 281-295.
- Sawada, Y., Bhattacharyay, R., & Kotera, T. (2011). *Aggregate impacts of natural and man-made disasters: A quantitative comparison*: Research Inst. of Economy, Trade and Industry.
- Sayın, E. B., B; Kuru, Y. (2017). Bilecik İli Heyelan Duyarlılık Analiz Raporu. Bilecik İl Afet Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Arşiv1.
- Schuster, R. L. (1996). Socioeconomic significance of landslides. *Landslides: Investigation and Mitigation. Washington (DC): National Academy Press. Transportation Research Board Special Report*, 247, 12-35.
- Schuster, R. L., & Fleming, R. W. (1986). Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 23(1), 11-28.
- Seker, D. (2000). Investigation the distribution of vegetation in turkey by using remote sensing data and GIS. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing*, 33(B7/4; PART 7), 1357-1363.
- Selçuk, R., Bayrak, T., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., & Ekerci, S. (2008). Rize Bölgesinde Yağış Heyelan İlişkisi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*(99), 5-9.
- Söğüt, H., Tankut, M., (1990). 7. *Türkiye Bilgisayar Kongresi*, 28-29-30 Mayıs 1990, İstanbul.
- Sür, Ö. (1972). Heyelan Olaylarına sebep olan faktörler ve bunların Türkiye’de etkili bulunduğu alanlar. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*(1-2), 215-223.
- Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71(3-4), 303-321.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *240(4857)*, 1285-1293.
- Şahin, K. (2018). Heyelan duyarlılık haritası için adimsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Dergisi*, 159, 1-15.
- Tatlıdil, H. (1996). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, Akademi Matbaası, Ankara.
- Temiz, A. (2005). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanması: Karabük Örneği, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Tetik Biçer, Ç. (2017). Heyelan Risk Haritalaması Üzerine Yarı Sayısal Bir Değerlendirme.
- Tombuş, F. E. (2005). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak erozyon risk belirlemesine yeni bir yaklaşım, Çorum ili örneği*. Anadolu Üniversitesi,
- UNISDR. (2009). *Unisdr Terminology on Disaster Risk Reduction*. Geneva: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Retrieved from www.unisdr.org/publications, 20.11.2017
- UNISDR. (2017). *Man-made and Technological Hazards*.

- Van Westen, C., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30(3), 399-419.
- Van Westen, C., Van Asch, T. W., & Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 65(2), 167-184.
- Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology*, 102(3-4), 112-131.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*.
- Wachal, D. J., & Hudak, P. F. (2000). Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal*, 51(3), 245-253.
- Wang, H., & Sassa, K. (2005). Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan. *Environmental geology*, 47(7), 956-966.
- Wang, W.-D., Guo, J., Fang, L.-G., & Chang, X.-S. (2012). A subjective and objective integrated weighting method for landslides susceptibility mapping based on GIS. *Environmental Earth Sciences*, 65(6), 1705-1714.
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). *Terrain analysis: principles and applications*: John Wiley & Sons.
- Yalcin, A., & Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41(1), 201-226.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A., & Yomralioglu, T. (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3), 274-287.
- Yalçın, A. (2005). Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yilmaz, C., Topal, T., & Süzen, M. L. (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 65(7), 2161-2178.
- Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138.
- Yomralioglu, T. (2002). *GIS activities in Turkey*. Paper presented at the Proceedings of international symposium on GIS.
- Yomralıoğlu, T. (2000a). Coğrafi bilgi sistemleri. *Yüksek Lisans Ders Notları, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Yomralıoğlu, T. (2000b). Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamaları. *İstanbul: Seçil Ofset*.

ÖZ GEÇMİŞ

Aslan Cihat BAŞARA, Samsun Bafra Fen Lisesi'ni 2014 yılında bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2019 yılında mezun oldu. Temel ilgi alanları, Jeodezi, Ölçme Bilgisi, Coğrafi Bilgi Sistemleridir (12.07.2021).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000 – 0001 – 6644 – 6097

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Başara, A.C., Tabar, M.E., & Şişman, Y. (2020). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and AHP Methods, Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 223-226, Mersin, Turkey
2. Tabar M.E., Başara A.C., & Şişman Y. (2020). A House Valuation with Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks. Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 96-99, Mersin, Turkey

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

- 1.
- 2.