



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YIĞILCA ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ'NDE HEYELAN
DUYARLILIK HARİTALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
YARDIMI İLE ÜRETİLMESİ VE ORMAN YOLLARI AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

REMZİ EKER

OCAK 2013

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Remzi EKER tarafından hazırlanan “Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü’nde Heyelan Duyarlılık Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı ile Üretilmesi ve Orman Yolları Açısından Değerlendirilmesi” isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun tarih vesayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Unvan, Adı Soyad
Üniversitesi

Üye
Unvan, Adı Soyad
Üniversitesi

Üye
Unvan, Adı Soyad
Üniversitesi

Üye
Unvan, Adı Soyad
Üniversitesi

Üye
Unvan, Adı Soyad
Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih :

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’ın Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / Doktora derecesini almasını onamıştır.

Doç. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

15 Ocak 2013

Remzi EKER

Sevgili Aileme

TEŞEKKÜR SAYFASI

“Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü’nde Heyelan Duyarlılık Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı ile Üretilmesi ve Orman Yolları Açısından Değerlendirilmesi” isimli bu tez çalışmasının seçimi, planlanması ve yürütülmesi sürecinde beni değerli görüş ve önerileri ile yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim AYDIN’a candan teşekkür ederim.

Çalışmanın özellikle heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması sürecinde değerli bilgi ve görüşleriyle yönlendirerek destek veren Sayın Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU’na candan teşekkür ederim.

Çalışmanın heyelan envanterinin oluşturulması sürecinde arazi çalışmalarında her türlü destek ve imkânı sağlamaktan geri kalmayan Sayın Karadere Orman İşletme Şefi İzzet AKGÜN’e ve onun değerli ekibine candan teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca sürekli destek vererek bugünlere gelmemde karşılığı ödenmez emekler harcayan ve hala harcamaya devam eden aileme sonsuz teşekkür ederim.

15 Ocak 2013

Remzi EKER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR SAYFASI	İ
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
ÖZET	1
ABSTRACT.....	3
EXTENDED ABSTRACT	5
1. GİRİŞ	10
1.1. LİTERATÜR ÖZETİ.....	13
1.2. HEYELAN KAVRAMI.....	29
1.3. HEYELANLARIN SINIFLANDIRILMASI.....	33
1.3.1. Düşme.....	34
1.3.2. Devrilme.....	35
1.3.3. Kayma	36
1.3.4. Yanal Yayılmalar	39
1.3.5. Akma	40
1.3.6. Karmaşık Heyelanlar	40
1.4. HEYELANLARIN DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ ETKİLERİ	41
1.5. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI VE ÜRETİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	46
1.5.1. Niteliksel Yöntemler	47
1.5.2. Niceliksel Yöntemler	49
1.6. DUYARLILIK HARİTALAMALARDA KULLANILAN ÖLÇEKLER ..	51
1.7. HEYELAN ENVANTERİ.....	52
1.8. DUYARLILIK HARİTALAMALARDA KULLANILAN PARAMETRELER	52
1.8.1. Litoloji.....	54
1.8.2. Yapısal Unsurlara Uzaklık.....	55

1.8.3.	Su durumu ve Yeraltısuyu	55
1.8.4.	Yükselti	55
1.8.5.	Yamaç Eğimi	56
1.8.6.	Bakı	58
1.8.7.	Yamaç Eğriselliği	58
1.8.8.	Akarsuya Uzaklık	59
1.8.9.	Topoğrafik Nemlilik İndeksi.....	60
1.8.10.	Akarsu Güç İndeksi	61
1.8.11.	Arazi Kullanımı.....	61
1.8.12.	Yola Uzaklık	64
1.9.	ORMAN YOLLARI-HEYELAN İLİŞKİSİ.....	65
2.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	74
2.1.	ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI.....	74
2.1.1.	Konumu	74
2.1.2.	Ulaşım ve Yerleşim Durumu.....	76
2.1.3.	Genel Jeolojik Özellikleri	77
2.1.4.	Tektonik Özellikler ve Depremsellik.....	80
2.1.5.	Morfolojik Özellikleri.....	82
2.1.6.	Klimatolojik Özellikleri.....	83
2.1.7.	Alandaki Yolların Dağılım ve Özellikleri	87
2.2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	89
2.2.1.	Lojistik Regresyon (LR).....	89
2.2.2.	LR'de Parametre Tahmin Yöntemleri	92
2.2.3.	Uyum İyiliği ve Parametrelerin Önem Testi	94
2.2.4.	Heyelan Envanteri ve Parametre Haritalarının Üretilmesi.....	96
2.2.5.	Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması.....	97
2.2.6.	Duyarlılık Haritasının Orman Yollarıyla Çakıştırılması.....	98
3.	BULGULAR	101
3.1.	ALANDAKİ HEYELANLARA İLİŞKİN BULGULAR.....	101
3.2.	KULLANILAN PARAMETRELERE İLİŞKİN BULGULAR.....	104
3.2.1.	Arazi Kullanımı.....	104
3.2.2.	Litoloji.....	108
3.2.3.	Yükselti	110

3.2.4. Eğim	112
3.2.5. Bakı	113
3.2.6. Akarsuya Uzaklık	115
3.2.7. Yola Uzaklık	117
3.2.8. Plan Eğrisellik	119
3.3. LOJİSTİK REGRESYON ANALİZİNE İLİŞKİN BULGULAR.....	121
3.4. HEYELAN DUYARLILIK HARİTASINA İLİŞKİN BULGULAR	122
3.5. ORMAN YOLLARI İLE ÇAKIŞTIRMA ANALİZİNE AİT BULGULAR	131
3.5.1. Yol-Duyarlılık İlişkisine Ait Bulgular.....	131
3.5.2. Yol-Heyelan Sayısı ve Frekansına Ait Bulgular.....	136
4. TARTIŞMAVE SONUÇ.....	142
5. ÖNERİLER	148
6. KAYNAKLAR.....	151
ÖZGEÇMİŞ	170

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Heyelanın bölümleri (Anonim 1993)	30
Şekil 1.2. Heyelanın boyutları (Anonim1993)	31
Şekil 1.3. Düşme (Anonim 2012a)	35
Şekil 1.4. Devrilme (Anonim 2012a)	36
Şekil 1.5. Dönel kayma (Anonim 2012a)	37
Şekil 1.6. Ötelenmeli kayma (Anonim 2012a)	38
Şekil 1.7. Yanal yayılmalar (Anonim 2012a)	39
Şekil 1.8. Akma (Anonim 2012a)	40
Şekil 1.9. 1903-2004 yılları arasında meydana gelen heyelanlardan kaynaklanan ölümlerin kıtalara dağılımı grafiği (Nadim ve diğ. 2006)	43
Şekil 1.10. 1903-2004 yılları arasında meydana gelen heyelanlardan kaynaklanan ekonomik zararların kıtalara dağılımı grafiği (Nadim ve diğ. 2006)	43
Şekil 1.11. Sayıları bakımından heyelanların illere göre dağılımları (Gökçe ve diğ. 2008)	45
Şekil 1.12. Heyelan afetzedelerinin illere dağılımı (Gökçe ve diğ. 2008)	45
Şekil 1.13. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury 1999)	48
Şekil 1.14. Heyelanlara neden olan parametreler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001)	53
Şekil 1.15. Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan parametreler (Hasekiogulları 2010).	54
Şekil 2.1. Çalışma alanının konumu	75
Şekil 2.2. Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü bünyesindeki orman işletme şeflikleri alanlarının yüzde dağılımları	76
Şekil 2.3. Batı Karadeniz Bölgesi ana tektonik birlikler (Duman ve diğ. (2005), Yiğitbaş ve diğ. (1999)'a atfen)	77
Şekil 2.4. Çalışma alanının içinde bulunduğu Zonguldak paftasının litolojik grupları (Duman ve diğ. 2005)	78
Şekil 2.5. Çalışma alanının içinde bulunduğu Zonguldak paftasındaki ana bindirme, fay ve aktif faylar (Duman ve diğ. 2005)	81
Şekil 2.6. Çalışma alanına ait enterpole edilmiş sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara	

dağılımları	84
Şekil 2.7. Çalışma alanına ait Thorntwaite yöntemi ile belirlenmiş su bilançosu grafiği	84
Şekil 2.8. Çalışma alanına ait yol ağı planı haritası	88
Şekil 2.9. İşletme şefliklerindeki yolların uzunlukları	88
Şekil 2.10. Yapılan çalışmaların iş akış şeması	89
Şekil 2.11. LOGISTIREC modülü görüntüsü	98
Şekil 2.12. Analiz sonuçlarının rapor olarak gösterildiği metin dosyasından görünüm	98
Şekil 2.13. ArcMap 10 yazılımının ArcToolbox kütüphanesi görüntüsü	99
Şekil 3.1. Alandaki dönel kayma türünden heyelan görüntüsü	102
Şekil 3.2. Alandaki yüzeysel akma türünden heyelan görüntüsü	103
Şekil 3.3. Alandaki toprak kayması türünden heyelan görüntüsü	103
Şekil 3.4. Heyelan envanteri haritası	104
Şekil 3.5. Arazi kullanım sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	106
Şekil 3.6. Arazi kullanım sınıflarının işletme şefliklerindeki dağılımları	107
Şekil 3.7. Arazi kullanım sınıfları haritası	108
Şekil 3.8. Litoloji haritası	109
Şekil 3.9. Litoloji sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	110
Şekil 3.10. Yükselti sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımı	111
Şekil 3.11. Yükselti sınıfları Haritası	111
Şekil 3.12. Eğim sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	112
Şekil 3.13. Eğim sınıfları haritası	113
Şekil 3.14. Bakı sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	114
Şekil 3.15. Bakı sınıfları haritası	115
Şekil 3.16. Akarsuya uzaklık sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	116
Şekil 3.17. Akarsuya uzaklık haritası	117
Şekil 3.18. Yola uzaklık haritası	118
Şekil 3.19. Yola uzaklık sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	119
Şekil 3.20. Plan eğrisellik haritası	120
Şekil 3.21. Plan eğrisellik sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları	120
Şekil 3.22. Üretilen heyelan duyarlılık haritası	123
Şekil 3.23. Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait sınıflandırılmış heyelan duyarlılık haritası	124

Şekil 3.24.	Heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi	125
Şekil 3.25.	Heyelan duyarlılık sınıflarına göre heyelan oluşum yüzdeleri	125
Şekil 3.26.	İşletme şefliklerindeki heyelan duyarlılık sınıflarının yüzde (%) dağılımı	127
Şekil 3.27.	Yerleşim alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımı (%)	128
Şekil 3.28.	Yerleşim alanlarının duyarlılık haritası ile karşılaştırılması	128
Şekil 3.29.	Ziraat alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımı (%)	129
Şekil 3.30.	Ziraat alanlarının duyarlılık haritası ile karşılaştırılması	130
Şekil 3.31.	Orman alanlarının duyarlılık sınıflarına dağılımı (%)	130
Şekil 3.32.	Bozuk orman alanlarının duyarlılık haritası ile karşılaştırılması	131
Şekil 3.33.	Yol tiplerinin duyarlılık sınıflarındaki yüzde dağılımları	135
Şekil 3.34.	Heyelan duyarlılık haritası üzerinde yolların dağılımı	135
Şekil 3.35.	Heyelan duyarlılık sınıfları ile yolların karşılaştırılması ile elde edilen harita	136
Şekil 3.36.	Yolu doğrudan etkileyen heyelanların işletme şefliklerindeki yüzde dağılımları	137
Şekil 3.37.	Heyelanın yol ile kesişerek etkilediği alandan bir görüntü	140
Şekil 3.38.	Yolun alt kısmında meydana gelen bir heyelan görüntüsü	140
Şekil 3.39.	Heyelan sonucu yolda meydana gelen oturmadan bir görüntü	141

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1.	Alansal büyüklükleri açısından heyelanların sınıflandırılması (Cornforth 2005).	32
Çizelge 1.2.	“Kütle hareketlerinin sınıflandırılması (Varnes 1978)”(Dikau ve diğ. 1996)	34
Çizelge 1.3.	Hacimsel terimlere bağlı olarak düşmelerin sınıflandırılması (Flageollet ve Weber 1996)	35
Çizelge 1.4.	Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin türlerine bağlı olarak yıkılan konut sayısı ve yüzdeleri açısından karşılaştırılması (Özmen ve diğ. 2005)	44
Çizelge 1.5.	Heyelan değerlendirilmelerinde kullanılan ölçekler (Dağ 2007, IAEG 1976’ya atfen)	52
Çizelge 1.6.	Orman yolu standartları (Erdaş 1997)	68
Çizelge 2.1.	Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü bünyesindeki işletme şefliklerinin alansal dağılımları	74
Çizelge 2.2.	KAFZ üzerinde meydana gelen beş büyük deprem	82
Çizelge 2.3.	1970-2011 yıllarına ait DMİ iklim verileri	85
Çizelge 2.4.	DMİ verilerine göre enterpole edilmiş ortalama sıcaklık (°C) ve yağış (mm) değerleri	86
Çizelge 2.5.	Thorntwaite yöntemine göre enterpole edilen değerler baz alınarak hazırlanan su bilançosu	86
Çizelge 2.6.	İşletme şefliklerindeki yolların uzunlukları ve yüzde dağılımları	87
Çizelge 2.7.	Haritaların minimum ve maksimum X/Y koordinatları	97
Çizelge 3.1.	Arazi kullanım sınıfları ve heyelan dağılımları	106
Çizelge 3.2.	Litoloji birimleri ve heyelan dağılımları	109
Çizelge 3.3.	Yükselti sınıfları ve heyelan dağılımları	110
Çizelge 3.4.	Eğim sınıfları ve heyelan dağılımları	112
Çizelge 3.5.	Bakı sınıfları ve heyelan dağılımları	114
Çizelge 3.6.	Akarsuya uzaklık sınıfları ve heyelan dağılımları	116
Çizelge 3.7.	Yola uzaklık sınıfları ve heyelan dağılımları	118
Çizelge 3.8.	Plan eğrisellik sınıfları ve heyelan dağılımları	119
Çizelge 3.9.	LR denklemindeki parametre katsayıları	121

Çizelge 3.10.	Regresyon modeli istatistikleri	122
Çizelge 3.11.	Duyarlılık sınıflarına ait piksel sayıları ve yüzdeleri	123
Çizelge 3.12.	Duyarlılık sınıflarının işletme şefliklerine dağılımı (%)	126
Çizelge 3.13.	Orman alanlarında duyarlılık sınıflarının dağılımları	129
Çizelge 3.14.	Çalışma alanındaki yolların duyarlılık sınıflarına uzunluk olarak dağılımları	132
Çizelge 3.15.	İşletme şefliklerindeki yol tiplerinin duyarlılık sınıflarına uzunluk olarak dağılımları ve yüzdeleri	134
Çizelge 3.16.	İşletme şeflikleri bünyesinde heyelanların etkileşim içinde oldukları yol geçki uzunlukları, heyelan adetleri ve gerçek frekansları	138
Çizelge 3.17.	Alandaki yolların genel heyelan frekanslarının işletme şefliklerine dağılımı	138
Çizelge 3.18.	Heyelan sahaları içerisinde kalan yol uzunluklarının işletme şefliklerine dağılımı	139
Çizelge 3.19.	İşletme şefliklerindeki gerçek ve genel yol-heyelan indeks değerleri	139

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AİGM	Afet İşleri Genel Müdürlüğü
ANN	Artificial Neural Network
AHP	Analitik Hiyerarşik Proses
AUC	Area of Under the Curve
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
CTI	Compound Topographical Index
CP	Conditional Probability
DA	Diskriminant Analizi
DPT	Devlet Planlana Teşkilatı
DMİ	Düzce Meteoroloji İstasyonu
EMDAT	Emergency Events Database
EKK	En Küçük Kareler
FAO	Food and Agriculture Organization
FR	Frekans Ratio
GIS	Geographical Information Systems
GPS	Global Positioning System
ha	Hektar
IAEG	International Association of Engineering Geology
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
LDA	Lineer Discriminant Analysis
LIDAR	Light Detection and Range
LR	Lojistik Regresyon
LS	Lenght Slope
LRM	Likelihood Ratio Method
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
MTA	Maden Tetkik Arama
NDVI	Normalized Difference Vegetaion Index
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OWA	Ordered Weighted Avarage
PCA	Principal Component Analysis
RECOFTC	The Center For People And Forests

RMSE	Root Mean Square Error
ROC	Relative Operating Curve
QDA	Quadratic Discriminant Analysis
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SCAI	Seed Cell Area Index
SCI	Science Citation Index
SINMAP	Stability Index Mapping
SPI	Stream Power Index
SVM	Support Vector Machine
TWI	Topographical Wetness Index
UCU	Unique Condition Units
UNDP	United Nations Disaster Protection
UNISDR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
USA	United States of America
UTM	Universal Transverse Mercator
WLC	Weighted Linear Combination
WI	Wetness Index

ÖZET

YIĞILCA ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ'NDE HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ YARDIMI İLE ÜRETİLMESİ VE ORMAN YOLLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Remzi EKER

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim AYDIN

Ocak 2013, 170 sayfa

Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü, Türkiye'de heyelanların en fazla görüldüğü Karadeniz Bölgesi'nin Batı bölümünde yer almaktadır. Alan 499 km² büyüklüğündedir. Alandaki en önemli yerleşim Yığılca (Düzce) ilçesidir. Alanda heyelanlar özellikle yerleşim ve ziraat alanlarına yakın alanlarda görülmektedir. Ayrıca alandaki yollar heyelan oluşumunu tetiklemekte ve meydana gelen heyelanlardan etkilenmektedir. Bu yüzden alana ait heyelan duyarlılık haritası, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı olarak oluşturulmuştur ve orman yolları açısından değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında temel altlık olan heyelan envanteri, yoğun arazi çalışması ile elde edilmiştir. Ayrıca, 2005 yılında MTA (Maden Tetkik Arama) tarafından üretilen 1/500000 ölçekli heyelan envanterinden de yararlanılmıştır. Alanda envanter çalışması ile 288 adet heyelan belirlenmiştir.

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde girdi parametre olarak, heyelan oluşumunda etkili olduğu arazi çalışmaları sırasında gözlenen sekiz parametre kullanılmıştır. Bu parametreler; arazi kullanımı, litoloji, yükselti, eğim, bakı, akarsuya uzaklık, yola uzaklık ve plan eğriseliktir. Heyelan duyarlılık haritası, sayısallaştırılan envanter haritası ve girdi parametreler kullanılarak Lojistik Regresyon (LR) yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen duyarlılık haritasının doğrulanmasında ROC (Relative Operating Curve) eğrisi altında kalan alan olan AUC (Area of Under the Curve) kullanılmıştır. Modelin AUC değeri 0,905 olarak elde edilmiştir. Üretilen harita, çok düşük (0-0,2), düşük (0,2-0,4), orta (0,4-0,6), yüksek (0,6-0,8) ve çok yüksek (0,8-1) olmak üzere beş duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Buna göre, 8439,9 ha alan çok düşük duyarlılık sınıfında, 20191,7 ha alan düşük duyarlılık sınıfında, 14211,6 ha alan orta duyarlılık sınıfında, 6659,0 ha alan yüksek duyarlılık sınıfında ve 371,8 ha alan çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.

Çalışma alanında yol ağı planına göre orman yolu, köy yolu ve karayolu olmak üzere 931,9 km (866,3 km'si inşa edilmiş) yol bulunmaktadır. Bu yolların heyelanlar açısından değerlendirilmesi amacıyla çakıştırma analizi yapılmıştır. Yapılan analize göre plandaki yolların 84,1 km'si çok düşük duyarlılık sınıfı üzerinde, 413,5 km'si düşük duyarlılık sınıfı üzerinde, 232,1 km'si orta duyarlılık sınıfı üzerinde, 174,6 km'si yüksek duyarlılık sınıfı üzerinde ve 22,7 km'si çok yüksek duyarlılık sınıfı üzerinde yer almaktadır. Yol ağı planında bulunan ancak henüz inşa edilmemiş yolların ise 25,2 km'si çok düşük duyarlılık sınıfında, 29,5 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 9,9 km'si orta duyarlılık sınıfında ve 1 km'si ise yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Çok

yüksek duyarlılık sınıfında ise bulunmamaktadır. Çalışma alanındaki yollar üzerindeki gerçek heyelan frekans değeri 0,42 ve genel heyelan frekans değeri 0,18'dir. Alanda gerçek yol-heyelan indeks değeri 0,10 olarak ve genel yol-heyelan indeks değeri 0,04 olarak belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Heyelan Duyarlılık Haritası, Lojistik Regresyon, Orman Yolları, Yiğilca

ABSTRACT

MAPPING LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND ITS EVALUATION FOR FOREST ROADS IN THE YIGILCA FOREST DIRECTORATE

Remzi EKER

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

January 2013, 170 pages

The Yığılca Forest Directorate is located in the Western Black Sea Region of Turkey, which has the highest occurrence of landslides in the country. The most important settlements in the 499-square-km study area are in Yığılca County of Düzce Province. Landslides are especially prevalent in areas near settlements and agricultural land. In addition, roads in the area trigger landslides and are generally affected by their occurrence. Thus, a landslide susceptibility map covering the study area has been generated based on the Geographical Information Systems (GIS) and evaluated in terms of forest roads. A landslide inventory based on susceptibility mapping was produced as a result of intensive fieldwork. In addition, a landslide inventory of the area created in 2005 by the MTA (Mineral Research and Exploration), scaled at 1/500000, was used for comparison. This inventory, generated through fieldwork, included 288 landslides.

Eight parameters that have been observed in fieldwork as being effective for landslide occurrence were used for mapping landslide susceptibility. These are: land use, lithology, elevation, slope, aspect, distance to streams, distance to roads and plan curvature. Using these eight parameters, a landslide susceptibility map was created, as well as a digitized inventory map using the Logistic Regression (LR) method. For validation, the AUC (Area Under the Curve), which is the area under the ROC (Relative Operating Curve), was used to create the susceptibility map. The AUC value of the model was 0.905. The resulting map included five susceptibility classifications: very low susceptibility (0-0.2), low susceptibility (0.2-0.4), moderate susceptibility (0.4-0.6), high susceptibility (0.6-0.8) and very high susceptibility (0.8-1). According to these criteria, an area of 8439.9 ha was located in the very low-susceptibility class, an area of 20191.7 ha in the low-susceptibility class, an area of 14211.6 ha in the moderate-susceptibility class, an area of 6659.0 ha in the high-susceptibility class, and an area of 371.8 ha in the very high-susceptibility class.

According to the road network plans, 931.9 km of roads, including forest roads, village roads and motorways, are to be found in the study area, 866.3 km of which have been constructed to date. An overlay analysis was made for evaluating these roads in terms of landslides. According to the results, of the roads in the network plan, 84.1 km were located over the very low-susceptibility areas, 413.5 km over the low-susceptibility areas, 232.1 km over the moderate-susceptibility areas, 174.6 km over the high-susceptibility areas, and 22.7 km over the very high-susceptibility areas. Of those roads which have not yet been constructed, 25.2 km are located over very low-susceptibility

class areas, 29.5 km over low-susceptibility areas, 9.9 km over moderate-susceptibility areas, and 1 km over high-susceptibility class areas. There are no planned roads over very high-susceptibility class areas. In the study area, real landslide frequency and general landslide frequency on the roads are 0.42 and 0.18, respectively. The real road-landslide index and the general road-landslide index in the area are 0.10 and 0.04, respectively.

Keywords: Geographical Information Systems, Landslide Susceptibility Map, Logistic Regression, Forest Roads, Yiğilca

EXTENDED ABSTRACT

MAPPING LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND ITS EVALUATION FOR FOREST ROADS IN THE YIGILCA FOREST DIRECTORATE

Remzi EKER

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

January 2013, 170 pages

1. INTRODUCTION

Landslides are among the significant natural disasters which affect human lives, causing deaths or injuries and crucial economic loss. A landslide is defined as “the perceptible downward sliding or falling of a relatively dry mass of earth, rock, or mixture of the two” by Sharpe (1938) in *Glossary of Geology and Related Sciences* from the American Geological Institute. There are several natural and human factors which trigger landslides. Roads in forested lands are included in such factors because they cause landslides during the construction stage as well as the usage stage. Coker and Fahey (1993) state that the total volume of material displaced over the 209 km road network in the Golden Downs and Motueka Forests was estimated to be 193000 m³; this is equivalent to 80 years of sediment yield from surface erosion. The occurrence of landslides renders roads unusable because the displaced material of a landslide can block the roads as well as destroy the road platform, resulting in serious maintenance costs. According to a study in Lao PDR, “in total between 50% and 80% of emergency repair works is spent on dealing with landslides and related effects. This equates approximately to an average landslide expenditure of between 1000 and 1500 US\$ per kilometre of road per year.” (Heam et al. 2007). In Turkey, the sum of 70 million Turkish Liras has been expended in the last ten years for emergency maintenance of 8,973 km of roads, although there is no information as to why this maintenance was required. Hence, especially in landslide-prone areas such the Black Sea Region of Turkey, landslide susceptibility evaluation is required for determining ideal road locations. In this study, a landslide susceptibility map for the Yığılca Forest Directorate was created, based on GIS using LR, and was evaluated in terms of forest roads.

2. MATERIAL AND METHODS

The Yiğilca Forest Directorate was selected as the study area because it is located in the landslide-prone Western Black Sea Region of Turkey. A landslide inventory was made by means of fieldwork in the area. Landslide locations were determined using a hand-held GPS (Global Positioning System) device. Landslide locations were traced to scale at 1/25000 on topographical maps, which were then digitized at the office-work stage and combined with a landslide inventory of the area created in 2005 by the MTA (Mineral Research and Exploration), scaled at 1/500000.

The LR method has been widely used to create landslide susceptibility maps in recent years because of the advantage that in LR the variables may be either continuous or discrete. In addition, LR relaxes strict assumptions of other multivariate statistical methods. A GIS-based LR analysis was made using the LOGISTIREC module of Idrisi Selva 17.0 GIS software. A landslide susceptibility map was then created using GIS-based LR with conditioning parameters and the landslide inventory. For validation, the AUC (area under the ROC) was used to create the susceptibility map. The resulting landslide susceptibility map was classified using five susceptibility categories: very low, low, moderate, high and very high.

Eight landslide conditioning parameters were selected for the landslide susceptibility mapping: land use, lithology, elevation, slope, aspect, distance to streams, distance to roads and plan curvature. Each parameter was classified and the landslide frequency ratio calculated for each of the parameter subclasses. All parameters and inventory maps were created using ArcGIS 10 GIS software.

An overlay analysis was made using the forest road network and the landslide susceptibility map. Real and general landslide frequency values were calculated using the landslide inventory and the forest roads. Real and general road-landslide index values were also calculated. These results were evaluated for five forest districts in the Yiğilca Forest Directorate.

3. FINDINGS

The landslide inventory, generated through fieldwork, included 288 landslides. Of the recorded landslides, 188 were rotational slides, 62 were flow, and 38 were translational

slides. The sizes of the landslides varied between 1140 and 1182391 m².

As the results of the LR models showed, all parameters had positive effects on landslide occurrence in the area. The pseudo R² statistic of the model was found to be 0.2544. This was satisfactory because when this value is >0.2, it shows a relatively good fit (Clark and Hosking 1986). The AUC value of the model was 0.905.

The resulting map included five susceptibility classifications: very low susceptibility (0-0.2), low susceptibility (0.2-0.4), moderate susceptibility (0.4-0.6), high susceptibility (0.6-0.8) and very high susceptibility (0.8-1). According to these criteria, 8439.9 ha were located in the very low-susceptibility class, 20191.7 ha in the low-susceptibility class, 14211.6 ha in the moderate-susceptibility class, 6659.0 ha in the high-susceptibility class, and 371.8 ha in the very high-susceptibility class.

In the study area, 95% of the settlement-land-use parameter was located in high- and very high-susceptibility class and 3.97% in low- and moderate-susceptibility areas. Of agricultural land, 56.41% was located in moderate-susceptibility areas, while 37.93% was located in high- and very high-susceptibility areas and 5.66% in low-susceptibility areas.

Of susceptibility class areas, 47.55% of moderate-susceptibility areas were mostly located in degraded forests, 59.08% of low-susceptibility areas were mostly located in mixed forest lands, 60.38% of low-susceptibility areas were mostly located in broad-leaved forest lands, 57.49% of low-susceptibility areas were mostly located in coniferous forest lands, and 63.96% of low-susceptibility areas were mostly located in open forest lands.

According to the road network plans, 931.9 km of roads, including forest roads, village roads and motorways, are to be found in the study area, 866.3 km of which have been constructed to date. An overlay analysis was made for evaluating these roads in terms of landslides. According to the analysis results, of the roads in the network plan, 84.1 km are located over the very low-susceptibility areas, 413.5 km over the low-susceptibility areas, 232.1 km over the moderate-susceptibility areas, 174.6 km over the high-susceptibility areas, and 22.7 km over the very high-susceptibility areas. Of those roads which have not yet been constructed, 25.2 km are to be located over very low-susceptibility areas, 29.5 km over low-susceptibility areas, 9.9 km over moderate-

susceptibility areas, and 1 km over high-susceptibility areas. There are no planned roads over very high-susceptibility areas. In the study area, the real landslide frequency and general landslide frequency on the roads are 0.42 and 0.18, respectively. The real road-landslide index and the general road-landslide index in the area are 0.10 and 0.04, respectively.

4. DISCUSSIONS AND RESULTS

In the area studied, most landslides are observed in agricultural land areas, in pyroclastic rock-andesite-basalt lithological units, in elevations of less than 750 m, in 15°-30° slopes, in west and northwest aspects (but landslide distributions are similar in aspects), in 0-150 m distances to streams, and in 0-200 m distances to roads. The landslide susceptibility map with eight parameters was satisfactorily created by LR with a value of 0.905 AUC. The pseudo R^2 value of the developed model was 0.2544, which fits with the eight parameters used in the LR. All parameters used in the LR affected the landslide occurrence positively.

The resulting map included five susceptibility classifications: very low susceptibility (0-0.2), low susceptibility (0.2-0.4), moderate susceptibility (0.4-0.6), high susceptibility (0.6-0.8) and very high susceptibility (0.8-1). According to these criteria, 8439.9 ha were located in very low-susceptibility class, 20191.7 ha in low-susceptibility class, 14211.6 ha in moderate-susceptibility class, 6659.0 ha in high-susceptibility class, and 371.8 ha in areas of the very high-susceptibility class.

According to the analysis results, of the roads in the network plan, 84.1 km were located over the very low-susceptibility areas, 413.5 km over the low-susceptibility areas, 232.1 km over the moderate-susceptibility areas, 174.6 km over the high-susceptibility areas, and 22.7 km over the very high-susceptibility areas. Of those roads which have not yet been constructed, 25.2 km are to be located over very low- susceptibility areas, 29.5 km over low-susceptibility areas, 9.9 km over moderate-susceptibility areas, and 1 km over high-susceptibility areas. There are no planned roads over very high-susceptibility areas. In the study area, real landslide frequency and general landslide frequency on the roads are 0.42 and 0.18, respectively. The real road-landslide index and the general road-landslide index in the area are 0.10 and 0.04, respectively. Roads in the study area are important causes of landslide occurrence and these landslides affect road quality and

usage directly because they can cause complete blockage of the roads and generate damage on the road platforms, thus requiring emergency maintenance. According to the real and general landslide frequency values of the study area, at least one landslide is seen in every 2.5 km of roads routes located a landslide, while one landslide is seen in every 5 km of all roads in the area. According to the real and general road-landslide index values, 10% of roads routes located a landslide are directly affected by at least one landslide, while 4% of all roads in the area are directly affected by landslides.

5. RECOMMENDATIONS

Forest roads are important infrastructures because they serve to enable technical forestry activities such as transportation of forest products, protection of forest lands, and forest planning. These technical activities can be realized only by sustaining the function of the roads. Hence, the landslide factor should be taken into account for road planning.

In forest road planning, the incorrect selection of road location is liable to create economic and ecological problems such as those resulting from landslides. For prevention of road-related problems in landslide-prone areas, landslide susceptibility maps should be used for road planning and construction.

Landslides contribute significantly to emergency road maintenance costs. In order to prevent landslide-caused damage on road platforms, the landslide factor should be taken into account, and landslide-susceptibility maps should be used as the base input in road planning and construction.

It was impossible to find data concerning the reasons for emergency road maintenance requirements. Such information was unavailable for this study. Determining the causes of road damage and archiving these data to be evaluated in scientific studies could prevent high road maintenance costs.

Because of the high wetness index, landslides occur frequently in valleys. Roads constructed in valleys also cause increased landslide occurrence. Construction of valley roads should be avoided as much as possible.

1. GİRİŞ

Afet "...etkilenen toplum ya da topluluğun kendi kaynaklarını kullanarak üstesinden gelebilme becerisini aşan ve topluluğun fonksiyonları üzerinde yaygın insan, malzeme, ekonomik ve çevresel kayıpları ve etkileri içeren ciddi bir yıkım..." olarak tanımlanmaktadır (UNISDR 2009). Bu afetler doğal süreç ve olgular olarak ortaya çıkıyorlarsa doğal afetler olarak tanımlanırlar. Doğal afetler küresel, ulusal ve yerel ölçekte atmosferik, jeolojik ve hidrolojik orijinli olarak meydana gelmektedirler (Sorenson ve diğ. 2006). Doğal afetler gelişiminin her döneminde doğanın bütünleşik bir parçası olmuştur ve varoluşundan beri insanoğlu bu olgularla karşı karşıya kalmaktadır. Umulmadık bir anda fark edilebilir bir düzen olmadan ortaya çıkarak doğa üzerinde silinmez izler bırakırlar. Doğal çevrenin değişiminde de önemli rol oynarlar (Kötter 2003).

İnsanların, nüfus artışıyla birlikte doğal çevre üzerindeki tahribatları artmıştır. Buna paralel olarak, küresel çevredeki değişimlerden kaynaklı doğal afetlerin sayı, frekans ve büyüklüklerinde artış meydana gelmektedir. 2004 yılı Dünya Afetler Raporuna göre geçen on yılda, doğal afetlerde yaklaşık % 65 oranında artış meydana gelmiştir (Maginnis ve Elliot 2005). Yerel seviyede küçük ölçekli afetlerin gözden kaçırıldığını, ancak daha nadir meydana gelen büyük afetlere göre daha fazla etkilere sahip olduğunu belirten Sorenson ve diğ. (2006), 1950'den bu yana meydana gelen en yıkıcı 20 doğal afetin çoğunun son on yıl boyunca meydana geldiğini ifade etmektedir.

Mevcut koşulların bu türlü hızlı değişimlerinden, insan nüfusunun büyük şehirlerde yoğunlaşmış olmasından (Kötter 2003) ve doğal afetlerin olağanüstü şekilde hem frekanslarının, karmaşıklıklarının ve kapsamlarının hem de yıkıcı etkilerinin artmasından dolayı (Sorensen ve diğ. 2006), günümüz toplumları, doğal afetlere karşı her zamankinden daha çok zarar görebilir hale gelmişlerdir. UNDP 2004 Küresel Raporunda, Dünya nüfusunun yaklaşık % 75'nin, 1980-2000 yılları arasındaki depremler, tropik fırtınalar, taşkın ve kuraklıktan etkilenen alanlarda yaşadığı ifade edilmektedir. Doğal afetlerden, 1994-2003 yılları arasında küresel ölçekte yılda 255 milyondan fazla insan etkilenmiştir (Guha-Sapir ve diğ. 2004).

Jeolojik özellikleri, topoğrafik yapısı ile iklim özellikleri nedeniyle Türkiye'de de hem can kayıplarının yaşanmasına neden olan hem de önemli ekonomik zararlar ortaya

çıkaran doğal afetler ile karşı karşıya kalınmaktadır (Özmen ve diğ. 2005). Nitekim sadece depremler yüzünden 1950-2008 döneminde yaklaşık 32000 insan hayatını kaybetmiştir (Gökçe ve diğ. 2008). Son 60 yıllık istatistiklere bakıldığında; doğal afetlerin Türkiye’de neden olduğu doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıpların, Gayri Safi Milli Hasılanın % 3-4’ü oranında olduğu görülmektedir (Gökçe ve diğ. 2008).

Yeryüzü değişiminin bir parçası olan heyelanlar da toplumlar üzerinde yıkıcı etkiye sahip olan ve aslında herkesi yakından ilgilendiren doğal afetlerden birisidir. Heyelan olgusu, insanların yaşamsal faaliyetlerini etkilemediği sürece aşındırıcı ve yıpratıcı doğal bir süreç olarak kabul edilmektedir (Akgün 2007). İki zıt süreç, içsel gelişim ve dışsal aşındırma, yeryüzünün yüzey formlarını şekillendirmektedir (Bauer 1999). Heyelanlar, genellikle depremler, ani kar erimeleri ve yoğun yağışlar ile tetiklenmektedir. Depremden sonra dakikalar içerisinde, kar erimesiyle saat ve günler sonra, şiddetli yağışlar ile gün ve haftalar sonra oluşabilmektedir (Malamud ve diğ. 2004). Türkiye’de, depremlerden sonra en çok can ve mal kaybının ortaya çıkmasına neden olan doğal afetlerden birisi heyelanlardır ve başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere birçok bölgede görülebilmektedir (Gökçe ve diğ. 2008).

Çevresel bozulmalar ve değişimler, hem doğal afetlerin oluşumu hem de sonuçları üzerindeki etkilerinden dolayı artarak önem kazanmaktadır. Örneğin, çeşitli taşkın ve heyelan olayları, ormanların tahrip edilmesiyle yakından ilgilidir. Satendra (2001), Hindistan’da bugün ormanların beş kat daha fazla baskıya sahip olduklarını belirterek, ormansızlaşmanın erozyon, heyelan, taşkın, kuraklık ve çölleşme gibi felakete neden olan afetlerin yoğunluk ve sıklıklarını artırdığına dikkat çekmektedir. Stabil olmayan zonlardaki tıraşlanmış alanlarda, ormanlık alanlara göre 2,8 kat ve yol bulunan alanlarda ise 30 kat daha fazla heyelan görülmektedir (Swanson ve Dyrness 1975). Hidrolojik ve jeomorfik yapıda önemli değişikliklere neden olan (Dutton ve diğ. 2005) ormancılık yönetim faaliyetleri, özellikle tıraşlama uygulamaları ve yol inşası, heyelanların meydana gelme sıklığını artırmaktadır (Swanson ve Dyrness 1975). Orman yollarının geçtikleri yamaçlar üzerinde neden oldukları olumsuz etkiler birçok çalışmada ortaya konmuştur. Orman yolları içinde buldukları doğal sistem için, hem yapım aşamasında hem de kullanım sürecinde, çeşitli aktüel ve potansiyel riskler oluştururlar. İnşası ekolojik sisteme müdahale anlamına gelen (Görçelioğlu 2004) yeni inşa edilecek bir kilometrelik orman yolu için, 0,6-1 ha orman alanı direkt olarak açılmakta ve

meşcerenin yaşına bağlı olarak 400-3500 adet ağaç kesilmektedir (Arıca ve diğ. 2010). İnşa edilen yollar, alanda derin ve sığ heyelanları ortaya çıkarabilmekte veya daha önce meydana gelmiş heyelanları yeniden aktif hale getirebilmektedir (Siddle 1985). Yeni Zelanda'da yapılan bir çalışmada, dört adet fırtına esnasında oluşan, yol kaynaklı heyelanlar yüzünden yer değiştiren kütle hacminin, doğal süreçler ile oluşan yüzey erozyonu ile 80 yılda gerçekleşeceği vurgulanmaktadır (Coker ve Fahey 1993). Başka bir çalışmada, yolların inşa edildiği alanlarda, doğal alanlara göre 25 ile 350 kat fazla heyelan meydana geldiği sonucu bulunmuştur (Allison ve diğ. 2004). Ayrıca, meydana gelen heyelanların yollar üzerinde de olumsuz etkileri olmaktadır. Lao Demokratik Halk Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen çalışmada, yollara inşalarından sonra uygulanan acil bakım çalışmalarının % 50-80'inin heyelanlar ve etkilerinden kaynaklandığı, ayrıca ortaya çıkan heyelan temizleme ve hasar giderme çalışmalarının kilometre başına 1000-1500 US\$ maliyete eşit olduğu bulunmuştur (Heam ve diğ. 2007). Türkiye'de ise, son 10 yılda (2002-2011), 9873 km orman yolu büyük onarıma tabi tutulmuş ve yaklaşık olarak 70 milyon TL bütçe ayrılmıştır (OGM 2012). Üretim işlerinin planlanması, orman ürünlerinin üretimi, bölmeden çıkarma ve nakliyat gibi ormancılık çalışmaları sınırlı ekonomik kaynaklar ile gerçekleştirilmek zorundadır. Bundan dolayı, orman yollarının orman ekosistemi üzerindeki olumsuz etkilerinin belirlenerek, çevreye en az zarar veren yol güzergâhının tespit edilmesi, hem üretimde verimliliğin artırılması hem de ormancılık faaliyetlerinde sürdürülebilirliğin sağlanması için gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'nün heyelan duyarlılık haritası CBS tabanlı olarak, LR yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çalışmanın arazi aşamasında heyelan envanteri oluşturulmuştur. Heyelan envanteri toplamda 288 adet heyelan içermektedir. Çalışmada, heyelanları hazırlayıcı parametrelerden; arazi kullanımı, litoloji, yükselti, eğim, bakı, yola uzaklık, akarsuya uzaklık, plan eğrisellik kullanılmıştır. LR analizinin gerçekleştirilmesiyle alana ilişkin regresyon denklemi elde edilmiştir. Üretilen duyarlılık haritasının doğrulanmasında AUC değeri kullanılmıştır. Alana ilişkin duyarlılık haritası oluşturulduktan sonra, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş farklı duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Daha sonra üretilen duyarlılık haritası, orman yol ağı ile karşılaştırılarak orman yolları açısından değerlendirme yapılmıştır.

1.1. LİTERATÜR ÖZETİ

Akgün ve diğ. (2008), Türkiye'nin heyelan açısından en duyarlı bölgesi Karadeniz'de yer alan, Fındıklı (Rize) için heyelan duyarlılık haritalarını LRM (Likelihood Ratio Method) ve ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyon (Weighted Linear Combination = WLC) yöntemlerini kullanarak üretmişlerdir. Çalışmalarında, 1983 ve 1995 yılları için 119 adet heyelan içeren envanter haritası oluşturmuşlardır. Heyelanların tamamı dönel kayma olarak sınıflandırılmıştır. Jeolojik, topoğrafik ve çevresel olarak üç kategoriye ayırdıkları altı girdi parametre kullanarak duyarlılık analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu parametreler; eğim, bakı, drenaj ağına uzaklık, yola uzaklık, litoloji ve arazi örtüsüdür. Çalışmada, heyelan duyarlılıkları beş kategoriye ayrılmıştır. WLC yöntemi ile üretilen haritada, yüksek duyarlı olarak sınıflandırılan alanlar, LRM yönteminden daha fazla alan kaplamaktadır. Çalışma alanındaki heyelan zonlarının, WLC yöntemi ile belirlenen duyarlılık sınıflarıyla, LRM yöntemi ile belirlenene göre daha uyumlu olduğu ortaya konmuştur.

Akgün ve Bulut (2007), heyelan duyarlılık haritasını Arsin-Yomra (Trabzon) Bölgesi için ürettikleri çalışmalarında, LR yöntemi ve ağırlıklandırılmış doğrusal istatistik (WLC) yöntemi kullanmışlardır. Çalışma alanına ait duyarlılık haritalarının üretilmesinde; eğim, bakı, akarsuya uzaklık, yola uzaklık ve litoloji girdi katman olarak kullanılmıştır. Alana ait envanter haritası 13 heyelan içermektedir ve geliştirilen modellerin doğrulanması amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar, her iki yöntemle göre de alanın % 60'dan fazlasının, heyelan tehdidi altında olduğunu göstermektedir. Her iki yöntemle üretilen haritalarda, heyelan zonlarının % 47,4'ü yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfına düşmektedir. Ancak, WLC yöntemi ile üretilen haritaya göre, düşük duyarlılık sınıfına hiçbir aktif heyelan düşmezken, LR yöntemi ile üretilen haritada, bu heyelanların % 7,69'unun düşük duyarlılık sınıfına düştüğü belirlenmiştir.

Akgün ve Türk (2010) çalışmalarında, Ayvalık için duyarlılık haritasını çok ölçütlü karar analizi yöntemiyle üretmişlerdir. Çalışma alanına ait envanter haritası hava fotoğrafları ve uydu görüntülerini yorumlama ve arazi çalışmaları ile elde edilmiştir. Toplamda 45 heyelan tespit edilmiştir. Analizde girdi parametre olarak; eğim, bakı, litoloji, kayaların ayrışma durumu, akarsu güç indeksi, topoğrafik ıslaklık indeksi, akarsuya uzaklık, yüzey hattı yoğunluğu, arazi örtüsü ve vejetasyon yoğunluğu kullanılmıştır. Bu parametreler, bulanık mantık ile standartlaştırıldıktan sonra, analize

dâhil edilmiştir. Parametrelerin ağırlık değerleri elde edildikten sonra, kombine edilmeleri ile duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre; alanın % 54,2'si çok düşük duyarlı iken yaklaşık olarak % 0,45'i çok yüksek duyarlı olarak tespit edilmiştir.

Akgün (2011), İzmir ve çevresi için heyelan duyarlılık haritalarını, LR, Benzerlik Oranı Yöntemi (LRM) ve Çoklu Kriter Karar Analizi Yöntemi (Multi Criteria Decision Analysis =MCDA) kullanarak oluşturmuştur. Beş duyarlılık sınıfına (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) sahip haritaların oluşturulmasında, girdi parametre olarak; litoloji, eğim, bakı, faylara uzaklık, drenaj ağlarına uzaklık ve yollara uzaklık katmanlarını kullanılmıştır. Arazi çalışmalarıyla, 30 adet heyelan içeren envanter haritası oluşturmuştur. Bu üç yöntemin karşılaştırıldığı çalışmada, oluşturan haritaları doğrulamak amacıyla AUC ve Seed Cell Area Index (SCAI) yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışmada, LR yöntemiyle oluşturulan duyarlılık haritasının, diğer iki yöntemden daha doğru olduğu ve LRM yönteminin de MCDA yönteminden daha doğru olduğu sonucu bulunmuştur. LR ve LRM yöntemiyle üretilen haritaların benzer olduğu ancak duyarlılık açısından aynı benzerliği göstermediği ifade edilmiştir.

Akıncı ve diğ. (2010) çalışmalarında, Samsun il merkezi için heyelan duyarlılık haritasını, FR modeli ile oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25000 ölçekli sayısal envanter haritasını kullanmışlardır. Analiz için 30 heyelan kullanılmış ve modelin doğrulanması amacıyla ise 16 adet heyelan ayrılmıştır. Modelin oluşturulması amacıyla girdi parametre olarak; eğim, bakı, yükselti, yola uzaklık, akarsuya uzaklık, eğrisellik, plan eğrisellik, profil eğrisellik ve formasyon katmanları kullanılmıştır. Mevcut heyelanların % 38,2'sinin çok yüksek, % 53,1'nin yüksek duyarlı bölgede kaldığı görülmüştür. Kontrol amaçlı ayrılan heyelanların ise % 14,2'sinin çok yüksek, % 58,7'sinin yüksek duyarlı sınıfta yer aldığı sonucu bulunmuştur. Sonuç olarak, heyelanların % 72,9'unun çok yüksek ve yüksek duyarlı sınıflar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Baeza ve diğ. (2010) çalışmalarında, sığ heyelanlar için heyelan duyarlılık haritalarını LR ve diskriminant analizi (DA) ile İspaya'nın Doğu Preneleleri için üretmişlerdir. Modelde girdi parametre olarak; yükselti, eğim, bakı, profil eğrisellik, plan eğrisellik, güneş radyasyonu, litoloji, ortalama havza açısı, sinüsoid eğim, birikme uzunluğu, arazi kullanımı ve yüzeysel birikme kalınlığı katmanları seçilmiştir. Ancak modellerde

yükselti, ortalama havza açısı, sinüsoid eğim, bakı, yüzeysel birikme kalınlığı parametreleri kullanılmıştır. Geliştirilen modellerden LR modeli, gözlenen heyelanların % 84,8'ini tahmin edebilirken, DA ise % 92,2'sini tahmin etmiştir.

Bai ve diğ. (2008) çalışmalarında, Çin'in kuzeybatısındaki Bailongjiang Nehri üzerindeki üç alt havza için heyelan duyarlılık haritasını LR yöntemi ile üretmişlerdir. LR analizi, girdi parametrelere çoklu doğrusal bağlantı analizi yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. İstatistik olarak önemli olarak belirlenen Fay hattına uzaklık, akarsuya uzaklık, günlük ortalama yağış, litofasiyesler, arazi örtüsü ve bakı parametreleri kullanılmıştır. Modelin toplam doğruluğu % 84 olarak hesaplanmıştır.

Bai ve diğ. (2010) çalışmalarında, Çin'de bulunan Three Gorges alanının Zhongxian kısmı (yamaçlarında 2500'den fazla stabilite sorunu olduğu ifade edilmektedir) için, heyelan duyarlılık haritasını LR yöntemi ile üretmişlerdir. Çalışmada, 1/20000 ölçekli hava fotoğrafları yorumlanarak ve arazi çalışmaları ile kontrol edilerek envanter haritası oluşturulmuştur. Toplam 142 heyelan belirlenmiştir. Çalışmada; yükselti, bakı, eğim, arazi örtüsü, petrofabrik tipi, plan eğrisellik, toprak tipi ve akarsuya uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Geliştirilen modelin tahmin doğruluğu % 84 olarak hesaplanmıştır.

Bai ve diğ. (2011) çalışmalarında, Çin'in kuzey sahilinde ve Jiangsu Bölgesinin kuzey doğusunda yer alan, Lianyungang için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi ile üretmişlerdir. Sayısal arazi modeli ve sayısal ortofoto haritanın (1/2000 ölçekli) yorumlanması ile envanter haritası oluşturulmuştur. Envanter, toplam 88 heyelan içermektedir. Çalışmada, girdi parametre olarak; eğim, bakı, yükselti, fay hattına uzaklık, petrofabrik tipi, yola uzaklık, yapıya uzaklık, akarsuya uzaklık, plan eğrisellik, profil eğrisellik, sediment taşınım kapasitesi indeksi, SPI (Stream Power Index=Akarsu Güç İndeksi) ve TWI (Topographical Wetness Index= Topografik Nemlilik İndeksi) belirlenmiştir. Parametrelere çoklu doğrusal bağlantı analizi yapılarak aralarında kuvvetli ilişki olanlar modele dahil edilmemiştir. Modele eğim, fay hattına uzaklık, yola uzaklık, akarsuya uzaklık parametreleri dâhil edilmiştir. Geliştirilen modelin toplam tahmin doğruluğu % 87,59 olarak hesaplanmıştır.

Can ve diğ. (2005) çalışmalarında, Agustu, Eğercive Kelemen (Zonguldak) isimli üç farklı havza için, LR yöntemi ile sığ toprak akması için duyarlılık haritası üretmişlerdir.

Çalışmada kullanılan parametreler; jeoloji, orman örtüsü, eğim, bakı ve plan eğrisellik katmanlarıdır. Toprak akmalarının diğer heyelanlara göre alansal büyüklükleri küçük olduğu için, LR yöntemi ile analizinin zor olduğunu ifade etmektedirler. Bu zorluğun üstesinden gelmek için tek koşul birimleri (unique condition units=UCU) haritası üretmişlerdir. UCU haritaları, tematik haritaların sıralı bindirilmesi yolu ile üretilmektedir. Haritaların herbirinin bindirilmesi adımından sonra, 625 m² (25x25) piksel değerinden küçük olan poligonlara çözümüleme (dissolving) işlemi uygulanmaktadır. Bu şekilde Agustu, Eğerci ve Kelemen havzaları için sırasıyla 4052, 13241 ve 12341 adet UCU elde edilmiştir. Üretilen duyarlılık haritalarına göre, Agustu havzasının % 15'i, Eğerci havzasının % 8'i ve Kelemen Havzasının % 7'si çok yüksek duyarlı sınıfta yer aldığı belirlenmiştir.

Chang ve diğ. (2007), Hoshe havzası (Tayvan) için depremler ve fırtınaların (tayfun) neden olduğu heyelanların değerlendirilmesine yönelik duyarlılık haritalarını, LR yöntemi ile oluşturmuşlardır. 21 Kasım 1999'da meydana gelen Chi-Chi depreminin neden olduğu heyelanlar ile 1996-2005 yılları arasında meydana gelen dört büyük tayfunun neden olduğu heyelanlar dikkate alınmıştır. Modeli geliştirmek için kullanılan 12 parametrenin 8 tanesi (yükselti, eğim, bakı, fay hattına uzaklık, akarsuya uzaklık, sırtlara uzaklık, NDVI ve TWI) numerik, 4 tanesi (yüzey şekli, litoloji, alt havza büyüklüğü ve yol tamponu) kategoriktir. Veri analizinde kullanılan parametrelerin çözünürlükleri, sayısal arazi modelinin çözünürlüğüne bağlı olarak 40 m olarak belirlenmiştir. Tayfun kaynaklı heyelanların, akarsulara daha yakın alanlarda meydana geldiği görülürken, depremin tetiklediği heyelanların sırt çizgilerine yakın alanlarda görüldüğü tespit edilmiştir.

Chau ve Chan (2005) çalışmalarında, Hong Kong adası için heyelan duyarlılık haritalarını, LR yöntemi ile üretmişlerdir. Alana ilişkin heyelan envanteri, Jeoteknik Mühendislik Ofisi tarafından yıllık yayınlanan "Hong Kong yağışları ve heyelanlar" başlıklı rapordan yararlanarak elde edilmiştir. Hong Kong'a ait 1982-2002 yılları arasında kayıt edilen 7726 heyelanın, 1834 tanesi bu adada meydana geldiğinden, bu heyelanlar analizde kullanılmıştır. Çalışmada, modelin geliştirilmesinde; jeoloji, eğim, bakı ve yükselti parametreleri kullanılmıştır. Çalışma alanı, güney ve kuzey kısım olarak iki bölüme ayrılmış ve geliştirilen modeller karşılaştırılmıştır. Ayrıca tüm alan içinde duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılığı 0,5 ve üzeri olan alanlar, kuzeye

ait verilere dayanarak geliştirilen modelde, kuzeyde 13,93 km², güneyde 24,17 km² ve güneye ait verilere dayanarak geliştirilen modelde, kuzeyde 9,76 km², güneyde 16,01 km² olarak tespit edilmiştir. Tüm alana ait verilere dayanarak geliştirilen modelde ise kuzeyde 12,68 km² ve güneyde 19,90 km² olarak tespit edilmiştir.

Chauhan ve diğ. (2010) çalışmalarında, UA (Uzaktan Algılama) ve CBS tabanlı heyelan duyarlılık haritalarını, LR yöntemi ile Garhwal Himalayaları'nın Chamoli Bölgesi için üretmişlerdir. Çalışmada, girdi parametre olarak; eğim, bakı, rölyef, arazi kullanımı/örtüsü, litoloji, yüzey hattı (lineament) ve drenaj yoğunluğu katmanları kullanılmıştır. Heyelan envanteri ve çeşitli katmanların oluşturulmasında uzaktan algılama (IRS PAN (1999), IRS LISS-III (2001), IRS LISS-IV (2008)) verileri ve CBS kullanılmıştır. Geliştirilen modele göre, alanın % 4,88'i çok yüksek duyarlı sınıfa düşerken, % 37,4'ü çok düşük duyarlı sınıfta yer almıştır.

Chitu ve diğ. (2009) çalışmalarında, Prahova Alt Karpatyan Bölgesi (Romanya) için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi ile üretmişlerdir. Çalışmada kullanılan heyelan envanteri 156 adet heyelan içermektedir. Modelin oluşturulması için gerekli olan gerekli parametreler, temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis= PCA) uygulanarak sayısı indirgindikten sonra, üç farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin ROC değerleri benzer olarak belirlenmiştir (0,739-0,750).

Çevik ve Topal (2003), Hendek yakınında meydana gelen heyelandan dolayı hasar gören doğalgaz boru hattının yeni güzergâhının belirlenmesi gündeme geldiğinden, boru hattının 60. ve 83. kilometreleri arasındaki problemlili bölge için heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Çalışmaya konu alanda, heyelan envanter haritasını 1/25000 ölçekli topoğrafik haritadan yararlanarak oluşturmuşlardır. Envanter haritası 120 heyelandan oluşmaktadır. Duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için litoloji, eğim, bakı, yükselti, arazi kullanımı, derelere uzaklık, drenaj yoğunluğu ve fay hattına uzaklık parametrelerinden yararlanmışlardır. Heyelan duyarlılık analizlerini ikili istatistik yöntem olan istatistiki indeks (Wi) ve ağırlıklandırılmış faktör (Wf) yöntemlerini kullanarak oluşturmuşlardır. Wf yönteminin Wi yöntemine göre daha uygun sonuç verdiği ve tercih edilebileceği ifade edilmiştir.

Dahal ve diğ. (2008) çalışmalarında, Shikoku'daki (Japonya) iki küçük havza için heyelan duyarlılık haritasını, CBS tabanlı kanıtın ağırlıkları (weights of evidence)

modeli ile oluşturmuşlardır. Çalışmada, her iki havza için heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Bu haritalar 343 heyelan içermektedir. Çalışmada, ağırlıklandırılacak parametreler olarak; eğim, bakı, rölyef, akış toplanma (flow accumulation), toprak derinliği, toprak tipi, arazi kullanımı ve yola uzaklık katmanları kullanılmıştır. Çalışma alanına ait üç farklı (tüm durum, A durumu ve B durumu olmak üzere) duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Tüm durum için yapılan modellemede, tüm parametreler kullanılmıştır. A durumu için eğim, akış toplanma, toprak tipi ve toprak derinliği kullanılırken, B durumu için eğim, akış toplanma, toprak tipi, toprak derinliği, rölyef ve arazi kullanımı katmanları kullanılmıştır. Tüm durum için, Moriyuki Havzası'nda üretilen duyarlılık haritasının maksimum tahmin doğruluğu % 80,7 iken Monnyu Havzası'nda % 77,6'dır.

Dai ve Lee (2002) çalışmalarında, Hong Kong Lantau adası için duyarlılık haritasını, çoklu LR yöntemi ile oluşturmuşlardır. Çalışmada, girdi parametre olarak; litoloji, arazi kullanımı, drenaj hattına uzaklık, eğim, yükselti, bakı, yamaç şekli katmanları kullanılmıştır. Oluşturulan modelin uyum oranı % 81,7'dir ve mevcut heyelanların % 85,2'si doğru tahmin edilmiştir.

Dai ve diğ. (2001) çalışmalarında, Lantau Adası (Hong Kong) için heyelan duyarlılık haritasını, LR modeli ile üretmişlerdir. Çalışmada, envanter haritası ile birlikte litoloji, eğim, bakı, yükselti, vejetasyon örtüsü ve akarsuya olan uzaklık parametre olarak kullanılmıştır. Oluşturulan harita, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Alanın % 41,8'i çok düşük duyarlılık sınıfında yer alırken % 13,1'i çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almıştır.

Dai ve diğ. (2004) çalışmalarında, Lantau Adası (Hong Kong) için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi ile oluşturmuşlardır. Çalışmada, heyelana neden olan faktörler durağan (quasistatic) ve dinamik olarak kategorize edilmiştir. Çalışmada kullanılan durağan değişkenler eğim, bakı, yükselti, yamaç şekli, topografik indeks, litoloji, vejetasyon ve alana katkıda bulunan üst yamaçlar olarak seçilmiştir. Dinamik değişken olarak ise yağış parametresi seçilmiştir. 24 saatlik maksimum yağış değerlerini elde etmek için Mayıs 1982, Haziran 1983, Temmuz 1992 ve Kasım 1993 fırtınalarına ait eş yağış eğrisi haritaları enterpole edilerek grid katmanları oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, yağış verisinin 10, 20, 50 ve 100 yıllık tekerrürlerine karşılık gelen değerlerine bağlı olarak dört farklı duyarlılık haritası elde edilmiştir.

Ercanoğlu (2005) çalışmasında, Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan 879 km²'lik alan için heyelan duyarlılık haritasını, yapay sinir ağları (artificial neural networks=ANN) kullanarak oluşturmuştur. Heyelan envanter haritası, yoğun arazi çalışması ile görsel yorumlama ve hava fotoğrafı yorumlama ile oluşturulmuştur. Tespit edilen 317 heyelanın; 79 tanesi dönel kayma, 133 tanesi toprak akması ve 11 tanesi de ötelenmeli kaymadır. Çalışmada heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirmek için eğim, topoğrafik şekil, bakı, ıslaklık indeksi, yükselti ve NDVI parametreleri kullanılmıştır. Ortalama Karekök Hata (Root Mean Square Error=RMSE) değerine bakılarak doğrulanan modelin doğruluğu % 86,3 olarak belirlenmiştir.

Ercanoğlu ve Temiz (2011), Azdavay (Kastamonu) için heyelan duyarlılık haritalarını, LR ve bulanık yaklaşım ile üretmişlerdir. Bulanık yaklaşımda, bulanık ve, veya, cebirsel çarpım, cebirsel toplam ve gamma işlemcilerini kullanmışlardır. Bu yöntemleri kullanarak 18 farklı duyarlılık haritası ürettikleri çalışmalarında, girdi parametre olarak yükselti, litoloji, arazi kullanımı, eğim, bakı ve derelere uzaklık katmanlarını kullanmışlardır. Yoğun arazi çalışması ile ürettikleri heyelan envanter haritası 96 heyelanı içermektedir. Oluşturulan duyarlılık haritalarının doğrulanması için ROC ve cosine amplitude (r_{ij}) yöntemi kullanılmıştır. Bulanık gamma işlemci ile üretilen duyarlılık haritası, 0,975 ile en iyi performansı göstermiştir.

Ercanoğlu ve diğ. (2008), Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan çalışma alanına (Bartın İlinin 35 km güneydoğusunda yer almakta ve 879,2 km²'dir.) ait heyelan duyarlılık haritasını, uzman görüşlerini dikkate alan AHP tekniği ile üretmişler ve daha önce Ercanoğlu (2005) tarafından, aynı alan için üretilen duyarlılık haritası ile karşılaştırmışlardır. Girdi parametre olarak; eğim, bakı, yükselti, topoğrafik şekil, ıslaklık indeksi (Wetness Index=WI) ve NDVI kullanılmıştır. Ercanoğlu (2005) tarafından üretilen duyarlılık haritasına göre alanın % 26,5'i heyelana duyarlı olarak sınıflandırılırken, bu çalışmada alanın % 25,6'sı çok yüksek ve yüksek duyarlılık sınıfında yer almıştır. Ayrıca bu çalışmada, genel olarak daha yüksek r_{ij} değerleri elde edilmiştir.

Erener ve Düzgün (2011) çalışmalarında, Kumluca (Bartın) Havzasına ait duyarlılık haritalarını, LR ve konumsal (spatial) regresyon yöntemlerini kullanarak grid tabanlı ve yamaç birim tabanlı olarak oluşturmuşlardır. Girdi parametre olarak heyelan envanteri ile birlikte; yükselti, eğim, bakı, eğrisellik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, TWI, NDVI,

yola uzaklık, derelere uzaklık, yol yoğunluğu, dere yoğunluğu, fay hattına uzaklık, litoloji, toprak tipleri, arazi kullanımı, toprak derinliği ve erozyon katmanları kullanılmıştır. Konumsal regresyon yöntemi ile elde edilen haritaların, hem grid tabanlı hem de yamaç birim tabanlı olarak, LR yöntemine göre daha tatmin edici olduğu tespit edilmiştir.

Falasci ve diğ. (2009), İtalya'nın Serchio Nehri vadisinde bulunan çalışma alanına ilişkin heyelan duyarlılık haritalarını, koşul analizi ve LR ile yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak oluşturmuşlardır. Alana ait envanter haritası 492 heyelan içermektedir. Çalışmada, girdi parametre olarak; eğim, arazi örtüsü, derelere uzaklık, fay hattına uzaklık ve litoloji kullanılmıştır. LR yönteminin başarısı % 81 iken ANN yönteminin başarısı % 85 olarak bulunmuştur.

Garcia-Rodriguez ve diğ. (2008), El Salvador da deprem kaynaklı heyelanların duyarlılık analizini, CBS tabanlı olarak LR yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, eğim, yükselti, bakı, yıllık ortalama yağış, litoloji, arazi kullanımı ve yüzey pürüzlülüğü girdi parametre olarak değerlendirilmiştir. Model 0,980 ROC değeri ile çok iyi tahmin kapasitesi ortaya koymuştur.

Gorsevski ve diğ. (2006) çalışmalarında, Idaho'nun kuzeyindeki Rocky Dağları'nın Batı yamaçlarında yer alan CNF (Clearwater National Forest) için yol kaynaklı ve yol kaynaklı olmayan heyelanların incelenmesi amacıyla, heyelan duyarlılık haritalarını bulanık mantık ve AHP entegrasyonu ile üretmişlerdir. Çalışmada, bulanık mantık yaklaşımı ile heyelana neden olan değişkenler standartlaştırılmış ve AHP yönteminin ikili karşılaştırmalar yaklaşımı ile değişkenlerin göreceli ağırlıkları tespit edilmiştir. Bunların ardından, heyelan duyarlılık haritaları WLC ve OWA (Ordered Weighted Average) kullanılarak oluşturulmuştur. Alana ait envanter haritası 865 heyelan içermektedir. Heyelanların % 55'i yol kaynaklı olup % 45'i ise yol kaynaklı değildir. Çalışmada, yükselti, eğim, profil eğrisellik, tanjant eğrisellik, ıslaklık indeksi ve bileşik topoğrafik indeks (Compound Topographic Index =CTI) girdi parametre olarak kullanılmıştır.

Gökçeoğlu ve diğ. (2005), Kuzulu (Sivas) ve yakın çevresi için heyelan duyarlılık haritasını, koşullu olasılık yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. Bunun için envanter haritası oluşturmuşlar ve parametre olarak; jeoloji, eğim, bakı, yükselti, TWI ve SPI

katmanları kullanılmıştır. Çalışmada, inaktif heyelanlar ile aktif heyelanlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İnaktif heyelanların % 94,22'si ve aktif heyelanların % 85,38'i yüksek duyarlılık sınıfında yer almıştır.

Greco ve diğ. (2007), Aspromonte Bölgesi (İtalya) için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi ile üretmişlerdir. Çalışmada, yükselti, eğim, bakı, plan eğrisellik, profil eğrisellik, litoloji, arazi kullanımı girdi katmanları olarak seçilmiştir. Kayma ve Moloz çığları için ayrı ayrı oluşturulan modellerin RMSE ve Ki-Kare değerleri sırasıyla 0,191 ve 84,241 ile 0,092 ve 19,589 olarak bulunmuştur.

Kıncal ve diğ. (2009), İzmir ve yakın çevresi için heyelan duyarlılık haritasını (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak beş sınıfa ayırmışlardır), LR yöntemi ile üretmişlerdir. Çalışma alanı için oluşturdukları heyelan envanter haritası 30 adet heyelan içermektedir. Heyelanların 10 adedini alanın güneyinde ve 7 adedini alanın kuzeyinde meydana gelenler olarak iki sınıfa ayırmışlar ve geriye kalanları modeli doğrulamak amacıyla kullanmışlardır. Üretilen duyarlılık haritasının doğrulanmasında, SCAI yaklaşımlarını kullanmışlardır. Heyelan duyarlılık analizi için jeolojik, topografik ve çevresel olmak üzere üç kategoride altında; litoloji, eğim, bakı, yola uzaklık, drenaj ağına uzaklık ve faylara uzaklık parametrelerini kullanmışlardır. Üretilen duyarlılık haritasının iyi performans gösterdiği ve risk azaltma çalışmalarında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Lee (2004) çalışmasında, heyelan duyarlılık haritalarını, benzerlik oranı ve LR modellerini uygulayarak oluşturmuştur. Çalışma alanı olarak seçilen Janghung (Kore) bölgesine ait envanter haritası, IRS uydu görüntüsü yorumlanarak ve arazi çalışması ile oluşturulmuştur. Çalışmada, girdi parametre olarak; eğim, bakı, eğrisellik, topografya şekli, toprak tekstürü, toprak materyali, toprak drenajı, etkili toprak kalınlığı, orman tipi, ağaç çapı, ağaç yaşı, orman yoğunluğu ve arazi kullanımı katmanları kullanılmıştır. Oluşturulan modellerin doğrulanması envanter kullanılarak yapılmıştır. Duyarlılık haritası benzerlik oranı yöntemi ile oluşturulduğunda, yüksek duyarlılık sınıfı heyelanların % 45'ini, LR ile oluşturulduğunda ise % 61'ini doğru tahmin etmiştir.

Lee (2005) çalışmasında, heyelan duyarlılık analizini, FR ve LR yöntemini kullanarak Penang (Malezya) için üretmiştir. Alana ait envanter haritası hava fotoğrafları yorumlanarak ve arazi çalışması ile elde edilmiştir. Modelin oluşturulmasında

kullanılan parametreler; eğim, bakı, eğrisellik, akarsuya uzaklık, litoloji, yapıya uzaklık, arazi kullanımı ve NDVI katmanlarıdır. Alana ait envanter haritası toplam 541 heyelan içermektedir. LR modelinin tahmin doğruluğu % 78,6 iken FR modelinin tahmin doğruluğu % 71,1'tir.

Mathew ve diğ. (2009) çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritasını, ikili LR yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışma alanı olan Garhwal Lesser Himalayalarına (Hindistan) ait envanter haritası toplam 253 heyelandan oluşmaktadır. Çalışmada, girdi parametre olarak; litoloji, fay hattına uzaklık, yapıya uzaklık, jeolojik yapıların yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, eğim, bakı, rölyef, arazi kullanımı, yola uzaklık, yerleşime uzaklık katmanları kullanılmıştır. Model, % 86,8 tahmin doğruluğu ile çalışmıştır.

Nefeslioğlu ve diğ. (2008), tektonik Kelkit Vadisinin bir kısmı için heyelan duyarlılık haritasını, ikili LR yöntemi ile oluşturmuşlardır. 1/20000 ve 1/35000 ölçekli hava fotoğrafları yorumlanarak ve arazide kontrol edilerek 50 adet heyelan içeren heyelan envanteri oluşturulmuştur. Duyarlılık haritaları, oluşturulan "a seti", "b seti", "c seti" ve "d seti" olmak üzere dört farklı veri setinden yararlanarak elde edilmiştir. "a" ve "b" setleri yalnızca topoğrafik parametreler (yükselti, eğim, bakı, plan eğrisellik, profileğrisellik, SPI, TWI ve sediment taşıma kapasitesi indeksi (Sediment Transport Capacity Index=LS) ile sırasıyla heyelan gövdesinden ve kök hücrelerden (Seed Cell) rastgele seçilen % 50'lik öğrenme verisinden oluşmaktadır. Diğer "c" ve "d" veri setleri de topoğrafik ve jeolojik (6 farklı sınıfta oluşturulan kukla litoloji değişkenleridir) parametreleri ile sırasıyla heyelan gövdesinden ve kök hücrelerden rastgele seçilen % 50'lik öğrenme verisinden oluşmaktadır. LR analizi sonucunda, heyelan varlığını doğru sınıflandırma yüzdeleri "a" seti için % 71,1, "b" seti için % 65,5, "c" seti için % 72,9 ve "d" set için % 76,5 bulunmuştur. "a", "c" ve "d" setlerinin doğru sınıflandırma yüzdeleri ve RMSE değerleri birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Buradan yalnızca topoğrafik parametreleri ile kök hücrelerin % 50'sini içerdiği "b" veri setinin ise yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır.

Nefeslioğlu ve diğ. (2010) çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritasını, karar ağacı yöntemi ile İstanbul'un metropoliten bir alanı için üretmişlerdir. MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan envanter haritasını kullandıkları çalışmalarında, girdi parametre olarak; yükselti, eğim, plan eğrisellik, profil eğrisellik, ısı yükü (heat load),

SPI kullanılmıştır. Microsoft Server 2008 Analysis Services yazılımı kullanarak gerçekleştirdikleri analiz ile ürettikleri duyarlılık haritasını, aynı alanda çalışan Duman ve diğ. (2006) tarafından LR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritası ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada üretilen haritanın, Duman ve diğ. (2006) tarafından üretilen haritalardan daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Ohlmacher ve Davis (2003) çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi kullanarak Atchison (Kansas, USA) için oluşturmuşlardır. Çalışmada, bağımsız değişken olarak; eğim ve jeoloji katmanları (alüvyon, lös, birikinti (drift), kireç taşı ve şist) kullanılmıştır. Eğim ve modelin sabiti istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Ki-kare testi, jeoloji parametresinin de önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Özdemir (2009), Gelendost (Isparta) ilçesinde 19 Şubat 2007 tarihinde meydana gelen Yaka heyelanı yakın çevresinin duyarlılık haritasını, koşullu olasılık (CP) yöntemi kullanılarak üretmiştir. Çalışmada, girdi parametre olarak; SPI, TWI, litoloji, yükselti, eğim ve bakı kullanılmıştır. Sonuçta, 8704 adet pikselin ağırlıkları elde edilmiştir. Duyarlılık haritası, % 0-70 olasılık sınıfı (düşük duyarlılık), % 70-85 olasılık sınıfı (orta duyarlılık) ve % 85-100 olasılık sınıfı (yüksek duyarlılık) şeklinde kategorize etmek suretiyle oluşturulmuştur.

Pantha ve diğ. (2008) çalışmalarında, Nepal’de yer alan Printhvi ve Mugling-Narayanghat otoyolunun 53,2 km’lik kısmı boyunca yolun meydana gelen stabilite bozukluklarını ortaya koymak amacıyla, heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirmişlerdir. Heyelan duyarlılık analizi bu çalışmada, ikili istatistik yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, alana ait envanter haritası (277 adet heyelan içermektedir) oluşturulduktan sonra heyelana neden olduğu düşünülen parametreler olarak; eğim, bakı, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, derelere uzaklık, yola uzaklık ve litoloji katmanları kullanılmıştır. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre, otoyola yakın alanların yüksek duyarlılık gösterdiği ortaya konmuştur. Çalışmada, çok düşük duyarlılık sınıfında heyelan yoğunluğu % 1,3 iken çok yüksek duyarlılık sınıfında % 35,7 olarak tespit edilmiştir.

Pradhan (2010a) çalışmasında, Penang Adası, Cameron Dağlık Bölgesi ve Selangor alanları için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi ile üretmişlerdir. Çalışmada, girdi parametre olarak; eğim, bakı, eğrisellik, akarsuya uzaklık, litoloji, arazi örtüsü, NDVI,

yağış ve yapıya uzaklık (distance to lineaments) katmanları kullanılmıştır. Çalışmada, envanter için Penang Adasında 579, Cameron Dağlık bölgesinde 405 ve Selangor'da 409 adet heyelan tespit edilmiştir. Her bir alana ait parametrelerden yararlanarak oluşturulan model, diğer bölgelere uygulanmak suretiyle dokuz farklı duyarlılık haritası elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizin sonuçları, her üç bölgenin parametreleri kullanılmak suretiyle oluşturularak, her bir bölge için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Penang Adası temelli üretilen modelin AUC değeri 0,8662, Cameron Dağlık bölgesi temel alınarak oluşturulan modelinki 0,8206 ve Selangor bölgesi temel alınarak yapılan modelinki de 0,7975 olarak Penang için tespit edilmiştir. Diğer bölgelerde benzer sonuçlar çıkmıştır. Ancak, en yüksek AUC değeri Selangor bölgesi temel alınarak kurulan modelde hesaplanmıştır (0,9456).

Pradhan (2010b) çalışmasında, Cameron Havzası (Malezya) için heyelan duyarlılık haritalarını, FR, Bulanık mantık ve çok değişkenli LR yöntemi ile üreterek sonuçları karşılaştırmışlardır. Envanter haritası hava fotoğrafları, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları ile oluşturulmuştur. Envanter haritası 324 heyelan içermektedir. Çalışmada, parametre olarak; eğim, bakı, eğrisellik, akarsuya uzaklık, litoloji, arazi örtüsü, toprak tipi, yapıya uzaklık (distance to lineaments), NDVI ve yağış katmanları kullanılmıştır. Çalışmada, FR modelinin % 89 doğru tahmin oranı ile diğer modellerden daha iyi tahmin ettiği tespit edilmiştir. Bulanık modelin doğruluğu % 84 iken LR modelinin doğruluğu % 85 olarak belirlenmiştir. Bulanık modelde “gamma” işlemci % 84 doğruluk değeri ile en iyi tahmini yaparken “or” işlemci % 69 ile en kötü tahmini gerçekleştirmiştir.

Rossi ve diğ. (2010) çalışmalarında, heyelan duyarlılık analizini doğrusal diskriminant analizi (LDA), ikinci dereceden diskriminant analizi (QDA), LR ve yapay sinir ağı yöntemlerini kullanarak Umbria (İtalya) için gerçekleştirmişlerdir. Alanda, 1941 öncesi ve 1996 yılları arasında meydana gelen 2455 sığ kütle hareketinin, 1759 tanesi eğitim, 696 tanesi doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Çalışmada, 51 bağımsız değişken kullanılmıştır. Bunların; 24 tanesi morfolojik, 6 tanesi hidrolojik, 9 tanesi litolojik, 8 tanesi arazi kullanımı ile ilgili ve bir tanesi çok eski stabil kısmen erozyona uğramış heyelanları gösteren değişkendir.

Süzen ve Doyuran (2004) çalışmalarında, Asarsuyu Havzası (Düzce) için heyelan duyarlılık analizini, çok değişkenli istatistik ve ikili istatistik yöntemleri kullanarak

gerçekleştirmişler ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada, 13 farklı değişken kullanılmıştır. Bunlar; litoloji, fay hattına uzaklık, fay yoğunluğu, yükselti, akarsuya uzaklık, drenaj yoğunluğu, bakı, eğim, yapıya uzaklık, yola ve elektrik hattına uzaklık, arazi örtüsü ve E-5 otoyoluna uzaklık katmanlarıdır. Çalışmada, modellerin her ikisi de kök hücre olarak isimlendirilen örnekleme tekniği ile geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin karşılaştırılmasında SCAI kullanılmıştır. SCAI değerleri açısından çok değişkenli istatistik yöntemin daha küçük değere sahip olduğu belirlenmiştir. Sadece çok düşük duyarlılık sınıfında ikili istatistik tekniği daha iyi sonuç vermiştir. Düşük ve yüksek duyarlılık sınıflarında çok değişkenli istatistik yöntem daha iyi sonuç vermiştir. Çok yüksek duyarlılık sınıfında her iki yöntemin değerleri birbirine yakın olsa da çok değişkenli istatistik yöntem daha iyi sonuç vermiştir.

Süzen ve Kaya (2011), Asarsuyu Havzası (Düzce) için heyelan duyarlılık haritasını, LR modeli ile üretmişlerdir. Duyarlılık analizinde, 20 farklı parametreyi haritalayarak kullanmışlardır. Çalışmalarının amacı, seçilen parametrelerin istatistiksel önemlerini belirleyerek, tutarlılıklarını literatür ile karşılaştırmaktır. 1952, 1972, 1984 ve 1994 dönemlerine ait 1/10000 ve 1/35000 arasında değişen ölçeklerde hava fotoğraflarından yararlanarak oluşturdukları envanter haritası 49 adet heyelandan oluşmaktadır. Ayrıca çalışmalarında, 1986-2003 yılları arasında yayınlanan 145 makaleyi inceleyerek kullanılan parametrelerin yüzdelerini ortaya çıkarmışlardır. Buna göre, bu döneme ait gerçekleştirilen çalışmalarda, eğim, litoloji ve bakı parametrelerinin tüm yazarlar tarafından kullanıldığını ve arazi kullanımı/arazi örtüsü, drenaj ağı ve bakının ise yazarların % 60'ından fazlasının kullandığını ifade etmektedirler. Çalışmalarında kullandıkları parametreler; litoloji, fay hattına uzaklık, fay yoğunluğu, akarsuya uzaklık, drenaj yoğunluğu, sırtlara uzaklık, bakı, eğim, yakınsama-ıraksama indeksi, eğrisellik, LS (Length Slope) faktör (USLE), plan eğrisellik, profileğrisellik, SPI, TWI, yapısal birimlere uzaklık, elektrik hatları ve yollara uzaklık, E-5 otoyoluna uzaklık ve arazi örtüsüdür. LR modeli, rastgele örneklenen 4400 heyelansız piksel ile 4400 kök hücre pikselinden yararlanarak oluşturulmuştur. Parametrelerin önem skorlarına göre modelin başarısını artırmaya yönelik bazı parametrelerin çıkarılması ile altı farklı model geliştirilmiştir. Modellerde parametrelerin tamamı kullanılmamıştır. Modellerin tamamında litoloji, fay hattına uzaklık, fay yoğunluğu, sırtlara uzaklık, eğim, yakınsama indeksi, elektrik ve yol ağına uzaklık, E-5 otoyoluna uzaklık ve arazi örtüsü

parametreleri kullanılırken, LS faktör bir modelde yükselti ise dört modelde kullanılmamıştır. Geliştirilen modellerin tamamı % 80'in üzerinde başarıya sahiptir.

Tangestani (2009) çalışmasında, İran'ın güneybatısındaki Zagros Dağlarındaki bir havza için heyelan duyarlılık haritalarını, Dempster-Shafer ve bulanık model kullanarak geliştirmişlerdir. Çalışmada; litoloji, eğim, bakı, arazi örtüsü ve toprak derinliği girdi parametre olarak kullanılmıştır. 1/40000 ölçekli siyah beyaz hava fotoğraflarının yorumlanması ile 11 adet heyelan tanımlanmış ve bunlar modellerin doğrulanması amacıyla kullanılmıştır.

Tunusluoğlu ve diğ. (2008) çalışmalarında, Barla, Beşparmak ve Kapı Dağları için potansiyel moloz akması meydana gelen alanları, LR tekniği ile belirlemişlerdir. Alan üzerindeki moloz akması sahaları, 1956 ve 1991 tarihli siyah beyaz hava fotoğrafları yorumlanarak tespit edilmiştir. Elde edilen alanlar arazi çalışmaları ile doğrulanmıştır. Çalışmada, modelin oluşturulması için kullanılan parametreler; yükselti, eğim, bakı, plan eğrisellik, profil eğrisellik, SPI ve sediment taşınım kapasitesidir. Oluşturulan beş farklı eğitim setine bağlı olarak beş model geliştirilmiştir. Oluşturulan modellerin doğruluk yüzdesi 93,8 ve 94,3 arasında değişmektedir. Modellerin AUC değerleri 0,961 ve 0,965 arasında değişmiştir.

Vahidnia ve diğ. (2010), İran'ın Alborz Dağları'ndaki Mazandaran Bölgesi için duyarlılık haritalarını, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını kombine ettikleri neuro-fuzzy yöntemi ile üretmişlerdir. Modellemede, girdi parametre olarak; litoloji, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, fay hattına uzaklık, eğim, bakı, eğrisellik katmanlarını kullanmışlardır. Alana ait envanter haritası 151 heyelandan oluşmaktadır. Oluşturdukları duyarlılık haritasına göre; alanın % 46,6'sı çok yüksek duyarlı sınıfta yer almaktadır. Modelin toplam doğruluk değeri % 90,5 olarak bulunmuştur.

Van Den Eeckhaut ve diğ. (2006) çalışmalarında, Flemish Ardenleri (Belçika) için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemi ile üretmişlerdir. Çalışma alanına ait heyelan envanter haritası, detaylı arazi çalışması ve LIDAR (Light Detection and Range) verisinden türetilen gölgeli kabartma (Hillshade) sayısal arazi modelinin (5m çözünürlüklü) analizi ile oluşturulmuştur. Çalışmada, girdi parametre olarak; yükselti, heyelan öncesi eğim, bakı, profil eğrisellik, plan eğrisellik, litoloji, toprak drenajı, akarsuya uzaklık, fay hattına uzaklık ve katkıda bulunan üst yamaçlar kullanılmıştır.

Çalışmada üç farklı model geliştirilmiştir. Bunlar: 1) tek değişkenli model (yalnızca heyelan öncesi eğim girdi olarak kullanılmıştır.), 2) çok değişkenli model 1 (heyelan öncesi eğim, tielt oluşumu (Tt), Kortrijk Formation Aalbeke Member (KoAa) ve Kortrijk Formation Moen Member (KoMo) girdi olarak kullanılmıştır) ve 3) çok değişkenli model 2 (yükselti, kuzeydoğu bakı (NE), doğu bakı (E), güneydoğu bakı (SE), tielt oluşumu (Tt), Kortrijk Formation Aalbeke Member (KoAa) ve Kortrijk Formation Moen Member (KoMo) ve Islak Toprak (wet) girdi olarak kullanılmıştır) olarak belirlenmiştir. Modellerin ROC değerleri sırasıyla 0,972, 0,983 ve 0,819 olarak bulunmuştur.

Van Den Eeckhaut ve diğ. (2010), duyarlılık haritasını, LR ile elde etmişlerdir. Çalışmada, Avrupa'da heyelan tehlike ve risk noktalarının tanımlanması ile ilgili AB-FP7 SafeLand projesi ile gerçekleştirilen ortak çalışma sonucu elde edilen envanter kullanılmıştır. Girdi parametre olarak; eğim, eğimin standart sapması, jeoloji (materyal tipi: 12 sınıf), jeoloji (yaş: 9 sınıf), toprak tipi, arazi kullanımı ve göller kullanılmıştır. Geliştirilen modelin ROC değeri 0,888 olarak bulunmuştur.

Vijith ve Madhau (2008) çalışmalarında, Batı Ghats, Keralai Hindistan için heyelan duyarlılık haritasını, FR yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, heyelan envanter haritasını topoğrafik haritaların incelenmesi ve yoğun arazi incelemesi sonucu oluşturmuşlardır. Girdi parametre olarak; eğim, bakı, eğrisellik, yamaç uzunluğu, akarsuya uzaklık, fay hattına uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı kullanılmıştır. Modelin doğrulanması için kullanılan AUC değerinin tatmin edici olduğu ifade edilmiştir. Modelin başarı oranı % 84,46 iken modelin tahmin oranı % 82,38 olarak hesaplanmıştır.

Wang ve Sassa (2005) çalışmalarında, Minamata (Japonya) Bölgesi için heyelan duyarlılık haritasını, LR yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, 160 heyelandan oluşan envanter haritasını kullanmışlardır. Envanter haritası 1999 ve 2002'de çekilmiş hava fotoğraflarının yorumlanması ile oluşturulmuştur. Çalışmada girdi parametre olarak; litoloji, arazi kullanımı, yükselti, eğim, bakı ve toprak birikintisi (soil deposit) katmanları kullanılmıştır. Ayrıca heyelan duyarlılık haritası, bilgi değeri modeli (information value model) kullanılarak oluşturulmuştur. Modeller karşılaştırıldığında LR yöntemi ile heyelanların % 76,8'i doğru tahmin edilirken, bilgi değeri modelinde ise % 71'i doğru tahmin edilmiştir.

Yeşilnacar ve Topal (2005) çalışmalarında, Hendek Bölgesi için heyelan duyarlılık haritalarını, orta ölçekli olarak, LR ve yapay sinir ağları yöntemleri ile üretmişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Alana ait envanter haritası 112 adet heyelan içermektedir. Duyarlılık haritalarının oluşturulmasında girdi parametre olarak; bakı, akarsuya uzaklık, fay hattına uzaklık, sırtlara uzaklık, yola uzaklık, drenaj yoğunluğu, yükselti, fay yoğunluğu, jeoloji, arazi örtüsü, plan eğrisellik, profil eğrisellik, yol yoğunluğu, eğim, yamaç uzunluğu, SPI, TWI ve alt havza katmanları kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde, yüksek ve çok yüksek duyarlılıkta kalan alanlar, LR ile üretilen haritada % 31,97 iken yapay sinir ağları ile üretilen haritada % 17,88 olarak bulunmuştur. LR yöntemi ile üretilen haritada heyelanların % 73,61'i yüksek ve çok yüksek sınıfta iken yapay sinir ağları ile üretilen haritada % 80,42'si bu sınıfta kalmıştır. Lojistik modelin AUC değeri 0,76 iken yapay sinir ağı modelinin 0,89 olarak bulunmuştur.

Yılmaz (2009a) çalışmasında, Kat (Tokat) Bölgesi için heyelan duyarlılık haritalama yöntemlerinden FR, LR ve yapay sinir ağları kullanımını karşılaştırmıştır. Çalışmada girdi parametre olarak; litoloji, yükselti, eğim, bakı, SPI, TWI, fay hattına uzaklık ve akarsuya uzaklık katmanları kullanılmıştır. Oluşturulan haritaların doğruluk dereceleri nispeten benzer olan çalışmada, AUC değerleri 0,826 (FR), 0,842 (LR) ve 0,852 (ANN) olarak bulunmuştur.

Yılmaz (2009b) Koyulhisar (Sivas)'ta yaptığı çalışmasında, heyelan duyarlılık haritalama yöntemlerinden, koşullu olasılık, LR, yapay sinir ağları ve SVM (Support Vector Machine) yöntemlerini karşılaştırmıştır. Girdi parametre olarak; litoloji, NDVI, eğim, bakı, yükselti, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, yapıya uzaklık, TWI ve SPI kullanılmıştır. Kullanılan tüm yöntemlerin küçük farklılıklarla birlikte benzer doğruluk derecesi gösterdiği çalışmada, SVM ve yapay sinir ağları ile oluşturulan haritalar daha gerçekçi sonuçlar sağlamıştır.

Yılmaz ve Keskin (2009), Şebinkarahisar'ın (Giresun) Avutmuş Bölgesi'nde heyelan duyarlılık haritalarını, FR ve stabilite indeks haritalama (Stability INdex MAPping=SINMAP) yöntemlerini kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışma alanına ait heyelan envanteri (21 dönül kayma ve 12 akma olmak üzere 33 heyelan içermektedir) oluşturulmuştur. FR yöntemi ile duyarlılık analizi için; eğim, bakı, yükselti, derelere uzaklık, yola uzaklık, fay hattına uzaklık, TWI ve NDVI parametreleri kullanılmıştır. FR modelinde duyarlılık; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere

beş sınıfa ayrılmıştır. Yaptıkları çalışmada en gerçekçi sonuçlar FR modeli ile elde edilmiştir.

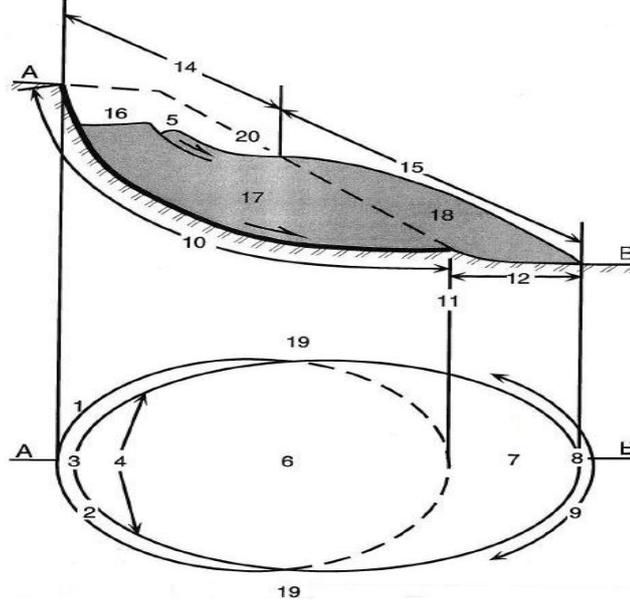
Yılmaz (2010) çalışmasında, heyelan duyarlılık haritalamada heyelan envanteri açısından örnekleme stratejilerinin etkilerini karşılaştırmıştır. Koşullu olasılık ve yapay sinir ağları modellerini kullandığı çalışmasını, Şebinkarahisar (Giresun) için gerçekleştirmiştir. Çalışmada modellerin oluşturulmasında temel olan heyelan envanter haritası 96 heyelan içermektedir. Çalışmada girdi parametre olarak; eğim, bakı, yükselti, fay hattına uzaklık, akarsuya uzaklık, NDVI, TWI, SPI ve litoloji kullanılmıştır. Çalışmada, modelleri oluştururken kullanılan örnekleme stratejisi kök hücre örnekleme, iz (scarp) örnekleme ve nokta (point) örnekleme kullanılmıştır. Her iki yöntem ve üç örnekleme stratejisine bağlı olarak altı duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Çalışmada, her iki model ile oluşturulan duyarlılık haritaları yüksek doğruluk göstermektedir. Ancak yapay sinir ağları ile üretilen haritanın diğerlerinden daha doğru sonuç sergilediği ortaya konmuştur.

Yılmaz ve diğ. (2011), heyelan duyarlılık haritalarını Devrek (Zonguldak) için ikili istatistik indeksi kullanarak oluşturmuşlardır. Duyarlılık sınıfları; çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört kategoridir. Kök hücre konseptine bağlı olarak veri kümelerini taç ve kanatlar için, sadece taç için ve sadece kanatlar için oluşturmuşlar ve her üç veri kümesi için duyarlılık haritasını oluşturup, SCAI yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Duyarlılık analizi için heyelan envanteri oluşturmuşlar (26 heyelan içermektedir) ve yükselti, eğim, bakı, plan eğrisellik, profil eğrisellik, derelere uzaklık, drenaj yoğunluğu, sırtlara olan uzaklık, yola ve elektrik ağına uzaklık, litoloji olmak üzere on parametreyi analiz için kullanmışlardır. Oluşturdukları üç veri kümesinin SCAI değerleri karşılaştırıldığında, sadece taç için oluşturulan veri kümesi ile elde edilen haritanın çok düşük, düşük ve yüksek duyarlılık sınıfları için en uygun olduğunu, ancak çok yüksek duyarlılık sınıfı için her ne kadar yakın SCAI değerleri olsa da kanatlar için oluşturulan veri kümesi ile elde edilen sonucun daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

1.2. HEYELAN KAVRAMI

Dünyanın neredeyse her bölgesinde meydana gelebilen heyelan, Amerikan Jeoloji Enstitüsü tarafından yayınlanmış olan *Jeoloji ve İlgili Bilimler Terimler Sözlüğü'nde*

(1957) “Nispeten kuru toprak, kaya kütesinin veya bunların karışımının yamaç aşağı doğru algılanabilir kayması ve düşmesi (Sharpe 1938)” olarak tanımlanmaktadır. Yine Cruden (1991) tarafından “kaya, toprak zemin veya molozların yamaç aşağı hareketi” şeklinde tanımlanmıştır. Heyelanın bölümleri (Şekil 1.1) ve heyelanın boyutları (Şekil 1.2) aşağıdaki gibi belirtilmiştir (Anonim 1993):

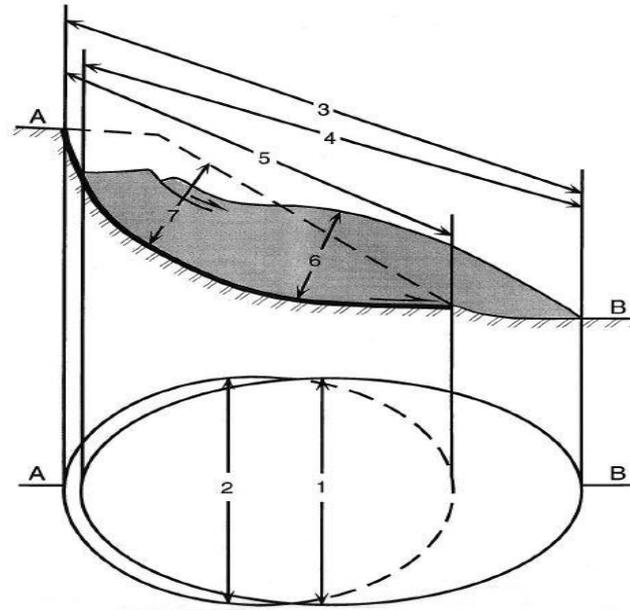


Şekil 1.1. Heyelanın bölümleri (Anonim 1993).

1. **Taç (Crown):** Ana şev en üst bölümündeki yer değiştirmemiş olan materyal kısmı olarak tanımlanmaktadır.
2. **Ana Ayna (Main Scarp):** Hareket eden materyalin yer değiştirmesi ile ortaya çıkan heyelan alanının üst kenarındaki dik zemin yüzeyidir.
3. **Tepe Noktası (Top):** Heyelanın Ana şev ve hareket eden materyal arasındaki yer alan en yüksek noktasıdır.
4. **Baş kısmı (Head):** Heyelanın Ana şev ve hareket eden materyal arasındaki temas yüzeyi boyunca bulunan üst kısımlarıdır.
5. **Küçük (İkincil) Aynalar (Minor Scarp):** Hareket eden materyal içindeki farklı hareketler sonucu oluşan heyelan kütesi üzerindeki dik yüzeylerdir.
6. **Ana Gövde (Main Body):** Heyelan topuğu ile ana şev arasında kırılan yüzey üzerine yığılan heyelanın kütesidir.
7. **Heyelan Ayağı (Foot):** Orijinal zemin üzerine yığılan ve kırılan yüzey topuğu arkasına hareket eden bölümdür.
8. **Heyelan Ucu (Tip):** Heyelanın yer değiştiren materyalinin ana şevden en uzak alt noktasıdır.
9. **Heyelan Topuğu (Toe):** Hareket eden materyalin daha alt sınırını oluşturan genellikle eğri, ana şevden en uzak bölümdür.
10. **Kırılma (Kayma) yüzeyi:** Orijinal zemin yüzeyinin altındaki hareket eden kütle alt sınırlarını oluşturan yüzeydir.
11. **Kayma Yüzeyi Topuğu:** Heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü ile orijinal zemin yüzeyinin kesişimi ile oluşan kısımdır.

12. **Ayrılma Yüzeyi:** Heyelan ayağı ile örtülen orijinal zemin yüzeyi kısmıdır.
13. **Yer değiştiren materyal*:** Yamaç üzerinde orijinal pozisyonundan uzaklaşarak ayrılıp heyelana neden olan materyaldir.
14. **Boşalma Zonu:** Orijinal zemin yüzeyi altında kalan yer değiştirmiş materyal içindeki heyelan alanıdır.
15. **Birikme Zonu:** Hareket eden materyalin orijinal zemin üzerinde biriktiği heyelan alanıdır.
16. **Boşalma:** Ana şev, Boşalan Materyal ve Orijinal zemin yüzeyi ile sınırlanan hacimdir.
17. **Boşalan Kütle:** Kırılma zonunu örten fakat orijinal zemin yüzeyi altında bulunan yer değiştiren materyal hacmidir.
18. **Birikme:** Orijinal zemin yüzeyi üzerinde yer alan yer değiştirmiş materyal hacmidir.
19. **Heyelan Kanadı (Flank):** Kırılma yüzeyinin kenarlarına birleşik yer değiştirmemiş materyaldir.
20. **Orijinal Zemin Yüzeyi:** Heyelan meydana gelmeden önce alan üzerinde hareket eden materyalin bulunduğu yüzey sınırıdır.

* Resimde taralı alan 13 numaralı maddeye karşılık gelmektedir.



Şekil 1.2. Heyelanın boyutları (Anonim 1993).

1. **Yer değiştiren kütlein genişliği, W_d :** Yer değiştiren kütlein uzunluğuna L_d dikey olan maksimum genişliktir.
2. **Kırılma yüzeyinin genişliği, W_r :** Kırılma yüzeyi uzunluğuna L_r dikey olan heyelanın kanatları arasındaki maksimum genişliktir.
3. **Toplam uzunluk, L :** Heyelanın ucundan taç kısmına ölçülen minimum mesafedir.
4. **Yer değiştiren kütlein uzunluğu, L_d :** Heyelanın ucundan tepe noktasına ölçülen minimum mesafedir.

5. **Kırılma yüzeyi uzunluğu, L_r :** Kırılma yüzeyi topuğundan taç kısmına ölçülen minimum mesafedir.
6. **Yer değiştiren kütle derinliği, D_d :** W_d ve L_d 'yi içeren düzleme dikey ölçülen yer değiştiren kütlelerin maksimum derinliğidir.
7. **Kırılma yüzeyi derinliği, D_r :** W_d ve L_d 'yi içeren düzleme dikey ölçülen orijinal zemin yüzeyi altındaki kırılma yüzeyinin maksimum derinliğidir.

Heyelanlar büyüklükleri, bir standart olmamakla birlikte referans sağlamak amacıyla Çizelge 1.1'deki gibi ifade edilmektedir.

Çizelge 1.1. Alansal büyüklükleri açısından heyelanların sınıflandırılması (Cornforth 2005).

Büyüklük Sınıfı	Alan (m ²)
Çok Küçük	< 200
Küçük	200 - 2 000
Orta	2 000 - 20 000
Büyük	20 000 - 200 000
Çok Büyük	200 000 - 2 000 000
Aşırı Büyük	> 2 000 000

Meydana gelen bir heyelanın oluşumunun tek bir nedene bağlanması neredeyse mümkün olmamaktadır. Çünkü doğal afetlerin oluşumu doğal veya insan kaynaklı, büyük ve karmaşık çevresel faktörler kümesi tarafından kontrol edilmektedir (Carrara ve diğ. 1999). Atalay ve Bekaroğlu (1973), bir heyelanın oluşumunun, ana kayanın oluşumuna yani fiziksel özelliklerinin belirlediği jeolojik devirlere dayandığını ve yer kabuğu hareketleri, erozyon, hava koşulları etkisiyle aşınma gibi daha sonraki olaylara bağlı olduğunu ifade etmektedir.

Yamaçlardaki stabilite bozukluklarının temel nedenleri, kayanın jeolojik yapısındaki ya da toprak oluşumuna bağlı olarak oluşan zayıflıklar, aşırı yağışlar, kar erimeleri ve taban suyu seviyelerindeki değişimler, depremler ve volkanik aktiviteler ile yamaçların doğal formunda değişiklikler meydana getiren mühendislik faaliyetlerinden kaynaklı yeni saha koşullarının oluşturulmasıdır (Anonim 2006). Bu etkenler doğal ve yapay etkenler olarak kategorize edilmektedir. Heyelana neden olan doğal etkenler yamaçlarda stabilite bozukluklarına neden olan insan etkisi olmadan, tamamen doğal süreçler sonucu ortaya çıkan etkenlerdir ve şu şekilde sıralanabilir (Anonim 2006):

- Yoğun yağışlar ya da kar kütlesinin erimesiyle taban suyu seviyesinde artış meydana gelmesi, buna bağlı olarak toprak direncinde azalma olması ve harekete meyilli olan kütlenin ağırlığında artışın olması
- Gelgit olayları yüzünden su seviyelerindeki dalgalanmalar
- Nehirlerde ve baraj havzalarında su seviyelerindeki azalmalar
- Erozyona neden olan yamaç üzerindeki akış hareketleri
- Akarsu ve nehirlerde suyun akışı, dalga hareketleri ile toprak kütlesinin yanıl destek ve topuk desteğinin kalkması
- Delta alanlarında gevşek sediment birikmesi
- Kayaların ayrışması
- Depremler ve volkanik aktivitelere bağlı olarak oluşan sarsıntılar

Heyelanlar, toprak ya da kaya materyalini yamaç aşağı harekete zorlayan kaydırıcı kuvvetler, bu materyallerin hareketini önleyen tutucu kuvvetlere eşit olduğunda ya da aştığında meydana gelmektedir. İnsan aktiviteleri, kaydırıcı kuvvetleri artırır veya tutucu kuvvetleri azaltıcı yönde olursa heyelan riski artmaktadır. Kaydırıcı kuvvetlerin artmasına, eğim açısını artıran çalışmalar, özellikle üst kısımları olmak üzere yamaca ağırlık (yük) ekleyecek yapılar yapmak neden olmaktadır. Tutucu kuvvetlerin azalmasına ise, sürtünme kuvvetinin azalmasına neden olan ve boşluk basıncının artıran su miktarındaki artış (tarımsal faaliyetler sonucu su rejiminin bozulması gibi), eğim açısının artırılması, bitki örtüsünün özellikle ağaçların ortadan kaldırılması (evaporasyonu düşürdüğü için topraktaki su miktarını artırmakta, kök direnci kaybolmaktadır) neden olmaktadır.

1.3. HEYELANLARIN SINIFLANDIRILMASI

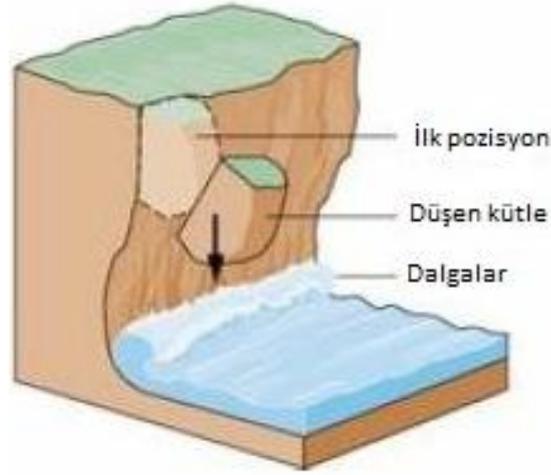
Oluş nedenleri ve şekilleri bakımından farklı özelliklere sahip heyelanlar, çeşitli şekillerde meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı, zemin cinsi, hareketin tipi ve nedenleri gibi çeşitli unsurlara bağlı olarak farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Günümüzde, en yaygın şekilde kullanılan sınıflandırma Varnes (1978) tarafından yapılan sınıflamadır (Dikau ve diğ. 1996). Yapılan sınıflandırmada (Çizelge 1.2) temel olarak heyelanlar altı farklı sınıfa ayrılmıştır.

Çizelge 1.2.“Kütle hareketlerinin sınıflandırılması (Varnes 1978)” (Dikau ve diğ. 1996)

Hareketin Tipi		Malzemenin Türü		
		Ana Kaya	İşlenmiş Toprak	
			Ağırlıklı Olarak Kaba	Ağırlıklı Olarak İnce
Düşme		Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak düşmesi
Devrilme		Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya Çökmesi	Moloz Çökmesi	Toprak Çökmesi
	Ötelenmeli	Kaya blok kayması	Moloz blok kayması	Toprak blok kayması
Yanal yayılma		Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
Akma		Kaya akması (Derin Krip)	Moloz akması	Toprak akması (Toprak Kripi)
Karmaşık		İki veya daha fazla temel kütle hareketlerinin kombinasyonu		

1.3.1. Düşme

Düşme, uçurum gibi dik yamaçlarda materyalin yerçekimi doğrultusunda serbest hareketi olarak tanımlanmıştır (Flageollet ve Weber 1996). Hareket eden kütlelerin hareketinin çoğu havada ya da boşlukta ve ani/hızlı olarak gerçekleşmektedir (Şekil 1.3). Düşmeler genel olarak kaya düşmesi, moloz düşmesi ve toprak düşmesi şeklinde ayrıt edilirler (Çizelge 1.2). Düşmeler çok yaygın olarak rastlanılan kütle hareketleridir. Kütleler düşme esnasında serbest düşme, sıçrama, sekme, yuvarlanma yahut bunların karışımı şeklinde hareket ederler. Düşme esnasında hareket eden ünitelerin birbirine etkisi ya hiç olmaz ya da çok az olur (Atalay ve Bekaroğlu 1973). Düşen materyaller, doğada tür ve büyüklüklerine göre değişirler. Tür açısından, ana kayadan dik yamaçtaki çakılla yahut buzultaşa veya malzeme türlerinin karışımı şeklinde olabilir, parçalı ve bloklar halinde ortaya çıkabilirler (Flageollet ve Weber 1996). Ayrıca kıyı uçurumlar, bir nehrin dik yamaçları, dağ yüzeyleri ve dik kayalıklar gibi çeşitli alanlarda meydana gelebilirler. Moloz ve toprak düşmeleri ana kayadan zaten ayrılmış halde bulunan materyallerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.3. Düşme (Anonim 2012a)

Düşme, farklı bilim adamları tarafından seçilen kriterlere bağlı olarak, farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Flageollet ve Weber (1996) uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırmanın Whalley (1984) ve Gellatly ve diğ. (1984) tarafından materyalin türü ve hacimlerine göre yapılmış olduğunu belirtmektedir. Yapılan sınıflandırma Çizelge 1.3’de gösterilmiştir.

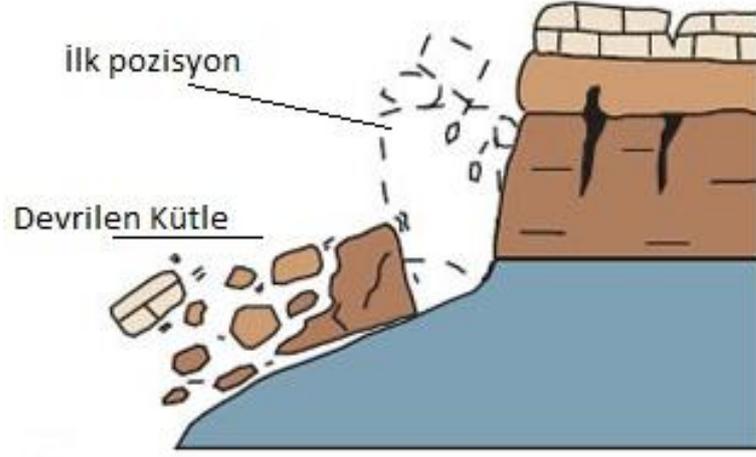
Çizelge 1.3. Hacimsel terimlere bağlı olarak düşmelerin sınıflandırılması (Flageollet ve Weber 1996)

Düşme Tipleri	Hacimleri	İzleri
Moloz düşmeleri	$<10 \text{ m}^3$	
Büyük kaya düşmeleri	$10-100 \text{ m}^3$	Genellikle birkaç parça büyük kaya
Blok düşmeler	$>100 \text{ m}^3$	Süreç boyunca parçalanabilen büyük bir blok
Falez düşmeler	10^4-10^6 m^3	
Kaya çığları (Bergsturz)	$>10^6 \text{ m}^3$	Önemli bir mesafeyi kat edebilen düşme, kayma veya çığ

1.3.2. Devrilme

Keskin bir düşüş veya kayma şeklinde olabilen devrilme (Şekil 1.4) bir kaya, moloz veya toprak kütesinin eğim ekseninden ileri doğru dönel hareketi ile duraysızlaşması olarak tanımlanır (Dikau ve diğ. 1996). Hareketin oluşumunun birincil tetikleyici nedeni, materyalin bir sütun şeklinde ana kayadan ayrılmasıdır. İkinci kontrol eden

parametre de yamacın yüksekliğidir. Tehlike, yüksek yamaçlarda alçak yamaçlara göre daha fazla olmaktadır. Çünkü hareketin hızı yamacın yüksekliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır. İklim ile devrilme arasındaki ilişkinin literatürde seyrek olarak açıklandığını ifade eden Dikau ve diğ. (1996) göre iklim tamamlayıcı faktördür.



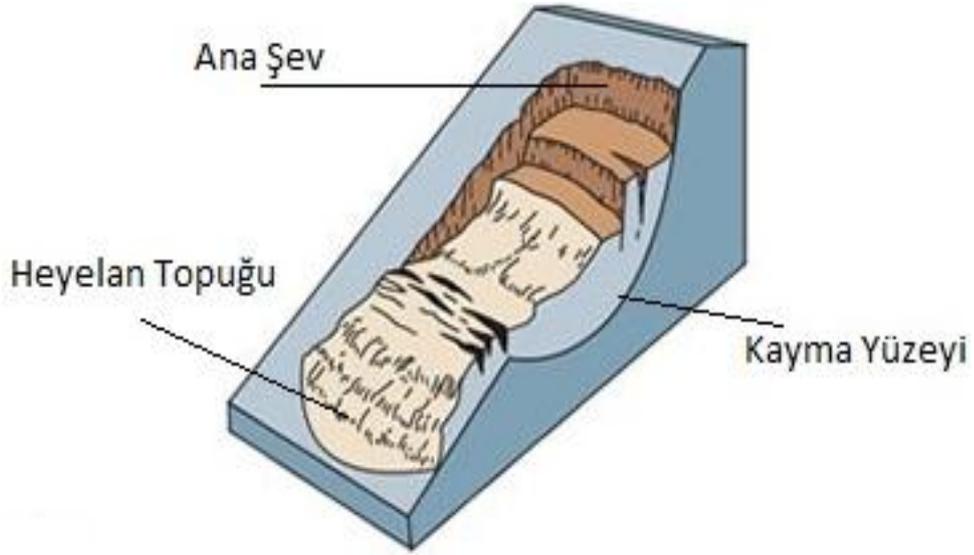
Şekil 1.4. Devrilme (Anonim 2012a)

Hareketin oluşumu, çökme olmadan yana yatma şeklinde olan bu kütle hareketleri, materyal içeriklerine veya oluşum şekillerine göre sınıflandırılır. Devrilmeler, diğer heyelan sınıfı olan düşmelerde olduğu gibi kaya, moloz ve toprak materyallerde gerçekleşirler (Çizelge 1.2). Genellikle kaya ve materyal devrilmesi özellikle şist ve kireçtaşı kapaklarda yaygın olduğunu belirten Dikau ve diğ. (1996) göre, bazalt ve dolerit gibi tabakalaşmanın meydana gelebildiği kayalarda veya ince yataklı tortul kayalarda da meydana gelebilirler. Toprak devrilmeleri ise daha çok kil içeriği zengin sütun topraklarda meydana gelirler.

1.3.3. Kayma

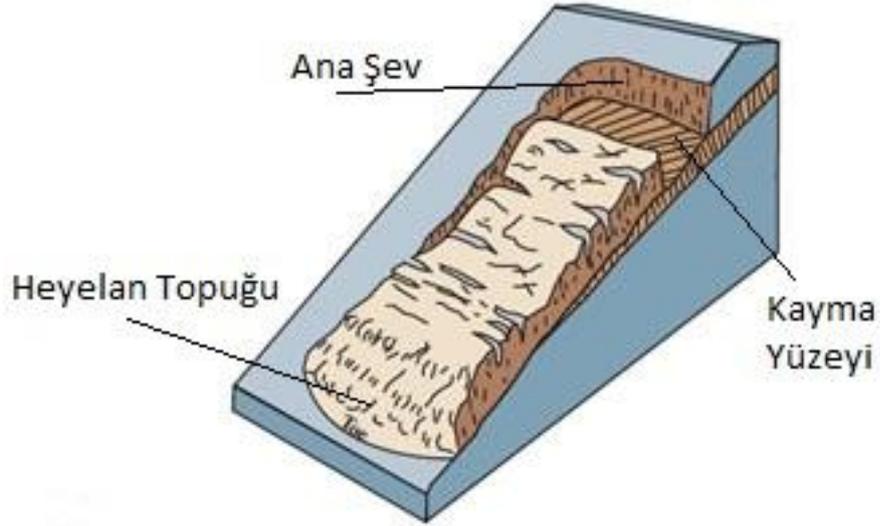
Kayma, bir veya birden fazla yüzey üzerinde toprak veya kaya külesinin makaslama yenilmesi sonucu meydana gelen kütle hareketleridir (Anonim 1993). Kayma esnasında hareket eden materyaller birbirleriyle etkileşim halindedirler. Hareketler, bir ya da birkaç yüzey boyunca kesme mukavemetinin azalmasından doğmaktadır (Dikau ve diğ. 1996). Kayma türü kütle hareketlerinin sınıflandırılmasında, kayma yüzeyi tipi ve sayısı kullanılmaktadır. Kayma yüzeyi tipine bağlı olarak ise dönел ve ötelenmeli kaymalar olarak sınıflandırılırlar (Çizelge 1.2).

Dönel kayma (Şekil 1.5), “eş yükselti eğrilerine paralel bir eksen etrafında iç bükey olarak yukarı doğru eğrilen kayma hareketi (Varnes 1958)” olarak Buma ve Van Asch (1996) tarafından ifade edilmektedir. Çöken kütle hareketine başladıktan sonra dönmeye başlar ve materyal geriye doğru yatmış bir konum kazanır. Kayma yüzeyinin tam olarak dairesel (kaşık şeklinde) olması gerekli değildir. Dönel kaymalar, birkaç metrekare alandan yüzlerce hektar büyüklükteki karmaşık alanlara değişebilmekte ve morfolojik özellikleri de büyük oranda değişiklik göstermektedir (Buma ve Van Asch 1996). Ayrıca hareket oranları da büyüklükleri bakımından değişiklik göstermektedir. Buma ve Van Asch (1996) bu durumu “Varnes (1958)’de dönel kaya kaymalarının yılda birkaç santimetre ile ayda değişik metreler arasında değişirken, toprak kaymalarının saniyede üç metreden daha fazla olabileceğini belirtmiştir” şeklinde ifade etmektedir.



Şekil 1.5. Dönel kayma (Anonim 2012a)

Ötelenmeli kayma (Şekil 1.6), düze yakın kayma yüzeyinde meydana gelen dairesel olmayan duraysızlaşma olarak tanımlanmaktadır (Dikau ve diğ. 1996). Çoğunlukla zayıf yamaç materyallerinin bulunduğu alanlarda meydana gelen bu tür kaymalarda, hareket eden materyal dönel kaymalardaki gibi aşırı derecede deformasyona uğramaz (Dikau ve diğ. 1996). Ötelenmeli kaymalar; kaya, moloz ve toprak olmak üzere üç materyalde meydana gelebilmektedir (Çizelge 1.2). Çok yaygın meydana gelen kütle hareketlerinden olup insan aktiviteleri üzerinde etkilidirler.



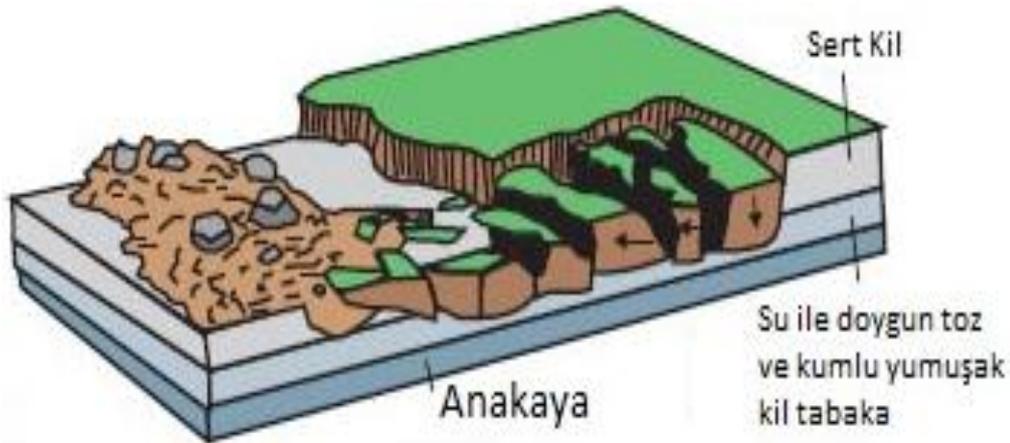
Şekil 1.6. Ötelenmeli kayma (Anonim 2012a)

Ötelenmeli kaymalar; blok kayma, levha kayma, kaya kayması moloz kayması ve çamur kayması olarak kategorize edilmektedir (Dikau ve diğ. 1996). Blok kaymalar, geniş bileşik heyelanların bir bölümü olarak tanımlanmaktadır (Ibsen ve diğ. 1996). Blok kaymalar yamaca inşa edilen yapıların yük bindirmesi veya yamaç topuğunun kazılarak topuk desteğinin ortadan kaldırılması sonucu oluşabilmektedirler (Ibsen ve diğ. 1996). Levha kaymaları (toprak veya moloz bloklarının kayması), plan görünümünde dikdörtgen veya üçgen şekilli olmaktadır. Uzunluk ve derinlikleri açısından daha sığdırlar ve bu yüzden taban suyunun mevsimsel değişimlerine oldukça duyarlıdırlar (Ibsen ve diğ. 1996). Kaya kaymaları, Sorriso-Valvo ve Gulla (1996) tarafından “düze yakın veya düşük eğimli yüzeyler boyunca meydana gelen kayanın ötelenmeli hareketi” olarak ifade edilmektedir. Tipik olarak, kayanın meyiline paralel veya yakın olan dağlık yamaçlarda görülmektedir. Hareketin akış şeklinde oluşması ve sonunda vadi tabanına ulaşması durumunda kaya çığı olarak adlandırılmaktadır (Ibsen ve diğ. 1996). Kaya kaymalarında, hareket mekanizmasını tam olarak açıklayabilmenin, birçok hareket formunun mevcut olmasından dolayı zor olduğu ifade edilmektedir. Moloz kaymaları, Corominas (1996) tarafından “küçük parçalardan ayrılmış sıkışmamış materyalin ve yamaç aşağı ilerken küçük parçaların hareketi” olarak ifade edilmektedir. Genellikle, depremler ve yoğun yağışlardan kaynaklanan bu tür kaymalar, çok dik yamaçlarda yüksek hızlara ulaşabilmekte ve moloz çığlarına dönüşebilmektedirler (Corominas 1996). Çamur kaymalar “yumuşak killi, alüvyonlu ya da ince taneli kumlu molozların nispeten yavaş, yuvarlak ya da uzayan formlu hareketidir” şeklinde ifade edilmektedir (Brunsdan ve Ibsen 1996). Meydana gelen hareket üç bölüme

ayrılmaktadır: kaynak, kayma yolu ve lob (birikme zonu) (Brunsden ve Ibsen 1996). Genellikle, doymuş killi alanlarda meydana gelirler. Hareket miktarları, yılda 1 m ile 25 m arasında değişmektedir ve bu nedenle yavaş kütle hareketi olarak kabul edilmektedir (Brunsden ve Ibsen 1996).

1.3.4. Yanal Yayılmalar

Dikau ve diğ. (1996), yanal yayılmalar teriminin genellikle daha yumuşak alt malzemenin üzerindeki yapışık kaya ya da toprak kütlelerinin, yatay olarak genişlemesini açıklamak için kullanıldığını ifade etmektedir. Ayrıca, farklı ölçek ve oranlarıyla homojen kaya kütlelerinde ve zayıf toprak tabakalarındaki kütle hareketi tiplerinden birkaçını ifade ettiği de belirtilmektedir. Şekil 1.7’de gösterilen yanal yayılmalar, kaya ve toprak (moloz) yayılmaları olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 1.2).



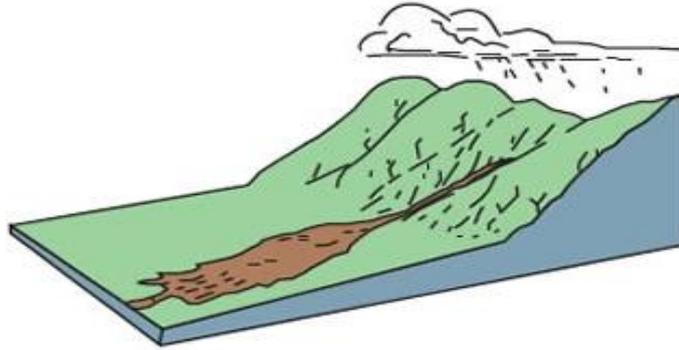
Şekil 1.7. Yanal yayılmalar (Anonim 2012a)

Kaya yayılmaları, yumuşak malzeme üzerinde bulunan homojen ya da birleşik kaya kütlelerinin yatay genişlemesi olarak açıklanmaktadır (Pasuto ve Soldati 1996). Homojen kaya kütlelerinde, hareketin nedenlerinin iyi bilinmediğini ifade eden Pasuto ve Soldati (1996), yumuşak malzeme üzerinde bulunan birleşik kaya kütlelerinin hareketinin literatürde iyi açıklandığını ifade etmektedir. Toprak (Moloz) yayılmalar ise belirli derinlikteki hassas toprak tabakasının çökmesi olarak tanımlanmaktadır (Buma ve Van Asch 1996). Yaygın tetikleyici mekanizma yüksek boşluk basıncına neden olan şiddetli yağışlar ya da kar erimeleri ile depremlerdir.

1.3.5. Akma

Hareket eden kütle içerisinde parçacıkların ayrı ayrı taşındığı bir heyelan olarak Dikau ve diğ. (1996) tarafından açıklanan bu kütle hareketi; kaya, moloz ve toprak akması (Çizelge 1.2) olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 1.8’de resim olarak gösterilmiştir. Ayrıca, kendi fiziksel anlamında, uygulanan strese karşılık ortaya çıkan materyalin, kesiksiz, ters çevrilemez deformasyonu olarak tanımlanmaktadır. Mevcut olan her tür materyali içerirler.

Kaya akmaları yaygın jeomorfolojik durumlardır (Bisci ve diğ. 1996). Moloz akması, ince malzeme (kil, kum ve toz) ve kaba malzemenin (çakıl ve kaya parçaları) değişken miktarda su ile karışımından oluşan ve yer çekimi etkisiyle dev dalgaların meydana geldiği kütle hareketi olarak açıklanmaktadır (Corominas ve diğ. 1996). Moloz akması oluşan alan, üç farklı bölüme ayrılmaktadır; kaynak bölgesi, ana yol ve birikme topuğu (Corominas v diğ. 1996). Ayrıca, moloz akmalarının çöllerden Alp bölgelerine, kuzey kutbundan Akdeniz’e tüm iklimatik çevrelerde görüldüğü de belirtilmektedir. Toprak (Çamur) akması ise Schrott ve diğ. (1996) göre üç formda meydana gelebilmektedir: ıslak çamur akması, ıslak kum akması ve kuru kum akması. Bu heyelanlar, ince malzeme ile kompoze oldukları için çok hareketlidirler ve çabucak yamaç aşağı akabilirler. Dik yamaçlarda kanallar içerisinde materyal hareket etmektedir (Schrott ve diğ. 1996).



Şekil 1.8. Akma (Anonim 2012a)

1.3.6. Karmaşık Heyelanlar

Karmaşık heyelanlar meydana gelen aynı olay içerisinde iki tip hareketin eş zamanlı olarak oluşması olarak tanımlanmaktadır (Dikau ve diğ. 1996). Kütleler yamaç aşağı hareket ederken ilk duraysızlık şekli başka şekle dönüşmekte ya da kombine olmaktadır.

Karmaşık heyelanlar, kaya çığları ve akarak kayma olarak sınıflandırılmaktadırlar (Dikau ve diğ. 1996).

Kaya çığları, Angeli ve diğ. (1996) tarafından “Düşük eğimli yamaçta bile uzun mesafeleri yüksek hızlarda kat eden, çoğunlukla kaba bir yamaç veya uçurumdan türeyen çok büyük kuru kaya malzeme” olarak tanımlanmaktadır. Saniyede onlarca metrelik hızlara ulaşabilmekteler ve kilometrelerce mesafe kat edebilmektedirler. Ayrıca, 0,1 km² alanı kaplayabilen birikme alanlarında hacimleri 1×10⁶ m³ olabilmektedir (Angeli ve diğ. 1996).

Akarak kaymalar, stabil olmayan, zayıf sıkışmış ya da bunun dışında gevşek bozuklukların uzun mesafeli ve yüksek hızlı moloz akması olayı olarak ifade edilmektedir. Titreşim ve şoklar, ağır yağışlar, yanal desteğin ortadan kalkması ve ani yük binmesi başlangıçta bu tür hareketin tetikleyici faktörü olabilmektedir (Ibsen ve diğ. 1996).

1.4. HEYELANLARIN DÜNYA VE TÜRKİYE’DEKİ ETKİLERİ

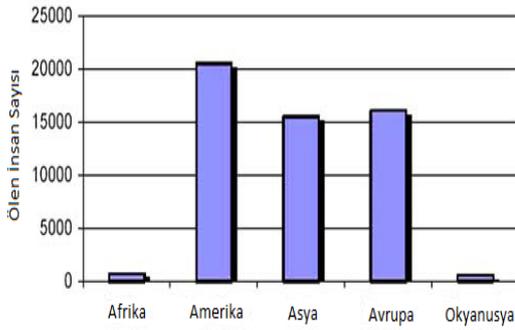
Jeomorfolojik gelişim sürecinin bir parçası olan heyelanlar, bu açıdan son derece doğal bir hadise olarak değerlendirilebilir. Ancak, insanların yaşamı ve faaliyet alanları (yerleşim merkezleri, tarım sahaları, yollar, köprüler, elektrik ve telefon hatları vb.) üzerinde yıkıcı etkiye sahip oldukları için doğal olay olmalarından ziyade “afet” kapsamında değerlendirilmektedirler (Öztürk 2002). Tekil yamaç duraysızlıkları genellikle depremler, büyük taşkınlar, kasırgalar ya da diğer doğal afetler kadar dikkat çekmemektedir (Varnes 1984). Ancak, meydana gelen hasar ve can kayıplarının bir kısmı hatta bazen önemli bir kısmı depremler veya yoğun fırtınalar esnasında oluşan heyelanlardan kaynaklanmaktadır. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), bundan dolayı heyelanların gerçek zararlarının daha düşük tahmin edildiğini ifade etmektedir. Örneğin, Varnes (1984), Mayıs 1970’de Peru meydana gelen depremde (yaklaşık 70000 insan ölmüştür) Nevado Huascarán kuzey doruklarından kopan moloz çığında 20000 insanın hayatını kaybettiğini belirtmektedir. Bundan dolayı, dünyanın neredeyse her tarafında ciddi problemler oluşturan heyelanlar genellikle hızları, büyüklükleri ve tahribatlarına bakılarak hızlı ve tehlikeli doğal afetler olarak düşünülürler. Su baskınları, kasırgalar, volkanik patlamalar, depremler gibi neden oldukları olumsuz etkilerden dolayı doğal

afetler arasında önemli yer tutarlar. Diğer doğal afetlerle kıyaslandığında medyada heyelanlarla ilgili görülen haberlerin sayısı hiç de azımsanamaz (Hervas 2003).

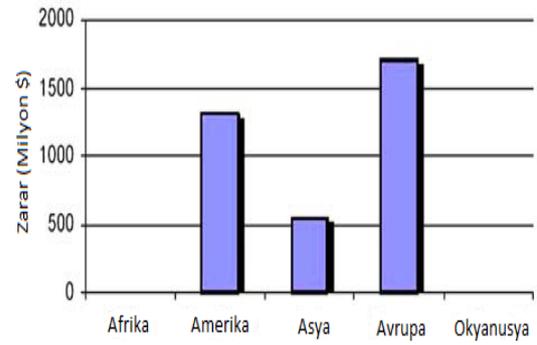
Heyelanların neden oldukları kayıpları, doğrudan kayıplar ve dolaylı kayıplar olarak kategorize etmek mümkündür. Heyelanların neden oldukları doğrudan kayıplar; i) olayın gerçekleşmesi anında heyelan alanında bulunan insan ve diğer canlıların ölümüne ya da yaralanmasına neden olmak, ii) heyelan alanı üzerindeki veya yolundaki üst ve alt yapı tesislerinin, binaların yıkılmasına veya hasar görmesine neden olmak, iii) heyelan kütesinin alandaki nehirleri bloke ederek, su yollarını tıkayarak, sulama kanallarını bloke ederek, barajların, göletlerin depolama kapasitesini azaltarak su kaynaklarının etkilenmesine neden olmak, iv) verimli alanların zarar görmesine veya ulaşımına engel olmak, v) kültürel açıdan önemli tarihi alanların zarar görmesine neden olmak şeklinde sıralanabilir (Anonim 2006). Heyelanların dolaylı etkileri ise; i) tarım ve orman alanlarının verimliliğindeki kayıplar, ii) insanların afete duyarlı alanları satın alma isteksizliğinden dolayı yapıların değerindeki düşüşler, iii) üretim kayıpları, ulaşımındaki aksamalar gibi nedenlerle devletin gelirlerindeki kayıplar, iv) gelecekte meydana gelebilecek heyelanların zararlarının azaltılması veya önlenmesi amacıyla gerçekleştirilen yatırım harcamaları, v) nehirleri bloke ederek neden oldukları taşkın gibi ikincil fiziksel etkiler, vi) insanların verimliliğinde neden oldukları düşüşler, vii) hayat kalitesinde neden olduğu düşüşler ve viii) insanların ruhsal sağlıklarında duygu, düşünce, eylem ve ilişkilerinde olumsuzluklar ortaya çıkarma olarak sıralanabilmektedir (Anonim 2006).

Dünyada birçok ülke coğrafi, jeolojik ve meteorolojik koşullarına bağlı olarak heyelan sorunuyla karşı karşıya kalmaktadır. Pradhan (2010b), küresel ölçekte her yıl yaklaşık olarak 1000 insanın heyelandan dolayı hayatını kaybettiğini ve ekonomik zararının 4 milyar dolar civarında olduğunu ifade etmektedir. Ercanoğlu ve diğ. (2005), küresel ölçekte ABD, Fransa, İsviçre gibi gelişmiş ülkeler açısından değerlendirildiğinde heyelanların neden oldukları zararların ekonomik açıdan diğer ülkelere göre daha fazla olduğunu, ancak bu durumun ekonomilerini büyük ölçüde etkilemediğini ifade etmektedir (Şekil 1.9 ve Şekil 1.10). Gelişmekte olan ülkelerde ise bu tür doğal afetlerin çevresel zararlar yanı sıra ekonomik durgunluk veya gerilemeler ortaya çıkarabildiği, hatta ülke ekonomilerine büyük darbeler vurabildiği belirtilmektedir. EMDAT verilerine göre, 1950-2009 yılları arasında meydana gelen heyelanlarda, Asya'da

(dünyanın diğer bölgelerine göre heyelan sayısı daha fazladır) 18 bin insanın hayatını kaybettiği ve yaklaşık olarak 5,5 milyon insanın etkilendiği RECOFTC ve FAO'nun "Ormanlar ve Heyelanlar" başlıklı bülteninde ifade edilmektedir. Ayrıca, 1970'den bu yana heyelanlardan kaynaklanan ölüm ve yaralanmaların beş katından daha fazla arttığı da vurgulanmaktadır.



Şekil 1.9. 1903-2004 yılları arasında meydana gelen heyelanlardan kaynaklanan ölümlerin kıtalara dağılımı grafiği (Nadim ve diğ. 2006)



Şekil 1.10. 1903-2004 yılları arasında meydana gelen heyelanlardan kaynaklanan ekonomik zararların kıtalara dağılımı grafiği (Nadim ve diğ. 2006)

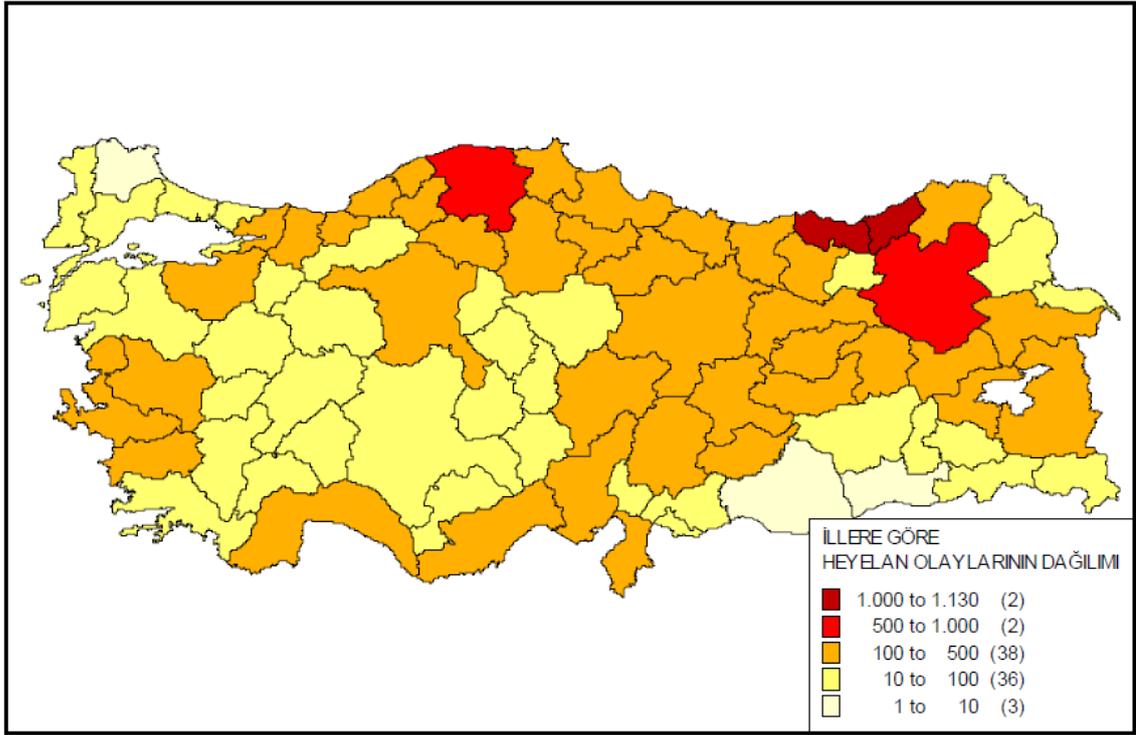
EMDAT verilerine göre, 1900-2012 yılları arasında meydana gelen kuru kütle hareketlerinden, başta Peru olmak üzere çeşitli ülkelerde 3 binden fazla insan hayatını kaybetmiş, 20 binden fazla insan ise bu afetlerden olumsuz yönde etkilenmiştir. Yine bu verilere göre, yalnızca Peru'da meydana gelen heyelanların ekonomik maliyeti 200 milyon \$'dır. EMDAT verilerine göre ıslak kütle hareketlerinin etkileri çok daha fazladır. Aynı dönem için incelendiğinde, başta Sovyetler olmak üzere çeşitli ülkelerde 25 binden fazla hayatını kaybetmiş, 12 milyona yakın insan olumsuz etkilenmiştir. Bu afetlerin ekonomik zararları ise 6,5 milyar \$ civarındadır (EMDAT 2012).

Jeolojik özellikleri, topoğrafik yapısı ve iklim özellikleri nedeniyle doğal afetlerin sıkça yaşandığı ülkemizde (Özmen ve diğ. 2005), kütle hareketlerinin özellikle heyelanların doğurduğu kayıplar oldukça önemli boyutlardadır. Türkiye'de, heyelan kaynaklı ciddi kayıplar ile karşılaşılması, toplumun sosyo-ekonomik yapısından da kaynaklanmaktadır (Öztürk 2002). Neredeyse her yıl, başta Karadeniz olmak üzere pek çok bölgede görülebilen heyelanlar, Çizelge 1.5'de görüldüğü gibi depremden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Çizelge 1.4). Türkiye'de meydana gelen afetler sonucu ortaya çıkan afetzedelerin, yaklaşık % 55'i deprem kaynaklı iken yaklaşık % 21'i heyelan kaynaklıdır (Gökçe ve diğ. 2008).

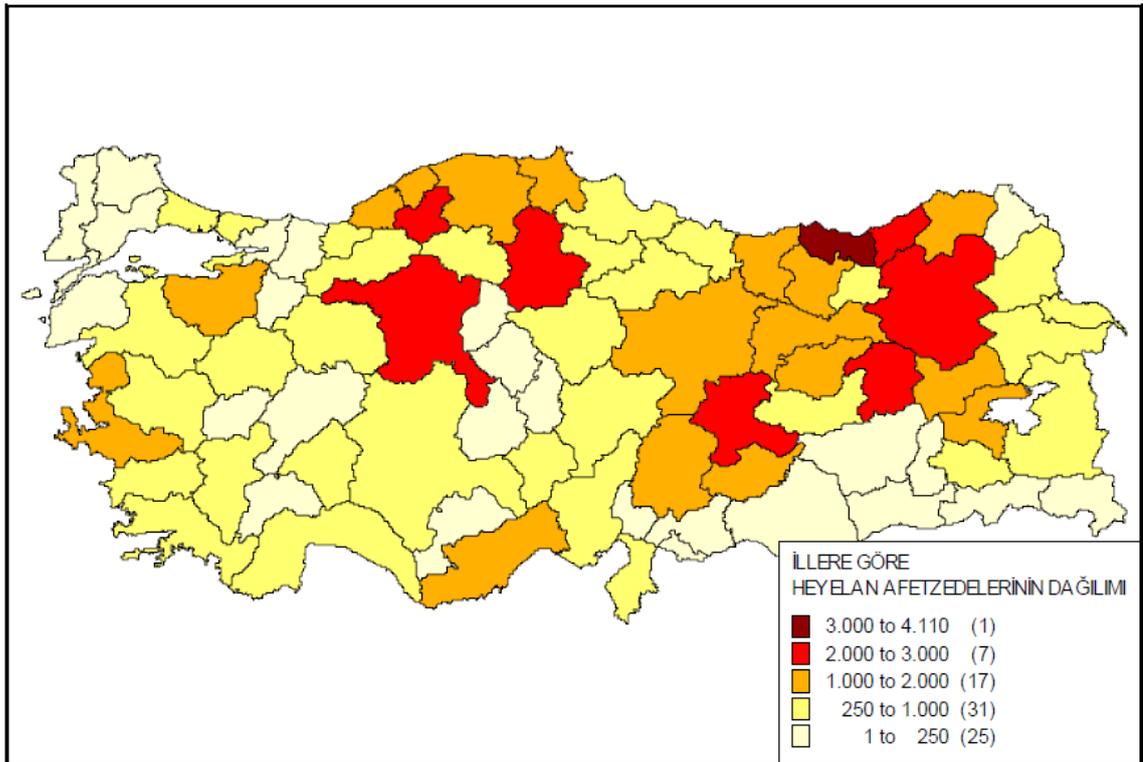
Türkiye’de, heyelanlı yerleşim birimleri, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi’nde (Trabzon ve Rize civarı), Orta ve Batı Karadeniz Bölgesi’nde (Karabük, Bartın, Zonguldak ve Kastamonu civarında) ve aktif fay ve fay zonları boyunca yoğunlaşmaktadır (Gökçe ve diğ. 2008). Bazen yalnızca toprak tabakasının bazen de bütün bir tepe veya dağın hareketi olarak ortaya çıkmaktadırlar. Öztürk (2002)’e göre, yüz ölçümünün yaklaşık % 80’inin bu tür kütle hareketlerinin oluşumuna temel teşkil eden eğimli araziden oluşması ve bu arazilerde tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, buna bağlı olarak ormanlık alanların tahribatı ve meraların aşırı otlatılması tetikleyici olmaktadır. Ayrıca Türkiye’de, büyük bölümlerinde yarı kurak iklim koşullarının hâkim olduğunu belirten Öztürk (2002), bu koşullara sahip bölgelerde çok yağışsız geçen bir dönemi bol yağışlı dönem izlediğinden dolayı heyelanların kaynaklandığını ifade etmektedir. İller bazında heyelanlar incelendiğinde, en az 3 ve en fazla 1123 heyelan olayı ile karşılaşıldığını ifade eden Gökçe ve diğ. (2008)’e göre, en çok heyelan gözlenen beş il sırasıyla; Trabzon, Rize, Kastamonu, Erzurum ve Artvin’dir. Türkiye’de, heyelanların sayıları bakımından illere dağılımı Şekil 1.11’de gösterilmektedir. Heyelandan etkilenen afetzede sayılarının illere dağılımı da Şekil 1.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin türlerine bağlı olarak yıkılan konut sayısı ve yüzdeleri açısından karşılaştırılması (Özmen ve diğ. 2005)

Doğal Afet Türü	Yıkılan Konut Sayısı	Yüzde (%)
Deprem	495 000	76
Heyelan	63 000	10
Sel	61 000	9
Kaya Düşmesi	26 500	4
Çığ	5 154	1
TOPLAM	650 654	100



Şekil 1.11. Sayıları bakımından heyelanların illere göre dağılımları (Gökçe ve diğ. 2008)



Şekil 1.12. Heyelan afetzedelerinin illere dağılımı (Gökçe ve diğ. 2008)

Türkiye’de, 1971-1989 yılları arasında meydana gelen heyelanlarda, 1960 bina ya kısmen hasar görmüş ya da tamamen yıkılmış, ayrıca 1970-1995 yılları arasında oluşan heyelanlardan 236 kişi hayatını kaybetmiştir (Öztürk 2002). 1950-2008 döneminde meydana gelen heyelanların sayısı 13494’tür ve etkilenen afetzede sayısı ise 59345’tir (Gökçe ve diğ. 2008). Ayrıca, meydana gelen heyelanlar, zarar gören veya heyelan tehlikesi bulunan yerleşimlerin başka alanlara taşınmasına neden olmaktadır. Ergünay (2007) ve Özmen ve diğ. (2005), Afet İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre 1958-2000 yılları arasında 4250 yerleşim alanının heyelana maruz kaldığını ve 63 000 konutun daha güvenli alanlara taşındığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Türkiye’de Erzurum-Artvin karayolunun, 1958 yılında gelişen heyelandan dolayı 3 gün kapalı kaldığını belirten Öztürk (2002), demiryolları, barajlar, tünel ve kanal gibi yapıların da zarar gördüğünü ifade etmektedir. Türkiye’de heyelanların tarım arazileri üzerinde tarla, bağ, bahçe ile ekili bulunan ağaç ve bitkilerin yamaç aşağı taşınması, heyelan esnasında toprak karıştığı için bitki-toprak ilişkilerindeki bozukluklardan kaynaklı verim kayıpları ya da verimli toprakların heyelan ile taşınan verimsiz topraklar ile örtülmesi şeklinde etkili olabildiğini belirten Öztürk (2002), arazi davalarına da neden olabildiğini vurgulamaktadır.

1.5. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI VE ÜRETİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Heyelanların değerlendirilmesi kapsamında yapılan çalışmalar Van Westen ve diğ. (2008) tarafından envanter, duyarlılık, tehlike ve risk modelleme şeklinde gruplandırılmaktadır. Ancak Ercanoğlu ve diğ. (2005), temelde birbirinden çok farklı tanımlanan bu kavramların yer yer aynı anlamda kullanıldığını belirtmektedir. Dağ (2007)’ye göre, bu kavramların anlaşılmasında karışıklık söz konusu olmakta ve birbirlerinin yerine de kullanılabilir. Bu nedenle, bu kavramlar kısaca açıklandıktan sonra heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden bahsedilecektir.

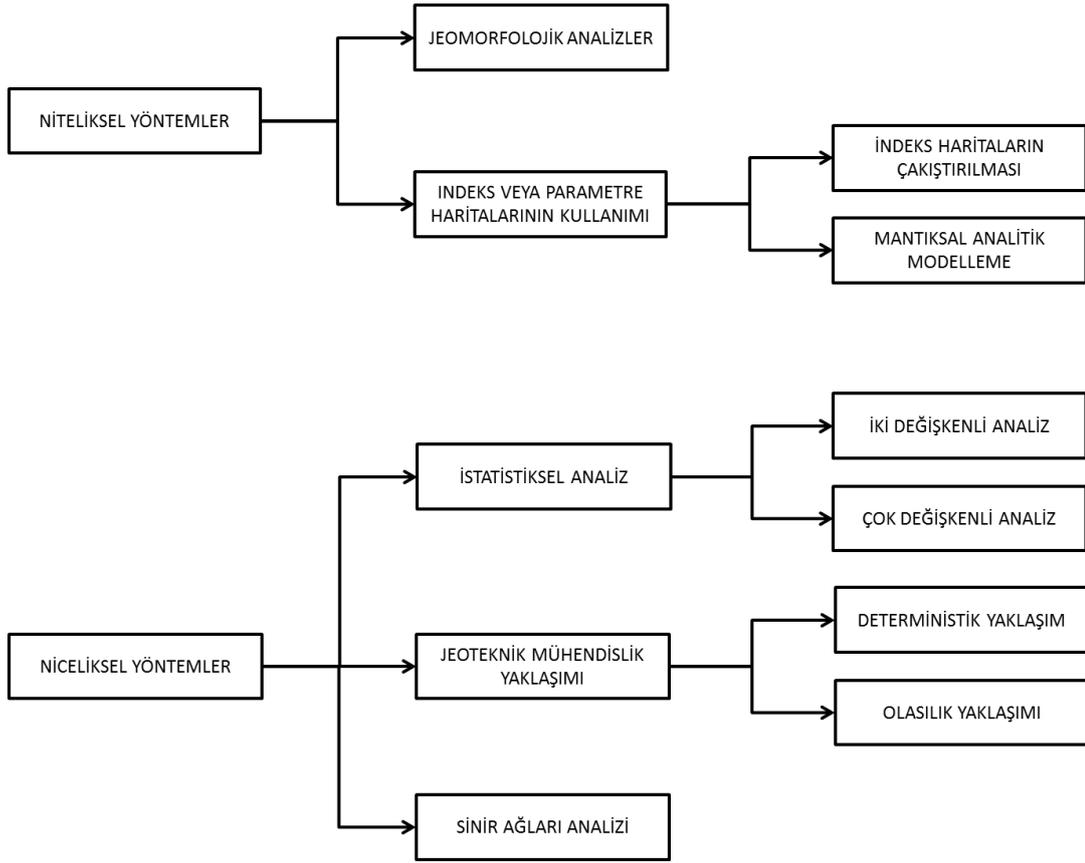
Heyelan duyarlılığı çalışmaları, bir bölgede heyelan oluşumuna neden olabilecek girdi parametrelerin, yani hazırlayıcı faktörlerin, dikkate alınarak heyelan duyarlılığının göreceli olarak sınıflandırılması olarak tanımlanmaktadır (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Heyelan duyarlılığı, güncel ve/veya geçmişte meydana gelmiş heyelanların

özelliklerinden yararlanarak, gelecekte potansiyel teşkil eden alanların ortaya konulmasıdır. Heyelan duyarlılığı, tetikleyici faktörler (yağış, deprem vb.) değerlendirilmeden belirlenen heyelan meydana gelme olasılığı şeklinde belirtilmektedir (Dai ve diğ. 2002). Aleotti ve Chowdhury (1999), heyelan duyarlılık çalışmalarının; 1) Heyelanlar gelecekte nerelerde meydana gelecek? 2) Hangi tür heyelanlar nasıl meydana gelecek? sorularına cevap verir nitelikte olması gerektiğini ifade etmektedir. Heyelan tehlikesi, potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip olan heyelan olayının, belirli alanda ve zaman periyodunda meydana gelebilme olasılığı olarak tanımlanmaktadır (Varnes 1984). Bu tanımda, büyüklük, konum ve zaman faktörleri bir arada yer almaktadır (Ercanoğlu 2005). Heyelan riski ise heyelan duyarlılık ve tehlike kavramlarını içeren, aynı zamanda nüfus yoğunluğu, ekonomik faaliyetler gibi sosyo-ekonomik parametrelerin de değerlendirildiği bir kavramdır (Aleotti and Chowdhury 1999). Tanımdan da anlaşıldığı gibi, heyelan kaynaklı can ve mal kayıpları ile birlikte oluşabilecek hasarın tahmin edilmesi, aynı zamanda ekonomik ve çevresel zararlarının da değerlendirildiği bir kavram olarak değerlendirilmektedir (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Ayrıca Ercanoğlu ve diğ. (2005), heyelan risk haritalama çalışmalarının ayrıntılı olması, çok sayı ve türde veriye gereksinim duyulması nedenlerinden dolayı heyelan duyarlılık ve tehlike haritalama çalışmalarından daha az sayıda olduğunu ifade etmektedir.

Heyelanların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler Aleotti ve Chowdhury (1999) tarafından, niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak gruplandırılmaktadır (Şekil 1.13). Niteliksel yöntemler, araştırmacının daha çok bilgi ve deneyiminin kullanılması ile saha özelliklerine bağlı olarak gerçekleştirilirken, niceliksel yöntemler istatistiksel ve/veya matematiksel modelleme tekniklerinin kullanılarak heyelan envanterinin de temel alınması ile gerçekleştirilmektedir.

1.5.1. Niteliksel Yöntemler

Tehlike ve duyarlılık değerlendirilmesi, doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve tecrübeyi esas alan yöntemler olarak ifade edilmektedir. Kullanılan veriler arazi çalışmaları süresince yapılan gözlem ve değerlendirmelerle elde edildiği gibi hava fotoğraflarının yorumlanması ile desteklenmektedir (Dağ 2007).



Şekil 1.13. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury 1999)

1.5.1.1. Jeomorfolojik Analizler

Bu yöntemde, önceden meydana gelmiş heyelanların jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak potansiyel duraysız alanlar belirlenir ve bu yöntemin ana veri katmanları, kütle hareketleri haritaları ile jeomorfolojik katmanlarıdır (Dağ 2007). Temel olarak jeomorfolojik özelliklerin dikkate alındığı bu yöntemin, 1970’li yıllarda sıklıkla kullanıldığını belirten Ercanoğlu ve diğ. (2005), araştırmacının bilgi ve deneyimini temel alarak hava fotoğrafları yorumlamaları ve arazide doğrudan yapılan değerlendirmeler ile potansiyel sahaların haritalanması şeklinde uygulandığını ifade etmektedir. Sınıflandırmanın tamamen bilgi ve deneyime bağlı olarak yapılmasından dolayı, gerek parametre seçiminde gerekse değerlendirme aşamasında öznellik içerdiğini de vurgulamaktadır. Ayrıca, Ercanoğlu ve diğ. (2005)’e göre verilerin güncellenmemesi, yöntemin uygulamada belirli kurallar ile ifade edilememesi, saha çalışmalarının uzun ve zaman alıcı olması gibi kısıtları bulunduğu gibi hemen her ölçekte uygulanır olması üstünlüğüne de sahiptir.

1.5.1.2. Parametre Haritalarının Çakıştırılması

CBS ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak 1980'li yılların başında jeomorfolojik analizlerin kısıtlamalarının üstesinden gelebilmek amacıyla yaygın kullanım alanı bulan bu yöntemde, ilk uygulandığı dönemlerde parametrelerin ağırlık değerleri araştırmacı tarafından belirlenirken daha sonraları ağırlıkların belirlenmesinde istatistiksel yazılımlardan yararlanılmıştır (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Ancak Ercanoğlu ve diğ. (2005)'e göre, heyelanı etkileyen parametreler bir arada değerlendirilmediğinden hatalı sonuçların alınabileceği gerçeği de söz konusudur. Bu yöntemde yapılması gereken işlemler şu şekilde sıralanmaktadır (Dağ 2007):

- Her bir parametrenin uygun alt sınıflara ayrılması
- Her bir alt sınıfa ağırlık değerinin atanması
- Her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması
- Ağırlık haritalarının çakıştırılması
- Duyarlılık sınıflarını gösteren duyarlılık haritasının üretilmesi

1.5.2. Niceliksel Yöntemler

Bu yöntemlerde, heyelana neden olabilecek çok sayıda parametre dikkate alınmak suretiyle bilgisayarlı destekli olarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Niteliksel yöntemlere göre daha çok matematiksel işlemlerin uygulandığı, istatistiksel yöntemleri, jeoteknik yöntemleri ve özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan yapay zekâ yöntemlerini içermektedir (Dağ 2007).

1.5.2.1. İstatistiksel Analizler

Heyelan değerlendirmede en yaygın kullanılanlardan biri kabul edilen (Aleotti ve Chowdhury 1999) bu analizler, heyelan envanterini temel alarak geçmişte meydana gelen heyelanların özelliklerinin, farklı parametreler kullanılarak istatistiksel olarak ilişkilendirilmesini temel almaktadır (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Jeomorfolojik analizlerde var olan öznellik bu yöntemlerle büyük oranda giderilmektedir.

İstatistiksel analizler, genel olarak iki grup altında (iki değişkenli analiz ve çok değişkenli analiz) toplanmaktadır (Aleotti ve Chowdhury 1999). Her bir faktörün heyelan haritası ile karşılaştırıldığı iki değişkenli istatistik analizlerde parametreleri

kategorize etmek için kullanılan sınıfların ağırlık değerleri her bir sınıftaki heyelan yoğunluğu temel alınarak belirlenmektedir (Aleotti ve Chowdhury 1999). İki değişkenli istatistik analiz için aşağıdaki işlemler gereklidir:

- a) Önemli parametrelerin seçimi ve haritalanması, ilgili sınıflara kategorize edilmesi
- b) Heyelan haritalama
- c) Her bir parametre haritasının heyelan haritası ile karşılaştırılması
- d) Her bir parametredeki heyelan yoğunluğunun belirlenmesi ve ağırlıklarının hesaplanması
- e) Çeşitli parametre haritalarına ağırlık değerlerinin atanması
- f) Tanımlanan alan ünitesi için duyarlılık veya tehlike değerinin sonuç karşılaştırma ile hesaplanması

Heyelan değerlendirmede kullanımı Neuland (1976) ve Carrara ve diğ. (1978) ile başlayan (Aleotti ve Chowdhury 1999), birbiriyle ilişkili ya da ilişkisiz çok sayıda değişkenin aralarındaki bağımlılık yapısının analiz edildiği (Dağ 2007) çok değişkenli istatistik analiz çalışmalarının, Aleotti ve Chowdhury (1999) tarafından heyelan tür ve özelliklerinin çok fazla değişmediği bölgelerde başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Birçok istatistik yazılım ile birlikte CBS programlarında da gerçekleştirilebilen bu yöntemin en önemli sınırlanması, büyük alanlarda detaylı veriye duyulan ihtiyaç ve işlemlerin zaman alıcı ve pahalı olmasıdır (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Yine bazı genellemelerin yapılması gerekliliği de bir diğer sınırlama olarak ifade edilmektedir (Ercanoğlu ve diğ. 2005).

1.5.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar

Heyelan değerlendirme yöntemleri arasında en eski olan bu yöntemin güvenilirliği Ercanoğlu (2005)'e göre, sağlıklı jeoteknik veri tabanı, uygun duraysızlık modelinin ve analiz yönteminin seçimine bağlıdır. Ayrıca, bu yöntemin belirsizliklere sahip olması ve bazı varsayımlar içermesi nedeniyle, özellikle orta ve bölgesel ölçekte hatalı sonuçların elde edilebildiği belirtilmektedir. Deterministik ve olasılık yaklaşımı olarak sınıflandırılan (Aleotti ve Chowdhury 1999) bu yöntemle ilgili olarak bu ölçeklerde yayınlanmış birçok araştırma mevcut olduğu da vurgulanmaktadır.

Güvenlik katsayısının (F, Factor of Safety) hesaplanmasına dayanan deterministik analizler, CBS teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yaygın şekilde kullanılmıştır (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Yöntemin kullanımının, çalışılan alanın jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin homojen olması ile sınırlı olduğunu ifade eden Ercanoğlu (2005), büyük alanlarda kullanımında bazı varsayım ve genellemeler yapılması gerekse de özellikle heyelan tehlike haritalamada son derece yarar sağladığını ifade etmektedir.

Belirsizliklerin değerlendirilmesi ve tanımlanmasının ön plana çıktığı olasılık yaklaşımının kullanımı Ercanoğlu ve diğ. (2005) göre, daha çok tetikleyici parametrelerin analizinde olmakta ve heyelan tehlike haritalamada daha etkin sonuçlar üretebilmektedir. Ancak, heyelanlar birçok faktörden etkilenebilen karmaşık olaylar olduğundan belirsizliğe neden olan parametrelerin değişimlerinin çok iyi tanımlanması gerekmektedir.

1.5.2.3. Yapay Zekâ Yöntemleri

İçerisinde robotik sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi birbirinden farklı yöntemleri bulunan yapay zekâ yöntemlerinden bulanık mantık ve yapay sinir ağları heyelan değerlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Aleotti ve Chowdhury (1999) bu tekniklerin kullanımının son dönemlerde arttığını ve başarılı sonuçlar elde edildiğini vurgulamaktadır.

1.6. DUYARLILIK HARİTALAMALARDA KULLANILAN ÖLÇEKLER

Yapılan çalışmanın ölçeği, heyelan duyarlılık haritalamada dikkate alınması gereken bir konudur. Çalışma alanının büyüklüğü göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Akgün (2007), ölçek faktörünün çıktı duyarlılığı ve doğruluğu ile doğru orantılı olmasından dolayı, projenin başlangıcında belirlenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Heyelan değerlendirmelerinde ölçekler Dağ (2007) ve Akgün (2007) tarafından; ulusal ölçek, bölgesel ölçek, orta ölçekli ve büyük ölçekli olarak sınıflandırılmıştır.

Akgün (2007), IAEG (International Association of Engineering Geology) tarafından 1976 yılında yayımlanan analiz ölçeklerinin, heyelan değerlendirme çalışmalarında kullanılabilirliğini ifade etmiş ve bu ölçekler Dağ (2007) tarafından Çizelge 1.5'de olduğu gibi ifade edilmiştir.

Çizelge 1.5. Heyelan değerlendirilmelerinde kullanılan ölçekler (Dağ 2007, IAEG 1976'ya atfen)

Ölçek Türü	Ölçek
Ulusal Ölçek	<1/1 000 000
Bölgesel Ölçek	1/1 000 000-1/1 500 000
Orta Ölçek	1/25 000-1/50 000
Büyük Ölçek	1/5 000-1/15 000

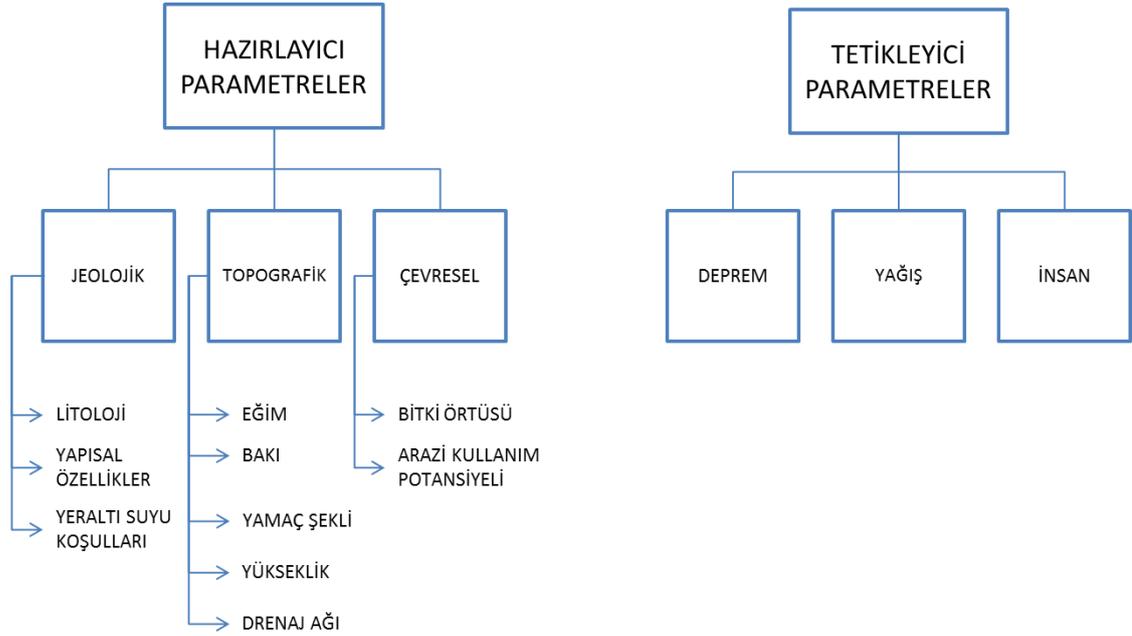
1.7. HEYELAN ENVANTERİ

Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk modelleme çalışmaları için temel altlık oluşturan envanter, heyelanların konumları, alansal büyüklükleri, şekli vb. bilgileri içermektedir (Malamud ve diğ. 2004). Heyelan haritalamanın en basit formu olan envanter haritaları, heyelanların konumlarını, tipini ve eğer biliniyorsa oluş tarihlerini göstermektedir. Envanter haritası hazırlamada farklı metotlar kullanılabilir. Bunlar harita hazırlama amacına, çalışma alanının büyüklüğüne, kullanılan hava fotoğrafları ve altlık haritaların ölçeğine ve mevcut kaynaklara bağlıdır (Guzetti ve diğ. 1999). Heyelan envanterleri farklı ölçeklerde (küçük ölçekli, orta ölçekli ve büyük ölçekli olarak) çeşitli kaynaklardan derlenebilmektedir. Heyelan envanter haritalarının sınırlamaları, öznellik içermesi ve güvenilirliğinin ölçümünün zor olmasıdır (Guzetti ve diğ. 1999). Malamud ve diğ. (2004) güvenilirliği, bütünlüğü ve çözünürlüğü etkileyen birçok faktör olduğu ifade etmekte ve bunları: 1) heyelanın yaşı ve yeniliği, 2) hava fotoğrafı ve altlık haritanın ölçek ve kalitesi, 3) çalışma alanının morfolojik ve jeolojik karmaşıklığı, 4) arazi kullanım tipleri ve değişimler ve 5) araştırmacının deneyim derecesi olarak sıralamaktadır.

1.8. DUYARLILIK HARİTALAMALARDA KULLANILAN PARAMETRELER

Ercanoğlu ve diğ. (2005), heyelan duyarlılık değerlendirmede kullanılan parametrelerin çalışmanın amacı, veri ulaşımı, finansal koşullar vb. gibi birçok faktörden etkilendiğini ve bu faktörlerin kullanımı ve heyelan oluşumu üzerindeki etkilerinin bölgeden bölgeye değişim göstereceğini ifade etmektedir. Heyelanların meydana gelmesine neden olan parametreler Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) tarafından hazırlayıcı (ortam)

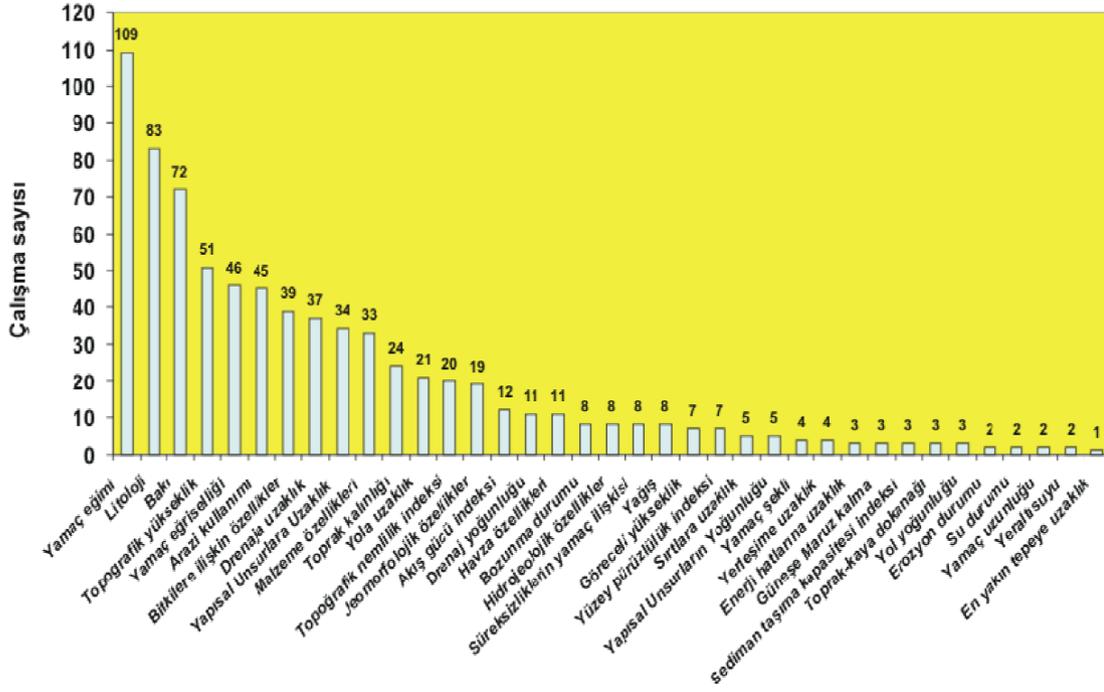
parametreler ve tetikleyici parametreler olarak iki ana grupta toplanmıştır (Şekil 1.14). Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), tetikleyici faktörleri deprem, yağış ve insan olarak kategorize etmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmaları sırasında dikkatle değerlendirilmesi gereken hazırlayıcı parametrelerdir. Çünkü bölgenin göreceli olarak duyarlılığının sınıflandırılmasında esas alınmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).



Şekil 1.14. Heyelanlara neden olan parametreler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001)

Heyelanların gelişmesi ve değerlendirilmesinde son derece büyük önem taşıyan hazırlayıcı parametreler, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında temel girdi parametreler olarak değerlendirilmektedir (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Bunun yanı sıra tehlike ve risk haritalamada da ön değerlendirme çalışmalarında kullanılması zorunlu parametreler olarak kabul edilmektedir (Ercanoğlu ve diğ. 2005). Hazırlayıcı parametreler, Şekil 1.14’de görüldüğü gibi jeolojik, topoğrafik ve çevresel olarak üç kategoride değerlendirilmektedir.

Hasekioğulları (2010) yaptığı çalışmada, 2000 yılından itibaren SCI (Science Citation Index) kapsamında yayınlanmış olan ve büyük çoğunlukla toprak zeminlerde meydana gelmiş heyelanlar ve bu heyelanların duyarlılık değerlendirilmesinde kullanılan hazırlayıcı parametreleri (jeolojik, topoğrafik ve çevresel olmak üzere) içeren 114 adet araştırmayı incelemiştir. İncelenen bu araştırmalarda kullanılan parametreler ve bunların dağılımı Şekil 1.15’de gösterilmektedir.



Şekil 1.15. Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan parametreler (Hasekioğulları 2010).

1.8.1. Litoloji

Heyelan duyarlılık değerlendirmede, jeolojik parametreler arasında değerlendirilen litoloji ve materyalin ayrışma karakteristikleri, jeomorfolojik süreçleri aktive etmede farklı litolojik birimlerin farklı duyarlılıklara sahip olmasından dolayı önemli bir role sahiptir. Heyelan oluşumu üzerinde litolojik yapıyı oluşturan kayaçların yapısı ve tipi etkili olmaktadır. Sert kayaçların (Compact rocks) heyelan oluşturma potansiyelleri; permeabilitesi yüksek, yumuşak ve gözenek hacmi fazla olan kayaçlara nazaran daha azdır. Genel bir yaklaşım olarak, permeabilitesi yüksek sedimanter kayaçlar (kum, kil taşı, kil) çok fazla boşluk hacmi ve su tutma kapasiteleri bulunduğundan heyelan oluşturma potansiyelleri daha fazladır. Benzer şekilde kırıntılı veya ayrışmaya uğramış şistler bünyelerinde çok fazla miktarda su bulundurabileceklerinden dolayı eğimli yamaçlarda stabiliteyi kaybedebilirler (Milewski ve diğ. 2009). Hasekioğulları (2010) incelediği 114 çalışmanın 83 tanesinde (% 73) girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Ayrıca Süzen ve Kaya (2011), 1986-2007 yılları arasında yapılan 145 makaleyi incelemiş ve bu çalışmalarda litoloji parametresinin kullanımının % 92,31 olduğunu ifade etmektedir. Şekil 1.15’de de görüldüğü gibi eğim parametresinden sonra en fazla kullanılan parametredir.

1.8.2. Yapısal Unsurlara Uzaklık

Jeolojik parametreler içerisinde değerlendirilen yapısal özellikler, Hasekioğulları (2010) tarafından incelenen çalışmaların 34 tanesinde yapısal unsurlara uzaklık olarak, 5 tanesinde ise yapısal unsurların yoğunluğu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca Hasekioğulları (2010), tektonik aktivite, tektonik birimler, çizgiselliğe uzaklık, tektonik kırıktan uzaklık ve faylara uzaklık parametrelerinin yapısal unsura uzaklık parametresi içinde değerlendirilirken, çizgisellik yoğunluğu ve fay çizgisi yoğunluğu parametrelerinin yapısal unsurların yoğunluğu parametresi içinde değerlendirildiğini ifade etmektedir. Ercanoğlu ve diğ. (2005) yapısal unsurlara yakınlığı ele almadaki temel gerekçeyi, bu unsurlara yakın olmanın yüksek gerilim ve deformasyon özellikleri nedeniyle litolojik birimlerin daha zayıf duruma gelebilmeleri olarak ifade etmektedir. Heyelan afetine maruz kalmış/kalmakta olan yerleşim birimleri, faylar/fay kuşakları ile mekânsal olarak karşılaştırıldığında ortaya anlamlı bir ilişki çıkmaktadır (Gökçe ve diğ. 2008). Ayrıca Gökçe ve diğ. (2008), veri tabanında kayıtlı bulunan 35741 yerleşim biriminin % 15,31'inde heyelan olayı gözlenirken, faylar/fay kuşakları çevresindeki en fazla 20 km'lik tampon bölgede heyelan gözlenen yerleşim birimlerinin veri tabanındaki yerleşim birimlerinin % 43,5'ine karşılık geldiğini ifade etmektedir. Yine Hasekioğulları (2010) incelediği çalışmaların büyük çoğunluğunda, yapısal unsurlara yakın olan gruplarda heyelan yoğunluğunun fazla olduğunu ifade etmektedir.

1.8.3. Su durumu ve Yeraltı suyu

Jeolojik parametreler içerisinde değerlendirilen bir diğer parametre olan yeraltı suyu, Hasekioğulları (2010) tarafından incelenen çalışmaların 2 tanesinde girdi parametre olarak kullanılmıştır. Heyelan oluşumunda son derece önemli olan bu parametrenin, çalışılan alanın büyüklüğüne ve çalışmanın ölçeğine bağlı olarak, bazen dikkate alınmamasının veya homojen olarak kabul edilmesinin temel nedeni yeraltı suyuna ilişkin verileri sağlamadaki ekonomik maliyet ve zaman alıcılık olarak ifade edilmektedir (Ercanoğlu ve diğ. 2005).

1.8.4. Yükselti

Heyelan değerlendirme çalışmalarında girdi olarak kullanılan ve topografik parametreler arasında değerlendirilen yükseklik parametresi, Hasekioğulları (2010)

tarafından incelenen çalışmaların 51 tanesinde topoğrafik yükseklik olarak, 7 tanesinde göreceli yükseklik olarak, 5 tanesinde sırtlara uzaklık olarak ve 1 tanesinde en yakın tepeye uzaklık olarak kullanılmıştır. Süzen ve Kaya (2011) de incelediği çalışmalarda, araştırmacıların % 34,27'si tarafından girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Deniz seviyesinden olan yükseklik olarak ifade edilen bu parametre, diğer parametrelerden bağımsız olarak düşünüldüğünde düşük yükseltiler (0-150 m) düşük eğimlere sahip olduğundan ve kalın örtü malzemesi içermesi nedeniyle heyelanlara karşı daha az duyarlı olduğu vurgulanmış, orta yükseltilere sahip alanların (150-400 m) kendilerinden daha yüksek alanlardan gelen malzeme ve ayrışma nedeniyle oluşacak toprak nedeniyle heyelanlara karşı daha duyarlı olduğu buna karşın yüksek alanların ise (>400 m) anakayadan oluştuğu ve daha alt kotlardaki malzemelere nazaran yüksek duraylılığa sahip olduğundan heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları belirtilmiştir (Dağ ve diğ. 2011). Bu genel kabule rağmen bu parametrenin eğim, arazi kullanımı, yollara yakınlık, yağış gibi diğer parametrelerle ilişkilendirerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Nitekim Yılmaz ve Keskin (2009), yükseltinin azalmasıyla beraber yağış suları eğimden dolayı yamaç aşağısında biriktiğinden dolayı daha yüksek boşluk basıncı oluşturduğunu ve düşük yükseltilerde (vadi tabanlarında) daha fazla heyelan riskine neden olabileceğini belirtmişlerdir. Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002) çalışma alanlarında, yüksek sahaların heyelan oluşumuna dirençli litolojik birimlerden oluşması ve bu sahaların yoğun ormanlarla kaplı olmasından dolayı heyelanlar ile 100-500 m yükseltiler arasında iyi bir uyuşma olduğunu ifade etmektedir. Gökçeoğlu ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada, 700-1700 m yükselti basamaklarında olan sahalarında heyelanlar, 1300-1700 m yükseltiler arasında yer almaktadır. Lan ve diğ. (2004) bu parametrenin vejetasyon, akarsuyun neden olduğu aşındırma ve yarma ve erozyon gibi faktörler tarafından kontrol edildiğinden heyelan oluşumunu doğrudan etkilemediğini ifade ettiği çalışmasında heyelanların çoğunlukla düşük ve orta yükselti (500-2000 m) sınıflarında dağılım gösterdiğini belirtmektedir.

1.8.5. Yamaç Eğimi

Yükseltinin yamaçta en dik yöne doğru azalma oranı olarak tanımlanan ve Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) tarafından topoğrafik parametre sınıfında değerlendirilen eğim, su ve diğer malzemelerin yerçekimine bağlı olarak hareketini etkilemektedir. Yüzey ve yüzeysel akışa bağlı olarak toprağın su içeriği, erozyon oluşturma potansiyeli, toprak

oluşumu ve diğer pek çok süreci etkilemektedir (Wilson ve Gallant 2000) ve bu açıdan hidrolojik ve jeolojik açıdan heyelan oluşumu üzerine etki eden önemli bir parametredir. Yamaç eğiminin; 1) 0-10° arasında “düşük eğim” olarak tanımlanabilecek kısmı genellikle depolanmanın görüldüğü, 2) 10-30° arasında “orta eğimli” olarak tanımlanabilecek kısmı derin oyuntular, aşınma (denudation), heyelan ve kaya düşmelerinin görüldüğü, 3) 30°’nin üstündeki “dik eğimli” olarak tanımlanabilecek kısımlar ise şiddetli erozyon, heyelan ve kaya düşmelerinin görüldüğü bölgeler olarak tanımlanmaktadır (Milewski ve diğ. 2009).

Hasekioğulları (2010) incelediği 114 çalışmanın 109 tanesinde girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Süzen ve Kaya (2011)’de incelediği çalışmalarda % 97,90 oranla girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Yamaç eğimi arttıkça heyelan eğilimi de artmaktadır. Ancak bu genel durum daha düşük eğime sahip yamaçlarda heyelan meydana gelmeyeceği anlamına gelmemektedir. Heyelanı etkileyen diğer faktörlerin daha düşük eğimli yamaçlarda birleşik etki göstermesi oraları da yüksek riskli sınıfa koyabilir. Örneğin, Akgün ve Türk (2010) çalışmalarında heyelan yoğunluğu 0°-10° eğim sınıfında % 39,12 iken 30°-40° eğim sınıfında % 10,05 olarak tespit edilmiştir. Yine Çevik ve Topal (2003)’ün çalışmalarına göre 0°-10° eğim sınıfında heyelanların % 48,9 yer alırken, 30°-40° eğim sınıfında heyelanların % 1,9’u yer almaktadır. Dai ve diğ. (2001)’in çalışmalarında, heyelanların dağılım sıklığı en fazla 30°-40° eğim sınıfında iken 40°-50° ve >50° eğim sınıflarında kademeli olarak azalmakta olup 0°-10° eğim sınıfında en az sıklık görülmektedir. Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002) çalışmalarında, 26°-30° eğim sınıfında en yüksek heyelan frekansı görülmektedir ve eğim 45° ulaştığında keskin bir düşüş görülmektedir. Yine aynı çalışmada 21°-25° eğim sınıfındaki frekans değeri 31°-35° eğim sınıfı ile aynı iken 36°-40° eğim sınıfından daha yüksek olduğu görülmektedir. Akgün (2011) yaptığı çalışmaya göre 0°-10° eğim sınıfı % 37,56, 10°-20° eğim sınıfı % 40,72 heyelan yoğunluğuna sahip iken 30°-40° eğim sınıfı % 4,19 heyelan yoğunluğu ile en düşük yoğunluğa sahip sınıf olarak ortaya çıkmaktadır. Akıncı ve diğ. (2010) ise çalışma alanında maksimum eğimin % 40 olduğunu ve % 68,58’lik oranla en fazla heyelanın 5°-10° eğim sınıfında yer aldığını ifade etmektedir. Yin ve diğ. (2010) çalışma alanlarında heyelanların 5°-55° eğimleri arasında yoğunlaştığını ve 35° eğimde heyelanların sayısının maksimumda olduğunu ifade etmektedir.

1.8.6. Bakı

Heyelan değerlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve topografik parametreler arasında değerlendirilen bakı parametresinin heyelan oluşumu ile ilişkilendirilmesi, Ercanoğlu ve diğ. (2005) göre parametrenin değerlendirilmesinde temelde bazı yamaçların daha fazla yağış alması, yamacın genel morfolojik özellikleri, genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi nedenlerden etkilenebilmesi yüzünden çoğu kez güç olmaktadır. Hasekioğulları (2010) yaptığı incelemelerde, çalışmaların 72 tanesinde bakı olarak, 3 tanesinde ise güneşe maruz kalma olarak kullanıldığını ve güneşe maruz kalma parametresinin araştırmacılar tarafından fazla tercih edilmediğini ifade etmektedir. Süzen ve Kaya (2011) ise inceledikleri çalışmalarda, bakı parametresinin araştırmacılar tarafından kullanımının % 59,44 olduğunu ifade etmektedir. Güney bakılar, kuzey bakılara kıyasla daha kuru, daha sıcak ve daha çok aşınma potansiyeli taşıdıklarından heyelan riski de daha yüksektir (Tanaka 2005, Caiyan ve diğ. 2006). Bu yargıya rağmen Ercanoğlu (2005) yaptığı çalışmada kendi çalışma alanı için batı bakıların da heyelana çok duyarlı olduğunu belirtmiştir. Lan ve diğ. (2004) çalışmalarında, Kuzeybatı ve Kuzey bakıların hesapladıkları belirlilik faktörü (Certainty Factor=CF) değerine bağlı olarak daha yüksek heyelan potansiyeline sahip olduğunu ifade etmektedir. Gökçeoğlu ve diğ. (2005)'in çalışma sahalarında ise, Güney bakılarda heyelanlı piksel sayısı diğer bakılara göre yüksektir. Akıncı ve diğ. (2010) çalışma sahalarında, heyelanlı piksel sayısı en yüksek olan Kuzey bakıdan sonra sırasıyla Güney ve Kuzeybatı bakılarda heyelanlı piksel sayısının yüksek olduğu görülmektedir. Akgün ve diğ. (2008) çalışma alanlarında Kuzey bakıda % 26,4, Güney bakıda % 28,8, Doğu bakıda % 11,8 ve Batı bakıda % 33 heyelan yoğunluğu tespit etmişlerdir. Dai ve diğ. (2001) ise çalışmalarında, sahalarının Güney ve Güneybatı bakılarında heyelan sıklığının en yüksek, Kuzey, Kuzeydoğu ve Kuzeybatı bakılarında yüksek ve Doğu, Güneydoğu, Batı ve Güneybatı bakılarda orta seviyede olduğunu ifade etmektedir. Çevik ve Topal (2003), heyelanların benzer yüzdelerde tüm bakılarda meydana geldiğini belirtmektedir.

1.8.7. Yamaç Eğriselliği

Araştırmacılar tarafından fazla tercih edilmeyen (Hasekioğulları, 2010) ve topografik parametreler arasında değerlendirilen yamaç eğriselliği terimi genellikle arazi yüzeyi ile bir düzlemin kesişiminden meydana gelen bir hat olarak tanımlanmaktadır (Wilson ve Gallant 2000). Hasekioğulları (2010) incelediği çalışmaların 46 tanesinde yamaç

eğriselliği, 4 tanesinde yamaç şekli olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Süzen ve Kaya (2011) ise inceledikleri çalışmaların % 34,97 sinde yamaç eğriselliğinin girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Bir hattın yamaç eğriselliği yarıçapının tersi ile ifade edilir, dolayısıyla hafif eğimli bir hat düşük değer yüksek eğime sahip bir hat ise yüksek değerler almaktadır. Eğrisellik genellikle plan eğriselliği ve profil eğriselliği olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Plan eğriselliği bakımın eş yükselti eğrisi doğrultusunda değişim oranını (Zevenbergen ve Thorne 1987, Moore ve diğ. 1991) veya bir eş yükselti eğrisine teğet olan eğriselliği ifade eder (Hengl ve diğ. 2003). Profil eğrisellik ise akış yönüne doğru eğim değişim oranını ifade eder. Plan eğrisellik topoğrafik yakınsama ve ıraksamayı ölçtüğünden yamaç boyunca suyun akış toplanma yerini belirlemeye yarar. Profil eğrisellik ise eğim değişimlerini ölçtüğünden akış hızı ve sediman taşınım süreçlerinin belirlenmesinde önemlidir. Bunlarla birlikte Mitsova ve Hofierka (1993) teğetsel eğrisellik kavramını ve ölçümünü önermiştir. Teğetsel eğrisellik, plan eğrisellik değerinin yamacın sinüsü ile çarpımına eşittir. Böylece düşük yamaç eğimlerinde ekstrem büyük değerler almadığından plan eğriselliğe göre kullanımı daha uygundur (Wilson ve Gallant 2000). Eğriselliğin birimi radyan/m'dir. Eğrisellik değerleri genellikle küçüktür (hemen her zaman 1'den küçüktür). Genelde negatif değerleri içbükey arazi şekillerini, pozitif değerler ise dışbükey arazi şekillerini simgeler (Hengl ve diğ. 2003). Plan eğriselliği değerinin heyelanlar üzerindeki etkisi yamaçtaki suyun akış yönünde yakınsama veya ıraksaması ile ilgilidir (Evans 1998). Ohlmacher (2007), Appalachian düzlüklerinde yaptıkları çalışmada düzlemsel plan eğriselliğın killi topraklara sahip bölgelerde heyelan açısından daha riskli olduğunu belirlemiştir. Heyelan riskinin yamacın içbükey veya dışbükeyliğinin artmasıyla azaldığı vurgulanan çalışmalar olmakla birlikte (Milewski ve diğ. 2009), içbükey yamaçlarda gözenek suyu konsantrasyonunun daha fazla olmasından dolayı heyelan riskinin arttığını belirten çalışmalarda (Komac 2006) bulunmaktadır.

1.8.8. Akarsuya Uzaklık

Hasekioğulları (2010) incelediği çalışmaların 37 tanesinde akarsuya uzaklık olarak, 11 tanesinde ise akarsu yoğunluğu olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Topografik parametreler arasında değerlendirilen ve drenaj olarak adlandırılan bu parametrenin kullanım oranı, Süzen ve Kaya (2011) tarafından incelendikleri çalışmalarda % 72,73 olarak ifade edilmektedir. Akarsular kıyı erozyonuna neden olduğundan dolayı yamaçta

topuk desteğini zamanla yok ettikleri için heyelan üzerinde etkilidir. Bundan dolayı akarsuya olan uzaklık parametresi pek çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Perotto-Baldiviezo ve diğ. 2004, Ercanoğlu ve Temiz 2011, Conforti ve diğ. 2011, Akgun 2011). Çevik ve Topal (2003) çalışma alanlarında, beş sınıfa ayırdıkları akarsuya uzaklık haritasına göre heyelanların ilk 300 m zon içerisinde kaldığını ifade etmektedir. Dai ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada, heyelanların akarsudan olan uzaklığın artmasıyla kademeli olarak azalma görülmektedir. Akgün ve Türk (2010) tarafından çalışmada, heyelanların % 50'den fazlasının 0-200 m içerisinde olduğu görülmektedir. Çevik ve Topal (2003) çalışmalarında, heyelanların ilk 300 m zon içerisinde yer aldıklarını ifade etmektedirler. Ancak heyelan oluşumunun beklenenin aksine akarsuya uzaklığın artmasıyla artış gösterdiği görülmektedir. 150 m'den büyük mesafelerde benzerlik oranı 1'den büyük iken, 150 m'den küçük mesafelerde oran 1'den küçüktür. Araştırmacılar bunun nedenini çalışma alanında yamaçların erozyon ile alttan oyulmasına (undercutting) bağlamaktadırlar.

1.8.9. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir parametre olan (Gorum ve diğ. 2008, Nefeslioglu ve diğ. 2008) ve topoğrafik parametreler arasında değerlendirilen topoğrafik nemlilik indeksi havzada yağışın dağılışını ve üst havza ile yamaç eğimi oranını gösterir. Daha geniş üst havzayı drene eden alanlar veya daha düzlük alanlar daha yüksek indeks değeri alırlar. Yüksek indeks değerine sahip alanlar, yağış veya kar erimesinden kaynaklı daha fazla doygunluğa ulaşır ve bu alanlardan derelere daha fazla yüzeysel akış gerçekleşir (Korup 2005). Dolayısıyla yüksek indeks değerine sahip alanlar daha fazla heyelan potansiyeli taşımaktadır (Moore ve diğ. 1991, Conoscenti ve diğ. 2008). Hasekioğulları (2010), bu parametrenin incelediği çalışmaların 20 tanesinde araştırmacılar tarafından girdi olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Bu indeks Denklem (1.1) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$TWI = \ln\left(\frac{Af}{\tan \beta}\right) \quad (1.1)$$

Formülde Af üst havzayı, β ise yamaç eğimini ifade etmektedir.

1.8.10. Akarsu Güç İndeksi

Topografik parametreler arasında değerlendirilen akarsu güç indeksi (SPI), heyelan potansiyelinin belirlenmesinde önemli bir göstergedir ve üst havza ile eğim çarpımına eşittir. Bu indeks esas itibariyle erozyon süreçleriyle ilgilidir ve bir akışın oluşturabileceği net erozyonun göstergesidir (Moore ve diğ. 1993, Wilson ve Gallant 2000, Olaya 2004). Yeşilnacar ve Topal (2005), havza alanı ve eğimin artışına paralel olarak su akış hızının arttığını ve erozyon riskinin de buna bağlı olarak artacağını ifade etmektedir. Genellikle, yüksek SPI değerinin daha fazla heyelan potansiyeli taşıdığı anlamına gelir (Gökceoğlu ve diğ. 2006). SPI parametresi, Hasekioğulları (2010) tarafından yapılan incelemede çalışmaların 12 tanesinde girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. SPI, Denklem (1.2) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$SPI = A_s \times \tan \beta \quad (1.2)$$

Formülde, A_s Spesifik havza alanını, β derece cinsinden eğimi göstermektedir.

1.8.11. Arazi Kullanımı

Çevresel parametreler sınıfında değerlendirilen arazi kullanımının, Hasekioğulları (2010) tarafından incelenen çalışmaların 45 tanesinde girdi parametre olarak kullanıldığı ifade edilirken, bazı araştırmacılar tarafından bitkilere ilişkin özellikleri bu parametre içerisinde değerlendirdiklerini, bazılarının ise ayrı bir parametre olarak değerlendirdiklerini belirtilmektedir. Bitkilere ilişkin özelliklerin ise incelenen çalışmaların 39 tanesinde girdi parametre olarak değerlendirildiğini ifade etmektedir. Böylece bu iki parametre birlikte değerlendirilecek olursa incelenen çalışmaların 84 tanesinde girdi parametre olarak kullanıldığı görülmektedir. Süzen ve Kaya (2011) ise incelediği çalışmaların % 75,52 sinde girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir.

Ormanlar doğal çevrenin korunmasında çok önemli bir role sahiptirler. Ormanın koruyucu fonksiyonları, hem toprak altı hem de toprak üstü süreçleri etkilemektedir (Sakals ve diğ. 2006). Yamaç stabilitesinin çok kırılgan bir dengeye sahip olduğu (Abe ve Ziemer 1991) dağlık alanlarda, heyelanların meydana gelme sıklıkları ve boyutları ile alan üzerindeki vejetasyon yakından ilgilidir. İyi gelişmiş bir orman örtüsü, dağlık bölgelerdeki dik yamaçlarda toprak erozyonu, heyelanlar (özellikle sığ heyelanlar) ve

çığlar gibi doğal afetlerin oluşumunu maksimum seviyede azaltabilmektedir (Innes 2004, Berger 2004, Bathurst ve diğ. 2010, Sakals ve diğ. 2006). Rice (1977)'e göre vejetasyon örtüsü heyelanlara karşı duyarlılığı artırabileceği gibi çoğu alanlarda olumlu yönde etkili olmaktadır. Rice (1977), yetişkin bir ormanın toprak nemini maksimum oranda azaltabileceğini ifade ederek, vejetasyon örtüsünün ortadan kaldırılmasını takiben toprak nem rejiminin büyük oranda değişeceğini belirtmekte ve genellikle kurak iklimlerin etkin olduğu alanların daha önemli olduğunu vurgulamaktadır. Duan ve Grant (2000), doğal yaşlı ormanlar ile kaplı yamaçlarla tamamen açık olan yamaçların koşullarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, açık alanların daha yüksek duraysızlaşmaya sahip olduklarını ifade etmektedir. Rickli ve Graf (2009)'ın ormanlık alan ile açıklık alanı karşıladıkları çalışmalarında, açık alanların daha yüksek sığ heyelan yoğunluğuna sahip olduğu görülürken heyelanların boyutları bakımından ciddi farklar bulunamamıştır. Yalnızca heyelanların derinlikleri bakımından ormanlık alanlarda meydana gelen heyelanlar, ortalama olarak daha derin olarak tespit edilmiştir. Yamaç eğimleri bakımından da ormanlık alanlarda meydana gelen heyelanlar daha yüksek eğimlere sahiptirler. O'Loughlin (1974), bulduğu sonuçların bazı belirsizlikler içermesine rağmen yine de ormansızlaşmanın yamaç stabilitesini nasıl etkilediğini ortaya koyduğunu ifade etmektedir. Heyelanların dağılım ve hacimlerinin büyük oranda ormancılık faaliyetleriyle ilgili olduğunu ifade eden Dhakal ve Sidle (2003)'in farklı orman yönetim uygulamaları için gerçekleştirdikleri stabilite simülasyonlarının sonuçlarına göre de tamamen vejetasyonun uzaklaştırıldığı alanlarda stabilitenin en düşük olduğu ve kısmi kesim yapılan alanların bu açık alanlara göre daha yüksek stabiliteye sahip oldukları ortaya çıkmaktadır. Imamuzmi ve diğ. (2008) de ormancılık faaliyetlerinin, özellikle çeşitli amaçlarla vejetasyonun tamamen uzaklaştırılmasının yamaç hidrolojisinde değişimlere neden olarak sığ heyelanların oluşumunda artış meydana getireceğini ifade etmektedirler. Yine aynı çalışmada, üretim yapılan ormanlık havzalarda, üretimden sonraki ilk 1 ila 10 yıllık dönemler içinde en fazla duraysızlaşma görüldüğüne dikkat çekerek heyelan meydana gelme sıklığının yaklaşık on kat daha fazla olacağını ifade etmektedirler. Sidle ve Terry (1992) ise Endo ve Tsuruta (1969) ile Megahan ve diğ. (1978)'e atfen vejetasyon uzaklaştırıldıktan sonraki yaklaşık 2 ila 12 yılda yamaçların heyelanlara en fazla duyarlı olacaklarını belirtmektedir.

Vejetasyon örtüsü, yamaçları fiziksel ve hidrolojik açıdan etkilemektedir. Steinacher ve diğ. (2009)'e göre hidrolojik etkisi çoğunlukla toprak içerisine suyun infiltrasyonunun

toplam miktarında azalmayı sağlaması ve yüzeysel akışı artırıcı rol oynamasından dolayı olumludur. Fiziksel etkisi ise birçok parametreye bağlı olmasından dolayı daha karmaşıktır. O'Loughlin (1974) ve Nilaweera ve Nutalaya (1999), orman örtüsünün yamaçların stabilitesini; (1) kök sisteminin gelişimine bağlı olarak mekanik stabilizasyon, (2) transpirasyon sonucunda toprak neminin azalması , (3) ağaçların ağırlıklarından kaynaklanan fazla yük, (4) rüzgarı tutma şeklinde çeşitli yollarla etkilediğini ifade etmektedirler.

Nilaweera ve Nutalaya (1999)'e göre vejetasyonun kök sistemlerine bağlı mekanik stabilizasyon ve vejetasyonla kaplı alanlarda transpirasyon sonucu toprak neminin azalması stabiliteyi artıran faktörler olarak değerlendirilirken vejetasyonun rüzgârı tutma özelliği büyük oranda stabiliteyi azaltıcı rol oynamaktadır. O'Loughlin (1974) ağaç köklerinin yararlı etkilerinin olumsuz etkilerine büyük oranda üstün geldiğini belirtmektedir. Ağaç kökleri yamaçların stabilitesini zayıf toprak kütlelerini ana kayaya sabitleme, zayıf zonlardan geçerek yatay destek oluşturma ve zayıf toprak kütleleri içinde lifli bağ görevi görerek güçlendirmektedir (Zeimer 1981a/b, Abe ve Ziemer 1991). Tsukamoto ve Minematsu (1987) çalışmalarında, ağaç köklerinin toprak mukavemetini önemli ölçüde güçlendirdiğini ve ormansızlaşma sonucu stabilitenin korunmasında etkili olan güvenlik faktörlerinin büyük oranda azaldığını belirtmektedir. Bischetti ve diğ. (2009) vejetasyonun hem hidrolojik süreçleri hem de toprağın mekanik yapısını etkileyerek stabilite üzerinde etkili olduğunu belirterek, bu etkilerinin boyutunun bitki türlerinin genetik özellikleri ve çevresel faktörler ekseninde kök sistemi gelişimine bağlı olduğunu ifade etmektedir. Ağaçlar kesildikten sonra canlı kökler zamanla çürümeye başlayacağından toprak zamanla zayıflayacak ve stabilite sorunları ortaya çıkmaya başlayacaktır. Eğer ormanlık yamaçların stabilitesi marjinal durumdaysa, ağaçlar kesildikten sonra heyelanların ortaya çıkışında çoğunlukla artış meydana gelecektir. Çeşitli nedenlerle orman örtüsünün ortadan kalkmış bir alana yeniden vejetasyon hâkim olmaya başladığında, toprak tabaka yeni köklerin gelişmesiyle zamanla tekrar stabil hale gelmeye başlamaktadır (Zeimer 1981b).

Ağaçların ağırlığının yamaç stabilitesi üzerinde başlı başına olumsuz etkisi olmadığını belirten Nilaweera ve Nutalaya (1999), kütle hareketinin şekline ve yamacın eğim derecesine bağlı olarak yararlı ya da zararlı yönleri sahip olabileceğini belirtmektedir. Steinacher ve diğ. (2009), heyelanın kayma düzleminin derinliğinin çok önemli bir

faktör olduğunu belirttikleri çalışmalarında vejetasyon örtüsünün sığ heyelanların meydana gelmesini önlemede çoğunlukla etkili olduğu, derin heyelanların meydana geldiği alanlarda ise olumsuz etki yaptığı vurgulanmaktadır. Frehner ve diğ. (2007)'e göre sığ heyelanlar (derinliği 0-2m, kayma alanı <0,5 ha ve yaklaşık 100m³ hacme sahip olan), özellikle ağaçlar alandan tamamen uzaklaştırıldığında ormanlık alanlarda kendiliğinden gelişebilirler. Burada belirtildiğine göre, ideal yapıdaki bir orman, bu tür heyelanları tamamen önleyemese de azaltabilmekte ve yamaçların stabilitesini geliştirebilmektedir. Ancak aynı çalışmada eğimin 40°'nin üzerine çıktığı durumlarda ormanların etkisinin önemli ölçüde azaldığı ifade edilmektedir. Ayrıca ağaç köklerinin yukarıda bahsedilen özellikleriyle stabilizeyi artırıcı fonksiyonları, derin heyelanlar için sığ heyelanlar üzerindeki etkileri kadar geçerli olmamaktadır. Yine, Frehner ve diğ. (2007)'de ormanların suyun infiltrasyonunu azaltarak ve toprak içerisinde perkolasyonunu önleyerek dolaylı etkide bulunabildikleri, ancak toprak su ile tamamen doygun hale geldiğinde bu fonksiyonun işlevini yitirdiği ifade edilmektedir. Dahası devrilmiş gövdelerin de eğer alan üzerindeki bir drenaj kanalında tıkanıklığa neden olurlarsa problemlere neden olabilecekleri belirtilmektedir.

Ağaç türleri açısından da yoğun ve derine kök gelişimi yapabilen bireyler heyelanların önlenmesi açısından çok önemli olmaktadır. Uygun olmayan ağaç türlerinin alan üzerindeki varlığı, köklerinin toprağı sağlamlaştırmasından ziyade ağırlıkları ile alanın stabilitesini daha fazla kötüleştireceklerdir (Anonim 2008). Turner ve diğ. (2010) araştırmalarında heyelan yoğunluğu ile meşcere yaşı artışı arasında negatif eğilim olduğunu ifade etmektedir ve on yaşından daha küçük meşcerelerde iki kat fazla yoğunlukta heyelan tespit ettiklerini belirtmektedirler. 100 yıl tekerrürlü bir yağışın yoğunluğunun % 150'den daha büyük olduğu alanlardaki genç meşcerelerde (0-10 yaş sınıfı) yüksek heyelan yoğunluğu tespit etmişlerdir.

1.8.12. Yola Uzaklık

Yollar yamaçta geçtiği yerlere bağlı olarak hassas bölgelerde topuk desteğinin kaybolmasına neden olacağından veya yamaca ek yük getireceğinden dolayı hem heyelan oluşumu üzerinde (Uzunsoy ve Görcelioğlu 1985) hem de frekansı üzerinde etkilidir (Dyrness 1967, Megahann ve Kidd 1972, O'Loughlin 1974). Sidle ve diğ. (1985) yaptıkları çalışmada, yolların geçmediği yamaçlara kıyasla geçen yamaçlarda kütle hareketlerinin 30 ila 340 kat daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır. Piehl ve

diğ. (1988), Oregon’da yaptıkları çalışmada, yollara bağlı olarak meydana gelen heyelanların, tüm heyelanların % 72’sine tekabül ettiğini belirtmişlerdir. Yollar aynı zamanda heyelan riski taşıyan alanlarda, dolgu sevi başta olmak üzere yamaçta su konsantrasyonunu artırmak suretiyle dolaylı olarak da heyelana neden olabilirler (Montgomery 1994). Hem daha önce inşa edilmiş bir yol hem de yeni inşa edilmiş bir yol heyelana neden olabilir (Harr ve Nichols 1993), fakat yolun yaşı arttıkça heyelana sebep olma oranı azalmaktadır (Fransen ve diğ. 2001). Bu etkilerinin yanı sıra yollar yamaç sürekliliğini kestiği için yüzey altı suların yüzeye çıkmasına neden olmakta ve yol drenaj sistemleri tarafından toplanmaktadır. Özellikle şiddetli yağışlardan sonra yetersiz veya yanlış projelendirilmiş drenaj tesisleri, yağış suları ile birlikte bu suları da güvenli bir şekilde tahliye edemediği için heyelan oluşumunu tetikleyen bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Furniss ve diğ. 1991). Bu açıklamaların da ortaya koyduğu nedenlerden dolayı, “yola uzaklık” parametresi heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında kullanılan bir parametre olmuştur (Akgun 2011, Süzen ve Kaya 2011, Yılmaz ve diğ. 2011). Akıncı ve diğ. (2010), yola uzaklık parametresini 9 sınıfa ayırmakta ve çalışmasında, heyelanların % 62’si 0-750 m arasında yer almaktadır. Yılmaz ve Keskin (2009) ise çalışmalarında, heyelanların % 70’i 0-200 m arasında yer almaktadır. Akgün (2011), 5 yola uzaklık sınıfı (0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m ve >400 m) tanımladığı çalışmasındaki heyelanların ise % 96’dan fazlası 400 m’den fazla mesafelerde yer almaktadır. Akgün ve diğ. (2008), yola uzaklık parametresini 5 sınıfa ayırdıkları (0-50 m, 50-100 m, 100-150 m, 150-200 m ve >200 m) çalışmalarında ise heyelanların yaklaşık % 33’ü 0-50 m mesafede yer alırken % 16’sı ise 200 m’den fazla mesafelerde bulunmaktadır.

1.9. ORMAN YOLLARI-HEYELAN İLİŞKİSİ

Varoluşundan bu yana insanoğlu yaşamını devam ettirme, korunma vb. temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yer değiştirmek zorunda kalmıştır ve bundan dolayı yolun tarihi insanlık tarihi ile paralel gelişmeler göstermiştir. Orman yolları da dünyadaki teknik ve ekonomik gelişmelere paralel olarak insanoğlunun orman kaynaklarından beklenen üretim fonksiyonları ile var olan ormanların sürekliliğinin sağlanması ve üretilen ana ürünlerin üretim ve pazarlama noktalarına ulaştırılmasını mümkün kılan tesislerden olmuştur. Görçelioğlu (2004)’e göre orman yol ağları, orman

alanlarının işletmeye açılarak bu alanların ulusal ve uluslararası piyasa ile bütünleştirilmesi için uzun vadede alternatifi olmayan tek seçenektir.

Orman yolları, orman nakliyatı amaçları ile inşa edilen ve genellikle kamyon nakline elverişli olan her tip yol olarak tanımlanmıştır (Bayoğlu 1997). Erdas (1997) ise orman yollarını, ormanların işletmeye açılmasına hizmet eden, lastik tekerlekli araçların bütün yıl üzerinde nakliyat yapmasına yönelik, orman içi ve orman dışı bağlantıyı sağlayan tek şeritli yollar olarak tanımlamaktadır. Teknik açıdan, geometrik boyutları daha küçük olan karayolları olarak düşünülebilirler. Genellikle dağlık alanlarda ve yerleşim birimlerinden uzak yerlerdeki ormanlık alanları işletmeye açmak için planlanırlar. Ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için en önemli alt yapı tesislerini oluşturan bu yollar, orman işletmesinin etkinliği, entansif silvikültür ve ekonomik üretim, ormanın korunması, çeşitli afet ve hasarların olumsuz sonuçlarının en kısa sürede ortadan kaldırılmasında ön koşul niteliğindedirler (Görcelioğlu 2004). Nitekim 292 sayılı “Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı” başlıklı tebliğde orman yol ağı planlarının “...bir orman topluluğunun entansif olarak işletilmesi için ekim, dikim, bakım, kesim, hastalık ve zararlılarla mücadele, yangınlardan korunma veya yangınları söndürme gibi çeşitli ormancılık hizmetlerinin zamanında, yöntem ve tekniğine uygun olarak yapılabilmesi, ormanların çok yönlü fonksiyonel faydalarının hizmete sunulması için düzenleneceğinden...” bahsedilmektedir.

Her türlü yüklenmeyi zemine aktaran, alt ve üst yapıdan oluşan mühendislik yapıları olan ve “kara ulaştırma araçlarının gidiş gelişini temin amacıyla ortaya konan yapı” olarak tanımlanan yollar; i) devlet yolları, ii) il yolları, iii) köy yolları ve iv) orman yolları olarak kategorize edilirler (Erdaş 1997). Burada, dördüncü grup olan orman yolları ise genellikle; irtibat yolları, ana orman yolları, tali orman yolları ve traktör yolları olmak üzere sınıflandırılırlar (Erdaş 1997). Bir orman topluluğundan elde edilecek her türlü hasılatı, amaca uygun ve sürekli taşıma ile diğer bütün ormancılık faaliyetlerine elverişli, bu tür birbirine bağlı birçok yolun birleşimiyle oluşan yapıya ise orman yol ağı denmektedir (Görcelioğlu 2004). Orman ürünlerinin çeşitli koşullar altında üretildiği yerden endüstri veya tüketim merkezlerine kadar en uygun yöntemlerle ve en ekonomik şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla planlanırlar (Bayoğlu 1997). Sistemik olarak planlanması çalışmaları, 1964-1974 yılları arasında gerçekleştirilen yol ağları, yalnızca verimli ormanlar dikkate alınarak 144425 km

belirlenmiştir (Aykut ve Demir 2004). Ancak, gelişen tekniklere, rasyonel ormancılık istekleri ve plan uygulamalarına bağlı olarak bu rakam revize edilmiş (Aykut ve Demir 2004) ve planlanan 201810 km’lik orman yollarının 2006 yılı sonu itibariyle % 70,98’i tamamlanmıştır (Hasdemir ve Demir 2009). 2011 yılı sonunda bu yollara 7184 km yeni yol daha eklenmiştir (OGM 2012).

Genişlikleri, eğimleri ve diğer özellikleri bulunduğu alanın özelliklerine göre değişen irtibat yolları, genel olarak diğer orman yol standartları ile uyumlu olarak yapılırlar ve inşa edilmiş amaçları orman yolları ile diğer yollar arasında bağlantı sağlamaktır (Erdaş 1997). Bundan dolayı, bu yollar orman yol şebekesi kapsamına girmemekte ve yol yoğunluğu hesabına da dâhil edilmemektedir. Orman yol şebekesinin temelini oluşturan ana orman yolları “platform genişliği 7 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 8 m olan ana dereleri izleyen yollar” olarak tanımlanmaktadır (Erdaş 1997). Bu yollara 6 m genişliğinde üst yapı malzemesi serilmektedir. Kurp yarıçapı en az 50 m ve en fazla % 8 eğimle inşa edilmelidirler. Bu genişlikteki yollar ancak üzerinde bir yılda 50000 m³’ten fazla emval taşınacağı durumlarda Orman Genel Müdürlüğü’nün özel izni ile yapılabilir. Ana orman yollarından ayrılarak orman içerisine orman içi istif alanlarına bağlantıyı sağlayan tali orman yolları; A tipi tali orman yolu ve B tipi tali orman yolu olarak sınıflandırılmaktadır (Erdaş 1997). A tipi tali orman yolu, “platform genişliği 6 m hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 7 m olan ana dere yolları” olarak tanımlanır ve bu yollarda 5 m üst yapı serilmektedir. Kurp yarıçapı en az 35 m ve eğimi en fazla % 10 olan bu yolların inşa edilebilmeleri için üzerinden bir yıl içerisinde 25000-50000 m³ emval taşınmalıdır (Erdaş 1997). B tipi orman yolları ise, “platform genişliği 4 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 5 m olan dere ve yamaç yolları” şeklinde tanımlanmaktadır (Erdaş 1997). Üst malzeme genişliği 3 m olan bu yolların kurp yarıçapları en az 20 m ve eğimi en fazla % 12’dir. Üzerinde bir yıl içerisinde 25000 m³’ten daha az emval taşınmaktadır. Orman yollarının standartları Çizelge 1.6’da gösterilmiştir. Traktör yolları ise, dere içlerinde belirli rampalarda toplanan emvalin sürütülerek ana yola çıkarılmasının olanaksız olduğu durumlarda sadece bu emvali almak için yapılan geçici yollardır.

Tepelik ve dağlık arazilerde orman yolları; vadi (dere) yolları, yamaç yolları ve sırt yolları olarak ayrılırlar (Görcelioğlu 2004). Genellikle vadi tabanlarını işletmeye açmak için tasarlanan vadi yolları, geçkileri üzerinde inşa edilen sanat yapıları pahalı

olduğundan dere boyunca planlanırlar ve zorunlu olmadıkça dere geçişleri yapılmaz. Yamaç yolları ise vadi yollarından ayrılarak işletmeye açmayı gerçekleştiren yollardır. Planlanmasında kurpların az sayıda olmasına özen gösterilir. Tepelik arazilerde uygulanabilecek maliyeti en ucuz yol tipi olan sırt yolları, araziye kısıtlı şekilde işletmeye açabilmektedirler. Bu yüzden vadilerin ulaşılması çok güç ya da bataklık olduğu yani vadinin yol yapımına elverişli olmadığı durumlarda planlanırlar (Görçelioğlu 2004).

Çizelge 1.6. Orman yolu standartları (Erdaş 1997)

YOLUN TİPİ	ANA ORMAN YOLU	TALİ ORMAN YOLU	
		A TİPİ	B TİPİ
Platform Genişliği (m)	7	6	4
Şerit Sayısı (Adet)	2	1	1
Azami Meyil (%)	8	10	12
Asgari Kurp Yarıçapı (m)	50	35	20
Şerit Genişliği (m)	3	3	3
Banket Genişliği (m)	0,5	0,5	0,5
Hendek Genişliği (m)	1	1	1
Üst Yapı Genişliği (m)	6	5	3

İşletmeye açılması planlanan orman alanının, o yol ağının planlandığı toplam alanına oranı işletmeye açma oranıdır. Yol aralığı ise birbirini takip iki yol arasındaki mesafedir. İşletmenin entansitesi, yol yapım ve bakım masrafları, sürütme masrafları, işçi ücretleri, eta vb. birçok faktöre bağlı değişen yol yoğunluğu birim alana isabet eden yol uzunluğudur. Bu kriterler planlanan yol ağının, ormanın amaca uygun şekilde işletmeye açılıp açılmamasını gösteren kriterler olarak kullanılmaktadır. Burada yol aralığına etki eden faktörler çok ve çeşitlidir (Bayoğlu 1997).

Ormanları işletmeye açma amacıyla inşa edilen yollardan oluşan yol ağı ile ilgili çalışmalar; planlama, projelendirme, yapım ve bakım olmak üzere kategorize edilmektedir. Planlama ve projelendirme çalışmaları kesin sınırlarla birbirinden ayıramamakta olup çoğunlukla birlikte yürütülürler. Bu yollar ihtiyaca göre üst yapı ile teçhiz edilirler ve kural olarak ekonomik, teknik ve ekolojik bakımdan basit bir yapı tarzı seçilerek imkan ölçüsünde yerel olarak sağlanan malzemeden yararlanılarak yapılırlar (Bayoğlu 1997). Planlama sürecinde orman yol güzergâhının belirlenmesi ise en zor ve en önemli aşamadır. Yanlış bir güzergâhın seçilmesi sonucu, teknik ve ekonomik sorunlar ortaya çıkmasının yanında, doğal çevreye de olumsuz etkileri olmaktadır. Bir orman yolunun yapılmasının ekolojik sisteme müdahale olduğunu ifade

eden Görcelioğlu (2004), orman yollarının gerekli koruyucu önlemler alınmadığı ve yeterince dikkatli davranılmadığı takdirde erozyon, sel, taşkın, heyelan ve sedimentasyon vb. olumsuz sonuçlar ortaya çıkardığını belirtmektedir. Duncan ve diğ. (1987), kütle hareketlerinin meydana gelme olasılığını azaltmak ve dere sedimentasyonunu önlemek için daha iyi yol lokasyonu, üretim planlaması ve yol mühendislik inşasının ihtiyaç olduğunu ifade etmektedir. Yolların kompleks mühendislik yapılar olduğunu belirten Hasmadi ve diğ. (2008), orman yol inşasının ve ayrıca bakımlarının yüksek yatırım ve bakım harcamaları gerektirdiğini ifade etmektedir. Ormanın tesis aşamasından üretim aşamasına kadar orman içine ulaşımı rahat, güvenli ve ekonomik olarak sağlayan, orman ürünlerinin taşındığı (Abeli ve diğ. 2000), diğer ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirildiği orman yolları içerisinde buldukları tabii sistemler için hem yapım aşamasında hem de kullanım sürecinde çeşitli aktüel ve potansiyel riskler oluştururlar. Bu nedenle üretim sahalarına ulaşımı sağlayan bir orman yol ağının planlanması zor ve zaman alıcı bir iştir (Abdi ve diğ. 2009).

Orman yollarının geçtikleri yamaçların stabilitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur. Örneğin, Pantha ve diğ. (2008) yol inşası gibi mühendislik yapılarının yamaç stabilitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olabildiğini ifade etmektedir. Siddle (1985), yol inşasından sonra yamaçların stabilitesinin bozulmasının kaçınılmaz olduğunu belirterek, yolların yamaçlara yük bindirmesi, yapılan kazı ve dolgu yüzeyleri üzerinde eğimlerin dik olması, kazı şevlerinin desteğinin ortadan kalkması ve suyun yol üzerinde yoğunlaşması veya saptırılması ile duraysızlıkların ortaya çıkabileceğini ifade etmektedir. Ayrıca yolların derin ve sığ heyelanları ortaya çıkarabileceği veya daha önce meydana gelmiş heyelanları yeniden aktif hale getirebileceği belirtilmektedir. Orman yollarının inşa edildikleri çevre üzerindeki kütle hareketlerinin oluşumu açısından etkileri, jeomorfik ve hidrolojik olarak değerlendirilmektedir (Gucinski ve diğ. 2000). Yolun neden olduğu jeomorfik etkilerin boyutlarının iklim, jeoloji, yolun yaşı, inşa şekli ve yağışlara bağlı olarak değiştiğini ve heyelana duyarlı sarp ormanlık arazilerde yol inşasından sonra bu tür sorunlarda artış meydana geldiğini belirten Gućinski ve diğ. (2000)'e göre orman yollarının jeomorfik etkileri 4 temel mekanizma ile gerçekleşmektedir. Bunlar: (I) yolun yüzeyinden kaynaklanan erozyon, (II) kanal yapısı ve geometrilerini doğrudan etkileme, (III) yüzeysel akış yollarını değiştirme ve yüzey altı akışı engelleme ve (IV) yol dere

kesişimlerinde su, sediment ve odunsu atıkları ihtiva eden materyal arasındaki etkileşim şeklinde özetlenebilir.

Coker ve Fahey (1993), Golden Dağları ve Motueka ormanlarında (sırasıyla Nelson'un (Yeni Zelanda) güney batı ve batısında yer almaktadır) 1990 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelen 4 adet fırtınadan dolayı karayolunun 142 km'lik kazı ve dolgu şevlerinde 263 adet duraysızlık meydana geldiğini ve yolun 209 km'lik kısmında yer değiştiren kütlelerin toplam hacminin 193000 m³ (yaklaşık 367000 ton veya kilometrede 2 800 ton) olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca bu miktarın doğal süreçler sonucu oluşan yüzey erozyonu ile 80 yılda gerçekleşebileceği vurgulamaktadır. Büyük ölçekli taşıma işlerinin entegre bir parçası olan orman yollarının bilinen etkilerinin çoğunun sezgisel olduğunu belirten Dutton ve diğ. (2005), çalışma alanlarındaki uzun dönemli akış analizlerine göre yol inşasını takiben küçük ama algılanabilir pik akışlar ortaya çıktığını belirtmektedir. Ayrıca yapılan erozyon envanterine göre şiddetli yağışların ardından kütle hareketlerinin esas sorumlusu olan yollarda, diğer yol olmayan orman alanlarına göre 30 kat daha fazla heyelan meydana geldiği ifade edilmektedir (Swanson ve Dyrness 1975). Yapılan çalışmaların inşa edilen yolların, genellikle küçük ve materyalin uzun mesafeler kat etmediği heyelan olaylarını artırdığını belirten Allison ve diğ. (2004) ise, doğal alanlarla karşılaştırıldığında 25 ile 350 kat daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Kütle hareketlerinin transport ağı üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak için bölgedeki yolların konumsal dağılımı ile mevcut farklı heyelan haritalarını CBS ortamında karşılaştırdıkları çalışmalarında, sonuçların kütle hareketlerinin tipine, yolun lokasyonuna ve alanın jeomorfolojisine bağlı olduğunu vurgulayan Reichenbach ve diğ. (2002), kütle hareketleri ile uzun bir geçmişe sahip olan İtalya'nın Umbria Bölgesi'nde heyelan hasarlarını gidermek için 1989-1996 döneminde 35 milyon avro harcadığını ifade etmektedir. 1937-1941 yağış olayları ile meydana gelen heyelanları yollar ile kesiştirdiklerinde, yolun her 10 kilometresinde 3 heyelan alanı ve 1997 deki hızlı kar erimesinden kaynaklanan heyelanlardan ise yine her 10 kilometreye 1 heyelan alanı düştüğü sonucunu bulmuşlardır.

Heam ve diğ. (2007), yolları etkileyen heyelanların büyüklük ve hacimlerine yönelik veri elde etme probleminin büyüklüğüne yönelik, sistematik kayıt veya çalışma olmaması bakımından zor olduğunu belirtmektedir. Ancak acil bakım çalışmalarının % 50-80'inin heyelanlar ve etkilerinden kaynaklandığını ifade etmektedir. Ortaya çıkan

ortalama heyelan masraflarının ise Lao Demokratik Halk Cumhuriyeti için yaklaşık olarak yıllık kilometre başına 1000 ile 1500 US\$ eşit olduğunu ve son üç yıl boyunca heyelan temizleme ve hasar giderme çalışmalarının ekonomik maliyetinin 18 milyon US\$ civarında olduğunu belirtmektedir. Meydana gelen duraysızlıkların % 70'inin yolun üst tarafında yer alan kazı şevinde meydana geldiğini belirten Heam ve diğ. (2007), çoğunluğunun ayrışma profili içerisinde sığ olarak meydana geldiğini ifade etmektedir. Meydana gelen bu duraysızlıkların, ana yola yakın alanları ve yol kenarı drenaj sistemlerini bloke ettiğini belirtmektedir. Türkiye'de, 2004 yılı sonu itibariyle yolların 61100 km'sinde büyük onarıma ihtiyaç duyulduğu ve bunun 28923 km'sinin (% 47,34'üne tekabül etmektedir) tamamlandığı Aykut ve Demir (2004) tarafından belirtilmektedir. OGM 2010-2014 Eylem Planında, "Ormancılık altyapısının güçlendirilmesi amacıyla 2014 yılı sonuna kadar toplam 7500 km yeni orman yolu yapılacaktır. Bu kapsamda ayrıca, geçmiş yıllarda yapılan mevcut yolların iyileştirilmesini sağlamak için her yıl % 3 oranında orman yolu standart hale getirilecektir" denmektedir. Türkiye'de, son 10 yılda (2002-2011) 9783 km orman yolu büyük onarıma tabi tutulmuştur ve yaklaşık olarak 70 milyon TL bütçe bunun için ayrılmıştır (OGM 2012). Orman yollarının hangi nedenlerden dolayı büyük onarıma tabi tutulduğu hakkında resmi bir bilgi olmasa da, büyük çoğunluğunun kütle hareketlerinden kaynaklandığı bilinmektedir.

Dağlık arazilerde orman yollarının yapımından ve yapılmış yollardan kaynaklı sorunların ortaya çıkması yanı sıra topoğrafyanın karakteristik özelliklerini oluşturan sel yataklarından ve dengelerini kolayca yitirebilen yamaçlardan dolayı yol planlama, inşa ve bakımları açısından da sorunlar yaşanmaktadır. Dağlık arazilerde sel yataklarının başlıca zararlı etkileri erozyon, sedimantasyon ve taşkındır (Görcelioğlu 2004). Bu yamaçlarda her formda erozyon meydana gelebildiğini belirten Görcelioğlu (2004), bir orman yolunun bir dere ya da sel yatağı boyunca uzanması veya dere kesişiminin olması durumunda yolun zarar görebileceğini ifade etmektedir. Suyun aktığı yatağın yanlarını aşındırması sonucu oluşan kıyı erozyonunun, dere kıyısı boyunca uzanan yollarda meydana gelen hasarların başlıca nedenidir. Yol inşası ile daraltılan dere yataklarında hasar tehlikesi daha fazla olmaktadır. Yatağın yan yüzlerinde, yolun dolduru şevinde, dere boyunca bulunan kıyı duvarlarında, kaplama ve istinat duvarı gibi koruyucu yapılarda alt oyulmalar meydana gelebilmektedir (Görcelioğlu 2004). Aynı şekilde, çoğunlukla yanal erozyonla birlikte görülen mecr erozyonu da yolun dolgu

şevinde ve sanat yapılarında hasarlara neden olurlar. Çünkü bu yapılar oyulmalara maruz kalarak desteklerini ve dengelerini yitirmektedirler. Yine kasis ve menfezlerin aşağı uçlarında meydana gelen oyulmalar da hız kazanan suyun aşındırma kuvvetinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Dere yatağının daraldığı yerlerde, suların yükselerek yolun bazı kısımlarında, üzerinde akmak zorunda kalmasından dolayı da yol yüzeyinin erozyona maruz kalarak hasar görmesi söz konusu olmaktadır (Görçelioğlu 2004). Erozyon ve yamaç hareketlerinin birbirleriyle etkileşim içerisinde olan jeodinamik süreçler olduğunu belirten Akgün (2007), toprak erozyonunun etkisiyle oluşan zayıflamalar, kayaların fiziksel olarak parçalanması ve bozunması, yoğun yağış, yüksek eğim gibi faktörlerin de etkisiyle heyelanları tetiklediğini ifade etmektedir. Meydana gelen bu toprak kaymaları da yollarda yolun bir bölümünün kayma sonucu yer değiştirmesi, kayan kütlelerin yolun bir bölümünü kapatması gibi yolun ağır bakıma tabi olmasına neden olacak hasarlar ortaya çıkarmaktadır.

Orman yol inşası ekonomik, ekolojik ve sosyal gereklilikleri dikkate alarak yapılması gereken bir süreçtir (Akay ve Sessions 2005). Orman yollarının orman ekosistemi üzerindeki olumsuz etkileri önceden belirlenerek, çevreye en az zarar veren yol güzergâhının tespit edilmesi, hem üretimde verimliliğin artırılmasına hem de ormancılık faaliyetlerinde sürdürülebilirliğin sağlanmasına hizmet edecektir. Forman (2000), bir yol sisteminin pozitif ve negatif ekolojik etkilerinin olduğunu ifade ederek, bunların anlaşılmasının transportun planlaması ve politikalarının oluşturulması açısından çözüm geliştirmeye yardımcı olacağını belirtmektedir. Nitekim 202 ve 292 sayılı tebliğlerde “Planlanacak yolların tespitinde, ormanların çok yönlü fonksiyonel faydalarını en yüksek seviyede hizmete sunacak, orman içi ve bitişiği alanlarda yaşayan insanların kalkınmasına ve yaşantısına katkı sağlayacak, orman alanı kaybını en aza indirecek, sürekli ve güvenli ulaşımına açık kalacak, yapım ve bakım maliyeti en düşük, çevre zararı en az olan yolun planlanması temel ilkedir.” ifadesi yer almaktadır. Aynı zamanda Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) sekizinci beş yıllık planı ormancılık özel ihtisas komisyonu raporunda, orman yolları planlama çalışmalarında ormanların fonksiyonel önceliklerinin dikkate alınarak amenajman planlarına bağlı olarak gerçekleştirilmesi, planlama kriterlerinin bu bağlamda yeniden belirlenmesi hedef gösterilmiştir. Ayrıca ormanların fonksiyonel planlamaları tamamlanıncaya kadar mevcut yol planlama kriterleri ile planlama çalışmaları yapılmayacak ifadesine yer verilmiştir. Odun üretimi ve transport planlama ekonomik ve çevresel açıdan daha az zararlı olması açısından ve

yolların ileride yapılacak üretim işlerine ulaşması beklendiği için gereklidir. Hasmadi ve Kamaruzaman (2008), yolların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek için uygun şekilde inşa edilmeleri gerektiğini vurgulamaktadır. Planlamanın değeri arazi şekline, alanın büyüklüğüne, üretilen tomruk miktarına, potansiyel üretim alanlarına, mevcut yollara ve çevresel düzenlemelere bağlıdır. Yolun güzergâhının belirlenmesi yol inşasının temelini oluşturmaktadır. Orman yolları stabil zeminlere inşa edilmelidirler. Bunu yaparak sadece çevrenin daha az zarara uğratılmasının yanısıra daha az ve ekonomik bakım sağlanır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

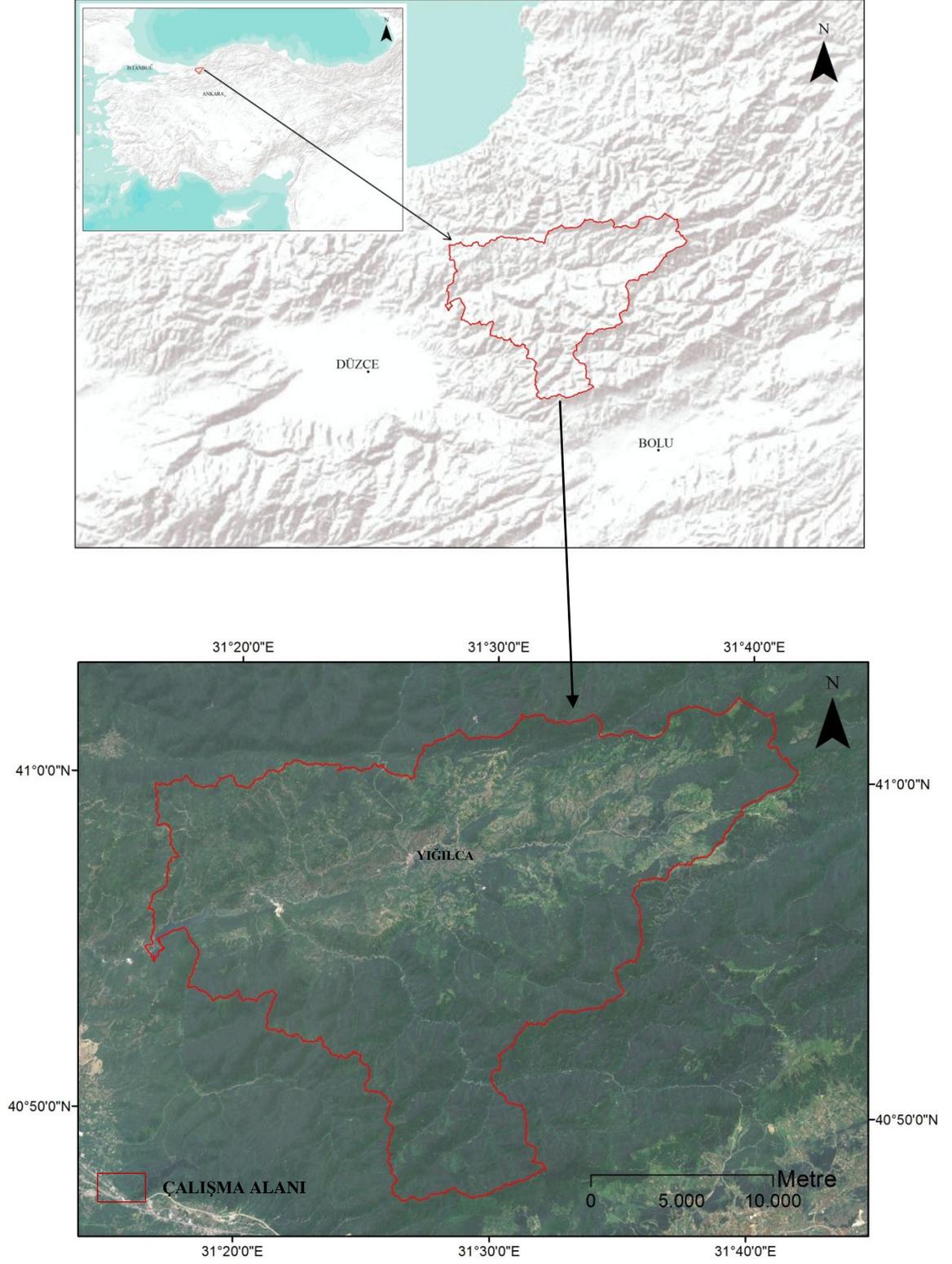
2.1.1. Konumu

Çalışma alanı, Türkiye’de heyelanların sıklıkla geliştiği bölgelerin başında gelen Batı Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Düzce ili sınırları içerisinde bulunan Bolu Orman Bölge Müdürlüğü’ne bağlı Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü’dür (Şekil 2.1). 1/25000 ölçekli Adapazarı F26c3, F26c4, F27d3, F27d4, G26b1, G26b2, G26b3, G26b4, G27a1, G27a2, G27a3, G27a4 paftaları içerisinde UTM koordinat sisteminde 36. zonun K 41° 2.230'- 40° 47.597 ile E 31° 16.186'-31° 41.974' koordinatları arasında yer almaktadır. Çalışma alanı 499 km² (49874 ha) büyüklüğündedir.

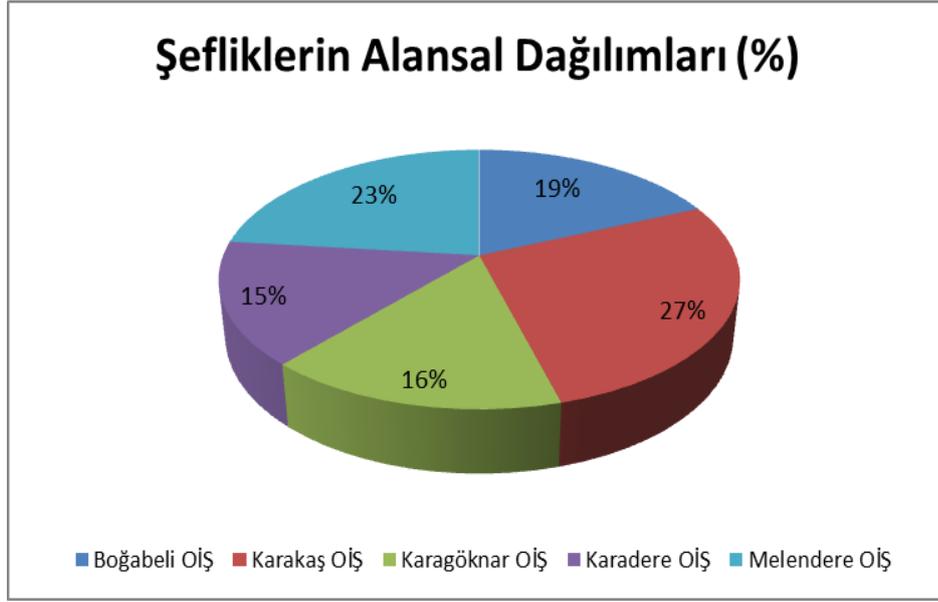
Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü bünyesinde Boğabeli Orman İşletme Şefliği, Karakaş Orman İşletme Şefliği, Karagökmar Orman İşletme Şefliği, Karadere Orman İşletme Şefliği ve Melendere Orman İşletme Şefliği olmak üzere beş adet işletme şefliği bulunmaktadır. İşletme şefliklerinin alansal dağılımları Çizelge 2.1’de ve Şekil 2.2’de verilmiştir. Buna göre alan içerisinde en büyük işletme şefliği Karakaş Orman İşletme Şefliği olup, en küçük şeflik Karadere Orman İşletme Şefliğidir.

Çizelge 2.1. Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü bünyesindeki işletme şefliklerinin alansal dağılımları

İşletme Şefliği	Alanı (ha)
Boğabeli	9209
Karakaş	13618
Karagökmar	7846
Karadere	7619
Melendere	11582



Şekil 2.1. Çalışma alanının konumu



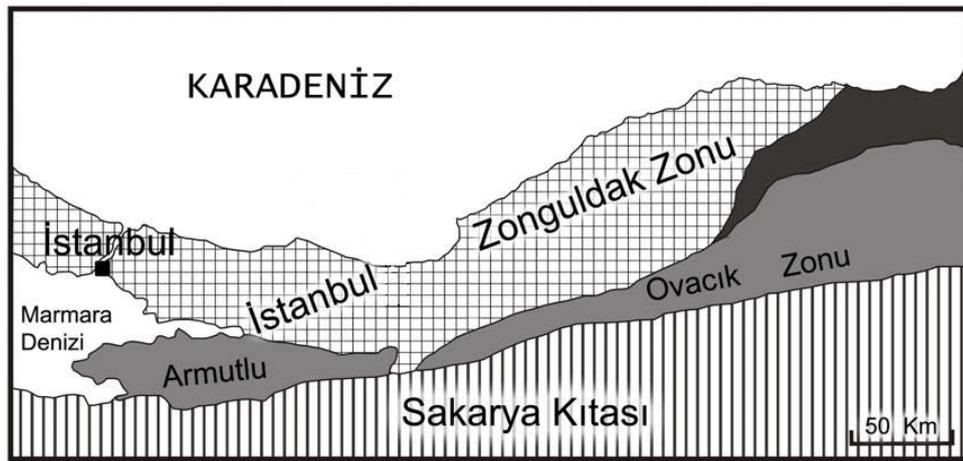
Şekil 2.2. Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü bünyesindeki orman işletme şeflikleri alanlarının yüzde dağılımları

2.1.2. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

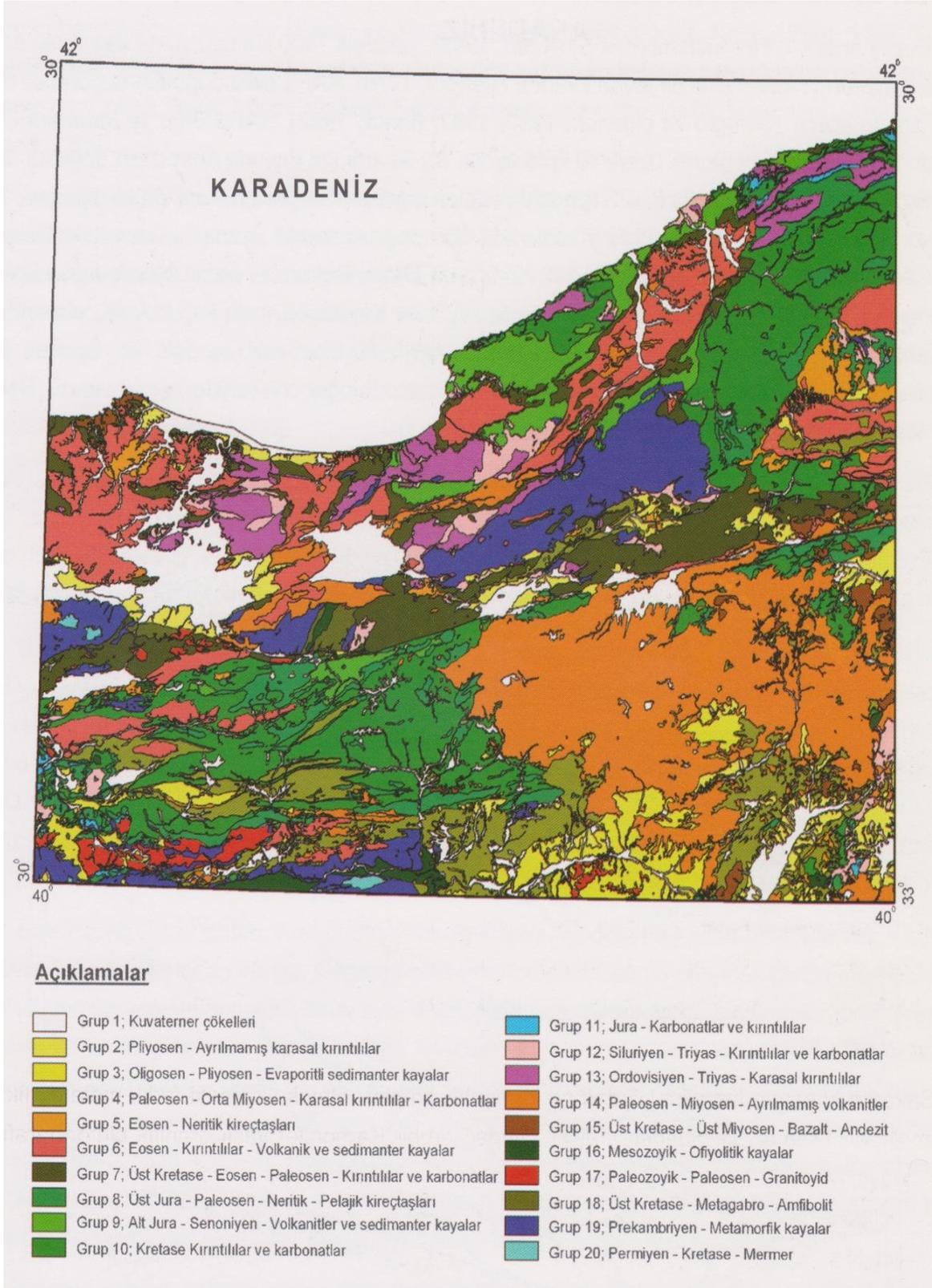
Çalışma alanında bulunan en önemli yerleşim merkezi Yığılca ilçesidir. İlçede 2007 yılında yapılan nüfus sayımına göre toplam nüfus 18816'dır. Bu nüfusun 3314 kişisi ilçe merkezinde ve 15502 kişisi köylerde (toplam 38 adettir) yaşamaktadır (Anonim 2012b). Ekonomik yapı genelde tarıma dayalıdır. Fındık ve bal başlıca gelir kaynağıdır. Orman işçiliği ve kapalı kümes tavuğu işçiliği de yapılmaktadır. İlçe coğrafi özelliği itibariyle eğimli, çoğu kayalık ve ormanlık arazi yapısına sahip olduğundan, tarım arazisi dar ve verimsizdir. Yığılca ilçesi kuzeyde Zonguldak ili, doğusu ve güneyinde Bolu ili, batısında Düzce ili, kuzeybatısında Akçakoca ilçesi ve güneybatısında Kaynaşlı ilçesiyle çevrilidir. Vadilerden akan suların en önemlisi Melen Çayı'dır. Yığılca'nın içinden geçerek Hasanlar Barajı'na dökülmektedir. Dağlar sık ormanlarla kaplıdır. Vadilerde ekime elverişli bereketli topraklar olduğu gibi, bitki örtüsü de, Karadeniz iklimine uygun olarak sık ve yeşil orman türleri halindedir. İl merkezine 33 km'lik devlet karayolu ile ulaşılır. Yedigöller Milli Parkı ilçeye 38 km'lik mesafededir ve ulaşım stabilize yolla sağlanmaktadır. Zonguldak İli Alaplı İlçesine 32 km, Bolu İline orman içinden yolu mevcut olup ulaşım elverişli değildir (Anonim 2012b).

2.1.3. Genel Jeolojik Özellikleri

Çalışma alanı, Pontidlerin batı bölümünde Düzce, Yığılca, Almacık Dağı ve çevresini içine alan bölgede, Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonu ve Sakarya zonuna ait birimler tektonik ilişkili olarak birlikte bulmaktadır. Batı Pontidler doğuda Küçük Kafkaslar ile batıda Balkanlar arasında uzanmaktadır ve gelişiminde jeosenklinal safha Erken-Geç Kretasede, orojenik safha Geç Kretase sonları ile Eosen başında post-orojenik safha ise Eosen ortası ve sonunda görülür (Saner 1980). Dağ kuşağının güneyinde ofiyolit ile kenet (sture) kuşağı bulunur. Bu kuşakta ofiyolitik kayalar güneye doğru itilmişlerdir. Hem bu kenet çizgisi üzerinde, hem de güneye hareket etmiş karmaşıklar üzerinde daha sonra bazı havzalar gelişmiş ve Tersiyerde bu çanaklar molas fasiyesindeki çökellerle dolmuştur (Saner 1980). Pontidler'in kuzeyinde ise Karadeniz yer alır. Karadeniz ile ofiyolit kenet zonu arasında Batı Pontidler'de yer alan birimlerde kıvrımlı bir yapının varlığı dikkati çeker (Saner 1980). Şekil 2.3'de görüldüğü gibi 1/500000 ölçekli Zonguldak paftası İstanbul-Zonguldak zonu, Armutlu-Ovacık zonu ve Sakarya kıtasından oluşmaktadır (Duman ve diğ. 2005). Çalışma alanı bu zonlar içerisinde İstanbul-Zonguldak zonunda yer almaktadır. İstanbul-Zonguldak zonunun temelini bölgesel uyumsuzluklarla birbirinden ayrılan dört birimden oluştuğu ifade edilmektedir (Duman ve diğ. 2005). Altan üste doğru sırasıyla, Paleozoyik yaşlı karasal çakıl taşları, arkozik kum taşı ve denizel kırıntılar, Triyas yaşlı oldukça kalın menderesli nehir ve taşkın ovası çökelleri, Orta Jura yaşlı kum taşı, silt taşı ve silisi-klastik türbiditler ile Üst Jura-Alt kretase yaşlı platform karbonatlarıdır (Duman ve diğ. 2005). Zonguldak paftasının litolojik grupları Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Batı Karadeniz Bölgesi ana tektonik birlikleri (Duman ve diğ. (2005), Yiğitbaş ve diğ. (1999)'a atfen)



Şekil 2.4. Çalışma alanının içinde bulunduğu Zonguldak paftasının litolojik grupları (Duman ve diğ. 2005)

Çalışma alanında, Eosende Yığılca formasyonu ve Yılgın formasyonu bulunmaktadır. Yığılca formasyonu, başlıca kahverengimsi gri ayrışma renkli volkaniklastik kumtaşı, çakıltaşı ve ilişkin çamurkayalarından oluşan bir topluluğa uygulanmıştır (Kaya ve diğ. 1986). Kumtaşı koyu gri, ince ile kaba arası taneli volkaniklastik ve feldispatik litik arenittir. Ayrılmış kayalar birkaç metre çapı olabilen küresel ayrışma yapıları gösterir. Kumtaşı, tek bir katman şeklinde 60 m kadar kalınlığa erişebilir (Kaya ve diğ. 1986). Alttan üste doğru incelen kumtaşı katmanlarının, alt bölümünde yüzen veya yığılmış olarak çakıl ve blokları ile çok ince volkaniklastik çakıllar bulunabilir. Çamurkayaları, açık kahverengimsi gri ayrışma renkli çamurtaşı ve birimin Sermi kireçtaşı üzerindeki alt bölümünde yer alan zeytuni gri ve yeşilimsi gri killi ve çamurlu şeyllerdir. Çakıltaşları, ara madde ve tane destekli oygu-dolgu yapısı gösteren başlıca volkaniklastik oluşumlardır. Yılgın formasyonu, başlıca şeyl ve egemen epiklastik, az olarak volkaniklastik kumtaşı araldanmasından oluşmaktadır. Formasyon altta şeyl-epiklastik kumtaşı üstte volkaniklastik ve epiklastik kumtaşı-şeyl olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır (Kaya ve diğ. 1986). Şeyl yeşilimsi gri ince ile som arası katmanlı, sarımsı gri ayrışma renkli çamurlu ve killidir. Epiklastik kumtaşı sarımsı gri ayrışma renkli ince ile kaba arası türbiditik litik arenittir. Volkaniklastik kumtaşı kahverengimsi gri ortaç ile kaba arası taneli feldispatlı litik arenittir. Şeyl ile araldanmalar yersel türbidit özellik taşımaktadır. Çakıltaşı genellikle merceksel, tabanı aşınma yüzeyi olan zayıf pekleşmiş, ara madde destekli ve kötü boylanmalı ve iç örgütsüz oluşuktur. Dış türümlü bileşenler başlıca mafik volkanik kaynağa ilişkin volkaniklastik kayalar, sermi türü kireçtaşı, Kretase yaşlı kireçtaşı ve Ordovisiyen yaşlı kumtaşıdır. İç türümlü bileşenler bol foraminiferli kumlu kireçtaşı ve kireçli çamurtaşıdır (Kaya ve diğ. 1986).

Paleosende erken, orta ve geç olmak üzere sırasıyla Akveren formasyonu ile Sermi kireçtaşı, Dağköy formasyonu ve Ordulu formasyonu bulunmaktadır (Kaya ve diğ. 1986). Akveren formasyonu killi kireçtaşı-marn araldanması, az lav, tuf ve kumtaşı katkılı bir topluluktur. Birim yeşilimsi gri kireçli kiltası, kireçli çamurtaşı ve seyrek allodapik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Kaya ve diğ. 1986). Sermi kireçtaşı katmansız kireçtaşından yapıli birimdir. Kireçtaşı beyaz bir örnek ve somdur. Küçük boyutlu koralgal yığınaklar ve ilişkin biyoklastik kireçtaşları yanal ve düşey yönde değişimli ve çeşitlenmeli olarak bulunmaktadır. Birimin üst bölümünde yersel ve örtülü olarak bulunan kireçli çamurtaşı açık yeşilimsi gri, zayıf peklemiş, ince katmanlı ve bol bentik

foraminifer kapsamlıdır. Dağköy formasyonu görünürde tek bir düzey şeklinde olan bir örnek, ortaç bileşimli suüstü lavlarından yapıli bir birimdir (Kaya ve diğ. 1986). Ordulu formasyonu başlıca volkaniklastik kayalardan ve tabanda epiklastik kumtaşı-çamurtaşı kesitinden yapıli, bloklar içeren bir birimdir. Volkaniklastik kayalar koyu grimsi yeşil ile kırmızımsı gri arası çakıltaşları ve kumtaşlarıdır. Çakıltaşı bileşenleri köşeli ile yuvarlaklaşmış arası, ince ile çok kaba çakıl mafik volkanik kayalardır. Volkaniklastik kumtaşı çok kaba taneli ince çakıllı litik arenittir. Kumtaşı irice ile çok kaba arası taneli feldispatik litik arenit ve litik vakedir (Kaya ve diğ. 1986).

Kretasede, Yemişliçay grubu bulunmaktadır. Volkaniklastik kumtaşı, çakıltaşı, çamurkayaları ve az olarak mafik tuf, blok taşı, aglomera, lav, pelajik kireçli kıltaşı ve kireçtaşından yapıli çok örnek bir kaya topluluğudur. Yemişliçay grubu dört formasyona ayrılmaktadır (Kaya ve diğ. 1986). Bunlar alttan üste doğru şu şekildedir:

- Epiklastik ve volkaniklastik kumtaşları ve çakıltaşlarından yapıli Bayat formasyonu
- Çamurkayaları ve başlıca epiklastik kumtaşından oluşan Kalabaklar formasyonu
- Volkaniklastik kumtaşı, çamurkayaları, kireçli kıltaşı ve mikritik kireçtaşından yapıli Neyren formasyonu
- Volkaniklastik çakıltaşı, kumtaşı, çamurkayaları ve az olarak mafik tiftten oluşan formasyonu

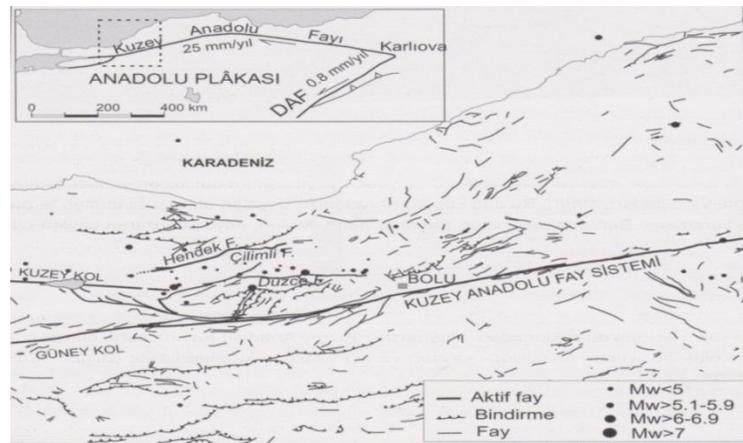
Triyasda başlıca sleyt az olarak sleytimsi kumtaşı ve çakıltaşından yapıli, büyük bölümü kırmızımsı renklerde olan bir topluluk olan Kırık formasyonu bulunmaktadır. Sleyt morumsu kırmızı ve kırmızımsı kahverengi, ince katmanlı, ilksel olarak çamurlu ve killi şeydir. Kumtaşı aynı renklerde ince ve ortaç katmanlı kuvarslı litik arenit ve vakedir (Kaya ve diğ. 1986).

2.1.4. Tektonik Özellikler ve Depremsellik

Çalışma alanının bulunduğu bölge olan Batı Karadeniz Bölgesi'nden Kuzey Anadolu Fay Zonu geçmektedir (Şekil 2.5). Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Akdeniz'de Arabistan Levhasının kuzeye hareketi sonucunda, Miyosen'de Avrasya Levhası ile çarpışmasıyla başlayan Neotektonik dönemde gelişen en aktif fay kuşaklarından birisidir (Över 1999). Anadolu'nun Kuzey kısmını, Sakarya Nehri ile Van Gölü arasında 1150 km'lik bir mesafede boydan boya kesmektedir (Ketin 1969).

Kuzey Anadolu fayı tek bir kayma düzlemi olmayıp, birçok parçalardan meydana gelmiş ve yerine göre 500-1000 m genişliği olan bir fay zonu durumundadır. Fayın bütün parçalarında sağ yönlü yatay kayma hareketleri hakim olmuş, aynı zamanda fakat daha küçük ölçüde düşey hareketler de kendini göstermiştir (Ketin 1969). KAFZ, Bolu ve Marmara Denizi arasında kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayrılmaktadır (Duman ve diğ. 2005). Fayın Bolu yöresindeki ana doğrultusunda uzanan güney kolu, Dokurcun Vadisi, Geyve, İznik hattını izleyerek Gemlik Körfezi'ne ulaşır. Dokurcun Vadisi batısında bu kol da iyi çatallanmaktadır. Bu bölgede kayaçlar parçalanmış, ezilmiş, yer yer sıcak ve soğuk su kaynakları çıkmış, baraj gölleri oluşmuş ve volkanik püskürmeler gün yüzüne çıkmıştır. Fayın kuzey kolu ise Kaynaşlı-Çınarcık çukurluğu arasında yer almaktadır. Düzce ve Karadere fayları kuzey kolunun doğu bölümünü oluşturur. 12 Kasım 1999 depremi Düzce fayı üzerinde gelişmiştir (Duman ve diğ. 2005).

KAFZ üzerinde son yüzyılda 1939 depremi ile başlayan ve batıya doğru düzenli olarak göç eden yıkıcı depremler gelişmiş ve toplam 800 km uzunlukta yüzey kırığı oluşturarak her deprem batısında kalan segmentleri tetiklemiş ve izleyen depremin hazırlayıcısı olmuştur (Duman ve diğ. 2005, Barka ve Kadinsky-Cade 1988'e atfen). 1967 Mudurnu vadisi depremi, 1999 depremleri öncesinde gelişen son depremdir ve yüzey kırıkları Sakarya Ovası'nın güneyine kadar ulaşmıştır (Duman ve diğ. 2005, Ambraseys ve Zatopec 1969'a atfen). 1939 Erzincan depremi ile başlayan deprem göçünde 9 adet orta ve büyük büyüklükte deprem meydana gelmiş (Duman ve diğ. 2005, Bozkurt 2001'e atfen) ve bu depremlerden 5 tanesi Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Çalışma alanının içinde bulunduğu Zonguldak paftasındaki ana bindirme, fay ve aktif faylar (Duman ve diğ. 2005)

Çizelge 2.2. KAFZ üzerinde meydana gelen beş büyük deprem

Deprem Yeri ve Yılı	Büyüklik
Bolu-Gerede (1944)	7,3
Abant (1957)	7,0
Mudurnu Vadisi (1967)	7,1
Kocaeli (1999)	7,4
Düzce (1999)	7,2

Ancak çalışma alanının bulunduğu bölge büyük depremlerden etkilenmiş olmasına ve bölgede meydana gelen bazı heyelanların depremler tarafından tetiklenme olasılığı olmasına rağmen, depremler tarafından tetiklenmiş heyelanlar hakkında pek fazla bilgi bulunmamaktadır.

2.1.5. Morfolojik Özellikleri

Çalışma alanının içinde yer aldığı Batı Karadeniz Bölgesi genelde dağ sıraları ve platolardan oluşan yüksek rölyef özellikleri göstermektedir. Bölge jeomorfolojisinin oluşumunda KAFZ önemli yer tutmaktadır. Doğu-Batı yönünde gelişen KAFZ, Pontid kıvrımlı dağ kuşağı ile güneyindeki Orta Anadolu platolarını birbirinden ayırmaktadır. Çalışma alanının içinde bulunduğu Zonguldak paftası genel fizyografik özellikleri açısından beş alt rölyef gruba ayrılmaktadır (Duman ve diğ. 2005). Bunlar: Batı Pontid dağ kuşağı, Kocaeli Platosu, KAFZ, Galatya Volkanik masifi ve Mudurnu-Yenipazar Platosudur.

Çalışma alanını kapsayan ve Karadeniz kıyısı ile KAFZ arasında kabaca KD-GB uzanımlı dağ silsilelerinden oluşan Batı pontid rölyef grubu Karadeniz'e boşalan akarsu sistemleri tarafından derin kanyon vadileri oluşturacak şekilde yarılmıştır. Bunların başlıcaları; Sakarya nehri, Melen, Filyos ve Bartın çaylarıdır. Bu akarsuların ikincil kolları ise KD-GB doğrultulu kıvrım ve fayların uzanımlarına paraleldir ve bölgenin aşınım kökenli yer şekilleri esas olarak bunlar tarafından biçimlendirilmiştir.

Ortalama yükseltisi 970 m olan çalışma alanı içerisinde yer alan Yığılca ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 350 m'dir. Engebeli ve eğimi fazla olan bir alanda kurulmuş ilçenin ziraat arazisi çok yetersiz, genelde ormanlık arazi hâkimdir. İklim olarak Batı Karadeniz iklimini andıran ılıman bir iklim görülmektedir. Yığılca ilçesi Düzce ovasını

sulayan Hasanlar baraj gölüne dökülen Melen Çayının yukarı havzasında yer alır. En tepedeki Yaylatepe Köyü hariç diğer köyler, bu havzanın güneyindeki ve kuzeyindeki yamaçlara birer sıra halinde dizilmişlerdir. Bu biçimi ile uzun bir ‘U’ görünümünde olan havza oldukça dağlık ve sarptır. Havzayı çevreleyen belli başlı tepeler; Yaylacık tepe, Köybaşı tepe (678 m), Kızıltepe (1486 m), Sarıkaya Tepe (1036 m) Bacaklıyayla (1137 m) Aktaş sırtları (1271 m) Kiriş Tepe (1398 m) Güneyden çevreleyen ve batıdan doğuya doğru uzanan tepeler, Hamambaşı Sırtları ve Geymene Tepe (1438 m), İğnekiriş Tepe (987 m), Kırıksapağı Tepe (919 m)’dir (Anonim 2012c).

2.1.6. Klimatolojik Özellikleri

Çalışmanın amacı göz önünde bulundurularak, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü için klimatolojik özellikleri arasında yalnızca yağış ve sıcaklık dikkate alınmıştır (Görüm 2006). İklim elemanlarından özellikle yağışlar, heyelanlar üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yapılan literatür taramasında ve heyelan envanteri oluşturulurken gerçekleştirilen arazi çalışmaları esnasında yapılan tespitlerde görüldüğü gibi yağış, heyelan olgusunun tetiklenmesinde önemli rol oynamaktadır. Elbette ki yağış ile ilişkisinin tam olarak ortaya konulabilmesi için heyelanların meydana geliş tarihlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda, heyelanların tümü için böyle bir bilgi elde edilememektedir. Görüm (2006)’ya göre de heyelan duyarlılık analizleri zaten bu bilgi eksikliğinden kaynaklanan boşluğu doldurmak için geliştirilmiştir.

Çalışma alanına en yakın 146 m rakımlı Düzce Meteoroloji İstasyonu (DMİ) olup, 1970-2011 verileri kullanılarak alana ilişkin değerlendirme yapılmıştır. DMİ iklim verileri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir. Buna göre Düzce ilinin ortalama yıllık yağış toplamı 818 mm’dir. Denizden yüksekliğin artmasıyla yağış miktarının da arttığı bilinmektedir. Yağış ile denizden olan yüksekliğin arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için çeşitli formüller geliştirilmiştir (Çitgez 2011). Bunlardan Schreiber formülünün yurdumuzda oldukça iyi sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. Çepel (1978), bu formülde yağışın her 100 m yükselmeye karşılık 54 mm arttığını, sıcaklığın ise 0,5 °C azaldığını ifade etmektedir. Enterpolasyon işleminde aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Çepel 1978):

$$Y_h = Y_o \pm 54h \quad (2.1)$$

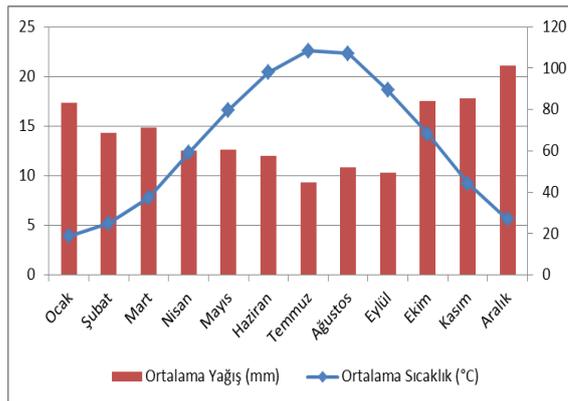
Formülde;

Y_h : Denizden ortalama yüksekliği bilinen ve üzerinde meteoroloji istasyonu bulunmayan yörenin hesaplanacak olan yıllık yağış miktarı (mm).

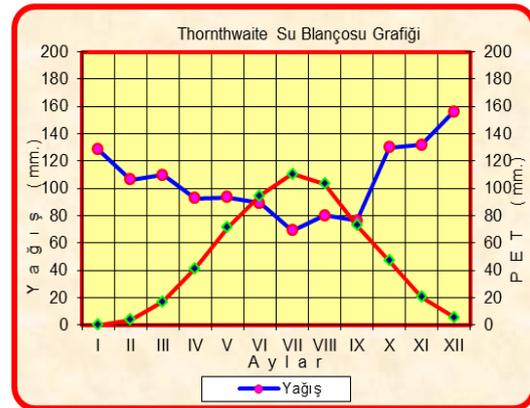
Y_o : Denizden yüksekliği belli olan istasyonunun ölçtüğü yıllık yağış miktarı (mm).

H : Meteoroloji istasyonunun denizden yüksekliği ile yağış miktarı bulunacak bölgenin ortalama yüksekliği arasındaki fark (hektometre olarak)'tır.

Çalışma alanının ortalama 970 m rakıma göre enterpole edilen DMİ sıcaklık ve yağış değerleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir. Çalışma alanına ilişkin iklim verilerinden yağış ve sıcaklık değerleri enterpole edildikten sonra yağış ve sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiye dayanan iklim tipinin belirlenmesinde kullanılan Thornthwaite yöntemi ile iklim tipi belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanının iklimi, (B3 B'1 r b'4) nemli, orta sıcaklıkta (mezotermal), su noksanı olmayan veya pek az olan, okyanus iklimine yakın iklim tipinde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.5). Çalışma alanının enterpole edilen değerlerine göre yıllık ortalama yağışı (1970-2011 için) 1263 mm'dir. Alana ait sıcaklık değerleri ile yağışların aylara dağılımı Şekil 2.6'de ve su bilançosu grafiği Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Buna göre, çalışma alanında ortalama sıcaklık değeri en yüksek olan üç ay sırasıyla Temmuz, Ağustos ve Haziran aylarıdır. Aralık, Kasım ve Ekim ayları sırasıyla yağışın en fazla olduğu üç aydır.



Şekil 2.6. Çalışma alanına ait enterpole edilmiş sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara dağılımları



Şekil 2.7. Çalışma alanına ait Thornthwaite yöntemi ile belirlenmiş su bilançosu grafiği

Çizelge 2.3. 1970-2011 yıllarına ait DMİ iklim verileri

Yükseklik: 146 m	Enlem: 31.1											
Rasat Süresi: 1970-2011	Boylam: 40.5											
METEOROLOJİK	AYLAR											
ELEMANLAR	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ortalama Sıcaklık (°C)	3,9	5,2	7,8	12,3	16,6	20,4	22,6	22,3	18,6	14,2	9,2	5,6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8,1	10,1	13,5	18,6	23	26,9	28,8	28,7	25,6	20,5	15	9,8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0,5	1,2	3,3	7,2	11	14,5	16,8	16,8	13,2	9,6	4,8	2,1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2	2,6	3,5	5,1	7,1	8,4	9	8,3	6,4	4,3	2,5	1,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15,2	14	13,8	12,7	11,6	9,6	6,6	6,4	7,8	11,5	12,7	15,6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	83,1	68,9	71,2	60,1	60,6	57,7	44,7	51,9	49,4	84,2	85,5	101,1
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24,5	25,6	32,2	34,7	37,5	39	42,4	41,4	38,3	38,2	28,8	29,2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-16,8	-17,3	-13,6	-3	0,4	6,6	8,8	7,6	4,5	-1,2	-6,8	-16,5

Çizelge 2.4. DMİ verilerine göre enterpole edilmiş ortalama sıcaklık (°C) ve yağış (mm) değerleri

METEOROLOJİK ELEMENLER	AYLAR											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0,2	1,1	3,7	8,2	12,5	16,3	18,5	18,2	14,5	10,1	5,1	1,5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	128,3	106,4	109,9	92,8	93,5	89,1	69,0	80,1	76,3	130,0	132,0	156,1

Çizelge 2.5. Thornthwaite yöntemine göre enterpole edilen değerler baz alınarak hazırlanan su bilançosu

Bilanço elemanları		AYLAR												YILLIK
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Sıcaklık	°C	-0,2	1,1	3,7	8,2	12,5	16,3	18,5	18,2	14,5	10,1	5,1	1,5	9,1
Sıcaklık indisi	i	0,0	0,1	0,6	2,1	4,0	6,0	7,2	7,1	5,0	2,9	1,0	0,2	36,3
Düzeltilmemiş PE	mm	0,0	4,4	16,3	38,4	60,4	80,3	92,0	90,4	70,8	48,0	23,1	6,2	
Düzeltilmiş PE	PET	0,0	3,9	16,8	41,5	71,4	94,8	110,7	103,2	73,0	47,0	20,5	5,4	588,1
Yağış	y	128,3	106,4	109,9	92,8	93,5	89,1	69,0	80,1	76,3	130,0	132,0	156,1	1263,5
Depo Değişikliği	Dd	-	-	-	-	-	-27,1	-54,6	-18,3	-	58,8	41,2	-	
Depolama	D	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	72,9	18,3	-	-	58,8	100,0	100,0	100,0
Gerçek Evapotranspirasyon	GET	3,8	6,6	20,0	45,3	74,8	100,0	116,2	87,5	62,0	50,6	23,7	9,5	599,9
Su Noksanı	Sn	-	-	-	-	-	-	-	20,9	15,0	-	-	-	35,9
Su Fazlası	Sf	109,8	84,3	71,3	31,4	2,6	-	-	-	-	-	51,2	122,1	472,8
Yüzeysel Akış	Yü	116,0	97,1	77,8	51,4	17,0	1,3	-	-	-	-	25,6	86,7	472,8
Nemlilik Oranı	Ne	128,3	26,6	5,5	1,2	0,3	-0,1	-0,4	-0,2	0,0	1,8	5,5	27,7	

İ k l i m T i p i

B3 B'1 r b'4: Nemli, Orta sıcaklıkta (Mezotermal), Su noksanı olmayan veya pek az olan, Okyanus iklimine yakın iklim

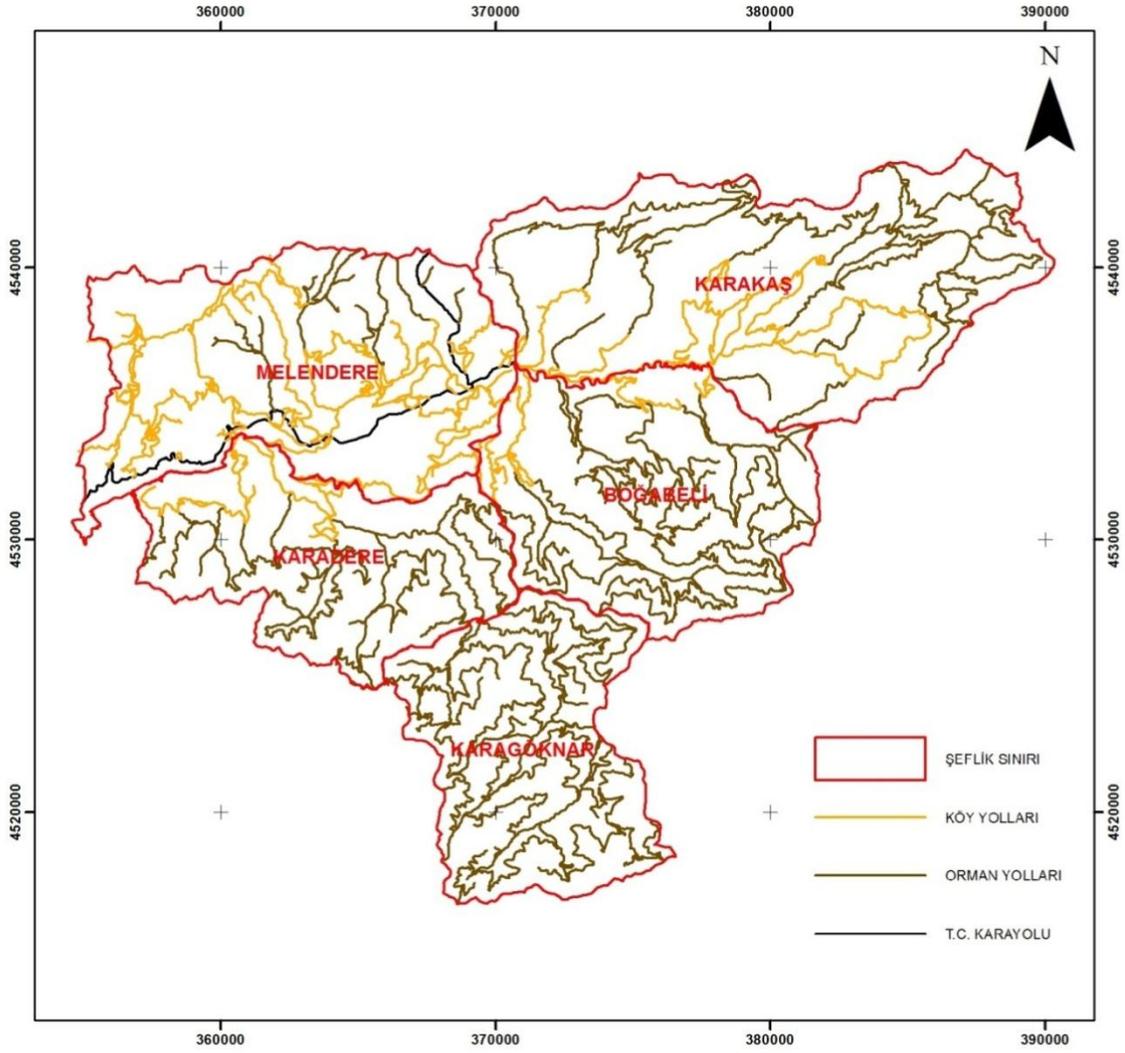
2.1.7. Alandaki Yolların Dağılım ve Özellikleri

Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'nün Yol ağı planı, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'nden sayısal olarak temin edilmiştir (Şekil 2.8). Yol ağı planındaki yolların statüsü, durumu veri tabanında saklanmaktadır. Buna göre alana ait yol ağı planındaki yolların toplam uzunluğu 931,9 km'dir. Alandaki yolların 196,7 km'si asfalt yoldur. Geriye kalan yollar stabilize yol konumundadır. Yol ağında planlanan yolların 866,3 km'si (% 93'üne karşılık gelmektedir) alana inşa edilmiştir.

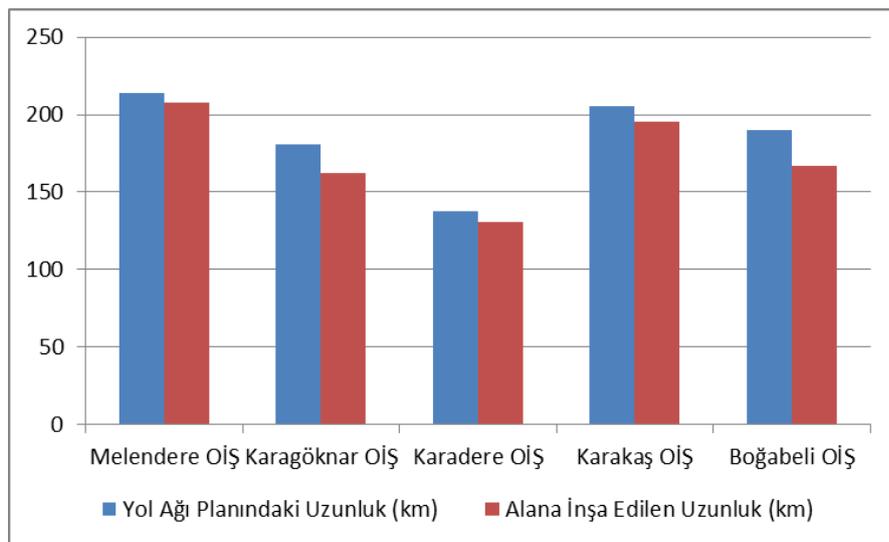
İşletme şeflikleri bazında yolların durumu ise grafik olarak Şekil 2.9'da ve Çizelge 2.6'da gösterilmiştir. Buna göre alanda en fazla yol Melendere Orman İşletme Şefliğinde bulunmaktadır. Melendere Orman İşletme Şefliğinde 31,6 km orman yolu, 153,7 km köy yolu ve 28,4 km karayolu bulunmaktadır. Karadere Orman İşletme Şefliğinde 106,3 km orman yolu, 29,1 km köy yolu bulunmaktadır. Karayolu bulunmamaktadır. Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde 180,8 km orman yolu bulunurken köy yolu ve karayolu bulunmamaktadır. Karakaş Orman İşletme Şefliğinde 134,8 km orman yolu, 71,9 km köy yolu bulunmakta ve karayolu bulunmamaktadır. Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde 165,2 km orman yolu, 30 km köy yolu bulunmaktadır. Karayolu ise bulunmamaktadır. En fazla orman yolu Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde bulunmaktadır. En fazla köy yolu ise Melendere Orman İşletme Şefliğinde bulunmaktadır.

Çizelge 2.6. İşletme şefliklerindeki yolların uzunlukları ve yüzde dağılımları

İşletme Şefliği	Yol Ağı Planındaki Uzunluk (km)	Alana İnşa Edilen Uzunluk (km)
Melendere OİŞ	214,1 (% 23,1)	207,9 (% 24,1)
Karagöknar OİŞ	181,1 (% 19,5)	162,6 (% 18,8)
Karadere OİŞ	137,6 (% 14,8)	130,6 (% 15,1)
Karakaş OİŞ	205,7 (% 22,1)	195,2 (% 22,6)
Boğabeli OİŞ	190,3 (% 20,5)	167,0 (% 19,3)



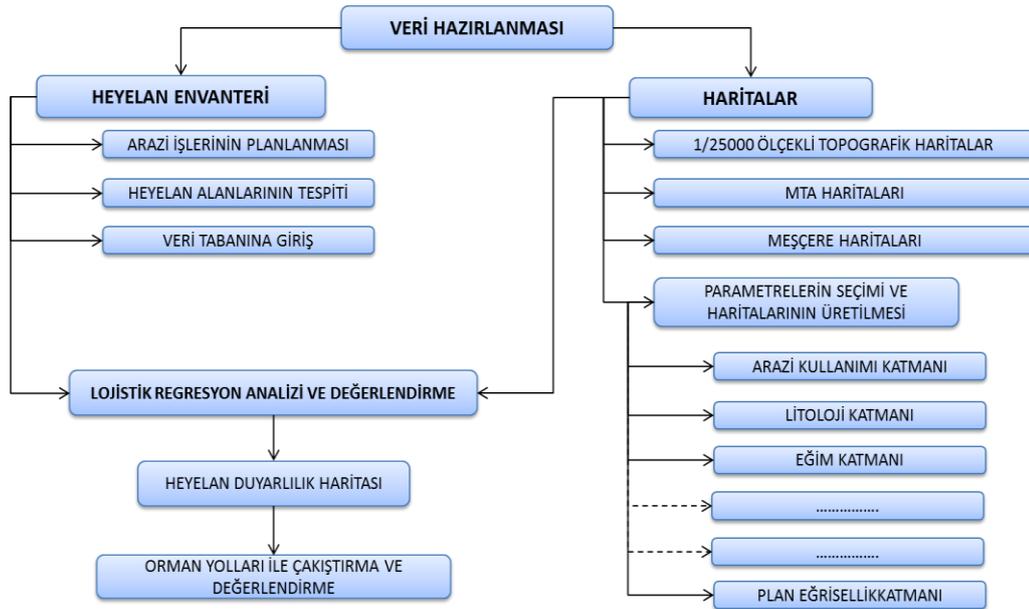
Şekil 2.8. Çalışma alanına ait yol ağı planı haritası



Şekil 2.9. İşletme şefliklerindeki yolların uzunlukları

2.2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışması süresince gerçekleştirilen çalışmalar temelde iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar: 1) Arazi çalışması ve 2) Bilgisayar destekli büro çalışmasıdır. Çalışmanın arazi aşamasında duyarlılık haritalamada temel altlık olan envanter oluşturulmuştur. Büro çalışmaları aşamasında ise oluşturulan envanter sayısallaştırılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesinde heyelan oluşumu üzerinde etkili olduğu düşünülen parametre haritaları oluşturulmuş ve LR yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve orman yolları ile çakıştırılarak değerlendirilmiştir. Tez çalışması boyunca çeşitli yazılımlar kullanılmıştır. Bunlar: ArcGIS 10, İdrisi Selva 17.0 CBS yazılımları ile Microsoft Office yazılımlarıdır. ArcGIS 10 yazılımı sayısallaştırma, veri tabanının oluşturulması ve parametre haritalarının üretilmesi amacıyla kullanılırken, İdrisi Selva 17.0 yazılımı analizin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Tez çalışması süresince gerçekleştirilen işlerin akış şeması Şekil 2.10’da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Yapılan çalışmaların iş akış şeması

2.2.1. Lojistik Regresyon (LR)

Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek, gerek günlük hayatımızda gerekse bilimsel araştırmalarda karşılaşılan sorunların çoğunluğu, iki (veya daha fazla) değişken arasında bir ilişki olup olmadığının saptanması ile ilgili olduğundan önemli uğraşlardan birisi olmuştur. İstatistik uygulamalarda bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında

ilişki kurmak ve bu ilişkiyi modelleyerek genellemek amacıyla regresyon yöntemleri kullanılmaktadır. Çünkü iki değişken arasında bir ilişki varsa bunun derecesinin saptanması sık karşılaşılan bir olgudur. Model oluşturmada en çok kullanılan yöntem sonuç değişkenin sürekli veri olduğu doğrusal regresyon modelidir. Ancak çıktı değişkenin iki veya daha fazla değerli, ayrık veri tipinde olması da çok yaygın bir durumdur ve bu tür verilerin analizinde kullanım amacı diğer regresyon yöntemleri ile aynı olan LR yöntemi kullanılmaktadır (Hosmer ve Lemeshow 2000).

Kullanımı geçen on yıl boyunca yaygınlaşan LR, orijinal olarak epidemiyolojik araştırmalarda kullanılması ile kabul edildikten sonra biyomedikal araştırmalar, iş ve finans, kriminoloji, ekoloji, mühendislik, sağlık politikaları, dilbilimi ve yaban hayatı biyolojisi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Hosmer ve Lemeshow 2000). Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında da yaygın şekilde konu ile ilgili çalışan araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Ayalew ve Yamagishi 2005, Nefeslioğlu ve diğ. 2008, Kıncal ve diğ. 2009, Ercanoğlu ve Temiz 2011, Erener ve Düzgün 2010, Akgün 2011, Süzen ve Kaya 2011).

Regresyonda değişkenlerin bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak ayrılması şarttır. Bağımlı değişken, bağımsız değişken(ler) tarafından açıklanmaya çalışılan değişken olup, genellikle Y ile sembolize edilir. Bağımsız değişkenler ise X ile gösterilmektedir. Basit doğrusal regresyon denklemi;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (2.2)$$

biçimindedir. Burada, β_0 ve β_1 hesaplanan ana kütle parametreleridir. Doğrusal regresyon analizinde parametre tahmini için en küçük kareler yöntemi (EKK) kullanılmaktadır (Hosmer ve Lemeshow 2000).

Genel regresyon denklemlerinde, EKK ile elde edilen model parametrelerinin anlamlı ve kullanılabilir olması, bağımlı değişkenin sürekli ve normal dağılıma sahip olması, hata teriminin bağımsız değişkenlerin herhangi birisiyle ilişkisi olmaması, normal dağılıma sahip olması gereken hataların beklenen değerinin sıfır olması ve hata varyansının sabit olması varsayımlarının sağlanmasına bağlıdır (Unvan 2006). Bazı araştırmalarda ilgili bağımlı değişken ikili (dichotomous) ya da daha çok düzeyli (polytomous) nitel değişken olabilmektedir. Bu tür verinin kullanıldığı durumlarda bağımlı değişkene doğrusal olmayan yapıda bağlanması gereken birçok bağımsız

değişken kullanılabilir. Böyle durumlarda EKK yöntemi ile çözüm doğrusal regresyon modelinin bahsedilen varsayımları karşılanmadığından mümkün olmamaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak ve etkin parametre tahminleri elde etmek için bağımlı değişkene bir takım dönüşümler uygulamak gereklidir (Unvan 2006). Bu amaca yönelik olarak bağımlı değişken ortalamasını bağımsız değişkenlere doğrusal bir yapıyla bağlayan bağ fonksiyonları geliştirilmiştir. Ancak lojit olarak seçilen bağ fonksiyonlarının lojistik modelde bağımlı değişken ortalaması olasılık olarak ifade edildiğinden bağımsız değişkenler ile doğrusal yapıda olması beklenmemektedir. Genelleştirilmiş doğrusal regresyon modellerinin özel bir durumu olan lojistik modellerde kullanılan fonksiyon odds (olma olasılığının olmama olasılığına oranıdır) değerinin doğal logaritmasıdır. İlk kez 1944 yılında Berkson tarafından kullanılan lojit, lojistik olasılık birimi anlamına gelmektedir (Unvan 2006).

Doğrusal regresyon analizlerinde bağımlı değişkenin değeri tahmin edilirken, LR'de bağımlı değişkenin alacağı değerlerden birinin gerçekleşme olasılığı tahmin edilmeye çalışılır. Herhangi bir regresyonda en önemli özellik verilen bir bağımsız değişken için sonucun ortalama değeridir ve $E(y|x)$ şeklinde gösterilen bu değer koşullu ortalama olarak adlandırılmaktadır. Her bir gözlem için $i = 1,2,3, \dots, n$ olmak üzere Denklem (2.2) kullanılarak bu ortalama değer Denklem (2.3)'teki gibi gösterilir (Hosmer ve Lemeshow, 2000).

$$E(y|x) = \beta_0 + \beta_1 X \quad (2.3)$$

Burada x değişkeninin $-\infty$ ile $+\infty$ arasındaki her değeri alacağı varsayılmaktadır. Lojistik modelde ise koşullu ortalama yerine kullanılan olasılık değerleri basit olarak gösterilecek olunursa $\pi(x) = E(y|x)$ şeklindedir. Bu gösterimin özel durumu aşağıdaki gibidir (Hosmer ve Lemeshow 2000).

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X}} \quad (2.4)$$

LR'de bağımlı değişkenlerin olasılık değerlerini gösteren $\pi(x)$ 'e lojit dönüşümü uygulanır. Bu dönüşümün matematiksel gösterimi ise Denklem (2.5)'teki gibidir (Hosmer ve Lemeshow 2000):

$$g(x) = \ln \left[\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} \right] = \beta_0 + \beta_1 X \quad (2.5)$$

Bu dönüşüm $g(x)$ 'in LR için uygun olan özelliklerin birçoğuna sahip olması, sürekli olması ve $-\infty$ ile $+\infty$ arasındaki her değeri alabilir olması açısından önemlidir (Hosmer ve Lemeshow 2000).

Bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken ile açıklanmaya çalışıldığı regresyon modellerine çoklu regresyon adı verilmektedir. Çoklu LR analizinde de aynı durum söz konusudur.

p adet $x' = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ vektörü şeklinde gösterilen bağımsız değişken kümesi varsayalım. Bağımlı değişkenin $P(y = 1|x) = \pi(x)$ şeklinde gösterilen koşullu olasılığı olsun. Burada modelin lojiti Denklem (2.6)'daki gibidir:

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_p \quad (2.6)$$

Denklem (2.7)'de aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir:

$$\pi(x) = \frac{e^{g(x)}}{1+e^{g(x)}} \quad (2.7)$$

2.2.2. LR'de Parametre Tahmin Yöntemleri

LR'de parametrelerin tahmin edilmesi için geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar: i) En Çok Olabilirlik Yöntemi (Maximum Likelihood), ii) Yeniden Ağırlıklandırılmış İteratif En Küçük Kareler Yöntemi ve iii) Minimum Lojit Ki-Kare Yöntemidir (Hosmer ve Lemeshow 2000). Bu yöntemlerin dışında özel durumlarda kullanılan parametre tahmin yöntemleri de bulunmaktadır. LR analizlerinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan en çok olabilirlik yöntemi hem İdrisi Selva17.0 yazılımının LOGISTIREC modülü tarafından hem de bu çalışmada kullanıldığı için açıklanacaktır.

2.2.2.1. En Çok Olabilirlik Yöntemi

Gözlenen veri kümesini elde etme olasılığını maksimum yapan bilinmeyen parametre değerlerini veren bu yöntemin uygulanması için öncelikle en çok olabilirlik fonksiyonunun oluşturulması gerekmektedir. Bu fonksiyon gözlenen verilerin olasılıklarını bilinmeyen parametrelerin bir fonksiyonu olarak açıklamaktadır. Parametrelerin en çok olabilirlik tahmin edicileri fonksiyonu maksimum yapacak şekilde seçilmektedir (Hosmer ve Lemeshow 2000).

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere (x_i, y_i) ikilisi ile gösterilen n bağımsız gözlemin olduğu varsayalım. Burada y_i ikili bağımlı değişkeni ve x_i i . gözlemin bağımsız değişken değeri olsun. Ayrıca bağımlı değişken bir özelliğin olup olmamasına göre 0 ve 1 değerlerini alsın.

Bu yöntemde eğer y , 0 veya 1 olarak gösteriliyorsa Denklem (2.4)'teki $\pi(x)$ ifadesi herhangi bir x değeri için $P(y = 1|x)$ şeklinde gösterilen y 'nin 1'e eşit olma koşullu olasılığını vermektedir. $P(y = 0|x)$ şeklinde gösterilen olasılık ise $1 - \pi(x)$ 'ye denk olan herhangi bir x değeri için y 'nin 0 a eşit olma koşullu olasılığını vermektedir. Dolayısıyla her bir (x_i, y_i) ikilisi için $y_i = 1$ olan ikililerin olabilirlik fonksiyonuna katkısı $\pi(x_i)$ ve $y_i = 0$ ikililerinin olabilirlik fonksiyonuna katkısı $1 - \pi(x_i)$ olmaktadır. (x_i, y_i) ikililerinin olabilirlik fonksiyonlarına katkılarını ayrıca aşağıda verilen Denklem (2.8)'deki gibi de gösterebiliriz (Hosmer ve Lemeshow 2000):

$$\pi(x_i)^{y_i} [1 - \pi(x_i)]^{1-y_i} \quad (2.8)$$

Burada gözlemlerin bağımsız olmasından dolayı Denklem (2.6)'dan elde edilen terimlerin çarpılması ile olabilirlik fonksiyonunu Denklem (2.9)'daki gibi elde edebiliriz.

$$\ell(B) = \prod_{i=1}^n \pi(x_i)^{y_i} [1 - \pi(x_i)]^{1-y_i} \quad (2.9)$$

En çok olabilirlik yönteminin prensibi Denklem (2.7)'yi maksimum yapacak olan B tahmin değerini kullanmayı gerektirmektedir. Ancak burada matematiksel olarak bu denklemin logaritması ile çalışmak daha kolay olduğu için “log olabilirlik” kavramı geliştirilmiştir ve Denklem (2.10)'daki gibi formüle edilmektedir (Hosmer ve Lemeshow 2000).

$$L(B) = \ln[\ell(B)] = \sum_{i=1}^n \{y_i \ln[\pi(x_i)] + (1 - y_i) \ln[1 - \pi(x_i)]\} \quad (2.10)$$

$L(B)$ değerini maksimize eden B değerini elde etmek için de $L(B)$ değerinin β_0 ve β_1 'e göre türevlerini alarak 0'a eşitleriz. Bu aşamadan sonra “olabilirlik eşitlikleri” diye adlandırılan Denklem (2.11) ve Denklem (2.12) elde edilir.

$$\sum [y_i - \pi(x_i)] = 0 \quad (2.11)$$

$$\sum x_i [y_i - \pi(x_i)] = 0 \quad (2.12)$$

Genel regresyon yönteminde EKK yöntemine göre β_0 ve β_1 'e göre kısmi türevleri alınarak elde edilen denklemlerde doğrusal olduklarından çözümleri daha kolaydır. Ancak LR yönteminde bu denklemler doğrusal değildirler. Bu yüzden çözüm için bazı özel yöntemler gereklidir (Hosmer ve Lemeshow 2000).

Denklem (2.11) ve Denklem (2.12) ile elde edilen B değeri en çok olabilirlik kestirimidir ve genellikle “^” ile gösterilmektedir. Örneğin, $\hat{\pi}(x_i)$, $\pi(x_i)$ nin en çok olabilirlik kestirimini ifade etmektedir. Bu kestirim verilen $x = x_i$ için y 'nin 1 olma koşullu olasılığı açısından bir tahmin değeri vermektedir. Denklem (2.9)'u bu durumda $\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n \hat{\pi}(x_i)$ şeklinde yazabiliriz ve bu da bize y 'nin gözlenen değerlerinin toplamının beklenen değerlerin toplamına eşit olduğu sonucunu vermektedir (Hosmer ve Lemeshow 2000).

2.2.3. Uyum İyiliği ve Parametrelerin Önem Testi

Geliştirilen modelde, katsayıların tahmin edilmesinin ardından parametrelerin önem derecelerinin belirlenmesi gereklidir. Çünkü LR'de amaç en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayabilen bir model geliştirmektir. Modeldeki parametrelerin önem testi en iyi modeli mümkün olan en az değişkenle oluşturmak amacı ile yapılır (Unvan 2006). LR'de uyum iyiliğinin testi için İdrisi Selva 17.0 yazılımının LOGISTIREC modülü tarafından $-2\log(L0)$, $-2\log(\text{Likelihood})$ istatistikleri temel alınmaktadır. $-2\log(L0)$ istatistiğinde $L0$, regresyon sabiti hariç tüm bağımsız değişkenler sıfır (0) iken benzerlik fonksiyonunun değeridir. $-2\log(\text{Likelihood})$ istatistiğinde ise Likelihood tüm modelin benzerlik fonksiyonunun değeridir. Bu iki istatistik temel alınarak Pseudo R^2 ve ChiSquare (k) istatistikleri hesaplanmaktadır. Pseudo R^2 , Denklem (2.13)'de gösterilen formül ile hesaplanmaktadır (Clark Labs 2012).

$$Pseudo R^2 = 1 - (\log(\text{Likelihood})/\log(L0)) \quad (2.13)$$

Pseudo R^2 istatistiğinin 1 değerini alması mükemmel bir uyum olduğunu gösterirken, 0 değerini alması ilişki olmadığını göstermektedir. İdrisi Selva 17.0 yazılımının LOGISTIREC modülünün yardım dokümanında Clark ve Hosking (1986)'ya atfen Pseudo R^2 değerinin 0,2'den daha büyük olduğunda nispeten iyi uyum varlığının kabul edilebileceği ifade edilmektedir. ChiSquare (k) istatistiği ise sıfır hipotezi doğru kabul edildiğinde yaklaşık olarak chi-square dağılımı gösteren benzerlik oran istatistiği olarak

bilinmektedir. Bu istatistik regresyon sabiti hariç tüm katsayılar sıfır olan hipotezi test etmektedir. Bu yüzden bu test doğrusal regresyon analizlerindeki F testine benzerlik göstermektedir. (k); ChiSquare test istatistiği için serbestlik derecesini ifade etmektedir. Yani modelde yer alan bağımsız değişkenlerin sayısıdır. Bu istatistiğin formülü Denklem (2.14)'de gösterilmektedir.

$$ChiSquare(k) = -2(\log(\text{likelihood}) - \log(L0)) \quad (2.14)$$

Yazılım ayrıca bağımlı değişkenin gözlenen ve tahmin edilen değerleri arasındaki farklılıktan yararlanarak uyum iyiliğini hesaplamaktadır. Bu istatistiğin küçük değerler alması daha iyi uyum varlığını göstermektedir. Denklem (2.15)'te belirtilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$Goodness\ of\ fit = \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_i)^2 / \mu_i \times (1 - \mu_i) \quad (2.15)$$

Yazılım ayrıca üretilen duyarlılık haritasının doğruluğunu belirlemek için önemli istatistik değerlendirmelerden biri olan ROC değerini hesaplamaktadır. Bu değer mevcut heyelanların olduğu envanter haritası ile analiz sonucu elde edilen olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC eğrisi altında kalan alana ilişkin değer 0 ile 1 arasında değişmekte olup 1 değeri mükemmel, 0,5 değeri de rastgele bir uyumu belirtmektedir. Bu değer bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. ROC değeri ne kadar büyük ise uyum da o kadar iyidir. ROC değeri AUC değerinin, doğru pozitif yüzdesi ile yanlış pozitif yüzdesi değerleri kullanılarak hesaplanmak suretiyle elde edilmektedir (Denklem 2.16). Bu değer heyelan olayının meydana gelme veya gelmeme durumunu tahmin etme yeteneğini açıklayabilme yeteneğini açıklamak suretiyle duyarlılık haritasının kalitesini ortaya koymaktadır. AUC değeri 0,5 ile 1 arasında değişmektedir. 1 değeri tam tutarlılık olduğunu ifade ederken 0,5 değeri şansa bağlı olduğunu ifade etmektedir. AUC değeri İdrisi Selva 17.0 yazılımının ROC modülü kullanılarak elde edilmiştir.

$$AUC = \sum_{i=1}^n [X_{i+1} - X_i] \times [Y_i + (Y_{i+1} - Y_i)/2] \quad (2.16)$$

Denklemden X_i i. eşik değerinde yanlış pozitif yüzdesi, Y_i ise i. eşik değerinde doğru pozitif yüzdesini temsil etmektedir.

2.2.4. Heyelan Envanteri ve Parametre Haritalarının Üretilmesi

Heyelan duyarlılık değerlendirme çalışmalarında, en önemli verilerin başında detaylı bir şekilde hazırlanmış envanter verisi gelmektedir. Heyelan sahalarının lokasyonlarını belirlenmesinde Garmin GPSMAP 62s marka GPS aleti kullanılmıştır. Ayrıca MTA tarafından 2005 yılında hazırlanan 1/500000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Zonguldak Paftası göz önünde bulundurulmuştur. Saha çalışmalarında belirlenen heyelanlar 1/25000 ölçekli Topoğrafik Haritalara aktarılmış ve ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmıştır.

Envanter oluşturulurken heyelanlara ilişkin gözlemsel olarak elde edilen özellikler (türü, boyutları, eğim, bakı, yamaç şekli, bitki örtüsü gibi) göz önünde bulundurulmuştur. Heyelan değerlendirme çalışmalarında oldukça önemli olan etkenlerden tetikleyici faktörler, kaymanın başlama zamanı, meydana gelen kayıplar vb. özellikler hakkında güvenilir bilgi elde etmek mümkün olamadığından veri tabanına girilememiştir.

Çalışma alanı için heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirmede kullanılacak parametre haritaları heyelan envanteri ve çalışma alanını gösteren harita ile aynı görüntü özelliklerine sahip olacak şekilde üretilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan parametre haritaları ile envanter haritası UTM European Datum 1950 Zon 36 koordinatlarında üretildikten sonra 10x10 çözünürlükte grid formatına dönüştürülmüştür. Üretilen haritaların satır ve sütun sayıları ile minimum X, maksimum X ve minimum Y, maksimum Y koordinatları aynı olmak zorundadır (Çizelge 2.7). Oluşturulan haritalar, 2769 satır ve 3573 sütun olmak üzere 9893637 pikselden oluşmaktadır. Envanter haritasındaki piksellerin 151084 tanesi heyelanlıdır.

Çalışmada heyelan duyarlılık analizinde kullanılacak parametre haritaları arazi kullanımı, yükselti, eğim, bakı, plan eğrisellik, litoloji, akarsuya uzaklık, yola uzaklık olmak üzere 8 tanedir. Bunlardan yükselti parametresi, eğim parametresi, bakı parametresi, plan eğrisellik parametresi alana ait sayısal arazi modeli (SAM) kullanılarak üretilmiş ve sınıflandırılmıştır. SAM, duyarlılık değerlendirme de kullanılacak yamaç eğimi, bakı ve eğrisellik gibi verilerin ana kaynağı olması dolayısıyla oldukça önemli bir veri türü olarak kabul edilmektedir. Öncelikle sayısallaştırılmış vektör formatındaki eş yükselti verisi kullanılarak, düzensiz

üçgenleme yöntemi (Triangulated Irregular Network) ile TIN verisi oluşturulmuştur. Akarsuya uzaklık parametresi ile yola uzaklık parametresi, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan yararlanarak sayısallaştırılan dere katmanı ile sayısal olarak temin edilen yol ağı planı kullanılmak suretiyle alana ait “Grid” formatına dönüştürülen SAM verisi kullanılarak üretilmiştir. Arazi kullanım tipleri Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü bünyesindeki işletme şefliklerine ait sayısal meşcere haritalarından yararlanarak üretilmiştir. Litoloji parametresi ise MTA’dan temin edilen litoloji haritasının sayısallaştırılması ile üretilmiştir.

Çizelge 2.7. Haritaların minimum ve maksimum X/Y koordinatları

	X	Y
Minimum	354581	4516624
Maksimum	390311	4544314

2.2.5. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak oluşturulan parametre haritaları dönüşüm işlemlerine tabi tutularak İdrisi Selva 17.0 yazılımının veri formatında kayıt edilmiştir. Envanter haritası, İdrisi Selva 17.0 yazılımının “Reformat” menüsü altındaki “Convert” işlemi kullanılarak binary formata dönüştürülmüştür. Böylece LR analizinde kullanılacak olan bağımlı değişken, var/yok (0/1) formatına uygun hale getirilmiştir. Heyelan olan pikseller 1 değeri ile heyelan olmayan pikseller ise 0 değeri ile temsil edilmektedir. Üretilen parametre haritaları yeniden sınıflandırıldıktan sonra her bir sınıfın frekans oranı, Denklem (2.17) kullanılarak hesaplanmış (Akıncı ve diğ. 2010). Denklem aşağıda gösterilmiştir:

$$FR = \frac{PLO}{PIF} \quad (2.17)$$

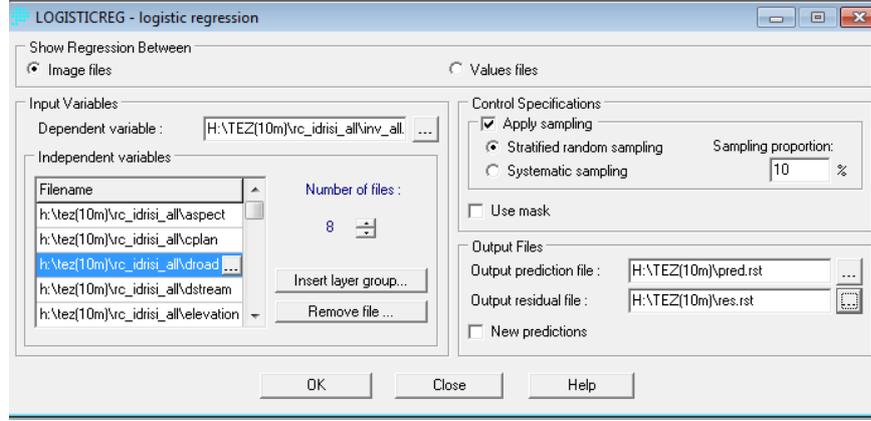
Denklemden;

PLO : Heyelanı etkileyen her bir faktörün her bir alt kategorisindeki heyelanlı piksel yüzdesi

PIF : Heyelanı etkileyen her bir faktörün her bir alt kategorisindeki piksel yüzdesi

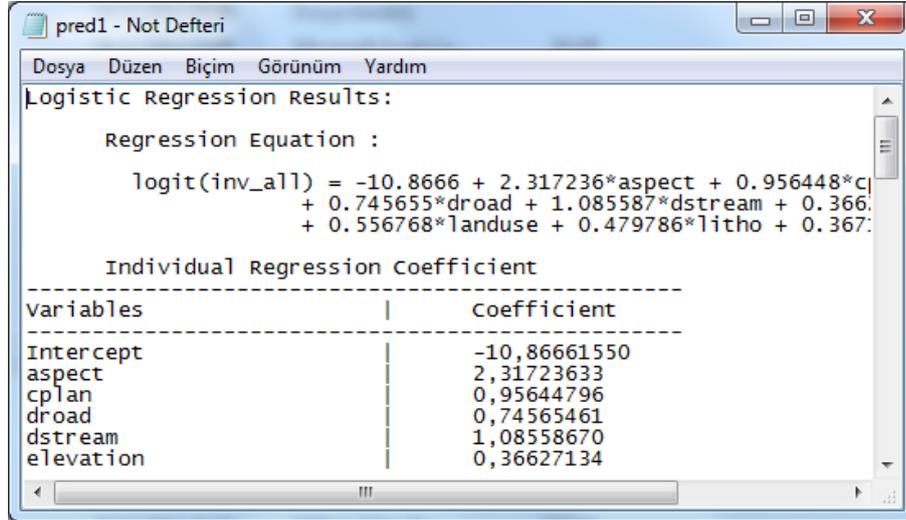
Hesaplanan her bir FR değeri, İdrisi Selva 17.0 yazılımı kullanılarak parametre sınıflarına atanmıştır. LR analizi, LOGISTIREC modülünde envanter ve parametreler

tanımlanarak gerçekleştirilmiştir. Modülden örnek bir görüntü, Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. LOGISTIREC modülü görüntüsü

Model, % 10 örnekleme oranı (Stratified Random Sampling yöntemi seçilmiştir) ile gerçekleştirilmiştir. Model ile ilgili çıktılar yazılım tarafından metin dosyasında (.txt uzantılı dosyadır) saklanmaktadır (Şekil 2.12).

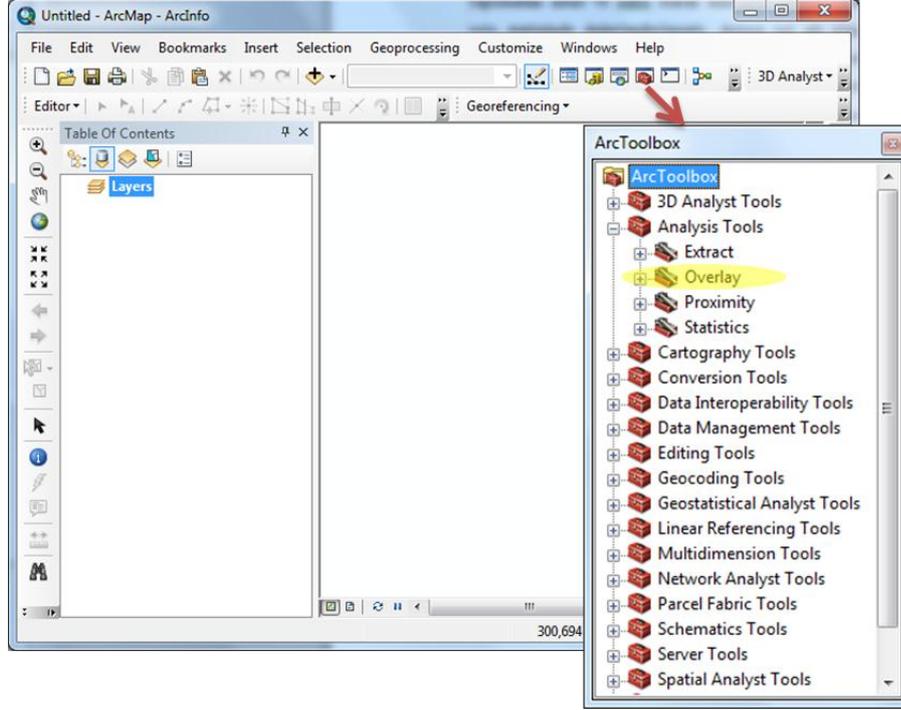


Şekil 2.12. Analiz sonuçlarının rapor olarak gösterildiği metin dosyasından görünüm

2.2.6. Duyarlılık Haritasının Orman Yollarıyla Çakıştırılması

Çalışma alanındaki yolların heyelanlar açısından değerlendirilmesi amacıyla ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak çakıştırma (overlay) analizi yapılmıştır (Şekil 2.13). Sayısal olarak elde edilen yol haritası ile üretilen duyarlılık haritası çakıştırılmıştır. Yollar çakıştırma işlemi yapılmadan asfalt ve stabil olarak sınıflandırılmıştır. Asfalt yollar dışındakiler stabilize yol olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yol ağı planındaki alana inşa edilmemiş

yollar da belirlenmiştir. Raster veri formatında üretilen ve sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritası vektör veri formatına dönüştürülmüştür. İki vektör veri (yol katmanı ve duyarlılık haritası), ArcMAP yazılımının ArcToolbox kütüphanesi içerisindeki overlay analizlerinden yararlanarak çakıştırma işlemi ile yol tiplerine göre değerlendirilmiştir.



Şekil 2.13. ArcMap 10 yazılımının ArcToolbox Kütüphanesi görüntüsü

Heyelan frekansı, alandaki yolların bir kilometresine düşen heyelan adedi olarak tanımlanabilir. Heyelan frekansı çalışmada, genel ve gerçek heyelan frekans değeri olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmıştır. Genel heyelan frekans değeri, yol geçkileri üzerinde bulunan heyelan sayısının, alandaki tüm yolların toplam uzunluğuna oranıdır. Gerçek heyelan frekansı ise, yol geçkileri üzerinde bulunan heyelan sayısının, o yol geçkilerinin toplam uzunluğuna oranıdır. Alanda yolları doğrudan etkileyen heyelan sayıları, frekansları, etkilenen yol geçkilerinin uzunlukları ve heyelan sahaları içerisinde kalarak hasar gören yol uzunlukları da çakıştırma analizleri ile elde edilmiştir. Çakıştırma analizi alandaki mevcut yollar ile bu yollar ile kesişen heyelanların çakıştırılması ile elde edilmiştir. Heyelan frekansları, Denklem 2.18 ve Denklem 2.19 kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların orman işletme şefliklerine dağılımları incelenerek değerlendirilmiştir.

$$HF_g = \frac{\sum H_i}{\sum YG_i} \quad (2.18)$$

$$HF = \frac{\sum H_i}{\sum Y} \quad (2.19)$$

Denkleimde;

- HF_g : Gerçek heyelan frekansı
- HF : Genel heyelan frekansı
- $\sum H_i$: Yol geçkileri üzerinde bulunan heyelan sayıları toplamı
- $\sum YG_i$: Heyelan bulunan yol geçkilerinin toplam uzunluğu
- $\sum Y$: Alandaki yolların toplam uzunluğu

Çalışmada, alandaki yollara ait genel ve gerçek yol-heyelan indeks değerleri hesaplanmıştır. Yol-Heyelan indeksi, yolların yüzde cinsinden ne kadarının heyelanlardan doğrudan etkilendiğini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Çalışmada genel ve gerçek yol-heyelan indeksi olmak üzere iki şekilde değerlendirilmiştir. Genel yol-heyelan indeks değeri, alandaki tüm yolların heyelandan doğrudan etkilenme oranını göstermektedir. Gerçek yol-heyelan indeksi ise, heyelan bulunan yol geçkilerinin heyelandan doğrudan etkilenme oranını göstermektedir. İndekslerin hesaplanmasında heyelan sahaları içerisinde kalarak doğrudan etkilenen yol uzunluğu ve alandaki toplam yol uzunluğu ile heyelandan etkilenen yol geçkileri uzunluklarından yararlanılmıştır. İndekslerin hesaplanmasında, Denklem 2.19 ve Denklem 2.20 kullanılmıştır. Ayrıca yol-heyelan indeks değerleri her işletme şefliği için ayrı ayrı hesaplanarak değerlendirilmiştir.

$$YHI = \frac{\sum YU_H}{\sum Y} \quad (2.20)$$

$$YHI_g = \frac{\sum YU_H}{\sum YG_i} \quad (2.21)$$

Denkleimde;

- HYI_g : Gerçek yol-heyelan indeksi
- HYI : Genel yol-heyelan indeksi
- $\sum YU_H$: Heyelan sahaları içerisinde kalan yolların toplam uzunluğu
- $\sum YG_i$: Heyelandan etkilenen yol geçkilerinin toplam uzunluğu
- $\sum Y$: Alandaki yolların toplam uzunluğu

3. BULGULAR

3.1. ALANDAKİ HEYELANLARA İLİŞKİN BULGULAR

Çalışma alanı heyelan kaynaklı problemlerin görülebildiği morfolojik ve jeolojik yapıya sahiptir. Bazı köylerde resmi bilgi olmamakla birlikte meydana gelen heyelanlardan dolayı tamamen yıkılan veya hasar gören binaların olduğu envanter çalışması sırasında yerel halk ile yapılan görüşmelerden öğrenilmiştir. Örneğin, 1997 yılında, sonbahar döneminde meydana gelen şiddetli yağışlar esnasında Kırık köyünde meydana gelen heyelanda, dört bina ikisi tamamen yıkılarak ve ikisi de ağır hasarlı olmak üzere etkilenmiştir. Ayrıca Kırık köyü, Çayırık mahallesinde heyelan yüzünden bir evde oturulamadığı da öğrenilmiştir. Yine meydana gelen heyelanlardan dolayı yolların tamamen kapandığı, bazı bölgelerde yolların güzergâhların değiştirildiği de öğrenilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile alana ait güncel heyelan envanteri oluşturulmuştur. Ayrıca MTA tarafından 2005 yılında hazırlanan 1/500000 ölçekli heyelan envanterinden de (Zonguldak Paftası) yararlanılmıştır. Oluşturulan heyelan envanteri toplamda 288 adet heyelan içermektedir (Şekil 3.4). Yapılan saha çalışmaları ve gözlemler sonucunda çalışma alanında belirlenen heyelanlar Varnes (1978) sınıflaması dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Buna göre alanda, dönel kayma, toprak akması ve toprak kayması (düzlemsel) olmak üzere üç farklı türde heyelan geliştiği belirlenmiştir. Yapılan bu sınıflandırmaya göre alanda belirlenen heyelanların % 65'i (188 adet) dönel kayma, % 22'si (62 adet) yüzeysel akma ve % 13'ü (38 adet) toprak kayması grubunda sınıflandırılmıştır. Heyelan alanlarının büyüklükleri 1140 m² ile 1182391 m² arasında değişmektedir. Söz konusu heyelan türlerini temsil edici görüntüler Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

İşletme şeflikleri bazında irdelendiğinde, heyelanların 39 tanesi Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde bulunmaktadır. Bu heyelanların 26 tanesi dönel kayma, 8 tanesi toprak kayması ve 5 tanesi yüzeysel akmadır. İşletme şefliğindeki heyelanların büyüklükleri 1140 ile 341585 m² arasında değişmektedir. Karakaş Orman İşletme Şefliğinde heyelanların 64 tanesi bulunmaktadır. İşletme şefliğindeki heyelanların 42 tanesi dönel kayma, 6 tanesi toprak kayması ve 16 tanesi yüzeysel akmadır. Heyelanların büyüklükleri ise 2116 ile 814597 m² arasında değişmektedir. Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde heyelanların 28 tanesi bulunmaktadır. Buradaki heyelanların

11 tanesi dönel kayma, 10 tanesi toprak kayması ve 7 tanesi yüzeysel akmadır. İşletme Şefliğindeki heyelanların büyüklükleri ise 1315 ile 39495 m² arasında değişmektedir. Karadere Orman İşletme Şefliğinde yer alan heyelan sayısı 35'tir. İşletme Şefliğindeki heyelanların 19 tanesi dönel kayma, 7 tanesi toprak kayması ve 9 tanesi yüzeysel akmadır. Heyelanların büyüklükleri ise 1973 ile 1180391 m² arasında değişmektedir. Heyelanların en fazla bulunduğu işletme Şefliği olan Melendere Orman İşletme Şefliğinde ise 122 adet heyelan bulunmaktadır. Heyelanların 90 tanesi dönel kayma, 7 tanesi toprak kayması ve 25 tanesi yüzeysel akma olup büyüklükleri ise 2369 ile 754750 m² arasında değişmektedir.



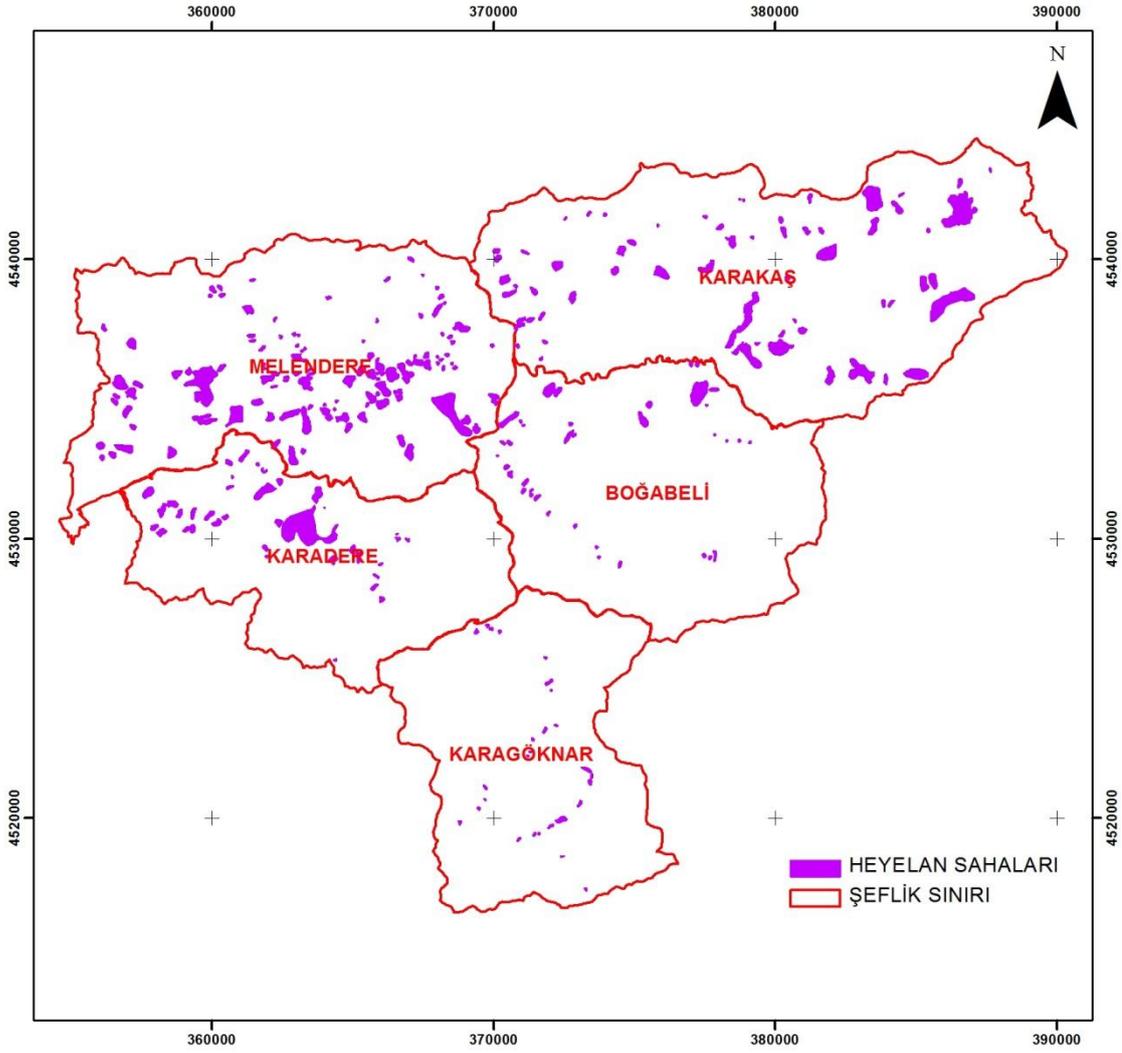
Şekil 3.1. Alandaki dönel kayma türünden heyelan görüntüsü



Şekil 3.2. Alandaki yüzeysel akma türünden heyelan görüntüsü



Şekil 3.3. Alandaki toprak kayması türünden heyelan görüntüsü



Şekil 3.4. Heyelan envanteri haritası

3.2. KULLANILAN PARAMETRELERE İLİŞKİN BULGULAR

3.2.1. Arazi Kullanımı

Çalışma alanına ilişkin arazi kullanım sınıfları, şefliklere ait amenajman planları bünyesindeki sayısal meşcere haritalarından yararlanarak tespit edilmiş ve arazi kullanım haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.7). Alandaki orman alanları, toplam alanın % 66'sına (32842 ha) karşılık gelmektedir. Ormanlık alanlarını en fazla karışık meşcereler temsil etmektedir. Ormanlık alanların % 80'i (26149 ha) bu alanlardan oluşmaktadır. Karışık meşcerelerden sonra alanda en fazla yapraklı türlerden oluşan meşcereler (% 17'si) oluşturmaktadır. İbrelili türler alanda % 1 ile temsil edilmektedir. Ormanlık alanların % 1'i orman toprağı olarak nitelendirilen açık alanlardan oluşmaktadır. Çalışma alanındaki orman alanlarındaki ağaç türleri; Karaçam, Sarıçam, Gökmar, Kayın,

Gürgen, Meşe, Dişbudak ve Kestanedir. Ziraat alanı olarak tanımlanan arazi kullanım sınıfının büyük bölümünde fındıklıklar bulunmaktadır.

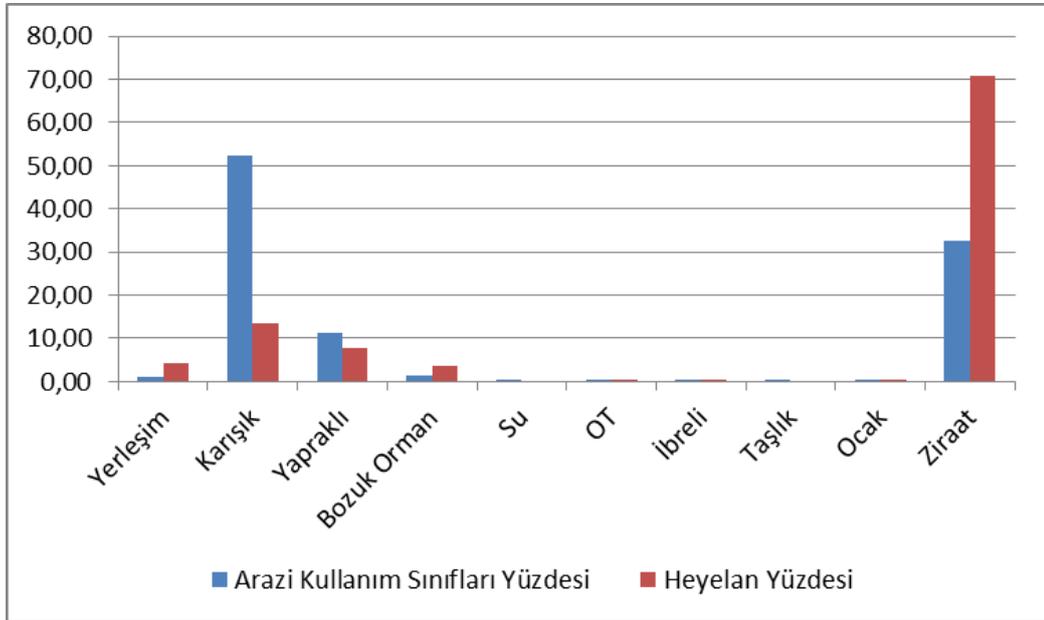
Alana ilişkin arazi kullanım tipleri yerleşim, ziraat alanları, taş ocakları, taşlık-kayalık, su (baraj), ibreli orman, yapraklı orman, karışık orman, bozuk orman ve orman toprağı (OT) olmak üzere 10 farklı kategoride değerlendirilmiş ve heyelanların dağılımı ortaya konulmuştur (Çizelge 3.1, Şekil 3.5). Buna göre alanda % 52,4 oranla (26151,3 ha) en fazla karışık orman alanı bulunurken alandaki orman alanı toplam alanın % 65,8'ine (32845 ha) karşılık gelmektedir. Alanda karışık orman alanından sonra en fazlabulunan ziraat alanları ile yerleşim alanları tüm alanın % 33,6'sına (16749,7 ha) karşılık gelmektedir.

Arazi kullanım tiplerinin işletme şefliklerindeki durumları grafik olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Buna göre Karagökner Orman İşletme Şefliğinde hiç yerleşim bulunmazken, alanın % 95'lik kısmını karışık orman alanları oluşturmaktadır. Geriye kalan alanlar ise orman toprağı, yapraklı orman ve % 1'in de altında bulunan ziraat alanlarıdır. Diğer tüm işletme şefliklerinde yerleşim alanları bulunmaktadır. Melendere ve Karakaş Orman İşletme Şefliklerinde ziraat alanları en fazla yeri kaplamaktadır. Karadere ve Boğabeli Orman İşletme Şefliklerinde ise karışık orman alanlarından sonra ziraat alanları en fazla arazi kullanım tipini oluşturmaktadır. Heyelan frekans oranı yüksek olan bozuk orman alanları ise Melendere, Karakaş ve Boğabeli Orman İşletme Şefliklerinde bulunmaktadır.

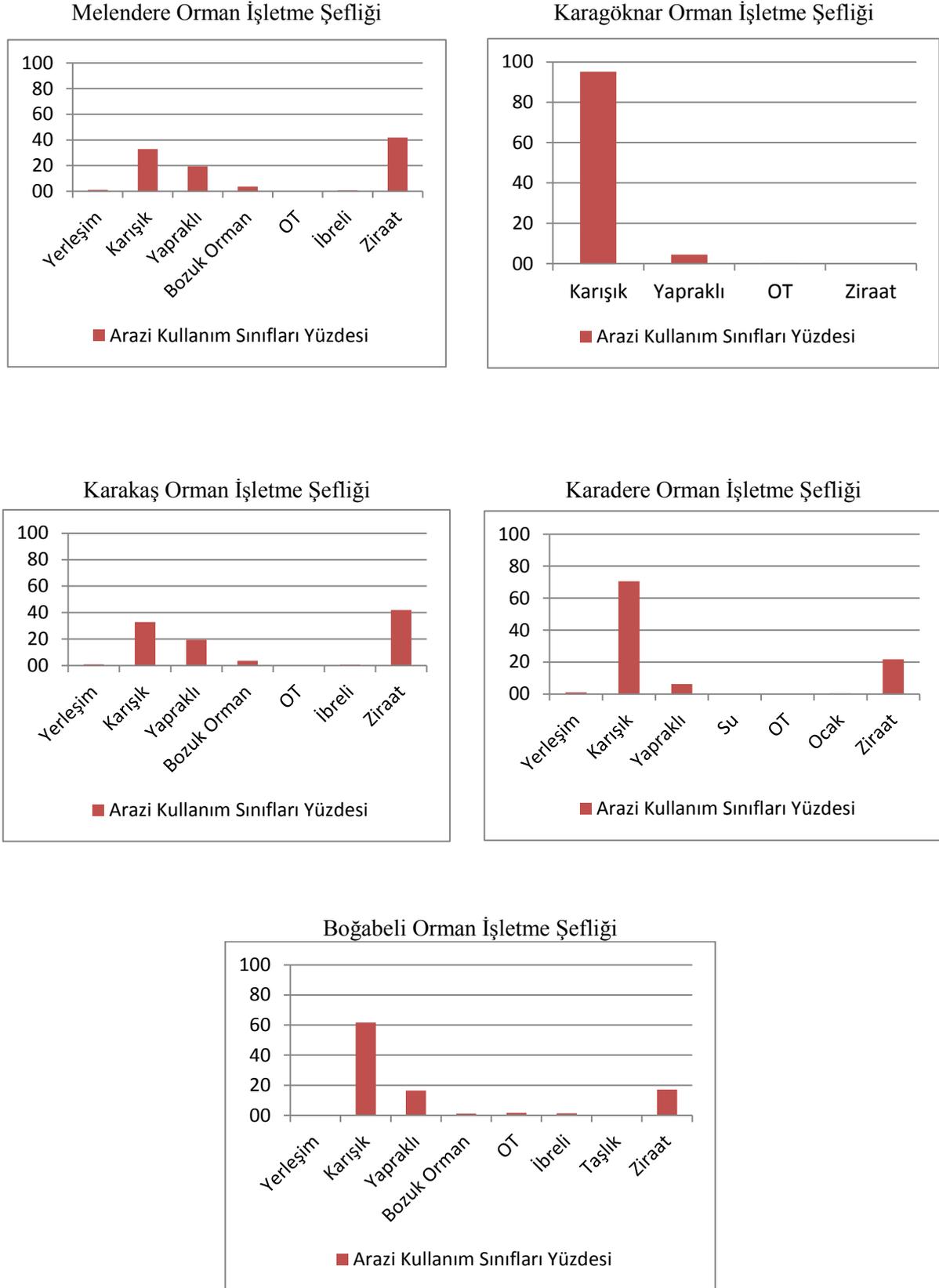
Arazi kullanım sınıflarında heyelanlı piksellerin dağılımlarına bakıldığında en yüksek frekans oranına sahip sınıf yerleşim alanlarıdır. Daha sonra en yüksek frekans oranına sahip arazi kullanım sınıfları sırasıyla bozuk orman ile ziraat alanlarıdır. Orman alanları içerisinde karışık orman alanlarının heyelan frekans oranı 0,26 iken yapraklı orman alanlarında 0,69 ve ibreli orman alanlarında 0,14'tür. Bozuk orman alanları ziraat ve yerleşim alanlarına yakın bölgelerde yer aldıklarından dolayı her ne kadar toplam alanın % 1,37'sine karşılık gelse de heyelanlı piksellerin % 3,48'i bu alanlarda yer almaktadır. Doğal olarak bu da frekans oranının yükselmesine neden olmaktadır.

Çizelge 3.1. Arazi kullanım sınıfları ve heyelan dağılımları

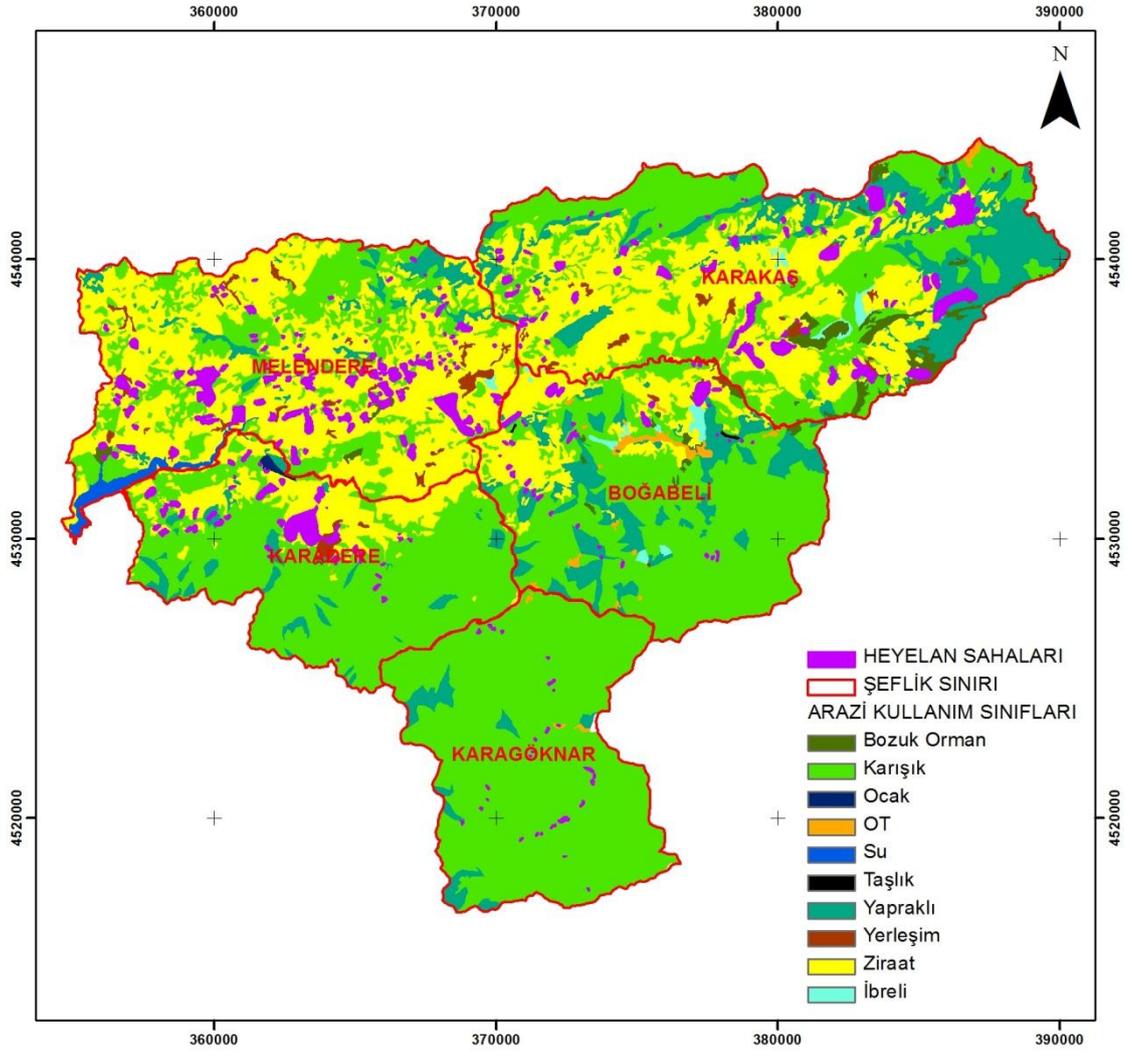
ARAZİ KULLANIM SINIFLARI	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
Yerleşim	1	55259	6529	1,11	4,32	3,90
Karışık	2	2612106	20559	52,43	13,61	0,26
Yapraklı	3	553981	11672	11,12	7,73	0,69
Bozuk Orman	4	68041	5251	1,37	3,48	2,54
Su	5	23288	0	0,47	0,00	0,00
OT	6	22108	30	0,44	0,02	0,04
İbrelili	7	24463	107	0,49	0,07	0,14
Taşlık	8	1052	0	0,02	0,00	0,00
Ocak	9	3558	62	0,07	0,04	0,57
Ziraat	10	1617769	106874	32,47	70,74	2,18



Şekil 3.5. Arazi kullanım sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları



Şekil 3.6. Arazi kullanım sınıflarının işletme şefliklerindeki dağılımları



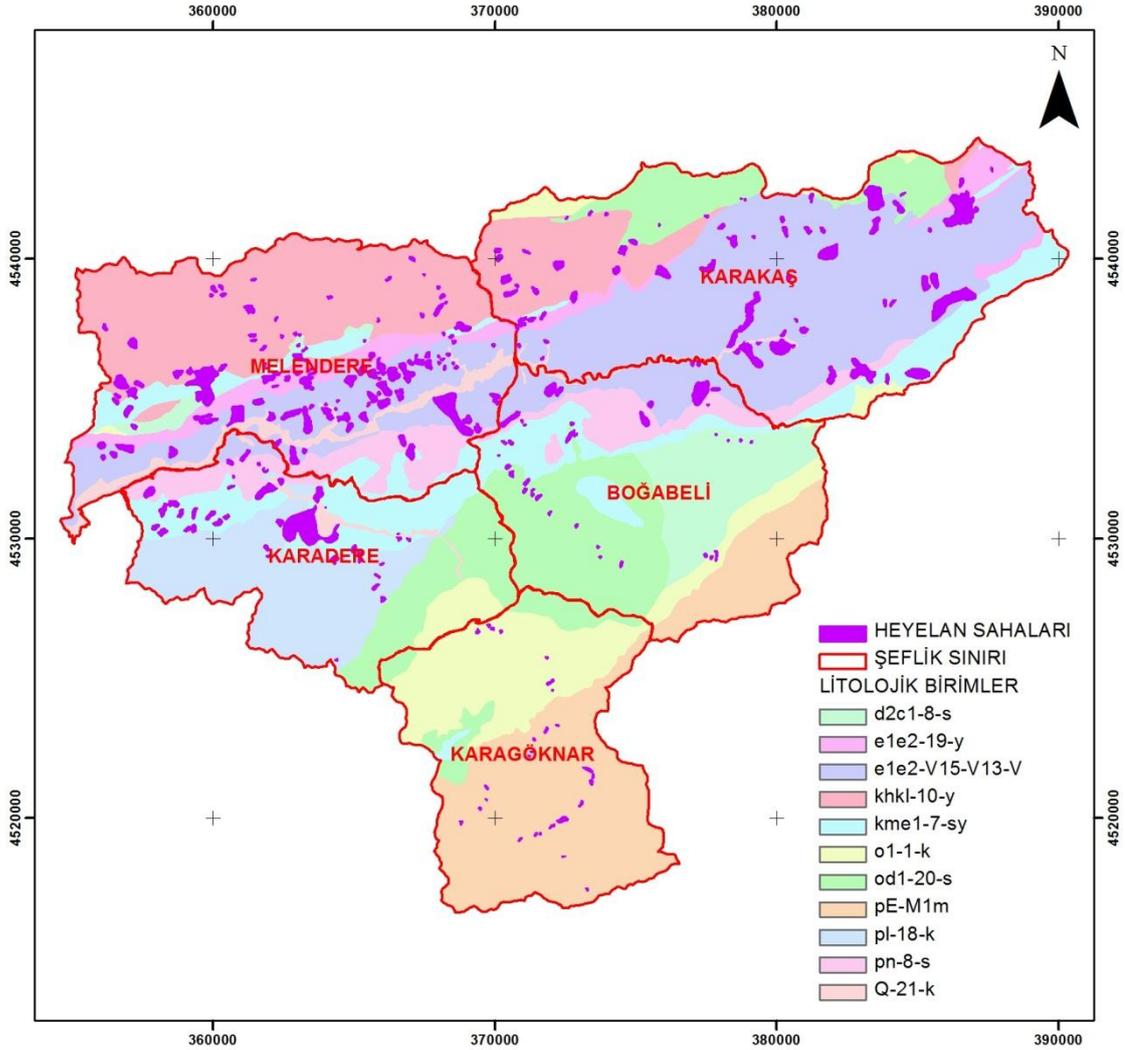
Şekil 3.7. Arazi kullanım sınıfları haritası

3.2.2. Litoloji

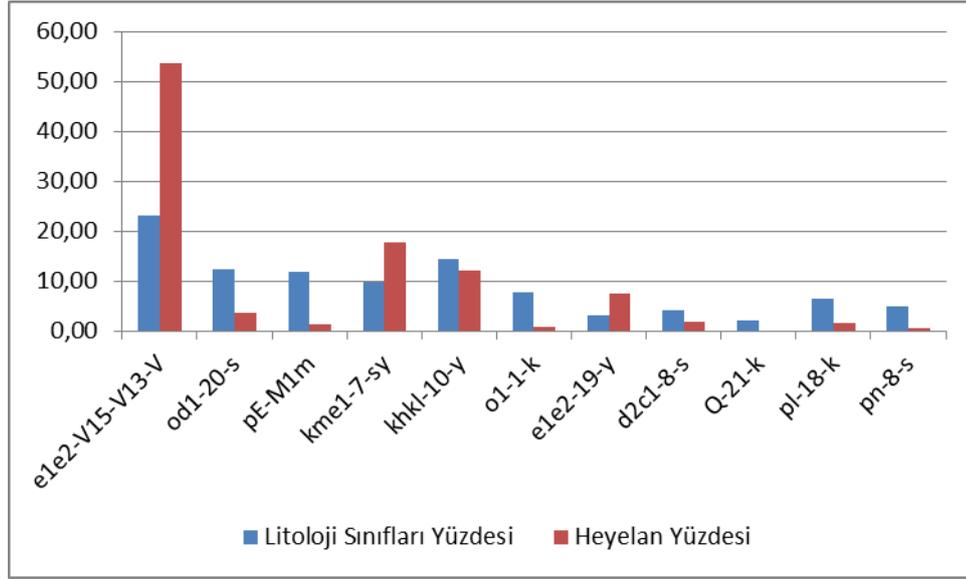
Çalışma alanına ait litoloji haritası MTA tarafından hazırlanmıştır. MTA'dan elde edilen harita sayısallaştırıldıktan sonra heyelan alanlarının dağılımları incelenmiştir (Şekil 3.8). Buna göre alanda 11 farklı litolojik birim bulunmaktadır (Çizelge 3.2 ve Şekil 3.9). Bunlar: 1) Piroklastik kaya-andezit-bazalt (e1e2-V15-V13-V2-s), 2) Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı (od1-20-s), 3) Metagranitoyit (pE-M1m), 4) Killi kireçtaşı (kme1-7-sy), 5) Volkanit Çökel Kaya (khkl-10-y), 6) Kumtaşı (o1-1-k), 7) Kumtaşı-Çamurtaşı (e1e2-19-y), 8) Kireçtaşı (d2c1-8-s), 9) Kuvarterner, Alüvyon (Q-21-k), 10) (pl-18-k) ve 11) Kireçtaşı (Palosen faunalıdır)(pn-8-s). Alanda en fazla e1e2-V15-V13-V2-s birimi % 23,13 oranla bulunmaktadır. Heyelanların da % 53,60'ı bu birimdedir. Frekans oranı ise 2,32'dir. Ancak frekans oranı en yüksek birim Kumtaşı-Çamurtaşı litolojik birimidir.

Çizelge 3.2. Litoloji birimleri ve heyelan dağılımları

LİTOLOJİ BİRİMLERİ	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
e1e2-V15-V13-V2-s	1	1153021	74625	23,13	53,60	2,32
od1-20-s	2	619314	5029	12,42	3,61	0,29
pE-M1m	3	593636	1631	11,91	1,17	0,10
kme1-7-sy	4	489398	24781	9,82	17,80	1,81
khkl-10-y	5	719816	16660	14,44	11,97	0,83
o1-1-k	6	383263	946	7,69	0,68	0,09
e1e2-19-y	7	156671	10290	3,14	7,39	2,35
d2c1-8-s	8	204876	2577	4,11	1,85	0,45
Q-21-k	9	101744	0	2,04	0,00	0,00
pl-18-k	10	315408	2106	6,33	1,51	0,24
pn-8-s	11	248521	573	4,98	0,41	0,08



Şekil 3.8. Litoloji haritası



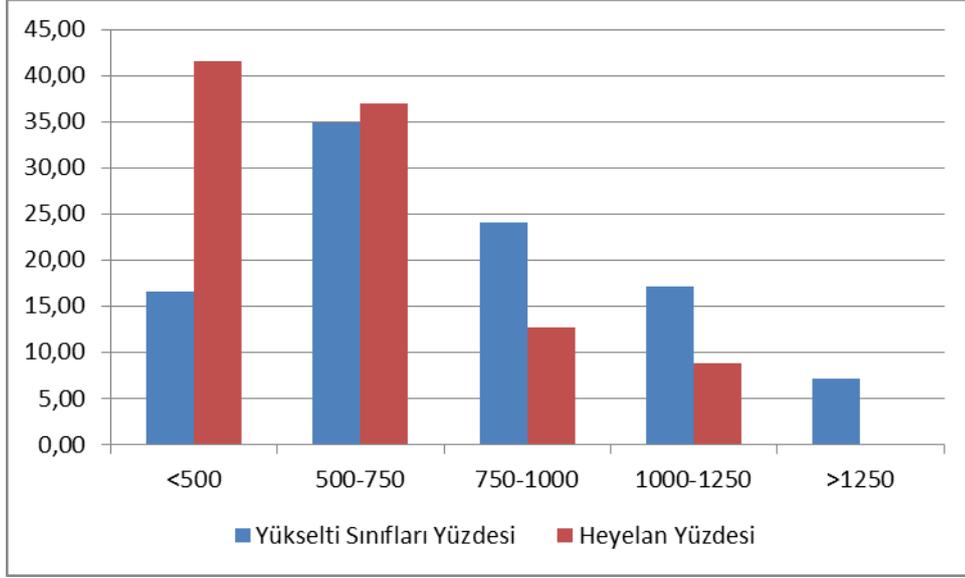
Şekil 3.9. Litoloji sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları

3.2.3. Yükselti

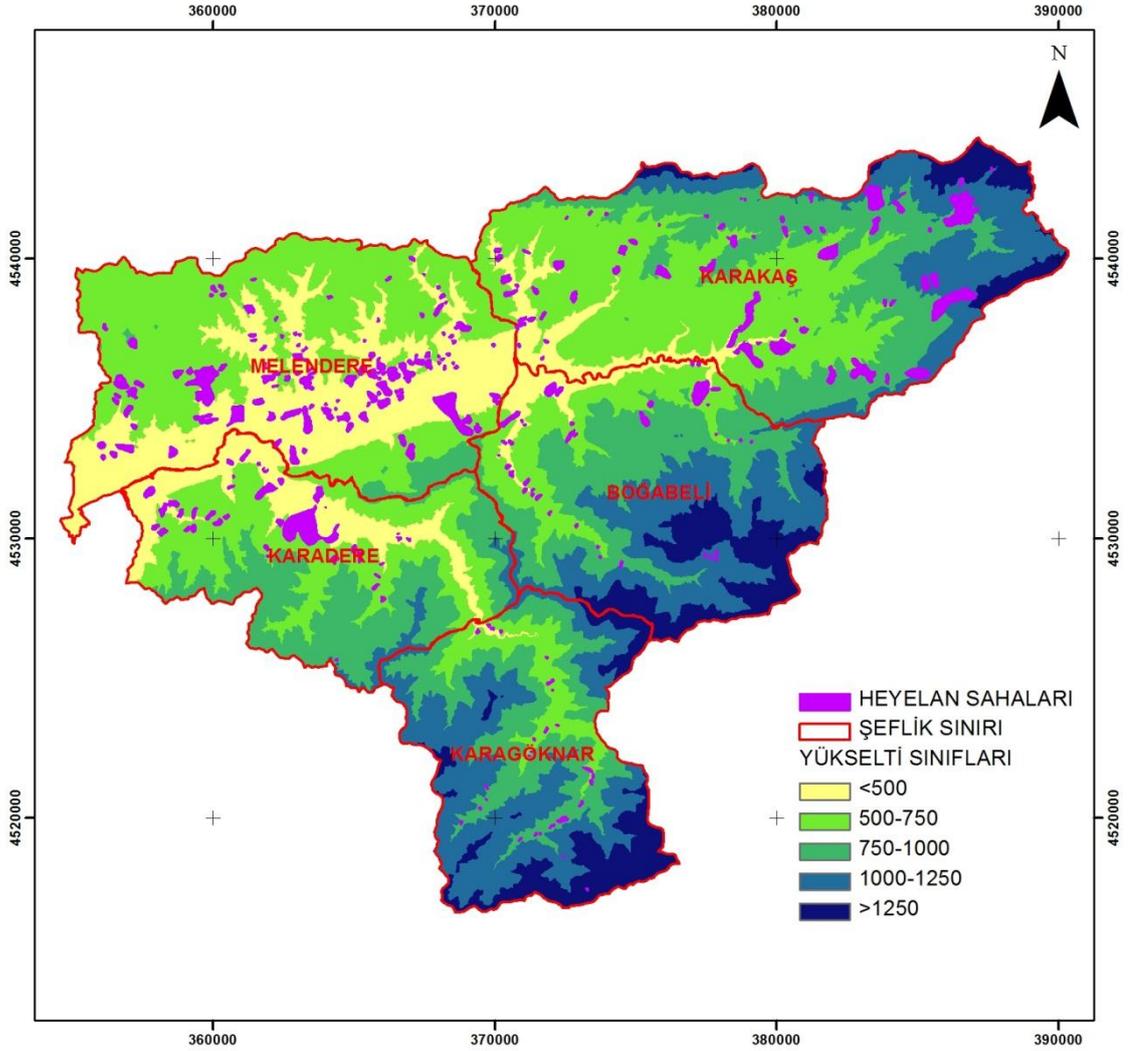
Çalışma alanının denizden olan ortalama yüksekliği 970 m'dir. Alanın yükselti basamakları 210-1730 m arasında değişmektedir. Çalışma alanına ait yükselti haritası Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Alan, heyelan dağılımlarının değerlendirilmesi açısından beş ayrı yükselti sınıfına ayrılmıştır. Buna göre alanın % 16,57'si 500 m'den az yükselti sınıfında, % 17,12'si 1000-1250 m yükselti sınıfında iken % 59,01'i 500-1000 m yükselti sınıfındadır. Yükselti parametresinin her bir sınıfına ait heyelan frekans oranı Çizelge 3.3'de ve grafik olarak Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Buna göre heyelanlı piksellerin % 41,52'si 500 m'nin altındaki yükseltilerde bulunmaktadır. Yükselti basamakları arttıkça heyelan frekans oranında bir azalma olsa da 750-1000 m ile 1000-1250 m yükselti basamaklarının heyelan frekans oranları birbirine oldukça yakındır. 1250 m'den daha yüksek yükselti sınıfında ise heyelan frekans oranı 0,01'dir.

Çizelge 3.3. Yükselti sınıfları ve heyelan dağılımları

YÜKSELTİ SINIFLARI	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
<500	1	826305	62729	16,57	41,52	2,51
500-750	2	1742529	55837	34,95	36,96	1,06
750-1000	3	1203488	19183	24,14	12,70	0,53
1000-1250	4	853790	13239	17,12	8,76	0,51
>1250	5	359692	96	7,21	0,06	0,01



Şekil 3.10. Yükselti sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımı



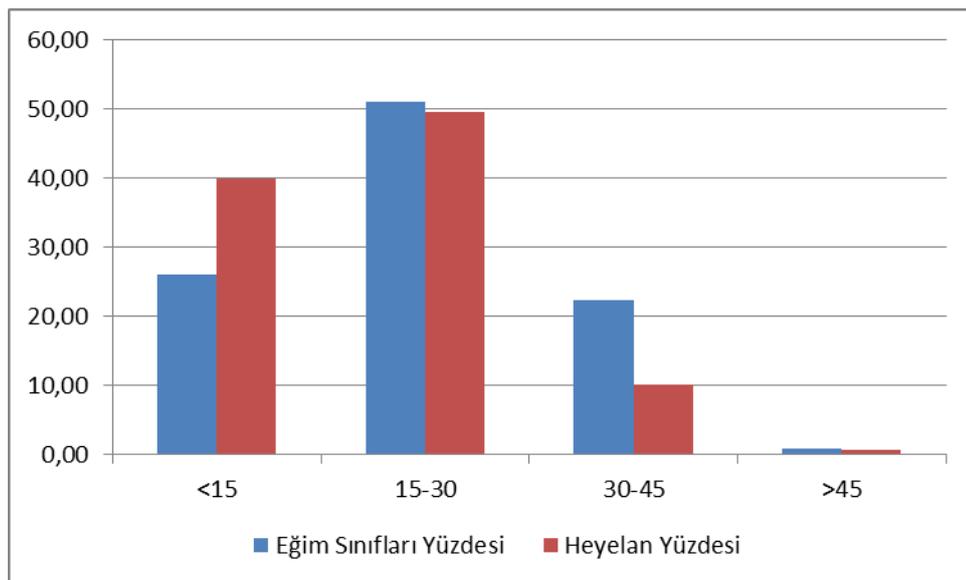
Şekil 3.11. Yükselti sınıfları haritası

3.2.4. Eğim

Çalışma alanının eğim haritası sayısal eş yükselti eğrileri katmanından üretilen SAM'dan yararlanarak derece cinsinden oluşturulmuştur. Oluşturulan eğim haritası Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Üretilen eğim haritası heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilmek amacıyla 4 sınıfa ayrılmış ve heyelan dağılımları tespit edilmiştir (Şekil 3.12, Çizelge 3.4). Çalışma alanındaki heyelanlı piksellerin % 89,35'i 0°-30° eğimleri arasında yer almaktadır. Alanın % 50,95'i 15°-30° eğim sınıfındadır ve heyelanlı piksellerin % 49,40'ı bu sınıfta yer almaktadır. Alanın % 25,93'ünü kaplayan <15° eğim grubunda ise heyelanlı piksellerin % 39,95'i en yüksek frekans oranı (FR=1,54) ile yer almaktadır. Her ne kadar 30°-45° eğim sınıfı alanın % 22,35'ini oluştursa da, alanın % 0,77'sini oluşturan 45°'den büyük eğim sınıfının frekans oranı daha yüksektir.

Çizelge 3.4. Eğim sınıfları ve heyelan dağılımları

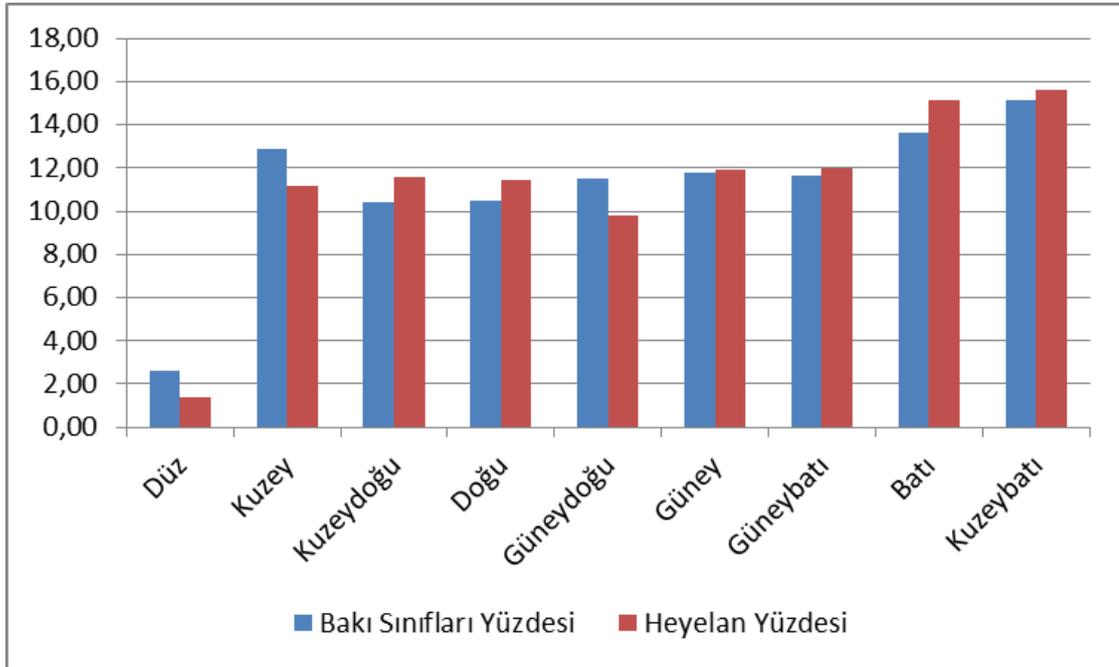
EĞİM SINIFLARI (°)	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
<15	1	1292962	60351	25,93	39,95	1,54
15-30	2	2540386	74638	50,95	49,40	0,97
30-45	3	1114236	15154	22,35	10,03	0,45
>45	4	38220	941	0,77	0,62	0,81



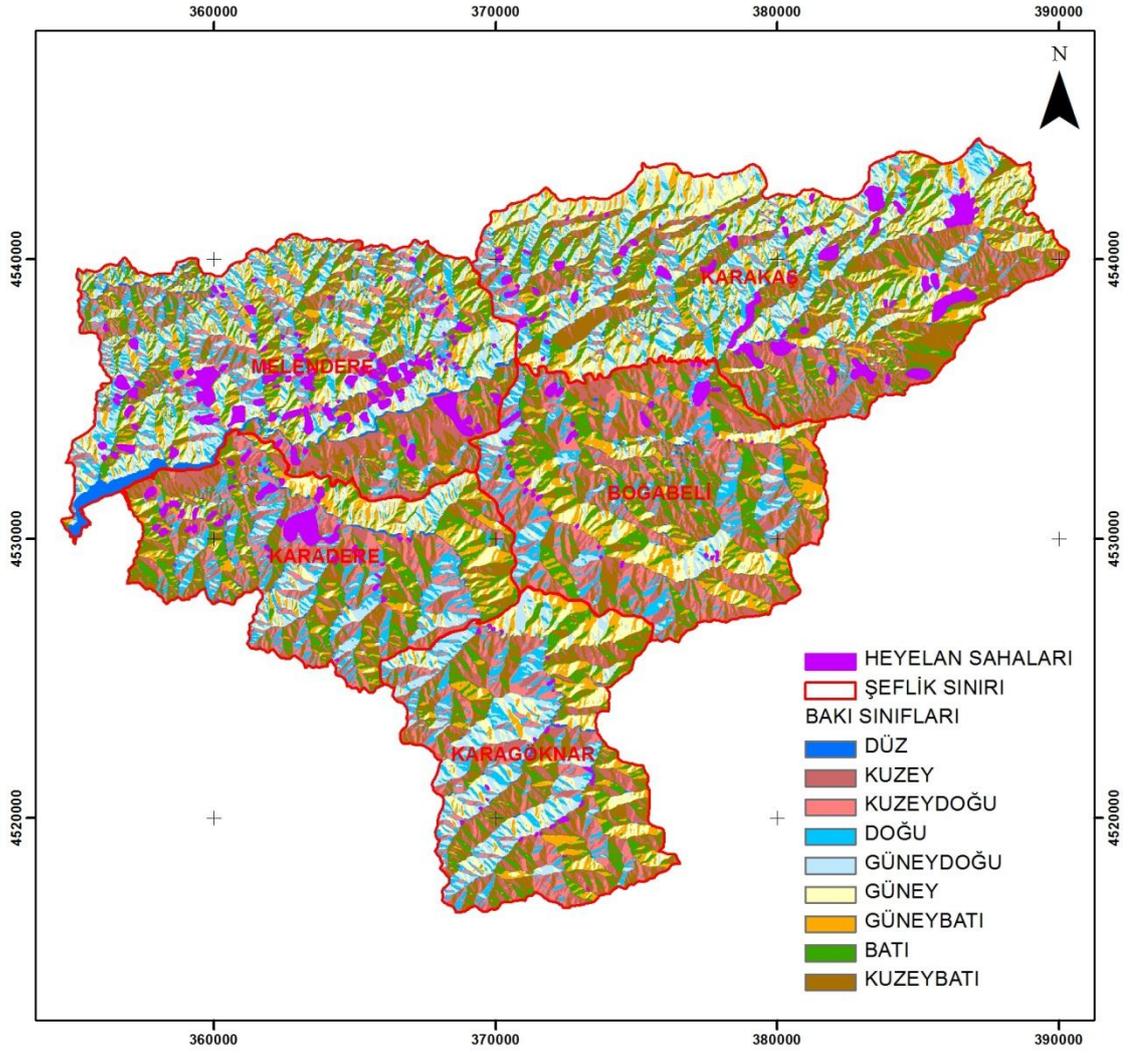
Şekil 3.12. Eğim sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları

Çizelge 3.5. Bakı sınıfları ve heyelan dağılımları

BAKİ SINIFLARI	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
Düz	1	129932	2033	2,61	1,35	0,52
Kuzey	2	643156	16833	12,90	11,14	0,86
Kuzeydoğu	3	517872	17497	10,39	11,58	1,11
Doğu	4	521410	17291	10,46	11,44	1,09
Güneydoğu	5	574575	14850	11,52	9,83	0,85
Güney	6	585913	18042	11,75	11,94	1,02
Güneybatı	7	579168	18067	11,62	11,96	1,03
Batı	8	680005	22845	13,64	15,12	1,11
Kuzeybatı	9	753773	23626	15,12	15,64	1,03



Şekil 3.14. Bakı sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları



Şekil 3.15. Bakı sınıfları haritası

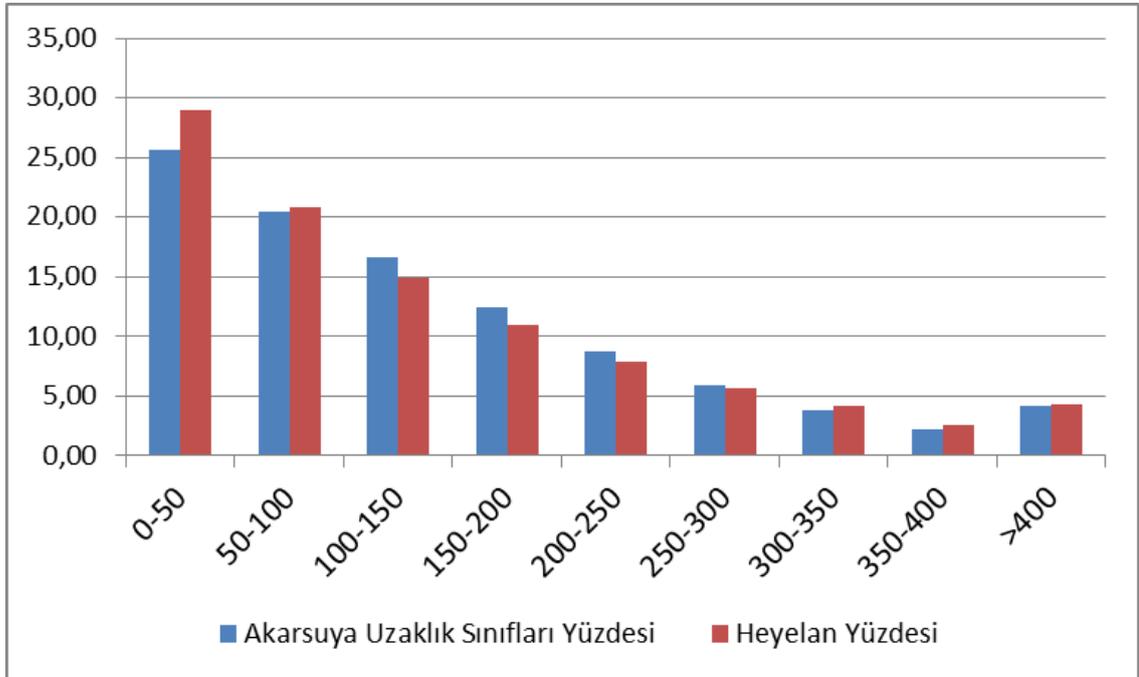
3.2.6. Akarsuya Uzaklık

Çalışma alanında heyelanların akarsulara olan mesafeden nasıl etkilendiğini tespit etmek amacıyla alandaki kuru ve sulu dereler sayısallaştırılarak akarsuya uzaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.17). Akarsuya uzaklık haritası 10 farklı mesafede sınıflandırılmıştır. Her bir sınıfın alandaki durumu ve karşılık gelen heyelanlı piksel miktarı tespit edilmiştir. Çizelge 3.6 ve Şekil 3.16'da da görüldüğü gibi 0-50 m sınıfı alanda % 25,61'ini kapsamaktadır ve heyelanlı piksellerin % 28,94'ü bu sınıfta yer almaktadır. Frekans oranı 1,13 ile en yüksektir. Bu uzaklık sınıfından sonra en yüksek frekans oranına sahip 350-400 m sınıfıdır (1,12). 300-350 m uzaklık sınıfının frekans oranı 1,10 ile bu sınıfa oldukça yakındır. 100 ile 250 m arasındaki sınıfların frekans oranları birbirine oldukça yakındır. Her bir sınıfta yer alan heyelanlı piksellerin yüzde

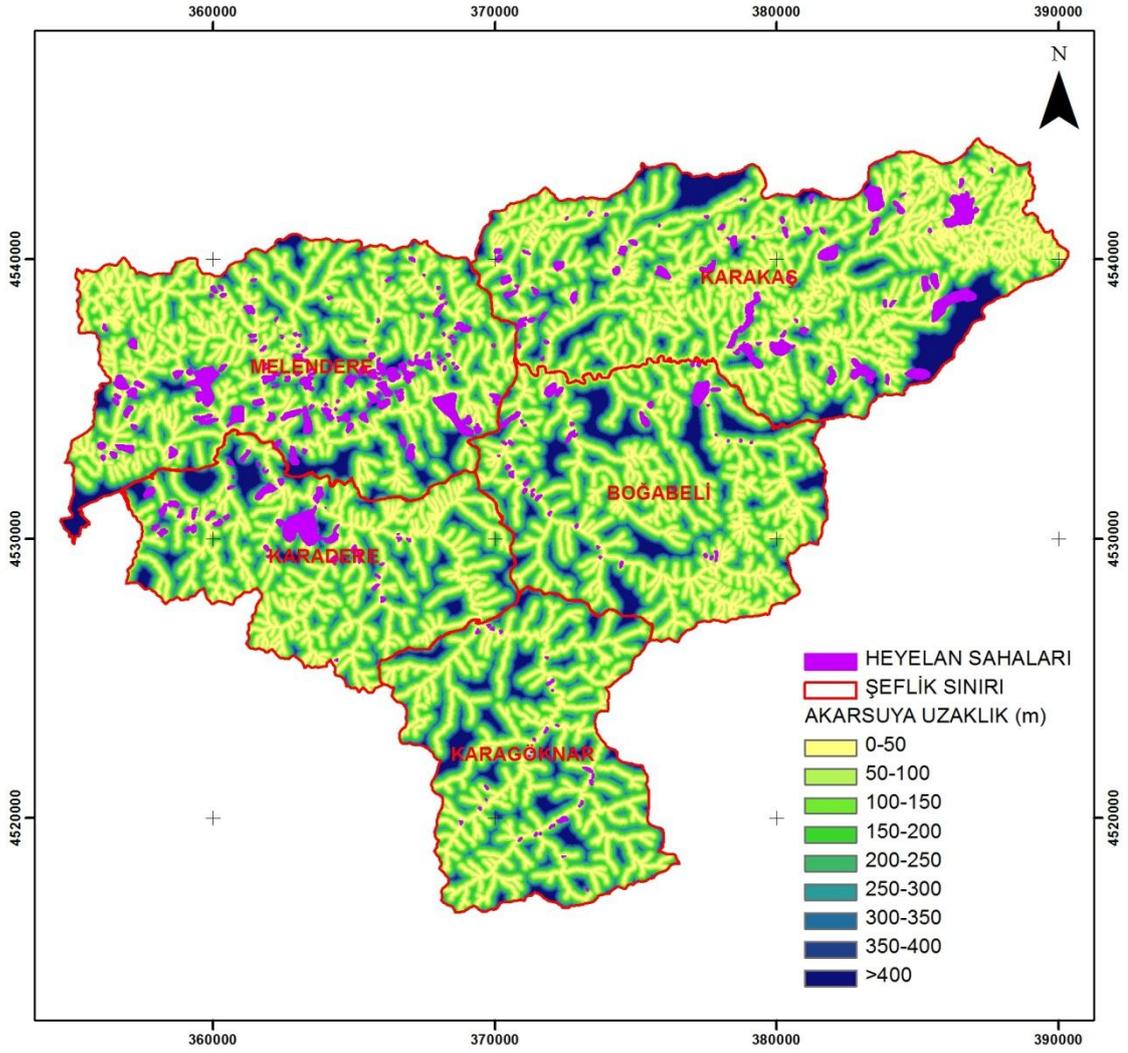
dağılımları karşılaştırıldığında ise akarsuya olan uzaklık arttıkça (>400 m'den büyük uzaklık sınıfı hariç) heyelanlı piksel yüzdelere azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.6. Akarsuya uzaklık sınıfları ve heyelan dağılımları

AKARSUYA UZAKLIK SINIFLARI	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
0-50	1	1276618	43726	25,61	28,94	1,13
50-100	2	1020283	31421	20,46	20,80	1,02
100-150	3	830210	22599	16,65	14,96	0,90
150-200	4	622399	16481	12,48	10,91	0,87
200-250	5	437440	11827	8,77	7,83	0,89
250-300	6	293199	8484	5,88	5,62	0,95
300-350	7	187073	6260	3,75	4,14	1,10
350-400	8	112862	3829	2,26	2,53	1,12
>400	9	205720	6457	4,13	4,27	1,04



Şekil 3.16. Akarsuya uzaklık sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları



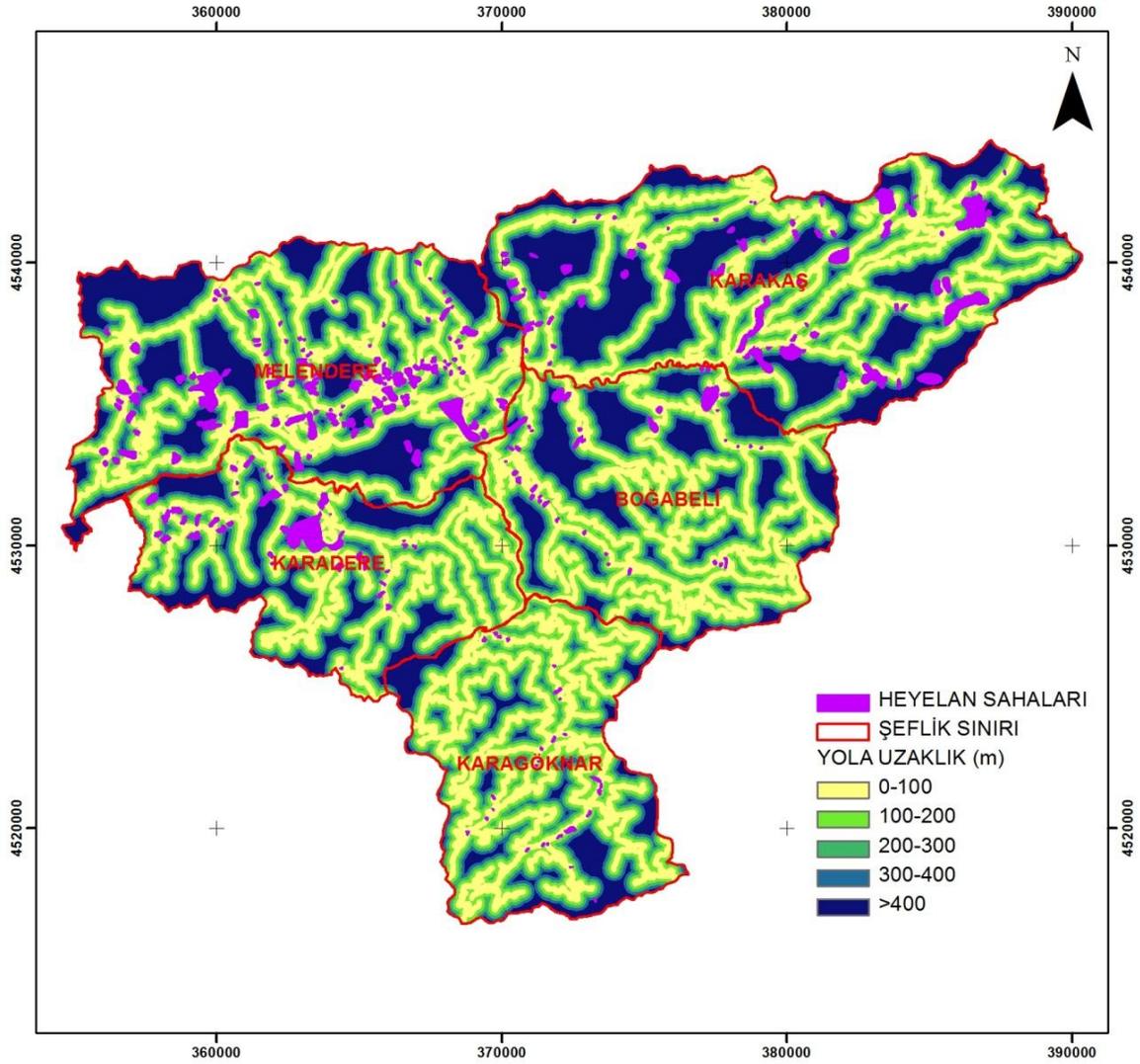
Şekil 3.17. Akarsuya uzaklık haritası

3.2.7. Yola Uzaklık

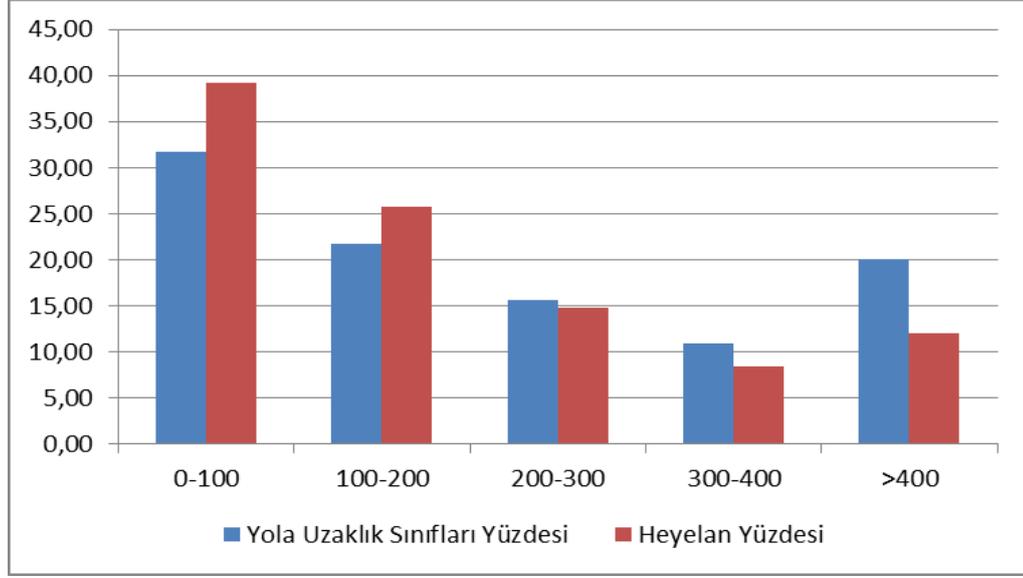
Çalışma alanına ait yola uzaklık haritası sayısal yol ağı katmanından yararlanılarak üretilmiştir (Şekil 3.18). Yola uzaklık sınıfları Çizelge 3.7’de gösterildiği gibi 5 sınıfa ayrılmıştır. Grafik olarak heyelanlı piksellerin her bir sınıftaki durumunu gösteren Şekil 3.19’da görüldüğü gibi alanda en yüksek oranda 0-100 m yola uzaklık sınıfı bulunmaktadır. Heyelanlı piksellerin de % 31,71’i bu sınıftadır ve 1,24 ile en yüksek frekans oranına sahiptir. Alanda % 21,77 ile ikinci olarak 100-200 m sınıfı bulunurken % 20,04 ile üçüncü olarak 400 m’den daha uzak mesafeler bulunmaktadır. Yola uzaklık miktarında artış meydana geldikçe (>400 m uzaklık sınıfı hariç) heyelan frekans oranında azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.7. Yola uzaklık sınıfları ve heyelan dağılımları

YOLA UZAKLIK SINIFLARI	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
0-100	1	1581111	59229	31,71	39,20	1,24
100-200	2	1085360	38842	21,77	25,71	1,18
200-300	3	778788	22266	15,62	14,74	0,94
300-400	4	541319	12614	10,86	8,35	0,77
>400	5	999226	18133	20,04	12,00	0,60



Şekil 3.18. Yola uzaklık haritası



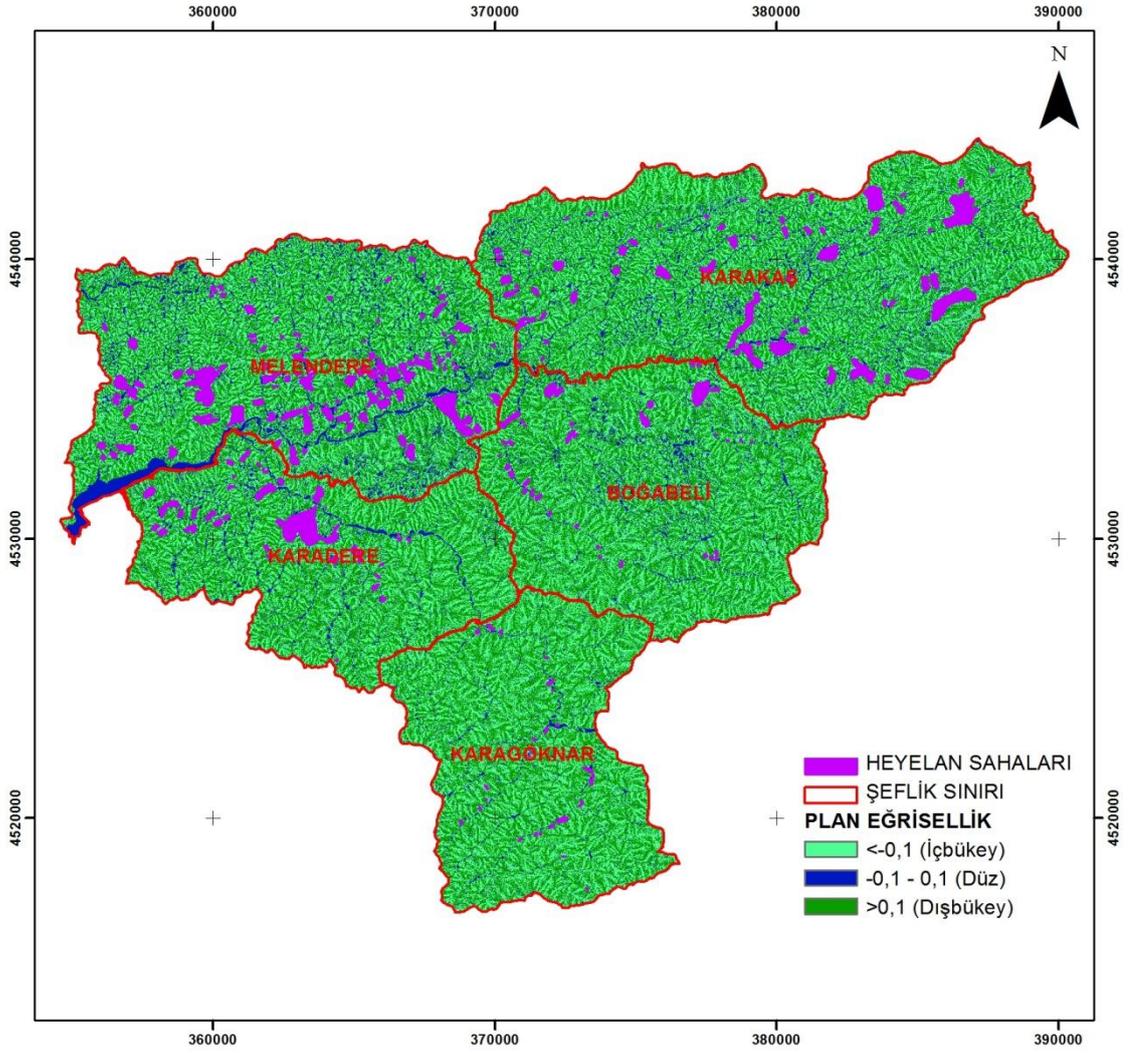
Şekil 3.19. Yola uzaklık sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları

3.2.8. Plan Eğrisellik

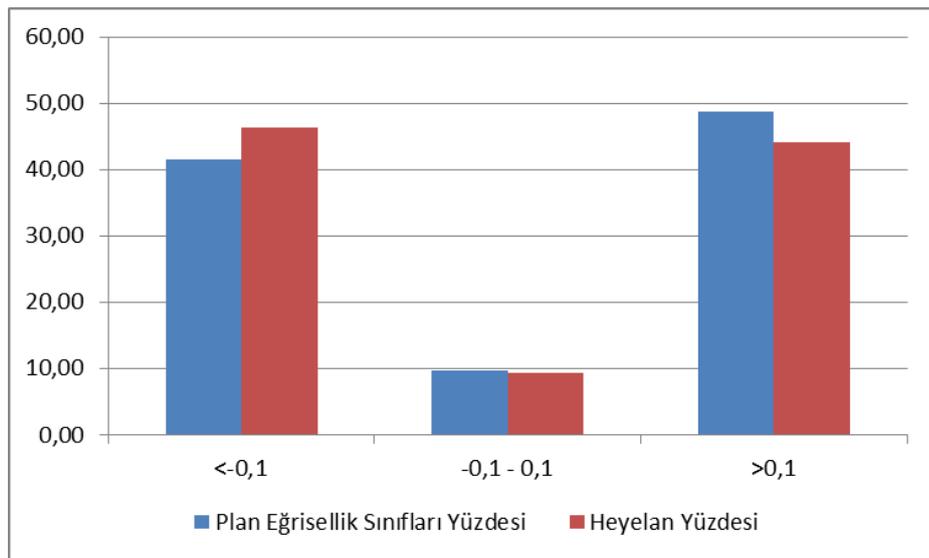
Alan topografyasının morfolojik özelliğini ifade eden eğrisellik parametresi SAM verisinden yararlanarak plan ve profil eğrisellik olarak üretilmiştir. Bu çalışmada heyelan oluşumu üzerinde etkin olduğu saha çalışmalarında gözlemlenen plan eğrisellik parametresi kullanılmıştır. Plan eğrisellik haritası Şekil 3.20’de gösterilmektedir. Plan eğrisellik Çizelge 3.8’de görüldüğü gibi 3 sınıfa ayrılmıştır. Eğrisellik sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları grafik olarak Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Buna göre alanın % 41,61’ini içbükey (İB) sınıfı temsil ederken % 48,72’sini dışbükey (DB) sınıfı temsil etmektedir. Yine heyelanlı piksellerin % 46,39’u İB sınıfında yer alırken % 44,18’i DB sınıfında yer almaktadır. Alanın % 9,67’sini kapsayan düz (D) sınıfında ise heyelanlı piksellerin % 8,68’i yer almaktadır. Frekans oranı ise en fazla İB sınıfında görülmektedir. D sınıfının frekans oranı DB sınıfının frekans oranından daha yüksektir.

Çizelge 3.8. Plan eğrisellik sınıfları ve heyelan dağılımları

PLAN EĞRİSELLİK SINIFLARI	SINIF NO	HER BİR SINIFTAKİ PİKSEL SAYISI (A)	HER BİR SINIFTAKİ HEYELANLI PİKSEL SAYISI (B)	% A	% B	FREKANS ORANI (FR)= (%B)/(%A)
İçbükey (<-0,1)	1	2074563	70088	41,61	46,39	1,11
Düz (-0,1 – 0,1)	2	482215	14244	9,67	9,43	0,97
Dışbükey (>0,1)	3	2429026	66752	48,72	44,18	0,91



Şekil 3.20. Plan eğrisellik haritası



Şekil 3.21. Plan eğrisellik sınıflarının ve heyelanlı piksellerin yüzde dağılımları

3.3. LOJİSTİK REGRESYON ANALİZİNE İLİŞKİN BULGULAR

En çok olabilirlik yöntemi kullanılarak parametre katsayılarının tahmin edildiği LR analizi sonucu elde edilen regresyon denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{logit(Envanter)} &= -10,7967 + 0,599764 * \text{Arazi Kullanımı} + 0,460694 * \text{Eğim} + 1,625798 \\ &* \text{Bakı} + 0,511397 * \text{Litoloji} + 0,395534 * \text{Yükselti} + 0,914077 \\ &* \text{Yola Uzaklık} + 1,033451 * \text{Dereye Uzaklık} + 1,158766 * \text{Plan Eğrisellik} \end{aligned}$$

Elde edilen regresyon denkleminde katsayılar, ilgili bağımsız değişkenin heyelan gelişimi üzerindeki göreceli ağırlık değerini ifade etmektedir. Buna göre kullanılan parametreler heyelan oluşumu üzerinde negatif etkiye sahip değildir. Analiz sonucu elde edilen regresyon katsayıları ayrıca Çizelge 3.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.9. LR denklemindeki parametre katsayıları

Değişkenler	Katsayılar
Regresyon Sabiti	-10,7967
Arazi Kullanımı	0,599764
Eğim	0,460694
Bakı	1,625798
Litoloji	0,511397
Yükselti	0,395534
Yola Uzaklık	0,914077
Akarsuya Uzaklık	1,033451
Plan Eğrisellik	1,158766

Ortaya konulan regresyon denklemine ait bazı istatistikler de Çizelge 3.10'da gösterilmiştir. Buna göre elde edilen denklemin $-2\log(L0)$ ve $-2\log(\text{Likelihood})$ değerleri sırasıyla 149905,4396 ve 111763,5921 olarak bulunmuştur. Bu değerlerden elde edilen ve modelin parametreler ile uyumunu gösteren Pseudo R^2 değeri 0,2544 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,2'den büyük olması durumunda nispeten iyi uyum varlığı söylenebilmektedir. ChiSquare istatistiğinin yüksek olması ise heyelan varlığının, sıfır hipotezi altında tüm parametreleri içeren regresyon modelinden çok daha az olası olduğunu ifade etmektedir ve 38141,8474 olarak elde edilmiştir. Goodness

of Fit istatistiği de gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkı gösterdiği için düşük değere sahip olması ile daha iyi uyum söz konusudur. Denklem, Goodness of Fit değeri 414379,3280 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.10. Regresyon modeli istatistikleri

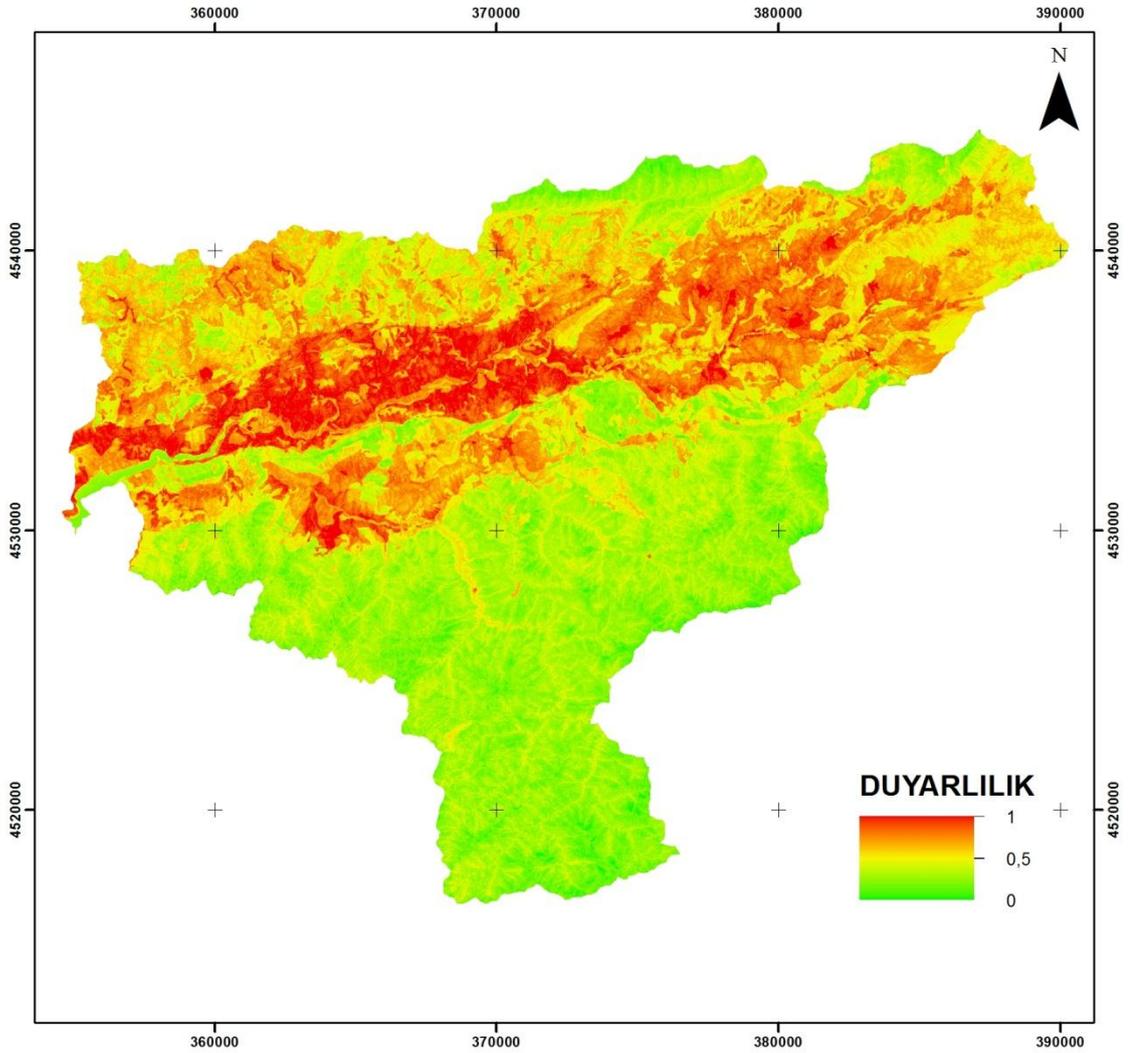
Regresyon Modeline Ait İstatistikler	
Toplam Gözlem Sayısı	9893637
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	9742553
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	151084
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	98,4729
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	1,5271
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	944570
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	930069
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	14501
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	98,4648
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	1,5352
-2logL0	149905,4396
-2log(likelihood)	111763,5921
Pseudo R ²	0,2544
Goodness of Fit	414379,3280
ChiSquare (8)	38141,8474

3.4. HEYELAN DUYARLILIK HARİTASINA İLİŞKİN BULGULAR

LOGISTIREC modülü kullanılarak heyelan oluşumu üzerinde etkili olduğu gözlenen 8 parametre ve arazi çalışması ile elde edilen envanter haritasına bağlı olarak üretilen heyelan duyarlılık haritası Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Üretilen duyarlılık haritasının anlamlandırılması ve heyelan duyarlılık derecelerinin atanması amacıyla yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Bunun için üretilen duyarlılık haritası eşit aralık yaklaşımı ile çok düşük duyarlı (0-0,2), düşük duyarlı (0,2-0,4), orta duyarlı (0,4-0,6), yüksek duyarlı (0,6-0,8), çok yüksek duyarlı (0,8-1) kullanılarak 5 eşit sınıfa ayrılmıştır. Yeniden sınıflandırılan duyarlılık haritası Şekil 3.23’de gösterilmiştir. Çizelge 3.11’de her bir duyarlılık sınıfında ne kadar piksel bulunduğu ve yüzdeleri verilmiştir.

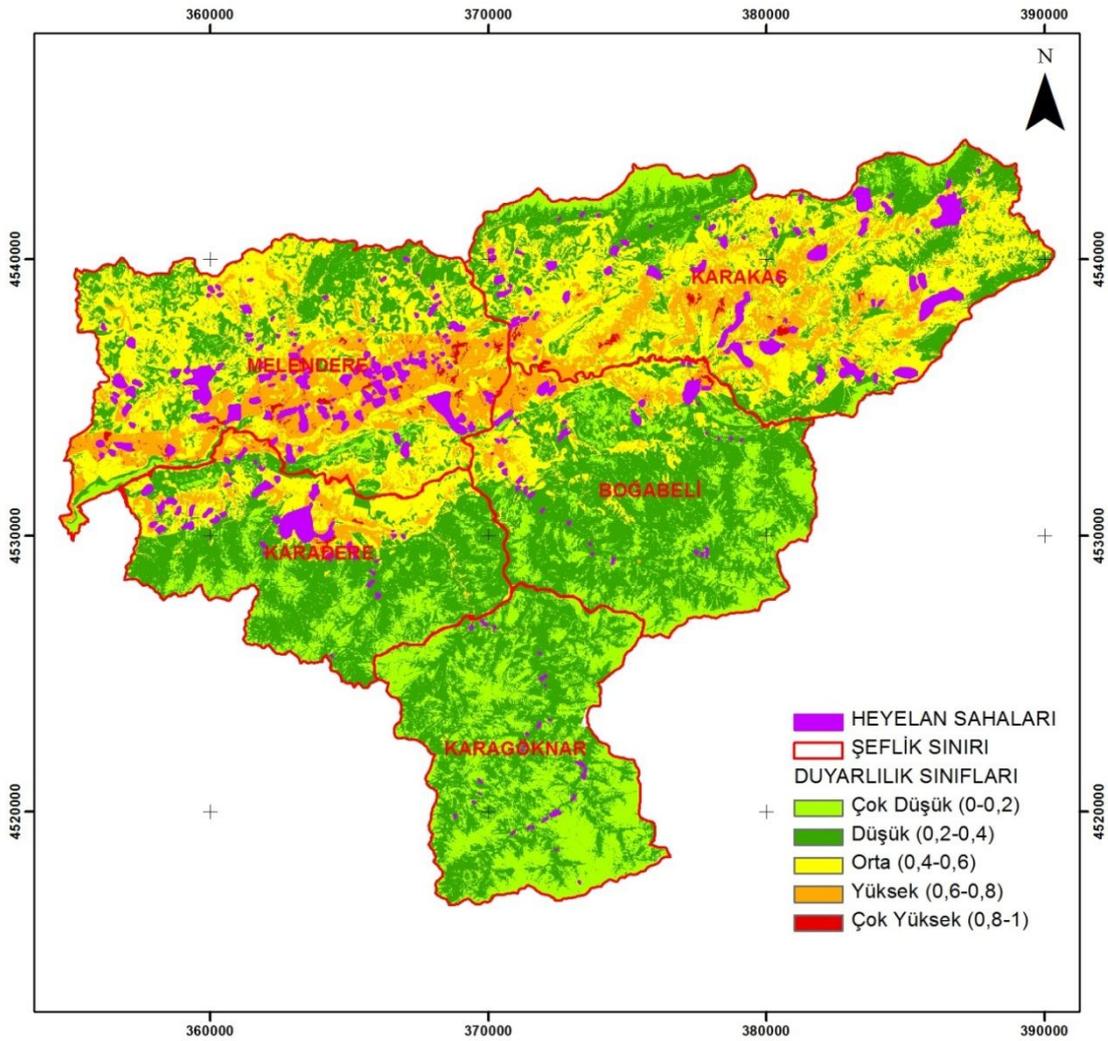
Çizelge 3.11. Duyarlılık sınıflarına ait piksel sayıları ve yüzdeleri

Duyarlılık Sınıfı	Piksel Sayısı	Yüzde (%)
0-0,2 (Çok Düşük)	841511	16,9
0,2-0,4 (Düşük)	2013237	40,5
0,4-0,6 (Orta)	1416986	28,5
0,6-0,8 (Yüksek)	663941	13,4
0,8-1 (Çok Yüksek)	37075	0,7

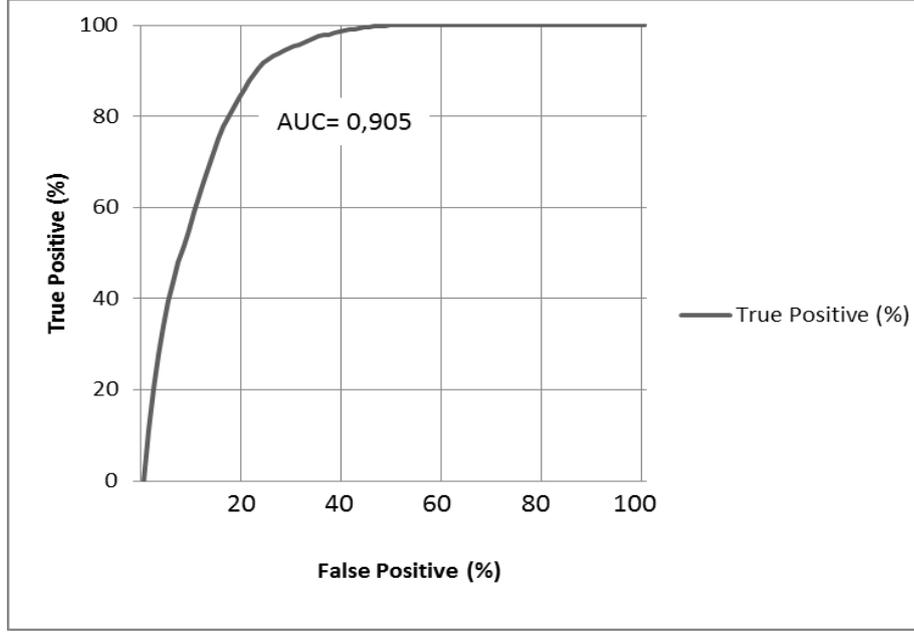


Şekil 3.22. Üretilen heyelan duyarlılık haritası

Bu tez çalışmasında üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğrulanmasında ROC değeri kullanılmıştır. ROC değeri ne kadar büyük ise uyum da o kadar iyidir. ROC eğrisinin altında kalan alan olan AUC değeri, doğru pozitif yüzdesi ve yanlış pozitif yüzdesi değerleri kullanılarak hesaplanmak suretiyle elde edilmektedir. Bu değer heyelan olayının meydana gelme veya gelmeme durumunu tahmin etme yeteneğini açıklamak suretiyle duyarlılık haritasının kalitesini ortaya koymaktadır. AUC değeri 0,5 ile 1 arasında değişmektedir. 1 değeri tam tutarlılık olduğunu ifade ederken 0,5 değeri şansa bağlı olduğunu ifade etmektedir. Geliştirilen modelin AUC değeri 0,905 olarak elde edilmiştir (Şekil 3.24). Ayrıca heyelan alanları ile oluşturulan duyarlılık haritasının karşılaştırılması yoluyla da modelin doğruluğu değerlendirilmiştir. Buna göre heyelanların % 0,6'sı çok düşük duyarlılık sınıfında, % 17,3'ü düşük duyarlılık sınıfında, % 53,1'i orta duyarlılık sınıfında, % 26,7'si yüksek duyarlılık sınıfında ve % 2,3'ü çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 3.25).

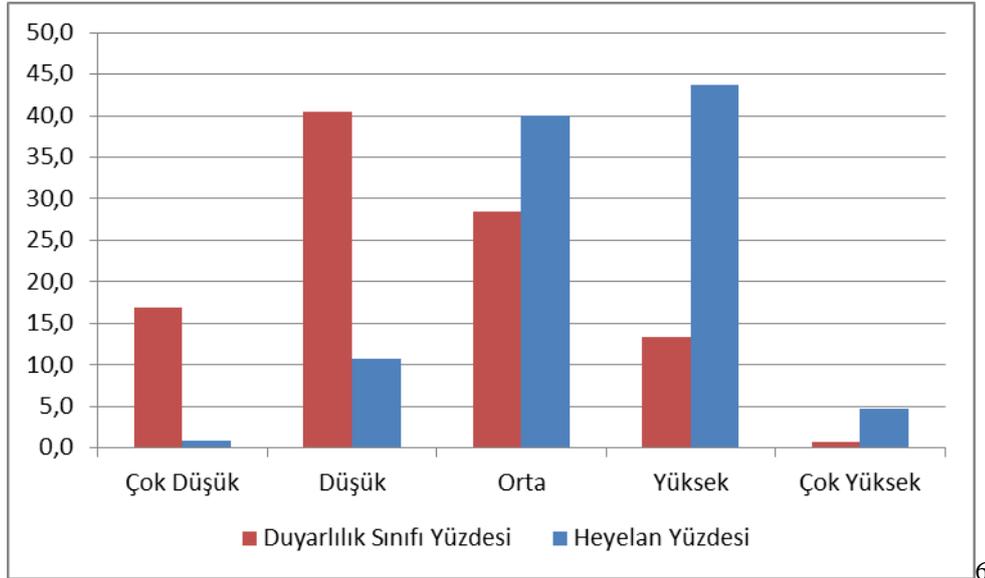


Şekil 3.23. Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait sınıflandırılmış heyelan duyarlılık haritası



Şekil 3.24. Heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi

Üretilen duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarının alandaki dağılımlarına bakıldığında, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'nün 8439,9 ha alanı çok düşük duyarlılık sınıfında, 20191,7 ha alanı düşük duyarlılık sınıfında, 14211,6 ha alanı orta duyarlılık sınıfında, 6659,0 ha alanı yüksek duyarlılık sınıfında ve 371,8 ha alanı çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.



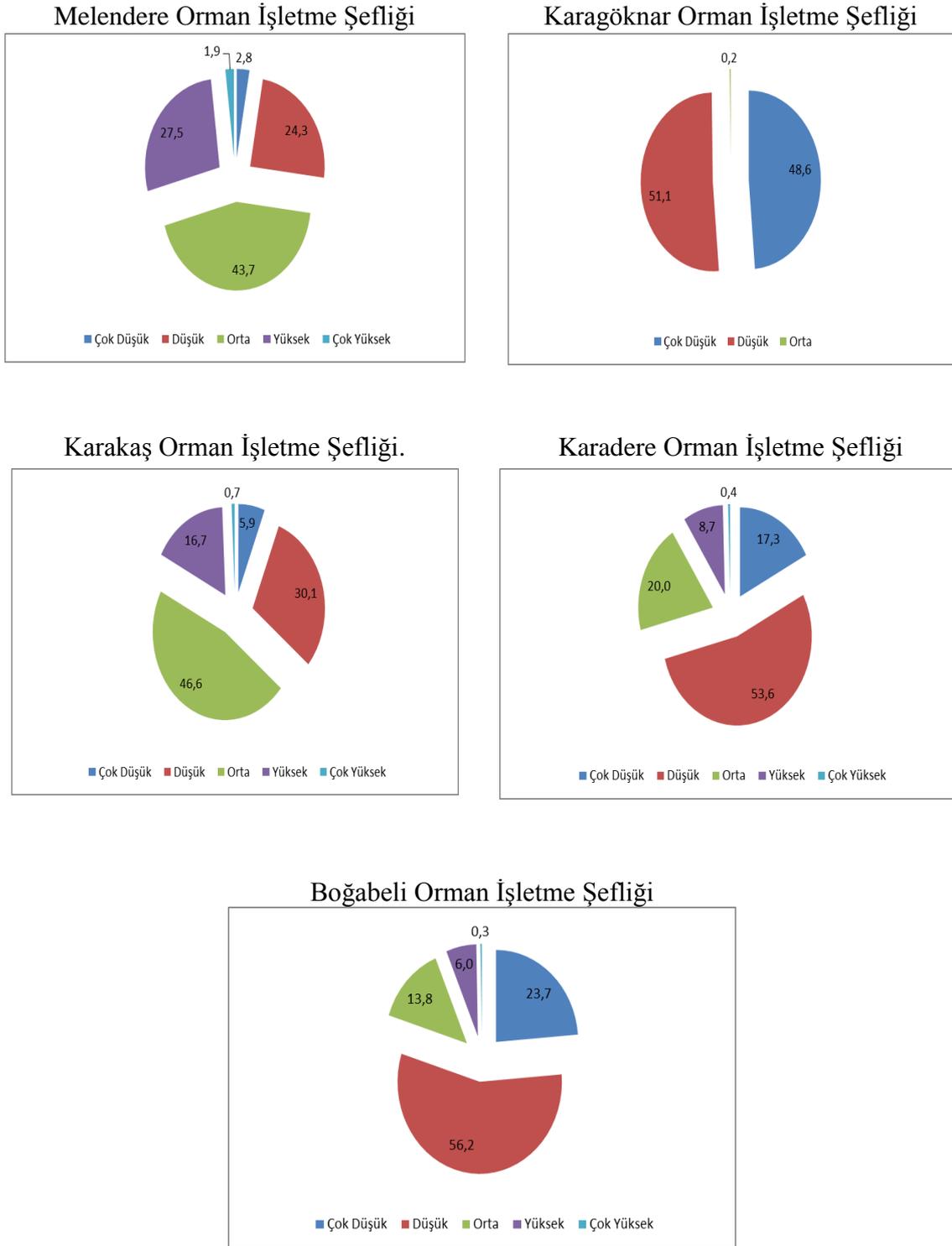
Şekil 3.25. Heyelan duyarlılık sınıflarına göre heyelan oluşum yüzdeleri

Heyelan duyarlılık sınıflarının işletme şefliklerindeki dağılımları Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Buna göre Melendere Orman İşletme Şefliğinde 319,2 ha alan çok düşük

duyarlılık sınıfında, 2809,9 ha alan düşük duyarlılık sınıfında, 5056,4 ha alan orta duyarlılık sınıfında, 3180,6 ha alan yüksek duyarlılık sınıfında ve 215,8 ha alan çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Melendere Orman İşletme Şefliği çok yüksek ve yüksek duyarlılık sınıflarına en fazla sahip bölgedir. Bu sınıfların sırasıyla % 58,1'i ve % 47,7'si bu işletme şefliğinde yer almaktadır. Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde 2183,4 ha alan çok düşük duyarlılık sınıfında, 5176,8 ha alan düşük duyarlılık sınıfında, 1272,3 ha alan orta duyarlılık sınıfında, 548,6 ha alan yüksek duyarlılık sınıfında ve 27,9 ha alan çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Düşük duyarlılık sınıfına en fazla sahip bölge durumundadır. Karagökknar Orman İşletme Şefliğinde 3816,1 ha alan çok düşük duyarlılık sınıfında, 4012,2 ha alan düşük duyarlılık sınıfında, 17,7 ha alan orta duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfı bu bölgede görülmemektedir. Ayrıca bu işletme şefliği çok düşük duyarlılık sınıfının en fazla bulunduğu bölgedir. Bu duyarlılık sınıfının % 45,2'si bu işletme şefliğindedir. Karakaş Orman İşletme Şefliğinde 803,2 ha alan çok düşük duyarlılık sınıfında, 4100 ha alan düşük duyarlılık sınıfında, 6348,6 ha alan orta duyarlılık sınıfında, 2271,4 ha alan yüksek duyarlılık sınıfında ve 94,8 ha alan çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Bu işletme şefliği orta duyarlılık sınıfının en fazla bulunduğu bölgedir. Karadere Orman İşletme Şefliğinde 1317,6 ha alan çok düşük duyarlılık sınıfında, 4086,8 ha düşük duyarlılık sınıfında, 1520,5 ha alan orta duyarlılık sınıfında, 661,2 ha alan yüksek duyarlılık sınıfında ve 33 ha alan çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Heyelan duyarlılık sınıflarının işletme şefliklerine göre dağılımları yüzde olarak Çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

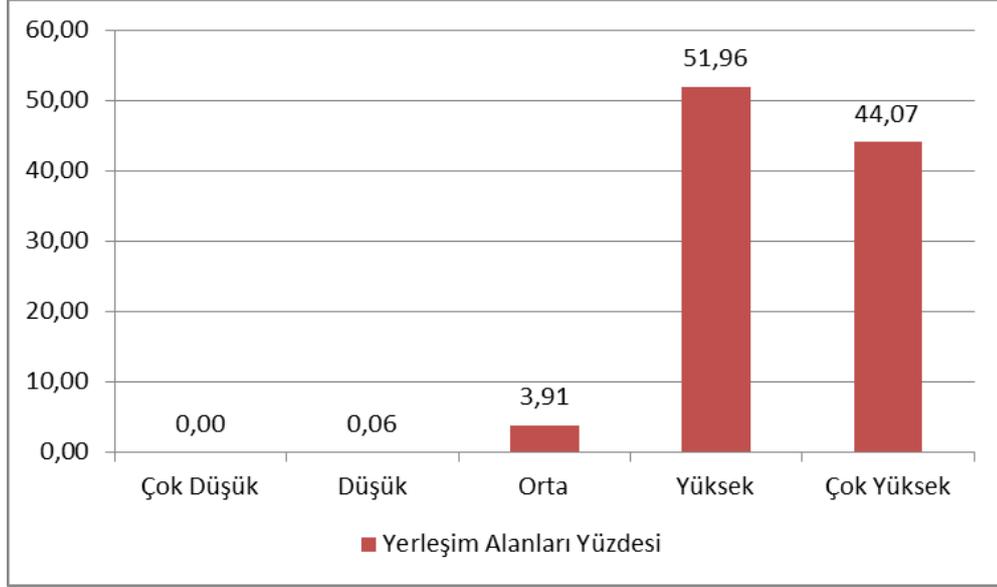
Çizelge 3.12. Duyarlılık sınıflarının işletme şefliklerine dağılımı (%)

İşletme Şeflikleri	Duyarlılık Sınıfları				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Boğabeli	25,9	25,7	9,0	8,2	7,5
Melendere	3,8	13,9	35,6	47,7	58,1
Karagökknar	45,2	19,8	0,1	0,0	0,0
Karakaş	9,5	20,3	44,7	34,1	25,5
Karadere	15,6	20,3	10,7	9,9	8,9

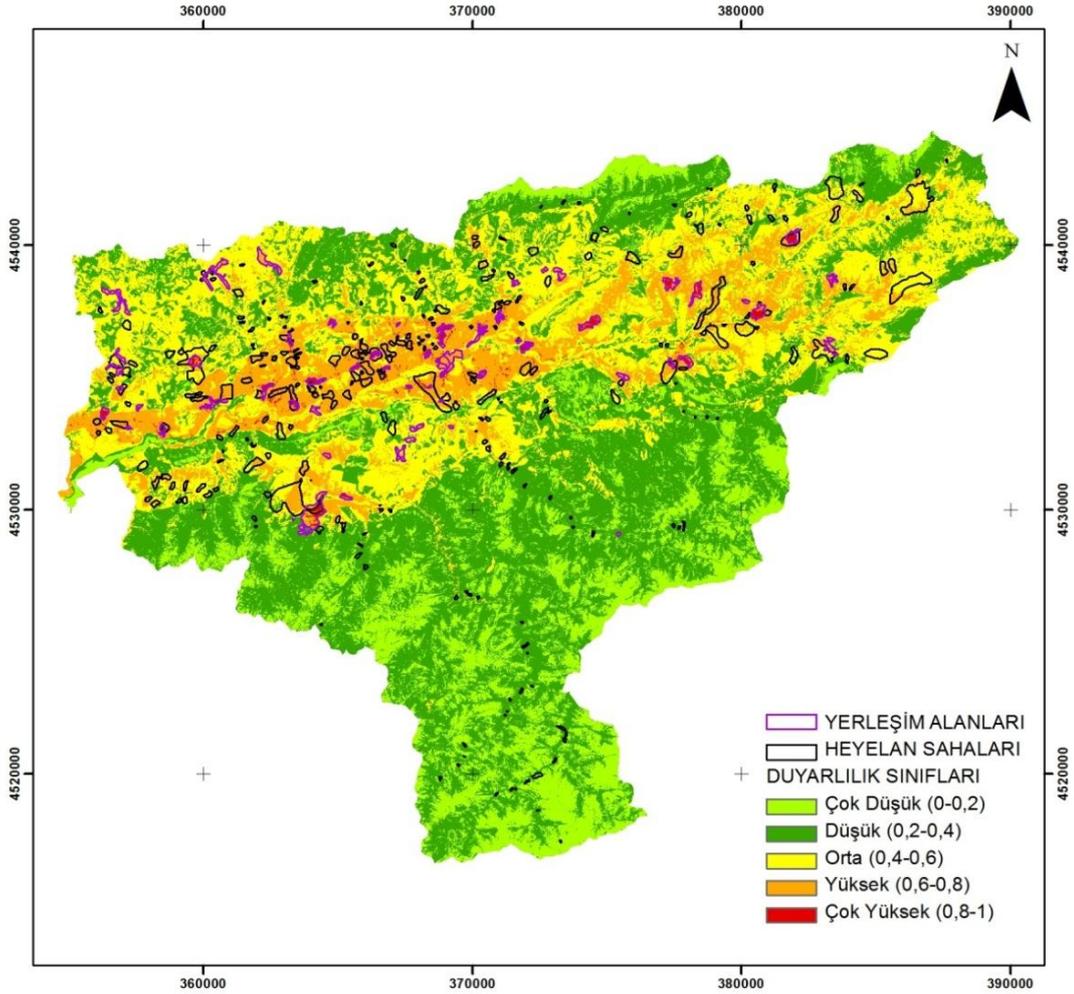


Şekil 3.26. İşletme şefliklerindeki heyelan duyarlılık sınıflarının yüzde (%) dağılımı

Yerleşim alanlarının duyarlılık sınıflarındaki dağılımları Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Duyarlılık haritası üzerindeki dağılımları Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Buna göre yerleşim olarak tanımlanan arazi kullanım sınıfının % 95’i yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer alırken % 3,97’si düşük ve orta duyarlılık sınıfındadır. Çok düşük duyarlılık sınıfında yerleşim alanlarına rastlanmamaktadır.

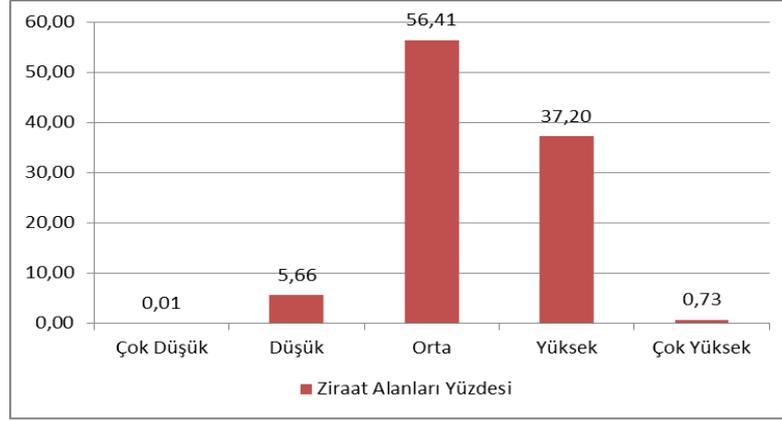


Şekil 3.27. Yerleşim alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımı (%)



Şekil 3.28. Yerleşim alanlarının duyarlılık haritası ile karşılaştırılması

Çalışma alanındaki ziraat alanlarının duyarlılık sınıflarındaki dağılımları Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Duyarlılık haritası üzerindeki dağılımları ise Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Buna göre ziraat alanları % 56,41 ile en fazla orta duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Ziraat alanlarının % 37,93'u yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer alırken % 5,66'sı düşük duyarlılık sınıfındadır. Çok düşük duyarlılık sınıfında yok denecek kadar az (% 0,01 oranında) ziraat alanı bulunmaktadır.

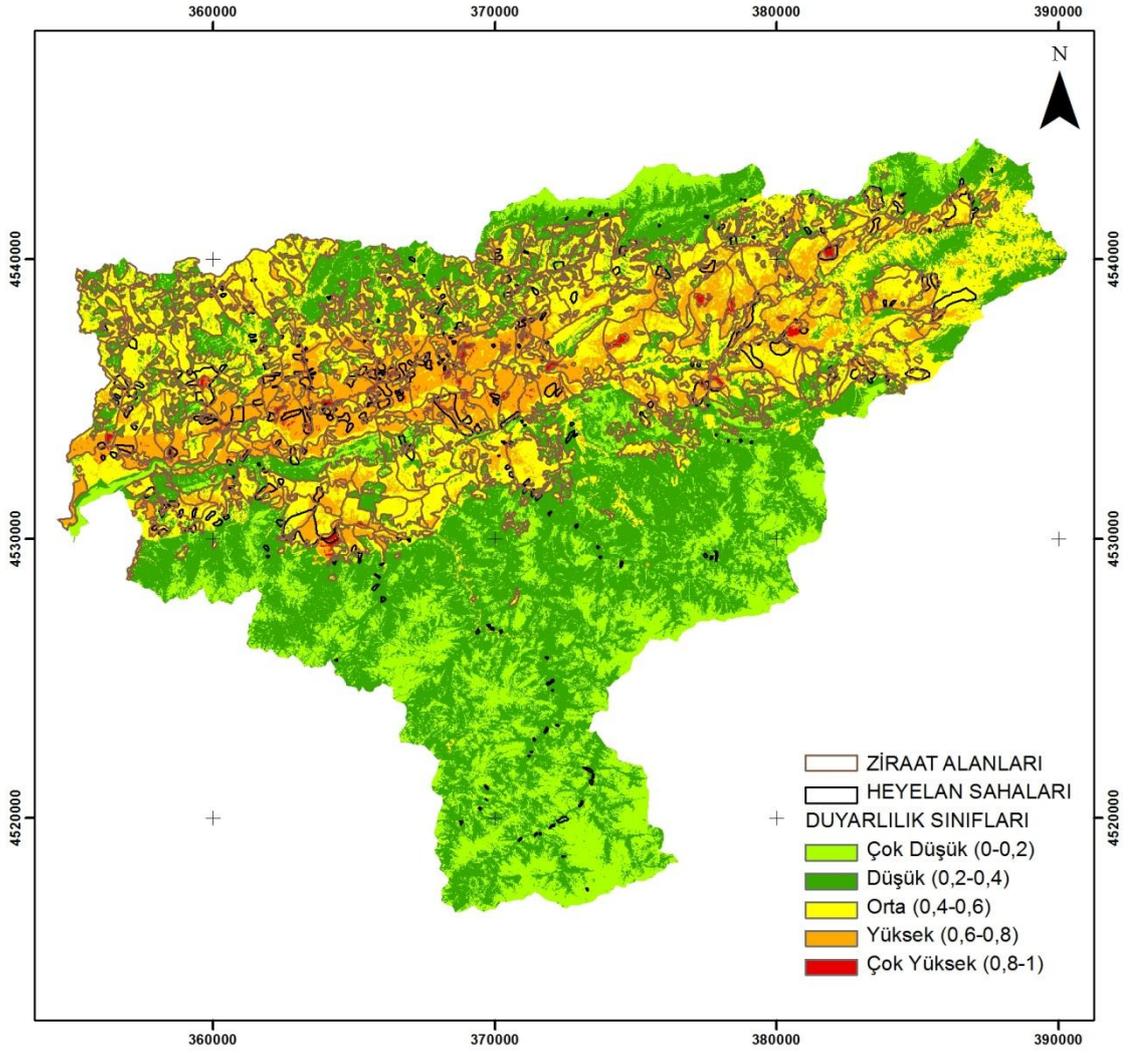


Şekil 3.29. Ziraat alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımı (%)

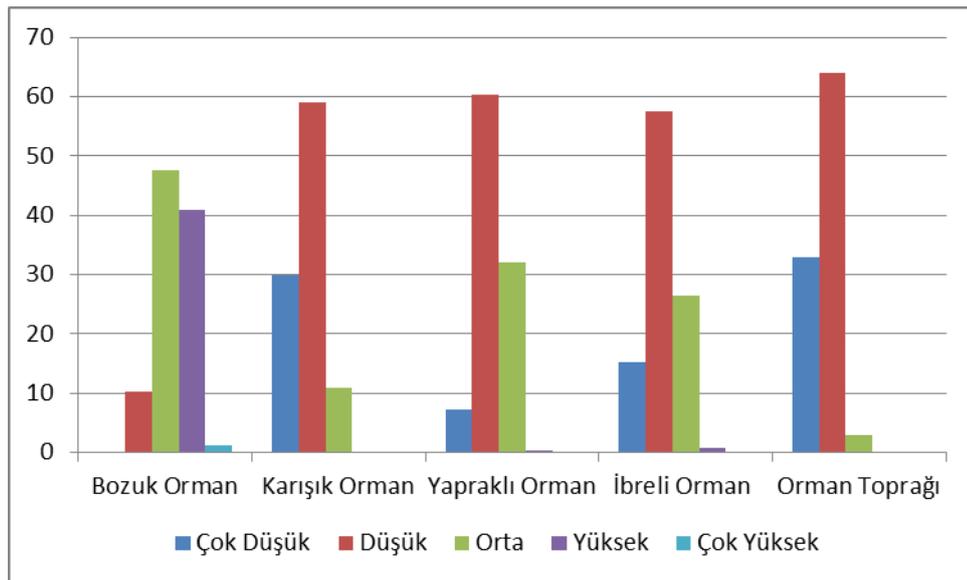
Orman alanlarında (karışık orman, yapraklı orman, ibrelî orman, bozuk orman ve orman toprağı olmak üzere) duyarlılık sınıflarının dağılımları Şekil 3.31 ve Çizelge 3.13'de gösterilmiştir. Buna göre Şekil 3.32'de duyarlılık haritası üzerinde gösterilen bozuk orman alanlarında orta duyarlılık sınıfı % 47,55 ile en fazla yer almaktadır. Bu alanlarda yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfları % 42,13 ile yer alırken, çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfları % 10,33 ile yer almaktadır. Karışık orman alanlarında çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfları % 88,92 ile yer almaktadır. Yapraklı ve ibrelî orman alanları ile orman toprağı sınıfındaki açık alanlarda en fazla düşük duyarlılık sınıfına rastlanmaktadır. Sırasıyla alandaki dağılım yüzdeleri % 60,38, % 57,49 ve % 63,96 şeklindedir.

Çizelge 3.13. Orman alanlarında duyarlılık sınıflarının dağılımları

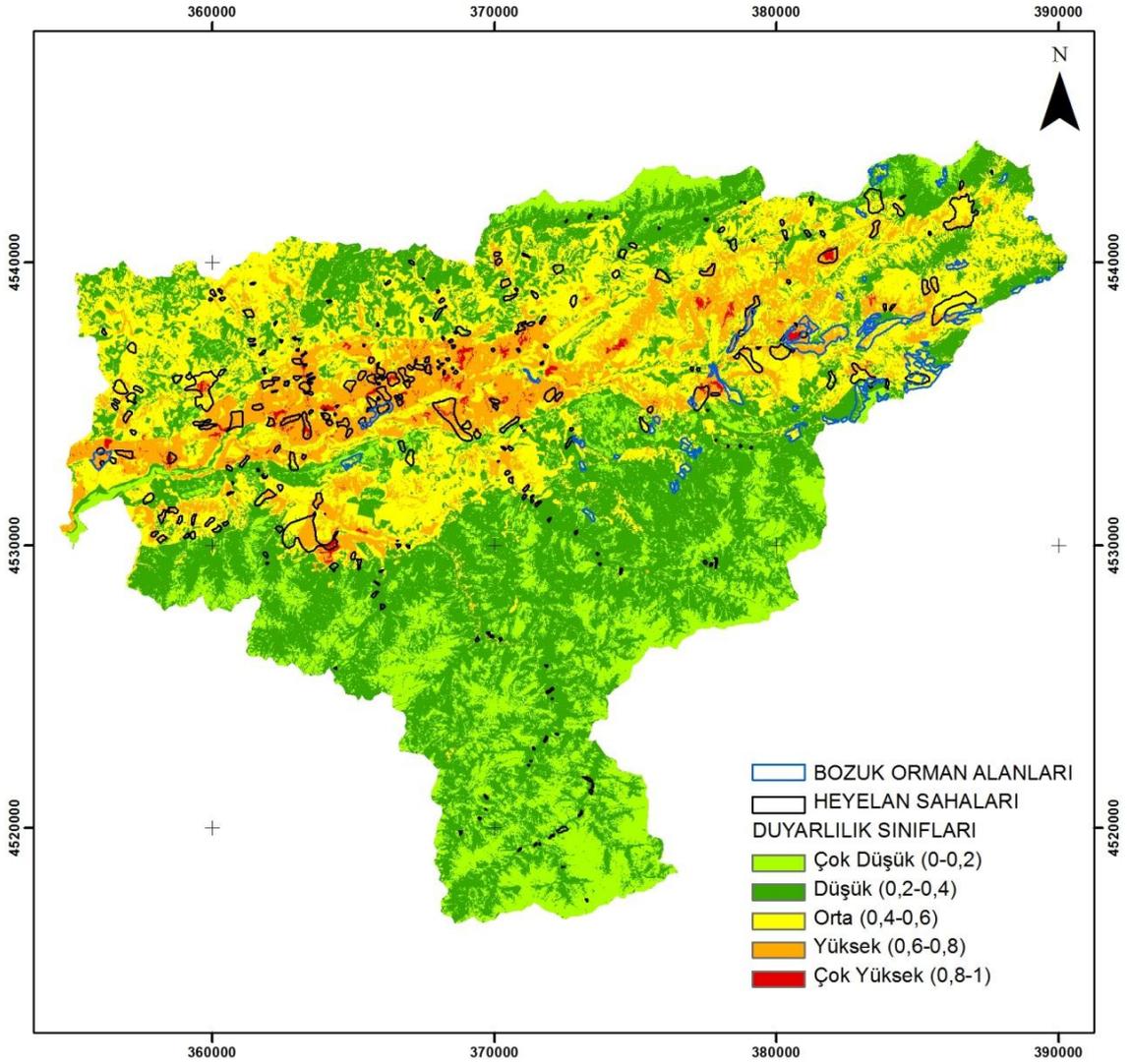
Duyarlılık Sınıfları	Orman Alanı Sınıfları				
	Bozuk Orman	Karışık Orman	Yapraklı Orman	İbrelî Orman	Orman Toprağı
Çok Düşük	0,05	29,84	7,18	15,31	33,00
Düşük	10,28	59,08	60,38	57,49	63,96
Orta	47,55	10,91	32,16	26,46	2,99
Yüksek	40,88	0,17	0,28	0,73	0,04
Çok Yüksek	1,25	0,00	0,00	0,0	0,0



Şekil 3.30. Ziraat alanlarının duyarlılık haritası ile karşılaştırılması



Şekil 3.31. Orman alanlarının duyarlılık sınıflarına dağılımı (%)



Şekil 3.32. Bozuk orman alanlarının duyarlılık haritası ile çakıştırılması

3.5. ORMAN YOLLARI İLE ÇAKIŞTIRMA ANALİZİNE AİT BULGULAR

3.5.1. Yol-Duyarlılık İlişisine Ait Bulgular

Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğüne ait yol ağı planına göre alanda 931,9 km yol bulunmaktadır. Bu yolların 196,7 km'si asfalt yoldur. Geriye kalan yollar stabilize yol olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yol ağı planındaki yolların 866,3 km'si (% 93'ü) alana inşa edilmiş durumda olup kullanılmaktadır. Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile sayısal yol ağı planının çakıştırılması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 3.14'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.14. Çalışma alanındaki yolların duyarlılık sınıflarına uzunluk olarak dağılımları

Duyarlılık Sınıfı	Yol Uzunluğu (km)
Çok düşük	84,1
Düşük	413,5
Orta	232,1
Yüksek	174,6
Çok Yüksek	22,7

Çakıştırma analizine göre yolların 84,1 km'si çok düşük duyarlılık sınıfında, 413,5 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 232,1 km'si orta duyarlılık sınıfında, 174,6 km'si yüksek duyarlılık sınıfında ve 22,7 km'si çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunmaktadır. Yol ağı planında bulunan ancak henüz inşa edilmemiş yolların ise 25,2 km'si çok düşük duyarlılık sınıfında, 29,5 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 9,9 km'si orta duyarlılık sınıfında ve 1 km'si yüksek sınıfında yer almaktadır. Çok yüksek duyarlılık sınıfında ise bulunmamaktadır.

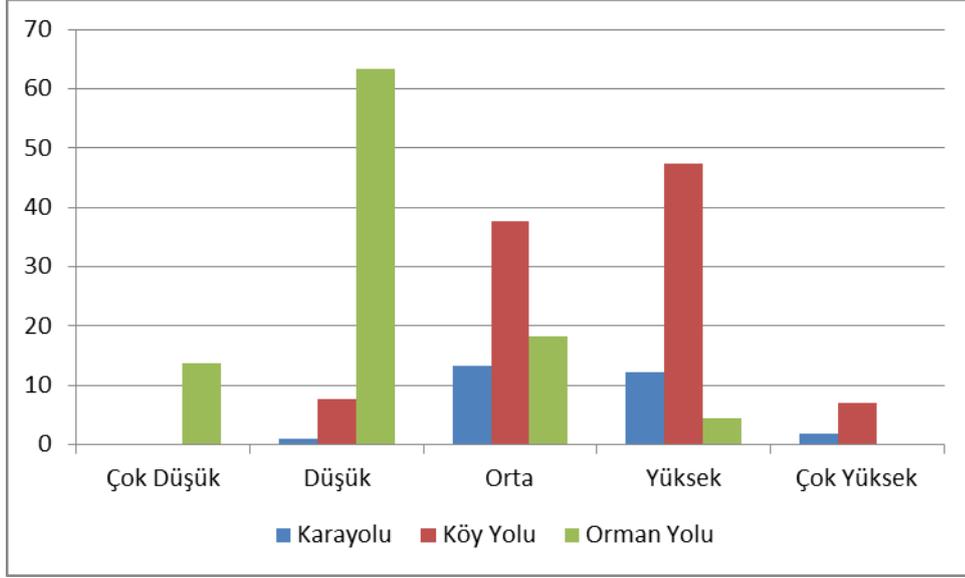
Yol ağı planındaki yolların tiplerine göre duyarlılık sınıflarındaki dağılımları grafik olarak Şekil 3.33'de gösterilmektedir. Buna göre köy yollarının 0,23 km'si (% 0,08) çok düşük duyarlılık sınıfında, 22,5 km'si (% 7,79) düşük duyarlılık sınıfında, 106,7 km'si (% 37,7) orta duyarlılık sınıfında, 134,3 km'si (% 47,48) yüksek duyarlılık sınıfında ve 19,67 km'si (% 6,95) çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Orman yollarının 83,9 km'si (% 13,63) çok düşük duyarlılık sınıfında, 390,5 km'si (% 63,41) düşük duyarlılık sınıfında, 112,2 km'si (% 18,22) orta duyarlılık sınıfında, 28 km'si (% 4,55) yüksek duyarlılık sınıfında ve 1,24 km'si (% 0,20) çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Yalnızca Melendere Orman İşletme Şefliğinde bulunan karayolunun ise 1 km'si (% 3,51) düşük duyarlılık sınıfında, 13,2 km'si (% 46,82) orta duyarlılık sınıfında, 12,3 km'si (% 43,44) yüksek duyarlılık sınıfında ve 1,8 km'si (% 6,23) çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır.

Yol tiplerinin işletme şefliklerindeki uzunluk olarak dağılımları da Çizelge 3.15'de gösterilmiştir. Buna göre Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde köy yollarının 3,7 km'si çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfında ve 10,1 km'si orta duyarlılık sınıfında

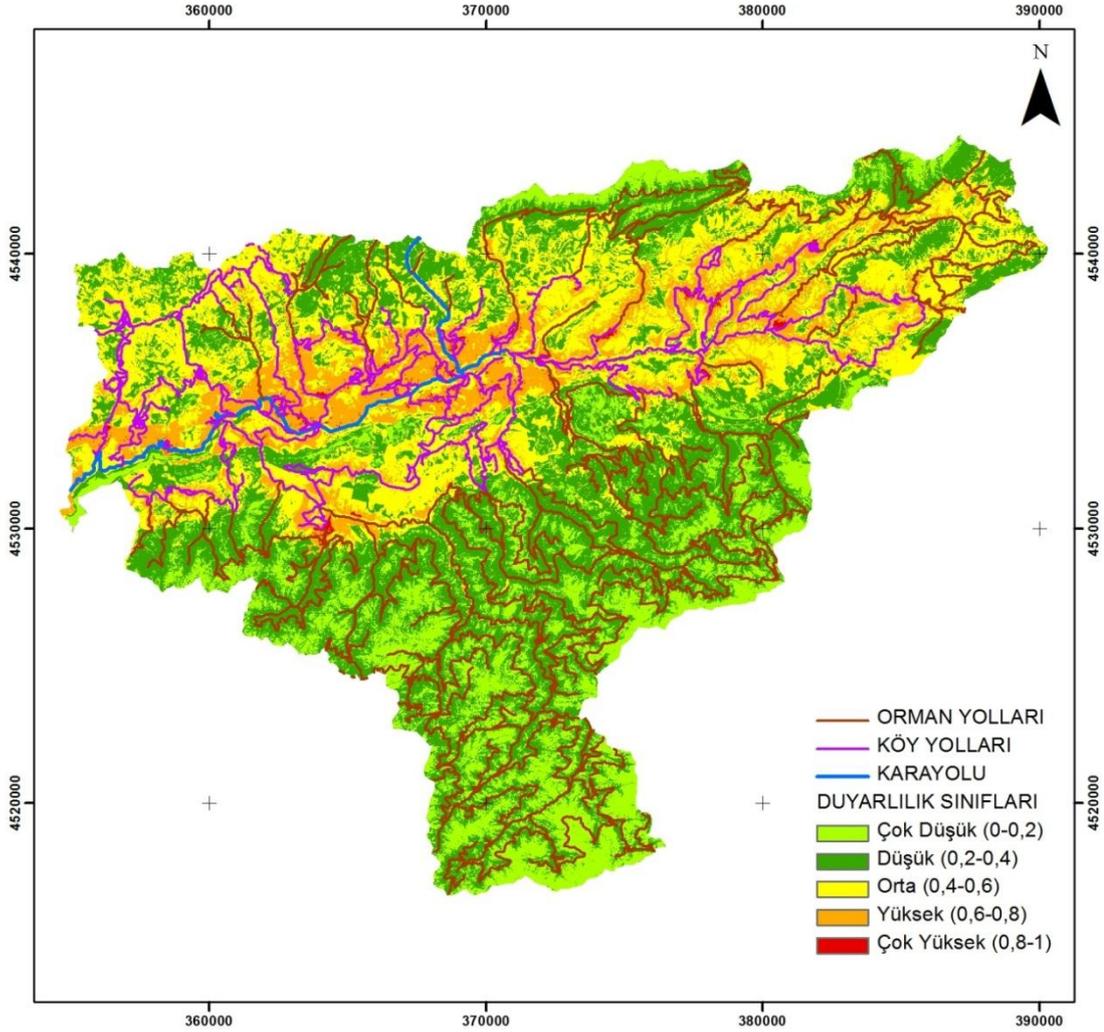
bulunurken, 16,2 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunmaktadır. Orman yollarının ise 148,9 km'si çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfında yer alırken, 3 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Orman yollarının 12,9 km'si ise orta duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Karadere Orman İşletme Şefliğinde köy yollarının 3,9 km'si çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfında, 13,1 km'si orta duyarlılık sınıfında ve 12 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındadır. Orman yollarının ise 85,8 km'si çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfında, 14,2 km'si orta duyarlılık sınıfında ve 5,2 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Karakaş Orman İşletme Şefliğinde köy yollarının 4,4 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 28,7 km'si orta duyarlılık sınıfında, 38,9 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Çok düşük duyarlılık sınıfında ise köy yolu bulunmamaktadır. Orman yollarının ise 48,8 km'si çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfında, 68,2 km'si orta duyarlılık sınıfında, 17,1 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındadır. Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde yalnızca orman yolları bulunmaktadır. Bu yolların ise 46,9 km'si çok düşük duyarlılık sınıfında, 132,5 km'si düşük duyarlılık sınıfında ve 0,6 km'si orta duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Melendere Orman İşletme Şefliğinde köy yollarının 10,3 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 54,8 km'si orta duyarlılık sınıfında, 86,7 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunmaktadır. Orman yollarının ise 11,4 km'si çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfında, 16,4 km'si orta duyarlılık sınıfında ve 3,9 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunmaktadır. Yalnızca bu işletme şefliğinde bulunan karayolunun ise 14,1 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındadır. Karayolunun 1 km'si düşük duyarlılık sınıfında iken 13,2 km'si orta duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Çok düşük duyarlılık sınıfında ise karayoluna rastlanmamaktadır. Heyelan duyarlılık sınıfları üzerinde yolların dağılımları Şekil 3.34'de ve yolların heyelan duyarlılık sınıfları ile karşılaştırılması ile elde edilen yolların duyarlılık durumu Şekil 3.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15. İşletme Şefliklerindeki yol tiplerinin duyarlılık sınıflarına uzunluk olarak dağılımları ve yüzdeleri

ŞEFLİK ADI	DUYARLILIK SINIFI	YOL TİPLERİ UZUNLUKLARI (km) VE YÜZDELERİ (%)					
		KÖY YOLU		ORMAN YOLU		TC KARAYOLU	
BOĞABELİ	Çok Düşük	0,15	% 0,5	27,79	% 16,86	0	0
	Düşük	3,53	% 11,75	121,15	% 73,52	0	0
	Orta	10,07	% 33,54	12,86	% 7,8	0	0
	Yüksek	14,79	% 49,26	2,81	% 2,81	0	0
	Çok Yüksek	1,48	% 4,94	0,18	% 0,18	0	0
KARADERE	Çok Düşük	0,05	% 0,17	6,71	% 6,38	0	0
	Düşük	3,80	% 13,07	79,12	% 75,22	0	0
	Orta	13,12	% 45,10	14,15	% 13,45	0	0
	Yüksek	11,83	% 40,66	4,46	% 4,25	0	0
	Çok Yüksek	0,29	% 1	0,75	% 0,71	0	0
KARAKAŞ	Çok Düşük	0	0	2,45	% 1,82	0	0
	Düşük	4,39	% 6,11	46,36	% 34,55	0	0
	Orta	28,65	% 39,85	68,21	% 50,85	0	0
	Yüksek	33,75	% 46,95	16,97	% 12,65	0	0
	Çok Yüksek	5,10	% 7,09	0,16	% 0,12	0	0
KARAGÖKNAR	Çok Düşük	0	0	46,94	% 26,07	0	0
	Düşük	0	0	132,50	% 73,59	0	0
	Orta	0	0	0,62	% 0,34	0	0
	Yüksek	0	0	0	0	0	0
	Çok Yüksek	0	0	0	0	0	0
MELENDERE	Çok Düşük	0	0	0,0	% 0,1	0	0
	Düşük	10,3	% 6,82	11,4	% 35,88	1,0	% 3,51
	Orta	54,8	% 36,08	16,4	% 51,70	13,2	% 46,82
	Yüksek	73,9	% 48,68	3,8	% 11,87	12,3	% 43,44
	Çok Yüksek	12,8	% 8,42	0,1	% 0,45	1,8	% 6,23



Şekil 3.33. Yol tiplerinin duyarlılık sınıflarındaki yüzde dağılımları



Şekil 3.34. Heyelan duyarlılık haritası üzerinde yolların dağılımı

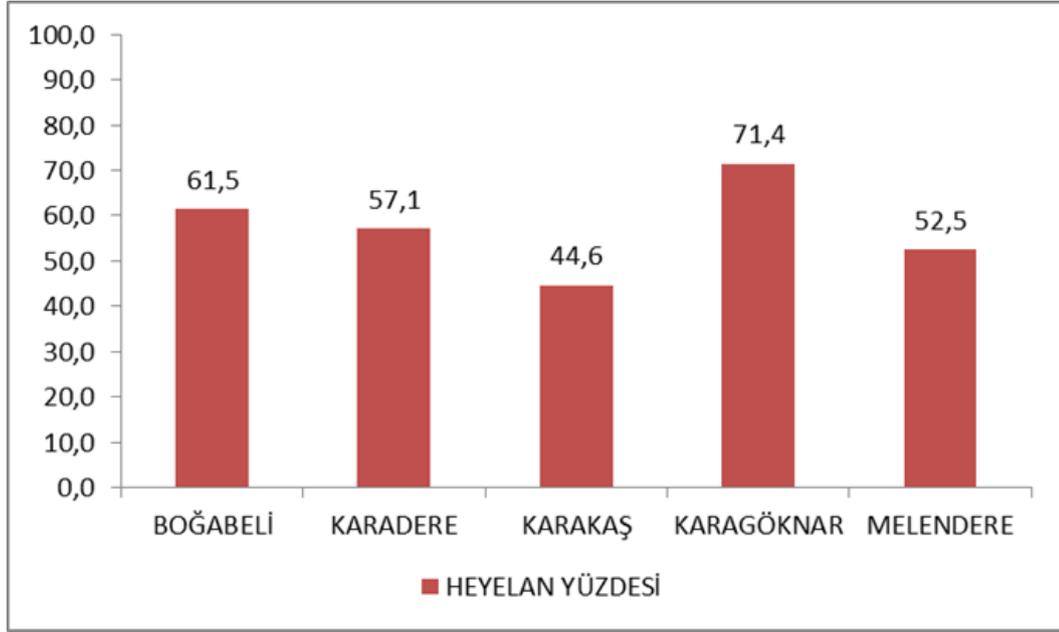


Şekil 3.35. Heyelan duyarlılık sınıfları ile yolların karşılaştırılması ile elde edilen harita

3.5.2. Yol-Heyelan Sayısı ve Frekansına Ait Bulgular

Heyelanlar, yollar ile doğrudan etkileşim içinde olarak yolun kazı şevinde gelişen duraysızlıklar ile yolun kısmen ya da tamamen kapanmasına veya dolduru şevinde meydana gelen duraysızlıklar ile yol platformunun kısmen veya tamamen göçmesine neden olarak hasar vermektedirler. Çalışma alanında bu şekilde yollar ile doğrudan etkileşim içerisinde olan 157 adet heyelan belirlenmiştir. Örnek görüntüler Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39’da gösterilmiştir. Bu heyelanların 106 tanesi dönel kayma, 28 tanesi toprak kayması ve 23 tanesi yüzeysel akma türündedir. Bu heyelanlardan doğrudan etkilenen yol geçkilerinin uzunluğu 370,2 km’dir. Bu heyelanların işletme şeflikleri bünyesindeki sayıları, frekansları ve etkileşimli oldukları yol geçkilerinin uzunlukları Çizelge 3.16’da gösterilmiştir. Buna göre heyelanlar ile doğrudan etkileşim içinde bulunan yol geçkisi 134,4 km ile en fazla Melendere Orman İşletme Şefliğinde

bulunmaktadır. Karakaş Orman İşletme Şefliğinde 100,3 km, Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde 54,1 km, Karadere Orman İşletme Şefliğinde 47,5 km, Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde 33,9 km'dir. Alanın gerçek heyelan frekansı 0,42'dir. İşletme şefliklerinin gerçek heyelan frekansları açısından ise 0,59 ile Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde en fazla iken 0,29 ile Karakaş Orman İşletme Şefliğinde en azdır. Heyelan türleri açısından Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde toprak kayması en yüksek frekansa sahipken diğer dört orman işletme şefliğinde dönel kayma türü heyelanlar en yüksek frekansa sahiptir. İşletme şeflikleri bünyesinde yol ile doğrudan etkileşim içinde olan heyelanların tüm heyelanlara oranları yüzde olarak Şekil 3.36'da gösterilmiştir. Buna göre Karagöknar Orman İşletme Şefliğindeki heyelanların % 71,4'ü doğrudan yolu etkilemektedir. Karakaş Orman İşletme Şefliğindeki heyelanların ise % 44,6'sı doğrudan yolları etkilemektedir.



Şekil 3.36. Yolu doğrudan etkileyen heyelanların işletme şefliklerindeki yüzde dağılımları

Yollar üzerinde doğrudan etkide bulunan heyelanların alandaki tüm yollara ait genel heyelan frekansları ve orman işletme şefliklerindeki durumu Çizelge 3.17'de gösterilmiştir. Buna göre çalışma alanındaki tüm yollara ait genel heyelan frekans değeri 0,18'dir. İşletme şefliklerindeki frekanslar açısından ise 0,31 ile en yüksek frekans değeri Melendere Orman İşletme Şefliğindedir. Karadere ve Karakaş Orman İşletme Şefliğinde frekans değeri 0,15, Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde frekans değeri 0,14 ve Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde frekans değeri 0,12'dir.

Çizelge 3.16. İşletme şeflikleri bünyesinde heyelanların etkileşim içinde oldukları yol geçki uzunlukları, heyelan adetleri ve gerçek frekansları

ŞEFLİK ADI	ETKİLEŞİMLİ YOL GEÇKİSİ UZUNLUĞU (km)	HEYELAN TÜRÜ	ADET	GERÇEK FREKANS (adet/km)
BOĞABELİ	54,1	Dönel Kayma	15	0,28
		Toprak Kayması	6	0,11
		Yüzeysel Akma	3	0,06
		TOPLAM	24	0,44
KARADERE	47,5	Dönel Kayma	14	0,29
		Toprak Kayması	4	0,08
		Yüzeysel Akma	2	0,04
		TOPLAM	20	0,42
KARAKAŞ	100,3	Dönel Kayma	18	0,18
		Toprak Kayması	5	0,05
		Yüzeysel Akma	6	0,06
		TOPLAM	29	0,29
KARAGÖKNAR	33,9	Dönel Kayma	7	0,21
		Toprak Kayması	9	0,27
		Yüzeysel Akma	4	0,12
		TOPLAM	20	0,59
MELENDERE	134,4	Dönel Kayma	52	0,39
		Toprak Kayması	4	0,03
		Yüzeysel Akma	8	0,06
		TOPLAM	64	0,48
GENEL TOPLAM	370,2		157	0,42

Çizelge 3.17. Alandaki yolların genel heyelan frekanslarının işletme şefliklerine dağılımı

ŞEFLİK ADI	HEYELAN ADEDİ	YOL UZUNLUĞU (km)	GENEL FREKANS (adet/km)
BOĞABELİ	24	167	0,14
KARADERE	20	130,6	0,15
KARAKAŞ	29	195,2	0,15
KARAGÖKNAR	20	162,6	0,12
MELENDERE	64	207,9	0,31
GENEL TOPLAM	157	866,3	0,18

Çalışma alanında heyelan sahaları içerisinde kalarak heyelandan doğrudan etkilenen yol uzunluğu 37,9 km'dir. Toplam yolların % 4,4'üne karşılık gelmektedir. Bu yolların 2,5 km'si Boğabeli Orman İşletme Şefliğinde, 7,5 km'si Karadere Orman İşletme Şefliğinde, 1,4 km'si Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde, 8,9 km'si Karakaş Orman

İşletme Şefliğinde ve 17,6 km'si Melendere Orman İşletme Şefliğinde yer almaktadır. Bu yolların işletme şefliklerindeki dağılımları Çizelge 3.18'de gösterilmiştir. Buna göre heyelandan en fazla etkilenen yol bölümü Melendere Orman İşletme Şefliğinde yer alırken en az etkilenen yol bölümü Karakaş Orman İşletme Şefliğinde yer almaktadır.

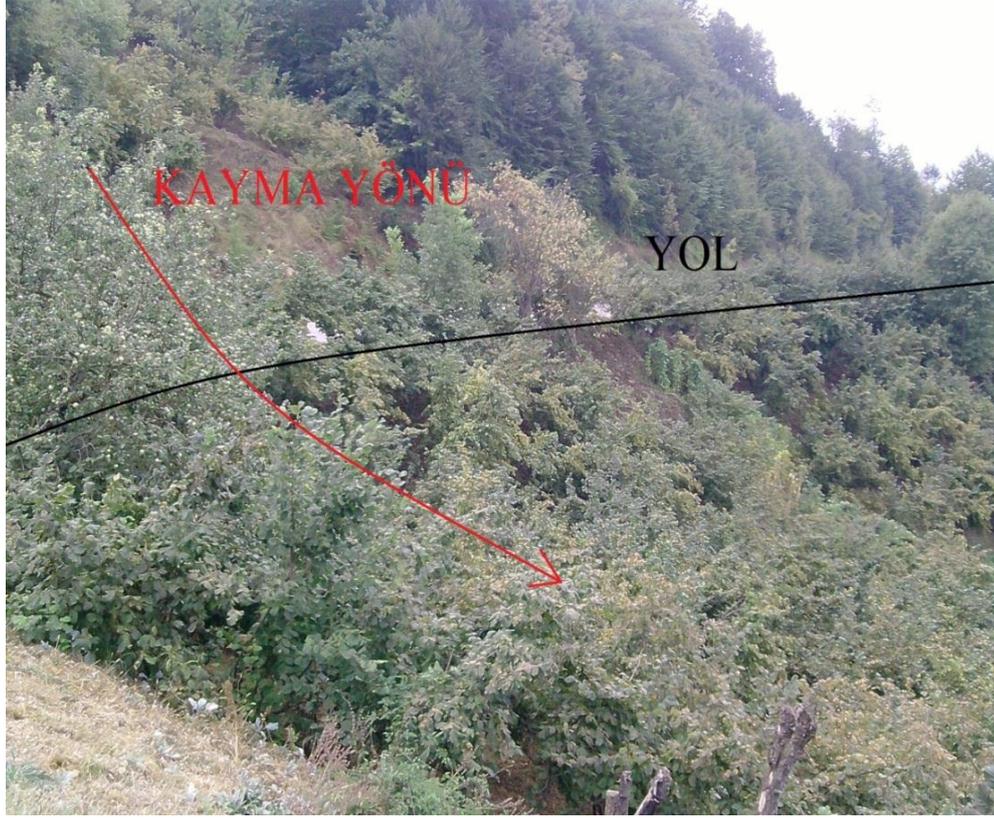
Çizelge 3.18. Heyelan sahaları içerisinde kalan yol uzunluklarının işletme şefliklerine dağılımı

ŞEFLİK ADI	HEYELAN SAHALARI İÇİNDEKİ	
	YOL UZUNLUĞU (km)	
BOĞABELİ	2,5	
KARADERE	7,5	
KARAKAŞ	1,4	
KARAGÖKNAR	8,9	
MELENDERE	17,6	
GENEL TOPLAM	37,9	

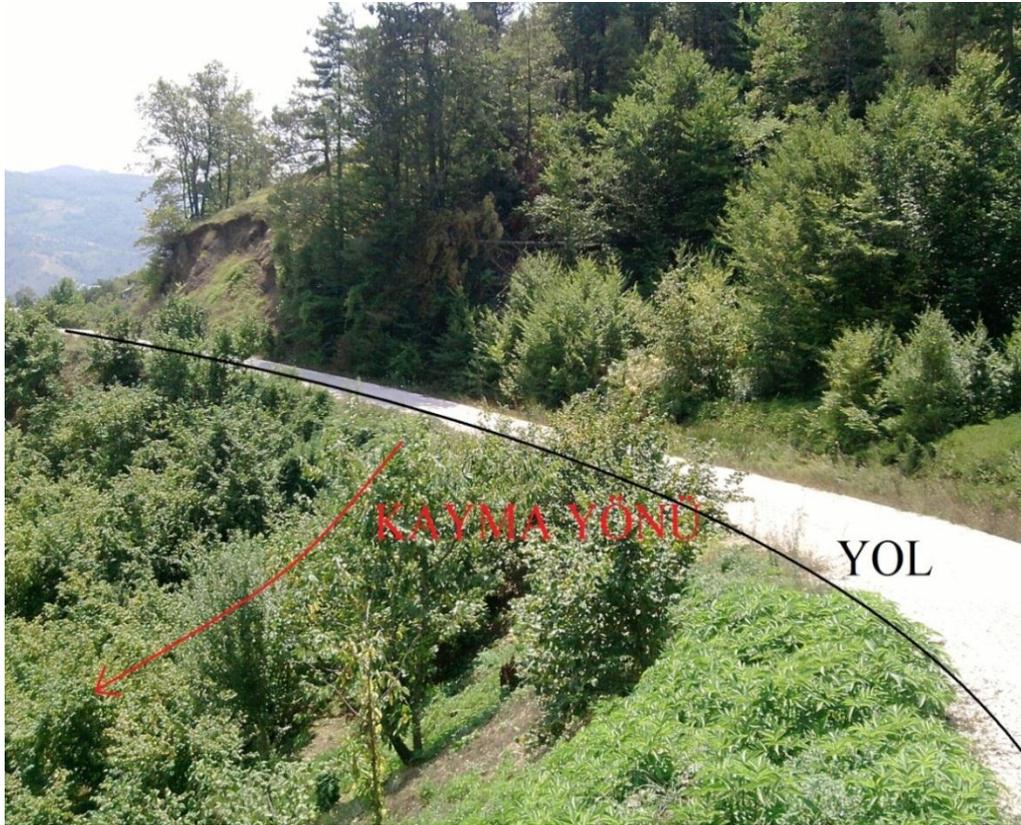
Çalışma alanının gerçek ve genel yol-heyelan indeks değerleri hesaplanmış ve işletme şefliklerindeki durumu Çizelge 3.19'da gösterilmiştir. Buna göre çalışma alanının genel yol-heyelan indeks değeri 0,04 olarak elde edilmiştir. Alana ait gerçek yol-heyelan indeks değeri ise 0,10 olarak elde edilmiştir. İşletme şeflikleri gerçek yol-heyelan indeksleri açısından değerlendirildiğinde 0,26 indeks değeri ile Karagöknar Orman İşletme Şefliği en yüksek indeks değerine sahipken 0,01 indeks değeri ile Karakaş Orman İşletme Şefliği en düşük indeks değerine sahiptir. Yine işletme şeflikleri genel yol-heyelan indeks değerleri açısından değerlendirildiğinde ise Melendere Orman İşletme Şefliği 0,08 ile en yüksek indeks değerine sahipken Boğabeli ve Karakaş Orman İşletme Şeflikleri 0,01 ile en düşük indeks değerlerine sahiptir.

Çizelge 3.19. İşletme şefliklerindeki gerçek ve genel yol-heyelan indeks değerleri

ŞEFLİK ADI	YOL-HEYELAN İNDEKSLERİ	
	GERÇEK	GENEL
BOĞABELİ	0,05	0,01
KARADERE	0,16	0,06
KARAKAŞ	0,01	0,01
KARAGÖKNAR	0,26	0,05
MELENDERE	0,13	0,08
TÜM ALAN	0,10	0,04



Şekil 3.37. Heyelanın yol ile kesişerek etkilediği alandan bir görüntü



Şekil 3.38. Yolun alt kısmında meydana gelen bir heyelan görüntüsü



Şekil 3.39. Heyelan sonucu yolda meydana gelen oturmadan bir görüntü

4. TARTIŞMAVE SONUÇ

Çalışma alanı, Türkiye’de heyelanların en fazla görüldüğü Karadeniz Bölgesi’nin Batı bölümünde yer alan Bolu Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki Yığılca Orman İşletme Müdürlüğüdür. Çalışma alanı 499 km² büyüklüktedir. Çalışma alanında bulunan en önemli yerleşim merkezi Düzce ili Yığılca ilçesidir. İlçede 2007 yılında yapılan nüfus sayımına göre toplam nüfus 18816’dır. Bu nüfusun 3314 kişisi ilçe merkezinde ve 15502 kişisi köylerde (toplam 38 adettir) yaşamaktadır. Heyelan kaynaklı problemlerin görülebildiği morfolojik ve jeolojik yapıya sahiptir. Bazı köylerde resmi bilgi olmamakla birlikte meydana gelen heyelanlardan dolayı tamamen yıkılan veya hasar gören binaların olduğu, envanter çalışması sırasında yerel halk ile yapılan görüşmelerden öğrenilmiştir. Örneğin, 1997 yılında, sonbahar döneminde meydana gelen şiddetli yağışlar esnasında Kırık köyünde meydana gelen heyelanda ikisi tamamen yıkılmış ve ikisi de ağır hasarlı olmak üzere dört bina etkilenmiştir. Ayrıca Kırık köyü Çayırıcık Mahallesi’nde heyelan yüzünden bir evde oturulamadığı da öğrenilmiştir. Yine meydana gelen heyelanlardan dolayı yolların tamamen kapandığı bazı bölgelerde yolların güzergâhların değiştirildiği de öğrenilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalamada temel altlık olan envanter haritasının oluşturulması için çalışmanın arazi safhasında 288 adet heyelan tespit edilmiştir. Ayrıca MTA tarafında 2005 yılında hazırlanan (Zonguldak Paftası) 1/500000 ölçekli heyelan envanteri de referans alınmıştır. Arazi çalışması ile belirlenen ve MTA heyelan envanteri haritasında bulunan heyelanların Varnes (1978) sınıflamasına göre 188 adedi dönel kayma, 62 adedi yüzeysel akma ve 38 adedi toprak kaymasıdır. Heyelan envanterinin oluşturulması sürecinde arazi gözlemlerine bağlı olarak ve literatürde yaygın olarak kullanılan, heyelan oluşumu üzerinde etkili olduğuna karar verilen 8 parametre (arazi kullanımı, litoloji, yükselti, eğim, bakı, yola uzaklık, akarsuya uzaklık, plan eğrisellik) heyelan duyarlılık analizinde girdi parametre olarak kullanılmıştır. Analiz kapsamında arazi kullanımı 10 sınıfta, litoloji 11 sınıfta, yükselti 5 sınıfta, eğim 4 sınıfta, bakı 9 sınıfta, akarsuya uzaklık 9 sınıfta, yola uzaklık 5 sınıfta ve plan eğrisellik 3 sınıfta kategorize edilmiş ve heyelan envanterinden yararlanarak her bir sınıfın frekans oranları belirlenmiştir.

Heyelanların en fazla ziraat alanlarında (büyük çoğunluğu fındıklıktır), litolojik

birimlerden piroklastik kaya-andezit-bazalt sınıfında, 750 m'den daha düşük yükseltilerde, 15°-30° eğimlerde, batı ve kuzeybatı bakılarda (ancak bakılara dağılımları birbirine oldukça yakındır), derelere 0-150 m mesafede, yollara 0-200 m mesafelerde gözlemlenmiştir. Ziraat alanlarının % 80'inden fazlası 750 m'den daha az yükselti basamaklarında ve % 50'den fazlası 15°-30° eğim sınıfında yer almaktadır. Ayrıca ziraat alanlarının % 40'ı piroklastik kaya-andezit-bazalt litoloji biriminde yer almaktadır. Bahsedilen tüm eğim, yükselti ve litoloji birimlerinde heyelan olgusu en fazla olarak gözlenmiştir. Tüm bu özelliklerin bir araya gelmesinden dolayı heyelan olgusuna en sık bu alanlarda rastlanmaktadır.

Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası, CBS tabanlı olarak LR yöntemi ile üretilmiştir. LR yöntemi heyelan gibi var/yok şeklinde dikotom olan verilerin bağımsız değişkenlerle ilişkisinin analiz edilebilmesine olanak verdiği için ve kullanımı son dönemlerde artan, modern ve başarılı bir teknik olduğu için tercih edilmiştir. Bu tercihte veri değerlendirmede diğer yöntemlere oranla daha objektif olması ve gelişen bilgisayar teknolojisine paralel olarak CBS tabanlı olarak sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi de etkili olmuştur. Ayrıca literatürde birçok araştırmacı tarafından da kullanılmıştır (Ayalew ve Yamagishi 2005, Nefeslioğlu ve diğ. 2008, Kıncal ve diğ. 2009, Ercanoğlu ve Temiz 2011, Erener ve Düzgün 2010, Akgün 2011, Süzen ve Kaya 2011). Elde edilen regresyon denkleminde parametrelerin heyelan oluşumu üzerinde pozitif etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Ercanoğlu ve Temiz 2011). Geliştirilen modelin uyum iyiliği testleri tatmin edici şekilde belirlenmiştir. Heyelan envanteri ve kullanılan parametreler temel alınarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu ROC değerinin belirlenmesi ile tespit edilmiştir. ROC eğrisinin altında kalan alan olan AUC değeri heyelan olayının meydana gelme veya gelmeme durumunu tahmin etme yeteneğini açıklamak suretiyle duyarlılık haritasının kalitesini ortaya koymaktadır. Bu değer ne kadar yüksek ise üretilen haritanın doğruluğu artmaktadır ve çalışmada 0,905 olarak belirlenmiştir. Bu değer tatmin edici olarak elde edilmiştir (Ercanoğlu ve Temiz 2011). Bu yöntemle heyelanların ne zaman meydana gelecekleri tahmin edilememektedir. Ancak LR gibi CBS tabanlı çalışılabilen yöntemler ile heyelan duyarlılıkları, heyelan oluşumu üzerinde etkili olan parametrelerden yararlanarak tespit edilebilmektedir.

Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak

üzere beş duyarlılık sınıfına kategorize edilmiştir. Yapılan sınıflandırmaya göre çalışma alanının % 16,9'u çok düşük duyarlılık sınıfında, % 40,5'i düşük duyarlılık sınıfında, % 28,5'i orta duyarlılık sınıfında, % 13,4'ü yüksek duyarlılık sınıfında ve % 0,7'si çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Duyarlılık sınıflarının işletme şefliklerindeki dağılımları açısından Melendere Orman İşletme Şefliği yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının en fazla bulunduğu bölge konumundadır. Çok düşük duyarlılık sınıfı en fazla Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde iken düşük duyarlılık sınıfı en fazla Karakaş Orman İşletme Şefliğinde yer almaktadır. Melendere Orman İşletme Şefliğinin % 60'ından fazlası ziraat alanlarıdır ve yerleşim alanları alanda % 3'lük alan kapsamaktadır. Ayrıca alanın dörtte birlik bir bölümü piroklastik kaya-andezit-bazalt litoloji biriminden oluşmaktadır. Yine alanın % 97'si 750 m'den daha az yükselti basamaklarında yer almaktadır. Bahsedilen arazi kullanım tipleri, litolojik birimleri ve yükseltilerde heyelanlar en sık şekilde görülmektedir. Ayrıca alanın % 90'ı 0°-30° eğim grubundadır. Yine heyelanın en fazla gözlemlendiği 15°-30° eğim grubu alanın yarısından fazlasında yer almaktadır. Bunlardan dolayı alanda yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının büyük bölümü görülmektedir. Çok düşük duyarlılık sınıfının en fazla görüldüğü Karagöknar Orman İşletme Şefliğinde ise karışık ormanlar alanının % 95'inden fazlasını oluşturmaktadır. Alanda yerleşim alanı bulunmazken ziraat alanları yok denecek kadar azdır. Alanın % 60'ına yakını 1000 m'den daha yüksek yükseltilerdedir. Ayrıca alanın yarısından fazla metagranitoyit litolojik biriminden oluşmaktadır. Her ne kadar % 90'ı 15°-45° eğim değerlerine sahip olsa da ormanların heyelanları önlemedeki fonksiyonları ve alanın büyük bölümünün heyelan frekans oranı çok düşük olan litolojik birimden oluşması ve yükselti basamaklarında yer almasından dolayı çok düşük duyarlılık sınıfı en fazla bu alanda yer almaktadır.

Çalışma alanı içerisindeki yerleşim alanlarının % 95'i yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer alırken % 3,97'si düşük ve orta duyarlılık sınıfındadır. Çok düşük duyarlılık sınıfında yerleşim alanlarına rastlanmamaktadır. Yine çalışma alanındaki ziraat alanları % 56,41 ile en fazla orta duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Ziraat alanlarının % 37,93'ü yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer alırken % 5,66'sı düşük duyarlılık sınıfındadır. Çok düşük duyarlılık sınıfında yok denecek kadar az (% 0,01 oranında) ziraat alanı bulunmaktadır. Çalışma alanındaki yerleşim birimlerinin % 70'i 0°-15° eğim grubunda yer almaktadır. Ayrıca % 90'ından fazlası da 500 m'den daha az yükselti basamaklarındadır. Litolojik birimlerden piroklastik kaya-andezit-

bazalt alanda % 40'dan fazla yer kaplamaktadır. Bahsedilen yükselti ve litoloji sınıfı heyelanların en fazla görüldüğü özelliklerdir. Her ne kadar yerleşim alanları düşük eğimlerde yer almış olsalar da bu diğer özelliklerinden dolayı yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadırlar. Ziraat alanlarının da % 90'ından fazlası 0°-30° eğim grubunda, % 80'inden fazlası 500 m'den daha düşük yükseltilerde ve % 40'ından fazlası piroklastik kaya-andezit-bazalt litoloji birimi üzerinde yer almaktadır. Bunlardan dolayı bu alanlarda heyelanlar fazlaca görülmekte ve bu alanlarda duyarlılık açısından kritik sayılabilecek orta duyarlılıktaki sınıflara fazlaca rastlanmaktadır. Ziraat alanlarının üçte ikisi tarıma uygun olmayan dik arazilerde yer almaktadır. Ayrıca ziraat alanlarının büyük bir bölümü orman alanlarının açılarak fındık bahçesine dönüştürüldüğü alanlardan oluşmaktadır. Yanlış arazi kullanımının heyelan oluşumu üzerindeki olumsuz etkisi de ortaya çıkmaktadır.

Çalışma alanında ormanlık alanlardan bozuk orman alanlarında orta duyarlılık sınıfı % 47,55 ile en fazla yer almaktadır. Bu alanlarda yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfları % 42,13 ile bulunmaktadır. Çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfları ise % 10,33 ile yer almaktadır. Karışık orman alanlarında çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfları % 88,92 ile yer almaktadır. Yapraklı, İbrelili orman alanları ile orman toprağı sınıfındaki açık alanlarda en fazla düşük duyarlılık sınıfına rastlanmaktadır. Sırasıyla alandaki dağılım yüzdeleri % 60,38, % 57,49 ve % 63,96 şeklindedir. Çalışma alanındaki bozuk ormanların % 80'inden fazlası 0°-30° eğim grubunda yer almaktadır. Bozuk ormanların % 70'i ise 750 m'den daha az yükseltilerde yer almaktadır. Ayrıca bozuk ormanların yarısından fazlası piroklastik kaya-andezit-bazalt litolojik birimindedir. Bunlardan dolayı bozuk ormanlarında büyük bir bölümü heyelan oluşumu açısından kritik kabul edilebilecek orta duyarlılık sınıfını yer almaktadır. Karışık ormanların ise % 65'i 750 m'den daha yüksek yükseltilerde yer alırken geriye kalan % 35'lik kısmı 750 m'den daha az yükseltilerde yer almaktadır. Karışık ormanların yine % 35'i 30°'dan büyük eğimlerde yer alırken geriye kalan kısmı daha düşük eğimlerde yer almaktadır. Bu alanların üçte birlik bir bölümünün heyelanın sık görüldüğü yükselti basamaklarında ve heyelan oluşumunda önemli etkenlerden yüksek eğim sınıflarında yer almasına rağmen bozuk ormanlar ile kıyaslandığında ormanların heyelan oluşumunu azaltıcı fonksiyonlarından dolayı çok büyük bir bölümünde çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfları yer almaktadır. Aynı durum diğer orman alanları (ibrelili ormanlar, yapraklı ormanlar) içinde geçerlidir.

Yığılca Orman İşletme Müdürlüğüne ait yol ağı planına göre alanda 931,9 km yol bulunmaktadır. Bu yolların 196,7 km'si asfalt yoldur. Geriye kalan yollar stabilize yol olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yol ağı planındaki yolların 866,3 km'si (% 93'ü) alana inşa edilmiş durumda olup kullanılmaktadır. Çakıştırma analizine göre yolların 84,1 km'si çok düşük duyarlılık sınıfında, 413,5 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 232,1 km'si orta duyarlılık sınıfında, 174,6 km'si yüksek duyarlılık sınıfında ve 22,7 km'si çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunmaktadır. Yol ağı planında bulunan ancak henüz inşa edilmemiş yolların ise 25,2 km'si çok düşük duyarlılık sınıfında, 29,5 km'si düşük duyarlılık sınıfında, 9,9 km'si orta duyarlılık sınıfında ve 1 km'si yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Çok yüksek duyarlılık sınıfında ise bulunmamaktadır.

Çalışma alanındaki yolların 370,2 km'sinin alandaki heyelanların 157 tanesi ile doğrudan etkileşim içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu heyelanların 106 tanesi dönel kayma, 28 tanesi toprak kayması ve 23 tanesi yüzeysel akma türündedir. Alanda heyelan ile doğrudan etkileşim içerisinde olan yol geçkisi en fazla Melendere (134,4 km) Orman İşletme Şefliğinde gözlenirken daha sonra sırasıyla Karakaş (100,3 km), Boğabeli (54,1 km), Karadere (47,5 km) ve Karagökmar (33,9 km) Orman İşletme Şefliklerinde gözlenmektedir. Çalışma alanında gerçek heyelan frekans değeri 0,42 olarak tespit edilmiştir. Buna göre heyelan ile kesişen yol geçkilerinin yaklaşık her 2,5 km'sinde bir heyelana rastlanmaktadır. Alandaki genel heyelan frekans değeri ise 0,18 olarak tespit edilmiştir. Buna göre ise alandaki yolların yaklaşık her 5 km'sinde bir heyelana rastlanmaktadır. Alanda gerçek heyelan frekans değeri en fazla Karagökmar (0,59) Orman İşletme Şefliğinde tespit edilmişken daha sonra sırasıyla Melendere (0,48), Boğabeli (0,44), Karadere (0,42) ve Karakaş (0,29) Orman İşletme Şefliklerinde tespit edilmiştir. İşletme şeflikleri bünyesindeki tüm yollara ait genel heyelan frekans değeri en yüksek Melendere (0,31) Orman İşletme Şefliğinde tespit edilmişken daha sonra sırasıyla Karadere (0,15), Karakaş (0,15), Boğabeli (0,14) ve Karagökmar (0,12) Orman İşletme Şefliklerinde tespit edilmiştir.

Alanda heyelan sahaları içerisinde kalarak çeşitli şekilde etkilenen yol uzunluğu 37,9 km olarak tespit edilmiştir. Bu miktar toplam yolların % 4,4'üne karşılık gelmektedir. Bu şekilde heyelandan doğrudan etkilenen yol miktarı en fazla Melendere (17,6 km) Orman İşletme Şefliğinde bulunmaktadır. Daha sonra sırasıyla Karagökmar (8,9), Karadere (7,5 km), Boğabeli (2,5 km) ve Karakaş (1,4 km) Orman İşletme Şefliklerinde

bulunmaktadır. Heyelana maruz kalarak doğrudan etkilenen yol miktarlarından yararlanarak alana ait gerçek ve genel yol-heyelan indeks değerleri sırasıyla 0,10 ile 0,04 olarak belirlenmiştir. Buna göre alandaki yolların % 4'lük kısmı heyelan ile kesişerek doğrudan etkilenmektedir. Meydana gelen heyelan ile kesişen yol geçkilerinin ise % 10'u heyelanlardan doğrudan etkilenmektedir. Orman işletme şefliklerinden Karagöknar Orman İşletme Şefliğinin gerçek yol-heyelan indeks değeri 0,26 ile en yüksek şekilde tespit edilmişken genel yol-heyelan indeks değeri Melendere Orman İşletme Şefliği için 0,08 ile en yüksek olarak tespit edilmiştir. En düşük gerçek yol-heyelan indeksi 0,01 ile Karakaş Orman İşletme Şefliğinde, genel yol-heyelan indeksi ise 0,01 ile Karakaş ve Boğabeli Orman İşletme Şefliklerinde tespit edilmiştir.

5. ÖNERİLER

Orman yolları orman ürünlerinin üretilmesi ve nakliyatı, orman koruma, orman kadastrosu, orman amenajmanı, erozyon ve ağaçlandırma çalışmaları gibi teknik ormancılık faaliyetlerinin sürdürülebilir şekilde gerçekleştirilmesine imkân veren önemli yapılardır. Türkiye’de ormancılık faaliyetleri farklı iklim ve topoğrafik koşullarda bulunan alanlarda gerçekleştirilmektedir. Geniş, dağınık ve çoğunlukla dağlık alanlarda bulunan orman alanlarında ormancılık faaliyetlerinin yürütülebilmesi için iyi bir yol ağı planı gereklidir. Ayrıca ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine hizmet etmesi yanısıra orman içi köylere ulaşım imkânı sağlamakta ve halkın rekreasyonel isteklerinin karşılanmasında da etkili olmaktadır. Bu açıdan yolların, üzerinde bütün yıl güvenli ve sürekli şekilde hizmet verebilecek standartlara sahip olmaları gerekmektedir. Heyelan olgusunun sıkça görüldüğü alanlarda yollar heyelan kaynaklı olarak tamamen kullanılamaz duruma gelmekte veya geçici olarak kapanmaktadır. Hem ormancılık faaliyetlerinin aksamaması hem de halkın yol üzerinde güvenli hareketinin sağlanması için heyelan faktörü dikkate alınmalıdır.

Planlama sürecinde orman yol güzergâhlarının belirlenmesi ise en zor ve önemli aşamadır. Yanlış güzergâh seçimi teknik ve ekonomik sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Orman yollarının orman ekosistemi üzerindeki olumsuz etkileri önceden belirlenerek çevreye en az zarar veren yol güzergâhının tespit edilmesi, hem üretimde verimliliğin artırılmasına hem de ormancılık faaliyetlerinde sürdürülebilirliğin sağlanmasına hizmet edecektir. Karadeniz Bölgesi, Türkiye’de heyelanların en fazla görüldüğü bölgedir. Dolayısıyla bu bölgede, yolların inşası ile ortaya çıkan sorunların başında da heyelanlar gelmektedir. Ancak heyelan faktörü Türkiye’nin hazırlanan 201810 km’lik yol ağı planının hazırlanması sürecinde dikkate alınmamıştır. 2011 yılı sonu itibariyle de bu yol ağı planındaki yolların yaklaşık 150000 km’si tamamlanmıştır. İnşa edilmemiş yaklaşık 51000 km’lik yolun plandaki güzergâhları Karadeniz Bölgesi gibi heyelanların sıkça görüldüğü bölgelerde heyelan faktörü dikkate alınarak revize edilmelidir. Heyelan faktörünün değerlendirilmesinde üretilecek heyelan duyarlılık haritaları altlık olarak kullanılabilir. Böylece yol kaynaklı heyelan oluşumları azaltılabileceği gibi yol inşasının çevre üzerindeki olumsuz etkileri de azaltılabilecektir.

Orman yolları buldukları alan içerisinde hem yapım aşamasında hem de kullanım sürecinde buldukları doğal sistemler için çeşitli riskler oluşturdukları gibi dağlık,

stabilitesini kolayca yitirebilen yamaçlarda yol planlama, inşa ve bakım-onarım çalışmaları açısından da sorunlar yaşanmaktadır. Uluslararası düzeyde yollarda heyelan kaynaklı ortaya çıkan hasar giderme çalışmalarına ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Türkiye’de ise nedeninin heyelan olduğuna dair resmi bilgi olmaması ile birlikte son 10 yılda 9783 km orman yolu büyük onarıma tabi tutularak 70 milyon TL civarında bütçe ayrılmıştır. Heyelan faktörünün dikkate alınması ile gerçekleştirilecek yol ağı planlaması, yolun inşasından kısa süre sonra yapılmak zorunda kalınan bakım-onarım çalışmalarının gerekliliğini ortadan kaldıracak veya gerekli olması durumunda maliyetlerini azaltabilecektir.

Orman yollarında gerçekleştirilmek zorunda kalınan ağır bakım-onarım çalışmalarına büyük bütçeler ayrılmaktadır. Ancak yollarda neden bu tür bakım-onarım çalışmalarına ihtiyaç duyulduğuna yönelik bir veri bulunmamaktadır. Bu çalışmada özellikle bu tür veriye ulaşılamamıştır. Meydana gelen hasarlar, sebepleri iyi analiz edilerek ortaya konulmalı ve kayıt edilmelidir. Ancak bu şekilde gerek planlama sürecinde gerekse yapım aşamasında hem yol standartlarının belirlenmesine hem de yolların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik sağlıklı önlemler alınabilecektir.

Yol ağı planındaki yapımı tamamlanmış yollar heyelan duyarlılığı açısından heyelan duyarlılık haritaları kullanılarak değerlendirilebilir. Bu açıdan maliyet analizleri yapılarak yüksek duyarlılıkta olduğuna karar verilen yollar için heyelan önleyici kalıcı tedbirler alınması veya yolun güzergâhının revize edilmesi çalışmalarına karar verilmelidir. Heyelan önleyici tedbirler alınmasına karar verilmesi durumunda, yamacın alt kenarına kütleli hareketini önleyici istinat duvarı seçeneği, kütleli yamaca sabitleyebilen beton ya da çelik kazıklar kullanılabilir. Yine kütleli hareketine neden olan kısmı kayma gerilimini azaltmaya yönelik kazılabilir. Ayrıca heyelan oluşumunda tetikleyici faktör olan yağış sularının yüzeysel ve yer altı akışlarını düzenleme amaçlı iyi projelendirilmiş drenaj sistemi oluşturulabilir. Akma türü heyelanlardan kaynaklı hasarların önlenmesi amacıyla çimentolama vb. yöntemler kullanılabilir. Ancak bu tedbirlerin maliyetlerinin çok yüksek olması durumunda veya meydana gelen heyelanların bu tedbirlerle önlenememesi durumunda yolun güzergâhının yeniden belirlenmesi çalışmaları yapılabilir. Bu çalışmalarda da heyelan duyarlılık haritaları altlık olarak kullanılarak yolların yüksek heyelan duyarlılık sınıflarından hiç geçmemesi veya mümkün olan en kısa mesafede geçmesi sağlanabilir.

Heyelanların oluşumu vadi tabanlarına yakın, nemlilik indeksi yüksek alanlarda daha fazla olmaktadır. Ayrıca dereler kıyı erozyonuna neden olmak suretiyle yamacın topuk desteğinin kaybetmesine neden olarak heyelan üzerinde etkili olmaktadır. Zira yollarda vadi tabanı gibi yamacın alt kısmına yapıldıklarında topuk desteğini ortadan kaldırarak heyelan oluşumuna neden olabilmektedirler. Türkiye’de genellikle vadi yolları vadi tabanlarını işletmeye açmak için tasarlanırlar. Geçkileri üzerinde inşa edilen sanat yapıları da pahalı olmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı vadi yolları yapımından gereklilik olmadığı sürece kaçınılmalı veya gerekli ise heyelan faktörü dikkate alınarak projelendirilmelidir.

Bölgede yerleşim ve ziraat alanlarına yakın ormanlar üzerinde sosyal baskıdan kaynaklı tahribat söz konusudur. Zira alandaki ziraat alanlarının büyük bölümünü fındıklık alanlar oluşturmaktadır. Bu alanların büyük bölümü orman alanlarının açılmasıyla oluşturulmuştur. Orman sınırları içerisinde yer alan ve yerleşim, ziraat alanlarına yakın olan bozuk orman alanlarının sosyal baskıdan korunarak tekrar orman vasfının kazandırılması sağlanmalıdır. Yeni açmacılık ve tahribat girişimlerinin önlenmelidir.

Orman alanları genellikle dik ve dağlık arazi kesimlerinde bulunmaktadır. Eğimin yüksek olmasına rağmen, ormanlık alanlarda heyelan duyarlılığı düşük alanlar daha fazladır. Ormanların koruyucu fonksiyonlarından yararlanmak suretiyle heyelan oluşumunu en aza indirmek için orman alanlarının çeşitli nedenlerle kapalılıklarını yitirerek tahrip edilmesine ve doğal yapılarını kaybetmelerine izin verilmemelidir. Orman alanlarının heyelan duyarlılığı yüksek kısımları için ormanların koruyucu fonksiyonlarından yararlanmaya yönelik uygulamalar geliştirilmelidir. Amenajman planlarının hazırlanmasında gerekirse heyelan duyarlılık haritaları dikkate alınarak ormanların heyelan önleme fonksiyonları dikkate alınmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Abe K., Ziemer R.R., Effect of tree roots on shallow-seated landslides. Proceedings, Geomorphic Hazards in Managed Forests, XIV IUFRO World Congress, 5– 11 August 1990, Montreal, Canada, *USDA Forest Service Gen. Tech. Report PSW-130*, Berkeley, California, (1991) 11 – 20.
- Abeli W.S., Meiludie O., Kachwele R., Road alignment and gradient issues in the maintenance of logging roads in Tanzania. *International Journal of Forest Engineering*, 11: (2000) 22–29.
- AIGM, Afet İşleri Genel Müdürlüğü *Eğitim – Haber – Bilim Dergisi*, Sayı 1 (2001).
- Akay E.A., Sessions J., Applying the Decision Support System, TRACER, to Forest Road Design. *Western Journal of Applied Forestry* 20(3), (2005)184-191.
- Akgün A., Ayvalık veyakın çevresinin erozyon ve heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- Akgün A., Bulut F., GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region, *Environ Geol*, 51: (2007) 1377–1387.
- Akgün A., Dağ S., Bulut F., Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, *Environ Geol* 54: (2008) 1127–1143.
- Akgün A., Türk N., Landslide susceptibility mapping for Ayvalık (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis, *Environ Earth Sci* 61: (2010) 595–611.
- Akgün A., A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey, *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-011-0283-7, (2011).
- Akıncı H., Doğan S., Kılıçoğlu C., Keçeci S.B., Samsun İl Merkezi Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2:3, (2010) 13-27.

- Aleotti P., Chowdhury R., Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bull Eng Geol Env* (1999) 58: 21–44.
- Allison C., Sidle R.C., Tait D., Application of decision analysis to forest road deactivation in unstable terrain. *Environmental Management* 33(2),(2004)173–185.
- Ambraseys N.N., Zopotec A., The Mudurnu Valley, west Anatolia, Turkey, earthquake of 22 July 1967, *Bull Seism. Soc.Am.* 59 (1969) 521-589.
- Angeli M.G., Gasparetto P., Menotti R.M., Pasuto A., Silvano S., Soldati M., *Rock avalanches, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdan, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, (1996).
- Anonim, Multilingual landslide glossary, The Canadian Geotechnical Society (1993).
- Anonim.Learning to live with landslides, Natural Hazards and Disasters.(2006).
- Anonim, The Role of trees outside forest in anchoring soil and reducing landslide risk durin high rainfall episodes, *Report*, Sponsored by the Center for International Forestry Research (CIFOR) as part of Tropical Forest and Climate Change Adaptation (TroFCCA) project (2008).
- Anonim, <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/> (Erişim tarihi: 15 Eylöl 2012a)
- Anonim, <http://www.yigilca.bel.tr> (Erişim tarihi: 25 Kasım 2012b)
- Anonim, <http://www.yigilca.gov.tr> (Erişim tarihi: 22 Kasım 2012c)
- Arcak B., Enez K., Acar H.H., Defining The Slope Stability Areas Of Forest Roads, *Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment (FORMEC)*, (2010).
- Atalay F.İ., Bekaroğlu N., Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması. *Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü yayını*, Ankara, (1973).
- Ayalew L., Yamasgishi H., The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology* 65 (2005) 15–31.

- Ayktut, T, Demir, M., Türkiye’de Orman Yollarının Durumu, Değerlendirilmesi ve Önemi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* B. 55:1 (2005) 37-51.
- Baeza C., Lantada N., Moya J., Validation and evaluation of two multivariate statistical models for predictive shallow landslide susceptibility mapping of the Eastern Pyrenees (Spain), *Environ Earth Sci* 61: (2010) 507–523.
- Bai S.B., Wang J., Zhang F.Y., Pozdnoukhov A., Kanevski M., Prediction of Landslide Susceptibility using logistic regression: A case study in Bailongjiang River Basin, China, *Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, (2008) 647-651.
- Bai S., Wang J., Jü G., Zhou P., Hou S., Xu S., GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, *Geomorphology* 115 (2010) 23–31.
- Bai S., Lü G., Wang J., GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China, *Environ Earth Sci* 62: (2011) 139–149.
- Bathurst J.C., Bovoloa C.I., Cisnerosb F., Modelling the effect of forest cover on shallow landslides at the river basin scale. *Ecol Eng* (in press). doi:10.1016/j.ecoleng. 2009.05.001, (2009).
- Bayoğlu S., *Orman Transport Tesis ve Taşıtları*, İÜ Orman Fakültesi, İstanbul, (1997).
- Berger F., Rey F., Mountain protection forests against natural hazards and risks: new french developments by integrating forests in risk zoning, *Natural Hazards* 33: (2004) 395-404.
- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Epis T., Morlotti E.; Root cohesion of forest species in the Italian Alps. *Plant Soil* (inpress), Doi: 10.1007/s11104-009-9941-0, (2009).
- Bisci C., Dramis F., Sarriso-Valvo M., *Rock flow, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R. Dikau, D. Brunsten, L. Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, (1996).
- Bozkurt E., Neotectonics of Turkey-A Synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, (2001) 3-30.

- Brunsdon D., Ibsen M.L., *Mudslide, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdon, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, **(1996)**.
- Buma J., van Asch T., *Slide, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdon, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, **(1996)**.
- Caiyan W., Jianping Q., Meng W., Landslides and slope aspect in the Three Gorges Reservoir area based on GIS and information value model. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. Vol. 11; No. 4, **(2006)** 773-779.
- Carrara A., Guzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of landslide hazard, *Natural Hazards*, 20: **(1999)** 117–135.
- Can T., Nefeslioglu H.A., Gökçeoğlu H., Sönmez H., Duman T.Y., Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses, *Geomorphology* 72 **(2005)** 250– 271.
- Chang K., Chiang S., Hsu M., Modeling typhoon- and earthquake-induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression, *Geomorphology* 89 **(2007)** 335–347.
- Chau K.T., Chan J.E., Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island, *Landslides* 2: **(2005)** 280–290.
- Chauhan S., Sharma M., Arora M.K., Landslide susceptibility zonation of the Chamoli region, Garhwal Himalayas, using logistic regression model, *Landslides* 7: **(2010)** 411–423.
- Chitu Z., Sandric I., Mihai B., Savulescu I., Evaluation of landslide susceptibility using multivariate statistical methods: a case study in the Prahova subcarpathians, Romania, *Proceedings in Landslide Processes: from geomorphological mapping to dynamic modelling*, France: CERIG Editions, Strassbourg, **(2009)** 265–270.

- Clark W.A., Hosking P.L., *Statistical Methods for Geographers (Chapter 13)*. New York: John Wiley & Sons (1986).
- Clark Labs, IDRISI Selva GIS and Image Processing Software (2012).
- Coker, R. I., Fahey, B. D., 'Road-related mass movement in weathered granite, Golden Downs and Motueka Forests, New Zealand: a note', *Journal of Hydrology (N.Z.)*, 31(1), (1993) 65-69.
- Conforti M., Robustelli G., Muto F., Critelli S., Application and validation of bivariate GIS-based landslide susceptibility assessment for the Vittravo river catchment (Calabria, South Italy), *Nat Hazards* DOI 10.1007/s11069-011-9781-0, (2011).
- Cornforth D. H., *Landslides in Practice*, John Wiley & Sons, New Jersey. (2004)
- Conoscenti C., Maggio C.D., Rotigliano E., GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy), *Geomorphology*, 94: (2008) 325-339.
- Corominas J., *Debris Slide, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R. Dikau, D. Brunnsden, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, (1996).
- Corominas J., Remondo J., Farias P., Estevao M., Zezere J., Diaz de Teran J., Dikau R., Schrott L., Moya J., Gonzalez A., *Debris flow, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunnsden, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, (1996).
- Cruden D.M., A simple definition of a landslide, *Bulletin of the international association of engineering geology*, 43, (1991).
- Çepel, N., *Orman Ekolojisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 2479, Orman Fakültesi Yayın No: 257, İstanbul (1978).
- Çevik E., Topal T., GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey), *Environmental Geology*, 44: (2003) 949–962.

- Çitgez T., Sel ve taşkın zararlarının önlenmesi üzerine bir araştırma: Düzce-Kaynaşlı Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- Dahal R.K., Hasegawa S., Nonomura A., Yamanaka M., Masuda T., Nishino K., GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping, *Environ Geol* 54: (2008) 311–324.
- Dağ S., Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- Dağ S., Bulut F., Alemdağ S., Kaya A., Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2: (2011)151-176.
- Dai F.C., Lee C.F., Li J., Xu Z.W., Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, 40:3, (2001) 381-391.
- Dai F., Lee C.F., Landslides on Natural Terrain, Physical Characteristics and Susceptibility Mapping in Hong Kong, *Mountain Research and Development*, 22:1, (2002) 40–47.
- Dai F.C., Lee C.F., Tham L.G., Ng K.C., Shum W. L., Logistic regression modelling of storm-induced shallow landsliding in time and space on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Bull Eng Geol Environ* 63: (2004) 315–327.
- Dhakal A.S., Sidle R.C., Long-term modelling of landslides for different forest management practices, *Earth Surface Processes and Landforms* 28: (2003) 853–868.
- Dikau R., Brunsten D., Schrott L., Ibsen M.L., *Landslide recognition: identification, movement and causes*, John Wiley & Sons, (1996).
- DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, *Ormanlık özel ihtisas Komisyon raporu*, Ankara, (2001).
- Duan J., Grant G.E., Shallow landslide delineation for step forest watersheds based on topographic attributes and probability analysis, In *Terrain Analysis: Principles and*

- Applications, Wilson JP, Gallant JC (eds), John Wiley&Sons: New York; **(2000)** 311–329.
- Duman T.Y., Emre Ö., Çan T., Nefeslioğlu H., *1/500.000 Ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-Zonguldak Paftası*, Özel Yayın.**(2005)**.
- Duncan S.H., Ward J.W., Anderson R.J., A Method for Assessing Landslide Potential as an Aid in Forest Road Placement, *Northwest Science*, Vol. 61, No. 3, **(1987)** 152-159.
- Dutton A.L., Loague K., Wemple B.C., Simulated effect of a forest road on near-surface hydrologic response and slope stability, *Earth Surf. Process. Landforms* 30, **(2005)** 325–338.
- Dyrness C. T., Mass soil movements in the H. J. Andrews Experimental Forest, U.S. Forest Service Research Paper PNW-42, Portland, Oregon, **(1967)**.
- EMDAT, www.emdat.be/ (Erişim tarihi: 15 Ağustos**2012**)
- Endo T., Tsuruta T., The effect of the tree's root s upon the shear strength of soil. 1968 Annual Report, Hokkaido Branch, Forest Experiment Station, Pp.167-182.English translation by Arata, J.M. and Ziemer, R.R., U.S. Dep. Agric. For. Serv. Arcata, CA, USA, **(1969)**.
- Ercanoğlu M, Gokceoglu C., Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environ Geol* 41: **(2002)** 720–730.
- Ercanoğlu M., Temiz N., Kaşmer Ö., Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının kullanımının araştırılması, *TÜBİTAK Projesi*, 103Y-126, **(2005)**.
- Ercanoğlu M., Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, **(2005)** 979–992.
- Ercanoğlu M., Kasmer O., Temiz N., Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping, *Bull Eng Geol*

Environ, 67: **(2008)** 565–578.

Ercanoğlu M., Temiz F.A., Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey), *Environ Earth Sci*, 64, **(2011)** 949-964.

Erdaş O., *Orman Yolları*, KTÜ Basımevi, Trabzon, **(1997)**.

Erener A., Düzgün H.S.B., Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method?, *Environ Earth Sci*, DOI 10,1007/s12665-011-1297-0, **(2008)**.

Erener A., Düzgün H.S.B., Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), *Landslides* 7: **(2010)** 55–68.

Ergünay O., Türkiye'nin Afet Profili, *TMMOB Afet Sempozyumu*, **(2007)**.

Evans I.S., *What do terrain statistics really mean?* In Lane, S.N., Richards, K.S. and J.H. Chandler, *Landform monitoring, modeling, and analysis*, John Wiley & Sons Ltd., New York, NY, USA **(1998)**.

Falasci F., Giacomelli F., Federici P.R., Puccinelli A., Avanzi G.D., Pochini A., Ribolini A., Logistic regression versus artificial neural networks: landslide susceptibility evaluation in a sample area of the Serchio River valley, Italy, *Nat Hazards* 50: **(2009)** 551–569.

Flageollet J.C., Weber D., *Fall*, in *Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdan, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, **(1996)**.

Forman R.T.T., Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States, *Conservation Biology*, 14: 1 **(2000)** 31-35.

Fransen P.J.B., Phillips C.J., Fahey B.D., Forest road erosion in New Zealand: overview, *Earth Surface Processes and Landforms* 26: **(2001)** 165–174.

Frehner M., Wasser B., Schwitter R., Sustainability and success monitoring in

- protection forests. *Federal Office for the Environment FOEN.UW-0727-E*. Pp: 55, (2007).
- Furniss M.J., Roelofs T.D., Yee C. S., Road construction and maintenance. Pages 297–324 in W. R. Meehan (Ed.) Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats, *American Fisheries Society, Special Publication 19*, Bethesda, Maryland, (1991).
- Garcia-Rodriguez M.J., Malpica J.A., Benito B., Diaz M., Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression, *Geomorphology* 95 (2008) 172–191.
- Gellatly A.F., Whalley W.B., Douglas G.R., Rockfalls in mountainous regions: Establishing a rationale for effective study, *In movements de Terrains, Coll de caen*, (1984) 101-108.
- Gorsevksi P.V., Jankowski P., Gessler P.E., An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, *Control and Cybernetics*,35: 1, (2006).
- Gökçeoğlu C., Ercanoğlu M., Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri* 23, (2001)189-206.
- Gökçeoğlu C., Sonmez H., Nefeslioğlu H.A., Duman T.Y., Can T., The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity, *Engineering Geology* 81 (2005) 65–83.
- Gökçeoğlu C., Duman T., Sonmez H., Nefeslioglu H., Can T., Environmental impacts of a large castrophic landslide, in Sivas northeast of Turkey, IAEG, *The geological society of London*, (2006).
- Gökçe O., Özden Ş., Demir A., Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara (2008).
- Görçelioğlu, E..*Orman yolları-erozyon ilişkisi*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 4460/476, 184 s., İstanbul, (2004).
- Görüm T., Coğrafi Bilgi Sistemi ve İstatistisel Yöntemler kullanılarak heyelan

- duyarlılık analizi: Melen boğazı ve yakın çevresi, *Yüksek Lisans Tezi*, İÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, (2006).
- Greco R., Sorriso-Valvo M., Catalano E., Logistic Regression analysis in the evaluation of mass movements susceptibility: The Aspromonte case study, Calabria, Italy, *Engineering Geology* 89 (2007) 47–66.
- Gucinski H., Furniss M. J., Ziemer R. R., Brookes M. H., Forest roads: a synthesis of scientific information. *Gen. Tech. ep.PNW-GTR-509*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR (2001).
- Guha-Sapir D., Hargitt D., Hoyois P., Thirty years of natural disasters 1974-2003: the numbers, *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, universitaires de Louvain*, ISBN 2-930344-71-7, (2004).
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P., Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216,(1999).
- Harr R.D., Nichols R. A., Stabilizing forest roads to help restore fish habitats: a northwest Washington example, *Fisheries* 18(4): (1993)18–22.
- Hasdemir M., Demir M., *Ormanlıkta İnşaat Bilgisi*, 1.Baskı. İstanbul: s. 247+XXIII, (2009).
- Hasekioğulları G.D., Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde parametre etkilerinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, (2010) 140.
- Hasmadi M.I., Kamaruzaman J., Forest Road Assessment in Ulu Muda Forest Reserve, Kedah, Malaysia, *Modern Applied Science*, 2 (4): (2008) 100-108.
- Heam G., Hunt T., Aubert J., Howell J., Landslide impacts on the road network of Lao PDR and the feasibility of implementing a slope management programme, (2007).
- Hengl T., Gruber S.,Shrestha D.P., Digital Terrain Model analysis in ILWIS,ITC, The Netherlands, (2003).

- Hervas J., *Lessons learnt from landslide disasters in Europe*, European Commission Joint Research Centre, Italy, **(2003)**.
- Hosmer D.W., Lemeshow S., *Applied Logistic Regression*, Wiley Series in Probability and Statistics, Second Edition, **(2000)**.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), *Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation*, UNESCO Pres, Paris, 79 p. **(1976)**.
- Ibsen M.L., Brunsden D., Bromhead E., Collison A., *Block Slide*, in *Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdén, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, **(1996)**.
- Imaizumi F., Sidle R.C., Kamei R., Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 827–840. doi:10.1002/esp.1574. **(2008)**.
- Innes J., *Forests In Environmental Protection*, in *Forests and Forest Plants*, [Eds. John N. Owens, and H. Gyde Lund], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK **(2004)**.
- Kaya O., Dizer A., Tansel İ., Özer S., Yığılca (Bolu) alanı üst kretase ve paleojenin stratigrafisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107, **(1987)** 13-32.
- Ketin İ., Kuzey Anadolu Fayı Hakkında, *MTA Bull*, **(1969)**.
- Kıncal C., Akgün A., Koca M.Y., Landslide susceptibility assessment in the _Izmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method, *Environ Earth Sci*, 59: **(2009)** 745–756.
- Komac M., A landslide susceptibility model using Analytical Hierarchy Process model and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74, **(2006)** 17–28.
- Korup O., Geomorphic imprint of Landslides on Alpine river systems, Southwest New Zealand, Interscience, *Earth Surface Processes and Landforms* 30, P783-800. **(2005)**.

- Kötter T., Prevention of Environmental Disasters by Spatial Planning and Land Management, *2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco*, December 2-5, **(2003)**.
- Lan H.X., Zhou C.H., Wang L.J., Zhang H.Y., Li R.H., Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China, *Engineering Geology* 76 **(2004)** 109–128.
- Lee S., Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS, *Environmental Management* Vol. 34, No. 2, **(2004)** 223–232.
- Lee S., Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 7, 10 **(2005)** 1477–1491.
- Maginnis S., Elliot C., Forests and Natural Disasters, *Arborvitae*, 27, **(2005)**.
- Malamud B.D., Turcotte D.L., Guzzetti F., Reichenbach P., Landslide inventories and their statistical properties, *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, **(2004)** 687-711.
- Mathew J., Jha V.K., Rawat G.S., Landslide susceptibility zonation mapping and its validation in part of Garhwal Lesser Himalaya, India, using binary logistic regression analysis and receiver operating characteristic curve method, *Landslides* **(2009)** 6:17–26.
- Megahan W. F., Kidd W. J., Effects of logging and logging roads on erosion and sediment deposition from steep terrain, *Journal of Forestry* 70: **(1972)** 136–141.
- Megahan W.F., Day N. F., Bliss T. M., Landslide occurrence in the western and central Northern Rocky Mountain physiographic province in Idaho, in *Forest Soils and Land Use: Proceedings of the Fifth North American Forest Soils Conference*, edited by C. T. Young-berg, pp. 116-139, Colo. State. Univ., Fort Collins, **(1978)**.
- Milewski I., Markoski B., Gorin S., Jovanovski M., Application of Remote Sensing and GIS in Detection of Potential Landslide Areas, *Scientific Symposium Geography*

and Sustainable Development, Ohrid, Republic of Macedonia, **(2009)**.

- Mitasova H., Hofierka L., Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis, *Mathematical Geology*, 25, **(1993)** 657-669.
- Montgomery D. R., Road surface drainage, channel initiation, and slope instability, *Water Resources Research* 30: **(1994)** 1925–1932.
- Moore I.D., Grayson R.B., Lanson A.R., Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications: *Hydrological processes* 5: **(1991)** 3-30.
- Nadim F., Kjekstad O., Peduzzi P., Herold C., Jaedicke C., Global landslide and avalanche hotspots, *Landslides* 3: **(2006)** 159–173.
- Nefeslioğlu H.A., Gökçeoğlu C., Sönmez H., An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, *Engineering Geology* 97 **(2008)** 171–191.
- Nefeslioğlu H.A., Sezer E., Gökçeoğlu C., Bozkır A.S., Duman T.Y., Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 901095 **(2010)**.
- Neuland H., A prediction model of landslips. *Catena*, 3: **(1976)** 215–230.
- Nilaweera N.S., Nutalaya P., Role of tree roots in slope stabilization, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 57: **(1999)** 337–342.
- O’loughlin C.J., The effect of timber removal on the stability of forest soils, *The Journal of Hydrology* (N.Z.) 13: **(1974)** 121–134.
- Ohlmacher G.C., Davis J.C., Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA, *Engineering Geology* 69 **(2003)** 331–343.
- OGM, Kaynak: <http://www2.ogm.gov.tr/istatistikler/istatistik.aspx> **(2012)**.

- OGM, Orman Yollarının Planlanması ve İnşaat İşlerinin Yürütülmesi, *202 Sayılı Tebliğ*, Ankara (1984).
- OGM, Orman Yolları Planlanması, Yapımı ve Bakımı Tebliğ No: 292, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü İnşaat ve İkmal Daire Başkanlığı, Ankara, (2008).
- Olaya V., A gentle introduction to SAGA GIS, (2001): <http://www.saga-gis.uni-goettingen.de>
- Över S., Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun orta ve batı kesiminde bölgesel gerilme durumunun incelenmesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt. 42, Sayı 1, (1999) 85-96.
- Özdemir A., Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS, *Environ Geol* 57: (2009) 1675–1686.
- Özmen B., Nurlu M., Kuterdem K., Temiz A., Afet yönetimi ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, (2005).
- Öztürk K., Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi* Cilt 22, Sayı 2 (2002) 35-50.
- Pantha B.R., Yatabe R., Bhandary N.P., GIS-based landslide susceptibility zonation for roadside slope repair and maintenance in the Himalayan region, *Episodes*, Vol. 31, No. 4: (2008) 384-391.
- Pasuto A., Soldati M., *Rock spreading, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdan, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, (1996).
- Perotto-Baldivieso H.L., Thurow T.L., Smith C.T., Fisher R.F., Wu X.B., GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103: (2004) 165-176.
- Piehl B.T, Beschta R.L., Pyles M.R., Ditch-relief culverts and low volume forest roads in the Oregon Coast Range, *Northwest Science* 62: (1988) 91-98.

- Pradhan B., Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, *Advances in Space Research* 45 (2010a) 1244–1256.
- Pradhan B., Landslide Susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches, *J. Indian Soc. Remote Sens.* 38 : (2010b) 301– 320.
- Reichenbach P., Ardizzone F., Cardinali M., Galli, M., Guzzetti F., Salvati P., Landslide events and their impact on the transportation network in the Umbria region, central Italy, *Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference* held at Mallorca, Spain (2002).
- Rice R.M., Forest management to minimize landslide risk, FAO Conservation Guide, Guidelines for Watershed Management, (1977).
- Rickli C.H., Graf F., Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland, *For. Snow Landsc. Res.* 82, 1: (2009) 33–44.
- Rossi M., Guzzetti F., Reichenbach P., Mondini A.C., Peruccacci S., Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts, *Geomorphology* 114 (2010)129-142.
- Saner S., Batı Pontidler'in ve Komşu Havzaların Oluşumlarının Levha Tektoniği Kuramıyla Açıklanması, *Kuzeybatı Türkiye, Türkiye Jeoloji Kurumu 34. Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, (1980).
- Satendra. *Forestry and Disaster Mitigation* (2001).
- Sakals M.E., Innes J.L., Wilford D.J., Sidle R.J., Grant, G.E., The role of forests in reducing hydrogeomorphic hazards; *For. Snow Landsc. Res.* 80, 1: (2006)11–22.
- Schrott L., Dikau R., Brunsten D., *Soil Flow, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsten, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, (1996).
- Sidle R.C., Terry P.K., Shallow landslide analysis in terrain with managed vegetation, *IAHS-Publ. No. 209*: (1992) 289-298.

- Sidle R.C., Pierce A.J., O'Loughlin C.L., Hillslope stability and land use. *American Geophysical Union, Water Resources Monograph Series Volume 11*, Washington, D.C. **(1985)**.
- Sorenson J., Vedeld T., Haug M., *Natural hazards and disasters drawing on the international experiences from disaster reduction in developing countries*, Report, Norwegian Institute for Urban and Regional Research (NIBR), **(2006)**.
- Sorriso-Valvo M., Gulla G., *Rock slide, in Landslide recognition: identification, movement and causes*, edited by R.Dikau, D.Brunsdon, L.Schrott, M.L Ibsen, John Wiley & Sons, **(1996)**.
- Steinacher R., Medicus G., Fellin W., Zangerl C., The Influence of Deforestation on Slope (In-)Stability, *Austrian Journal of Earth Sciences (Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft)* 102/2, S. 90 – 99, **(2009)**.
- Süzen M.L., Doyuran V., A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate, *Environmental Geology* 45: **(2004)** 665–679.
- Süzen M.L., Kaya B.Ş., Evaluation of environmental parameters in logistic regression models for landslide susceptibility mapping, *International Journal of Digital Earth*, **(2011)** 1-18.
- Swanson F.J., Dyrness C.T., Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. *Geology* 3: **(1975)** 393–396.
- Tanaka Y., Differences of Landslide Occurrences Behavior Due to Slope Aspects in the Amehata River Basin, central Japan. *American Geophysical Union, Fall Meeting* **(2005)**.
- Tangestani M.H., A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 35, **(2009)** 66–73.
- Tsukamoto Y., Minematsu H., Evaluation of the effect of deforestation on slope stability

- and its application to watershed management. *Forest Hydrology and Watershed Management* (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987), *International Association of Hydrological Sciences* Publication no. 167. Wallingford, UK, (1987)81–189.
- Tunusluoğlu M.C., Gökçeoğlu C., Nefeslioğlu H.A., Sönmez H., Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: a case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey), *Environ Geol* 54: (2008) 9–22.
- Turner T.R., Duke S.D., Fransen B.R., Reiter M.L., Kroll A.J., Ward J.W., Bach J.L., Justice T.E., Bilby R.E., Landslide densities associated with rainfall, stand age, and topography on forested landscapes, southwestern Washington, USA. *ForEcolManag* 259: (2010) 2233–2247.
- UNDP, *A Global Report Reducing Disaster Risk A Challenge For Development*, ISBN 92-1-126160-0, (2004).
- UNISDR. Terminology on Disaster Risk Reduction, UNISDR-20-Geneva (2009).
- Uzunsoy M.O., Görcelioğlu E., *Havza Islahında Temel İlke ve Uygulamalar, İ.Ü.Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1985).*
- Ünvan Y.A., Koşullu lojistik regresyon çözümlemesi ve Avrupa Birliği Verisi üzerine bir uygulama, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2006).
- Verstappen H.T., *Applied Geomorphology, ITC Enschede, The Netherlands, (1983).*
- Vahidnia M.H., Alesheikh A.A., Alimohammadi A., Hosseinali F., A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping, *Computers & Geosciences*, 36, (2010)1101–1114.
- Van Den Eeckhaut M., Vanwalleghem J., Poesen J., Govers G., Verstraeten G., Vandekerckhove L., Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium) *Geomorphology* 76: 3–4, (2006) 392–410.
- Van Den Eeckhaut M., Marre A., Poessen J., Comparison of two landslide susceptibility

- assessments in the Champagne–Ardenne region (France), *Geomorphology* 115 (2010) 141–155.
- Van Westen C.J., Castellanos E., Kuriakose S.L., Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview, *Engineering Geology*, 102, (2008) 112-131.
- Varnes D.J., Landslides type and processes. In landslides Analysis and Control, (Ed E. B. Eckel). *Highway Research Board Spec. Rep. 29* (1958) 20-47.
- Varnes D.J., Slope movements: type and processes, In landslides and engineering practice (Ed R.L. Schuster and R.J. Krizek) *Transportation research board, national academy of sciences, special report* (1978) 12-33.
- Varnes D.J., Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, *UNESCO*, ISBN 92-3-101895-7, (1984).
- Vijith H., Madhu G., Estimating potential landslide sites of an upland sub-watershed in Western Ghat's of Kerala (India) through frequency ratio and GIS, *Environ Geol* 55: (2008) 1397–1405.
- Wang H.B., Sassa K., Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan, *Environ Geol* 47: (2005) 956–966.
- Wemple B.C., Swanson F.J., Jones J.A., Forest Roads and Geomorphic Process Interactions, Cascade Range, Oregon, *Earth Surf. Process. Landforms* 26, (2001)191–204.
- Whalley W.B., *The mechanics high magnitude low frequency rock failure and its importance in a mountainous area*, *Geogr Papers, Reading University*, 27 (1974).
- Wilson J.P., Gallant J.C., *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley and Sons: New York, (2000).
- Yeşilnacar E., Topal T., Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey), *Engineering Geology* 79 (2005) 251–266.

- Yılmaz I., 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, **(2009a)** 1125–1138.
- Yılmaz I., A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68:3, **(2009b)** 297-306.
- Yılmaz I., Keskin I., GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey), *Bull Eng Geol Environ* 68: **(2009)** 459–471.
- Yılmaz C., Topal T., Süzce M.L., GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey), *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-011-1196-4 **(2011)**.
- Yiğitbaş E., Elmas A., Yılmaz Y., Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of western Pontides and their geological evolution, *Geol. J.* 34, **(1999)** 55-74.
- Zevenbergen L.W., Thorne C.R., Quantitative analysis of land surface topography: *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: **(1987)** 47-56.
- Ziemer R.R., The role of vegetation in the stability of forested slopes. *Proc. Int. Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress, Kyoto, Japan*, vol. 1, **(1981a)** 297–308.
- Ziemer R.R., Roots and the stability of steep slopes, in Proceedings, *Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*, IAHS Publ. 132, **(1981b)** 343–357.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : Eker, Remzi
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.12.1986 / TOSYA
Telefon : 0 (380) 542 11 37
Faks : 0 (380) 542 11 36
E-posta : remzieker@duzce.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	2009
Lise	Kastamonu Kuzeykent Lisesi (Y.D.A)	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS: 67,5)