

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KUZEY ANADOLU FAYI ÜZERİNDE NİKSAR-SUŞEHİRİ ARASINDAKİ
ALANIN CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Gökhan DEMİR

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KUZEY ANADOLU FAYI ÜZERİNDE NİKSAR-SUŞEHRİ ARASINDAKİ ALANIN CBS
TABANLI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ**

İnş. Yük. Müh. Gökhan DEMİR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ) ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 24.06.2011**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Gökhan DEMİR Tarafından Hazırlanan

KUZEY ANADOLU FAYI ÜZERİNDE NİKSAR-SUŞEHİRİ ARASINDAKİ
ALANIN CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1406/2 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN

Üye :Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER

Üye :Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye :Prof. Dr. S. Feyza ÇİNİCİOĞLU

Üye :Yrd. Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora çalışmam süresince danışmanım olarak bilgi ve deneyimleri ile araştırmalarımı yönlendiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın hocam Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN' e, tez izleme komitemde yer alarak çalışmalarına katkı sağlayan sayın Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER' e ve Prof. Dr. Fikri BULUT' a emeklerinden dolayı teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Arazi çalışmalarım sırasında benimle birlikte olan, tüm çalışmam süresince desteğini hissettiğim Prof. Dr. Orhan TATAR' a, tez çalışmamın analiz aşamasında, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile ilgili aşamalarında ve çalışmanın geneline yönelik her aşamasında zamanından fedakarlık ederek her türlü bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN' e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmama sağladıkları katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. S.Banu İKİZLER' e, Uzman Ali SEMERCİ ve Fikret BÜLBÜL' e, teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca hep yanımda olan, bana güven veren başta annem ve babam'a, bu zor süreçte bana destek olan eşim Lütfiye DEMİR' e, kızım Yağmur DEMİR' e, oğlum Yağızhan Aydın DEMİR' e ve kardeşim Demirhan DEMİR' e minnettar olduğumu belirtirim.

Bu çalışmayı destekleyen Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP)' ne teşekkür ederim.

Gökhan DEMİR
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “ KUZHEY ANADOLU FAYI ÜZERİNDE NİKSAR-SUŞEHİRİ ARASINDAKİ ALANIN CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN‘ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20 / 05 / 2011

Gökhan DEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. İnceleme Alanının Konumu.....	4
1.4. İklimsel Durumu.....	7
1.5. Depremsellik Durumu.....	9
1.6. Heyelan Duyarlılık Analizleri ile İlgili Literatür Çalışmaları.....	12
1.7. Heyelan Tanımı ve Sınıflandırılması.....	29
1.8. Heyelan Duyarlılık Tanımlanması.....	31
1.8.1. Heyelan Duyarlılığı.....	31
1.8.2. Heyelan Tehlikesi.....	32
1.8.3. Heyelan Riski.....	33
1.8.4. Heyelan Envanter Haritaları.....	33
1.9. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Ölçekler.....	34
1.10. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Parametreler.....	35
1.11. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılacak Parametreler.....	38
1.11.1. Litoloji.....	38
1.11.2. Yapısal Unsurlara(Faya) Yakınlık.....	39
1.11.3. Yamaç Eğimi.....	39
1.11.4. Yükseklik.....	40

1.11.5.	Yamaç Yönelimi(Bakı).....	41
1.11.6.	Arazi Kullanım Potansiyeli-Bitki Örtüsü.....	42
1.11.7.	Drenaj Ağı-Akarsulara Yakınlık.....	42
1.11.8.	Yola Yakınlık.....	43
1.12.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler.....	44
1.12.1.	Dağılım Analizi	46
1.12.2.	Niteliksel Yöntemler.....	47
1.12.2.1.	Jeomorfolojik Analiz.....	47
1.12.2.2	Parametre Haritalarının Kullanılması.....	47
1.12.3.	Niceliksel Yöntemler.....	48
1.12.3.1.	İstatistiksel Analizler.....	48
1.12.3.1.1.	İki Değişkenli İstatistiksel Analizler.....	49
1.12.3.1.2.	Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler.....	49
1.12.3.2.	Deterministik Analizler.....	50
1.12.3.3.	Olasılık Yaklaşımı.....	51
1.12.3.4.	Yapay Zeka Yöntemleri.....	51
1.12.3.4.1.	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yaklaşımı.....	51
1.12.3.4.2.	Yapay Sinir Ağlarının (Artificial Neural Network) Kullanımı.....	52
1.13.	Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....	53
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	57
2.1.	Giriş.....	57
2.2.	Arazi Çalışmaları.....	57
2.2.1.	İnceleme Alanı Heyelan Envanteri ve Özellikleri.....	60
2.3.	Büro Çalışmaları.....	69
2.3.1.	Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Verilerin Üretimi.....	70
2.3.1.1.	Litoloji.....	70
2.3.1.2.	Topoğrafik Yükseklik.....	82
2.3.1.3.	Yamaç Eğim Değeri.....	89
2.3.1.4.	Yamaç Eğim Yönü (Bakı)	95
2.3.1.5.	Akarsuya Yakınlık.....	100
2.3.1.6.	Yola Yakınlık.....	106
2.3.1.7.	Faya Yakınlık.....	112

2.3.1.8.	Drenaj Yoğunluğu.....	117
2.3.1.9.	Fay(Kırık) Yoğunluğu.....	123
2.3.2.	Heyelan Duyarlılık Analizleri.....	128
2.3.2.1.	Frekans oranı (FR) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi.....	128
2.3.2.1.1.	Duyarlılık Haritasının Doğrulanması (Frekans Oranı).....	137
2.3.2.2.	Lojistik(Mantıksal) Regresyon Modeli ile Heyelan Duyarlılık Analizi.....	138
2.3.2.2.1.	Duyarlılık Haritasının Doğrulanması (Lojistik Regresyon).....	146
2.3.2.3.	Bulanık Mantık Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi.....	147
2.3.2.3.	Duyarlılık Haritasının Doğrulanması (Bulanık Mantık)	157
3.	SONUÇLAR VE İRDELEME.....	159
4.	ÖNERİLER.....	166
5.	KAYNAKLAR.....	167
6.	EKLER.....	178
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

KUZEY ANADOLU FAYI ÜZERİNDE NİKSAR-SUŞEHİRİ ARASINDAKİ ALANIN
CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Gökhan DEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN
2011, 177 Sayfa, 4 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Kelkit çayı vadisi içerisindeki Niksar'ın güneydoğusu, Reşadiye, Koyulhisar, Suşehri'nin kuzeybatısı ve çevresine ait 1445 km²'lik bölgenin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalar ve topoğrafik haritalar temel veri grubu olarak kullanılmıştır. Heyelan envanter haritaları arazi çalışmaları ile tespit edilen heyelan verileri ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden alınan heyelan verileri kullanılarak hazırlanmıştır. MTAGM'den alınan veriler sayısallaştırılarak litoloji sınıfları, topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak elde edilen sayısal yükseklik modelinden de yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi verileri üretilmiştir. Topoğrafik verilerden de yararlanılarak faya yakınlık, yola yakınlık, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu ve fay yoğunluğu verileri elde edilmiştir. Bu veriler, frekans oranı, lojistik regresyon ve bulanık mantık analiz yöntemleri ile değerlendirilerek heyelan açısından duyarlı alanlar belirlenmiş, heyelan duyarlılık haritaları elde edilmiştir. Elde edilen duyarlılık haritaları, çok az duyarlı, az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayırt edilmiştir. İnceleme alanı D1'deki heyelanlı alanların %68'i, %59'u, %53'ü ve inceleme alanı D2'deki heyelanlı alanların %79'u, %72'si, %61'i sırasıyla frekans oranı, bulanık mantık ve lojistik regresyon yöntemleriyle belirlenen yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıflarına düşmüştür. Bu veriler ışığında, üretilen duyarlılık haritalarının kullanılabilir olduğu, frekans oranı yönteminin gerçeğe en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Anadolu Fay Zonu, Heyelan duyarlılık haritası, Coğrafi bilgi sistemleri, Frekans oranı yöntemi, Lojistik regresyon analizi

PhD. Thesis

SUMMARY

GIS BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF AN AREA (NİKSAR-SUŞEHRİ) ON NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE

Gökhan DEMİR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN
2011, 177 Pages, 4 Pages Appendix

In this study, landslide susceptibility assessment of the 1445 km² area in the Kelkit River valley including southeast of Niksar, Reşadiye, Koyulhisar, northwest of Suşehri and its surroundings was carried out by statistical methods. In the study, 1/25.000 scale geological maps and topographical maps were used as basic data group. Landslide inventory maps were prepared by using landslide data determined by field surveys and landslide data taken from General Directorate of Mineral Research and Exploration. Lithology classes were obtained by digitizing geological data; and elevation, slope, and aspect data were produced from digitized topographical data. Distance to the fault, distance to road, distance to streams, drainage density and fault density data were obtained by using topographic data. These data were evaluated with frequency ratio, logistic regression and fuzzy logic methods and sensitive areas by the landslide point of view were determined, and landslide susceptibility maps were obtained. Landslide susceptibility maps were divided into five susceptibility regions as very low, low, moderate, high and very high. By using frequency ratio, fuzzy logic and logistic regression methods; 68 %, 59 % and 53 % of the landslide areas in the study area D1 were detected as highly or very highly susceptible classes, respectively. Same percents were 79 %, 72 % and 61 % for the study area D2. Based on these data; it is concluded that produced susceptibility maps are usable, and the frequency ratio method has given most reasonable and true results.

Key Words: North Anatolian Fault Zone, Landslide susceptibility map, Geographical Information Systems, Frequency Ratio Method, Logistic Regression Analysis.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.a. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	4
Şekil 1.b.1. İnceleme alanı D1 'in konumu.....	5
Şekil 1.b.2. İnceleme alanı D2 'in konumu.....	6
Şekil 2. Kuzey anadolu fay zonunun görünümü.....	7
Şekil 3. İnceleme alanı aylara göre sıcaklık değerleri.....	8
Şekil 4. İnceleme alanı aylara göre yağış değerleri.....	8
Şekil 5. Tokat-Sivas illeri deprem haritası.....	10
Şekil 6. İnceleme alanı ve yakın çevresine ait sismotektonik harita.....	10
Şekil 7. Kelkit vadisi ve çevresinde meydana gelen depremlerin sayısı – deprem Büyüklüğü.....	11
Şekil 8. Kelkit vadisi ve çevresinde meydana gelen depremlerin sayısının (Ms 4.0) yıllara (1900-2008 yılları arasında) göre değişimini gösteren histogram.....	11
Şekil 9. Heyelana ait blok diyagram.....	30
Şekil 10. Farklı türlerde gelişen hareketlere ait blok diyagramlar.....	31
Şekil 11. Heyelana neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler.....	36
Şekil 12. Literatürde heyelan potansiyeli araştırmalarında kullanılan parametrelerin dağılımı.....	37
Şekil 13. Akarsuya yakın gelişen heyelan.....	43
Şekil 14. Yola yakın gelişen heyelan.....	44
Şekil 15. Heyelan değerlendirme yöntemleri.....	46
Şekil 16. Raster ve vektör veri görünümü.....	54
Şekil 17. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin bileşenleri.....	55
Şekil 18. Yapılan çalışmalara ait iş akış diyagramı.....	58
Şekil 19. İnceleme alanında gözlenen heyelanlardan bazı örnekler.....	59
Şekil 20. İnceleme alanı D1 için heyelan envanter haritası.....	61
Şekil 21. İnceleme alanı D2 için heyelan envanter haritası.....	62
Şekil 22. Yumurcaktaş mahallesi doğusunda oluşmuş heyelan (daireysel kayma).....	63
Şekil 23. Koyulhisar batısı Aşağıkale mahallesi güneybatısında oluşmuş heyelan (ardışık daireysel kayma).....	64

Şekil 24.	Muhtardüzü mahallesi güneyinde oluşmuş toprak akması türündeki bir heyelan.....	65
Şekil 25.	Kuzulu (Sugözü-Koyulhisar, Sivas) mahallesinde oluşmuş toprak akması türündeki bir heyelan.....	66
Şekil 26.	Kuzulu mahallesi heyelan bölgesinin morfolojisi ve heyelanın yüzeysel dağılım geometrisi.....	67
Şekil 27.	Niksar - Reşadiye karayolu 33. km' de heyelan a.heyelan öncesi b.heyelan sonrası.....	68
Şekil 28.	İnceleme alanı D1 için litoloji haritası.....	71
Şekil 29.	İnceleme alanı D2 için litoloji haritası.....	72
Şekil 30.	(a,b). Litoloji ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	80
Şekil 31.	(a,b). Litoloji ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	81
Şekil 32.	İnceleme alanı D1 için sayısal yükseklik modeli.....	84
Şekil 33.	İnceleme alanı D1 için yükseklik haritası.....	85
Şekil 34.	İnceleme alanı D2 için sayısal yükseklik modeli.....	86
Şekil 35.	İnceleme alanı D2 için yükseklik haritası.....	87
Şekil 36.	(a,b). Yükseklik ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	88
Şekil 37.	(a,b). Yükseklik ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	89
Şekil 38.	İnceleme alanı D1 için eğim haritası.....	91
Şekil 39.	İnceleme alanı D2 için eğim haritası.....	92
Şekil 40.	(a,b) Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	93
Şekil 41.	(a,b) Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	94
Şekil 42.	İnceleme alanı D1 için bakı haritası.....	96
Şekil 43.	İnceleme alanı D2 için bakı haritası.....	97
Şekil 44.	(a,b) Bakı sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	98
Şekil 45.	(a,b) Bakı sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	100
Şekil 46.	İnceleme alanı D1 için akarsuya yakınlık haritası.....	102
Şekil 47.	İnceleme alanı D2 için akarsuya yakınlık haritası.....	103
Şekil 48.	(a,b) Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	104
Şekil 49.	(a,b) Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	105
Şekil 50.	İnceleme alanı D1 için yola yakınlık haritası.....	107
Şekil 51.	İnceleme alanı D2 için yola yakınlık haritası.....	108

Şekil 52.	(a,b) Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	110
Şekil 53.	(a,b) Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	111
Şekil 54.	İnceleme alanı D1 için faya yakınlık haritası.....	113
Şekil 55.	İnceleme alanı D2 için faya yakınlık haritası.....	114
Şekil 56.	(a,b) Faya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait Histogramlar (D1).....	115
Şekil 57.	(a,b) Faya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	116
Şekil 58.	İnceleme alanı D1 için drenaj yoğunluğu haritası.....	119
Şekil 59.	İnceleme alanı D2 için drenaj yoğunluğu haritası.....	120
Şekil 60.	(a,b) Drenaj yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	121
Şekil 61.	(a,b) Drenaj yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	122
Şekil 62.	İnceleme alanı D1 için fay yoğunluğu haritası.....	124
Şekil 63.	İnceleme alanı D2 için fay yoğunluğu haritası.....	125
Şekil 64.	(a,b) Fay yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1).....	126
Şekil 65.	(a,b) Fay yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2).....	127
Şekil 66.	Heyelan duyarlılık indeks haritasının oluşturulma aşaması (Raster Calculator modülü).....	133
Şekil 67.	Frekans oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D1).....	134
Şekil 68.	Frekans oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D2).....	135
Şekil 69.	Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D1).....	136
Şekil 70.	Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D2).....	137
Şekil 71.	Frekans oranı yöntemi için ROC eğrisi (D1, D2).....	138
Şekil 72.	Lojistik regresyon yöntemi için kullanılan yazılıma ait alt menu.....	140
Şekil 73.	Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D1)...	143
Şekil 74.	Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D2)...	144
Şekil 75.	Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D1).....	145
Şekil 76.	Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D2).....	146

Şekil 77. Lojistik regresyon yöntemi için ROC eğrisi (D1, D2).....	147
Şekil 78. Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonları.....	148
Şekil 79. Litoloji ve Yükseklik sınıfları bulanık üyelik dereceleri.....	151
Şekil 80. Eğim ve Bakı sınıfları bulanık üyelik dereceleri.....	151
Şekil 81. Akarsuya ve Yola yakınlık sınıfları bulanık üyelik dereceleri.....	152
Şekil 82. Faya ve Drenaj yoğunluğu sınıfları bulanık üyelik dereceleri.....	152
Şekil 83. Fay yoğunluğu sınıfları bulanık üyelik dereceleri.....	153
Şekil 84. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D1).....	154
Şekil 85. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D2).....	155
Şekil 86. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D1).....	156
Şekil 87. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D2).....	157
Şekil 88. Bulanık mantık yöntemi için ROC eğrisi (D1, D2).....	158

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Heyelanların sınıflandırılması.....	30
Tablo 2. Heyelan değeriendirmelerinde kullanılan ölçekler.....	34
Tablo 3. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlar.....	45
Tablo 4. Litoloji sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D1).....	79
Tablo 5. Litoloji sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D2).....	80
Tablo 6. Yükseklik Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D1).....	83
Ta blo 7. Yükseklik Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D2).....	83
Ta blo 8. Eğim Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D1).....	90
Ta blo 9. Eğim Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D2).....	90
Ta blo 10. Bakı Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D1).....	95
Ta blo 11. Bakı Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D2).....	98
Ta blo 12. Akarsuya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1).....	101
Ta blo 13. Akarsuya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2).....	104
Ta blo 14. Yola Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1).....	109
Ta blo 15. Yola Yakınlık Sınıfları Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2).....	109
Tablo 16. Faya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1).....	112
Ta blo 17. Faya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2).....	112
Ta blo 18. Drenaj Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1).....	118
Ta blo 19. Drenaj Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2).....	118
Ta blo 20. Fay Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D1).....	123
Ta blo 21. Fay Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2).....	123
Tablo 22. Frekans oranı değeri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri D1....	129
Tablo 23. Frekans oranı değeri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri D2....	131
Tablo 24. Lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar.....	141
Tablo 25. Lojistik regresyon istatistik sonuçları.....	141
Tablo 26. Bulanık üyelik dereceleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri (D1, D2).....	149

SEMBOLLER DİZİNİ

a	:Heyelansız Piksel Yüzde Değerleri
AHP	:Analitik Hiyerarşi Yöntemi
AUC	:Roc Eğrisi Altında Kalan Alan
b	:Heyelanlı Piksel Yüzde Değerleri
B.Z.D.	:Bozunma Zonu Derinliği
b_0	:Modelin Sabiti
b_i	:Lojistik Regresyon Modelinin Eğim Katsayıları
b_o	:Benzerlik Oranı
CBS	:Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇÖKA	:Çok Ölçütlü Karar Analizi
D1	:İnceleme Alanı Doktora 1
D2	:İnceleme Alanı Doktora 2
DEM	:Sayısal Yükseklik Modeli
DHMİGM	:Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DPT	:Devlet Planlama Teşkilatı
E.T.O.M.	:En Yakın Tepeye Olan Mesafe
FR	:Frekans Oranı
G.K.	:Güvenlik Katsayısı,
GPS	:Global Konum Belirleme
KAFZ	:Kuzey Anadolu Fay Zonu
LR	:Lojistik Regresyon
LSİ	:Heyelan Duyarlılık İndeksi
M.D.P.	:Makaslama Dayanım Parametreleri
M.T.A.	:Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü
p	:Olayın Meydana Gelme Olasılığı
PIF	:Heyelanı etkileyen faktörün kategorisinin yüzdesi
PLO	:Heyelanı etkileyen faktörün alt kategorisindeki heyelan yüzdesi
R^2	:Bağımlı Değişkendeki Değişim Oranı
ROC	:Göreceli Çalıştırma Özellikleri
S.Y.	: Süreksizlik Yoğunluğu

TIN	:Triangulated Irregular Network
UA	:Uzaktan Algılama
UTM	:Universal Transverse Mercator
Wf	:Ağırlık Faktörü
Wi	:İstatistiksel İndeks
x_i	:Bağımsız Değişkenler
Y.A.S.S.	:Yer Altı Su Seviyesi
Y.S.	:Yüzeysel Süreçler
Y.U.Y.	:Yapısal Unsurlara Yakınlık
Y.U.Y.İ.	:Yapısal Unsurların Yamaçla İlişkisi
Y.Y.	:Yol Yoğunluğu
YSA	:Yapay Sinir Ağları
z	:Doğrusal Kombinasyonu
Z.Y.	:Zemin Yapısı
$\mu(x)$:Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonu

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya nüfusunun artması, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler, yerleşim alanlarının bilinçsizce genişlemesine ve doğal afetlerin verdiği zararların artmasına neden olmuştur. Gelişmiş ülkelerde yeni yerleşim alanları belirlenirken, bu alanlarla ilgili gerekli mühendislik çalışmaları yapılmaktadır. Ancak, geri kalmış ya da gelişmekte olan ülkelerin büyük bir kısmında artan taleplerin karşılanmasında önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu yüzden, yerleşime açılan alanlarının önemli bir kısmında mühendislik çalışmaları yapılamamaktadır. Dünya genelinde meydana gelen doğal afetler sonucunda yaşanan can ve mal kayıpları büyük boyutlara varınca, insanlar “benim oturduğum alanlar güvenilir mi yoksa tehlikeli mi?” diye sorgulamaya başlamışlardır.

Yapılan farklı çalışmalar ve bu çalışmalara ilişkin değerlendirmelerde, yaşanan doğal afetlerle ilgili olarak değişik oranlar söz konusudur. Ancak bu oranlar değişse de, depremden sonra yaşamı etkileyen en önemli doğal afetin heyelanlar olduğu, değişmeyen bir gerçektir. Dünyada meydana gelen heyelanlardan dolayı binlerce insan hayatını kaybetmekte, bunun yanı sıra ülke ekonomileri büyük kayıplara uğramaktadır. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri’nde deprem, sel, fırtına vb. doğal afetlerden kaynaklanan hasarın % 17’lik kısmını heyelanlar oluşturmakta, her yıl yüzlerce insan hayatını kaybetmekte ve bu heyelanların ülke ekonomisine olan toplam zararı, yıllık olarak ortalama 1-2 milyar doları bulmaktadır. Japonya’ da doğal afetlerden dolayı meydana gelen can kayıplarının % 45’i heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Aytekin, 2003)

Türkiye morfolojik yapısı, coğrafik konumu ve iklim özelliklerinden dolayı doğal afetlerin neden olduğu can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara karşılaşmaktadır. Türkiye’de yaşanan doğal afetler içerisinde verdiği kayıplar açısından depremler % 53 ile ilk sırada yer alırken, heyelanlar % 18 ile ikinci sırayı almaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, son 50 yıllık süre içerisinde heyelanlardan kaynaklanan maddi zararların ülke ekonomisine maliyeti 4,5 milyar TL. dir. Bu rakamlar sadece kaybedilen ve yapılan konutlar için geçerli olup, bu rakamlara yeni yerleşim yerleri belirlemeye yönelik çalışmalar, geçici iskan maliyetleri, arazi çalışma maliyetleri, zaman ve iş gücü kaybı vb. diğer kayıp, gider ve harcamalar dahil edilmemiştir. Bu rakamlara endüstriyel ve tarımsal

üretimlerde meydana gelen zararlar, çevresel ortamda oluşan hasarlar ve diğer dolaylı etkilenme sonucu oluşabilecek zarar ve kayıplar da eklendiği takdirde bu ekonomik maliyetin kat kat arttığı görülecektir. Ülkemizde son 55 yıllık dönemde meydana gelen heyelan sayısı 12794'tür. Bu heyelanlardan en fazla Trabzon (1016), Rize (869), Kastamonu (583) ve Erzurum (467) illerimiz etkilenmiştir. Benzer değerlendirme ilçelerimiz bazında yapıldığında ise; sırasıyla Maçka (Trabzon) 204, Ulus (Bartın) 197, Çayeli (Rize) 194, Akçaabat (Trabzon) 174, Yenice (Karabük) 168, Pazar (Rize) 163 ve Rize (Merkez) 152, en fazla sayıda heyelan olan ilçelerdir (Gökçe vd., 2006)

Heyelanlardan kaynaklanan zararları en aza indirmek amacıyla; heyelan tehlike boyutlarını, hasar veren heyelanlardan etkilenen bölgeleri belirlemek ve heyelanların tekrarlanma olasılığının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Genellikle diğer doğa olaylarında (deprem, taşkın vb.) olduğu gibi heyelan oluşumu için de kesin bir zaman aralığı vermek zor olduğundan, heyelan olası tehlike (hazard) haritaları genellikle heyelan duyarlılık haritaları olarak isimlendirilerek belirli bir heyelan tipinin olma olasılığını ifade ederler. Son 30 yıldır heyelan duyarlılık ve risk değerlendirmeleri yapılmaktadır. Daha önceleri yerel duraysızlıkların incelenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, günümüzde daha geniş alanlara yönelik bölgesel değerlendirmeler yönünde artmaktadır. Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmaktır. Doğal tehlike haritaları (Natural hazard mapping) geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal olayların oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte böyle doğal olayların oluşumlarının tahmin edildiği bilgileri içerir (Varnes, 1984). Heyelan duyarlılık haritaları ise, genel anlamda herhangi bir bölge içerisindeki alanların göreceli olarak heyelana olan hassasiyetinin sınıflandırılmasıdır.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında gelişen teknoloji ile birlikte çok önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri – CBS (Geographical Information Systems-GIS) ve Uzaktan Algılama – UA (Remote Sensing-RS) teknikleri bu tür haritaların hazırlanmasında çok büyük avantajlar sağlamıştır. Uzaktan Algılama teknikleri kullanılarak veriler kısa zamanda ve kolayca toplanıp analiz edilebilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak çok karmaşık ve veri hacmi yüksek olan verilerin depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi gibi işlemler kısa zaman içerisinde mümkün olabilmektedir. Birbirleri ile entegre olan CBS ve UA teknikleri duyarlılık

haritalarının daha hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesinde birer araç olarak yapılan bir çok çalışmada kullanılmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

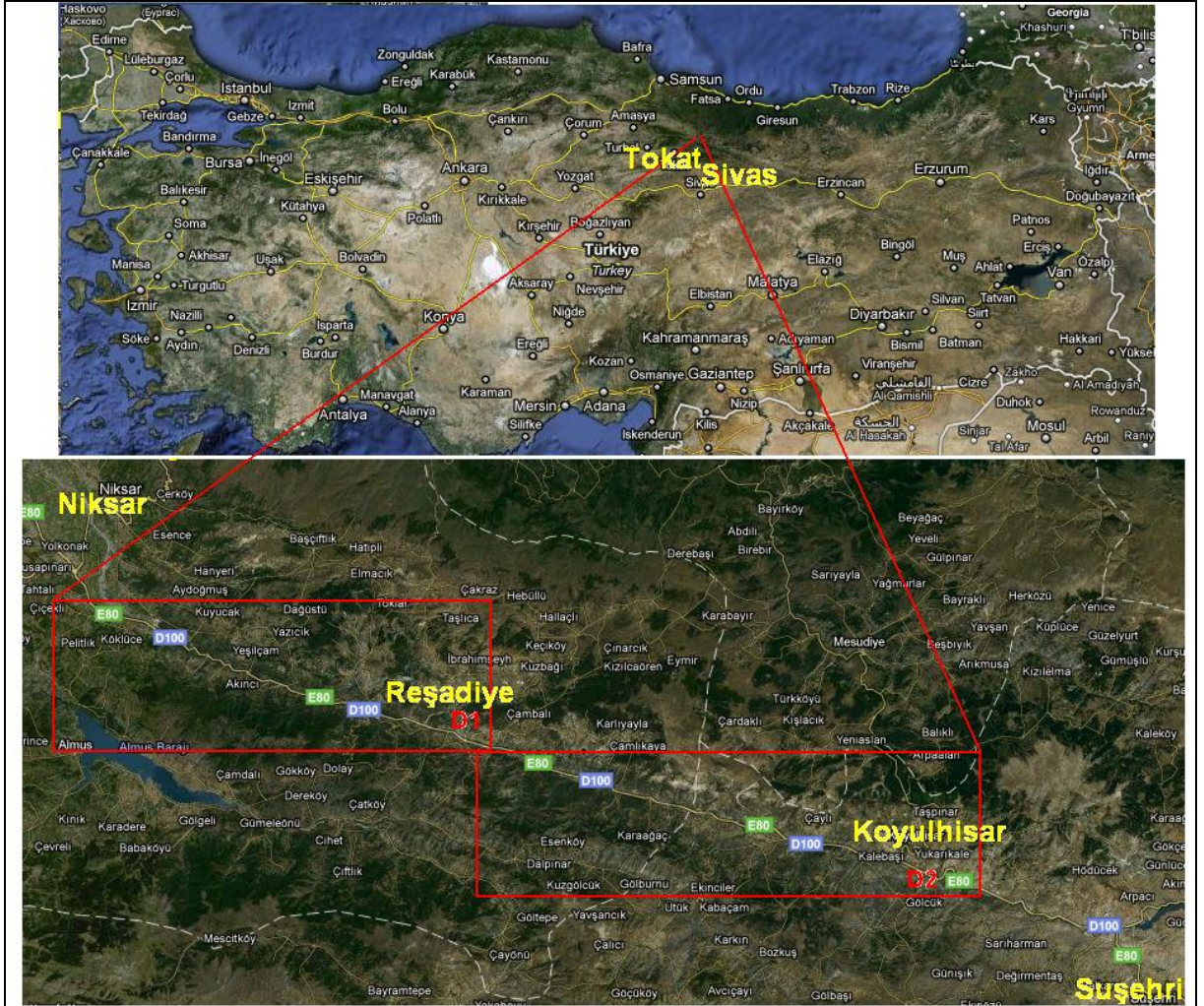
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde Kelkit Çayı vadisi içerisinde bulunan Niksar, Reşadiye, Koyulhisar ve Suşehri gibi yerleşim yerlerinin önemli bir heyelan bölgesi olduğu çok eskiden beri bilinmektedir. 17 Mart 2005 tarihinde meydana gelen Kuzulu (Koyulhisar) heyelanı ülkemizin önemli aktif fay zonlarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakın bir alanda gerçekleşmiştir. Bu doğal afetin oluşumunda topoğrafik, iklimsel ve litolojik faktörlerin yanı sıra, aktif bir fay zonu içerisinde olmasının da etkili olduğu düşünülmektedir (Tatar, 2005). Bu tür fay zonlarının üzerinde gelişen genç yüzey şekillerinin deprem potansiyelinin yanı sıra, başta heyelan olmak üzere değişik doğal afetlerin oluşumuna yaptıkları etkiler açısından da incelenmesi gerektiği düşünülmüştür. 2006 yılında Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen ve 7 Üniversiteden (Cumhuriyet, İstanbul Teknik, Yıldız Teknik, Orta Doğu Teknik, Eskişehir Osmangazi, Ankara ve Karadeniz Teknik Üniversitesi) araştırmacıların katıldığı proje ile KAFZ'nun Erbaa ile Erzincan batısı arasında kalan kesiminin neotektonik ve jeomorfolojik özelliklerinin ayrıntılı olarak ortaya konulmasının yanı sıra, paleosismolojik, GPS, radar interferometri, mikrobölgeleme, uzaktan algılama ve heyelan duyarlılık analizi çalışmalarının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu proje içerisinde yer alan çalışma kapsamında Kelkit çayı vadisi içerisindeki Niksar'ın güneydoğusu, Reşadiye, Koyulhisar, Suşehri'nin kuzeybatısı ve çevresi'nin;

- Heyelan envanter haritasının elde edilmesi,
- Heyelan duyarlılık analizi yapılarak, heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi,
- Yeni yerleşim alanları ve yapılacak yeni yapılaşmalar için uygun yer seçiminin belirlenmesi,
- Belirlenecek duruma göre gerekli tedbirlerin alınması ile heyelanların can ve mal kaybı üzerindeki olumsuz etkilerinin asgari seviyeye indirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. İnceleme Alanının Konumu

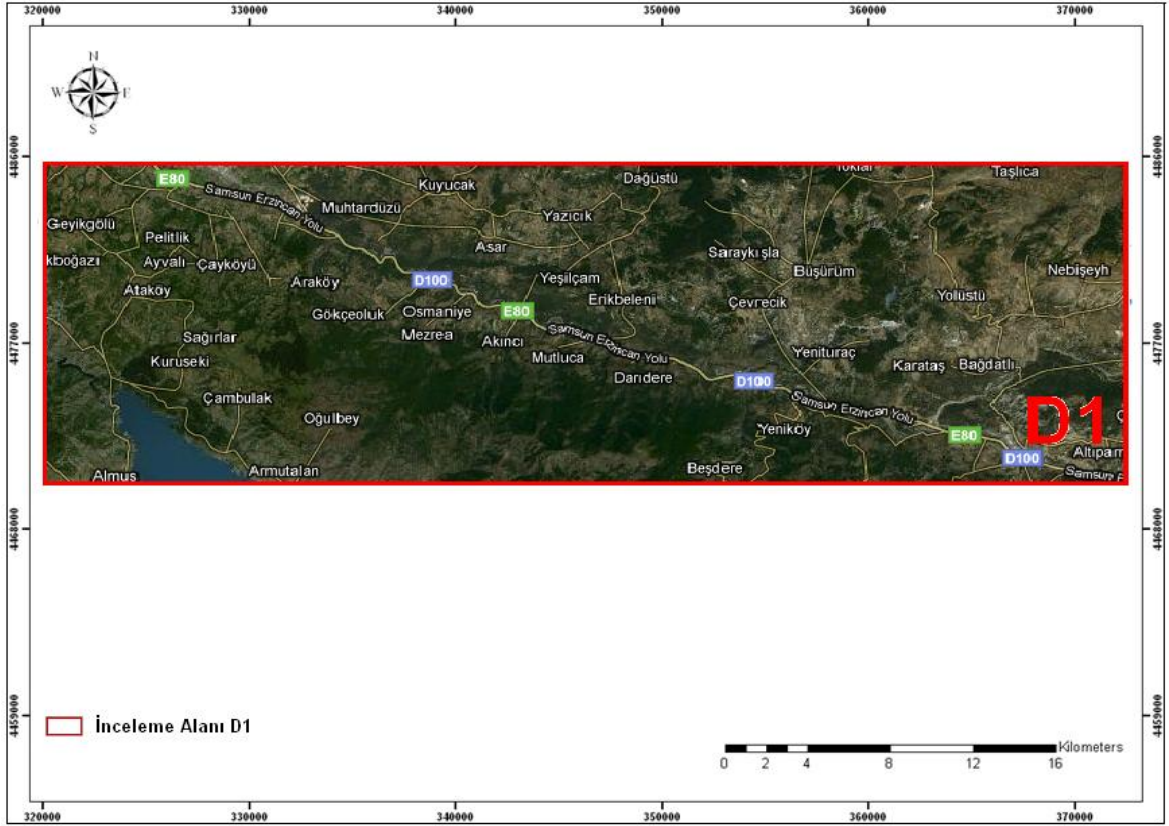
Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan inceleme alanı Niksar'ın güneydoğusu, Reşadiye, Koyulhisar ile Suşehri'nin kuzeybatısı arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 1.a). TOKAT H37-b2, H38-a1, H38-a2, H38-b1(Reşadiye), H38-b2, H38-b3, GİRESUN H39-a4, H39-a3, H39-b4 (Koyulhisar), H39-b3 paftalarını içersine alan inceleme alanı yaklaşık olarak 1445 km^2 'dir. İnceleme alanının çok büyük olmasından dolayı Doktora 1 (D1) ve Doktora 2 (D2) olarak isimlendirilerek iki ayrı alana bölünüp incelenmiştir (Şekil 1.b1- 1.b.2.).



Şekil 1.a. İnceleme alanının yer bulduru haritası

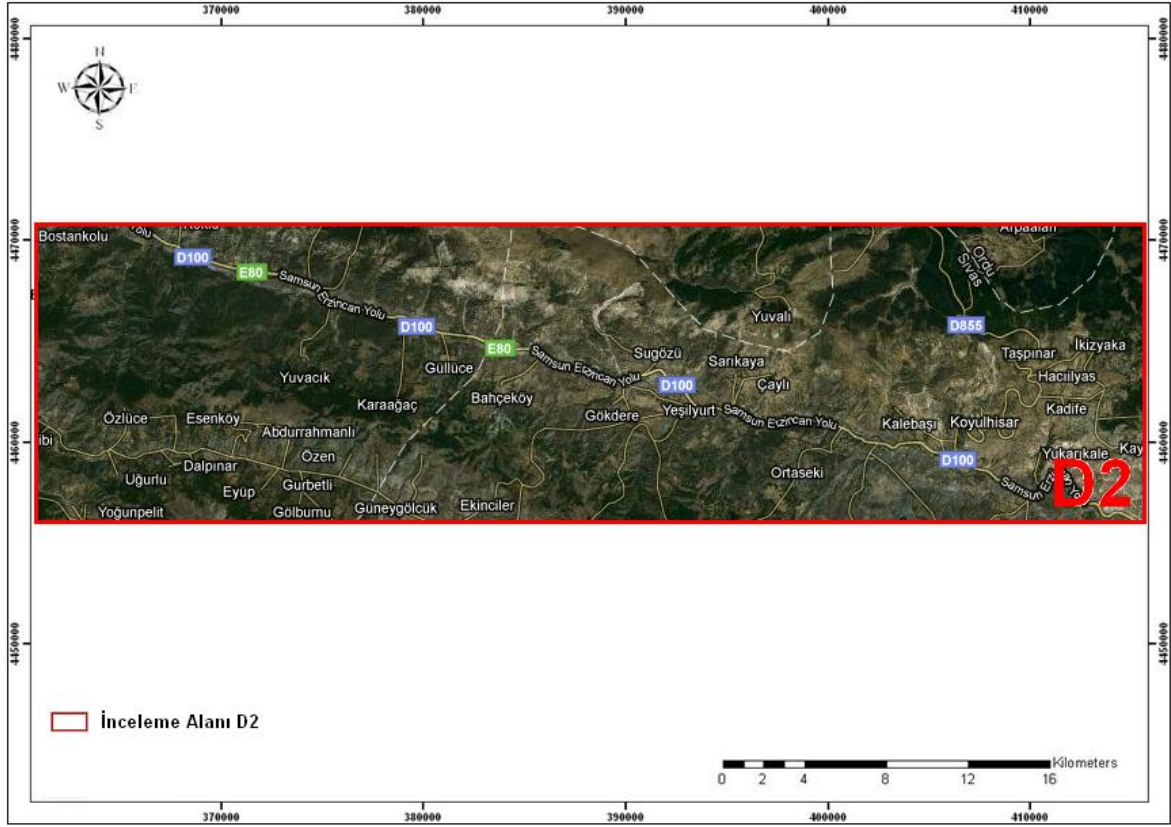
İnceleme alanları içerisinde KAFZ, Erzincan-Samsun D100 (E80) karayolu ve Kelkit çayı geçmektedir. KAFZ en batıda Saroz körfezinden başlayıp, ülkemizin

kuzeyinden geçerek en doğuda Karlıova (Bingöl) civarında son bulmaktadır (Şekil 2). Bu noktada ise ülkemizin bir başka önemli aktif fay zonu olan Doğu Anadolu Fay Zonu ile birleşmektedir. Jeolojik ve GPS verileri ile yılda 2.5 cm hareket ettiğini bildiğimiz 1.100 km uzunluğundaki KAFZ boyunca kayalar çok yoğun bir deformasyonla karşı karşıyadır. Bu deformasyon sonucu özellikle kireçtaşı, kumtaşı gibi kayalarda ezik ve parçalanmış zonlar meydana gelmekte ve heyelan için potansiyel tehlike oluşturmaktadır (Tatar, 2007).



Şekil1.b.1. İnceleme alanı D1 'in konumu

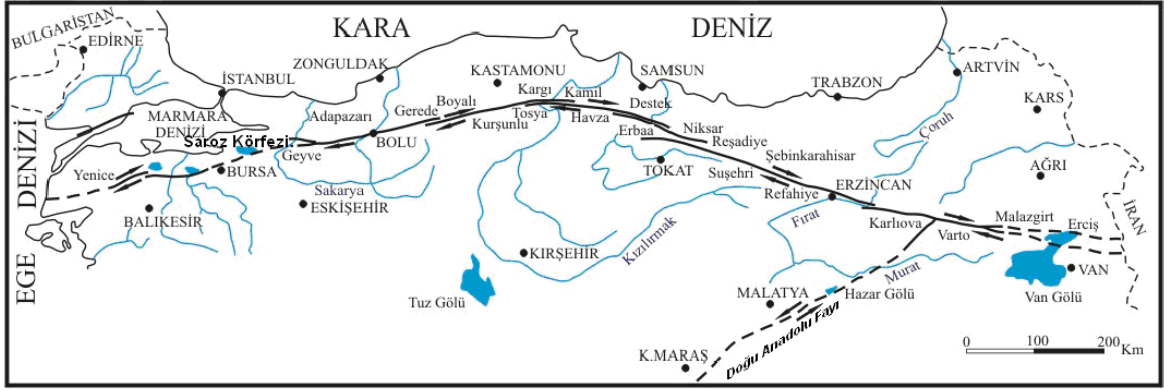
KAFZ, Kelkit vadisi içerisinde geçerek, doğuda Resadiye–Koyulhisar–Susehri–Akıncılar–Gölova ve Refahiye bölgeleri üzerinden Erzincan ovasına ulaşmaktadır. KAFZ 'nda kayalar parçalanmış - ezilmiş, yer yer sıcak veya soğuk su kaynakları ortaya çıkmıştır. Bu su kaynaklarından inceleme alanında bulunan Reşadiye kaplıca suyu, ilçenin hemen kenarında bulunup KAFZ'nun oluşturduğu Kelkit Vadisi içinde yer almaktadır. Bu suyu besleyen kaynağın rezervuar kayacı Zinav Kireçtaşı olarak belirlenmiş ve KAFZ boyunca yüzeye çıktığı anlaşılmıştır. Toplam 31.5 lt/sn debi ve 48 °C sıcaklığa sahiptir.



Şekil1.b.2. İnceleme alanı D2 'in konumu

İnceleme alanında yer alan Kelkit çayı, Erzincan'ın kuzeyinde Sipikör, Pülür, Otlukbeli, Saran ve Balaban dağlarından kaynaklanan suların Gümüşhane ilinin Kelkit ilçesi yöresinde birleşmeleri ile oluşur. Kaynak kodu 1460 m'dir. Tokat ili'nin sınırlarına Reşadiye'nin Umurca Köyü yakınlarında girer. Yusufbey Köprüsü'nden Fatlı Köprüsü'ne kadar dar bir vadiden doğu-batı doğrultusunda akar ve Niksar Ovası'na ulaşır. Kelkit çayı vadisi coğrafi konumu, iklimsel özellikleri, bitki örtüsü ve tarım potansiyeli bakımından önemli bir konumdur. Kelkit çayı vadisi batıda Niksar doğuda Koyulhisar'a kadar uzanan ve KAFZ hattının boyuna kestiği yaklaşık 120 km uzunluğunda tektonik bir vadidir. Bu vadi içerisinde çok sayıda köy heyelanlara bağlı olarak can ve maddi kayıplı zararlar görmüştür (Nefeslioğlu vd., 2008)

İnceleme alanı D1 Almus baraj gölünün kuzeyini içerisine almaktadır. Almus baraj gölü, Almus ilçesi'nin 3,5 km kuzeydoğusunda Tozanlı Çayı'nın hafif bir dirsek çevirerek Omala (Gözova) Ovası boğazına girdiği yerde toprak dolgu tipinde yapılmıştır.



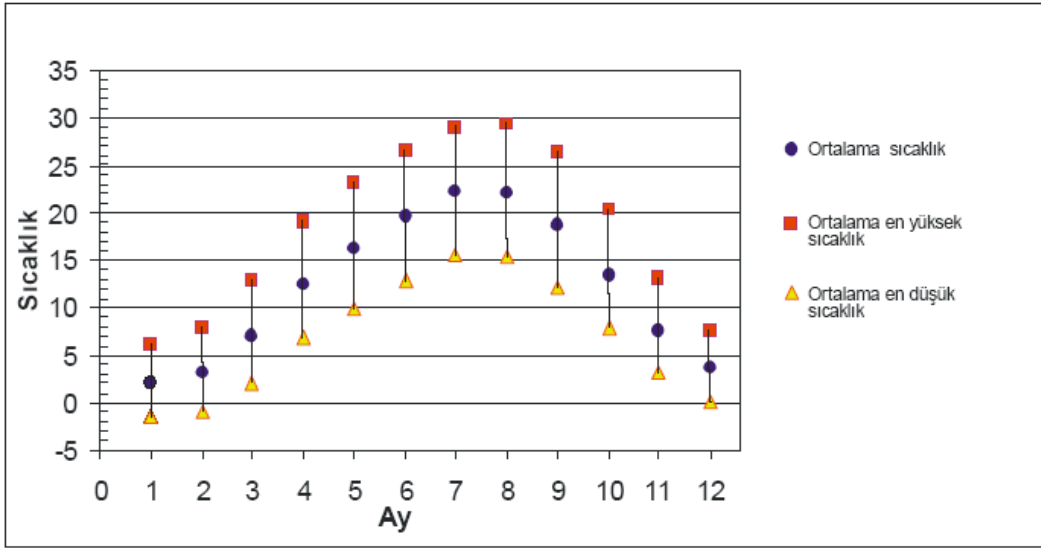
Şekil 2. Kuzey anadolu fay zonunun görünümü

Sedde yüksekliği 95 m, tepe uzunluğu 350 m, tepe genişliği 12 m, gövde dolgusu 3500000 m³'tür. Göl uzunluğu 22 km, gölün en derin yeri 74 m'dir. Kapaksız yan kanalı dolu savak 1550 m³/s su geçirebilme kapasitesi vardır. Göl suyu hidroelektrik tesislere 519 metre uzunluğunda kuvvet tüneli ile girer ve üç adet dikey eksenli francis türbinleri ile ayrıca sulama çıkışından ırmağın yatağına karışır. Hidroelektrik santralinde 27Mw kurulu güçle yılda ortalama 99Gwh enerji üretilir.

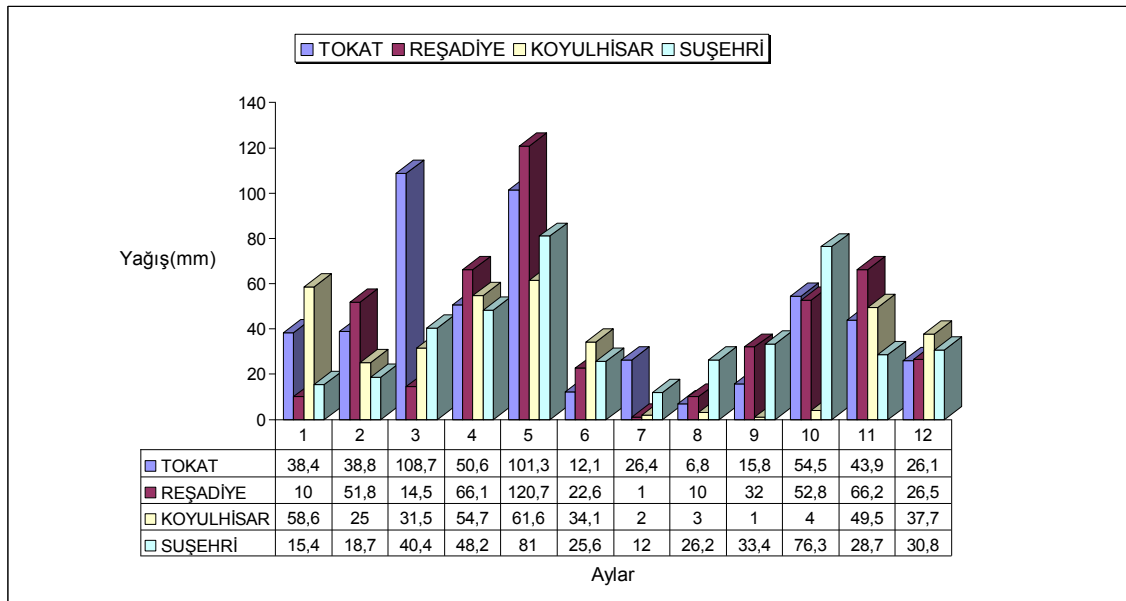
1.4. İklimsel Durumu

İnceleme alanında hüküm süren iklim koşulları Karadeniz ve İç Anadolu iklimine ait özellikleri yansıtır nitelikte olup, yazlar sıcak ve kurak kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DMİGM, 2008) 1975-2007 yılları

arasında yapmış olduğu ölçümlere bağlı olarak, Tokat geneli için gerçekleşen en yüksek sıcaklıkların ortalaması 32.30°C , en düşük sıcaklıkların ortalaması ise -6.65°C olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte 1975-2006 yılları arasında Şubat ayı için ortalama en düşük sıcaklık -1.5°C ve Ağustos ayı için ortalama en yüksek sıcaklık değeri ise 29.4°C 'dir (Şekil 3). İnceleme alanında yağışların büyük kısmı ilkbaharda gerçekleşir. Bölgesel verilere göre yıllık yağış ortalaması inceleme alanı ve çevresinde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından $44,9\text{ mm}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.).



Şekil 3. İnceleme alanı aylara göre sıcaklık değerleri(DHMİGM)

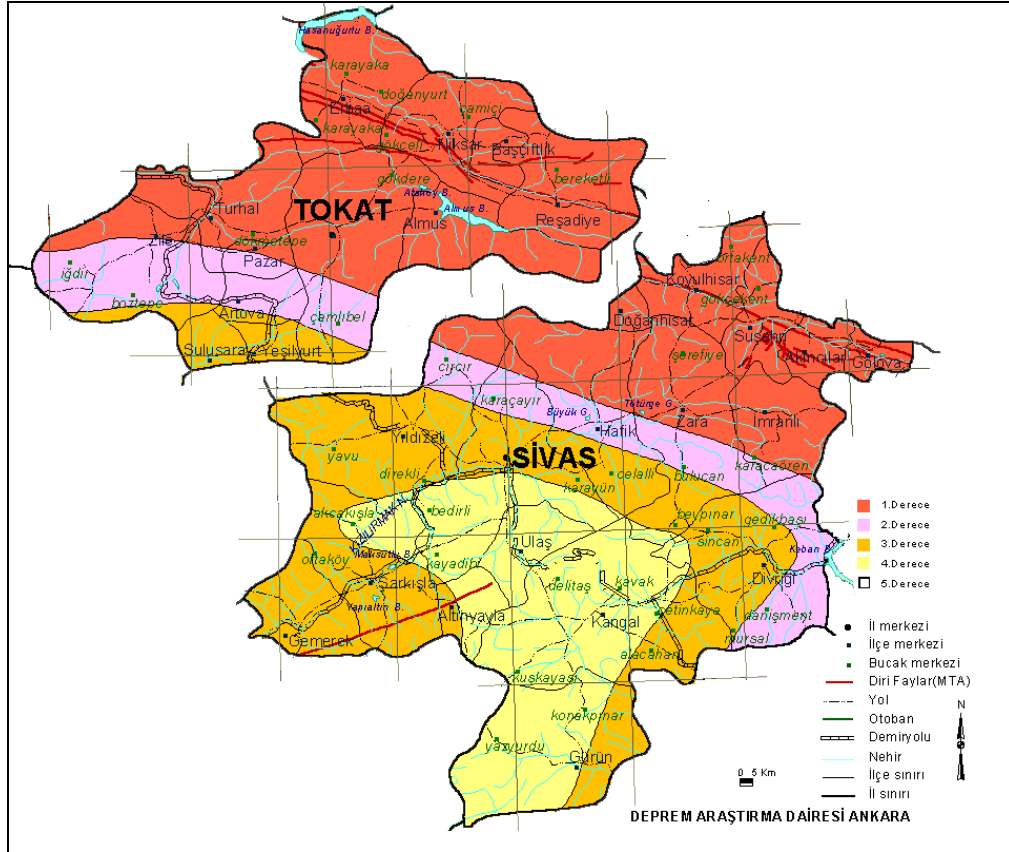


Şekil 4. İnceleme alanı aylara göre yağış değerleri(DHMİGM)

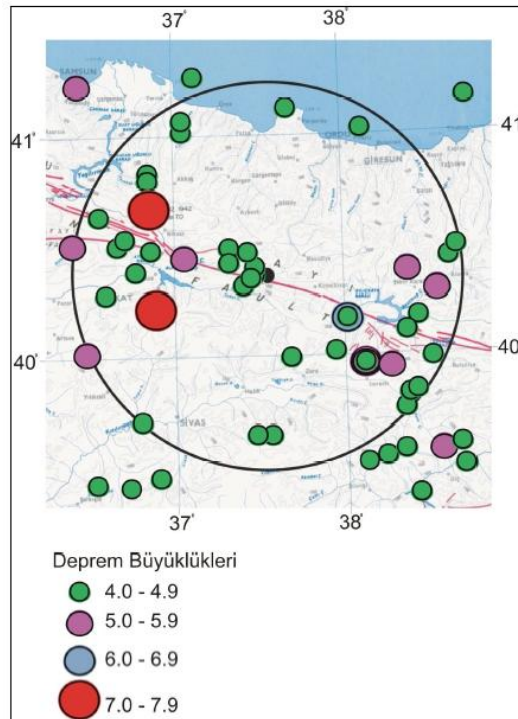
1.5. Depremsellik Durumu

İnceleme alanını yaklaşık doğu-batı uzanımlı kesen KAFZ Anadolu'nun en büyük tektonik hattıdır. Bu nedenle, inceleme alanın depremselliği oldukça yüksektir. Yaklaşık 1100 km uzunluğunda ve genişliği 100 m ile 10 km arasında değişen bir kuşak oluşturacak şekilde Anadolu'yu yaklaşık doğu batı yönünde kesen sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. İnceleme alanını etkileyebilecek en büyük depremi oluşturma bakımından KAFZ'nun Koyulhisar-Niksar segmenti büyük önem taşımaktadır (Şaroğlu vd., 1987). Belirgin ve çok dar bir zon şeklinde uzanan Koyulhisar-Niksar bölümü, inceleme alanının morfolojik yapısını da şekillendiren ana faktördür (Nefeslioğlu vd., 2008). Bu bölümde diğer bölümlerden farklı bir özellik olarak, Niksar Ovası'nın güneyinde KAFZ ile dar açı yapan, KD ve GB doğrultulu faylar yer almaktadır. Bu özellikleriyle, KAFZ'nun bu segmenti inceleme alanında heyelanların sismik tetikleyicisi konumundadır. Kelkit çayının yatağı doğrultu atımlı faylara özgü olarak gelişmiş tipik bir fay vadisi morfolojisine sahiptir. Vadi boyunca vadi tabanı ve yan dereler ile diğer morfolojik unsurlarda sağ yönlü doğrultu atımı gösteren birçok ötelenmeler mevcuttur (Şaroğlu vd., 1987).

Kuzey Anadolu Fay Zonu tarihsel ve aletsel dönemlerde üzerinde birçok yıkıcı büyük depremlerin meydana geldiği ülkemizin en aktif fay zonlarından birisidir. Bu fay zonu üzerinde aletsel dönemde ilk deprem 1939 yılında Erzincan'da oluşmuş, 7.8 büyüklüğündeki bu deprem sonucunda yaklaşık 350 km uzunluğunda bir yüzey kırığı gelişmiştir. Niksar havzasının güneyinde ana fay zonundan ayrılarak yaklaşık D-B gidişli bu yüzey kırığı üzerinde ölçülen atım değerleri 3.7 m. ile 7.5 m. arasında değişmektedir. Bu depremi takiben 20 Aralık 1942 yılında Erbaa-Niksar civarında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem sonucunda yaklaşık 50 km uzunluğunda yeni bir yüzey kırığı meydana gelmiş olup atım değerleri 1.5-2 m arasında değişmektedir (Yetkil, 2009). Bayındırlık Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Deprem Bölgeleri haritasında inceleme alanı 1. Derece deprem bölgesi içerisindedir (Şekil 5). İnceleme alanı merkezli 100 km çaplı dairesel alan içerisindeki bölgede 1900'den günümüze yüzey dalgası büyüklüğü 4.0 ve üzeri olan depremler değerlendirilmiştir (Şekil 6).

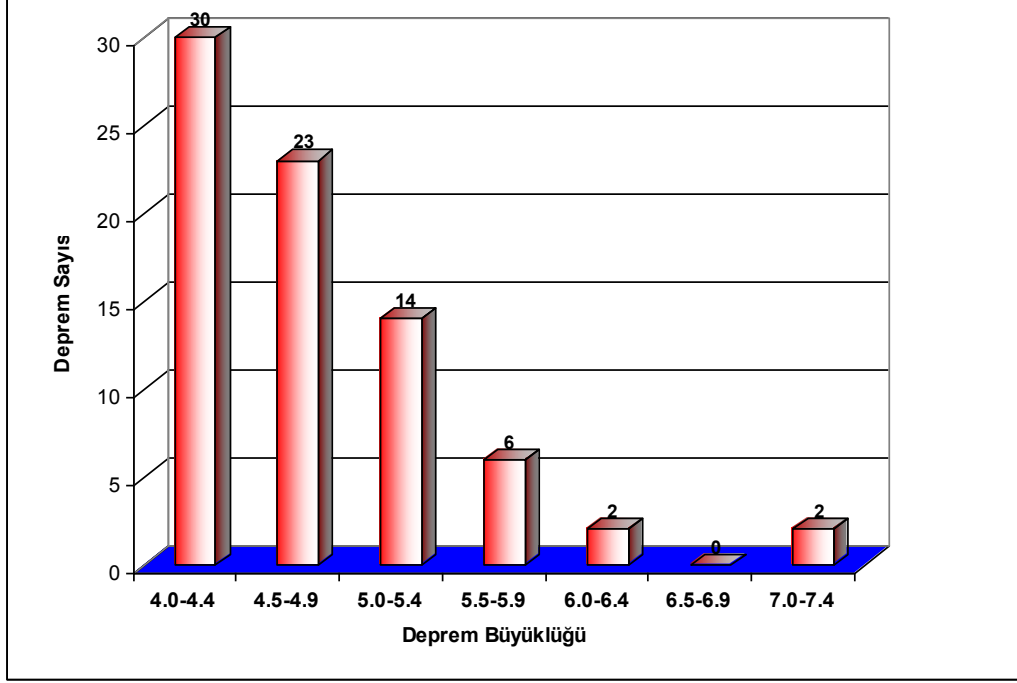


Şekil 5. Tokat-Sivas illeri deprem haritası (URL-1, 2011)

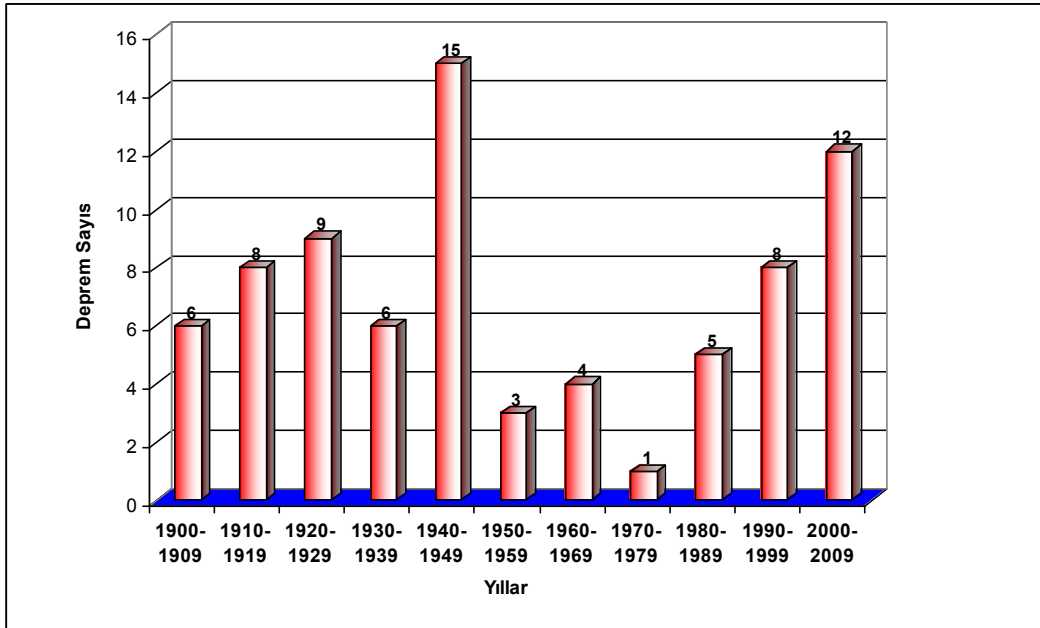


Şekil 6. İnceleme alanı ve yakın çevresine ait sismotektonik harita (URL-2, 2009)

Kelkit vadisi ve çevresi deprem sayısı–deprem büyüklüğü (M) arasındaki ilişki Şekil 7’de, deprem sayılarının yıllara (1900-2008) göre değişimini gösteren histogram ise Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 7. Kelkit vadisi ve çevresinde meydana gelen depremlerin sayısı – deprem büyüklüğü(URL-2, 2009)



Şekil 8. Kelkit vadisi ve çevresinde meydana gelen depremlerin sayısının (Ms 4.0) yıllara (1900-2008 yılları arasında) göre değişimini gösteren histogram (URL-2, 2009)

1.6. Heyelan Duyarlılık Analizleri ile İlgili Literatür Çalışmaları

Heyelan duyarlılık analizi ve haritalarının üretilmesi amaçlı Türkiye'de yapılmış çalışmalardan biri, Mengen (Batı Karadeniz bölgesi) ve çevresinde Gökçeoğlu ve Aksoy (1996) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar çalışmada, toprak zeminlerin makaslama dayanım parametreleri (kayma direnci parametreleri), yamaç eğimi, yamaç yönelimi, göreceli yükseklik, drenaj ağına olan yakınlık, bitki örtüsü ve ana faylara olan yakınlık parametrelerini kullanmışlardır. Parametrelerin hangi ağırlıklarda dikkate alınması gerektiği hususunda deneme-yanılma yöntemini esas alan bir seri karşılaştırma yaparak, parametrelerin eşit ağırlıklarda dikkate alınmasının en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Yeraltısuyu koşullarının bu tür bir çalışma için son derece önemli olduğunu vurgulayan araştırmacılar, çalışmaları sonucunda elde ettikleri haritanın yeraltısuyu koşullarının bilinmesi halinde iyileştirilebileceği belirtmişlerdir. Literatürdeki heyelan duyarlılık çalışmalarının birçoğunda parametre olarak dikkate alınan litolojik özellikler, bu çalışmada kullanılmamıştır. Araştırmacılar, litolojik özelliklerin yerine, toprak zeminlerin makaslama dayanım parametrelerini kullanmışlardır.

Van Westen vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada, CBS destekli heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler küçük ölçekli çalışmalarda dikkate alınan nitel yaklaşım, orta ölçekli çalışmalarda kullanılan istatistiksel nicel yaklaşım ve ayrıntılı çalışmalarda kullanılan deterministik yaklaşım olmak üzere üç ana grup altında sınıflandırılmıştır. Araştırmacılar, sözünü ettikleri bu yöntemlerin hepsinde sahadaki mevcut heyelanların türleri ve alansal yayılımı hakkında bilgi sahibi olunması gerektiğini belirtmiştir. Nitel haritalama yönteminin deneyime ve öznel kurallara bağlı olarak gerçekleştirildiğini belirten araştırmacılar, bu tür bir çalışmada hava fotoğrafı kullanımının son derece önemli olduğunu, ancak yöntemin öznel olması ve güncelleştirmenin de güç olduğuna işaret eden araştırmacılar, bu nedenle nitel analizlerin pratikteki kullanımının sınırlı kaldığını belirtmişlerdir. Veri temeline dayalı ve dolayısıyla nesnel bir yöntem olan çok değişkenli istatistiksel yaklaşımın en önemli sorununun, uygun hücre boyutlarının kullanılmasındaki güçlüklerden kaynaklandığını belirten araştırmacılar, herşeye karşın hücrelerin mutlaka homojen alanları temsil edecek şekilde ayırt edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. İstatistiksel yaklaşımlardan biri olan iki değişkenli istatistiksel yaklaşımın, heyelan oluşumuna neden olan parametrelerin katkı derecelerini belirlemede basit yoğunluk fonksiyonlarıyla birlikte kullanılabileceğini,

ancak, ilgili değişkenler için normalleştirme yapılması gerektiğinin de önemine değinmişlerdir. İki değişkenli nicel istatistiksel analiz yaklaşımının en önemli üstünlüğünün, haritaların birleştirilmesi sırasında uzman görüşünün sisteme dahil edilebilmesidir. Ancak, bu yöntemin ciddi bir eksikliğinin de bulunduğunu belirten araştırmacılar, bu eksikliği, yöntemin koşullu bağımsızlığın kabulünü kullanması olarak özetlemişlerdir. Bu kabullenmenin gerçekçi olmadığını, ancak bu durumu aşabilmek için bir seri yeni işlemlere gereksinim duyulacağını belirten araştırmacılar, genel olarak istatistiksel yaklaşımlardaki en önemli sorunun, geniş alanlardan toplanması gereken veriler için harcanan para ve zaman olacağını belirtmişlerdir. Bu sorunun, tüm çalışma alanı içerisinde seçilecek ve temsil edici daha küçük bir alanın kullanımı ile aşılabileceğini belirten araştırmacılar, böyle bir işlemin, sahaya ve konuya ilişkin ayrıntılı bir deneyimi gerektireceğini de vurgulamışlardır. Değerlendirmelerinde ele aldıkları diğer bir yöntem olan deterministik yaklaşım ise büyük ölçekli haritalarla, ayrıntılı saha verisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu yaklaşımın "harcanan para/elde edilen fayda" oranı dikkate alındığında, uygulamada ciddi sınırlamaları ortaya çıkarabileceği de belirtilmektedir.

Davis ve Keller (1997), çalışmalarında tanımladıkları yaklaşımı kullanarak British Columbia' daki Louise adasının bir bölümünün heyelan duyarlılık haritalarını hazırlamışlardır. Araştırmacılar doğal verilerin bir takım belirsizlikleri içerdiğini belirterek, özellikle bölgesel ölçekli heyelan duyarlılığı açısından değerlendirildiğinde bu belirsizliklerin yerel koşullardan, özelliklerin sınıflandırılmasındaki bölümlenmelerden, bu sınıfların özelliklerini tanımlamadan ve bu özelliklerin yerindeki durumunu yansıtan alansal sınırlardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bulanık mantık temelli yaklaşımla sözü edilen belirsizliklerin önemli ölçüde giderilebileceğini belirten araştırmacılar, elde edilen haritaların arazi çalışmalarıyla kontrolü sonucunda, konuya ilişkin yeterli hassasiyette haritalar üretilebileceği sonucuna varmışlardır.

Atkinson ve Massari (1998), çalışmalarında heyelan tehlike haritalarını doğrudan haritalama yöntemleri ve dolaylı haritalama yöntemleri olarak iki gruba ayırarak, doğrudan yöntemlerin öznel, dolaylı yöntemlerin ise nesnel olduğunu belirtmişlerdir. Genelleştirilmiş doğrusal modellemeyi kullanan araştırmacılar, girdi parametreleri olarak litoloji, tabaka doğrultu ve eğimi, yamaç yönelimi ve eğimi, çizgisellik, bitki örtüsü, toprak kalınlığı, yamacın düşey ve yatay eğriselliği, topoğrafik yükseklik parametrelerini dikkate almışlardır. Araştırmacılar çalışma alanında şeyl ve kireçtaşı olmak üzere iki

farklı litolojinin bulunduğunu, şeyller içerisindeki heyelanların 10°-20°'lik eğimlerde, kireçtaşlarında ise daha yüksek eğimlerde heyelanların meydana geldiğini, bu nedenle eğim parametresini tek başına saha genelinde değerlendirmenin güç olduğunu belirtmişlerdir. Belirtilen bu güçlüğü aşılabilmesi için genelleştirilmiş doğrusal modellemenin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Elde edilen duyarlılık haritalarının hassasiyetinin değerlendirilmesi için geçmişteki heyelanlarla karşılaştırma yapılabileceğini ve bunun sonucu olarak ta üretilen haritaların hassasiyetinin iyi olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir.

Nagarajan vd. (1998), çalışmalarında, çalışma alanı ile ilgili parametreleri önem derecelerine göre üç ana grup altında toplamışlardır. Bunlardan birinci grup yamaç eğimi ve arazi kullanımı potansiyeli; ikinci grup drenaj yoğunluğu, göreceli yükseklik ve yamaç şekli; üçüncü grup ise çizgisellikler ile yol hatlarıdır. Sözü edilen parametrelere önem dereceleri atandıktan sonra, basit çakıştırma yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasını elde etmişlerdir.

Rowbotham ve Dudycha (1998), çalışmalarında Nepal'deki Phewa Tal havzasının heyelan tehlike haritasını, mantıksal regresyon analizi kullanılarak üretilmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında arazi kullanım potansiyeli, litoloji, toprak zonu derinliği, yüzey akış potansiyeli, yamaç eğimi, drenaj yoğunluğu, yamaç yönelimi, yamaç şekli parametrelerini dikkate alarak; sahayı birim alanlara ayırmış ve her bir birim alan için mantıksal regresyon analizini yapmışlardır. Çalışmada, sahadaki mevcut heyelanlarla üretilen haritaların karşılaştırılması sonucunda, % 90 civarında bir uyumun olduğunu belirlemişlerdir.

Aleotti ve Chowdhury (1999), çalışmalarında bir heyelan duyarlılık değerlendirmesinin: (a) nerelerde heyelan oluşacak?; (b) hangi tür duraysızlık oluşacak? ve (c) duraysızlık nasıl oluşacak? vb. sorulara yanıt verebilecek düzeyde bilgi içermesi gerektiğini belirtmişlerdir. Mevcut heyelan duyarlılık analizi yaklaşımlarını nitel ve nicel yöntemler olarak sınıflandıran araştırmacılar, bunları da beş alt gruba ayırmışlardır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde standart ve geleneksel matematiksel yöntemlerin sınırlı kaldığını belirten araştırmacılar, bunun yerine son yıllarda yaygın biçimde kullanılmaya başlayan bulanık mantık, yapay sinir ağlarının kullanımı gibi esnek hesaplama yöntemlerinin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde başarıyla kullanılabileceğinden söz etmişlerdir. Bununla birlikte araştırmacılar; özellikle politik, ekonomik ve sosyal nedenlerden dolayı, bugüne kadar hazırlanan heyelan duyarlılık,

tehlike ve risk haritalarının, % 25'inden daha azının pratik anlamda kullanıldığını belirtmişlerdir.

Fernandez vd. (1999), İspanya'nın Granada bölgesinde yer alan bir alanın heyelan duyarlılık haritasını topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi ve yönelimi, düşey yöndeki eğrisellik, litolojik ve yapısal özellikler, ortalama yıllık yağış, bitki örtüsü ile drenaj ağı parametrelerini dikkate üretmişlerdir. Çalışmada nicel analiz yöntemlerinden birisi olan matris analizini dikkate almışlardır. Bu yöntemde, dikkate alınan parametrelerin olası tüm kombinasyonlarının oluşturulduğu matrislerle ifade edilmekte ve toplam alanın bir fonksiyonu olarak, heyelan oranını temsil eden duyarlılık matris değerleri hesaplanmaktadır. Araştırmacılar çalışmalarının ikinci aşamasında ise elde ettikleri heyelan duyarlılık haritasının uygulanabilirliğini denetleyebilmek için eşleştirme yakınlığı katsayısını uygulamışlardır. Bu katsayı, heyelan envanter haritası ile üretilen duyarlılık haritasının piksel düzeyinde karşılaştırılmasını temel almaktadır.

Guzzetti vd. (2000), heyelan haritalarını envanter, yoğunluk ve tehlike olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır. Bunlardan bölgesel heyelan tehlike modellerinin heyelan haritalama tekniği açısından en gelişmiş ve karmaşık şekli olduğunu belirtmişlerdir. Heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde çok değişkenli istatistiksel analizlerin en iyi sonucu veren yöntemlerden biri olduğu, ancak yine de sınıflama açısından ciddi sorunların bulunduğu belirtmişlerdir. Literatürde yer alan çok sayıda çalışmaya rağmen heyelan tehlike haritalarının üretilmesine ilişkin gerek kullanılan yöntemler ve gerekse parametreler açısından henüz bir fikir birliğine ulaşılamadığı, bu tür haritaların taşıdığı belirsizliklerin özellikle heyelan envanterinin oluşturulmasında kullanılan verilerin kalitesinden ve ağırlıklı olarak nitel tanımlamalardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar gelecekte önerilecek yeni heyelan tehlike modellerinin, mutlaka incelenen bölgelerdeki yerel değişkenlikleri dikkate alması gerektiğine dikkat çekmişlerdir.

Luzi vd. (2000), çalışmalarında sismik açıdan aktif ve heyelanların depremler tarafından tetiklendiği bir bölge olan Serchio Nehri Havzası (İtalya)'nın heyelan duraylılık haritasını, kritik yatay ivmeyi dikkate alarak, sonsuz şev modeli yardımıyla üretmişlerdir. Araştırmacılar, sonsuz şev modelinin bu tür amaçlar için kullanışlı bir yaklaşım olduğunu ancak, özellikle geoteknik parametrelerin alansal dağılımındaki değişkenliklerin ciddi belirsizliklere neden olabileceğini vurgulamışlardır. Bu nedenle, geoteknik parametrelerin alansal dağılımını belirleme esnasında olasılık yaklaşımı ve Monte Carlo benzeştirme yaklaşımı gibi bazı yöntemlerin dikkate alınması gerektiğini

belirmişlerdir.

Nagarajan vd. (2000), çalışmalarında; drenaj yoğunluğu, yamaç eğimi ve yönelimi, göreceli yükseklik, arazi kullanım potansiyeli, kayaçların tabakalanma özellikleri, süreksizlikler, bozunma, çizgisellik, toprak türü, toprak-kayaç ilişkisi, toprak zonu derinliği, günlük yağış ve yağış şiddetini; deneyimi temel alan, öznel bir puanlama sistemi ile karşılaştırılmışlardır. Bu çalışma, literatürdeki çalışmalar arasında, en fazla parametreyi dikkate alan çalışmalardandır.

Martinez-Alegria vd. (2000), çalışmalarında İspanya'daki Pisuerga havzasının heyelan duyarlılık haritasını, litolojik özellikler, yamaç eğimi, süreksizliklere ve drenaj ağına olan uzaklık parametrelerini kullanarak üretilmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında her bir parametrenin üyelik fonksiyonunu ve ağırlık değerlerini asal öz vektör matrislerini kullanarak elde etmişlerdir. Kullandıkları parametreleri temsil edecek daha gerçekçi üyelik fonksiyonlarının üretilmesi gerektiğini ve daha fazla parametrenin değerlendirilebilmesi amacıyla, yeni çalışmalara gereksinim duyulduğunu belirtmişlerdir.

Dai ve Lee (2001), çalışmalarında litoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yükseklik, bitki örtüsü ve drenaj hatlarına olan uzaklığı heyelan oluşumunda etkili parametreler olarak analizde kullanmışlar ve parametreleri heyelan duyarlılığına katkısı olan ve tetikleyici parametreler olmak üzere iki grup altında toplamışlardır. Araştırmacılar, coğrafi bilgi sistemlerinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çok önemli bir araç olduğunu belirtmişlerdir., bunlardan heyalan duyarlılığına katkısı olan parametrelerin kendi içindeki ağırlıklarını temel bileşen analizinin bir türü olan uygunluk analizi ile belirlemişlerdir. Ayrıca, coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılmasının deneme-yanılma yönteminin uygulanmasına olanak sağladığını, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde, coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanılmasının kaçınılmaz olduğunu belirtmişlerdir.

Gritzner vd. (2001), çalışmalarında, A.B.D'deki Payette Nehri havzasının heyelan tehlike haritasını litoloji, yamaç eğimi, yükseklik, yamaç yönelimi ve nemlilik indeksini parametrelerini dikkate alarak oluşturmuşlardır. Araştırmacılar özellikle istatistiksel değerlendirmeleri temel alan bu tür çalışmalarda bir bölgeden elde edilen sonuçların, başka bölgeler için uygulamasının yanlış sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada özellikle yamaç eğimi ve yükseklik ile heyelan oluşumu arasında yakın ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar özellikle yakın geçmişte bu konudaki modellerin, coğrafi bilgi sistemlerinin ve bilgisayar teknolojisinin önemli ölçüdeki

gelişimine bağlı olarak gelecekte heyelanların değerlendirilmesi açısından daha verimli sonuçların elde edilebileceği yeni modellerin ve yaklaşımların olabileceğini belirtmişlerdir.

Lee ve Min (2001), çalışmalarında mantıksal regresyon analiz yaklaşımını kullanarak heyelan duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Araştırmacılar yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli, litoloji, toprak türü ve kalınlığı ile bitki örtüsünü heyelanlarla ilişkili parametreler olarak dikkate almışlardır. Her bir parametrenin heyelan oluşumundaki ağırlığını mantıksal regresyon analizleri ile belirlemişlerdir. Genel olarak araştırmacılar heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde gereksinim duyulan ayrıntılı heyelan envanterinin eksikliğini önemli bir sorun olarak ortaya koymalarına karşın, Güney Kore için böyle bir sorunun olmadığını ve ülkenin tamamına yakınına ait ayrıntılı heyelan envanterinin bulunduğunu belirtmişleridir.

Zhou vd. (2002), 1993'te şiddetli ve aşırı yağışlar sonucu Lantau'da meydana gelen heyelanları incelemişlerdir. İstatistiksel yaklaşımları kullanarak bölgesel ölçekte, heyelanlarla, heyelanlara neden olan parametreler arasındaki konumsal ilişkiyi araştırmışlardır. Heyelanlarla heyelana neden olduğu düşünülen parametreleri karşılaştırarak istatistiksel histogramlar hazılamışlardır,. Araştırmacılar bu şekilde, mevcut heyelanlarla, heyelan oluşumuna neden olan parametreler arasındaki ilişkinin konumsal modelini etkili biçimde değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Heyelanların çoğunlukla 250-350 eğim değerine sahip yamaçlarda gerçekleştiğini tespit etmişleridir Heyelan verileri arazi örtüsü ile karşılaştırıldığı zaman, büyük miktardaki heyelanların çıplak ve çalılarla kaplı alanlar ve farklı bitki türleri arasındaki geçiş zonlarında meydana geldiği görülmüştür. Araştırmacılar önerilen yaklaşımın, sadece bu tür bir ilişkinin genel özelliklerini analiz etmek için değil, aynı zamanda bölgesel ölçekte heyelan tahmini için temel bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Clerici vd. (2002), İtalya'da Parma Nehri boyunca yaklaşık 332 km²'lik bir alanda heyelan duyarlılığı çalışmasını, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan durumsal analiz (conditional analysis) yöntemini kullanarak yapmışlardır. Bu analiz yöntemi, geçmişte meydana gelmiş olan heyelan koşullarının, gelecekte de aynı koşullar altında gelişebileceği esasını temel almaktadır. Heyelan oluşma olasılığını, meydana gelmiş heyelanlara ait özelliklerin alansal yayılımının, heyelanlı alanlara oranı şeklinde hesaplamışlardır. Heyelan envanterini bölgeye ait hava fotoğraflarından yararlanarak oluşturan araştırmacılar, heyelanları Varnes (1978) sınıflamasına, türlerine göre

sınıflamışlardır. Ancak, sonuç duyarlılık haritasında heyelan türü gözetilerek bir sınıflama yapmanın kullanışlı olmayacağını belirtmişlerdir. Litoloji, yamaç eğimi, yapısal unsurların yamaçla olan ilişkisi, yağış ve arazi kullanımı parametrelerinin etki oranlarını çoklu regresyon analizi ile değerlendirmişler ve buna ilişkin bir yazılım üretmişlerdir.

Çevik (2002), Sakarya'nın doğusunda yer alan Hendek ilçesinin kuzey kesiminden geçen doğal gaz boru hattının, bölgede meydana gelen heyelan sonucu zarar görmesinden dolayı, geçirilecek yeni boru hattı güzergâhının belirlenmesi için heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuştur. Çalışmada jeoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yükseklik, arazi kullanımı, bitki örtüsü, drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına ve faylara yakınlık parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelere ilişkin, istatistiksel indeks (W_i) ve ağırlık faktörü (W_f) değerleri hesaplanarak, 5 adet heyelan duyarlılık zonu oluşturulmuştur. Bölgedeki heyelanların, pekişmemiş ve/veya az pekişmiş birimler ile bozunma zonlarında geliştiği belirlenmiştir. Bu çalışmada, incelenen bölgede heyelan duyarlılığı açısından en etkin parametrenin, litoloji olduğu belirlenmiştir.

Süzen (2002), çalışmada Akarsuyu havzası ve Bolu Dağı otoyol geçişlerinde, jeolojik, topoğrafik ve uzaktan algılama ürünlerini kullanarak, heyelan duyarlılığının belirlenmesine yönelik yeni bir yöntem geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla bölgedeki heyelan duyarlılığını, yoğunluk analizleri, istatistiksel analizler, mantıksal regresyon gibi farklı yöntemlerle ayrı ayrı inceleyen araştırmacı, bu yöntemler içerisinde mantıksal regresyonla yapılan değerlendirmelerin, bölgedeki heyelan duyarlılığını daha iyi yansıttığını belirlemiştir. Araştırmacı, 25*25 m'lik bir grid ağı kullanılarak 13 ayrı parametreyi dikkate almış ve bölgeye ait hava fotoğraflarını kullanarak, heyelan envanterini oluşturmuştur. Araştırmacı, heyelanlı kütlelerin özelliklerini ve heyelana neden olan koşulların olduğu iki farklı türdeki bilgiyi 5 ayrı veri tabanına aktararak, heyelan oluşumunda karar verme aşaması için yeni bir yaklaşım olan kök hücre (seed cell) kavramını geliştirmiştir.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002), Batı Karadeniz Bölgesindeki Yenice kuzeyini kapsayan bir alanın heyelan duyarlılık haritasını, bulanık mantık yaklaşımını kullanarak üretmişlerdir. Arazi ve hava fotoğrafı çalışmalarını kullanarak heyelan envanterini oluşturmuşlardır. Çalışmada yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik, yamaç yönelimi, bozunma zonu derinliği, su koşulları ve arazi kullanım potansiyeli parametreleri için

veri temelli bulanık kurallar oluşturarak, sonuç duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Birçok çalışmada parametre olarak dikkate alınan litolojinin bu çalışmada kullanılmamasının nedeninin arazinin tümüyle aynı litolojik birimden oluşmasından dolayı olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, çalışmalarındaki en önemli belirsizliğin su koşullarının değerlendirilmesi sırasında ortaya çıktığını, bu belirsizliğin giderilebilmesi için Anbalagan(1992) tarafından önerilen gözleme dayalı basit sınıflamanın kullanılmasına karşın çalışma alanındaki heyelanların çoğunun yağışlar tarafından tetiklenmiş olduğunu, çalışma sezonuna bağlı olarak, farklı değerlendirmelerin ortaya çıkabileceğini belirtmektedirler. Heyelan duyarlılığın değerlendirilmesinde kullanılan mevcut yöntemlerin hiçbirinin mükemmel çözümler getirmediğini vurgulayan araştırmacılar, bulanık kümelerin kullanımının en önemli üstünlüğünün sayısal ve kavramsal verilerin birarada değerlendirilebilmesinin olduğunu belirtmişlerdir.

Dai ve Lee (2002), bu çalışmalarında çok değişkenli mantıksal analiz yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Bu çalışmada da, Dai ve Lee (2001)'deki alanı ve hemen hemen aynı parametreleri kullanmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri duyarlılık haritasının, arazideki mevcut koşullar ile % 85 gibi bir uyumluluk gösterdiğini belirlemişlerdir.

Lee vd. (2003), çalışmalarında Güney Kore'nin Janghung bölgesinin heyelan duyarlılık haritasını oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla öncelikle bölgedeki heyelanları uydu görüntülerinden belirleyip, heyelan duyarlılığının yapısal unsurlar ve topoğrafik özellikler ile olan ilişkisini araştırmışlardır. Daha sonra, arazi gözlemleri sonucunda yapısal unsurların özelliklerini belirlemişlerdir. Heyelanların, topoğrafik verilerin ve jeolojik yapının olduğu bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Veri tabanındaki parametreler çakıştırılarak, öncelikle topoğrafik ve jeolojik yapı arasındaki ilişki ortaya konulmuş ve elde edilen geometrik ilişkiler yardımıyla, her bir piksel için gerekli hesaplamalar yapılarak, bölgenin heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, oluşturulan haritanın doğruluğunun değerlendirilmesi için heyelan duyarlılık haritası ile bölgedeki heyelanlar çakıştırmış ve sonucun tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu tür haritaların, özellikle heyelan tehlikesinin belirlenmesinde ve bölgesel planlama çalışmalarında, oldukça kullanışlı olacağı hususuna da değinmişleridir.

Lee vd. (2004), Boun kenti için CBS ve Uzaktan Algılama tekniklerini kullanarak heyelan tehlike analiz çalışması yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, heyelan

lokasyonlarını hava fotoğrafları yorumlamalarından ve arazi çalışmalarından yararlanarak belirlemişlerdir. Topoğrafya, jeoloji ve arazi örtüsü ile ilgili bilgileri CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri ile detaylandırmışlardır. Heyelanların oluşmasında etkili olan eğim, bakı ve topoğrafyadaki engebeler vb. verileri topoğrafik veri tabanından elde etmişlerdir. Daha sonra bu veri kümelerinin CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri ile analizleri sonucu heyelan açısından tehlikeli bölgelerini tespit etmişlerdir.

Gökçeoğlu vd. (2005), 17/03/2005 günü Sivas ili, Koyulhisar ilçesi, Sugözü köyü'nün Kuzulu Mahallesi'nin yerleştiği alanın üst kotlarında meydana gelen büyük ölçekli bir heyelanı incelemiş ve yakın çevresi için, jeoloji, eğim, görünüş, yükselti, topoğrafik yağış indeksi, akarsu etkisi indeksi parametrelerini dikkate alarak heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Gökçeoğlu vd. (2005), çalışmalarında, sadece kar erimesi sonucu oluşan Kuzulu heyelanı 1800 m kotlarındaki bozunmuş volkanik birimler içerisinde gelişen dairesel (kütleli) bir yenilme olduğunu, hareket eden malzemenin topuk bölgesinde depolanabileceği bir düzlük alan bulunmadığından, malzemenin Agnus deresinin yan bir drenaj kanalına ulaştığını, son derece dik eğime sahip kanalda malzemenin hızlanarak hareket etmiş ve Kuzulu mahallesinin bir bölümünü örttüğünü, heyelan sırasında hareket eden malzemenin hacminin yaklaşık olarak 12,5 milyon metreküp olduğunu ve aşırı hızlı heyelan sınıfında yer alan Kuzulu heyelanın yer aldığı alanın bir paleoheyelan bölgesi olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar aktivitesini sürdürmekte olan Kuzulu heyelanı nedeniyle, Agnus deresi ve Kuzulu mahallesi halen heyelan riski altında olduğunu ve oluşturulan duyarlılık haritasının yeni yerleşim yerleri için bir altlık teşkil edeceğini belirtmişlerdir.

Çan vd. (2005), Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde, özellikle Mayıs 1998'de şiddetli ve aşırı yağışların neden olduğu çok sayıda akmaları incelemişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada sığ akmaların konumsal dağılımını belirlemek ve de üç farklı havzada bu sığ akmalara ait duyarlılık haritası hazırlamayı amaçlamışlardır. Tek koşullu birimler (UCU) oluşturulmuş ve mantıksal regresyon analizi uygulanarak duyarlılık haritaları hazırlanmıştır. Uygulama süresince çeşitli hassasiyet analizleri yapılarak bazı zorluklar aşmaya çalışılmıştır. Özellikle analiz için akmaların gerçekleştiği piksel sayısının (1), akma gerçekleşmeyen piksel sayısına (0) oranı çok az olduğu için, gözlemlenen 1/0 oranından hareketle, analizde kullanılacak 0 ve 1 lerin sayısı belirlenmiştir. Havzalar için 1/0 oranı farklı olduğu için çalışmada her bir havza için analizde kullanılan 0 ve 1 lerin sayısı da farklı alınmıştır. Ayrıca bu oranın kullanılabilirliği

tartışılmıştır. Çalışma neticesinde her üç havzada da meydana gelen akımların, aşırı yağışların tetikleme ile oluştuğu ve çok yüksek duyarlı alanlarda yer aldığı görülmüştür.

Guzetti vd. (2005), geniş araziler için heyelan riskini tanımlayarak, heyelanın nerede, ne kadar sıklıkla ve ne büyüklükte olacağını önceden bildiren bir olasılık metodu üzerinde çalışmışlardır. Guzetti vd. (2005), çalışmalarında, İtalya'nın kuzeyinde bulunan Staffora nehir havzasının 1995-1999 yılları arasında çekmiş oldukları fotoğraflardan yararlanarak, havzayı 2243 jeo-morfo-hidrolojik kısma bölerek, heyelanların tematik değişkenlerinin farklı analizlerine morfoloji, litoloji, yapısal ve arazi kullanımını da ekleyerek heyelan envanter haritalarını oluşturmuşlardır. Her harita parçası için heyelanların tekrarlanmasını heyelanın toplamına bölerek sayısal çizelge oluşturmuşlardır. Envanter haritalarından elde ettikleri bilgiler doğrultusunda sık sık oluşan heyelan alanlarının analizi ile muhtemel heyelan hacmini elde etmişlerdir.

Van Den Eeckhaut vd. (2005), Belçika'nın Flemish Ardennes bölgesinde yaklaşık 200 km²'lik alanın heyelan duyarlılık haritasını çok değişkenli regresyon (lojistik regresyon) analizi kullanarak oluşturmuşlardır. Araştırmacılar hipotezlerini gelecekte meydana gelebilecek heyelanların, geçmişte oluşanlarla aynı sebepten olabileceği üzerine kurmuşlardır. Daha önce olmuş heyelanlara ait bilgileri, detaylandırılmış heyelan envanter haritalarından ve LIDAR analizleri sonucu elde etmişlerdir. Neden olan faktörlere ait bilgileri (şev eğimi, görünüş, litoloji, zemin drenajı) dijital yükselti modeli olan LIDAR 'dan ve topoğrafya, litoloji ve zemin haritalarından elde etmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritasını çok yüksek, yüksek, orta, düşük duyarlı olmak üzere 4 sınıfa ayırmışlardır. Heyelan duyarlılık haritalarının, önlem çalışmalarının belirlenmesi, heyelanların insanlara etkisinin azaltılması için önemli çalışmalar olduklarını belirtmişlerdir.

Chau ve Chan (2005), Hong Kong Adası'nda meydana gelen 1834 adet heyelanverisinden hareketle mantıksal regresyon ve CBS kullanarak heyelan duyarlılık haritaları üretmişlerdir. Hong Kong Adası doğu batı doğrultusundaki su bölümü hattı sayesinde kuzey ve güney bölgelere ayrılarak, heyelan envanterinin bölgesel eğilimi incelenmiştir. Adanın güney bölgesi için hazırlanan duyarlılık haritasında bu bölgedeki veriler kullanıldığı zaman üretilen haritanın kuzey bölgesi verileri ile üretilen haritadan önemli oranda farklı olduğu görülmüştür. Benzer durum adanın kuzeyi için de söz konusu olmuştur. Bu yüzden, Hong Kong Adası'nın duyarlılık haritası bölgesel veri analizine dayandırılarak hazırlanmış ve bu haritalar eski heyelanların konumsal dağılımı ile yakın ilişkili bulunmuştur. Yükseklik faktörü, heyelan oluşumunu etkileyen en önemli faktör

olarak düşünölmüş ve bu durum adada yerleşimin belirli topoğrafik yüksekliklerde toplanması ile ilişkilendirilmiştir. Hazırlanan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için, sınıflama haritası, en iyi uyumluluk ve meydana gelme oranı kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık zonlarının boyutunun kullanılan veri setlerine bağılı olarak değıştiğı görölmüşür. Bu konuda bölgenin jeolojik durumu ve insan aktivitelerinin etkili olduğı belirtilmiştir. Sonuç olarak heyelan parametrelerine ilişkin veriler kullanılırken bölgesel farklılıkların kesinlikle dikkate alınması gerektiğı vurgulanmaktadır.

Ayalew ve Yamagishi (2005), Japonya'da Kakuda-Yahiko bölgesinde heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında çok değışkenli istatistiksel analizlerden birisi olan mantıksal regresyon analizini kullanmıştır. Araştırmacılar bu yaklaşımın kullanılma nedenini, diğer çok değışkenli istatistiksel yöntemlere göre daha esnek olması ve de, elde edilen modelin yorumunun iki değışkenli istatistiksel analizle birleştirilebilmesi olarak belirtmişlerdir. Duyarlılık haritalarının hazırlanmasında mantıksal regresyon analizinin kullanımının amacını ise, heyelanlarla (bağımlı değışkenle) bir dizi bağımsız değışken arasındaki ilişkiyi tanımlamak için, en uygun fonksiyonun bulunması şeklinde ifade etmişlerdir. Çalışmada bağımlı değışkeni temsil edecek 87 adet heyelanı içeren bir envanter haritası kullanılmıştır. Analizde heyelan olan durumlar 1, olmayan durumlar 0 olarak tanımlanmıştır. Litoloji, anakaya-yamaç ilişkisi, çizgisellik, yamaç eğimi, eğim yönü (bakı), yükseklik ve anayol ağırları bağımsız değışken olarak alınmıştır. Heyelan oluşumunda her bir parametrenin etkisi, mantıksal regresyon analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen katsayılar, anayol ağırlarının, heyelan oluşumu ve dağılımını belirlemede asıl etkili rolü oynadığını göstermiştir. Jeomorfolojik parametreler arasında yamaç eğimi ve eğim yönünün (bakı), yüksekliğe göre heyelan oluşumunda daha etkili olduğı belirlenmiştir. Üretilen olasılık haritası kullanılarak, çalışma alanı heyelan duyarlılığı açısından, aşırı düşük, çok düşük, düşük, orta ve yüksek duyarlılıktan oluşan 5 kategoride sınıflandırılmıştır. Orta ve yüksek duyarlı alanların toplam çalışma alanının %8,87'sini oluşturduğı ve Kakuda-Yahiko Dağı'nın doğusunda yer alan orta yükseklikteki yamaçlarda bulunduğı belirlenmiştir.

Mazman (2005), çalışmada, Bartın ilinin güneydoğusunda ve Bartın Çayı'nın ana kollarından birini oluşturan Kumluca havzasının (340 km²) heyelan duyarlılık değılendirmelerini, coğrafi bilgi sistemleri ve çok değışkenli istatistiksel analiz yöntemlerini birlikte kullanarak belirlemiştir. Heyelanların oluşumunda önemli rol oynayan jeolojik faktörler, topoğrafik faktörler, çevresel faktörler, arazi çalışmaları ve

bölge ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara göre değerlendirip CBS ortamında sayısallaştırmışlardır. Heyelan duyarlılık haritasını, bölgenin heyelan envanter haritası ve heyelanları hazırlayıcı faktörlerin mantıksal regresyon analizi ile değerlendirerek üretmişlerdir. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasını çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş zona ayırmışlardır.

Ercanoğlu (2005), Batı Karadeniz bölgesinde yapay sinir ağları metodunu kullanarak heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapmayı amaçlamışlardır. Kapsamlı arazi çalışması ve hava fotoğraflarının yorumlanmasıyla toplam 317 heyelan tespit edilerek heyelan envanter haritası oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde yamaç eğimi, yamaç yönelimi, topoğrafik yükseklik, topoğrafik biçim, yağış indeksi ve bitki örtüsü indeksi olmak üzere 6 parametre kullanmışlardır. Çalışma sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre çalışma alanının %26,5'inin heyelana karşı duyarlı olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar yapay sinir ağları metodunun heyelan duyarlılık çalışmalarında tatmin edici sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Lee ve Pradhan (2006), çalışmalarında Malezya'nın Selangor bölgesinde Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama tekniklerini kullanarak heyelan risk değerlendirme çalışması yapmayı amaçlamışlardır. Çalışma alanındaki mevcut heyelanları arazi incelemeleri ve hava fotoğraflarından belirlemişlerdir. Heyelan oluşumundaki etkili parametreleri yamaç eğimi, yamaç yönelimi, bakı, litoloji, drenaj yoğunluğu, yola uzaklık, arazi kullanımı, bitki örtüsü, yağış dağılımı olarak seçmişlerdir. Heyelan risk analizinde ve haritalamada lojistik regresyon ve olasılık oranı metodlarını kullanmışlar ve sonucunda olasılık oranı modelinin lojistik regresyondan daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Alparslan vd. (2006), Coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) mekansal veri analizini ve kullanımını kolaylaştıran özelliği kullanılarak heyelan duyarlılık analizinde kullanılan geçirimsizlik durumu, jeoloji, jeomorfoloji, zeminlerin sıvılaşmaya yatkınlığı, yer altı suları, faylar, hidroloji, ve eski heyelan alanları gibi çeşitli bilgiler uzaktan algılama teknolojisinin sunduğu güncel arazi örtüsü, bitki indisi ve yüzey sıcaklığı gibi bilgilerle çok kıstaslı karar verme sisteminde değerlendirilerek, Büyük ve Küçük Çekmece Gölleri arasındaki alanda yüksek, orta ve az duyarlı heyelan bölgeleri belirlenmiştir.

Duman vd. (2006), çalışmalarında İstanbul'un batısında yer alan Çekmece bölgesi için lojistik regresyon analizi kullanarak kapsamlı bir heyelan veri tabanı ile heyelan duyarlılığını karakterize edecek bir harita oluşturmak için bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada model oluşturulurken eğim, bakı, yükseklik, akarsu güç

indeksi, plan eğrilik derecesi, profil eğrilik derecesi, jeoloji, jeomorfoloji, litoloji parametreleri kullanılmıştır. Akarsu güç indeksi ve eğim parametrelerinin diğer parametrelere oranla daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritasında Çekmece bölgesinin % 83,8'nin heyelana duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Yalçın ve Bulut (2007), Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve dijital fotoğraf teknikleri yardımıyla Analitik Hiyerarşi Yöntemini kullanarak Ardeşen yöresinin heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Harita oluşturulurken makaslama dayanımı, eğim, litoloji, arazi örtüsü, bakı, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu parametrelerini kullanmışlardır. Duyarlılık haritasında bölge çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır.

Yüksel (2007), çalışmada coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, literatürde yaygın olarak kullanılan istatistiksel analizler ile yeni ve gelişmekte olan bir yaklaşım olan yapay sinir ağı (YSA) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ve performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde; topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, drenaja yakınlık, sırtlara yakınlık, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, toprak kalınlığı, bitki örtüsü yoğunluğu, bitki türü ve yollara yakınlık olmak üzere toplam 12 adet parametreyi dikkate alan araştırmacılar, üç farklı yaklaşımın temel alındığı iki değişkenli istatistiksel analizler, faktör analizi, ayırma (diskriminant) analizi, lojistik regresyon analizi ve YSA yöntemlerini kullanarak inceleme alanının, 7 farklı yöntem ile heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Oluşturulan haritaların performanslarının belirlenmesinde; heyelanların, duyarlılık sınıfları içindeki dağılımlarını dikkate almışlardır. YSA yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının, istatistiksel yöntemler ile üretilen haritalara göre daha iyi performansa sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Akgün ve Bulut (2007), coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanarak Trabzon iline bağlı Yomra ve Arsin ilçeleri çevresinde heyelan duyarlılığına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada heyelan envanteri topoğrafik haritaların analizi ve detaylı arazi çalışmaları neticesinde hazırlanmıştır. Yörede heyelan oluşumunda etkili oldukları düşünülen yamaç eğimi, bakı, drenaj ağına olan uzaklık, yola uzaklık ve litolojik birimlerin ayrışması gibi faktörler yapılan analizlerde değerlendirilmiştir. Mantıksal regresyon ve ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak çalışma

sahasının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar yapılan bu çalışmada sonuçları iki açıdan değerlendirmiştir. Bunlar; kullanılan yöntemlerin etkinliği ve heyelanlara neden olan faktörlerin etkinliğidir. Elde edilen sonuçlar, ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme modelinin mantıksal regresyon modeline göre daha uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca seçilen parametreler içerisinde jeoteknik birimler olarak değerlendirilen litolojik birimlerin ayrışma durumları ile yamaç eğimi parametreleri heyelan duyarlılık değerlendirmesinde en etkili parametreler olarak belirlenmiştir.

Dağ (2007), çalışmada Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel analiz yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile farklı kaynaklardan toplanan verileri değerlendirmiştir. İki değişkenli istatistiksel analiz ve Mantıksal regresyon analizi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarını üretmiştir. Üretilen duyarlılık haritalarını, çok az duyarlı, az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı duyarlılık alanına ayırtlamıştır. Üretilen duyarlılık haritalarının performans analizlerini, mevcut heyelanlarla duyarlılık haritalarını karşılaştırarak yapmıştır. İki değişkenli istatistiksel analizle üretilen duyarlılık haritasında toplam alanın % 15'i, heyelanların ise % 81'i, mantıksal regresyonla üretilen duyarlılık haritasında ise, toplam alanın % 19'u, mevcut heyelanların ise % 92'si duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda olduğunu tespit etmiştir. Parametrelerin bir arada değerlendirildiği daha yüksek performans gösteren mantıksal regresyon analizi sonuçları göreceli olarak tercih edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Akgün (2007), çalışmada, laboratuvar destekli veriler kullanarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama yöntemleri yardımıyla Ayvalık ve yakın çevresine ait 424 km² lik bir bölgenin erozyon ve heyelan açısından duyarlılık değerlendirmesini yapmıştır. Bu amaçla inceleme alanı parametrelerini, İki Değişkenli istatistik (Benzerlik Oranı-BO), Çok Değişkenli istatistik (Lojistik Regresyon-LR) ve Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA-Ağırlıklandırılmış Lineer Birleştirme) yöntemleri ile değerlendirmiş, erozyon ve heyelan açısından duyarlı alanları belirlemiştir. Heyelan duyarlılık analizleri sonucunda elde edilen verileri, envanter haritasındaki heyelan lokasyonları ile karşılaştırılmış ve doğruluk analizlerini yapmıştır. Çok Ölçütlü Karar Analizi yönteminin heyelan duyarlılık analizleri içinde en makul ve gerçeğe en uygun yöntem olduğu sonucuna varmıştır.

Erener ve Kaynia (2007), çalışmada Norveç'te Shien şehrinde bulunan hızlı killi toprak kaymaları için yapılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile heyelan duyarlılık haritalaması yapmışlardır. Heyelan duyarlılık haritaları için frekans oranı metodu ve lojistik regrasyon metodları olmak üzere iki farklı metod kullanmışlardır. Çalışma için eğim açısı, bakı, eğrilik, yükseklik, jeolojik formasyonlar, toprak tipi, tren rayı ve otoyola yakınlık, nehir ve göllere olan yakınlık ve yeryüzü kullanımı ve yağış parametrelini dikkate almışlardır. Sonuçları heyelan envanteri ile karşılaştırmış ve çalışmanın doğruluğunu test etmişlerdir. Araştırmacılar, ilk yöntem olarak frekans oranı yaklaşımında her bir parametre için frekans oranlarını hesaplanmış ve heyelan duyarlılık haritası elde etmek için bu değerleri tüm alandaki her harita ünitesi için çakıştırma yöntemi ile toplamıştır. Lojistik regresyon yönteminde ise bağımsız değişkenleri, coğrafik hücrelerdeki heyelanın olma yada olmaması ile ilişkilendirmiş ve gelecekte olabilecek heyelanın olma olasılığını gösteren haritayı üretmişlerdir.

Yalçın (2008), çalışmada analitik hiyerarşi yöntemi(AHP), istatistiksel indeks yöntemi, ağırlıklandırılmış faktör metodunu kullanarak 3 farklı heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Bu amaçla, litoloji-ayırışma, bakı, arazi örtüsü, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu, yola yakınlık parametrelerini analizde kullanmış ve litoloji-ayırışma, arazi örtüsü ve eğim parametrelerinin çalışma alanı için önemli olduğunu belirlemiştir. Üç farklı yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu test etmek için duyarlılık haritaları ile heyelan envanter haritalarını karşılaştırmıştır. AHP yönteminin, istatistiksel indeks yöntemi ve ağırlıklandırılmış faktör metoduna göre daha gerçekçi sonuç verdiğini ve doğruluğunun daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Kamp (2008), çalışmada, 8 Eylül 2005 tarihinde 7.6 büyüklüğündeki Kashmir depreminin Himalaya'larda ve Hindistan'da 1000'den fazla heyelanı tetiklediğini belirtmişlerdir. 2252 heyelanı Aster uydu görüntülerinden tespit edip, coğrafi bilgi sistemleri ile analizini yapmışlardır. Heyelanı tetikleyici parametreler olarak analizde, litoloji, faylar, eğim açısı, bakı, yükseklik, arazi kullanım, nehirler ve yolları kullanarak heyelan duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Litolojinin heyelanlar üzerinde güçlü etkisinin olduğunu, faylara, yollara, nehirlere yakınlığın da etkisinin önemli olduğunu, güneye bakan orta yükseklikteki yamaçların, çalılık ve tarımsal alanlarında heyelanlarda etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Kawabata ve Bandibas (2009), çalışmalarında yapar sinir ağlarını kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Bu amaçla heyelan oluşumunda etkili eğim, bakı,

yükseklik, jeoloji, jeolojik sınırlara yakınlık parametrelerini kullanmışlardır. 2004 Niigata depreminin heyelan verilerini ve Aster uydu görüntülerinden elde edilen sayısal yükseklik modeli verilerini kullanmışlardır. Alana ait mevcut heyelan verilerini kullanarak heyelan duyarlılık haritasının uyumluluğunu test etmişler ve geliştirdikleri metotla oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının %90'dan fazla uyumluluk gösterdiğini belirlemişlerdir.

Wu ve Chen (2009), çalışmada Taiwan merkezinde analitik hiyerarşi metodu(AHP) ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi yaparak bir model oluşturmuşlardır. Bu modelin yağmur ve eğim, jeoloji, bitki örtüsü, toprak nemi, yol gelişimi ve geçmiş heyelanlar olmak üzere altı konumsal veriye bağlı olduğunu belirtmişlerdir. 175 heyelanı detaylı arazi çalışması sonucu belirlemişler. Heyelan duyarlılık haritasını 3 farklı zona ayırmışlardır.

Nandi ve Shakoor (2009), çalışmada Ohio USA kuzeydoğusunda yer alan Cuyahoga Nehir havzasında iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel analizleri kullanarak heyelanların mekansal dağılımlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Hava fotoğrafları, arazi çalışmaları ve literatür çalışmaları ile heyelan envanter haritasını yapmışlardır. Çok değişkenli istatistiksel analizde lojistik regresyon yaklaşımlarını kullanmışlardır. Her iki yöntemle de heyelan duyarlılık haritaları üretmiş ve bu haritaların uygunluğunu eğri altında kalan alan (Area under curve AUC) metoduyla ve mevcut heyelanlarla karşılaştırmak suretiyle değerlendirmişlerdir. Çalışılan alan için lojistik regresyon yönteminin heyelan duyarlılık tahmininde daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Bednarik vd. (2010), çalışmada iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi kullanarak Krolavay ile Liptovsk Mikulas arasındaki 50 km yol güzergahı boyunca yer alan alanın heyelan duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Bu amaçla litoloji, eğim, bakı, yükseklik ve arazi kullanım parametrelerini kullanmışlardır. Heyelan duyarlılık haritasını çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 sınıfa ayırmışlardır.

Hasekioğulları (2010), çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan parametre etkilerini araştırmış ve veriye dayalı bir parametre seçim yönteminin ortaya konulması amaçlamıştır. Bu amaçla, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yaklaşık 567 km²'lik bir alanın heyelan envanterini hazırlanmış ve 101 adet heyelan haritalamıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi için yamaç eğimi, bakı, yamaç eğriselliği, topoğrafik yükseklik, bitki örtüsü, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık, sırtlara uzaklık, akış gücü indeksi, sediman taşıma kapasitesi indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksi olmak üzere 13 girdi parametresi kullanmıştır. Değerlendirme yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi Sürecini (AHP) seçmiş olup, ayrıca

parametre seçim yöntemine yönelik olarak benzerlik ilişki modeli temelli bir yaklaşımı da dikkate alarak, AHP' ye uyarlamıştır.

Pradhan (2010), çalışmada Malezya'nın Penang, Cameron, Selangor bölgelerinde uzaktan algılama verileri ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak çok değişkenli lojistik(mantıksal) regresyon yöntemiyle heyelan risk analizi yapmışlar. Heyelan oluşumunda etkili on farklı (eğim, bakı, litoloji, akarsuya yakınlık, eğrilik, süreksizlik yakınlığı, zemin türü, arazi kullanım, yağmur dağılımı, bitki örtüsü indeksi) parametre kullanmışlar. Araştırmacılar üç bölge içinde heyelan risk analizi yapmışlardır. Elde ettikleri heyelan risk analiz sonuçlarını doğrulamak için bu amaçla ayrılan heyelanlarla risk haritasını karşılaştırmışlardır. Selangor bölgesi için %94'lük, Cameron bölgesi için %90'lık ve Penang bölgesi için %86'lık bir doğruluk yüzdesine ulaşmışlardır.

Regmi vd. (2010), çalışmalarında Colorado(ABD)'nin batısında Paonia-McClure Pass bölgesinde parametre ağırlık yaklaşımını kullanarak heyelan duyarlılık modellemesi yapmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla oluşumda etkili 17 adet parametrenin ağırlık değerlerini hesaplamışlardır. Bu ağırlık değerlerini kullanarak heyelan duyarlılık haritasını elde ettikten sonra uygunluğunu test etmek için analize katmadıkları heyelanlarla heyelan duyarlılık haritasını karşılaştırmışlar ve %78 'lik bir uyum elde etmişlerdir.

Sezer vd. (2010), çalışmada Malezya'nın Klang vadisinin bir parçasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak, bulanık sinir modeli ile heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Heyelan lokasyonlarını hava fotoğraflarından ve uydu görüntülerinden elde eden araştırmacılar, kapsamlı arazi çalışmalarıyla bu verilerin doğruluğunu kontrol etmişlerdir. Analizde yükseklik, eğim açısı, eğrisellik, drenaj hatlarına uzaklık, zemin türü ve arazi örtüsü parametrelerini kullanmışlardır. Model geliştirme çalışmaları sırasında yapay sinir-bulanık çıkarım sistemleri (adaptive neuro-fuzzy inference system,ANFIS) sonuçlarını kullanarak 5 farklı heyelan duyarlılık modeli elde etmişlerdir. Analiz sonuçlarını doğrulamak amaçlı mevcut heyelan lokasyonları ile karşılaştırmışlar. ROC eğrisini çizilerek eğri altında kalan alanı hesaplayan araştırmacılar, heyelan duyarlılık haritasının %98 'lik bir uyum gösterdiğini belirlemişlerdir. ANFIS modelinin heyelan duyarlılık tahmininde kullanışlı bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

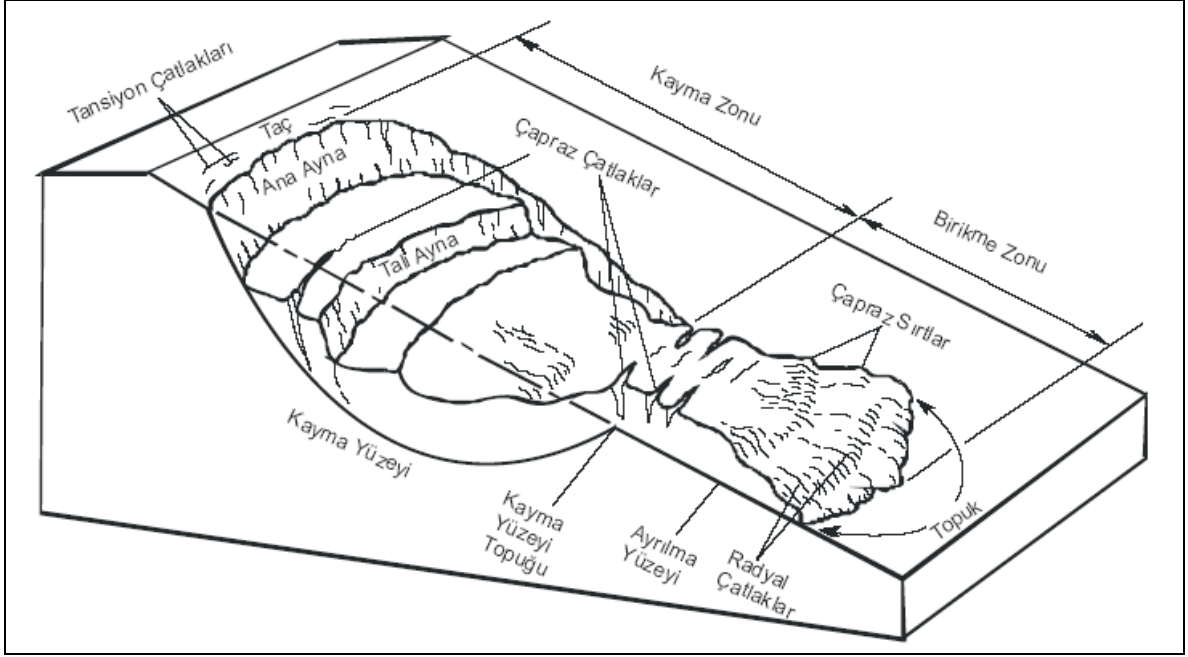
Bai vd. (2010), çalışmada Çin'in Three George alanında coğrafi bilgi sistemleri için geliştirdikleri veri seti ile lojistik(mantıksal) regresyon metodunu kullanarak detaylı heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Çalışılan bölge 260.9 km² lik bir alanı kapsamakta

ve bu alanın 5.3 km² 'lik kısmı heyelan içermektedir. Çalışmada 25x25 m² pixel boyutunda 4 veri grubu kullanılmışlardır(Uzaktan algılama, tematik harita, jeolojik harita ve topoğrafik harita). Araştırmacılar, heyelan duyarlılığı için istatistiksel bağıntıyı, heyelan ve heyelana neden olan faktörler kullanılarak oluşturulmuşlardır. Sonuç olarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının %81,4 'lük bir uyum oranına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Pradhan ve Lee (2010), çalışmada Malezya'nın Klang vadisi bölgesinde yapay sinir ağları(ANN) modelini kullanarak heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. 398 heyelan lokasyonunun olduğu bir heyelan envanter verisi üretmişlerdir. Bu heyelanların 318 tanesini modelde, diğer 80 adet heyelanı ise doğruluk değerlendirmesinde kullanmışlardır. Heyelan oluşumunda etkili 17 adet parametreyi seçerek analizde kullanmışlardır(Eğim açısı, bakı, eğrisellik, yükseklik, yola yakınlık, akarsuya yakınlık, litoloji, faya yakınlık, zemin türü, arazi kullanım, bitki indeks değeri). Bu parametrelerin her birinin göreceli ağırlık değerlerini belirlemek için yeni bir yapay sinir ağı modeli oluşturmuşlardır. İlk olarak 11 parametreyi, daha sonra ise 7 parametreyi analizde kullanarak heyelan duyarlılık indeks haritasını elde etmişlerdir. Heyelan lokasyon verilerini kullanarak heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, ANN sonuçlarının önceki yöntemlere göre(frekans oranı, lojistik regresyon) daha iyi olduğunu, 7 parametre kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının %94'lük bir doğruluk oranına sahipken, 11 parametre kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının %91'lik bir doğruluk oranına sahip olduğunu belirlenmiştir

1.7. Heyelan Tanımı ve Sınıflandırılması

Heyelanlar çok farklı olarak tanımlanmaktadır. Zemin ve kaya kütlelerinde bir veya birkaç yüzey boyunca kayma direncinin azalmasından doğan tüm şev ve yamaç hareketleri heyelan olarak tanımlanmıştır(Demir 2004). Toprak, taş veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, aşağıya ve dışarıya doğru hissedilebilir bir şekilde hareketi heyelan olarak tanımlanmaktadır (Erguvanlı, 1994). Bu tanımlar içerisinde en yaygın olanı, bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz türündeki malzemenin farklı nedenlerden dolayı yer çekimi etkisi ile yamaç aşağı doğru hareket etmesini Varnes (1978) heyelan olarak tanımlamıştır (Şekil 9).

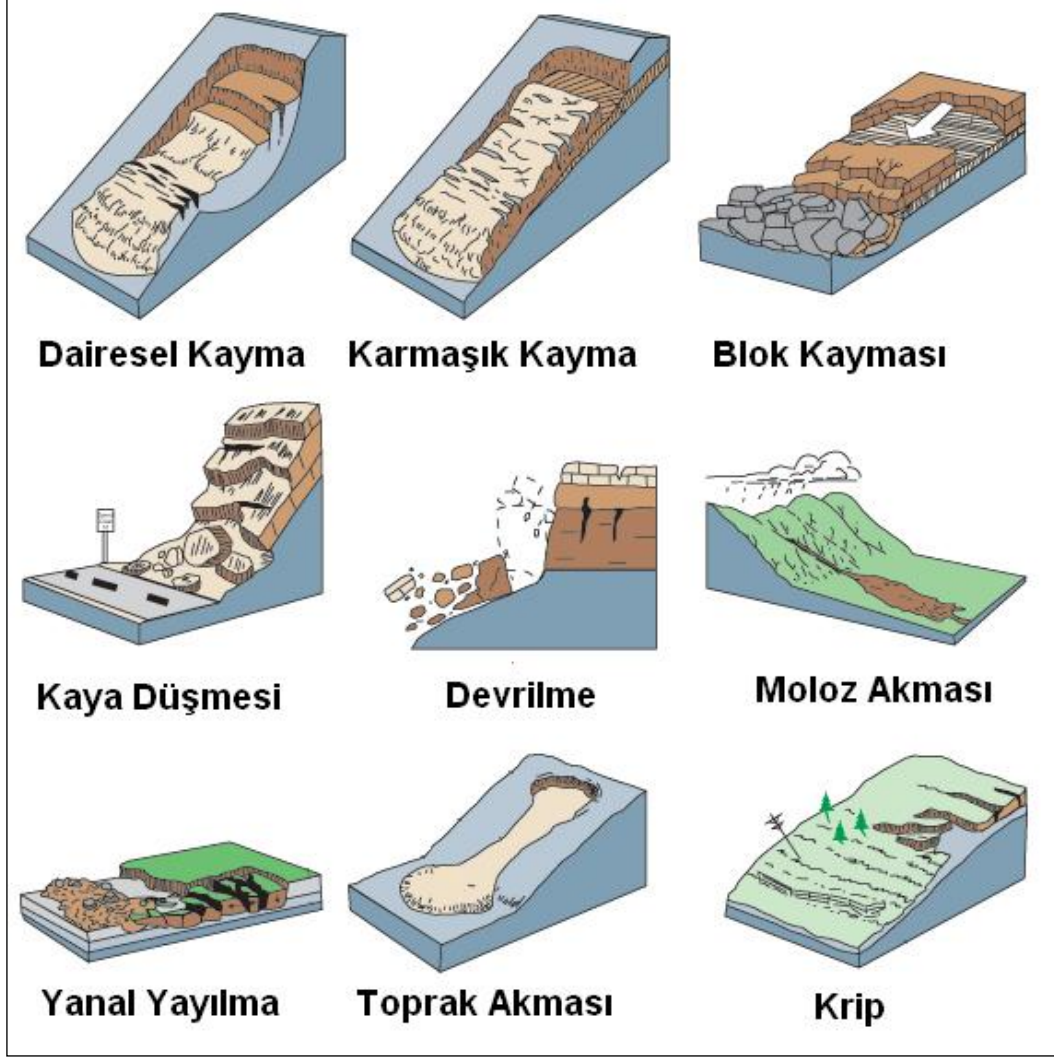


Şekil 9. Heyelana ait blok diyagramı (Cornforth, 2005)

Heyelanlar, hareketin hızı ve şekli, hareket eden malzemenin türü, kayma yüzeyinin şekli, hareketin nedenleri gibi özelliklere bağlı olarak farklı biçimde isimlendirilmektedir (Şekil 10). En genel sınıflandırma Varnes (1978) tarafından yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978)

HAREKET TÜRÜ	Malzemenin Türü			
	KAYAÇLAR	ZEMİNLER		
		İri taneli	İnce taneli	
DÜŞME	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zeminde Düşmesi	
DEVRİLME	Kaya Devrilmesi	Moloz devrilme	Zemin devrilmesi	
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok parçalı kayaç akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Blok	Kayada blok türü ötelenme	Zeminde ve molozda blok türü ötelenme	
	Dönel(Dairesel)	Sıkı Çatlaklı kayada dönel kayma	Zeminde ve molozda dönel kayma	
YANAL YAYILMA	Kaya yayılması		Zemin veya moloz yayılması	
KARMAŞIK	Hareket Türü ve Malzeme Karışık			



Şekil 10. Farklı türlerde gelişen hareketlere ait blok diyagramlar (URL-3, 2011)

1.8. Heyelan Duyarlılık Tanımlanması

Literatürde duyarlılık, tehlike ve risk kavramları yer yer aynı anlamda kullanılmakla birlikte, gerçekte bu kavramlar birbirinden çok farklı tanımlamalarla ifade edilmektedir.

1.8.1. Heyelan Duyarlılığı

Heyelan duyarlılığı değerlendirme çalışmaları, bir bölge içerisindeki alanların, göreceli olarak heyelana karşı hassaslığının sınıflandırılmasıdır. Bu sayede, incelenen alanların heyelana karşı duyarlılığının belirlenmesi mümkün olacak ve incelenen alan için

heyelan oluşumuna neden olabilecek faktörlerin değerlendirilmesiyle, daha sonraki zamanlarda heyelan olayının gelişebileceği potansiyel alanlar tespit edilebilecektir. Burada temel esas, güncel veya daha önce meydana gelmiş heyelanların özellikleri belirlenerek, heyelan oluşumunda etkin olabilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi şeklindedir(Akgün, 2007).Bu parametrelere ait ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

1.8.2. Heyelan Tehlikesi

Varnes'e (1984) göre, doğal tehlike, belirli bir alanda ve belirli bir zaman içerisinde potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip bir olayın, oluşabilme olasılığıdır. Bu tanım; büyüklük, coğrafik konum ve zaman gibi faktörleri, bir arada içermektedir. Soeters ve Van Westen'e (1996) göre, heyelan tehlike haritalarında;

- a. Şev duraysızlıkları ile ilgili ayrıntılı envanter çalışmaları,
- b. Hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin analizi,
- c. Hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin çevresel etkilerinin araştırılması,
- d. Bu parametrelerin alansal yayılımının gösterimi,

ile ilgili çalışmaların yapılmış olması gerekmektedir.

Tehlike değerlendirmeleri, ender olarak yukarıda anlatıldığı şekilde uygulanmaktadır. Bu durumun başlıca nedenleri, potansiyel zarara neden olabilecek bir heyelanın oluşma olasılığının büyük alanlar için belirlenmesinin güç ve çalışılan alanı temsil edici türde veriye ulaşmanın maliyetinin yüksek olmasıdır. Heyelan tehlike analizlerinde, heyelan oluşma olasılığının hesaplanabilmesi için, yağış ve deprem gibi tetikleyici parametrelere ilişkin ayrıntılı ve güvenilir verilere gereksinim duyulması ve bu parametrelerle heyelanlar arasında kesin olarak ifade edilebilen bir ilişki belirlenememesi sonucu çoğu tehlike haritası, duyarlılık haritalarından daha fazla bilgi içermemektedir.

Heyelan tehlike haritasında, heyelanın oluşma olasılığı, türü, büyüklüğü, hızı gibi özellikleri yansıtılmalıdır. Çalışılan bölgedeki heyelanların türü, aktivitesi ve bunların dağılımının sağlıklı bir şekilde gösterildiği bir heyelan envanterinin oluşturulması ve bunlarla ilişkili parametrelerin ortaya konulması son derece önemlidir (Ercanoğlu, 2003).

1.8.3. Heyelan Riski

Heyelan risk haritalarının oluşturulması, duyarlılık ve tehlike haritalamalarına göre, daha fazla disiplinler arası çalışmaları gerektirir. Çünkü bu tür haritaların oluşturulmasında, sadece yerbilimcilerin değil, sosyal bilimciler, şehir-bölge planlamacıları gibi meslek gruplarıyla da çalışılması gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Risk haritalama çalışmalarında heyelan sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanında, oluşacak hasarın tahmini, ekonomik ve çevresel zararlar da değerlendirilmektedir. Heyelanı oluşturan veya tetikleyen parametreler dışında, çalışılan bölgedeki nüfus, ekonomik aktivite gibi konularda da ayrıntılı bilgiye gereksinim duyulmaktadır. Araştırmacılar arasında heyelan risk haritalarının oluşturulması çalışmaları, duyarlılık ve tehlike haritalarının hazırlanma çalışmalarına oranla çok daha az sayıdadır. Bu durumun temel nedeni, sözü edilen parametrelere ilişkin sağlıklı verilere ulaşmanın güç olduğu şeklinde değerlendirilmektedir (Anbalagan ve Singh, 1996; Finlay ve Fell, 1997)

Duyarlılık, tehlike veya risk değerlendirmeleri yapılırken, hangi yöntem ya da parametre kullanılırsa kullanılsın, belirsizliğin olacağı bilinmesi gerekir. Bu durumun temel gerekçesi, doğal malzemelerin gerek fiziksel, gerekse mekanik özelliklerinin aynı lokasyonda bile değişim gösterebilmesidir. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan bu özelliklerin sınıflandırılması, etki derecesinin belirlenmesi gibi işlemlerin sonucunda da bazı belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir (Davis ve Keller, 1997).

1.8.4 Heyelan Envanter Haritaları

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılımını ve özelliklerini gösteren haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir (Çevik ve Topal, 2003). Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler çalışmanın amacına, inceleme alanının büyüklüğüne, heyelanların işleneceği topoğrafik haritaların ve kullanılan hava fotoğraflarının ölçeğine ve mevcut altyapı ve maddi olanaklara bağlı olarak değişmektedir. Heyelan haritaları tekil heyelanlarla ilgili tarihsel veri kayıtlarının derlenmesiyle ve/veya hava fotoğrafı ve arazi çalışmalarının birlikte gerçekleştirilmesiyle hazırlanabilmektedir. Envanter harita hazırlama yöntemlerinden birincisi heyelan arşivi (WP/WLI, 1990), heyelanın nerede

oluşturduğunu bildiren harita şeklindeki, ikincisi ise heyelan kütlelerinin alansal dağılımını gösteren haritalardır (Guzetti vd., 2000).

Heyelanların alansal dağılımını temsil eden bu haritalar heyelanın yeri, tipi ve aktivite durumuyla ilgili de bilgiler sunar. Heyelan envanter haritaları, belli bir tetikleme süreci ayırt etmeksizin, geçmişte olmuş bütün heyelanları gösterir. Geçmişe ait aktivitelere ilişkin bilgilerin verilmesine rağmen zamansal gelişimi ve değişimi hakkında bilgi vermezler. Heyelan envanter haritaları diğer ek haritaların üretilmesi için temel gerekliliktir (Parise, 2001).

1.9. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Ölçekler

Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken, dikkate alınması gereken diğer bir konu, kullanılan ölçektir. Bu tür çalışmalarda kullanılması gereken ölçekler seçilirken, çalışılan alanın büyüklükleri de göz önüne alınmaktadır. Heyelan değerlendirmelerinde bölgesel, orta ve büyük ölçekler kullanılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan ölçekler (IAEG, 1976)

Ölçek Türü	Ölçek
Ulusal Ölçek	< 1/1.000.000
Bölgesel Ölçek	1/100.000-1/500.000
Orta Ölçek	1/25.000-1/50.000
Büyük Ölçek	1/5.000-1/15.000

Ulusal ölçekte analizler, sadece problemin genel hatlarıyla ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilip, doğal afet konusunda genel bir fikir vererek zarar görmüş alanların kabaca belirlenmesine yardımcı olur. Genellikle tüm bir ülke için hazırlanır ve harita ayrıntısı oldukça azdır. Zarar derecesinin uniform olduğu varsayılır. Bu tür haritalar genellikle bölgesel ölçekte çalışan kuruluşlar tarafından bölgesel planlama (tarım, şehir veya altyapı) veya ulusal afet önleme kurumları tarafından kullanılır.

Bölgesel ölçekte, herhangi bir sayısal yöntemin kullanımı için oldukça küçük olup, bu ölçekteki haritalar bölgesel planlama amaçlı olarak kullanılır. İncelenmesi gereken alanlar binlerce kilometrekarelik alanlar olup harita ayrıntıları oldukça azdır. Sadece basit

yöntemler, sayısal veri kombinasyonu ile kullanılır ve zonlama temel olarak bölgesel jeomorfolojik arazi haritalama birimleri ya da bölgesel jeolojik birimlerin ayırt edilmesine imkan tanır.

Orta ölçekteki haritalar, tehlike haritaları temel olarak büyük ölçekli mühendislik çalışmalarında fizibilite ile ilgili olarak firmalar veya belediye ölçeğinde yerel yönetimler tarafından kullanılmaktadır. İnceleme alanı yüzlerce kilometrekarelik alanlar olarak ifade edilebilir. Bu ölçekte, bölgesel ölçeğe oranla çok daha fazla ayrıntıya gereksinim duyulmaktadır. Bu ölçekteki haritalar, şehir ve bölge planlama ve gelişim alanlarının belirlenmesi veya mühendislik altyapısı (boru hatları, otoyol güzergahları vb.) güzergahlarının seçim aşamalarında kullanılmaktadır. Bu ölçekte istatistiksel teknikler sıklıkla ve yoğun olarak kullanılmaktadır (Van Westen, 1993)

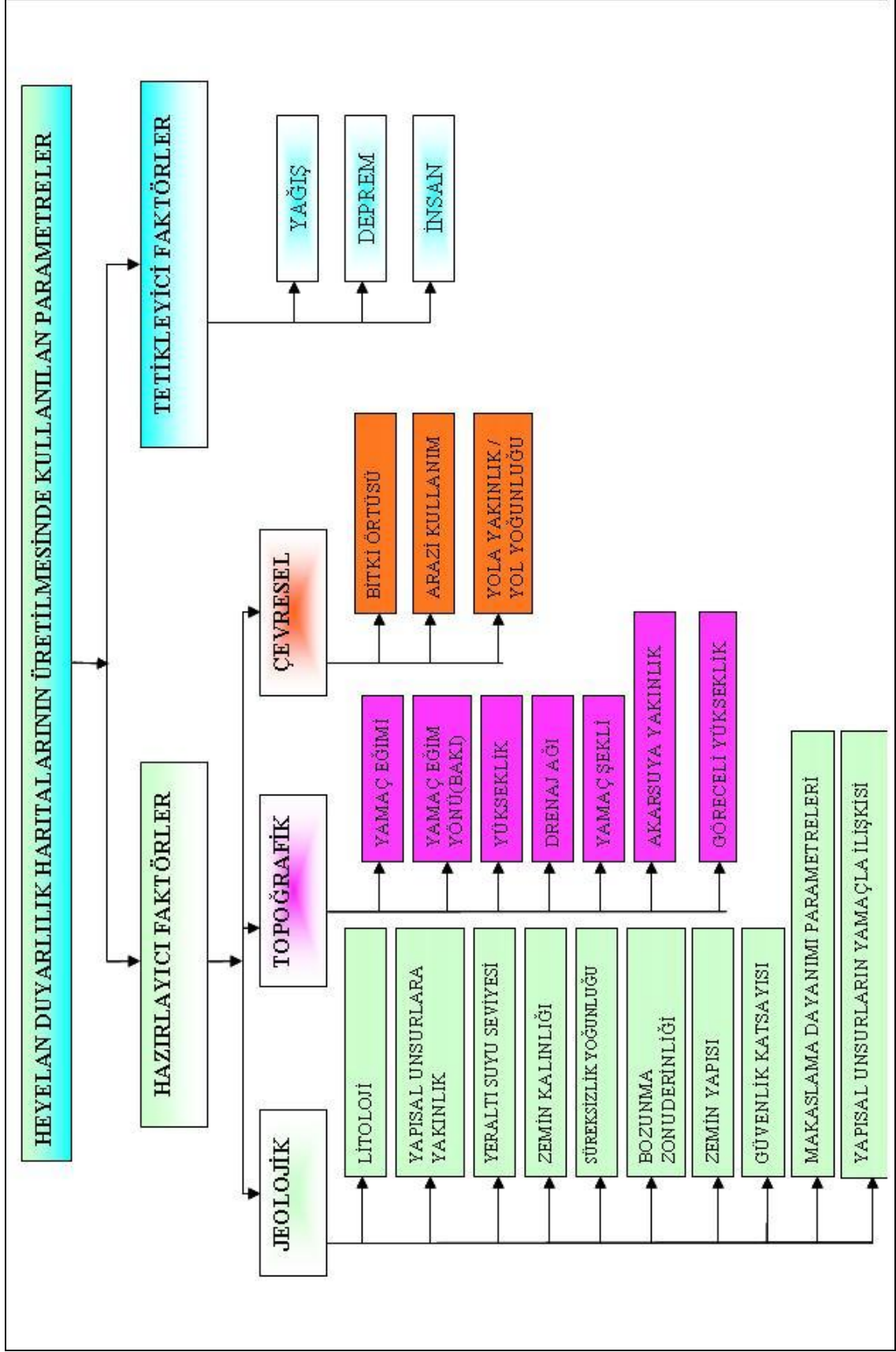
Büyük ölçekteki haritalar, genellikle ayrıntılı mühendislik altyapı çalışmaları, kentsel veya endüstriyel projeleri veya belirli bir proje alanı ya da kentin risk değerlendirmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu ölçekteki haritalar küçük alanları kapsamakta, dolayısıyla deterministik analizler mümkün olabilmektedir. Bu haritalar, arazi ve laboratuvarında elde edilmiş çok sayıda veriye dayalı fiziksel sayısal modellere dayandırılmaktadır.

1.10. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken, heyelana neden olan birçok parametre kullanılmaktadır (Şekil 11). Bu parametrelerin ortak özelliklerini kısaca şu şekilde belirtmek mümkündür;

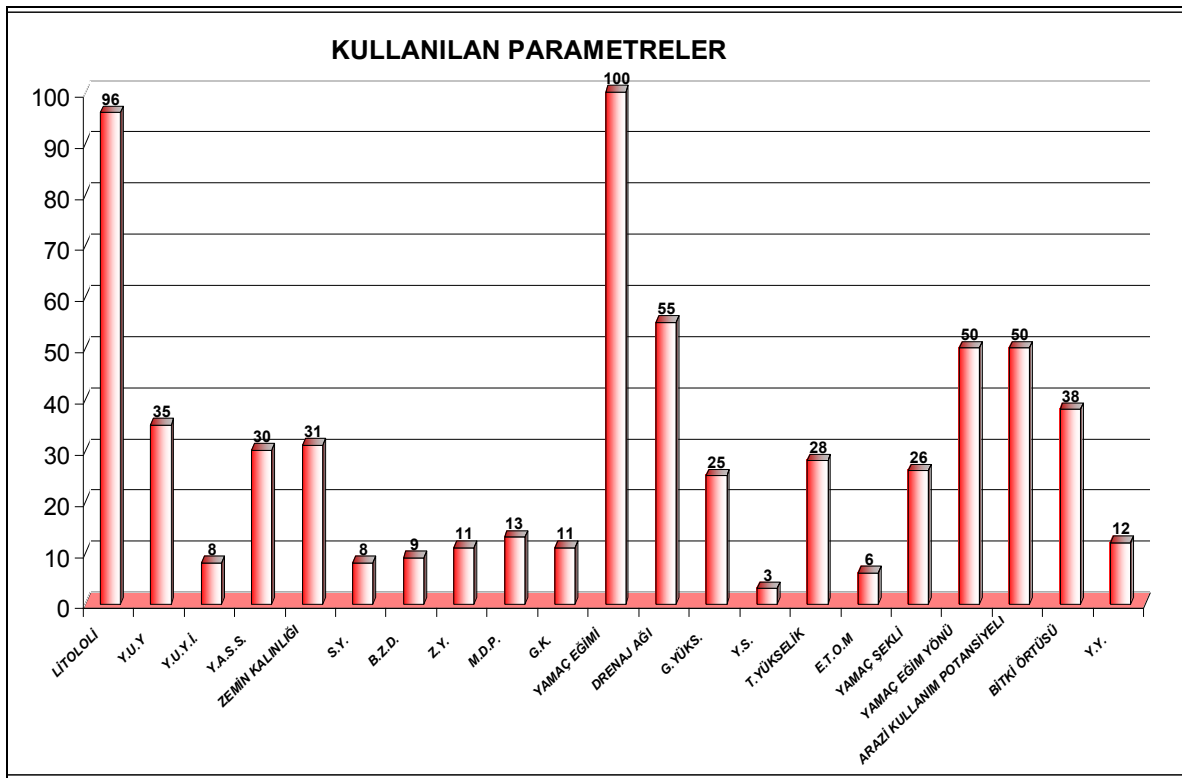
- a- Parametreler heyelanların meydana gelmesinde etkili olmalıdır.
- b- Parametrelerin her biri haritalanabilir nitelikte olmalıdır.
- c- Parametreler çalışılan bölgenin özelliklerini yansıtmalıdır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretimindeki artışa rağmen, uygulayıcılar arasında harita üretimi yöntemlerinde olduğu gibi, parametre seçimi ile ilgili olarak da henüz bir görüş birliğine varılmamıştır. Farklı alanlarda değişik parametrelerin etkili olması, kullanıcılar tarafından parametrelerin farklı değerlendirilmesi gibi nedenler bu konuda ortak bir görüşe ulaşılamamasında etkili olmuştur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).



Şekil 11. Heyelana neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001)

Literatürde heyelan değerlendirilmelerine yönelik haritaların hazırlanmasında kullanılan parametrelere bakıldığında, jeolojik parametreler (Litoloji, yapısal unsurlara yakınlık, yapısal unsurların yamaçla ilişkisi, yeraltısuyu seviyesi, zemin kalınlığı, süreksizlik yoğunluğu, bozunma zonu derinliği, zemin yapısı, makaslama dayanım parametreleri, güvenlik katsayısı), topoğrafik parametreler (Yamaç eğimi, drenaj ağı, göreceli yükseklik, yüzeysel süreçler, topoğrafik yükseklik, en yakın tepeye olan mesafe, yamaç şekli, yamaç eğim yönü), çevresel parametrelerin (Arazi kullanım potansiyeli, bitki örtüsü, yol yoğunluğu) kullanıldığı görülmektedir. İncelenen çalışmaların hepsinde yamaç eğim parametresi kullanılmış ve bununla birlikte litoloji parametresi de 4 çalışma (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Gorsevski vd., 2000; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Ercanoğlu vd., 2003) dışındaki tüm çalışmalarda göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 12).



Şekil 12. Literatürde heyelan potansiyeli araştırmalarında kullanılan parametrelerin dağılımı (Ercanoğlu, 2003)

Şekil 12.'de; Y.U.Y.:Yapısal unsurlara yakınlık, Y.U.Y.İ.: Yapısal unsurların yamaçla ilişkisi, Y.A.S.S.: Yer altı su seviyesi, Zemin K.: Zemin kalınlığı, S.Y.: Süreksizlik yoğunluğu, B.Z.D.:Bozunma zonu derinliği, Z.Y.: Zemin yapısı, M.D.P.:Makaslama dayanım parametreleri, G.K.: Güvenlik katsayısı, G.YÜKS:Göreceli yükseklik, Y.S.:Yüzeysel süreçler, T.YÜK.:Topoğrafik yükseklik, E.T.O.M.: En yakın tepeye olan mesafe, Y.Y.:Yol yoğunluğu

1.11. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılacak Parametreler

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan parametrelerin belirlenmesi için öncelikle bu konu ile ilgili literatürdeki mevcut çalışmalar incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurularak, çalışılan bölgenin mevcut koşulları, bütçe olanakları, veri erişimi ve yapılan değerlendirmeler sonucunda kullanılacak parametreler belirlenmiştir.

Bu çalışmada, litoloji, yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü (Bakı), akarsuya yakınlık, yola yakınlık, yapısal unsurlara (fay) yakınlık, drenaj yoğunluğu, fay yoğunluğu olmak üzere 9 parametre kullanılacaktır.

1.11.1. Litoloji

Litoloji, yamaç duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri olup, malzemelerin dayanım, geçirimsizlik, sertlik gibi birçok özelliği ile de doğrudan ilişkilidir (Baeza ve Corominas, 2001). Litoloji parametresi, kohezyonu kontrol eden bir parametredir (Remondo vd., 2003). Heyelanlar, litolojik farklılıkların gözlemlendiği bölgelerde daha çok meydana gelmekte, bu nedenle litolojik farklılıkların analizlerde dikkate alınması gerekmektedir (Komac, 2006). Litolojik özellikler, incelenen bölgenin heyelana karşı duyarlılığı hakkında önemli veriler sağlayabileceği için, mutlaka sağlıklı bir şekilde değerlendirilmelidir. Bu amaçla, hazırlanan haritalarda bazı araştırmacılar doğrudan saha gözlemlerini temel alan nitel değerlendirmeleri, bazıları ise nicel değerlendirmeleri esas almışlardır. Nitel değerlendirmeler, çoğu zaman kişiye özgü değerlendirmelere neden olmakta ve elde edilen haritalarda, farklı sonuçların çıkmasına sebep olmaktadır (Guzzetti vd., 1999). Nicel değerlendirmelerde meydana gelebilecek hata daha azdır. Çünkü nicel değerlendirmelerde, incelenen alandaki mevcut heyelanların hangi

litolojik birimler içerisinde dağılım gösterdiği ortaya konulabilmektedir (Gökçeoglu ve Ercanoğlu, 2001).

1.11.2. Yapısal Unsurlara(Faya) Yakınlık

Luzy ve Pergalani (1999), faylara yakın olmanın kayalarda parçalanmaya neden olabileceğini ve bu durumun da yamaçların duraylılığını olumsuz yönde etkileyeceğini ifade etmişlerdir. Wachal ve Hudak (2000) ise, yapısal unsurlara yakın mesafelerde daha fazla heyelan oluşmasını, yapısal unsurların, kendilerini çevreleyen malzemeyi zayıflatması ile ilişkilendirmişlerdir. Yapısal unsurlara yakınlık parametresi kullanırken, farklı yakınlıklar dikkate alınarak, birden fazla tampon bölge oluşturulmaktadır. Heyelan yoğunluğunun, yakın mesafeleri içeren gruplarda daha fazla olmasını, Lee and Choi (2004), Lee ve Talib (2005) ve Lee ve Sambath (2006), kayacın içerdiği çatlak oranının ve bozunma derecesinin artmasıyla açıklarken, Ruff and Czurda (2008) yapısal unsurlara yakın mesafedeki ana kayanın, tektonik açıdan gerilim altında ve yüksek derecede duraysız oluşuyla ilişkilendirmişlerdir. Yine, Gökçeoglu ve Aksoy (1996), arazi gözlemleri neticesinde, heyelanların büyük bir çoğunluğunun faylara çok yakın alanlarda gerçekleştiğini belirtmiş duyarlılık için 0, 50, 100, 150, 200 ve 200 m den büyük uzaklıkları esas alan bir sınıflama önermişlerdir. İnceleme alanının KAFZ üzerinde olması fay parametresinin duyarlılık analizinde dikkate alınmasını zorunlu kılmıştır.

1.11.3. Yamaç Eğimi

Yamaç eğimi, kütle hareketlerinin oluşumunu ve harekete geçen malzemenin hareket mesafesini kontrol eden parametrelerden birisidir. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl duraylılık faktörüdür. Yamaç eğiminin heyelan duyarlılık analizinde bir girdi parametresi olarak kullanılması hususunda, araştırmacılar arasında bir fikir birliği olmasına karşın, Van Westen vd. (2003), İtalya' da gerçekleştirdiği heyelan duyarlılık değerlendirmesi çalışmasında tüm yamaç eğimi gruplarındaki heyelan olasılıklarının birbirine yakın çıkması nedeniyle, yamaç eğiminin çalışma alanı için etken bir parametre olmadığını belirtmiştir. Araştırmacılar arasında, yamaç eğimi arttıkça, heyelana karşı duyarlılığın da artacağı yönünde bir görüş hakimdir.

Ancak, Ayenew and Barbieri (2005), heyelanların düşük eğimli yamaçlarda meydana geldiği görüşünü savunmaktadırlar. Ercanoğlu (2005), çalışma alanındaki heyelanların düşük eğimli yamaçlarda meydana geldiğini, bu durumu da yüksek eğimli yamaçlarda, dayanımlı kaya malzemesinin varlığı ile açıklamıştır. Chau and Chan (2005), 10°-15° ve 25°-30° eğimli yamaçların heyelan oluşumuna daha uygun olmasına karşın, heyelanların daha yüksek eğimlerde geliştiğine dikkat çekmektedirler. Clerici vd. (2006), yaptıkları çalışmada heyelan türlerine göre, heyelanların meydana geldiği eğimlerin farklılık gösterdiğini; dairesel kaymaların 26°-30° arası ve daha yüksek eğimlerde, karmaşık heyelanların 16°-25° arası eğimlerde ve akmaların 11°-20° arasındaki eğimlerde daha çok meydana geldiğini belirlemişlerdir. Akgün vd. (2008) ise, çok az eğimli yamaçlarda düşük makaslama kuvvetine bağlı olarak sığ heyelanların beklenmediğini, 10°-20° arasında ve 30°' den yüksek eğime sahip yamaçlarda heyelan olasılığının düşük olduğunu, 20°-30° arasındaki eğime sahip yamaçlarda ise heyelan oluşma olasılığının yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Yamaç eğimi ile heyelan ilişkisi arasında farklı görüşlerin olduğu, bu durumun da bölgesel farklılıklar gösterebileceği ve heyelan meydana gelen yamaç eğimlerinin istatistiksel olarak değerlendirilip yorumlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

1.11.4. Yükseklik

Yükseklik parametresinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanımı, ya deniz seviyesinden olan yükseklik değerlerini temel alan topoğrafik yükseklik, ya da çalışılan alandaki topoğrafya elemanlarının birbirlerine göre yükseklik farklarını temel alan göreceli yükseklik şeklindedir. Araştırmacılar çok yüksek kotlardaki birimlerin, kayaç türü malzemelerden oluştuğunu ve daha alt kotlardaki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduklarından, heyelanlara karşı daha az duyarlı olduklarını belirtmişlerdir (Caniani vd., 2008). Orta yükseklikteki kotlarda, yüksek kotlardan gelen malzeme nedeniyle oluşacak toprak örtüsünü bu kesimlerin heyelana karşı daha duyarlı olacağını belirtmişlerdir (Gorsevski ve Jankowski, 2008). Çok düşük kotlarda ise yamaç eğiminin az ve kalın örtü malzemesi bulunması nedeniyle, heyelana karşı daha az duyarlı olarak değerlendirmişlerdir. Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2002), heyelanların daha düşük topoğrafik yüksekliklerde meydana gelmesini, çalışma alanındaki yüksek bölgelerin, duraylı birimlerden oluşması ve bu bölgelerin yoğun bitki örtüsü ile kaplı olmasıyla

açıklarken, Çevik ve Topal (2003), bu durumu çalışma alanını oluşturan birimlerin litolojik karakterine bağlamışlardır. Chau ve Chan (2005) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) ise, bu yüksekliklerde nüfusun fazla olması nedeniyle, yol yarmalarının büyük bölümünün bu bölgelerde olmasına bağlamaktadırlar. Topoğrafik yüksekliğin fazla olduğu alanlarda heyelan yoğunluğu tespit eden araştırmacılar da bulunmaktadır. Clerici vd. (2006), çalışma alanlarındaki heyelanların daha çok yüksek kotlara sahip alanlarda görülmesini bu alanlarda daha fazla yağmur, kar yağışının olması ve donma çözünme döngüsüne bağlamaktadırlar. Bu doğrultuda, yükseklik parametresi, duyarlılık haritalarının hazırlanmasında sık kullanılan parametre olmasına rağmen, litoloji, bitki örtüsü, bozunma durumu ve yamaç eğimi gibi diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir.

1.11.5. Yamaç Yönelimi (Bakı)

Farklı yönlere bakan yamaçların yağış, güneş ışığı, donma-çözülme vb. gibi atmosferik olaylardan etkilenme koşulları da farklı olmaktadır. Bu nedenle yamaç yönelimi, kütle hareketlerinin aktivitesinin değerlendirilmesinde dikkate alınan parametreler arasında yer alır. Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir (Dağ, 2007). Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik yamaç eğimi ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, egemen yöneline sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncında artış görülür ve bu tür yamaçlar heyelana karşı daha duyarlı hale gelmektedir (Gökçeoglu ve Ercanoğlu, 2001). Bu nedenle yamaç eğim yönü parametresinin kullanımında, yoğun yağış alan yamaçlar daha duyarlı olarak tanımlanmaktadır. Dai ve Lee (2002), bakının heyelan oluşumunda etken bir parametre olduğunu, yamacın nem tutmasının ve bitki örtüsünün bakı tarafından denetlendiğini, Santacana vd. (2003), yamacın güneş ışığını almasının, toprak nemi, bitki örtüsü miktarı ve drenaj özellikleri ile ilişkili olduğunu ve Jankowski (2008), güneşe maruz kalma, güneş ışığının az olması durumunda, yamaçtaki yüksek nem içeriği ve az buharlaşmanın, heyelan oluşumunda etken olacağını belirtmişlerdir.

1.11.6. Arazi Kullanım Potansiyeli-Bitki Örtüsü

Arazi örtüsünün varlığı, yamaçların stabilite halinde olduğunun dolaylı bir ifadesidir. Kıraç ve nadir arazi örtüsü ile kaplı alanlar daha hızlı erozyon ve ormanlara göre daha büyük duraysızlıklar göstermektedir. Bitki örtüsünün yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Ağaç ya da bitkilerin yaprakları suyu emme ve buharlaştırma özelliğinden dolayı yağışın süzülme etkisini azaltır. Bunun yanı sıra kökler, zemin içerisindeki suyu alarak terleme yoluyla buharlaştırır ve boşluk suyu basıncının azalmasına neden olurlar. Bu olaylar hidrolojik açıdan yamaçların duraylılığı üzerinde olumlu etkiler olarak sayılabilir. Kök ve gövdeler zemin yüzeyinin pürüzlülüğünü ve geçirgenliğini artırır. Böylece yüzeyden akan suyun zemin içerisine girişini kolaylaştırır. Ayrıca zemindeki nemin azalması, yüzeyde kuruma çatlakları oluşturur ve bu kuruma çatlaklarından zemin içerisine giren yağış suları boşluk suyu basıncının artmasına neden olur. Bu gibi faktörler de yamaçların duraylılığını hidrolojik açıdan olumsuz etkilerler. Köklerin zemini güçlendirerek makaslama dayanımını artırması, bunun yanı sıra, yüzey ve yüzey altındaki tabakanın arasında bağlantı görevi görmesi mekanik açıdan yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Yamaçtaki ağaçların ağırlıkları yamaçtaki normal ve kayma gerilmelerini artırmaktadır. Gerilme artışları da yamaçtaki malzemenin stabilitesini olumsuz etkilemektedir. Bitki örtüsü özellikleri itibariyle zeminde bir tahribe yol açmamış ve zemini güçlendirecek özellikte katkıda bulunmuşsa duraylılığa olumlu yönde etki ettiği kabul edilmiş, buna karşın yamaçlarda gelişebilecek kayma yüzeyleri üzerinde aşırı yük oluşturabilecek örtünün de duraylılığa olumsuz etki ettiği ortaya konulmuştur(Çevik ve Topal, 2003; Perotto-Baldviezo vd., 2004; Kamp, 2008; Pradhan, 2010).

1.11.7. Drenaj Ağı-Akarsulara Yakınlık

Drenaj ağını oluşturan akarsuların duyarlılık üzerinde, yamaç topuğunu aşındırma ve yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirmesi şeklinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Pachauri vd., 1998; Nagarajan vd., 2000; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Yalçın, 2006; Akgün, 2006). Kelkit Çayı'nın inceleme alanı içerisinde yer alması ve akarsuya yakın birçok heyelanın olması

(Şekil 13) bu parametrenin heyelan duyarlılık analizinde dikkate alınmasını gerekli kılmıştır.



Şekil 13. Akarsuya yakın gelişen heyelan

1.11.8. Yola Yakınlık

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir. Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının gelişmesine neden olmaktadır. Çalışma alanında yola yakın heyelanların fazlalığı akarsu gibi bu parametrenin de analizlerde dikkate alınmasını gerekli kılmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Yola yakın gelişen heyelan

1.12. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler

Heyelan duyarlılık analizi, uygun fiziki faktörlere bağlı olarak bir bölgedeki benzer özelliklere sahip olan alanlarda heyelanın meydana gelebileceği tahmini üzerine yapılan çalışmalardır. Heyelan analizlerinde genel olarak meydana geliş zamanları ve meydana gelmesinde esas etkiye sahip olan tetikleyici unsurlara ait bilgi eksikliği, bu faktörlerden bağımsız olarak gerçekleştirilen duyarlılık çalışmaları üzerinde yoğunlaşılmasına neden olmuştur (Ermini vd., 2005). Böylece üretilen duyarlılık haritalarıyla, heyelanlara yatkın olan ve meydana gelme olasılığı fazla olan alanların tespiti yapılabilmektedir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunları genel olarak Tablo 3'deki gibi özetlemek mümkündür.

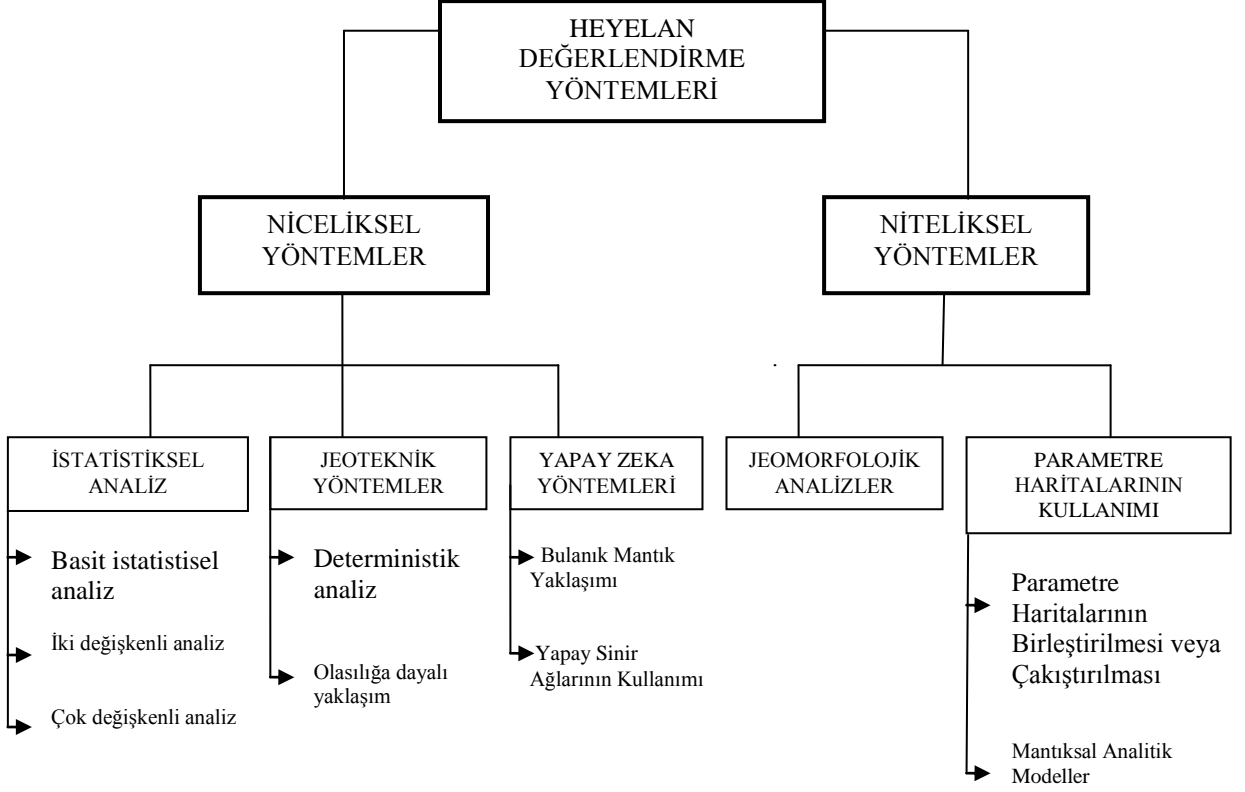
Tablo 3. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlar (Van Westen, 1993; Carrara ve Guzzetti, 1991; Ermini vd., 2005)

Analiz Tipi	Genel İçerik
Dağılım Analizi	En basit yöntemlerden birisi olup, doğrudan heyelanların haritalanmasını içerir. Haritalanan alanlar geçmişte meydana gelmiş heyelan alanlarıdır.
Niteliksel Analiz	Kullanılan en genel yöntemdir. Daha çok, sayısal veri eksikliğinin olduğu ve niceliksel yöntemlere dolayı tercih nedeni olup, bir veya iki haritanın arazi tecrübeleriyle ağırlıklandırılması esasına dayanır.
Niceliksel Analiz	Akademik ve araştırma enstitüleri çevrelerince en çok benimsenen dolaylı metot olup, heyelan ve heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişkiye daha kapsamlı değinen ve diğer ilk iki yönetime göre çok daha az subjektif olan yöntemdir.
Deterministik Analiz	Dolaylı metot olan bu yöntem, yamaç stabilitesi çalışmalarını içerir ve güvenlik faktörünün değerlendirilmesini amaçlar. Bu yöntemin doğru uygulanabilmesi için detaylı jeoteknik ve hidrolojik dataya ihtiyaç vardır. Daha çok küçük alanlara uygulanabilen bu yöntem, veri elde edilmesi mümkün olmayan büyük alanlar için uygulanması zordur.
Sıklık Analizi	Dolaylı metot olan bu yöntemde, deprem ve yağış kayıtlarıyla heyelan günlerinin korelasyonu yapılır, sıklık için eşik değer elde edilir.

Duyarlılık analizleri için kullanılan yöntemlerde, olası heyelanların tespit çalışmaları veya meydana gelme ihtimalinin fazla olduğu alanların tahmini, geçmişte meydana gelmiş yamaç duraysızlıklarına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bundan dolayı, heyelanların belirlenmesinde ve tahmininde, yamaç duraysızlığına neden olan özelliklerin mekansal dağılışı ile meydana gelmiş heyelanların dağılışının kombinasyonu kullanılmaktadır (Carrara vd., 1991).

Heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında, özellikle son yıllarda, lojistik regresyon ve bulanık mantık-yapay sinir ağları gibi yapay zeka yöntemlerinin kullanımında, önemli bir artış söz konusudur. Bununla birlikte, basit sıralama ve derecelendirme, iki değişkenli istatistiksel analizler gibi, diğer yöntemlere göre daha basit sayılabilecek yöntemlerden de, iyi sonuçlar alınabilmektedir (Yılmaz, 2009). Bu durum, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden çok, dikkate alınan parametrelerin etkisinin de önemli bir rolü olduğuna işaret etmektedir. Diğer bir ifade ile heyelan oluşumunda etkin olan parametreler doğru seçilirse, üretilecek haritaların, daha temsil edici ve/veya mevcut durumu daha iyi yansıtıcı özellikte olacağı söylenebilir. Genel olarak heyelan

değerlendirme yöntemleri niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir ve bu yöntemlerin kendi içinde uygulanan birçok alt teknikleri bulunmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Heyelan değerlendirme yöntemleri (Aleotti ve Chowdury, 1999; Ercanoğlu, 2003)

1.12.1. Dağılım Analizi

Bir alanda meydana gelen heyelan hakkında envanter bilgilerini içeren haritalar, daha önce söz konusu inceleme alanındaki heyelanlarla, yapılan arazi çalışmaları, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile elde edilen bilgileri kapsamaktadır. Envanter haritalaması sırasında arazide gözlenen heyelanın lokasyonları ya alansal dağılım olarak veya noktasal veri olarak haritalanır. Özellikle heyelan envanter haritaları, heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerinde en başta gelen işlem adımı olarak görülmektedir (Lee, 2005; Ayalew ve Yamagichi, 2005). Heyelan envanterinin bir dağılım haritalaması da olduğu düşünülürse, heyelan yoğunluk haritaları olarak da ifade edilen haritaların varlığından da söz etmek mümkündür. İzoplet yöntemi

olarak da bilinen yöntemde belirlenen heyelan lokasyonları, sayısal olarak eş miktar konturları yardımıyla konturlanarak dağılım alanları elde edilmektedir (Bulut vd., 2000).

1.12.2. Niteliksel Yöntemler

Genel olarak, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesini yapan kişi ya da kişilerin doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve deneyimini esas alan yöntemlerdir. Bu yöntemler deneyime dayalı olduklarından dolayı aynı zamanda “uzman değerlendirme yaklaşımları” olarak ta değerlendirilmektedir. Bu yöntemlerde kullanılacak olan veriler, asıl olarak arazi çalışmaları süresince yapılan gözlem ve değerlendirmelerden elde edilmektedir (Leroi, 1996) Niteliksel yöntemler başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

1.12.2.1. Jeomorfolojik Analiz

Bu yöntem, genelde hava fotoğrafları ile arazi çalışmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda yapılan, araştırmayı yapan kullanıcının mesleki deneyimine bağlı çalışmalardır. Literatürde sezgisel yaklaşım olarak bilinen bir yöntemdir. Parametreleri oluşturan sınıflara ilişkin ağırlıklı değerlerin atanmasında belirli bir kural olmayıp, potansiyel olarak duraysız olabileceği düşünülen alanlar, önceden meydana gelmiş olan heyelanların jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak belirlenir. Niteliksel yöntemler, genel olarak, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesini yapan kişi ya da kişilerin doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve deneyimini esas alan yöntemlerdir. Hava fotoğraflarının yorumlamaları yapılarak arazi çalışmaları desteklenmektedir. Bu yöntemde kullanılan karar kuralları kişisel tabanlara dayandığı için, genelleştirilmiş olarak formülize etmek oldukça güçtür. Çünkü kullanılan karar kuralları araziden araziye hatta poligondan poligona değişmektedir (Süzen, 2002).

1.12.2.2 Parametre Haritalarının Kullanılması

Bu yöntem, heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametrelere ilişkin haritaların oluşturulması ve bunların üst üste çakıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde parametre ağırlık değerlerinin belirlenmesi ve haritalarının ortaya konulması,

parametrelerin araştırmacının deneyimi veya verilerin mantıksal regresyona tabi tutulmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemde deneyimin ön plana çıkması nedeniyle, nitel yöntemler altında ele alınmaktadır (Ercanoğlu, 2003). Parametrelere ağırlık değerlerinin atanması ile bu atanmış değerlerin toplamı belirlenerek duyarlılık tanımlanır (Soeters ve Van Westen, 1996). Parametre haritalarının kullanılması yönteminde ağırlık değerlerinin belirlenmesinde sorun yaşanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, bu yöntemde yapılan işlemler kolaylaşmış ve değişik parametrelerin birbirleriyle ve heyelan oluşumu ile ilişkisi bir arada değerlendirilebilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla veri güncellemesi ve yönetimi daha kolay hale gelmiştir.

1.12.3. Niceliksel Yöntemler

Niceliksel yöntemler, niteliksel yöntemlere göre daha çok matematiksel işlemin olduğu, istatistiksel yöntemlerin (iki veya çok değerkenli), deterministik ve olasılığa dayalı yaklaşımların, özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan bulanık mantık yaklaşımı ve yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı yöntemleri içermektedir. Bu yöntemlerde, inceleme alanına ait koşullarla heyelanların nedenleri arasındaki ilişkiyi, sayısal olarak ortaya koymak mümkün olabilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999)

1.12.3.1. İstatistiksel Analizler

Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde uygulanacak yöntem kapsamında, geçmişte meydana gelmiş heyelanların nedenlerinin, gelecekte oluşabilecek heyelanlara da neden olabileceği kavramının bulunması gerekliliğidir. Bu ilişkinin heyelana neden olan tüm parametre sınıflarını kapsayacak şekilde kurulması güç olmaktadır. İstatistiksel analizler, geçmişte meydana gelmiş heyelanlara neden olan faktörleri, istatistiksel olarak değerlendirmekte ve sayısal olarak ifade edebilmektedir. İstatistiksel yöntemlerin kullanımı, bilgisayar teknolojisi, coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında arttırmıştır. İki değerşkeli ve çok değerkenli olmak üzere iki temel istatistiksel değerlendirme yönteminin olduğu bilinmektedir (Yeşilnacar ve Topal, 2005; Dağ vd., 2006; Akgün ve Bulut, 2007; Nandi ve Shakoor, 2009; Bednarik vd., 2010).

1.12.3.1.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler

Bu yöntem, analizlerde kullanılan her bir parametrenin heyelanlarla ilişkilendirilip, ağırlıklı değerlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Yöntem, biri bağımlı (heyelan olup olmadığı) ve diğeri bağımsız olmak üzere iki değişken ile ilgilenmektedir. Her faktörün önem derecesi, ayrı ayrı analiz edilmektedir.

Bu tür analizlerde:

- 1- Heyelan oluşumuna neden olabilecek parametrelerin seçimi, haritalanması ve uygun sınıflar altında gruplandırılması,
- 2- Heyelan envanter haritasının oluşturulması,
- 3- Envanter haritasıyla her bir parametre haritasının karşılaştırılması,
- 4- Her bir parametre için heyelan yoğunluğunun bulunması ve ağırlıklı değerinin belirlenmesi,
- 5- Ağırlıklı değerlerin farklı parametre haritalarına atanması,
- 6- Hesaplamalar yapılarak, sonuç haritasının hazırlanması gibi işlemler gerçekleştirilir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

1.12.3.1.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler

Çok değişkenli istatistiksel analiz yönteminde, birbiriyle ilişkili ve/veya ilişkisiz çok sayıdaki değişken göz önünde bulundurularak, değişkenler arasındaki bağımlılık yapısının analizinin yapılması amaçlanmaktadır (Tatlıdil, 2002). Bu çalışmalar, incelenen alanın grid tabanlı alt birimlere ayrılması, çalışma alanının ayrıldığı bu alt bölgelerde heyelanın varlığı ve yokluğunun belirtildiği matris oluşturulması aşamalarını kapsar. Bundan sonraki adımda ise heyelan oluşumuna neden olan parametrelere ilişkin ağırlıklı değerler, çoklu regresyon, faktör analizi, diskriminant analizi gibi istatistiksel yöntemlerle belirlenmektedir. Bu yöntemle, heyelanlara ilişkin özelliklerin homojen olduğu veya heyelan türünün farklılık göstermediği bölgelerde oldukça güvenilir sonuçlar alınmaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999).

Bu yöntemin başarılı bir şekilde kullanımı için, son derece ayrıntılı bir veri tabanına gereksinim duyulmaktadır. Daha hassas ve incelenen alanla ilgili koşulları daha iyi yansıtmasından dolayı bu yöntemle üretilen duyarlılık haritalarının incelenen alansal koşulları daha iyi yansıttığı ve güvenilir sonuçlar verdiği değerlendirilebilir. Çok

değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilirken genel olarak şu işlemler gerçekleştirilmektedir:

- 1- İnceleme alanında heyelan oluşumunda etkili olabilecek parametreler belirlenir ve parametre haritaları oluşturulur.
- 3- İnceleme alanına ait heyelan envanter haritası oluşturulur veya güncellenir.
- 4- İnceleme alanında tanımlanan her bir parametre için, sınıf değerlerinin temel alındığı parametre haritaları birleştirilir.
- 5- Çok değişkenli istatistiksel analizler gerçekleştirilir. Bu işlem için, istatistiksel yazılımlar kullanılarak, eldeki veriler değerlendirilir.
- 6- Gruplandırılan birimler, ağırlıklı parametre değerlerinin atanması ile yeniden sınıflandırılır.
- 7- Heyelana neden olabilecek farklı parametrelerin sayısal olarak ifade edilip bir arada değerlendirilmesi sonucunda, elde edilecek matematiksel ilişki yardımıyla, her bir birim için (alt bölge, piksel vb. gibi) heyelana karşı duyarlılık elde edilir (Ercanoğlu, 2003; Nandi ve Shakoor, 2009; Bednarik vd., 2010; Pradhan, 2010).

1.12.3.2. Deterministik Analizler

Bu yöntemin amacı, güvenlik sayısının hesaplanmasıdır. Güvenlik sayısının hesaplanabilmesi ve yöntemin kullanılabilmesi için, geometrik veriler, malzemenin fiziksel özellikleri, kayma dayanımı parametrelerine ait veriler ve boşluk suyu basıncı ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır (Berggren, 1991; Cascini, 1991). Yöntem, coğrafi bilgi sistemlerinin gelişimiyle heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda son derece kullanışlı bir hal almıştır. İnceleme alanı boyutunun küçük olduğu, jeolojik özelliklerin homojenlik gösterdiği ve heyelan türünün değişiklik göstermediği durumlarda, kullanılmalıdır. Özellikle geniş alanlarda yapılacak çalışmalarda, çalışılan alanın özelliklerini sağlıklı bir şekilde belirleyebilecek örnekleme ve deneysel çalışmaların hayli zaman alıcı ve güç olmasından ötürü, genellikle küçük alanlarda yapılan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaktadır. Şevlerin analizini içeren bu yöntem, geoteknik mühendisliğinde şev çalışmaları açısından yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.12.3.3. Olasılık Yaklaşımı

Olasılığa dayalı yaklaşımın heyelan değerlendirmelerinde kullanımı, dikkate alınan parametrelerin olasılıklı dağılımları ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişki veya heyelanları tetikleyici parametrelerin değişiminin ortaya konulması şeklindedir. Birçok mühendislik çalışmasında olduğu gibi heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde de doğal malzemenin doğasından kaynaklanan belirsizliklerin olduğu kaçınılmazdır. Bu belirsizliklerin türü değerlendirmelerde ön plana çıkmakta ve sonuçları olumsuz etkilemektedir. Olasılık yaklaşımı ile doğrusal davranış gösteren malzemelerdeki sistematik belirsizliklerin değerlendirilmesi sağlıklı bir şekilde yapılabilmeyle birlikte, doğrusal olmayan davranış gösteren doğal malzemelerdeki belirsizliklerin tanımlanması, hatalı sonuçlara yol açabilmektedir (Ercanoğlu, 2003).

1.12.3.4. Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zordur veya mümkün değildir. O nedenle, yapay zeka bilim dalının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir (Sağıroğlu vd., 2003). Yapay zeka kavramı içerisinde farklı amaçlara yönelik olarak kullanılan yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bulanık mantık (fuzzy logic) ve yapay sinir ağları (artificial neural networks) yöntemleri özellikle son yıllarda heyelan değerlendirmelerinde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır.

1.12.3.4.1. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yaklaşımı

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh tarafından temeli atılan bir kavramdır. Bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir

matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark klasik mantığın önermelerin sadece aşırı uç değerleri kullanmasıdır. Klasik mantık yöntemleriyle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam ve net olmalıdır. Bulanık mantık, klasik mantıktaki doğru ve yanlış, var ve yok ya da 1 ve 0 gibi ani geçişleri yumuşatmaktadır. Bu yeni yaklaşıma klasik mantığın dünya problemlerini çözmede yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur (Sağiroğlu vd., 2003). Özellikle mühendislik çalışmalarının karar verme aşamalarında deterministik yaklaşımların yanı sıra, karmaşık sistemlerin doğasından kaynaklanan bazı belirsizliklerin giderilebilmesi için, klasik mantık temelli matematiksel yaklaşımlardan farklı bir takım yeni mantıksal ve matematiksel yaklaşımlara gereksinim duyulmuştur (Ercanoğlu, 2003; Champati, 2006; Pradhan vd., 2009).

Heyelanlarla ilgili değerlendirmelerde, istatistiksel olarak yeterli ve güvenilir bir veri tabanı oluşturulmasının mümkün olmadığı durumlarda, bir uzman görüşü yardımıyla birlikte bulanık mantığın kullanımının önemli katkılar sağlayabileceği vurgulanmaktadır. Gerek heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan parametrelerdeki, gerekse malzemenin doğal yapılarından kaynaklanan belirsizliklerden ötürü bulanık mantık yaklaşımı, değerlendirmelerde doğal koşulların yansıtılabilmesi açısından da kullanışlı bir araç olarak görülebilir (Ercanoğlu, 2003).

1.12.3.4.2. Yapay Sinir Ağlarının (Artificial Neural Network) Kullanımı

Yapay sinir ağları(YSA), temelini insanlardaki merkezi sinir sisteminden alan ve birbiriyle ilişkili çok sayıda düğümden oluşan sistemlerdir. Geleneksel programlama yöntemleriyle çözülemeyen bir dizi problem, YSA ile çözüm bulmaktadır. Geniş veri gruplarının yorumlanması istenen çalışmalar, giriş ve çıkış verileri belli ancak bu veriler arasındaki ilişkilerin net olarak ortaya konulamadığı durumlarda bu yöntem etkili olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda yapay sinir ağları kullanılarak yapılan heyelan değerlendirme çalışmalarının sayısında giderek bir artma gözlenmektedir (Lee vd., 2001; Lee vd., 2003; Ermini vd., 2004; Gomez ve Kavzoğlu, 2004; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Kawabata ve Bandibas, 2009; Sezer vd., 2010; Pradhan, 2010). Heyelan duyarlılık değerlendirme çalışmalarında YSA'nın kullanımı yeni yeni başlanmıştır. Özellikle doğrusal olmayan koşullara bağlı parametrelerin temel alındığı bu çalışmalarda kullanışlı

olabileceği düşünölen yöntemeye ait uygulamaların sayısının zaman içerisinde artacağı düşünölmektedir.

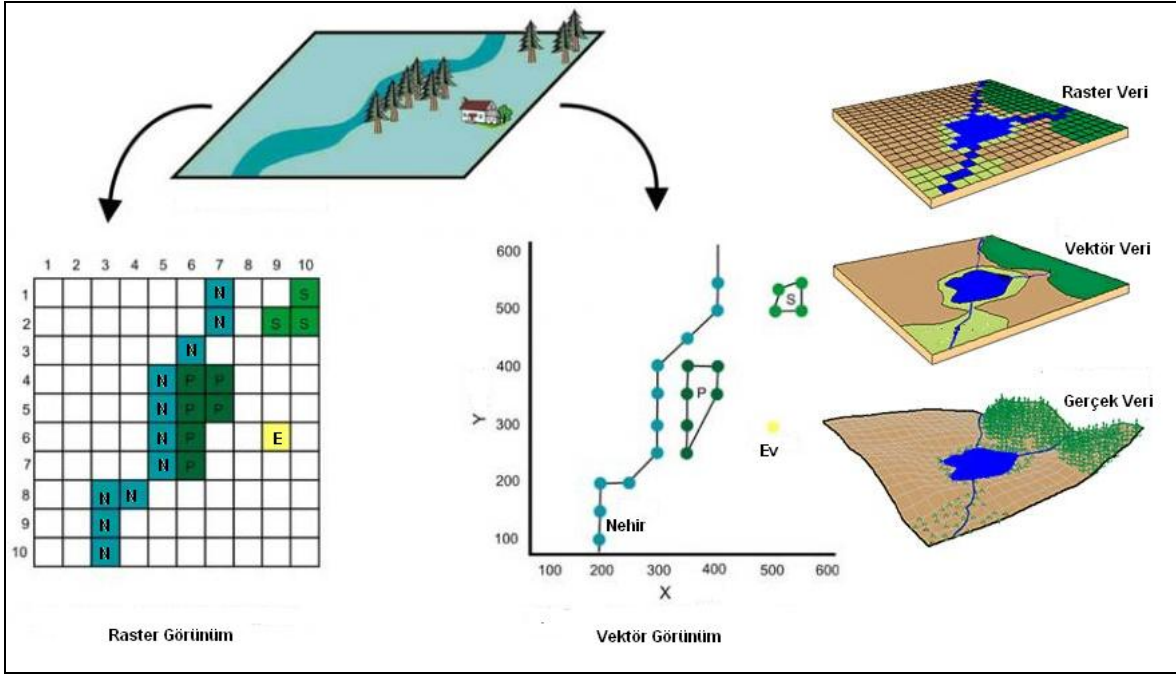
1.13. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), genel olarak konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütönlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2000). CBS en genel haliyle bilgi teknolojisine dayalı sistemleri bünyesinde toplanmış ve sonuçta; disiplinler arası bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, CBS'yi diğer sistemlerden farklı kılan en önemli özelliği coğrafi analiz yapabilme kapasitesi, diğer bir ifadeyle mekânsal analitik işlemleri gerçekleştirebilme yeteneğidir (Maguire, 1992).

CBS yeryüzüne ait bilgileri, birbiri ile coğrafi anlamda ilişkilendirilmiş tematik harita katmanları olarak saklar. CBS ile bu tür işlemler daha hızlı ve daha başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Sistemin kurulabilmesi için gerekli elemanlar, yazılım, donanım, veri tabanı, yöntemler ve insanlardır. Sistemin başarısındaki en önemli faktör bu konuda yetişmiş insandır. Coğrafi Bilgi Sistemleri sahip olduğu donanım ve yazılım ürünleri sayesinde veri girişı ve bu verilerle ilgili işlemler yapılabilmektedir. Ayrıca veri depolama, gerekli durumlarda bu veri tabanında güncelleme, ayıklama, transfer gibi işlemler ile veri dönüşümleri ve analiz yapabilme özelliklerine sahiptir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan verinin özelliklerine göre de bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların başında, farklı konumsal veri modelleri gelmektedir. Veri modeli bir plana göre verinin mantıksal organizasyonu olarak bilinmektedir. CBS'de, vektörel (vector) ve hücresele (raster) veri modeli olmak üzere iki farklı konumsal veri modeli vardır.

Vektörel veri modelleri; harita görünümüne sahip coğrafi verilerdir. Vektörel veri modelinde, nokta, çizgi ve poligonlar (x,y) koordinat değerleriyle kodlanarak depolanırlar. Nokta özelliği gösteren bir elektrik direği tek bir (x,y) koordinatı ile tanımlanırken, çizgi özelliği gösteren bir yol veya akarsu şeklindeki coğrafi varlık birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi şeklinde saklanır (Şekil 16). Poligon özelliğine sahip coğrafi varlıklar, örneğin; imar adası, bina, orman alanı, parsel veya göle, kapalı şekiller olarak, başlangıç ve bitişinde aynı koordinat olan (x,y) dizi koordinatlar ile depolanır. Vektörel model coğrafi varlıkların kesin konumlarını tanımlamada son derece yararlı bir modeldir.

Ancak, süreklilik özelliği gösteren coğrafik varlıkların, örneğin toprak yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin ifadesinde daha az kullanışlı bir model olarak bilinir.

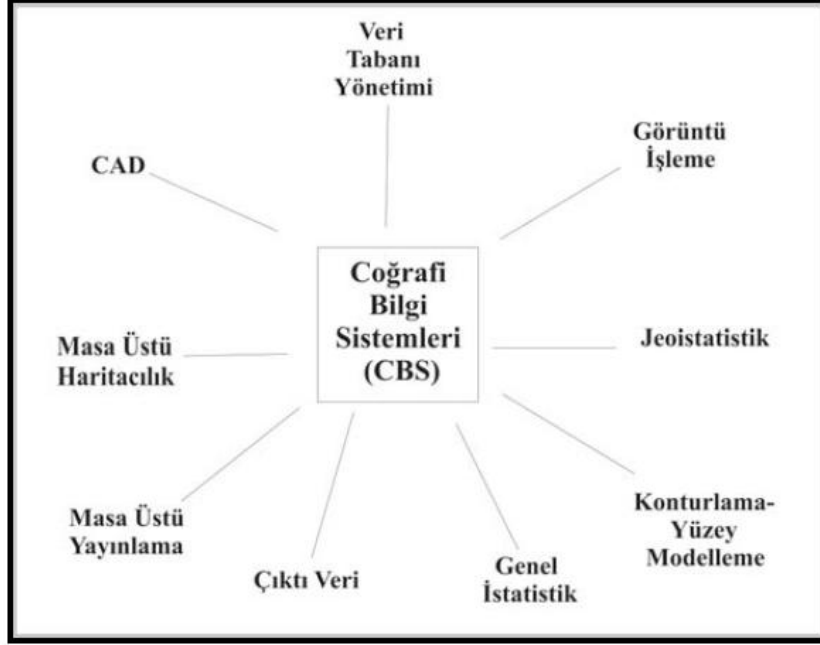


Şekil 16. Raster ve vektör veri görünümü (URL- 4, 2011)

Vektörel veri modelleri sayısallaştırma işlemi ile elde edilebilir. Hücresel (raster) veri modelleri, daha çok süreklilik özelliğine sahip coğrafik varlıkların ifadesinde kullanılmaktadır. Raster görüntü, birbirine komşu grid yapıdaki aynı boyutlu hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Hücrelerin her biri piksel olarak ta bilinir. Fotoğraf görüntüsü özelliğine sahip raster modeller, genellikle fotoğraf ya da haritaların taranması ile elde edilirler. Vektör ve raster veri modellerinden biri genelde CBS uygulama biçimine göre tercih edilerek kullanılır.

Ancak günümüzde her iki model aynı anda da kullanılabilir. Bu veri modelinin avantajları arasında veri yapısının basit olması ve uydu görüntüleri ile haritaların kombinasyonunun kolay olması sayılabilir. Ancak grafik verilerin çok geniş hacimler gerektirmesi, ağ yapılandırması ve objeler arası bağlantı oluşturulmasının oldukça güç olması ve raster haritaların görünümünün hassas çizilmiş haritalara oranla çok daha kötü olması gibi bir takım dezavantajları mevcuttur (Yomralıoğlu, 2000).

İdeal bir coğrafi bilgi sisteminde olması zorunlu olan bazı bileşenler bulunmaktadır (Şekil 17).



Şekil 17. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin bileşenleri (Süzen, 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde özellikle inceleme yapılan alanın geniş olması durumunda veri toplama aşaması daha da büyük önem kazanmaktadır. Veri toplama işlemlerinin çok zaman gerektirdiği ve maliyetli olduğu dikkate alındığında, veri toplama aşamasında yapılması gereken işlemlerin belirli bir sistematik ve belirli metotlara göre yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde konumsal veriler, çeşitli yöntemlerle toplanmaktadır. Bu yöntemler;

- Yersel ölçme yöntemleri,
- Fotogrametrik yöntem,
- Uzaktan algılama tekniği,
- Global konum belirleme (GPS),
- Mevcut verilerin değerlendirilmesi ile bilgi aktarımı,
- Mevcut haritaların sayısallaştırılması,
- Tarama sistemleriyle otomatik sayısallaştırma,

olarak sıralanabilir. Konumsal verilerin, haritalar gibi mevcut verileri içermesi durumunda kullanılacak veriler direk sayısallaştırma işlemleri yapılarak elde edilir. Ancak konumsal verilerin mevcut olmayan verileri içermesi durumunda ise diğer veri toplama yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Gerekli olan veri, çalışma koşulları ve imkanlara göre, arazide yapılan yersel ölçümler, küresel konum belirleme, fotogrametrik yöntemle harita üretimi ve uydu fotoğraflarından yararlanarak elde edilebilir (Yomralıoğlu, 2000)

CBS'nin heyelan duyarlılık değerlendirmesindeki üstünlükler ve sınırlamalarını aşağıdaki gibidir.

Üstünlükleri:

1. Çok sayıda duyarlılık değerlendirme yöntemine ulaşılabilirlik mümkün olmaktadır. Hesaplama aşamasının oldukça hızlı olmasından dolayı çok sayıda haritanın üst üste çakıştırılması ve tabloların hesaplanması mümkün olmaktadır.
2. Yeni modellerin geliştirilmesi, geliştirilen bu modellerin çok sayıda tekrarı ile modelin etkinliğinin irdelenmesi olanağı sağlamaktadır. Bu imkânlar, klasik ve geleneksel yöntemlerle çok uzun zaman ve emek harcanmasına neden olurken CBS ortamında bu tür kayıpların minimum olması sağlanmaktadır.

Sınırlamaları:

1. Veri girişi açısından çok zaman gerektirmektedir. Özellikle sayısallaştırma işlemi en çok zaman harcanmasına neden olan işlem adımıdır.
2. Veri analizi için çok sayıda yöntemin olması teorik olarak mümkün olmasına karşın genellikle gerekli olan veri kaybolması söz konusu olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, analiz amaçlı araçlar çok ancak verilerin belirsizliği ya da yeterli veri olmamasından dolayı efektif yöntem kullanımları mümkün olmamaktadır (Süzen, 2002).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Heyelanlarla ilgili değerlendirme çalışmaları, 40 yılı aşkın süredir yapılmakta olup; başlangıçtaki çalışmalar, yerel duraysızlıkların araştırılmasına ve bu duraysızlıklarla ilgili iyileştirme çalışmalarına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise genel eğilim, öncelikli olarak bölgesel değerlendirmelerin yapılması yönündedir. Bu durumun en önemli gerekçesi ise, her türlü mühendislik çalışması için bu tür çalışmalara olan gereksinim, bölgesel planlamanın önemi ve ekonomik açıdan getirdiği katkılar olarak değerlendirilmektedir (Soeters ve Van Westen, 1996).

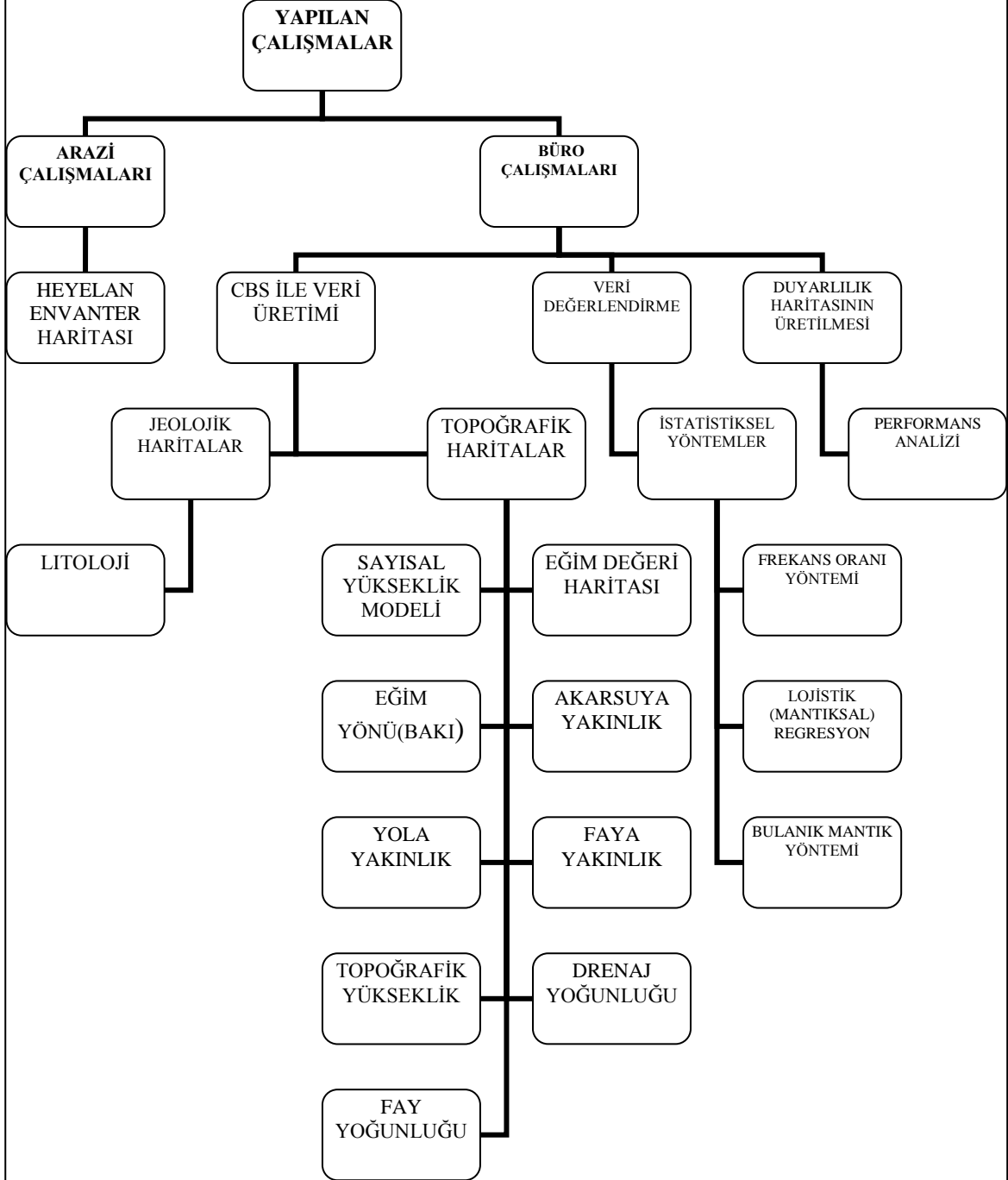
Bu bölümde çalışma kapsamında yapılan arazi ve bilgisayar destekli büro çalışmaları genel olarak özetlenmiştir (Şekil 18).

2.2. Arazi Çalışmaları

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin en önemli aşaması, heyelan envanterinin ve heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ilişkin veri tabanının oluşturulmasıdır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının güvenilir olmasında, elde edilen verinin miktarı ve kalitesi önemli bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda heyelan envanteri ve parametre haritalarındaki hatalar, sonuç duyarlılık haritasına yansımaktadır (Van Westen, 1994).

İnceleme alanındaki mevcut heyelanları tespit etmek ve bölgeye ait heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için gerekli olan parametrelerin neler olduğunu belirlemek amacı ile öncelikle genel olarak arazi incelemeleri ve değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan arazi çalışmalarında, ilk olarak yaklaşık 118 km' lik yol güzergahı boyunca yerleşim yerleri ve heyelan alanları genel olarak incelenmiştir. Arazideki incelemelere Tokat-Erbaa'dan başlanmış ve o güzergah boyunca devam edilerek Sivas-Suşehri'ne kadar gidilmiştir. Bu yerleşim yerlerindeki ilgili yetkililere çalışmanın önemi ve amaçları konusunda bilgi verilerek, geçmişte olmuş doğal afetler konusunda da bilgi alınmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi için ilk olarak mevcut

heyelanların alansal dağılımlarının olduğu envanter haritalarının hazırlanması gerekmektedir.



Şekil 18. Yapılan çalışmalara ait iş akış diyagramı

Heyelan envanter çalışması kapsamında Tokat-Niksar ile Sivas-Suşehri arasında kalan bölgede karayoluna ve kelkit çayına yakın, bazı bölgelerde iç kısımlarda olmak üzere

71 adet heyelan belirlenerek, heyelanların lokasyonları, duyarlılığı 3-14 m arasında değişen GPS aletinden yararlanılarak, 1/25000'lik topoğrafik haritalara işaretlenmiştir. Oluşturulan heyelan envanter formuna her bir heyelanın, lokasyonu, koordinatı, türü, kayma yüzeyinin eğimi, eğim yönü, yamaç şekli, bitki örtüsü, malzeme özellikleri ve mevcut ise meydana gelen kayıplarla ilgili bilgiler işlenmiştir. Bu heyelanlardan bazıları Şekil 19'da görülmektedir.



POLATBEY TEKKESİ



ESKİKÖY MAHALLESİ



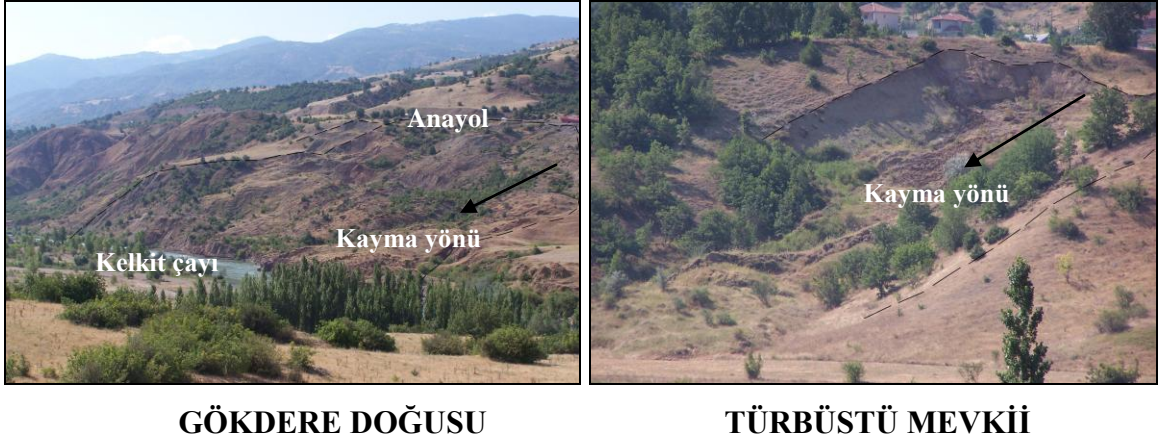
KAPIĞZI KÖYÜ



HALLAÇ MAHALLESİ

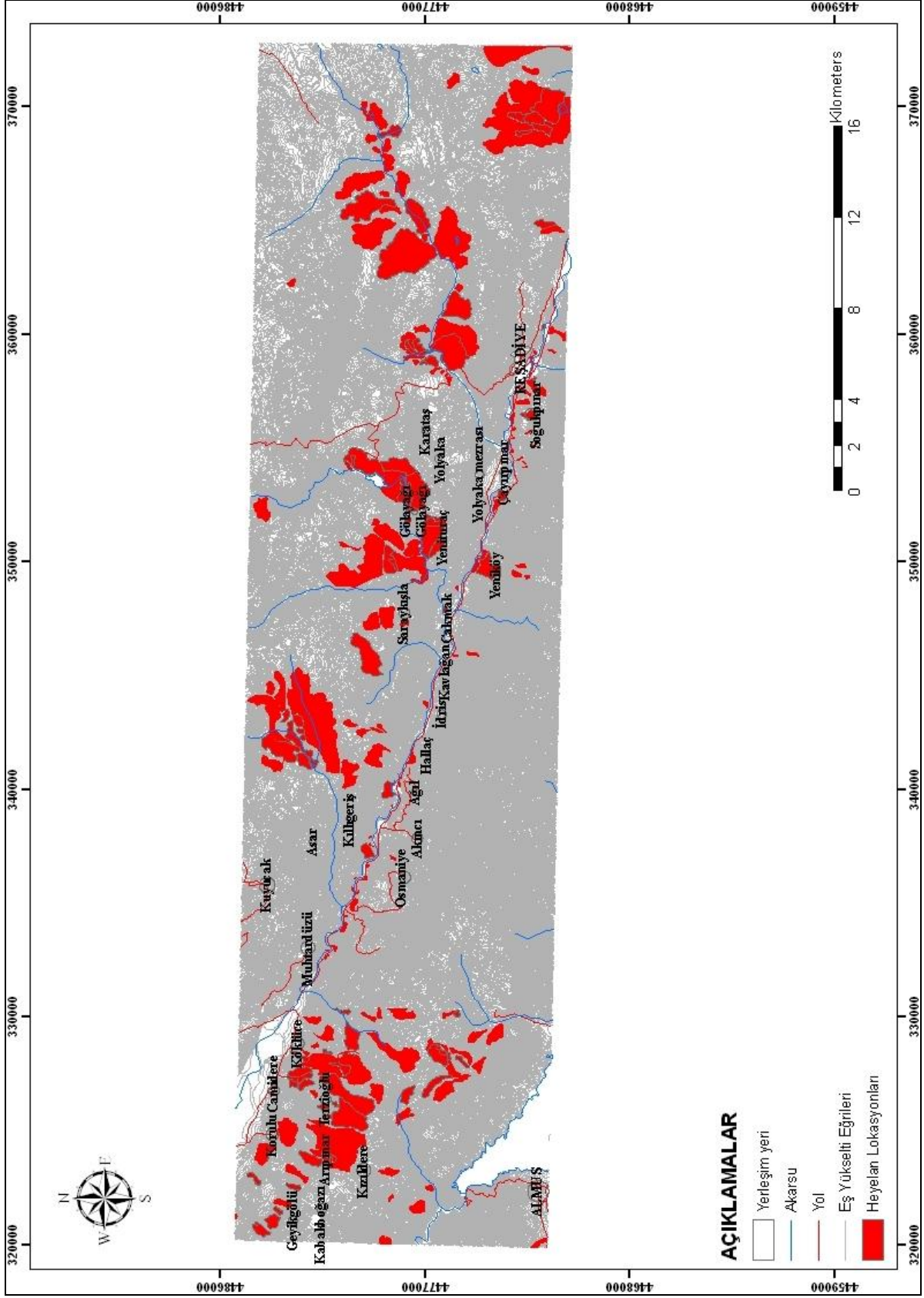
Şekil 19. İnceleme alanında gözlenen heyelanlardan bazı örnekler.

Şekil 19'un devamı

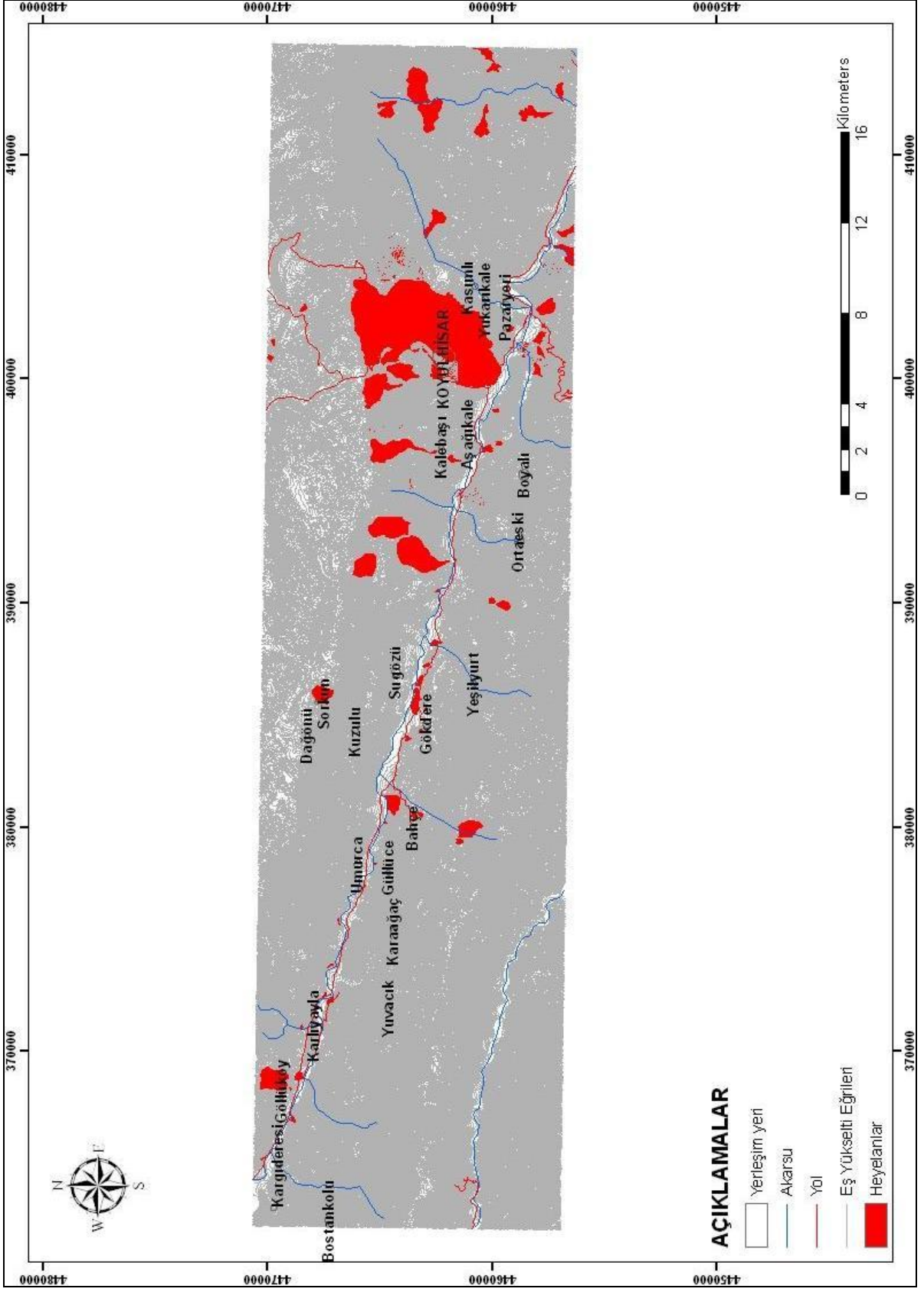


2.2.1. İnceleme Alanı Heyelan Envanteri ve Özellikleri

Heyelan envanteri, bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, aktivitesi ve fiziksel özellikleri gibi konulara ilişkin bilgileri içeren, çoğunlukla bir harita ve bununla ilişkilendirilmiş bir veri tabanından oluşan veri topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Fell vd., 2008). Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri için analizlere temel teşkil eden heyelan envanter haritasının oluşturulması amacıyla öncelikle, arazi çalışmaları sırasında 1/25000'lik topoğrafik haritalara işlenen heyelan lokasyonları ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nden alınan heyelan verileri ArcGIS yazılımından faydalanılarak vektör olarak sayısallaştırılmıştır. Heyelan lokasyonları alansal veri tabanlı poligon olarak sayısallaştırılmış, daha sonra tüm poligon vektör formatındaki veriler, analizde kullanılmak amacıyla raster veri formatına dönüştürülmüştür (Şekil 20,21). İnceleme alanı D1 için toplam 251 adet ve D2 için toplam 90 adet heyelan belirlenmiştir. Bu heyelanların toplam alanı inceleme alanı D1 için 84.78 km² ve D2 için 47.50 km² 'dir. İnceleme alanı D1 için, 54,59 km² toplam alana sahip 170 adet heyelan duyarlılık analizinde, 30,09 km² toplam alana sahip 81 adet heyelan ise duyarlılık haritalarının güvenilirliğinin tespitinde kullanılmıştır. Benzer şekilde inceleme alanı D2 için, 38,24 km² toplam alana sahip 67 adet heyelan duyarlılık analizinde, 9,26 km² toplam alana sahip 23 adet heyelan ise duyarlılık haritalarının güvenilirliğinin tespitinde kullanılmıştır.



Şekil 20. İnceleme alanı D1 için heyelan envanter haritası



Şekil 21. İnceleme alanı D2 için heyelan envanter haritası

İnceleme alanındaki heyelanların, dairesel kayma, toprak akması türünde oluştukları gözlenmiştir. Yamaç eğimine bakıldığında genelde 15-45⁰ eğime sahip yamaçlarda dairesel kaymalar, 45-75⁰ eğime sahip yamaçlarda toprak akmaları belirlenmiştir.

Dairesel kayma türündeki heyelanların tekil, ardışık olmak üzere iki farklı şekilde geliştiği gözlenmiştir. Dairesel kaymaların gözlendiği alanlar incelendiğinde, bunların bir kısmının akarsu hatlarına dik konumda geliştiği ve yine bir kısmının karayoluna dik konumda geliştiği görülmektedir (Şekil 22).



Şekil 22. Yumurcaktaş mahallesi doğusunda oluşmuş heyelan (daireysel kayma)

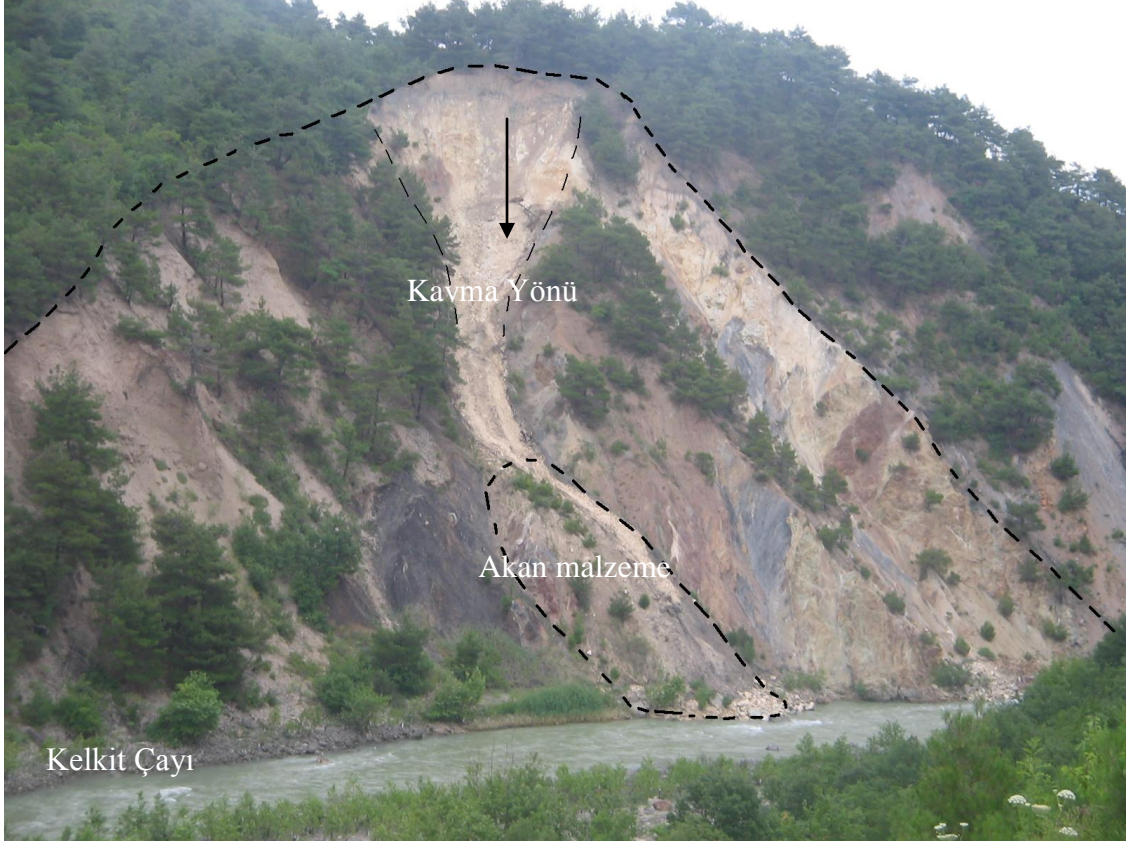
Ardışık dairesel kaymalar incelendiğinde, bu tür kaymalarda hareketin şevin üst kısımlarına doğru devam ettiği, bu durumda akarsuların neden olduğu topuğu zayıflatma olayına benzer, bir önceki durumda hareket eden malzemenin yerini üst kotlardaki malzemenin almasıyla aşağı doğru bir hareket olduğu gözlenmiştir (Şekil 23). Ardışık

dairesel kaymalar kendi içerisinde değerlendirildiğinde, her biri birer tekil dairesel kayma olarak ele alınabilir.



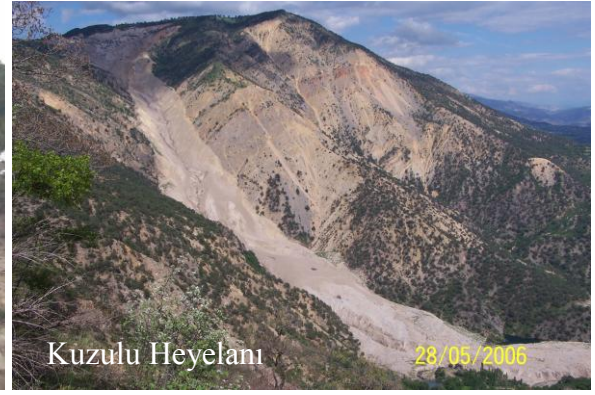
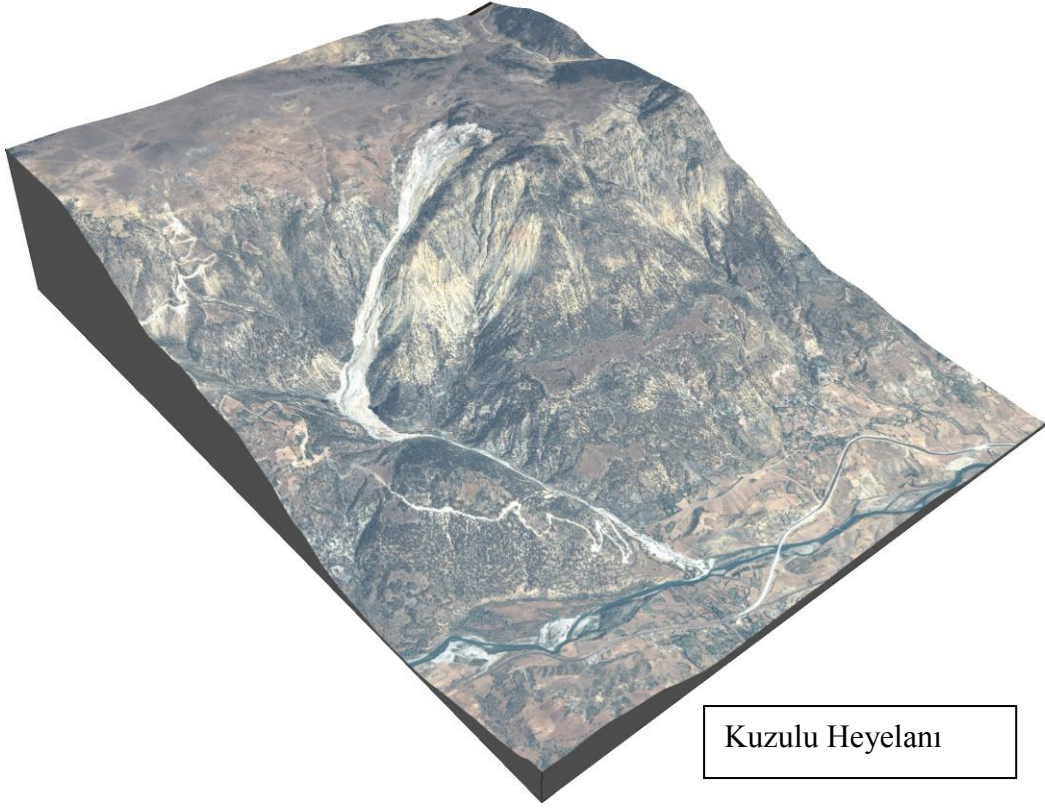
Şekil 23. Koyulhisar batısı Aşağıkale mahallesi güneybatısında oluşmuş heyelan (ardışık dairesel kayma)

Toprak akması şeklinde gelişen heyelanlar, ince taneli malzemelerden oluştukları için, yavaş hızlardan yüksek hızlara kadar değişen bir aralıkta, üzerinde aktıkları eğime de bağlı olarak hareket edebilmektedirler. Bu tür bölgelerde suyun varlığı ve bitki örtüsünün az olması toprak akmalarının gelişimini kolaylaştırmaktadır. Toprak akması türündeki heyelanlar incelendiğinde, bu tür kaymaların eğim derecesi yüksek topoğrafyaya sahip yamaç ve şevlerde geliştiği gözlenmiştir. Akan malzemelerin, kil boyutundan çakıl boyutuna kadar değişen bir aralıkta taneleri içerdiği saha gözlemleri sonucunda belirlenmiştir. Toprak akması türündeki heyelanlarda, kayma yönüne paralel su akışlarının da olduğu gözlenmiştir (Şekil 24).



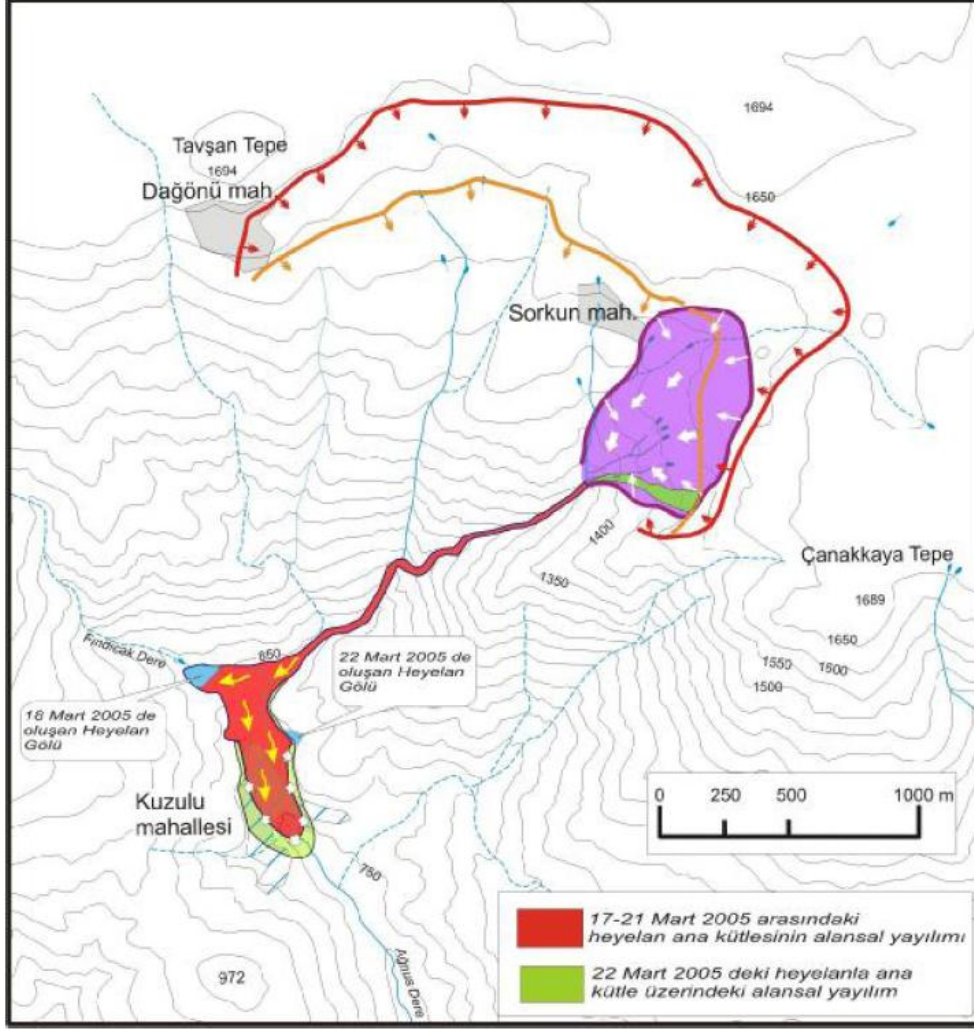
Şekil 24. Muhtardüzü mahallesi güneyinde oluşmuş toprak akması türündeki bir heyelan

İnceleme alanında 17 Mart 2005 günü Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nun yaklaşık 3 km kuzeyinde Kuzulu heyelanı meydana gelmiştir (Şekil 25). Kuzulu heyelanı, başlangıçta dairesel kayma şeklinde gelişmiş, dairesel kaymayı takiben, birikme zonundaki malzeme dik topoğrafya ve yüksek su içeriği nedeniyle hızlı akma şeklinde bir hareket sergilemiştir (Gökçeoğlu 2005). Heyelanın başlangıcı olan Sorkun yaylası ve civarı eski bir heyelan bölgesidir. Sorkun yaylası civarında yaklaşık 1.400 ile 1.650 metre yüksekliğindeki bir alandan yer yer 45-50⁰ eğime ulaşan dar ve derin bir vadi boyunca yaklaşık 10-12 milyon m³ hacminde akan kütle 2.5-3 km taşınarak Kuzulu mahallesinin büyük bir bölümünü toprak altında bırakmıştır (Tatar, 2005). Vadi içerisine akan bu kütlelerin en uç noktasının taban kotu Kuzulu Mahallesi içerisinde 754 metre iken, akmanın son bulunduğu topuğun gerisinde tavan kotu yaklaşık 850 metre dolayındadır.



Şekil 25. Kuzulu (Sugözü-Koyulhisar, Sivas) mahallesinde oluşmuş dairesel ve toprak akması türündeki bir heyelan

Vadinin batı yamacında Fındıcak deresi ağzında geçici heyelan gölü oluşturmuştur. 22 Mart 2005 günü ikinci küçük çaplı heyelan sonrasında vadinin doğu yamacında ikinci bir heyelan gölü daha oluşmuştur (Şekil 26).



Şekil 26. Kuzulu mahallesi heyelan bölgesinin morfolojisi ve heyelanın yüzeysel dağılım geometrisi (Tatar, 2005)

İnceleme alanında arazi çalışmaları sırasında 23.06.2006 tarihinde yeni olmuş bir heyelan yerinde görülmüştür (Şekil 27). Heyelan, Niksar-Reşadiye karayolunun 33.km’de meydana gelmiş ve yolun 15 gün süreyle trafiğe kapanmasına neden olmuştur. Heyelanın, toprak akması şeklinde geliştiği gözlenmiştir. Heyelan öncesi, karayolu güzergâhı geçirilirken yamacın topuk kısmında bir kazı yapıldığı ve ardından istinat duvarı inşa edildiği görülmüştür. Heyelan sonrası, heyelanın taç kısmındaki örselenmiş malzeme bu bölgeden tamamen uzaklaştırılmıştır. İyileştirme çalışmaları kapsamında yamaç kademelendirilerek yamaç eğimi düşürülmüştür.



Şekil 27. Niksar-Reşadiye karayolu 33. km' de heyelan a.heyelan öncesi b.heyelan sonrası

2.3. Büro Çalışmaları

Konumsal verilerin toplanmasına yönelik işlemler, vektör ve raster yapıdaki verilerin toplanması şeklindedir. Vektör yapıdaki verilerin temelini 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar oluşturmaktadır. Bu çalışmada öncelikle inceleme alanını kapsayan 1/25000 ölçekli topoğrafik paftalar taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra bilgisayar ortamında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları kullanılarak eşyükseklik eğrileri 10 m aralıkla sayısallaştırılmıştır. Resim koordinatlarında elde edilen vektörel veriler, afin dönüşümü ile UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu eğrilere yükseklik değerleri girilerek TIN (Triangulated Irregular Network) veri yapısında çalışma alanının üç boyutlu sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Sonra yine Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları sayesinde heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılacak olan parametrelerden yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı) ve yükseklik parametrelerine ait haritalar sayısal yükseklik modelinden hareketle üretilmiştir. Vektör yapıdaki diğer veriler ise litoloji, faya yakınlık, yola yakınlık, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu ve fay yoğunluğu parametrelerine ait haritalardır. Bu haritalar da gerekli sayısallaştırma ve dönüşüm işlemleri yapılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve analize hazır hale getirilmiştir.

Verilerin toplanmasından sonra raster ve vektör veri yapısında elde edilen bilgilerin entegrasyonu yapılarak konumsal sorgulama ve analiz türlerine göre gerekli dönüşümler gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılacak parametrelerin haritaları üretildikten sonra, her bir parametrenin heyelan oluşumundaki etkisini belirlemek ve heyelan yoğunluklarını hesaplamak için, raster veri yapısında hazırlanan parametre haritaları heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanına ait heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında frekans oranı, lojistik regresyon ve bulanık mantık analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Üç yöntemde de her bir parametre heyelan envanteri ile karşılaştırılmış, heyelan meydana gelme olasılığı formüle edilmiştir. Sonra analiz sonuçları gerekli dönüşüm işlemleri yapılarak uygun biçimde CBS ortamına aktarılmış ve duyarlılık haritası üretilmiştir.

Son olarak oluşturulan haritaların güvenilirliği performans analizleri yapılarak test edilmiştir.

2.3.1. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Verilerin Üretimi

Coğrafi bilgi sistemlerinde veri üretimi en zaman alıcı ve en fazla işgücünün harcandığı kısım olması dolayısıyla üretilen veri türleri, bunların üretimi sırasında kullanılan yöntem ve yaklaşımlar ve sonuç olarak heyelan duyarlılık analizinde girdi veri olarak kullanılan parametre haritalarının üretimi bu bölümde özetlenmeye çalışılmıştır.

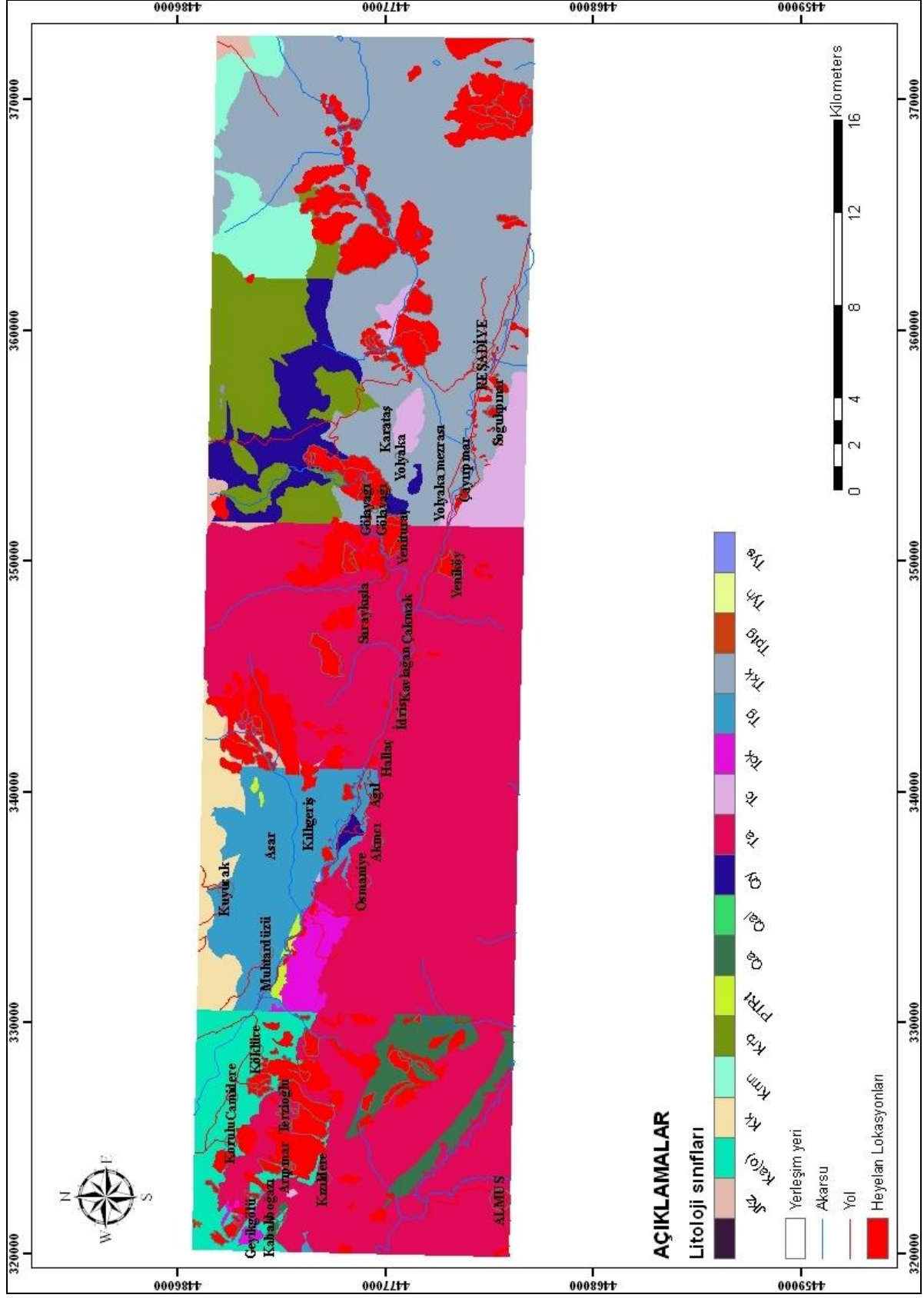
2.3.1.1. Litoloji

Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma gerilmeleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı da farklı olmaktadır.

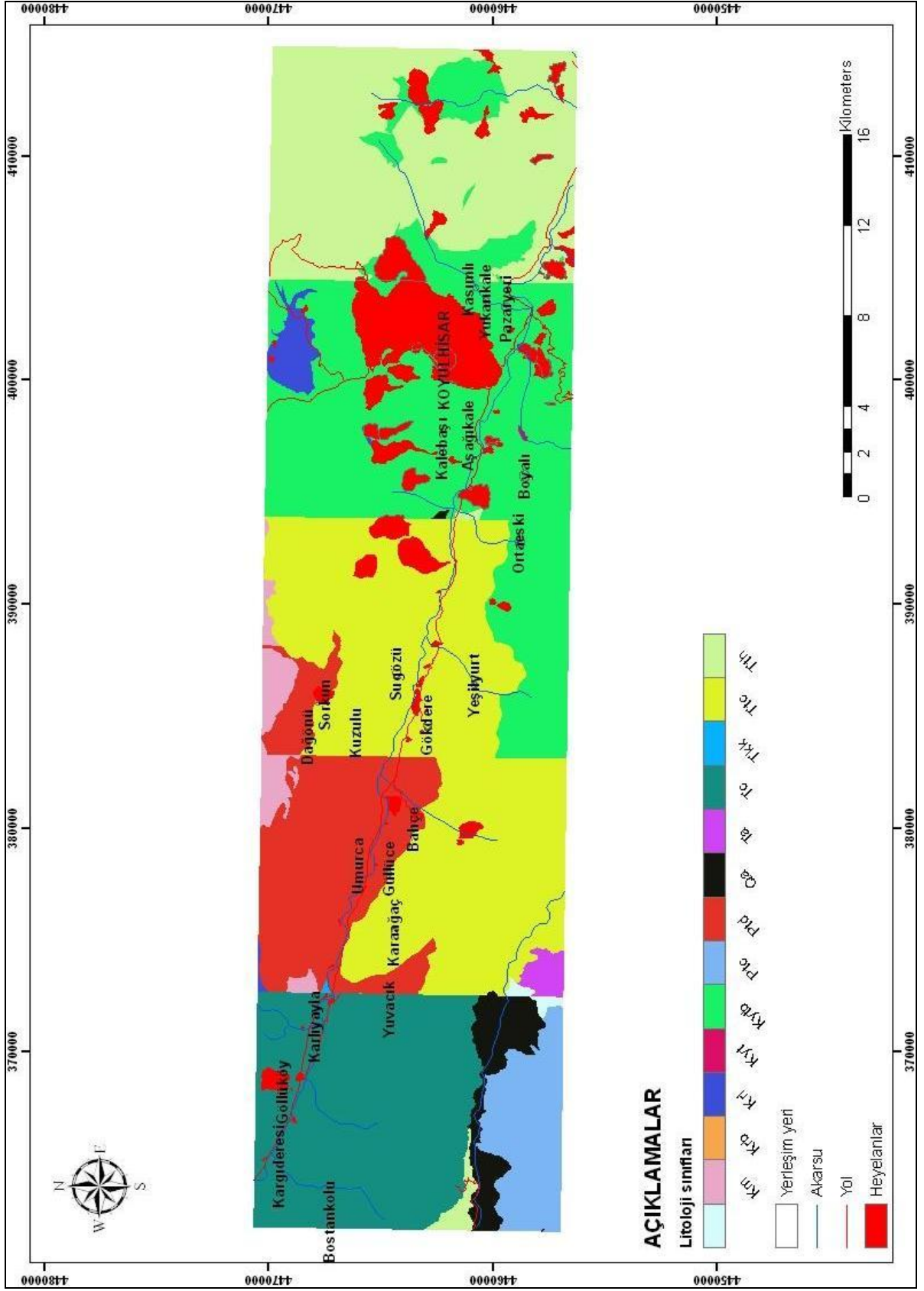
İnceleme alanının jeoloji haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nden vektör formatında alınmıştır. MTA'dan alınan haritalar ArcGis 9.1 yazılımı kullanılarak litoloji sınıflarına ayrılmıştır. Sınıflandırılan jeoloji haritalarının D1 için 17, D2 için 13 litolojik birime ayrıldığı görülmüştür (Şekil 28, 29). Litolojik birimler, alansal dağılımlarının hesaplayabilmesi ve çalışmaya yönelik analizlerinin yapılabilmesi için ArcGis 9.1 yazılımı kullanılarak 25 x 25 m pixel boyutundaki raster veri formatına dönüştürülmüştür.

İnceleme alanına yönelik araştırmacılar tarafından yapılan formasyon adlamaları incelenmiş ve inceleme alanı içerisinde yer alan litolojik formasyon sınıfları aşağıda verilmiştir.

Zinav Kireçtaşı (JKz), yerli dizinin görülebilen en yaşlı kayatürünü oluşturan kireçtaşı yüzeylemelerini Reşadiye'nin KB'sındaki Zinav boğazı yamaçlarında izlemek mümkündür. Reşadiye ile Niksar arasındaki Kelkit vadisi kuzey yamacında ve Niksar dolayında görülmektedir. Bu kireçtaşın genel rengi beyazımsı, açık gri, değişmiş rengi kirlili, gri, renk dağılışı tekdüzedir. Alt ve üst düzeyleri tabakasız ya da çok kalın tabakalı, orta düzeyleri ise kalın tabakalıdır. Bol çatlaklı, çatlaklar kalsit dolgululu; ince taneli ve tekdüze dokulu, bazı yerlerde olitik dokudadır. Zinav Kireçtaşı'na genel olarak Orta—Üst Jürasik—Alt Kretase yaşlı verilmiştir (Terlemez ve Yılmaz, 1980).



Şekil 28. İnceleme alanı D1 için litoloji haritası



Şekil 29. İnceleme alanı D2 için litoloji haritası

Mesudiye Formasyonu (Km), Algora, bazik akıntı, kireçtaşı, tüfit ve kum taşından oluşan aralanmanın en tipik yüzeylemeleri Reşadiye ile Koyulhisar arasındaki Kelkit vadisinin kuzey yamacında, Reşadiye'nin kuzeyinde ve Zinav gölü dolayında rastlamak mümkündür. Bu formasyon; aglomera, koyu gri, kahverengimsi, siyaha yakın renkte, tabakasız, yer yer çok kalın—kalın tabakalı, çakılları ufak çakıl, büyük çakıl, blok büyüklüğünde ve çoğunlukla andezit ve bazalttır. Çimentosu gevşek veya sıkı olup tuf ve andezitten oluşmaktadır. Çakılları köşeli, boylanmamış, birbirleriyle teması, çimentosu sıkı olanlarda oldukça fazla, gevşek çimentolularda ise yoktur. Bazik akıntı, genellikle andezit, yer yer bazalt ve spilitik karakterdedir. Koyu gri, kahverengimsi, yeşilimsi ve mor renkli; orta—kalın tabakalı, yer yer tabakasız, dokusu pek belli değil, ince taneli akıntı yapısı göstermekte, değişik yönde çatlaklı ve çatlaklar yer yer kalsit dolguludur. Kireçtaşı, Mesudiye Formasyonu içerisinde Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi'nden oluşan fakat harita birimi olarak ayırlamayan kireçtaşı düzeyleri ile farklı özellikteki killi, tüflü ve kumlu kireçtaşı düzeyleri görülmektedir. Gri, yeşil ve bordo renkli, genellikle ince-orta tabakalıdır. İçerisindeki kum ve kil oranı kuzeyde, tuf ve kil oranı ise Mesudiye dolayında artmaktadır. Tüfit, Mesudiye formasyonu'nda en egemen kayatürüdür. Güneyde özellikle Mesudiye dolayında kuzeye göre daha yaygındır. Genellikle koyu gri, gri, yeşil ve kahverengi, ince—orta tabakalı bazen tabakasız veya kalın tabakalıdır. Yer yer, özellikle Mesudiye—Yeşilce yolu üzerinde çapraz tabakalıdır. Ele teması pürüzlü, tane boyları çakılcık, ender kireçtaşı çakılıdır. Kumtaşı, Mesudiye Formasyonu içerisinde en az görülen kayatürü olan kumtaşının taneleri tamamen volkanik kökenlidir. Yeşilimsi, gri, kırmızımtrak ve kirli sarı renkte, ince—orta tabakalıdır. Genellikle taneleri orta derecede yuvarlaklaşmış, kötü boylanmış bazen orta boylanmıştır. İnce taneli, elemanların pek çoğu volkanittir. Yer yer küresel ayrışma gösterir. Mesudiye Formasyonu, Senomaniyen—Kampaniyen yaşındadır (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi (Kmn), Mesudiye Formasyonu'nun her düzeyinde görülen kireçtaşının en tipik yüzeylemeleri Nebişeyh dolayında izlenmiştir. Bu üyeyi ayırtlanmış olarak Zinav gölü, Reşadiye kuzeyinde ve Mesudiye dolayında görme olanağı vardır. Bu kireçtaşı, genellikle kırmızı,düzenli ve ince—orta tabakalı, yer yer kumlu, gevrek yapılı, kırıntılı ve yer yer marn arakatlıdır (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Reşadiye Formasyonu (Kr), Bereketli Üyesi ve İğdir Kireçtaşı üyesi'ni içeren Reşadiye Formasyonu Kelkit vadisi kuzey yamacında, Reşadiye ve Bereketli dolayında oldukça yaygındır. oldukça fazla, kireç oranı az ve genellikle marn şeklindedir. Bunlar

Reşadiye ve Bereketli dolayında daha yaygındır. Üst düzeyleri (İğdir Kireçtaşı Üyesi) ise kil ve kum oranı bakımından az, kireç oranı oldukça fazla ve genellikle kireçtaşı şeklindedir. Bu kireçtaşları Kelkit vadisi kuzey yamacında daha yaygın ve alttaki marnlara göre oldukça büyük kalınlıklara erişir. İki düzey birbirleriyle dereceli geçiş göstermekte ve alt düzeyleri Üst Senoniyen (Maestrihtiyen), üst düzeyleri ise kesinlikle Maestrihtiyen yaşındadır (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Bereketli Üyesi (Krb), Killi, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı arakatlı marnlardan oluşan kayatürlerinin tipik yüzeylemelerine Bereketli dolayında ayrıca Reşadiye—Bereketli yolunun 5—10 km'lerinde yol boyu Bereketli dolayında yüzeylemelerini görme olanağı vardır. Marn, üyenin egemen kayatürüdür. Genellikle gri renkte, değişmiş rengi grimsi sarı, renk dağılışı tekdüze, ince tabakalı, yer yer laminalı, aralarında sert çıkıntılar yapan orta tabakalı killi ve kumlu kireçtaşı arakatlıları oldukça fazladır. Kireçtaşı, gri renkte, değişmiş rengi sarı, orta—kalın tabakalı, tane boyları çakılcık, ele teması pürüzlü ve yer yer kil ve kum oranı değişmektedir. Sert kırılımlı ve az olarak ince tabakalı marn arakatlıdır (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

İğdir Kireçtaşı Üyesi (Kri), Reşadiye Formasyonu'nun diğer bir üyesi olan kireç taşının Kelkit vadisi kuzey yamacındaki yüksek tepelerde geniş yayılım göstermekte, Bereketli dolayı ve batısında dağınık halde irili ufaklı yüzeylemeleri izlenmektedir. Bu kireçtaşları, genellikle gri, beyazımsı ve yer yer sarı renkte, değişmiş rengi kirli gri ve sarı, orta—kalın tabakalı, bazen çok kalın, yer yer ince tabakalıdır. İnce kristalli, kalsirudit niteliğinde, dayanımlı, ele teması pürüzlü ve oldukça çatlaklı, çatlaklar yer yer kalsit dolguludur. Kil ve kum oranı yer yer değişmekte, az olarak çakıltası niteliğinde, az yeniden kristalize ve çok az ince tabakalı marn arakatlıları izlenmekte olup bol mikro—makrofosillidir. Bu kireçtaşının kalınlığı büyük değişimler göstermektedir. Kelkit vadisi kuzey yamacında 560 m, daha kuzeyde 180 m ve Bereketli dolayında ise 50 m kalınlıktadır. Bu üyenin Kelkit vadisi kuzey yamacından kuzey ve kuzeybatıya gidildikçe kalınlığı azalmaktadır. Kireçtaşı içerisindeki kil, kum oranı ve marn arakatlısı Kelkit vadisi kuzey yamacında daha egemendir (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Gölköy Formasyonu (Tg), Formasyonu oluşturan kayatürleri; Kireçtaşı, Genellikle koyu gri, gri ve sarı, orta—kalın tabakalı, yer yer sık dokulu, ince taneli, bazen kaba kum taneli ve kaba kristallidir. Bazı düzeyleri çakıltası niteliğinde ve ele teması pürüzlüdür. İçerisindeki kum oranı yer yer değişmekte, Kelkit vadisi kuzey yamacında ve Topçam dolayında artmaktadır. Aralarında bazen ince tabakalı killi kireçtaşı ve tüfit arakatlıları

izlenmektedir. Killi ve tüflü kireçtaşı, gri, açık gri ve sarı renkte, ince-orta tabakalı, kil oranı yer yer %50'ye kadar çıkmakta ve ele teması pürüzlüdür. Çok az oranda kumlu, yer yer kalın tabakalı kireçtaşı, tabakasız gevşek aglomera ve tüfit arakatlı izlenebilmektedir. Tüfit, gri ve mavimsi, ince tabakalı, kireçli ve yer yer çok az kumludur. Kumtaşı, orta—kalın tabakalı, tanelerinde volkanik malzeme egemen, feldspat, kuvars ve biyotit taneleri orta derecede yuvarlaklaşmış, kötü boylanmış, kaba taneli ve kalsit bir hamur içerisindedir. Gölköy Formasyonu içinde ayrıca alt kısımlarında çok ince düzeyler halinde andezit çakıllı ve gevşek tüf çimentolu aglomera ile üst düzeylerinde ortalama kalınlığı 0.50 m olan kömürlü düzeyler görülmektedir. Kelkit vadisi kuzey yamacında killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve çakıltası niteliğinde kireçtaşı ardalanmasından oluşmuştur (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Selecik Kireçtaşı Üyesi (Tys), Yeşilce formasyonunu oluşturan bu kireçtaşının genel rengi gri ve kirli sarı, orta—kalın tabakalı, bol fosillidir. Ele teması pürüzlü, kalsirudit niteliğinde, kaba kristalli ve çatlaklıdır. Selecik Kireçtaşı Üyesi, Alt—Orta (Lütesiye) Eosen yaşındadır (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Hatıplı Üyesi (Tyh), Kumtaşı ve aglomera ardalanması, tüfit ve bazik akıntı arakatlılardan oluşan üyeyi, oluşturan kayatürleri; Kumtaşı, genellikle gri, ince-orta tabakalı, taneleri ince ve volkanik olup orta derecede yuvarlaklaşmış ve kötü boylanmıştır. Yer yer çimentosu yeşilimsi, tane boyları büyümekte ve çakıltası niteliğini kazanmaktadır. Ayrıca küresel ayrışma da görülmektedir. Aglomera, çimentosu genellikle gri, bazen siyaha yakın ve mor renkte, tabakasız, yer yer kalın tabakalıdır. Taneleri çeşitli boylarda ve andezit, yer yer bazalt ve tüf olup boylanmamış, köşeli ve birbirleriyle teması oldukça azdır. Çimentosu sıkı ve genellikle tüf olup yer yer andezit niteliğindedir. Kumtaşı ve aglomera ardalanması içerisinde yeşil ve gri renkte, ince tabakalı, aşınma yüzeyleri yumru yumru olan tüf ve yeşilimsi, bordo ve gri bir ara maddesi içinde açık renkli, yer yer 2-6 mm çapında limonitleşmiş feldspat içeren, tabakasız andezit arakatlı izlenebilmektedir. Alttaki Eosen yaşlı Selecik Kireçtaşı ve Asarcık üyesi ile uyumlu olması ve bazı yerlerde dereceli geçiş göstermesi bu üyenin de Eosen yaşında olduğunu kanıtlamaktadır (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Canik Formasyonu (Tc), Bu bazaltlar, genellikle siyah, koyu yeşil, koyu gri ve siyahımsı mor renkli, tabakasız, bazen kalın tabakalı olup, tabaka eğimleri yataya yakındır. Çatlaklı, çatlak yüzeyleri siyahımsı ve sarı renktedirler ve yer yer kalsit bademciklerinin erimesiyle oluşan küçük boşluklar göze çarpmaktadır. Bazen aglomeralı özellikte ayrılmış

kısımları andezit görünümündedir. Canik Formasyonu'nun Eosen'in en üst seviyeleri ya da Eosen'den daha genç olduğunu düşünmek gerekmektedir (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Yolüstü Bazaltı (Qy), En genç volkanik işleminin ürünü olan bu bazalt, genellikle gri, koyu gri, ve siyah, tabakasız, lav kaynakları çevresinde bol gözenekli, yer yer urganlı lavlar ve cüruf halindedir. Gözeneklerde beyaz zeolitler, kaya içinde hornblend, piroksen ve olivin çıplak gözle tanınabilir. Andezitik lavlar, beyazımsı gri ve pembe olup, 1—3 mm büyüklüğünde feldspatlar, 2—3 mm uzunluğunda hornblend prizmaları ve biyotit pulları çıplak gözle izlenebilmektedir. Yolüstü Bazaltı'nın oluşumu bölgenin faylanma tektoniğiyle yakından ilgili olup, Üst Kretase yaşta Bereketli Üyesi ve Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi'ni, Kuzey Anadolu Fayı'nın güneyinde ise Alt Miyosen yaşta birimleri uyumsuzlukla örter (Terlemez ve Yılmaz, 1980).

Tekelidağı karışığı (Kyt), Tekelidağı karışığında yer alan tortul bloklar genellikle çeşitli fasiyeslerde (neritik, pelajik vb.) olan Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarıdır. Aynı yaşta ve fasiyeslerdeki kireçtaşlarının Tokat grubu metamorfite üzerine açılı uyumsuzlukla geldiği bilinmektedir (Özcan v.d., 1980). Onun için ofiyolitli karışık içinde yer alan Üst Jurasik-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı bloklarının kuzeyden, Tokat grubu metamorfite üzerine uyumsuzlukla gelen kayalardan kaynaklandığı kabul edilmektedir. Yer yer ofiyolitli karışığın hamurunu oluşturan tuf, volkanit kırıntılı kumtaşı, volkanitler az oranda değişime uğramıştır (Yılmaz, 1984).

Tokat grubu metamorfite (PTg), Büyük bölümü ile metabazik kayalarla metalastik kaya (kırıntılı veya kökenli) ve mermerlerden oluşan daha az oranda rekrystalize kireçtaşı, metadasit, latit, metaolistostromal kırıntılar, metadiyorit, intermediyer volkanitte kapsayan kaya topluluğu Tokat metamorfite olarak adlandırılırlar (Özcan ve Aksay, 1996). Tokat dolayında birimin tipik ve yaygın yüzeylemeleri görüldüğü için bu ad kullanılmıştır. Başlıca iki bölümde toplanabilmektedir. 1) Metabazik kayalar 2) Metasedimanter kayalar. Metabazik kayalar, Tokat metamorfitelerinin büyük bir bölümünü oluşturan ve yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş olan başlıca bazalt, diyabaz, tuf, volkanik breş ve aglomeralardan oluşur. Metabazikler arazide metalav, metatuf, metovolkanik breş ve metakonglomera olarak gözlenirler. Metalavlar açık-koyu yeşil, mavimsi yeşil, sıkı-sert veya altere homojen görünüşlü ya da kuvars\kalsit damarlı, karbonatla ara bantlaşmalı kalın tabakalı masif görünüşlü kayalardır. Genellikle ilksel özelliklerini tamamen yitirmişler ve metamorfik bir doku kazanmışlardır. Kalın lav dokulu ve mineralli kayalara da rastlanır. Tokat metamorfitelerinin çeşitli kaya türlerinden alınan

örneklerde yaş belirleyici herhangi bir fosil bulgusu yoktur (Özcan vd., 1980). Blok görünümlü kireçtaşlarında Karbonifer, Permien ve Triyas yaşı saptandığını belirtir. Birimin bu bilgiler ışığında ve genel özellikleriyle jeolojik konumu (Karakaya kompleksini temsil edişi) açısından Permien Triyas yaşta olduğu düşünülmektedir. Birimin metamorfizma yaşı ise Okay'a (1984) göre, Triyas'tır (Yılmaz, 1984).

Boztepe formasyonu (Kytb), Bu birim genellikle kumtaşı, kıltaşı ve şeyl ardalaması ile başlamakta, yer yer pelajik kireçtaşı arakatkılarını kapsamaktadır. Tümüyle filiş niteliğinde olan kesim yer yer uyumlu olarak gereçleri ofiyolitli karışıktan türemiş olistostromlar kapsayan Kampaniyen yaşlı pelajik kireçtaşına geçmektedir. Bu pelajik kireçtaşı da, çoğun kumtaşı ve kıltaşıdan oluşan Mestrihtiyen yaşlı filişe, bu filiş ise kalın tabakalı ve Paleosen yaşlı neritik karbonatlara dereceli olarak geçmektedir. Sonuç olarak Senomaniyedeki pelajik ortam koşullarının Paleosene doğru neritik ortam koşullarına dereceli olarak geçtiği ve ortamın sığlaşarak Eosen öncesinde tümüyle su yüzü olduğu söylenebilir (Yılmaz, 1984).

Haydaroğlu formasyonu (Tth), Başlıca volkanit kırıntılı çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, iri küresel ayrışma gösteren kumtaşı, epiklastik ve piroklastik kayalar ve yer yer volkanik akıntılardan oluşmaktadır. Bu birim, İpresiyen yaştadır (Yılmaz, 1984).

Karşıkent formasyonu (Tkk), Çakıltaşı ve kumtaşıdan oluşan bu kayaları, Seymen (1975) Soğukpınar grubu kapsamında ele alarak, alt düzeylerini oluşturan kırmızı çakıltaşını ve kumtaşını Arapdede tepe formasyonu, üst düzeylerini oluşturan sarımsı çakıltaşı ve kumtaşlarını Karşıkent formasyonu olarak adlandırmıştır. Terlemez ve Yılmaz (1980), yukarıdaki iki formasyonun renk dışında önemli bir farkı olmadığını gözeterek, tümünü Karşıkent formasyonu olarak adlandırmıştır. Kelkit çayının Reşadiye ile Koyulhisar arasındaki bölümünün güney kesimi tip yerlerdir. Çakıltaşı, kumtaşı yer yer çamurtaşı ve jips arakatkılarından oluşan Karşıkent formasyonu genellikle kırmızı, sarımsı, gri ya da yeşilimsi orta ve ince tabakalıdır. Çakıltaşı ve kumtaşı yanal ve dikey yönde sık sık kamalı geçişli, kömür ve bitki fosilleri kapsamaktadır. Karşıkent formasyonu, olasılı Alt Miyosen yaştadır (Yılmaz, 1984).

Almus formasyonu, Çakıltaşı, kumtaşı ve üst düzeylerinde kireçtaşından oluşan Miyosen yaşlı kayalar Blumenthal (1950), tarafından Almus Miyoseni ve bu dizideki kireçtaşları ise Gespi kalker üyesi olarak adlandırmıştır. Terlemez ve Yılmaz (1980), bu birimi Almus formasyonu olarak adlandırmıştır. Çakıltaşı; kırmızımsı, turuncumsu orta ve kalın tabakalı yer yer tabakasız görünümde, demirli karbonat ve ince kumdan oluşan bir

hamurda şist, serpantin, volkanit ve radyolarit egemendir; ayrıca kuvarsit, kireçtaşı ve kumtaşı, tuf çakılları görülmektedir. Kumtaşı; turuncumsu, grimsi, yeşilimsi orta kalınlıkta tabakalı, üste doğru dereceli olarak kireçtaşına geçmektedir. Kireçtaşı; gri, sarımsı, orta ve kalın tabakalar ardışıklı, çok kıvrımlı ve kırıklı, makro ve mikro fosilleri bol oranda kapsamakta ve arazide keskin çıkıntılar oluşturmaktadır.

Alibaba formasyonu (Ta), Kelkit çayı güneyinde tabanında, konglomera seviyesi bulunan kumlu, bol Nummulit ve pelecypoda bulunduran, şarap renkli, orta kaim katmanlı spartik kireçtaşları ile belirgindir. Kelkit vadisi boyunca alüvyonlarla, örtülü olduğu düşünülmüştür. Kelkit vadisi kuzeyinde yüzeylenen bazalt arakatkılı kumtaşı-marn tüffit ardışımı şeklinde gelişen kayalar vadiye paralel bir şerit halinde uzanır. Orta katmanlı gri renkli gevşek çimentolu kumtaşları yer yer Nummulit içerir. Orta kalın katmanlı açık yeşil renkli tüffitler dağınık bir yapı sunarlar. Dağınık marnlar mavi renkli ve orta katmanlıdır. Bu seviyelerle arakatkılı olarak bulunan, bazalt lavları sert, koyu renkli, ara seviyeler olarak izlenir, 'Çakıllar' küt köşeli ve az yuvarlanmıştır. Alibaba formasyonu, Alt Miyosen, Alt Eosen-orta Eosen yaşadadır (Yılmaz, 1992).

Artova Ofiyolitli Karışığı (Ka), Ofiyolitik kayalar, volkanik (çoğu bazik) kayalar, pelajik çökeller, radyolaritler, karbonat ve kırıntılı kayalar, metavolkanitler, metaklastikler ve mermerler gibi kayatürü topluluklarının, blok tektonik dilim, olistostrom ve hamur gibi unsurlar halinde tektonik yolla bir araya gelmesinden oluşan melanj türünde bir birim olan Artova ofiyolitli karışığının ilk adlanması Özcan v.d (1980) tarafından yapılmıştır. Birimi oluşturan kayatürü toplulukları ofiyolitik kayalar, volkanik (çoğunlukla bazik) kayalar, radyolarit ve pelajik çökeller, karbonat kayaları, kırıntılı kayalar, metaklastikler, metavolkanitler ve mermerlerdir (Öztürk, 2002).

Kızıltepe formasyonu (Kk), Kireçtaşı, marn, tüfit aralanımından oluşan birimler Seymen (1975), tarafından Kızıltepe formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kızıltepe formasyonu yüzeylediği kesimlerde genel olarak, tabanda kırmızı renkli, ince orta katmanlı, bol eklemli biyomikritlerle başlar ve üste doğru, gri renkli, kıymıksı kırıklı, bol pelajik roramifera içeren marn,beyaz, kırmızı renkli, ince orta katmanlı biyomikrit, beyaz, pembe renkli, ince-orta katmanlı tüfit aralanmasıyla devam eder (Temiz, 1988).

Alüvyon(Qa), Alüvyonlar genellikle gevşek tutturulmuş blok, çakıl, kum, silt, kil ve bunların değişik kombinasyonlarının aralanması şeklindedir. Karbonat ve kil çimentolu bazı alanlarda yer yer sıkışmış tabakalara rastlanır. Alüvyon kalınlıkları

akarsuyun boyutu ve vadi tabanının çökme hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Alüvyon örtü kalınlıkları 10-20 metre arasında değişmektedir (Tatar, 1988).

Litoloji sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek, mevcut heyelanların hangi litoloji sınıflarında gerçekleştiğini sayısal olarakta görebilmek ve analiz öncesi litoloji sınıflarıyla ilgili bir yargıya sahip olabilmek için inceleme alanı D1 ve inceleme alanı D2'ye ait litoloji haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmıştır ve heyelan yoğunlukları aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır (Tablo 4, 5).

Heyelan yoğunluklarının yüzde değeri hesaplanırken önce parametre alt sınıfı içerisindeki heyelanlı pikseller aynı parametre sınıfındaki piksel sayısına bölünmüştür. Bu şekilde her bir parametre alt sınıfı için heyelanlı pikselin, heyelansız piksele oranı(B/A) elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler toplanarak toplam B/A değeri bulunmuştur. Son olarak her bir parametre alt sınıf için hesaplanan B/A değeri, toplam B/A değerine bölünerek 100 ile çarpılmış ve heyelan yoğunluğu (%) değerleri elde edilmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2005).

Bu işlemler benzer şekilde heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan inceleme alanları için heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen tüm parametreler için gerçekleştirilmiş ve heyelan yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4. Litoloji sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

Litoloji	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Tg	69396	5,98	1626	1,86	0,023431	2,54
PTRt	2307	0,20	78	0,09	0,03381	3,67
Tck	14850	1,28	587	0,67	0,039529	4,29
Tptg	121	0,01	9	0,01	0,07438	8,07
Tc	27200	2,34	997	1,14	0,036654	3,98
Qal	10	0,00	0	0,00	0	0,00
Kk	24697	2,13	637	0,73	0,025793	2,80
Qy	40074	3,45	836	0,96	0,020861	2,26
Qa	29809	2,57	4277	4,89	0,14348	15,57
Ta	490221	42,22	33858	38,72	0,069067	7,49
Ka(o)	55665	4,79	8265	9,45	0,148477	16,11
JKz	10803	0,93	1792	2,05	0,16588	18,00
Krb	65399	5,63	1789	2,05	0,027355	2,97
Kmn	31161	2,68	129	0,15	0,00414	0,45
Tys	168	0,01	0	0,00	0	0,00
Tkk	299503	25,79	32591	37,27	0,108817	11,81
Tyh	8	0,00	0	0,00	0,023431	0,00

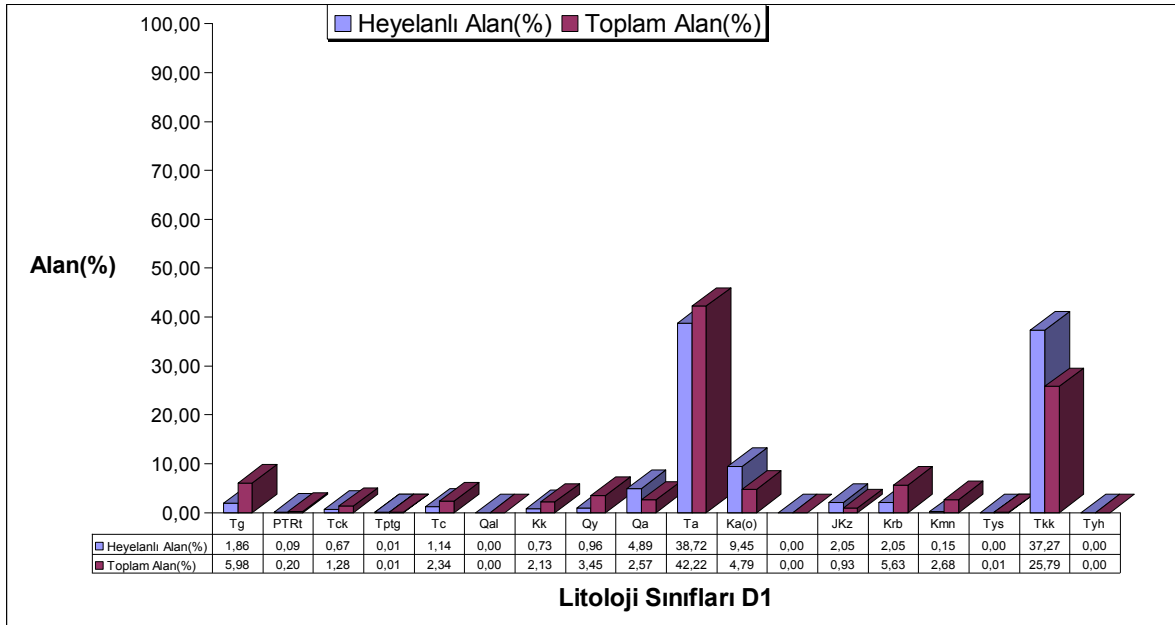
$$\Sigma B/A = 0,92167$$

Tablo 5. Litoloji sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Litoloji	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Ta	5466	0,48	0	0,00	0	0,00
Ttc	279791	24,32	9635	15,75	0,034436	13,75
Qa	22755	1,98	0	0,00	0	0,00
Kytb	308864	26,84	42440	69,37	0,137407	54,88
Tkk	228	0,02	2	0,00	0,008772	3,50
Km	16266	1,41	0	0,00	0	0,00
Krb	9	0,00	0	0,00	0	0,00
Kri	11356	0,99	173	0,28	0,015234	6,08
Tc	159541	13,87	2209	3,61	0,013846	5,53
Ptd	109767	9,54	1452	2,37	0,013228	5,28
Tth	191812	16,67	5264	8,60	0,027444	10,96
Ptc	42466	3,69	0	0,00	0	0,00
Kyt	226	0,02	0	0,00	0	0,00

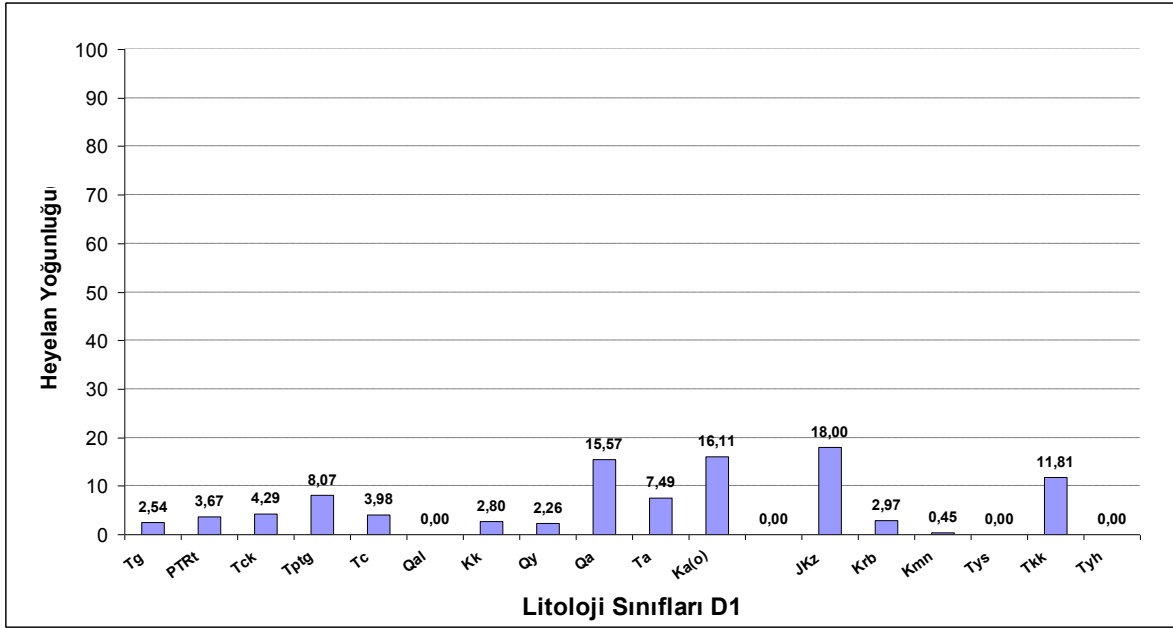
$$\Sigma B/A = 0,25037$$

Heyelan yoğunluğu değerleri ve alansal dağılımlar dikkate alınarak inceleme alanı D1 ve inceleme alanı D2 için histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 30, 31). İnceleme alanı D1 için hazırlanan histogramlar incelendiğinde; inceleme alanı D1 içerisinde en fazla alana Alibaba formasyonu (Ta) sahiptir ve en fazla heyelanlı alanın da bu sınıfa düştüğü görülmektedir. İnceleme alanı D1'de heyelan yoğunlukları dikkate alındığında toplam alan içerisindeki dağılımları diğer birimlere oranla daha az olmasına rağmen, Zinav Kireçtaşı (JKz) % 18 ile en yüksek heyelan yoğunluğu değerine sahiptir.

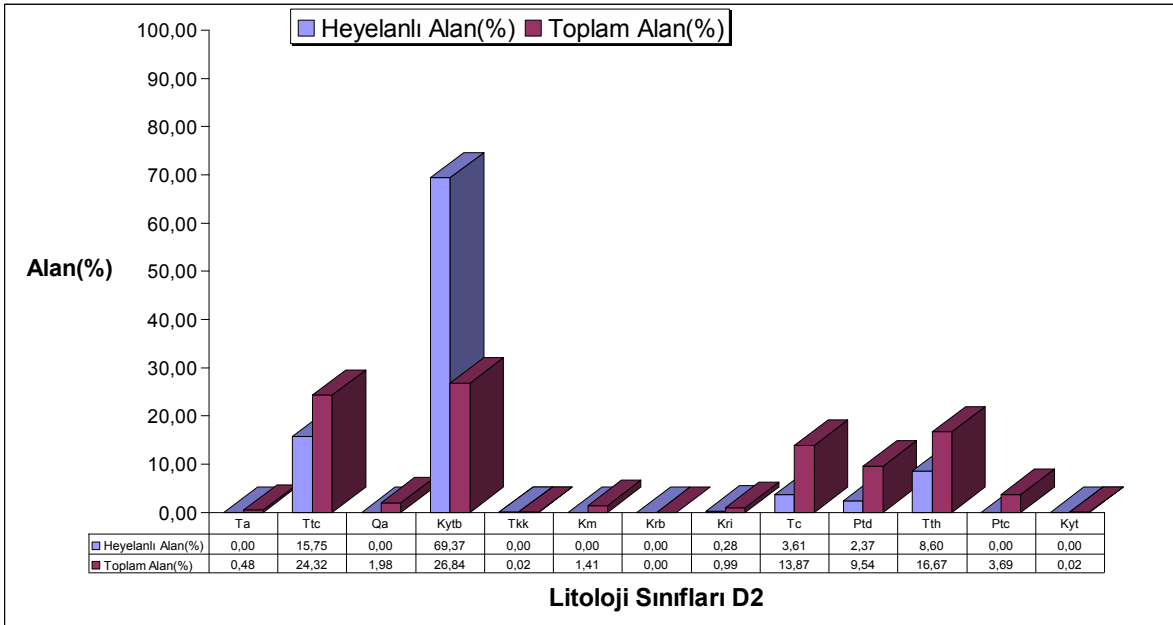


Şekil 30 (a,b). Litoloji ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

Şekil 30' un devamı

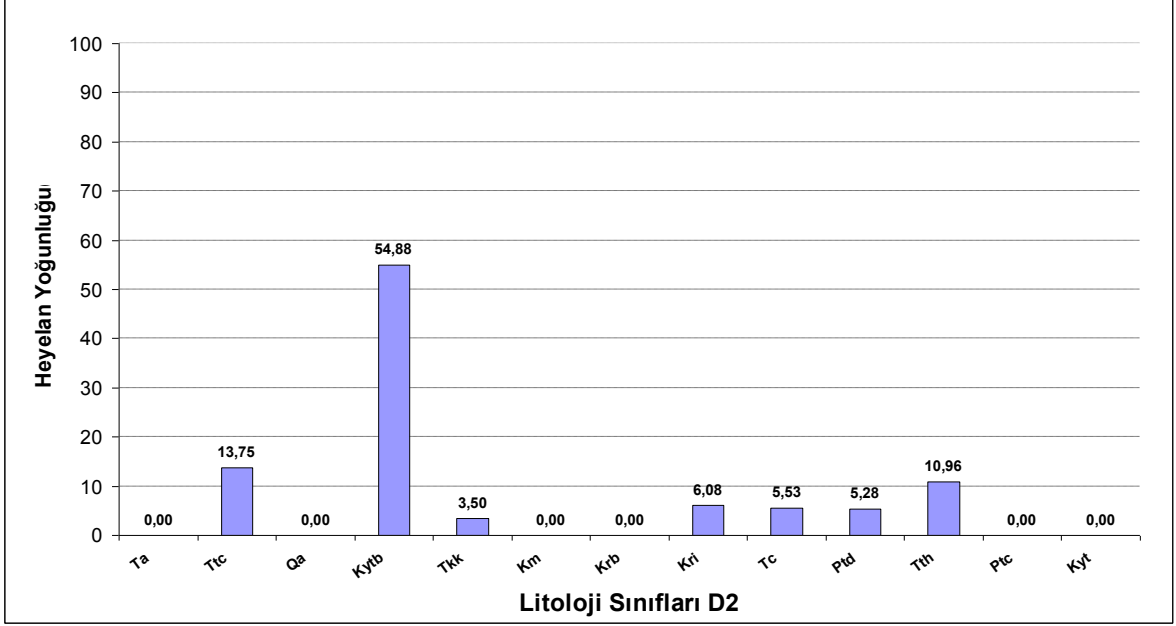


İnceleme alanı D2 içerisinde en fazla alana Boztepe formasyonu (Kytb) sahiptir ve en fazla heyelanlı alanın da bu sınıfa düştüğü görülmektedir. İnceleme alanı D2’de heyelan yoğunlukları dikkate alındığında Boztepe formasyonu (Kytb) en yüksek heyelan yoğunluğu değerine sahiptir.



Şekil 31. (a,b). Litoloji ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

Şekil 31'in devamı



2.3.1.2. Topoğrafik Yükseklik

Deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. CBS analizlerinde yükseklik verisinin kullanılabilmesi için, kesiklik arzeden bir veriden ziyade, süreklilik gösteren ve yükseklik değerlerinin yüzeylerle ifade edildiği sürekli verilere ihtiyaç vardır. Bu sürekli veri, "Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM) olarak bilinmektedir. Sayısal yükseklik modeli, duyarlılık değerlendirmesinde kullanılacak yamaç eğimi, yamaç yönelimi (bakı) verilerinin de ana kaynağı olması dolayısıyla oldukça önemli bir veri türü olarak kabul edilmektedir.

CBS ortamında Sayısal yükseklik modelinin elde edilebilmesi için eşyüksekti eğrilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Eşyüksekti eğrilerinin CBS ortamında elde edilmesi amaçlı bu çalışmada Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından hazırlanan inceleme alanlarını kapsayan 1/25000 ölçekli topoğrafik paftalar tarayıcı ile taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu paftalardaki eşyüksekti eğrileri ArcGIS yazılımı ile çizgi-vektör formatında 10 m aralıkla sayısallaştırılmıştır. Bu işlem inceleme alanlarını kapsayan tüm paftalar için yapılmıştır. Elde edilen vektör veri formatındaki paftalar, afin dönüşümü ile UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Daha

sonra bu eğrilere yükseklik değerleri girilerek TIN (Triangulated Irregular Network) veri yapısında inceleme alanlarının üç boyutlu sayısal yükseklik modelleri elde edilmiştir (Şekil 32, 34). CBS yazılımı ArcView9.1 kullanılarak TIN veri formatında olan sayısal yükseklik modellerinden, analizlerde kullanılacak olan 25x25 m aralıklı raster veri yapısında olan yükseklik haritaları üretilmiştir (Şekil 33, 35)

Yükseklik sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için yükseklik haritaları ile heyelan envanter haritası çakıştırılmıştır ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 6, 7)

Tablo 6. Yükseklik Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

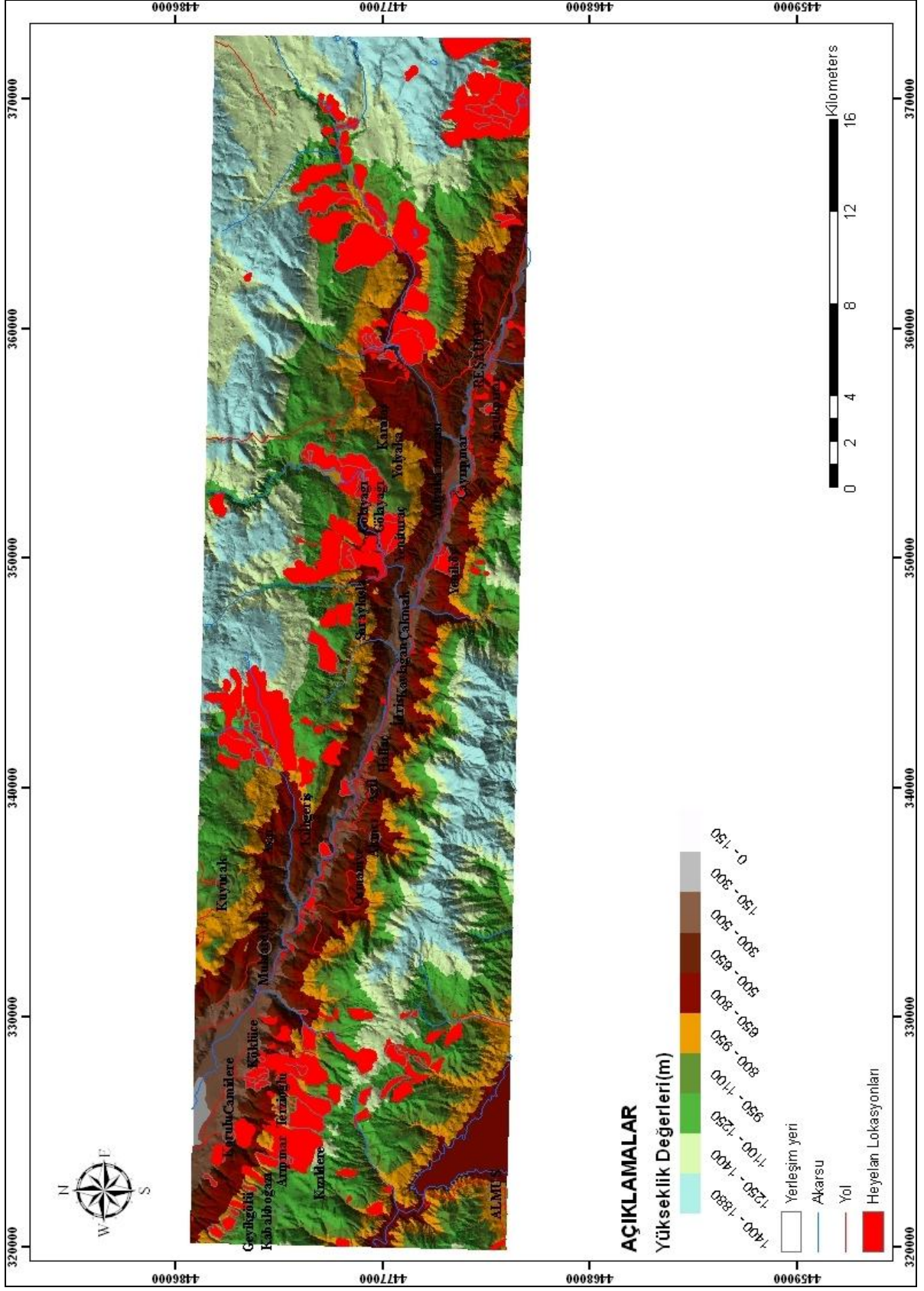
Yükseklik Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-450	44925	3,87	1510	1,73	0,033612	5,34
450-600	89251	7,69	3877	4,43	0,043439	6,90
600-750	101629	8,75	6448	7,37	0,063446	10,07
750-900	159498	13,74	11764	13,45	0,073756	11,71
900-1050	168760	14,53	21265	24,32	0,126007	20,01
1050-1200	193242	16,64	21363	24,43	0,110551	17,55
1200-1350	175865	15,15	15313	17,51	0,087072	13,83
1350-1500	155512	13,39	4433	5,07	0,028506	4,53
1500-1650	61270	5,28	928	1,06	0,015146	2,40
1650-1880	11435	0,98	552	0,63	0,048273	7,66

$$\Sigma B/A = 0,62981$$

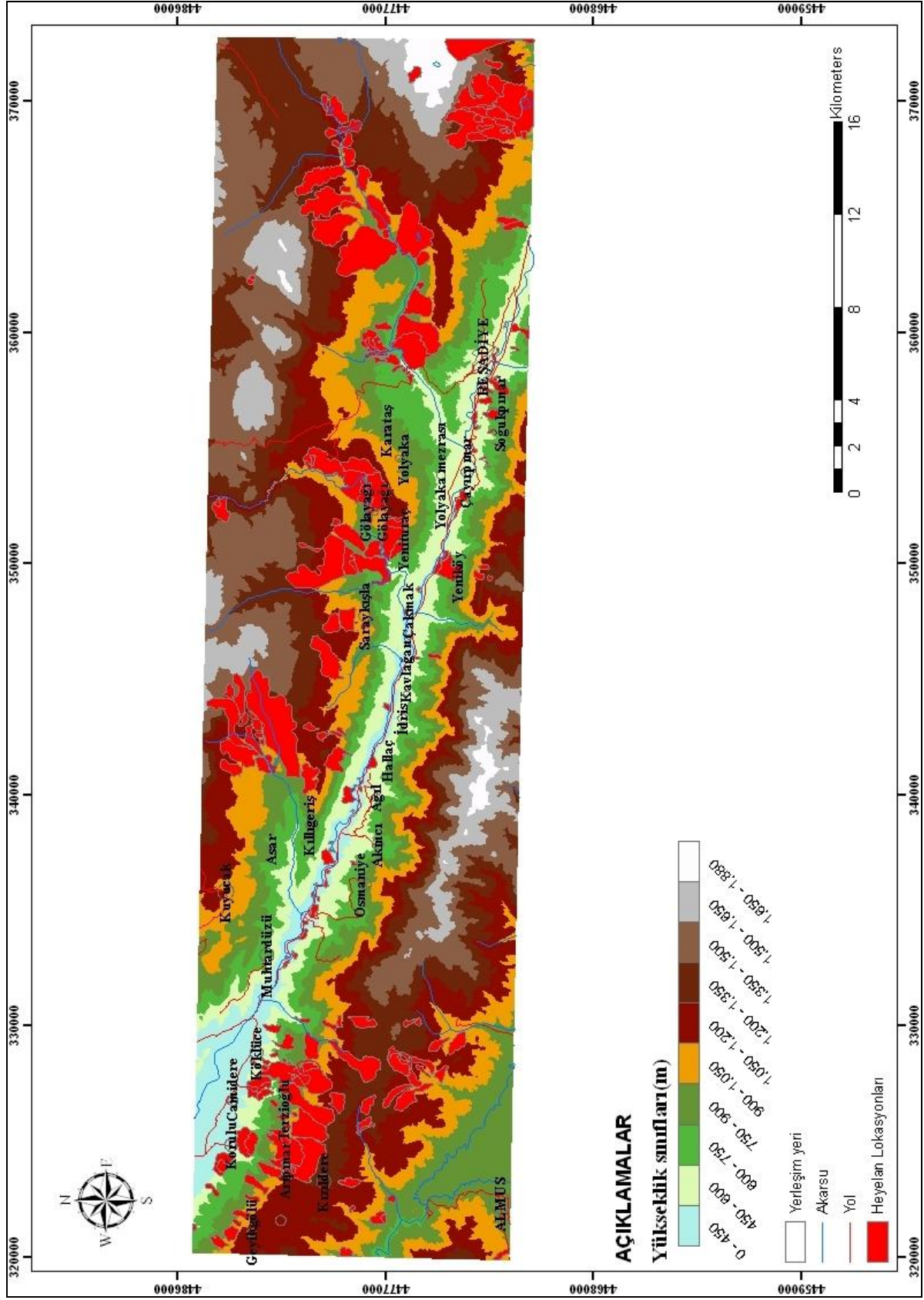
Tablo 7. Yükseklik Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Yükseklik Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
450-500	472	0,04	0	0,00	0	0,00
500-750	131649	11,44	5652	9,24	0,042932	13,86
750-1000	191123	16,61	11724	19,16	0,061343	19,80
1000-1250	214996	18,68	13916	22,75	0,064727	20,90
1250-1500	205813	17,89	15058	24,61	0,073164	23,62
1500-1750	253209	22,01	13381	21,87	0,052846	17,06
1750-2000	98207	8,53	1449	2,37	0,014755	4,76
2000-2250	35071	3,05	0	0,00	0	0,00
2250-2500	17342	1,51	0	0,00	0	0,00
2500-2625	2782	0,24	0	0,00	0	0,00

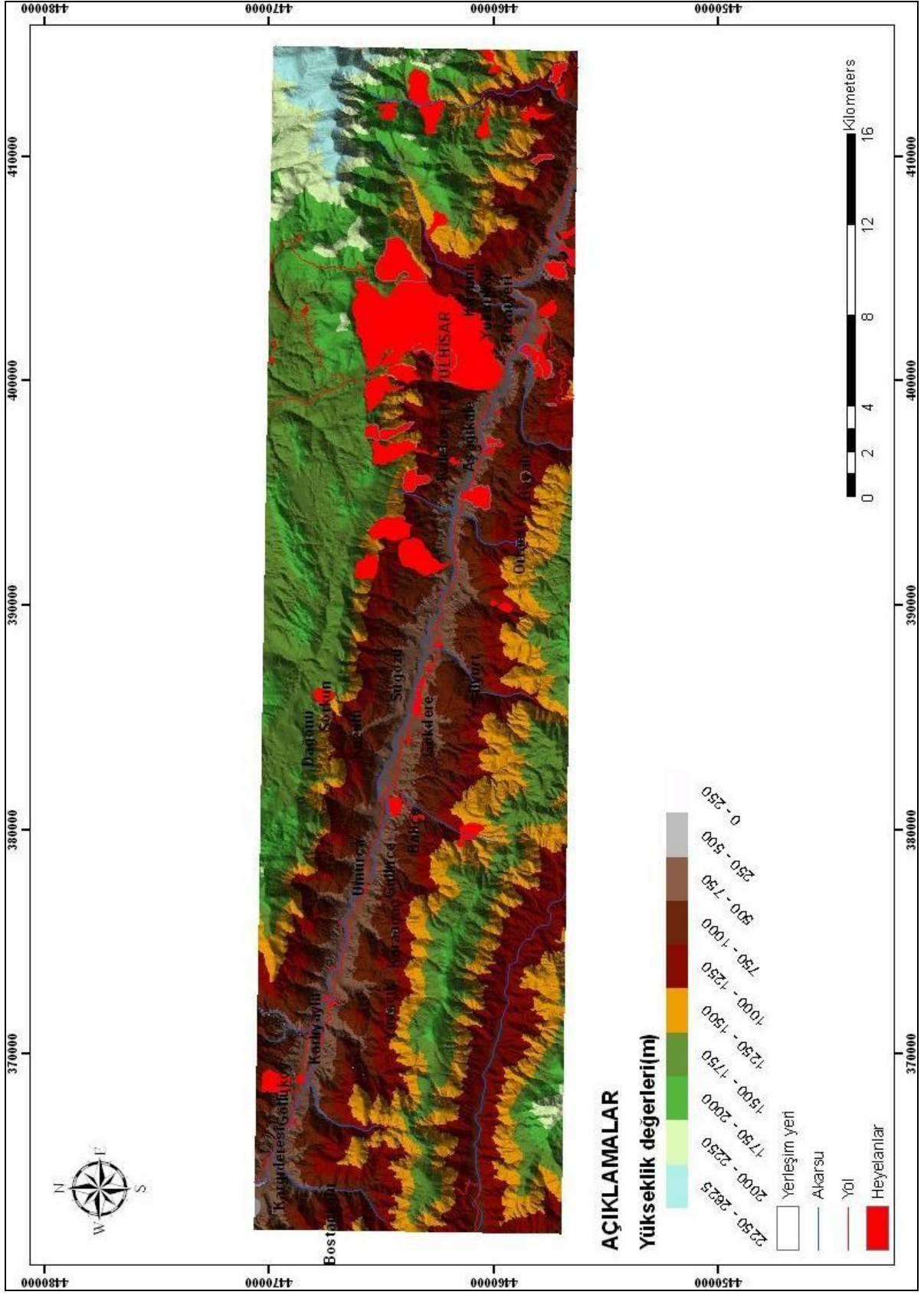
$$\Sigma B/A = 0,30937$$



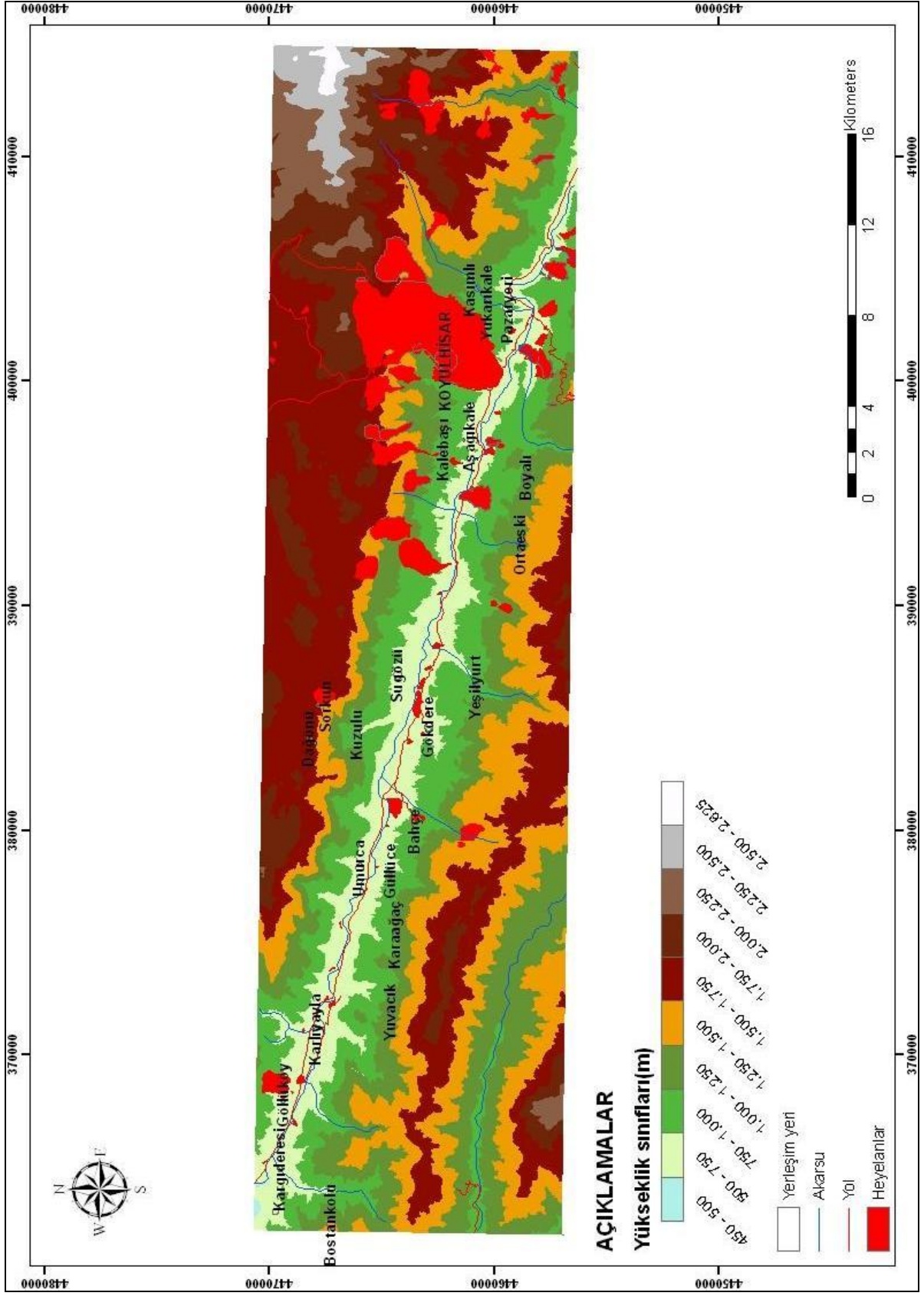
Şekil 32. İnceleme alanı D1 için sayısal yükseklik modeli



Şekil 33. İnceleme alanı D1 için yükseklik haritası

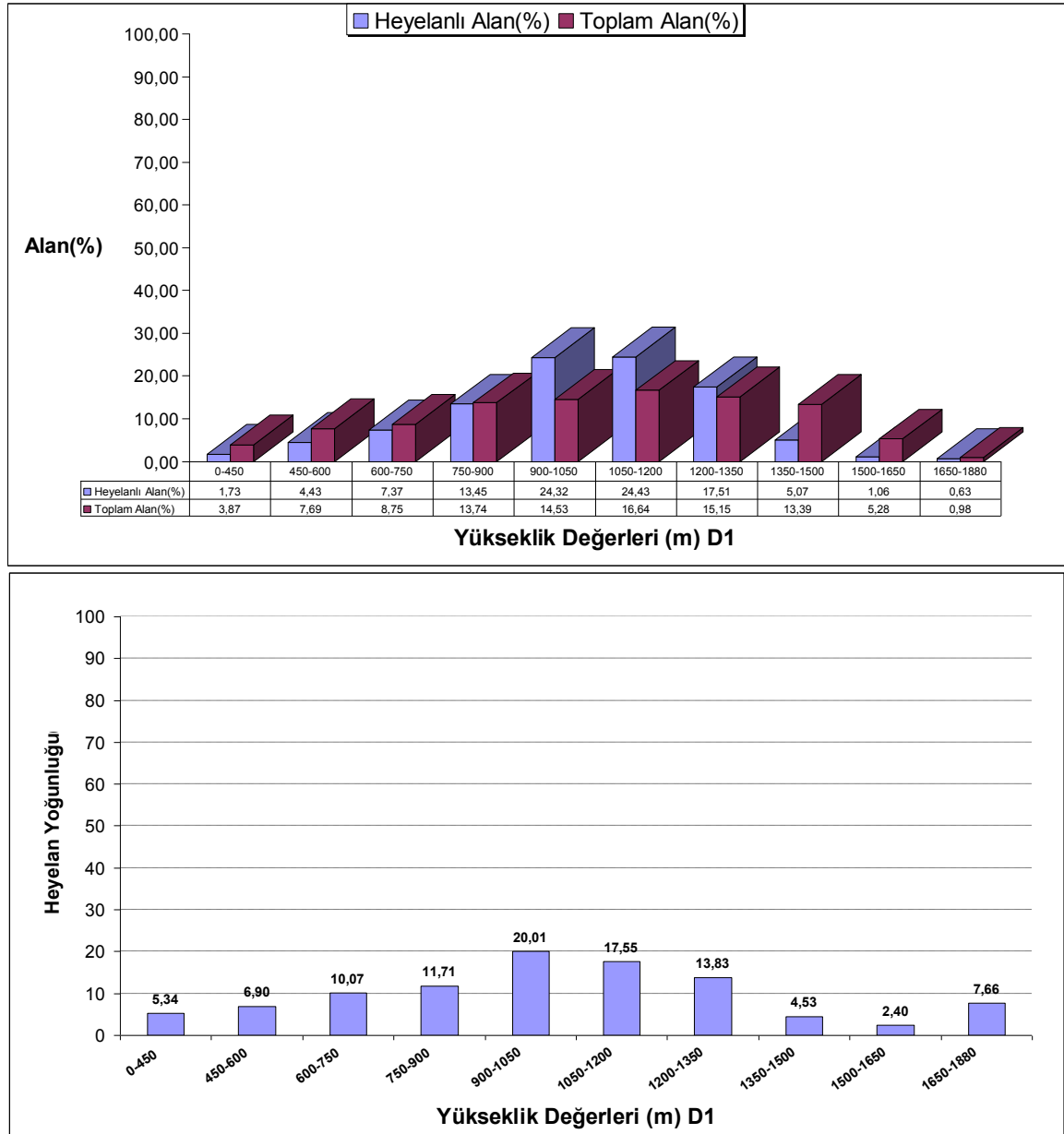


Şekil 34. İnceleme alanı D2 için sayısal yükseklik modeli



Şekil 35. İnceleme alanı D2 için yükseklik haritası

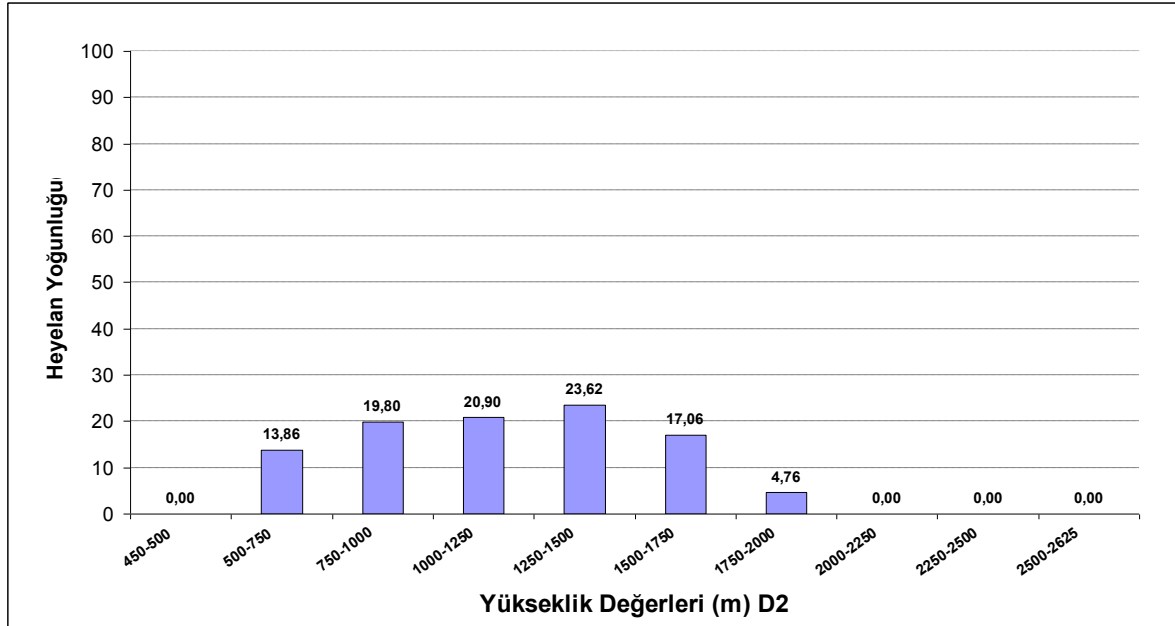
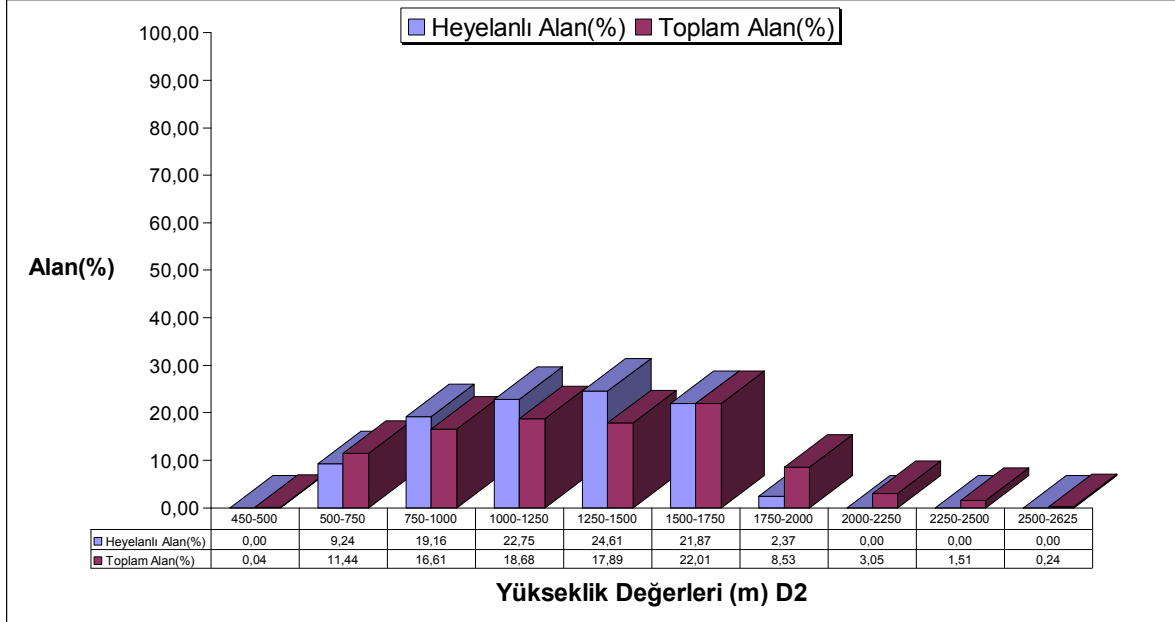
Tablo 6, 7'deki değerlerden yararlanarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 36, 37). Histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1'in % 65 lik alana sahip kesiminin yüksekliği 450-1200 m arasında değiştiği ve bu yükseklik aralığına mevcut heyelanların %74'lük kısmının düştüğü görülmektedir. Heyelan yoğunluğu dikkate alındığında 900-1050 m arasında değişen yüksekliğin %20 ile en yoğun sınıf olduğu görülmektedir.



Şekil 36 (a,b). Yükseklik ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

İnceleme alanı D2'in % 86'lık alana sahip kesiminin yüksekliği 500-1750 m arasında değiştiği ve bu yükseklik aralığına mevcut heyelanların %97,6'luk kısmının

düştüğü görülmektedir. Heyelan yoğunluğu dikkate alındığında 1250-1500 m arasında değişen yüksekliğin %23,6 ile en yoğun sınıf olduğu görülmektedir.



Şekil 37 (a,b). Yükseklik ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

2.3.1.3. Yamaç Eğim Değeri

Eğim değeri, bir yüzeyin diklik durumunun bir ölçüsü olup yatay düzlemle olan açı değerinin derece olarak ifade edilmesiyle gösterilir (Akgün, 2007). Yamaç ya da şevlerin

eğimi, heyelanların oluşumunda direk etkili olup stabilite çalışmalarının esasını oluşurmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl stabilite faktörüdür. Ayrıca, bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenlerindedir. İnceleme alanlarına ait yamaç eğim haritaları CBS yazılımı ArcView9.1 kullanılarak sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (şekil 38,39). Eğim haritaları yamaç eğimleri dikkate alınarak inceleme alanı D1 için 9, D2 10 farklı eğim sınıfı ayrılmıştır. CBS yazılımları ArcView9.1 ve bunlara ait modüller kullanılarak eğim haritası ile heyelan envanter haritası çakıştırılarak eğim değerleri ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir. Daha sonra eğim sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 8, 9).

Tablo 8. Eğim Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

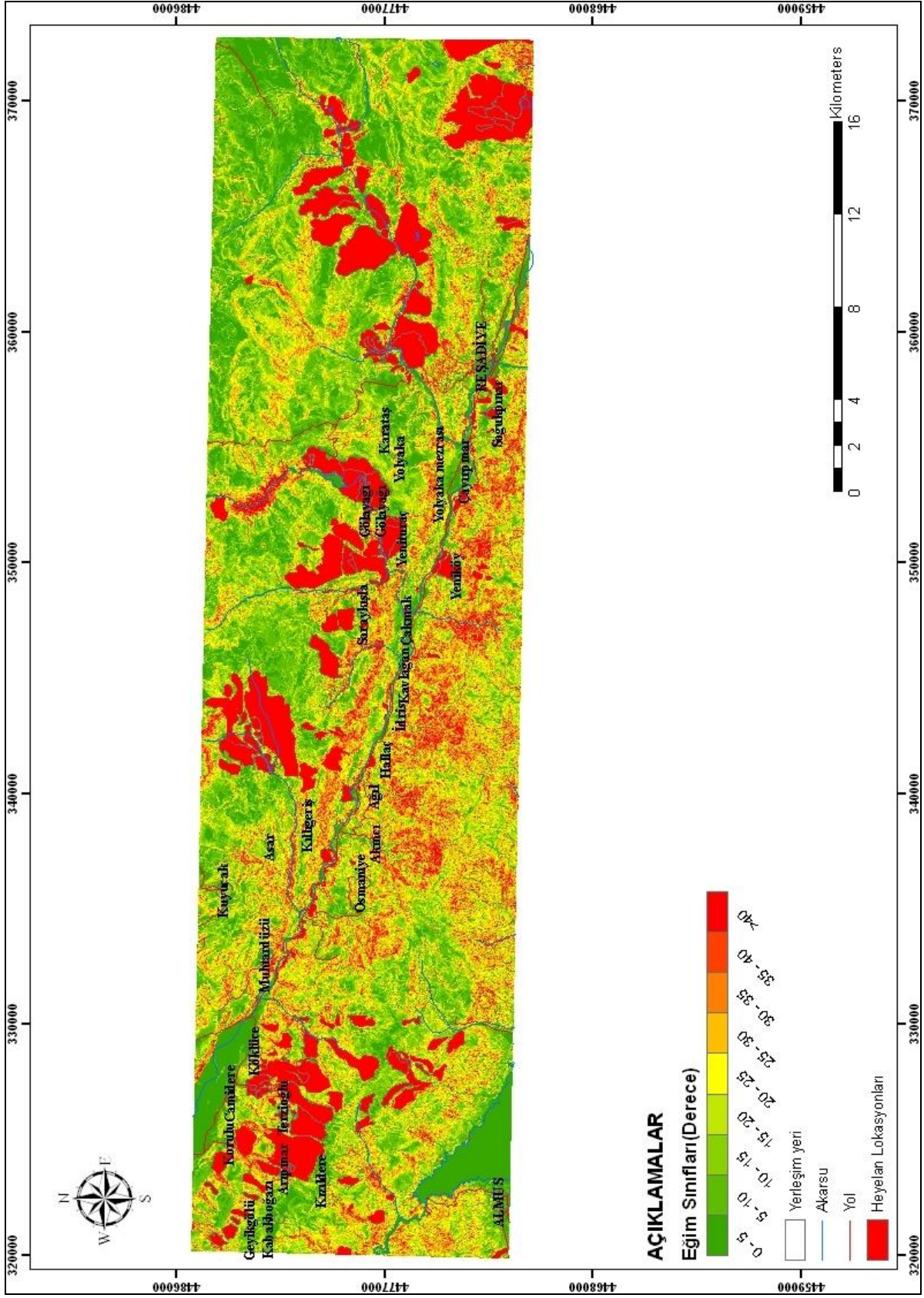
Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-5	172041	14,82	8886	10,16	0,05165	8,78
5-10	171813	14,80	15712	17,97	0,091448	15,55
10-15	208393	17,95	22568	25,81	0,108295	18,42
15-20	188542	16,24	17015	19,46	0,090245	15,35
20-25	153076	13,18	10595	12,12	0,069214	11,77
25-30	114085	9,82	6179	7,07	0,054161	9,21
30-35	76429	6,58	3492	3,99	0,045689	7,77
35-40	43432	3,74	1806	2,07	0,041582	7,07
>40	33575	2,89	1200	1,37	0,035741	6,08

$$\Sigma B/A = 0,588027$$

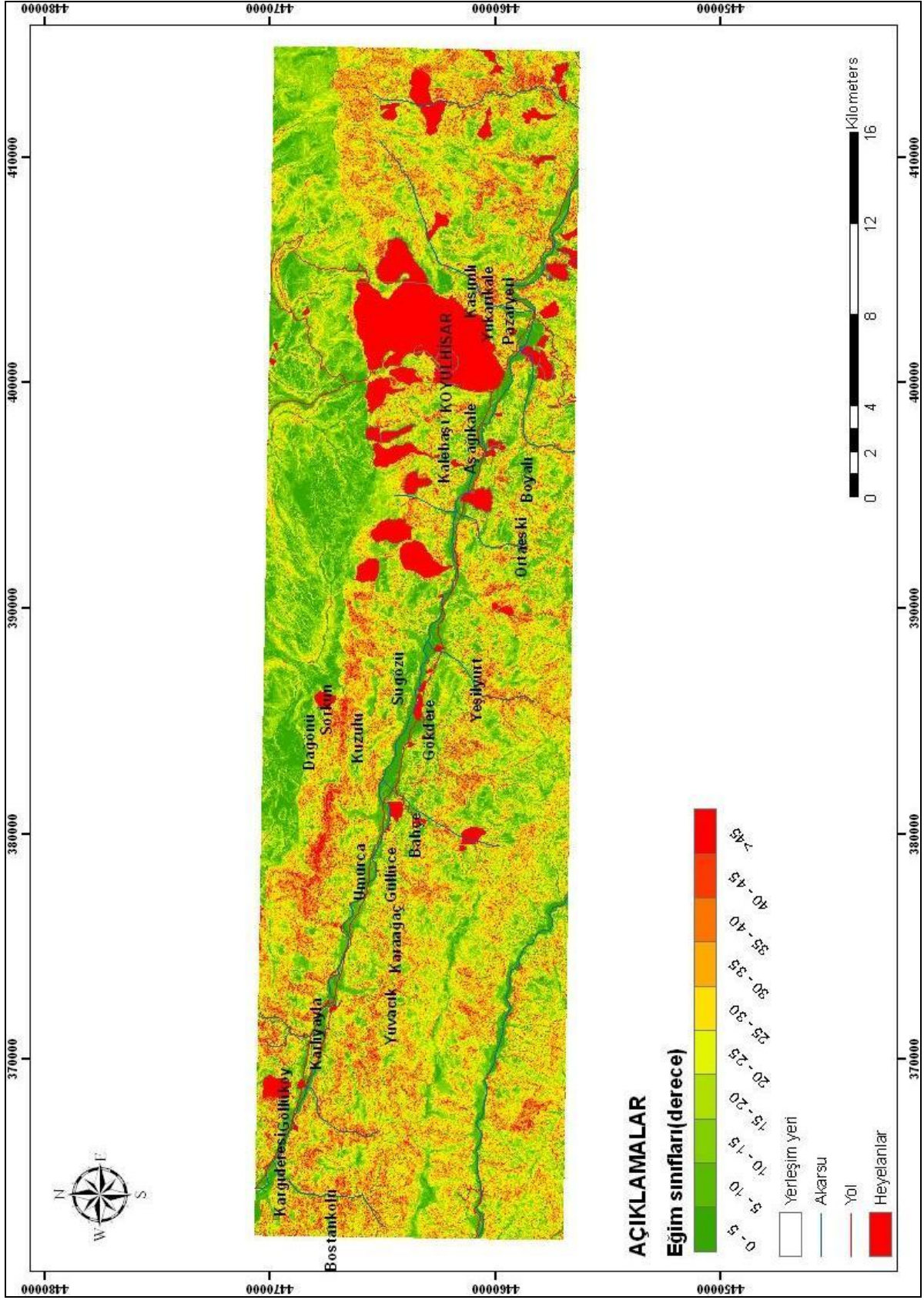
Tablo 9. Eğim Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-5	109678	9,53	5819	9,51	0,053055	11,48
5-10	110125	9,57	11608	18,97	0,105407	22,81
10-15	161258	14,01	14917	24,38	0,092504	20,02
15-20	181538	15,78	11067	18,09	0,060962	13,19
20-25	180452	15,68	7389	12,08	0,040947	8,86
25-30	161079	14,00	4994	8,16	0,031003	6,71
30-35	120202	10,45	2908	4,75	0,024193	5,24
35-40	72100	6,27	1569	2,56	0,021761	4,71
40-45	34413	2,99	637	1,04	0,01851	4,01
>45	19814	1,72	272	0,44	0,053055	2,97

$$\Sigma B/A=0,46207$$

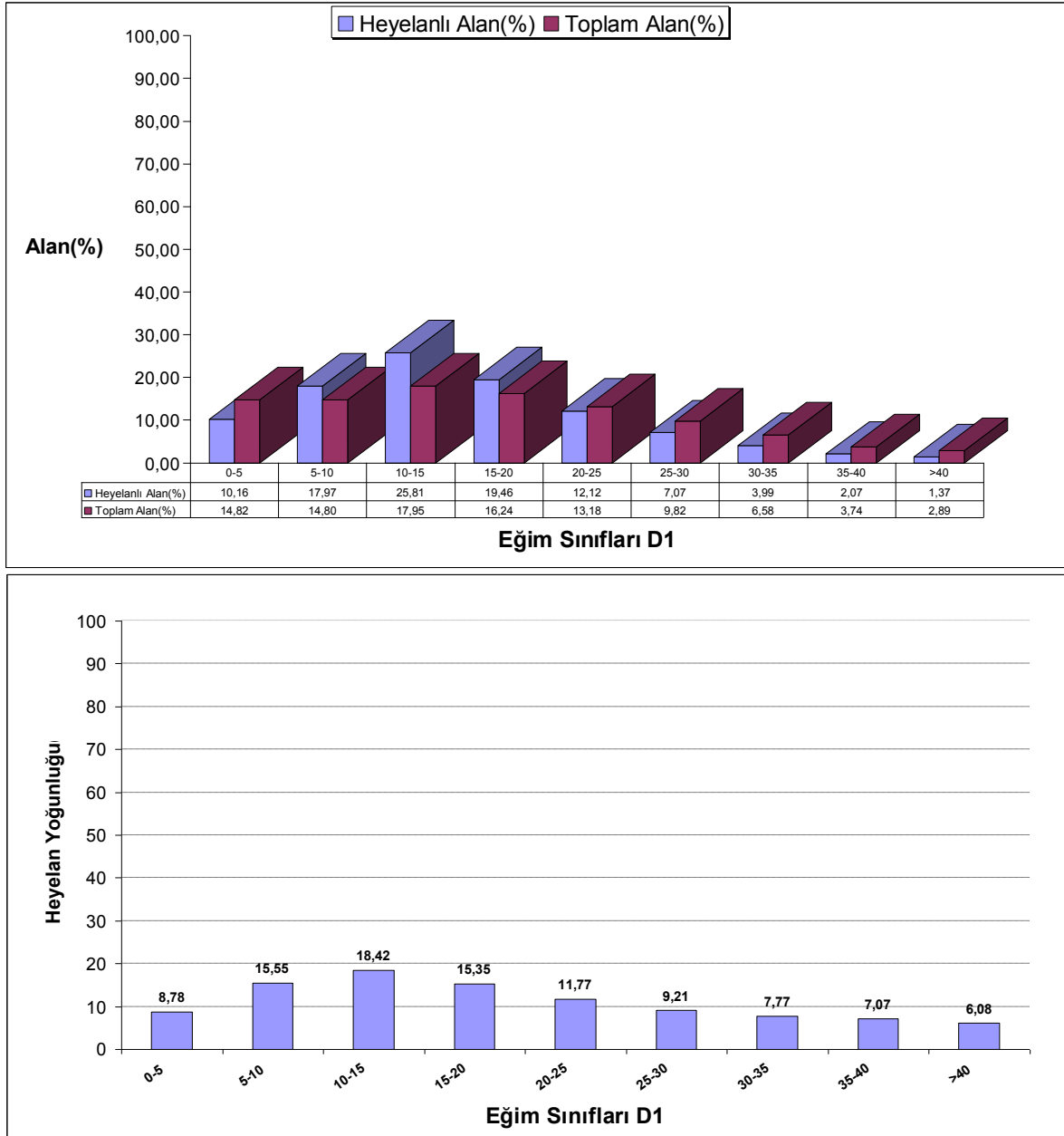


Şekil 38. İnceleme alanı D1 için eğim haritası



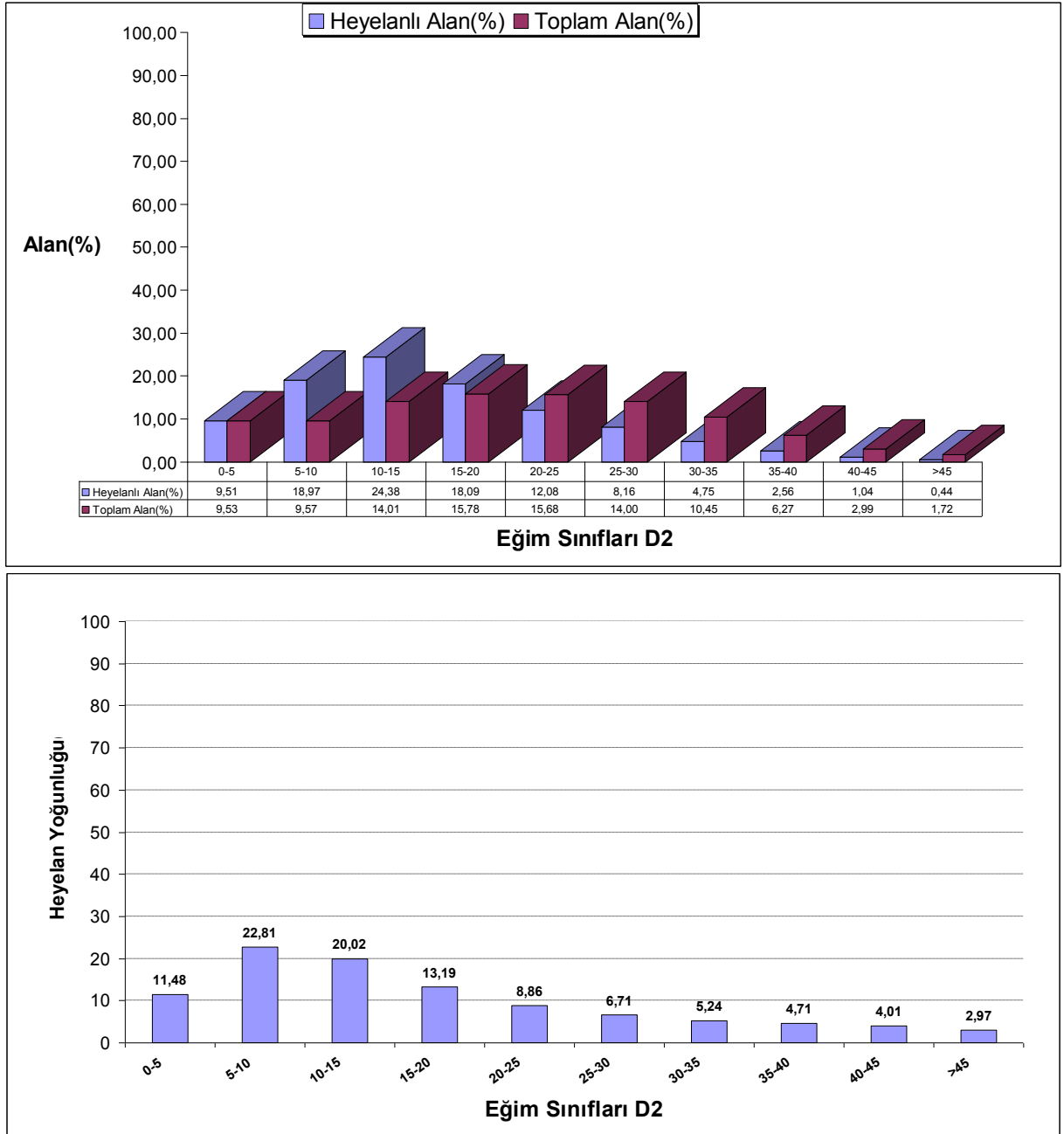
Şekil 39. İnceleme alanı D2 için eğim haritası

Tablo 8, 9'daki değerlerden yararlanarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 40, 41). Histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1'in toplam alanının % 86' sının eğim değerlerinin 0-30° arasında olduğu ve mevcut heyelanların yaklaşık % 92'sinin 0-30° arasında olduğu görülmektedir. Heyelan yoğunluğu (%) değeri dikkate alındığında 10-15° eğim değerine sahip yamaçlarda heyelan yoğunluğu yüksek çıkmıştır.



Şekil 40. (a,b) Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

İnceleme alanı D2'nin toplam alanının % 89'unun eğim değerlerinin 0-35° arasında olduğu ve mevcut heyelanların yaklaşık % 95'inin 0-35° arasında olduğu görülmektedir. Heyelanlı alanların % 24,4'ünün 10-15° arasında olmasına rağmen, hesaplanan heyelan yoğunluğu (%) değeri 5-10° eğim değerine sahip yamaçlarda daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 41. (a,b) Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

2.3.1.4. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

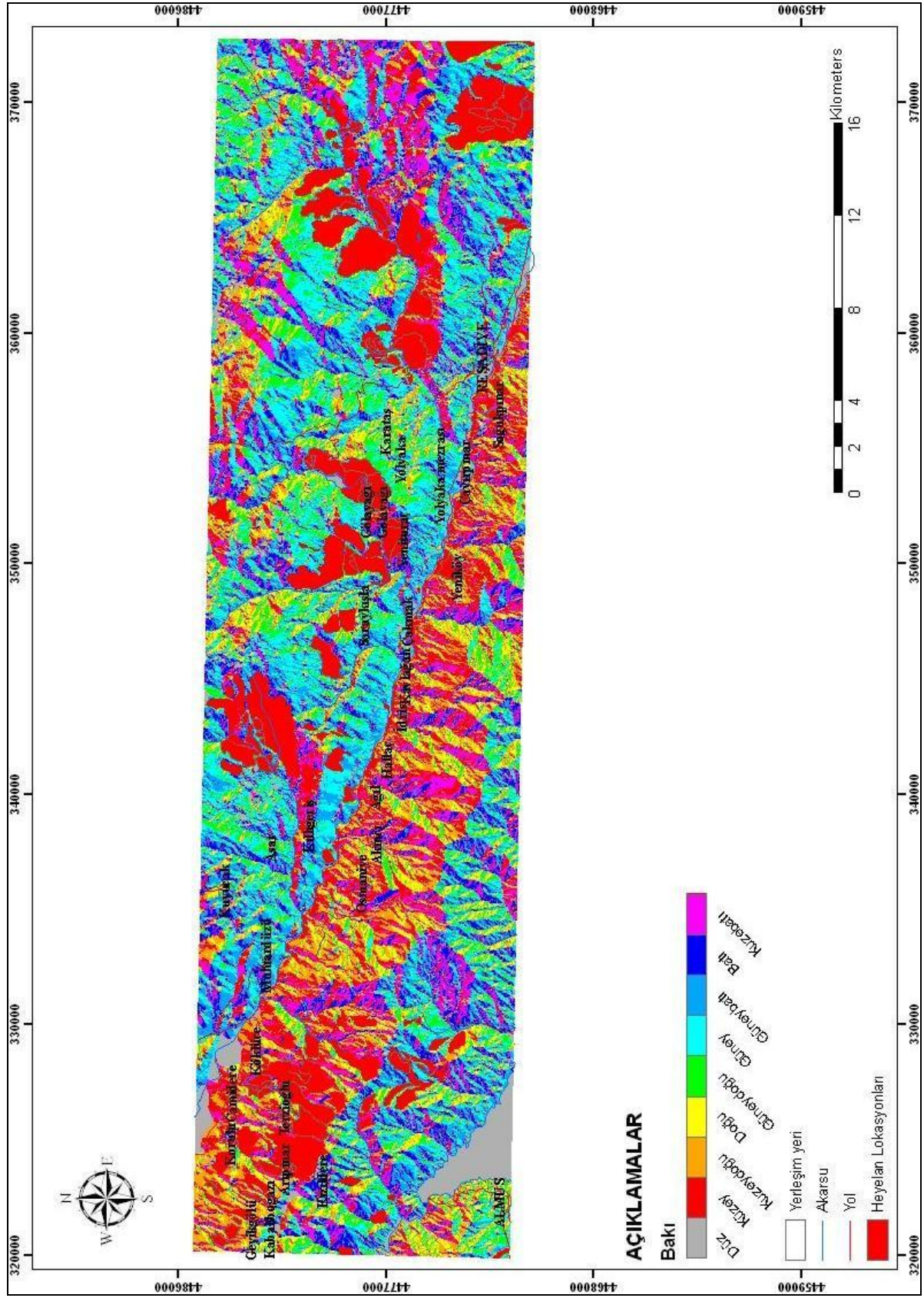
Yamaç eğim yönü (bakı), adından da anlaşılacağı üzere yamaçların hangi coğrafi yöne doğru geliştiklerini ifade eden bir veri türüdür. Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıkça kullanılan önemli bir parametredir. İnceleme alanında gözlenen mevcut heyelanların belli yöneline sahip yamaçlarda yoğunlaşması bu parametrenin değerlendirme kapsamına alınmasını zorunlu kılmıştır.

İnceleme alanlarına ait bakı haritaları CBS yazılımı ArcView 9.1 kullanılarak sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (Şekil 42, 43). Bu çalışma kapsamında üretilen bakı haritaları, -1 ile 360 derece arasındaki bir ölçeklendirme ile yapılmıştır. Buradaki, -1 değeri tamamen yatay yüzeyleri (Düz), 337,5-22,5⁰ değeri kuzeye, 22,5-67,5⁰ kuzeydoğuya, 67,5-112,5⁰ doğuya, 112,5-157,5⁰ güneydoğuya, 157,5-202,5⁰ güneye, 202,5-247,5⁰ güneybatıya, 247,5-292,5⁰ batıya, 292,5-337,5⁰ kuzeybatıya yönelimi ifade etmektedir. Minimum değer -1, en fazla değer 360 derecedir. CBS yazılımları ArcView 9.1 ve bunlara ait modüller kullanılarak bakı haritası ile heyelan envanter haritası çakıştırılarak eğim değerleri ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir. Daha sonra bakı sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 10, 11).

Tablo 10. Bakı Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

Bakı Sınıfları	Derece(°)	Piksel Sayısı (A)	% A	Heyelanlı Piksel (B)	% B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
DÜZ	-1-0	112447	9,68	6417	7,34	0,057067	7,51
KUZEY	337,5-22,5	134567	11,59	11320	12,95	0,085764	11,08
KUZEYDOĞU	22,5-67,5	111592	9,61	9337	10,68	0,083671	11,02
DOĞU	67,5-112,5	109445	9,43	6675	7,63	0,06099	8,03
GÜNEYDOĞU	112,5-157,5	127141	10,95	8296	9,49	0,06525	8,59
GÜNEY	157,5-202,5	176368	15,19	12725	14,55	0,07215	9,50
GÜNEYBATI	202,5-247,5	145699	12,55	11688	13,37	0,08022	10,56
BATI	247,5-292,5	120199	10,35	10477	11,98	0,087164	11,48
KUZEYBATI	292,5-337,5	123926	10,67	10518	12,03	0,084873	11,17

$$\Sigma B/A = 0,759508$$



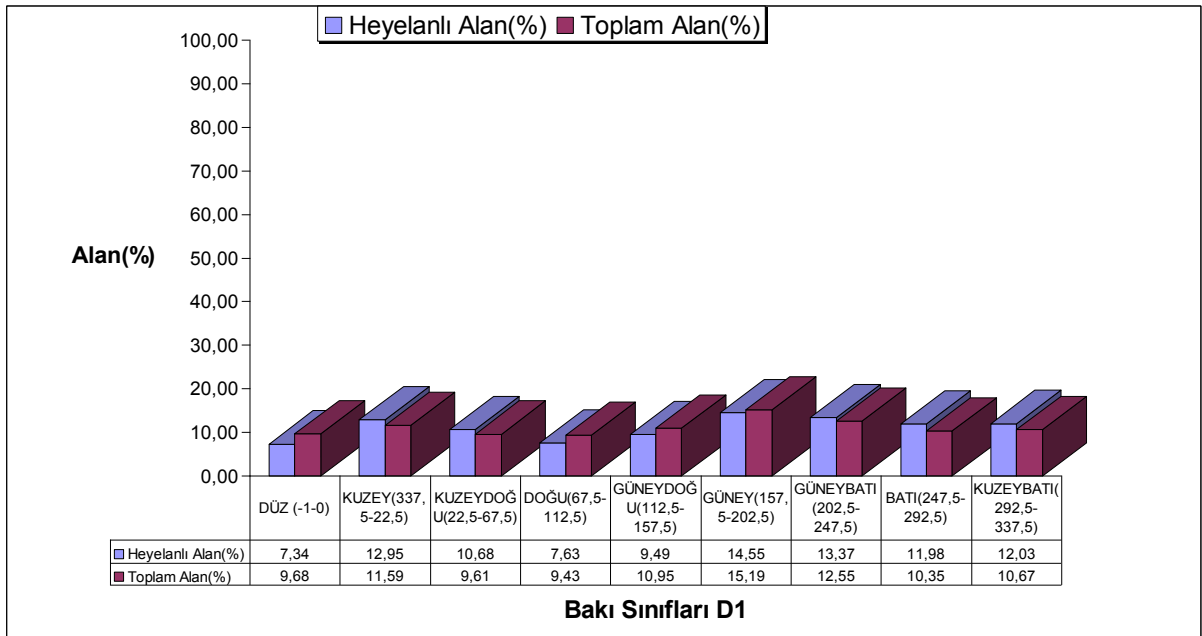
Şekil 42. İnceleme alanı D1 için bakı haritası

Ta blo 11. Bakı Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Bakı Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
DÜZ	75516	6,56	3363	5,50	0,044534	9,32
KUZEY	151144	13,14	2736	4,47	0,018102	3,79
KUZEYDOĞU	123532	10,74	2246	3,67	0,018182	3,80
DOĞU	108158	9,40	3722	6,08	0,034413	7,20
GÜNEYDOĞU	118461	10,30	7258	11,86	0,061269	12,82
GÜNEY	169380	14,72	15711	25,68	0,092756	19,41
GÜNEYBATI	144113	12,52	13521	22,10	0,093822	19,63
BATI	131648	11,44	8958	14,64	0,068045	14,24
KUZEYBATI	128407	11,16	3665	5,99	0,028542	5,97

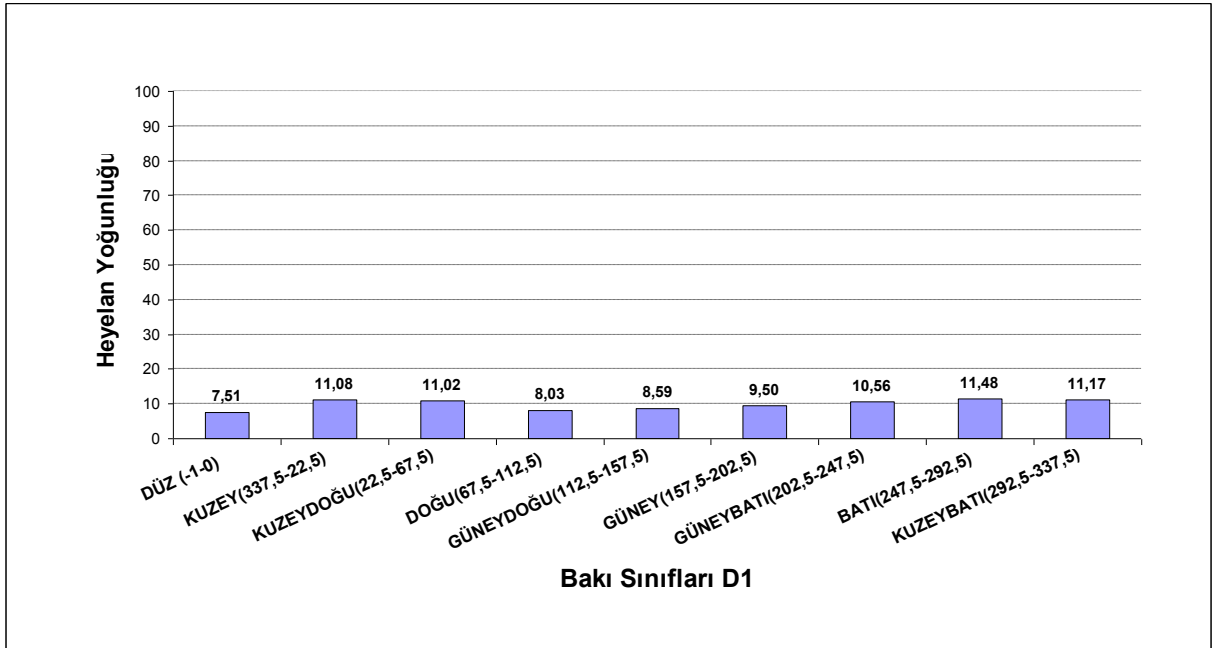
$$\Sigma B/A = 0,47784$$

Tablo 10,11'deki değerler dikkate alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 44, 45). Histogramlar incelendiğinde; inceleme alanı D1 için güneye bakan yamaçların diğer yönlere bakan yamaçlara oranla daha fazla alana sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde mevcut heyelanların güneye bakan yamaçlarda diğerlerinden fazla alana sahip olduğu görülmektedir. İnceleme alanı D1 içerisindeki heyelanlı alanların yaklaşık % 46'sının iki yöne bakan yamaçlarda meydana geldiği görülmektedir.



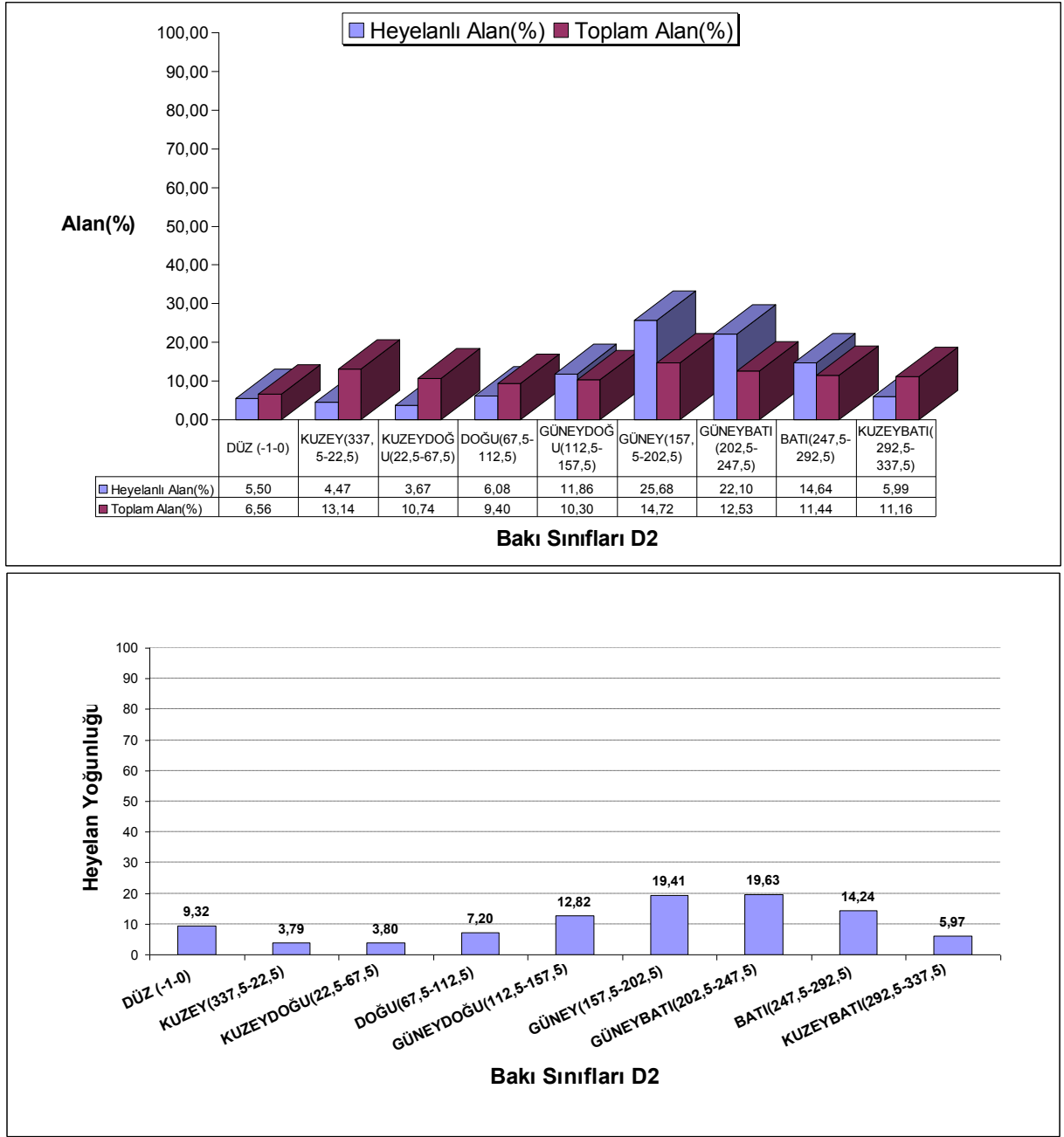
Şekil 44. (a,b) Bakı sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

Şekil 44' ün devamı



Heyelan yoğunluklarına (%) göre bakı yönleri değerlendirildiğinde ise, inceleme alanı D1 için batıya bakan, yamaçlarda yoğunluk diğer yönlerle oranla daha fazladır.

İnceleme alanı D2'de de güneye bakan yamaçların diğer yönlerle bakan yamaçlara oranla daha fazla alana sahip olduğu, mevcut heyelanların da güneye bakan yamaçlarda diğerlerine oranla fazla olduğu görülmektedir. İnceleme alanı D2 içerisindeki heyelanlı alanların yaklaşık % 44'ünün iki yöne bakan yamaçlarda meydana geldiği görülmektedir. Heyelan yoğunluklarına (%) göre bakı yönleri değerlendirildiğinde ise, inceleme alanı D2'de güneybatıya bakan, yamaçlarda yoğunluk diğer yönlerle oranla daha fazladır.



Şekil 45. (a,b) Bakı sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

2.3.1.5. Akarsuya Yakınlık

Yamaçların akarsuya yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır.

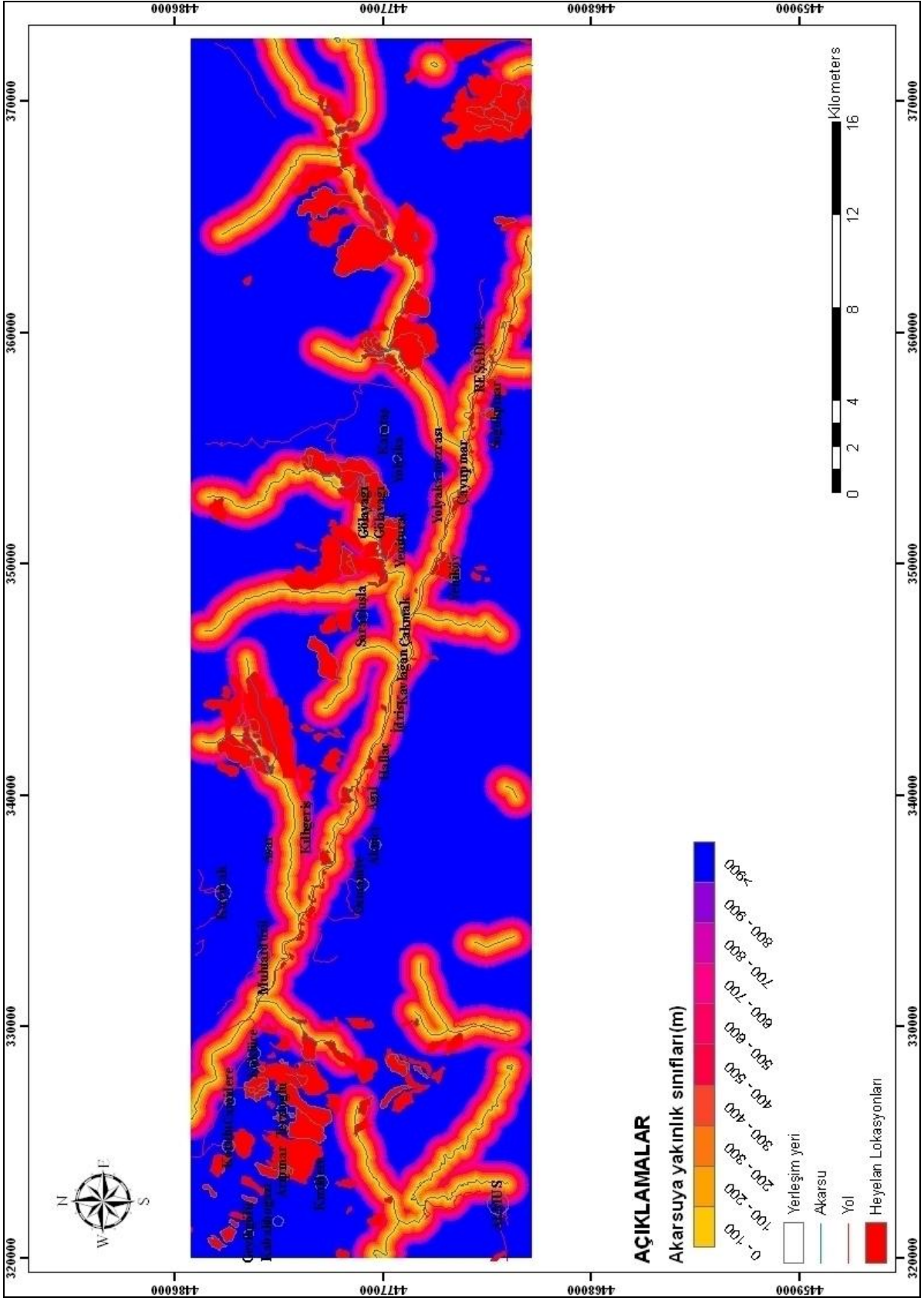
İnceleme alanlarına ait akarsuya yakınlık haritaları CBS yazılımı ArcView9.1 içerisinde bulunan “DISTANCE” arayüzü yardımıyla yapılmıştır. Bu arayüz, hedef bir piksel grubuna en yakın piksellerin mesafelerini hesaplayarak söz konusu hedef piksellere olan mesafeleri sürekli bir ölçek üzerinde raster formatında ifade eder (Eastman, 2004). Bu arayüz ile akarsuya yakınlık haritaları 100 er metre aralıklı 10 farklı tampon bölge olarak oluşturulmuştur (Şekil 46, 47). Bu tampon bölgeler 900 m’ye kadar 9 ara sınıfa ayrılmış, 900 m’den büyük yakınlıkların heyelana etkisinin az olacağı düşünüldüğünden tek sınıf olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan akarsuya yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için akarsuya yakınlık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmıştır. Akarsu yakınlık sınıflarını oluşturan tampon bölgelerinin, alanlarının % değerleri, heyelanlı alanlarının % değeri ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 12, 13).

Tablo 12. Akarsuya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler(D1)

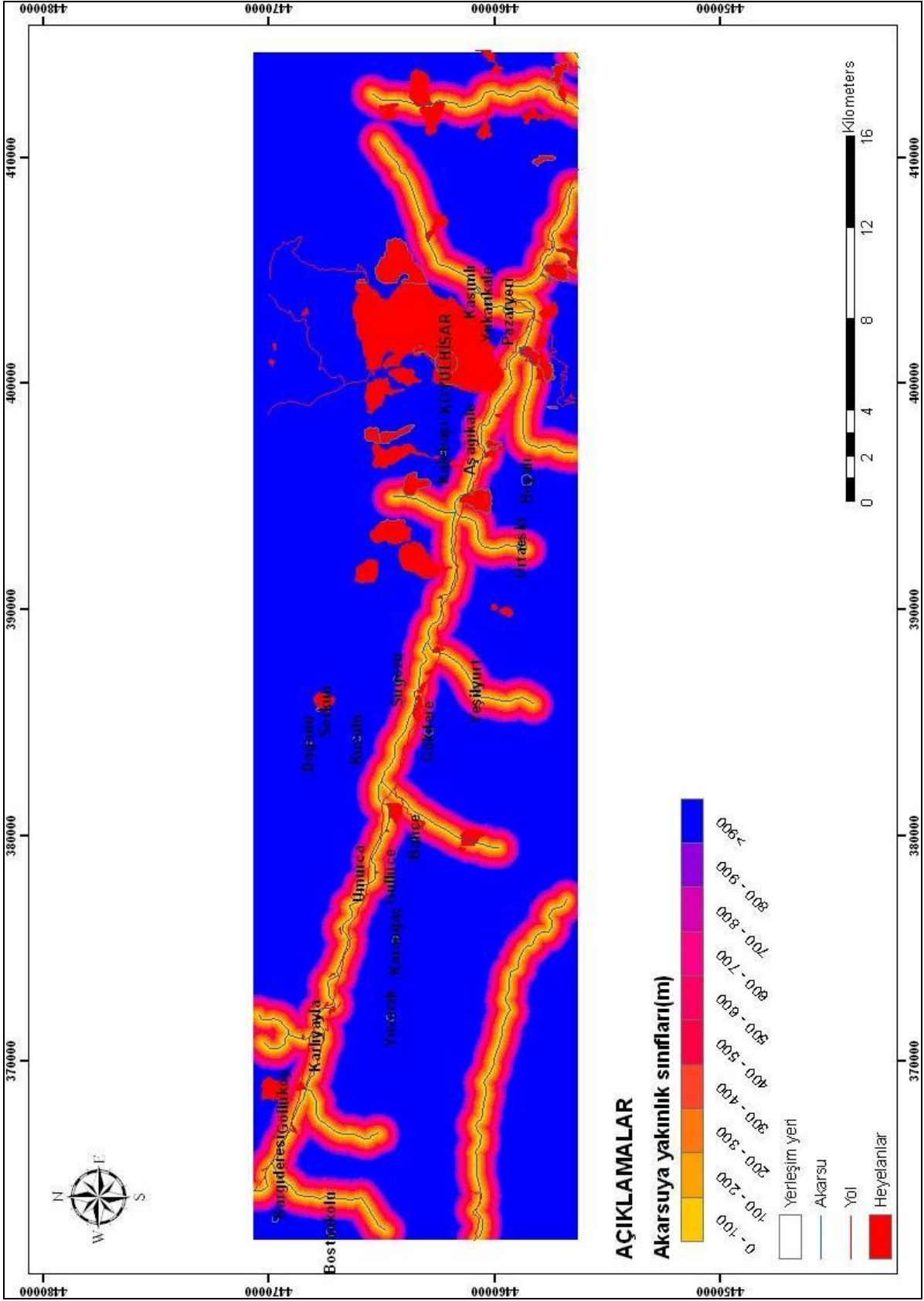
Akarsuya Yakınlık Sınıfları(m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	64448	5,15	5419	6,20	0,084083	10,25
100-200	57677	4,61	5738	6,56	0,099485	12,13
200-300	55765	4,46	5408	6,18	0,096978	11,83
300-400	56895	4,55	5121	5,86	0,090008	10,98
400-500	55293	4,42	4132	4,73	0,074729	9,11
500-600	51800	4,14	3818	4,37	0,073707	8,99
600-700	52914	4,23	4143	4,74	0,078297	9,55
700-800	51463	4,12	4279	4,89	0,083147	10,14
800-900	49202	3,94	3901	4,46	0,079285	9,67
>900	754847	60,37	45468	52,00	0,060235	7,35

$$\Sigma B/A = 0,81995$$

Tablo 12,13’de hesaplanan değerler dikkate alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 48, 49). Hazırlanan histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1’in akarsuya yakınlık sınıflarını oluşturulan tampon bölgelerin toplam alanları ve heyelanlı alanları akarsuya 900 m’den büyük yakınlıklar hariç benzer dağılımlar göstermektedir.



Şekil 46. İnceleme alanı D1 için akarsuya yakınlık haritası



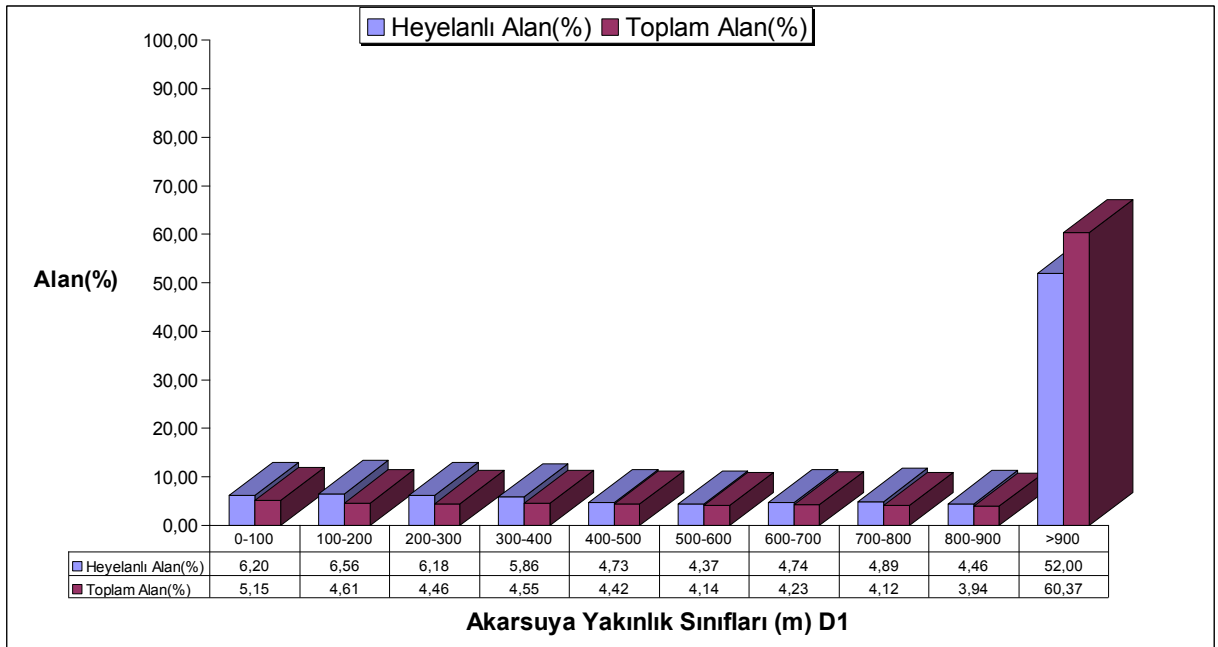
Şekil 47. İnceleme alanı D2 için akarsuya yakınlık haritası

Tablo 13. Akarsuya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Akarsuya Yakınlık Sınıfları(m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	47817	3,95	1522	2,49	0,03183	8,03
100-200	43274	3,57	1760	2,88	0,040671	10,27
200-300	41853	3,45	1644	2,69	0,03928	9,92
300-400	42246	3,49	1542	2,52	0,0365	9,21
400-500	41172	3,40	1440	2,35	0,034975	8,83
500-600	38000	3,14	1312	2,14	0,034526	8,72
600-700	38410	3,17	1480	2,42	0,038532	9,73
700-800	37422	3,09	1516	2,48	0,040511	10,23
800-900	36127	2,98	1567	2,56	0,043375	10,95
>900	845583	69,77	47301	77,31	0,055939	14,12

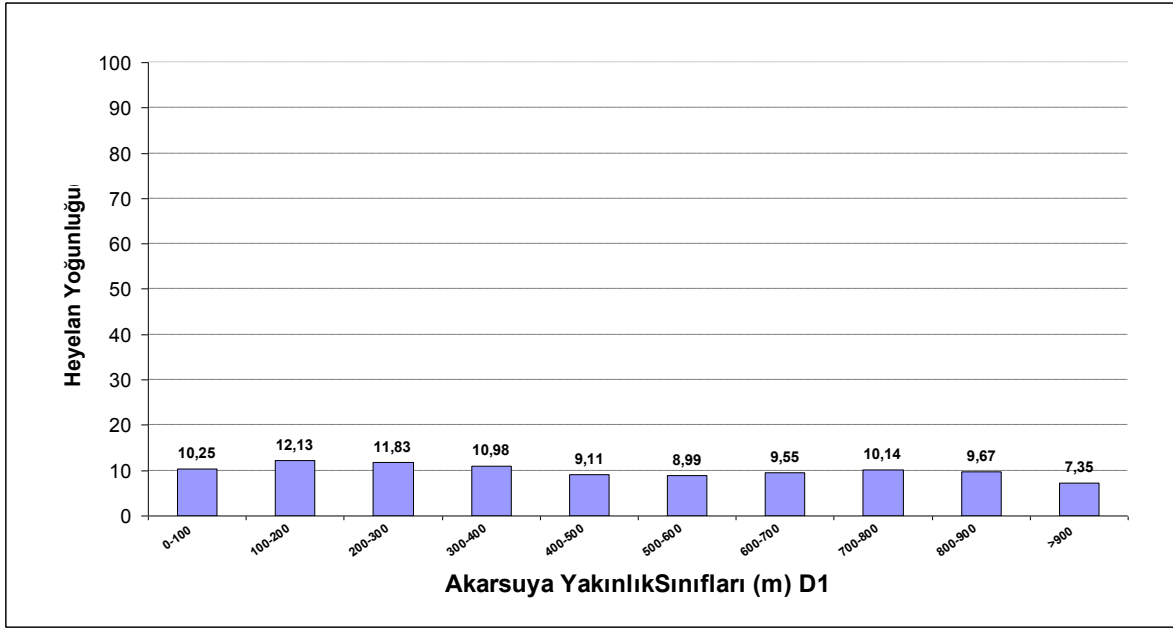
$$\Sigma B/A = 0,39614$$

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D1 için % 52'lik kısmının akarsuya 900 m'den büyük yakınlık sınıfında olmasına rağmen, heyelan yoğunluğu (%) değerleri dikkate alındığında, inceleme alanı D1 için akarsuya 100-200 m yakınlık sınıfının yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, akarsulardan uzaklaştıkça suyun yamaç üzerinde meydana getirebileceği duraysızlık problemlerinin de nispeten azalabileceği söylenebilir.

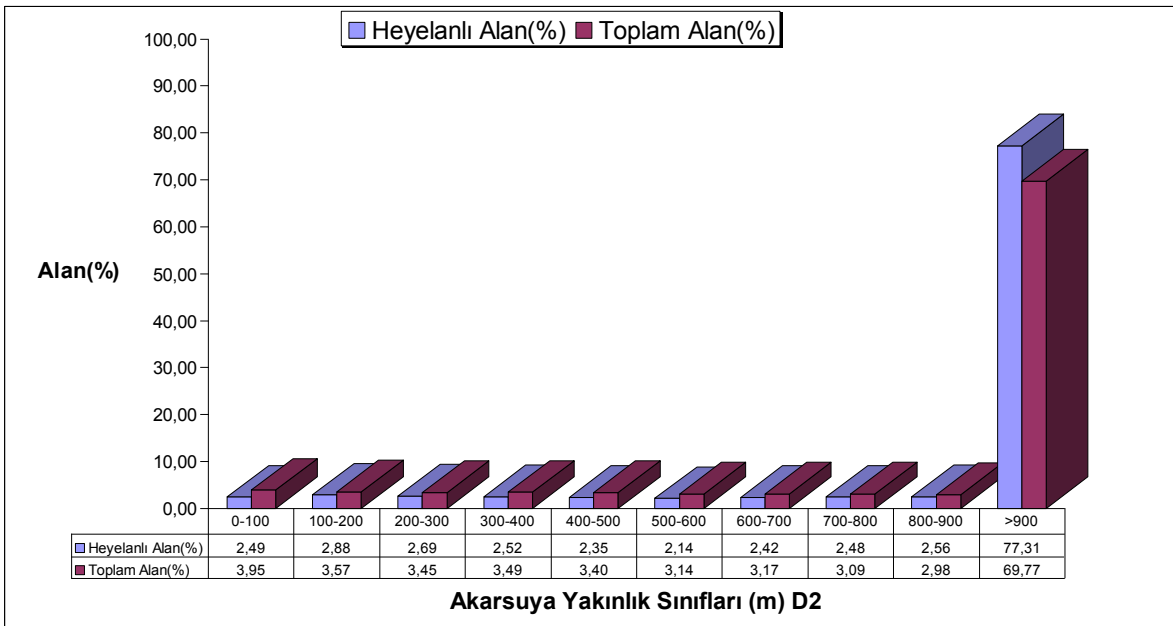


Şekil 48. (a,b) Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

Şekil 48' in devamı

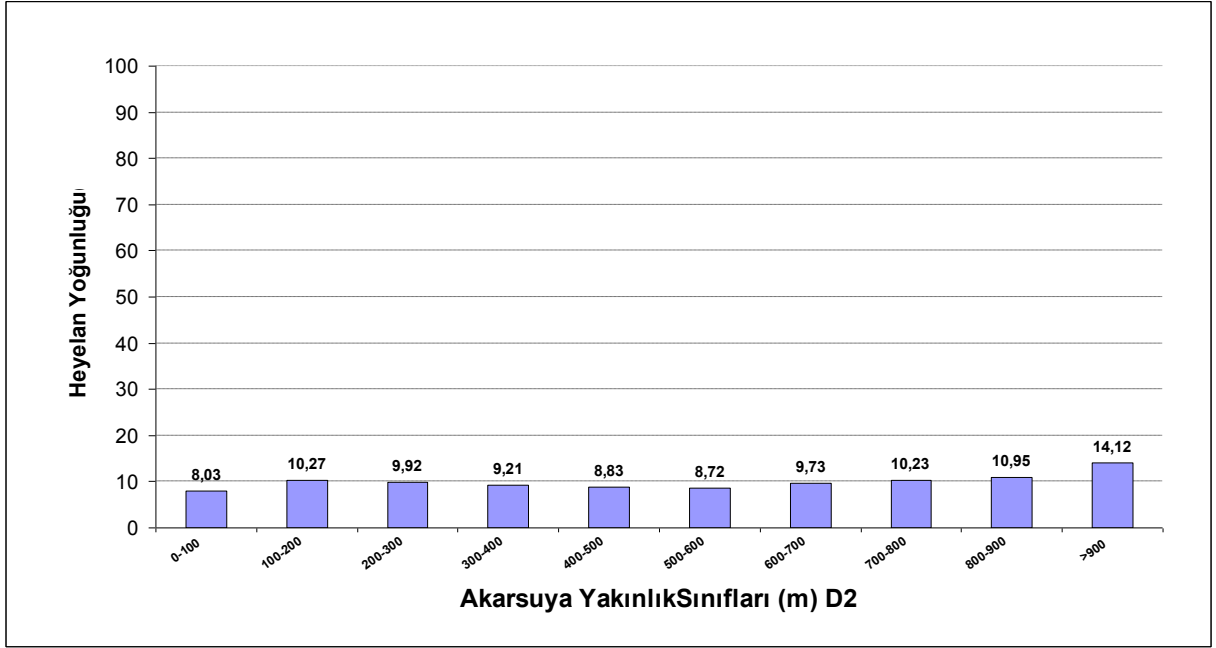


İnceleme alanı D2'nin akarsuya yakınlık sınıflarını oluşturulan tampon bölgelerin toplam ve heyelanlı alanlarına bakıldığında akarsuya 900 m'den büyük yakınlıkların en yüksek alanı oluşturduğu görülmektedir. İnceleme alanı D2'deki heyelanlı alanların % 77,31'lik büyük kısmının akarsuya 900 m'den büyük yakınlık sınıfında olmasına rağmen, heyelan yoğunluğu (%) değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 49. (a,b) Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

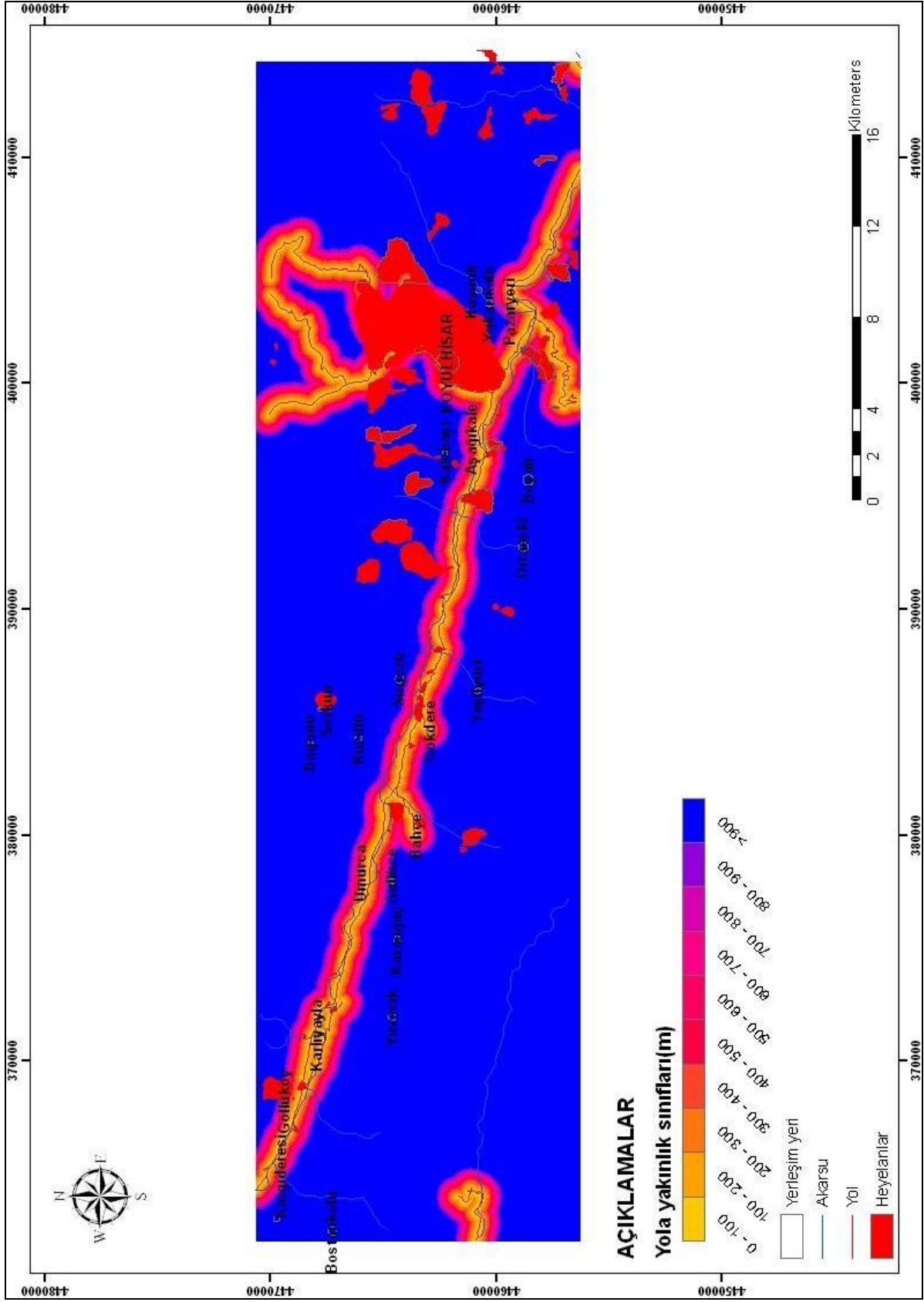
Şekil 49' un devamı



2.3.1.6. Yola Yakınlık

Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının gelişmesine neden olmaktadır. Arazi çalışmaları süresince açılan yolların etkisiyle heyelanların geliştiği gözlenmiş ve yola yakınlık parametresinin duyarlılık analizlerine dahil edilmesi uygun görülmüştür.

İnceleme alanlarına ait yola yakınlık haritaları CBS yazılımı ArcView9.1 içerisinde bulunan "DISTANCE" arayüzü yardımıyla yapılmıştır (Şekil 50, 51). Yola yakınlık haritaları 100 er metre aralıklı 900 m'ye kadar 9 ara sınıfa ayrılmış, yola 900 m'den büyük yakınlıkların heyelana etkisinin az olacağı düşünüldüğünden tek sınıf olarak kabul edilmiş ve 10 farklı tampon bölge oluşturulmuştur. Yola yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için yola yakınlık haritaları ile heyelan envanter haritası çakıştırılmış, oluşturan tampon bölgelerin, alanlarının % değerleri, heyelanlı alanlarının % değeri ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 14, 15).



Şekil 51. İnceleme alanı D2 için yola yakınlık haritası

Tablo 14. Yola Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

Yola Yakınlık Sınıfları(m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	46966	4,06	2484	2,84	0,052889	10,50
100-200	38253	3,31	1827	2,09	0,047761	9,48
200-300	34375	2,97	1466	1,68	0,042647	8,47
300-400	33959	2,94	1516	1,73	0,044642	8,86
400-500	31770	2,75	1436	1,64	0,0452	8,97
500-600	28694	2,48	1280	1,46	0,044609	8,86
600-700	28925	2,50	1246	1,42	0,043077	8,55
700-800	28166	2,44	1378	1,58	0,048924	9,71
800-900	27145	2,35	1341	1,53	0,049401	9,81
>900	858066	74,21	72554	82,98	0,084555	16,79

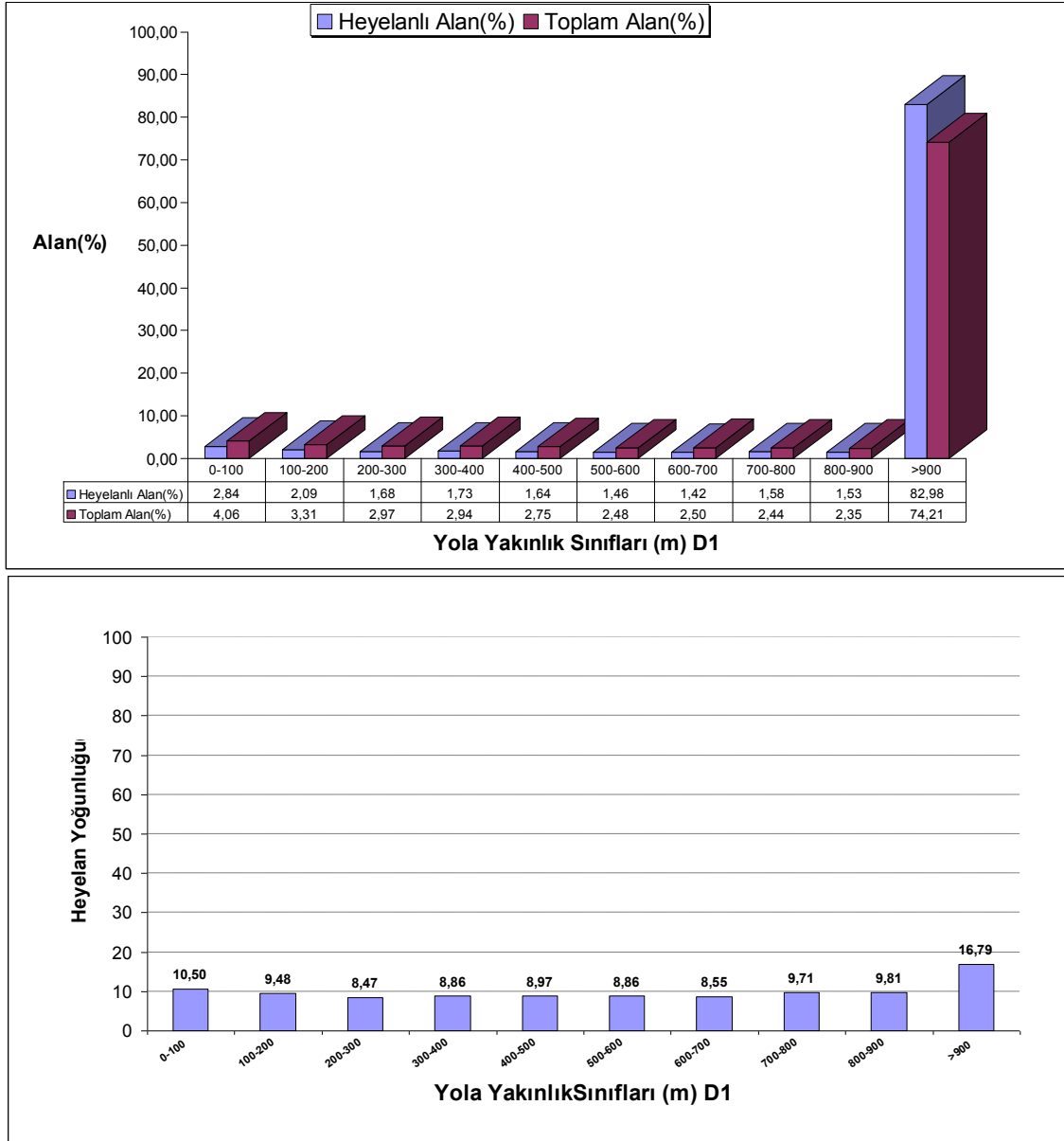
$$\Sigma B/A = 0,503706$$

Tablo 15. Yola Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Yola Yakınlık Sınıfları(m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	38847	3,23	6850	11,20	0,176333	15,13
100-200	33299	2,77	5633	9,21	0,169164	14,51
200-300	31115	2,58	5281	8,63	0,169725	14,56
300-400	30762	2,56	4746	7,76	0,154281	13,24
400-500	29972	2,49	3978	6,50	0,132724	11,39
500-600	27627	2,29	2936	4,80	0,106273	9,12
600-700	27843	2,31	2329	3,81	0,083648	7,18
700-800	26629	2,21	2007	3,28	0,075369	6,47
800-900	25446	2,11	1806	2,95	0,070974	6,09
>900	932300	77,44	25243	41,26	0,027076	2,32

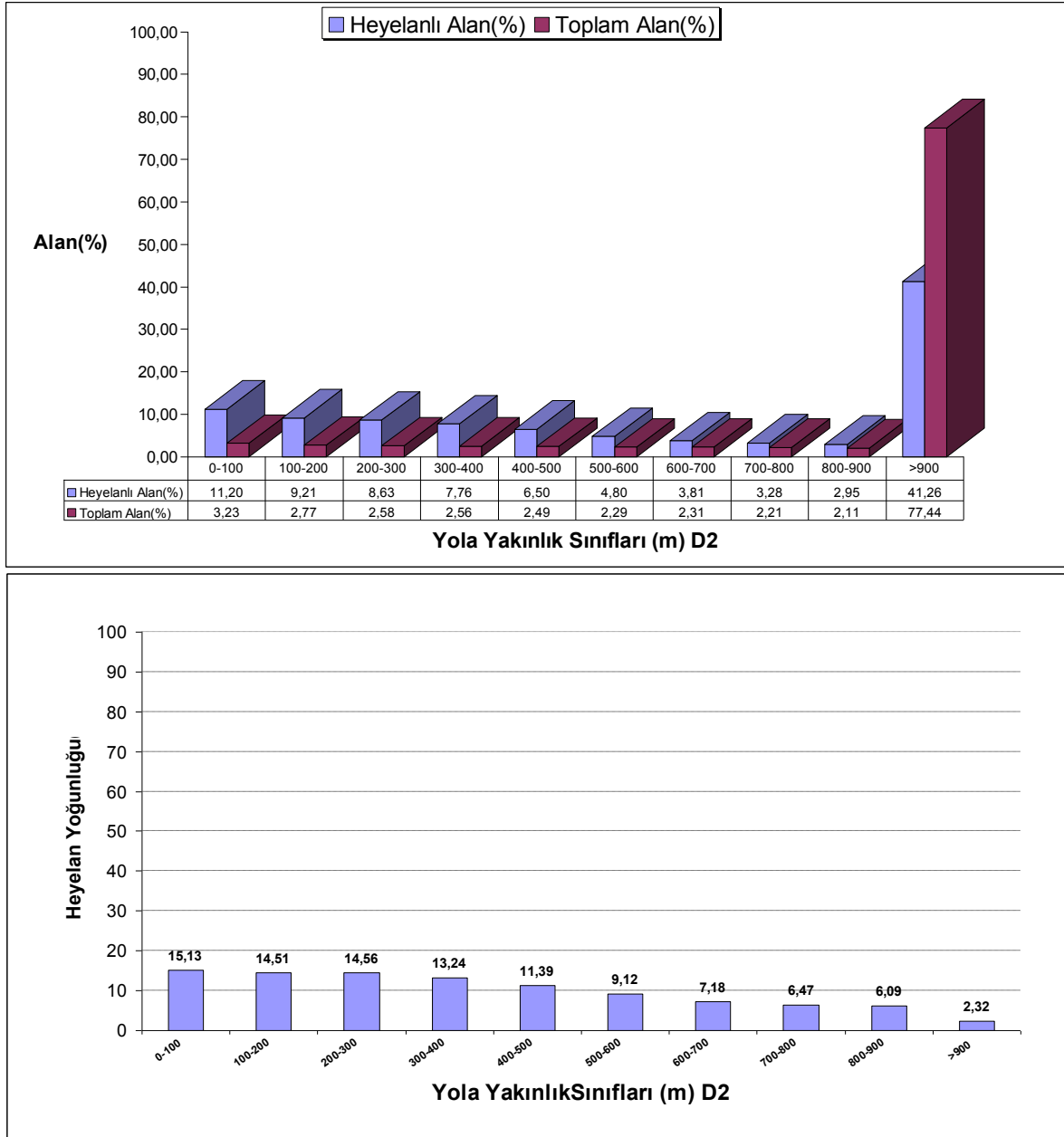
$$\Sigma B/A = 1,16557$$

Tablo 14,15’de hesaplanan değerler dikkate alınarak yola yakınlık sınıflarına ait histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 52, 53). Histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1’in yola yakınlık sınıflarını oluşturulan tampon bölgelerin toplam ve heyelanlı alanları, yola 900 m’den büyük yakınlıklar hariç benzer dağılımlar göstermektedir. İnceleme alanı D1’deki heyelanların %82.98’inin yola 900 m’den büyük yakınlık sınıfında olduğu görülmektedir.



Şekil 52. (a,b) Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

Heyelan yoğunluğu (%) değerlerine bakıldığında da, inceleme alanı D1 için yola 900 m'den büyük yakınlık sınıfının yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir. İnceleme alanı D2'in yola yakınlık sınıflarını oluşturulan tampon bölgelerin toplam ve heyelanlı alanları, yola 900 m'den büyük yakınlıklar hariç benzer dağılımlar göstermektedir.



Şekil 53. (a,b) Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D2 için % 41,26'lık kısmının yola 900 m'den büyük yakınlık sınıfında olmasına rağmen, heyelan yoğunluğu (%) değerlerine bakıldığında da, yola 0-100 m yakınlık sınıfında yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir. Bu alan için yoldan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğunda bir azalmanın olduğu görülmektedir.

2.3.1.7. Faya Yakınlık

Depremler, yarattıkları sismik ivmeyle heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden birisidir. Depremler, odaktan itibaren yüzlerce kilometre uzaklıktaki zeminlerde de heyelan, sıvılaşma, yanal yayılma gibi çeşitli duraysızlıklara neden olabilmektedir(Gökçeoğlu). İnceleme alanının Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde olması fay parametresinin duyarlılık analizinde dikkate alınmasını zorunlu kılmıştır.

İnceleme alanlarına ait faya yakınlık haritaları CBS yazılımı ArcView9.1 içerisinde bulunan “DISTANCE” arayüzü yardımıyla yapılmıştır (Şekil 54, 55). Faya yakınlık haritaları 100 er metre aralıklı 10 farklı tampon bölge olarak oluşturulmuştur. Faya yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için faya yakınlık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmıştır. Faya yakınlık sınıflarının, alanlarının % değerleri, heyelanlı alanlarının % değeri ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 16, 17).

Tablo 16. Faya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

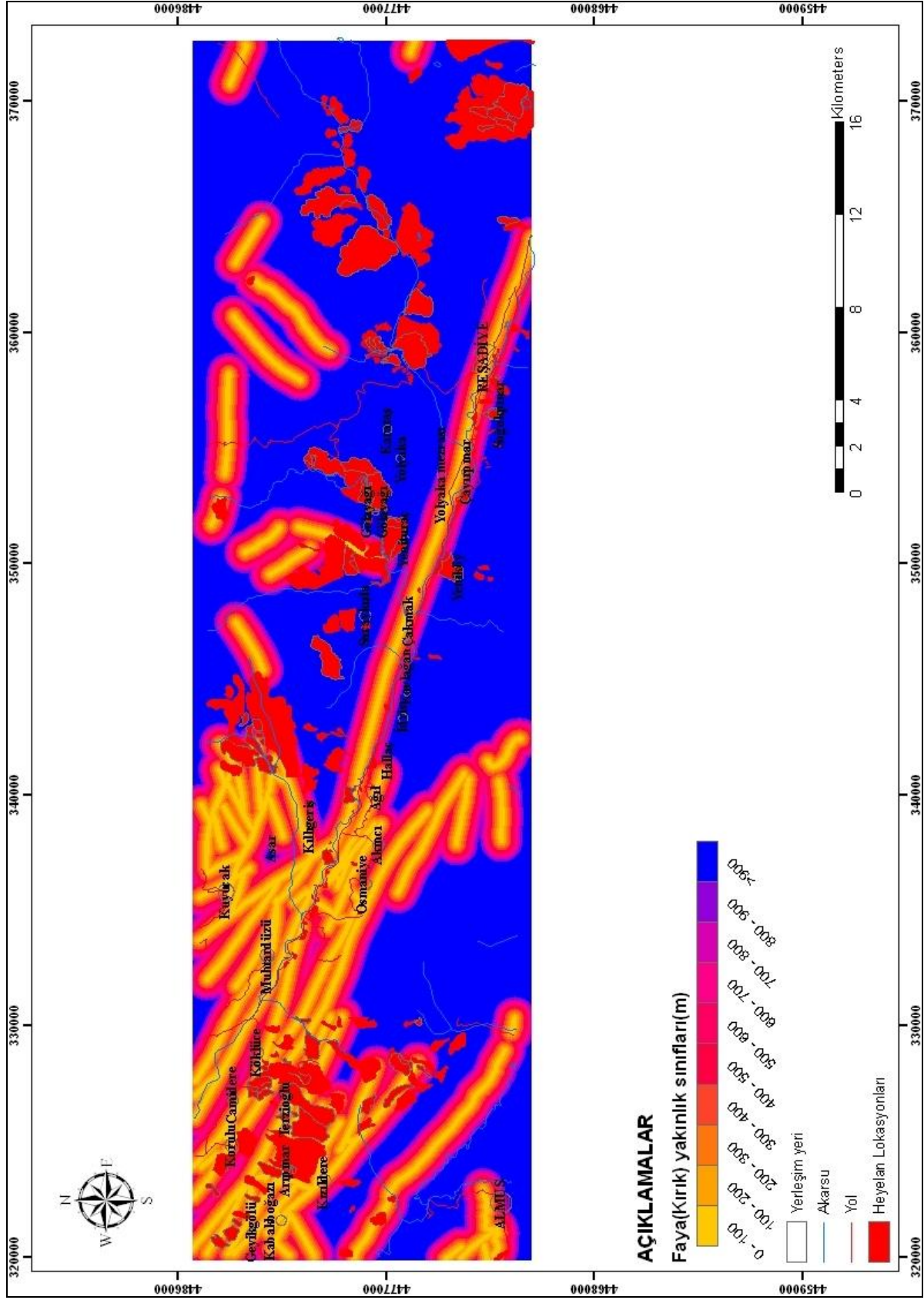
Faya Yakınlık Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	102415	8,84	7697	8,80	0,075155	10,92
100-200	88779	7,67	6872	7,86	0,077406	11,25
200-300	75030	6,48	5585	6,39	0,074437	10,82
300-400	64039	5,53	4234	4,84	0,066116	9,61
400-500	54630	4,72	3602	4,12	0,065934	9,58
500-600	45811	3,96	3230	3,69	0,070507	10,25
600-700	43342	3,74	2878	3,29	0,066402	9,65
700-800	38435	3,32	2172	2,48	0,056511	8,21
800-900	35173	3,04	1964	2,25	0,055838	8,11
>900	610519	52,71	48715	55,71	0,079793	11,60

$$\Sigma B/A = 0,688099$$

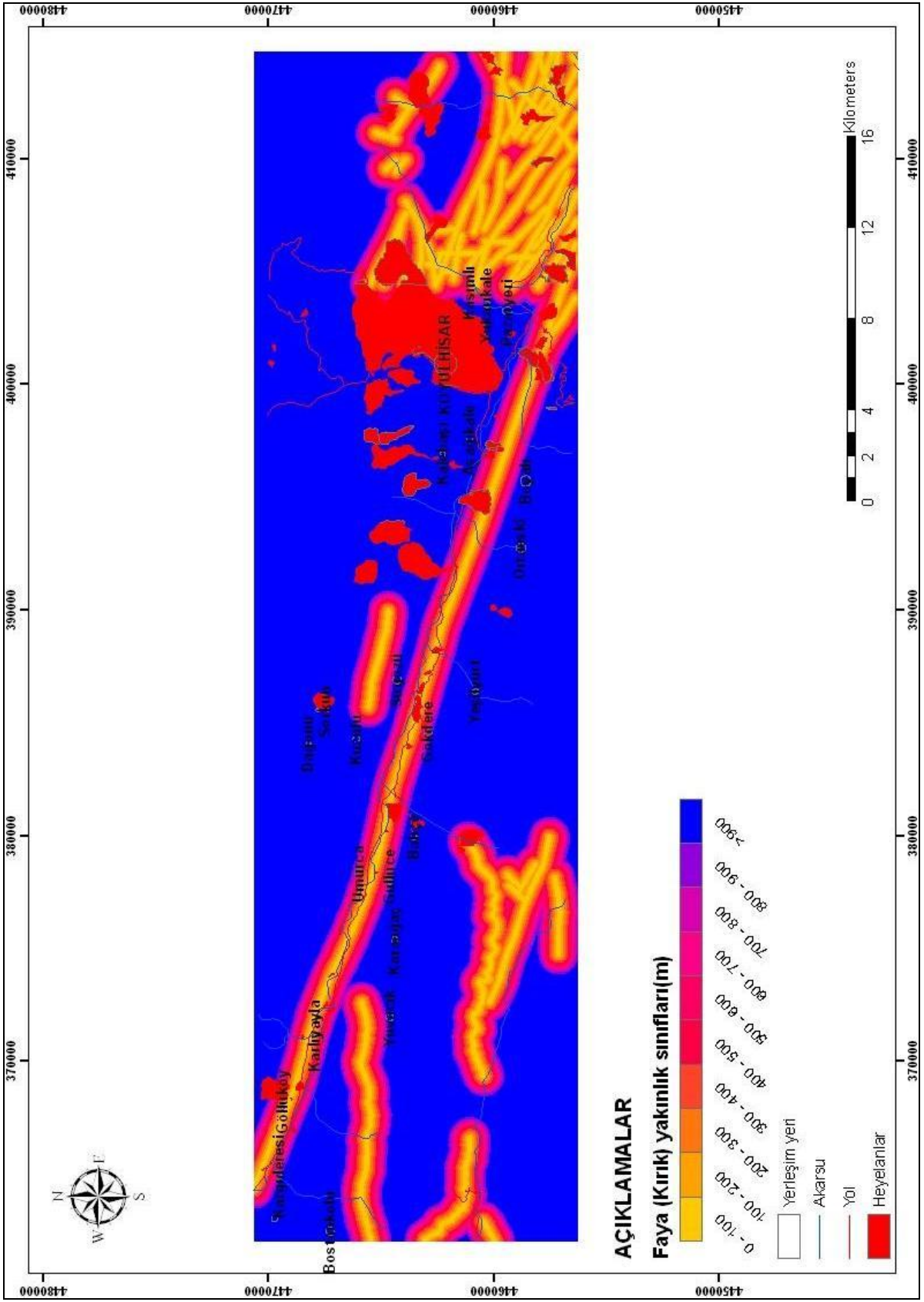
Tablo 17. Faya Yakınlık Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Faya Yakınlık Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	73172	6,01	3498	5,72	0,047805	10,63
100-200	60206	4,95	2612	4,27	0,043384	9,65
200-300	49756	4,09	1904	3,11	0,038267	8,51
300-400	43533	3,58	1714	2,80	0,039372	8,76
400-500	38906	3,20	1872	3,06	0,048116	10,70
500-600	35122	2,89	1845	3,02	0,052531	11,68
600-700	35684	2,93	1705	2,79	0,047781	10,62
700-800	34698	2,85	1444	2,36	0,041616	9,25
800-900	33463	2,75	1254	2,05	0,037474	8,33
>900	811972	66,75	43332	70,83	0,053366	11,87

$$\Sigma B/A = 0,44971$$

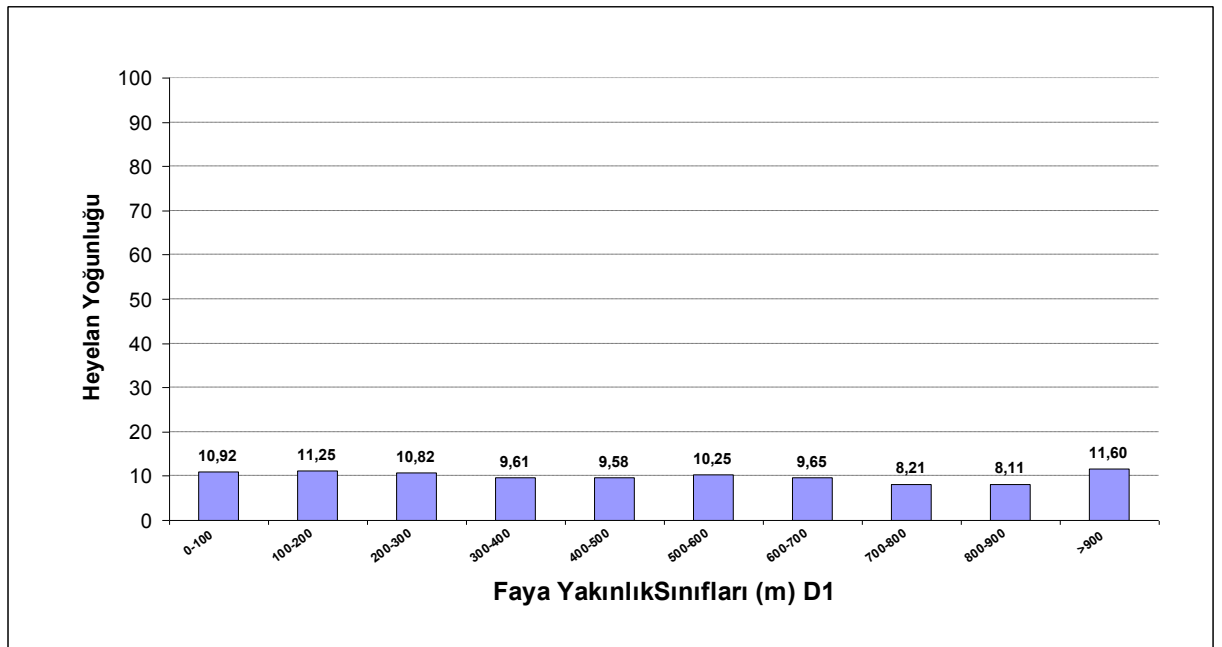
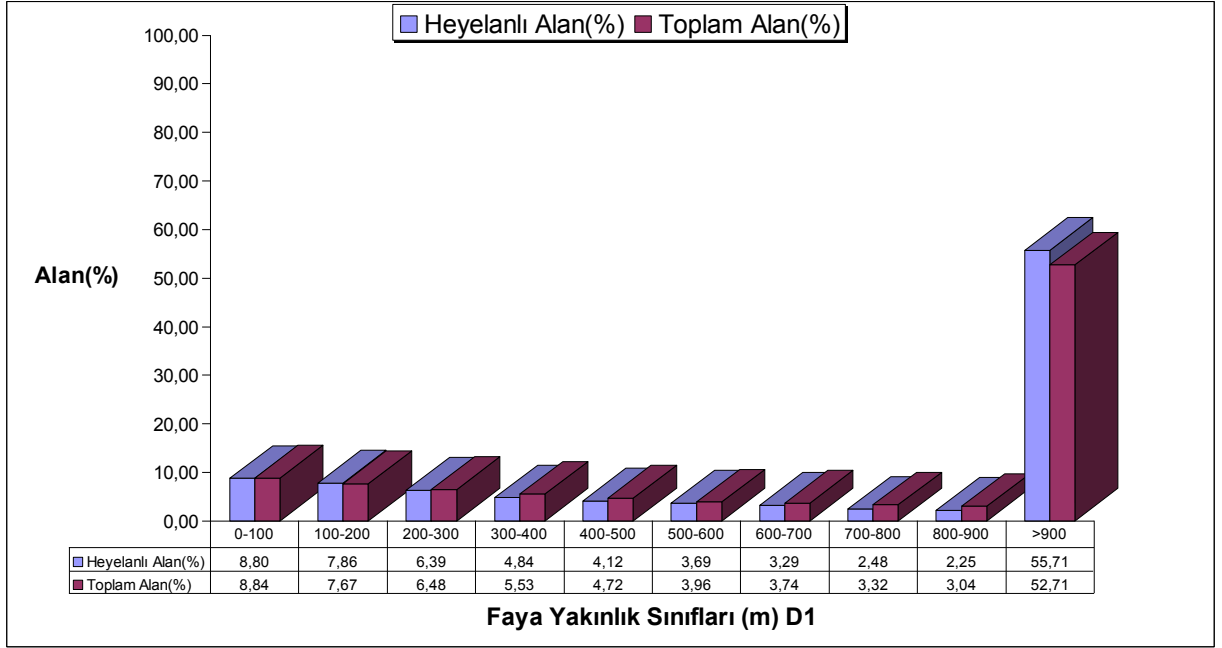


Şekil 54. İnceleme alanı D1 için faya yakınlık haritası



Şekil 55. İnceleme alanı D2 için faya yakınlık haritası

Tablo 16, 17' de hesaplanan değerler dikkate alınarak faya yakınlık sınıflarına ait histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 56, 57). Histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1'in faya yakınlık sınıflarını oluşturulan tampon bölgelerin toplam ve heyelanlı alanları, faya 900 m'den büyük yakınlıklar hariç benzer dağılımlar göstermektedir

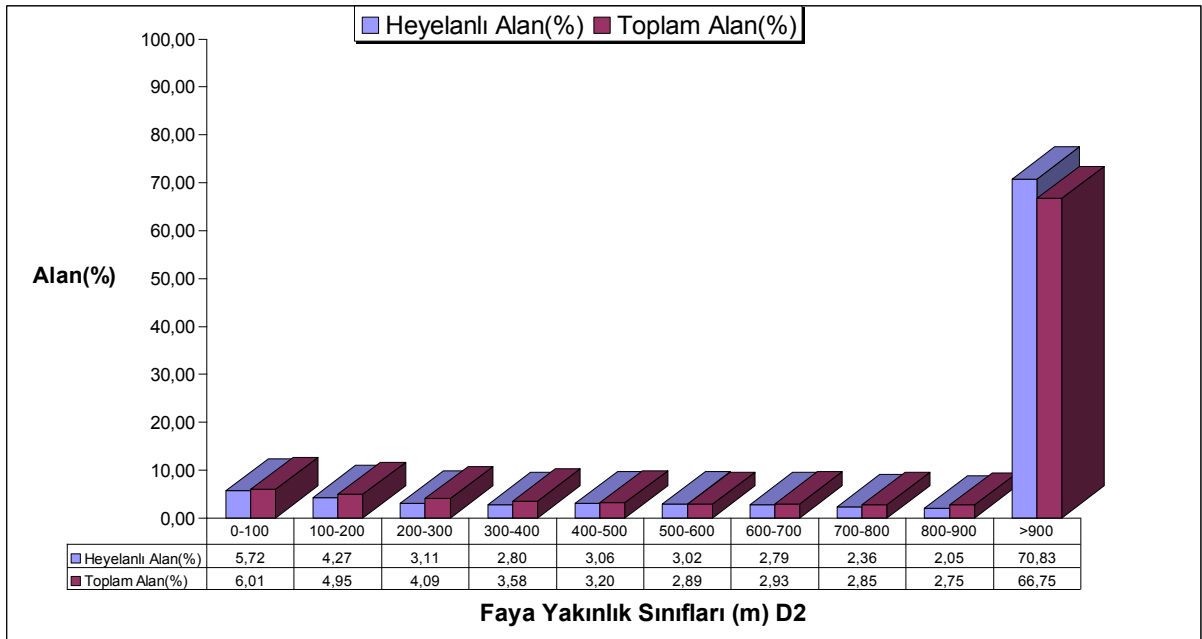


Şekil 56. (a,b) Faya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D1 için % 55,71'lik kısmının faya 900 m'den büyük yakınlık sınıfında olduğu görülmektedir. Heyelan yoğunluğu (%) değerlerine dikkate alındığında, inceleme alanı D1 için tüm yakınlık sınıflarının yoğunluğunun birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Buda incelenen her iki alan içinde, depremin sismik aktivitesinin uzaklık gözetmeksizin heyelana neden olabileceğini göstermektedir.

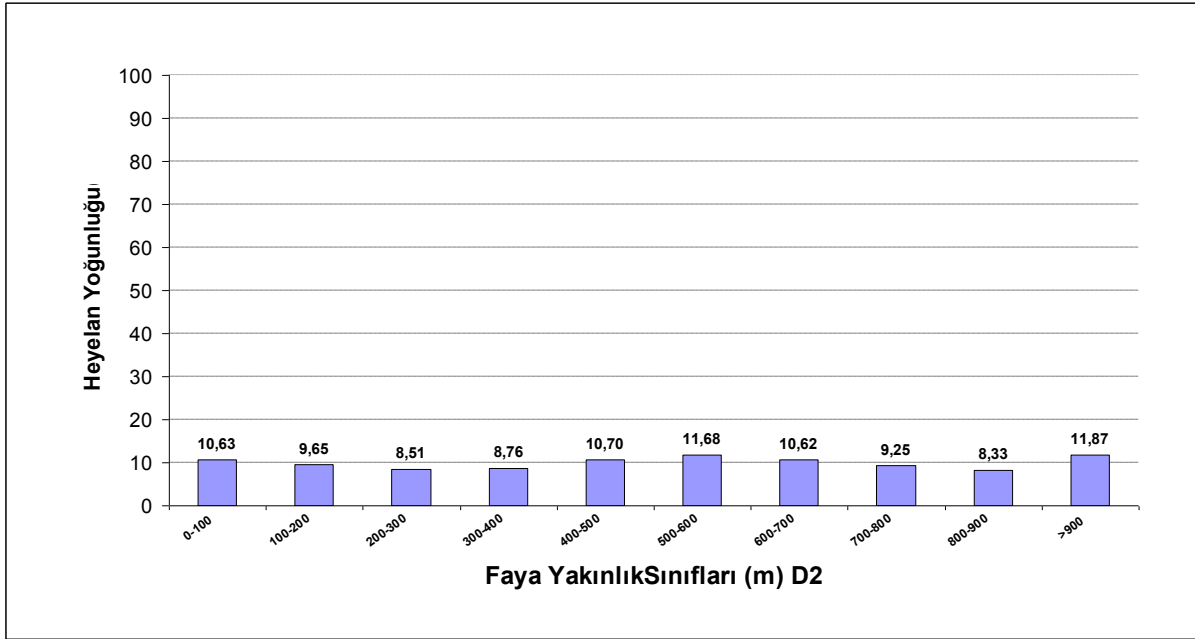
İnceleme alanı D2'in faya yakınlık sınıflarını oluşturulan tampon bölgelerin toplam ve heyelanlı alanları, yola 900 m'den büyük yakınlıklar hariç benzer dağılımlar göstermektedir

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D2'de % 70,83'lük kısmının faya 900 m'den büyük yakınlık sınıfında olduğu görülmektedir. Heyelan yoğunluğu (%) değerlerine dikkate alındığında, inceleme alanı D2 için de tüm yakınlık sınıflarının yoğunluğunun birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 57. (a,b) Faya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

Şekil 57' nin devamı



2.3.1.8. Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu, birim alana düşen akarsu uzunluğu olarak tanımlanmaktadır (Bayazıt, 1999, 2001). Drenaj yoğunluğu haritası ArcGIS 9.1. yazılımındaki “DENSITY” komutuyla oluşturulmuştur. Yoğunluk (Density) kavramı, nokta veya çizgi biçimindeki verilerin, bir birim alan içerisindeki sayılarının, o birim alanın toplam alan değerine oranı olarak ifade edilmektedir (ESRI, 2002).

Bu amaçla, yoğunluk hesaplaması yapılırken, seçilecek birim alanın (bu çoğu zaman daire biçiminde olur) çapı ve hesaplamada seçilen yöntem önceden belirlenmelidir. Burada iki hesaplama yöntemi olarak “Çekirdek (Kernel)” ve “Basit” hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Drenaj yoğunluğu haritasının hazırlanması amacıyla CBS’de Kernel yöntemi kullanılmış, her bir birim alanın çapı ise 800 m olarak dikkate alınmıştır. Bu değer hesaplama fonksiyonunun hazır (default) değeri olup bu değer artırılması veya azaltılması da mümkündür. Hesaplama, tüm haritalarda olduğu gibi birim piksel boyutu yine 25 m olarak seçilmiştir. Kernel yönteminde, Basit yöntemden farklı olarak bir raster hücresinin merkezine yakın duran nokta ya da çizgi veriler, kenara yakın duran verilerden daha yoğun bir şekilde ağırlıklandırılır. Bu sebepten dolayı, bu aşamada Kernel hesaplama yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. Arc GIS ortamında “DENSITY” komutuyla

800 m çaplı birim referans dairesi kullanılarak drenaj yoğunluğu haritası elde edilmiştir. Elde edilen drenaj yoğunluğu haritası az yoğun, orta yoğun ve çok yoğun olmak üzere yeniden sınıflandırılarak analiz aşamasında kullanılan harita formatına dönüştürülmüştür (Şekil 58,59). Drenaj yoğunluğu sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için drenaj yoğunluğu haritaları ile heyelan envanter haritası çakıştırılmıştır. Drenaj yoğunluğu sınıflarının, toplam alanlarının % değerleri, heyelanlı alanlarının % değeri ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 18, 19).

Tablo 18. Drenaj Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

Drenaj Yoğunluğu Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Az Yoğun	1092256	87,36	72034	82,39	0,06595	26,58
Orta Yoğun	149576	11,96	14681	16,79	0,09815	39,55
Çok Yoğun	8472	0,68	712	0,81	0,08404	33,87

$$\Sigma B/A = 0,24814$$

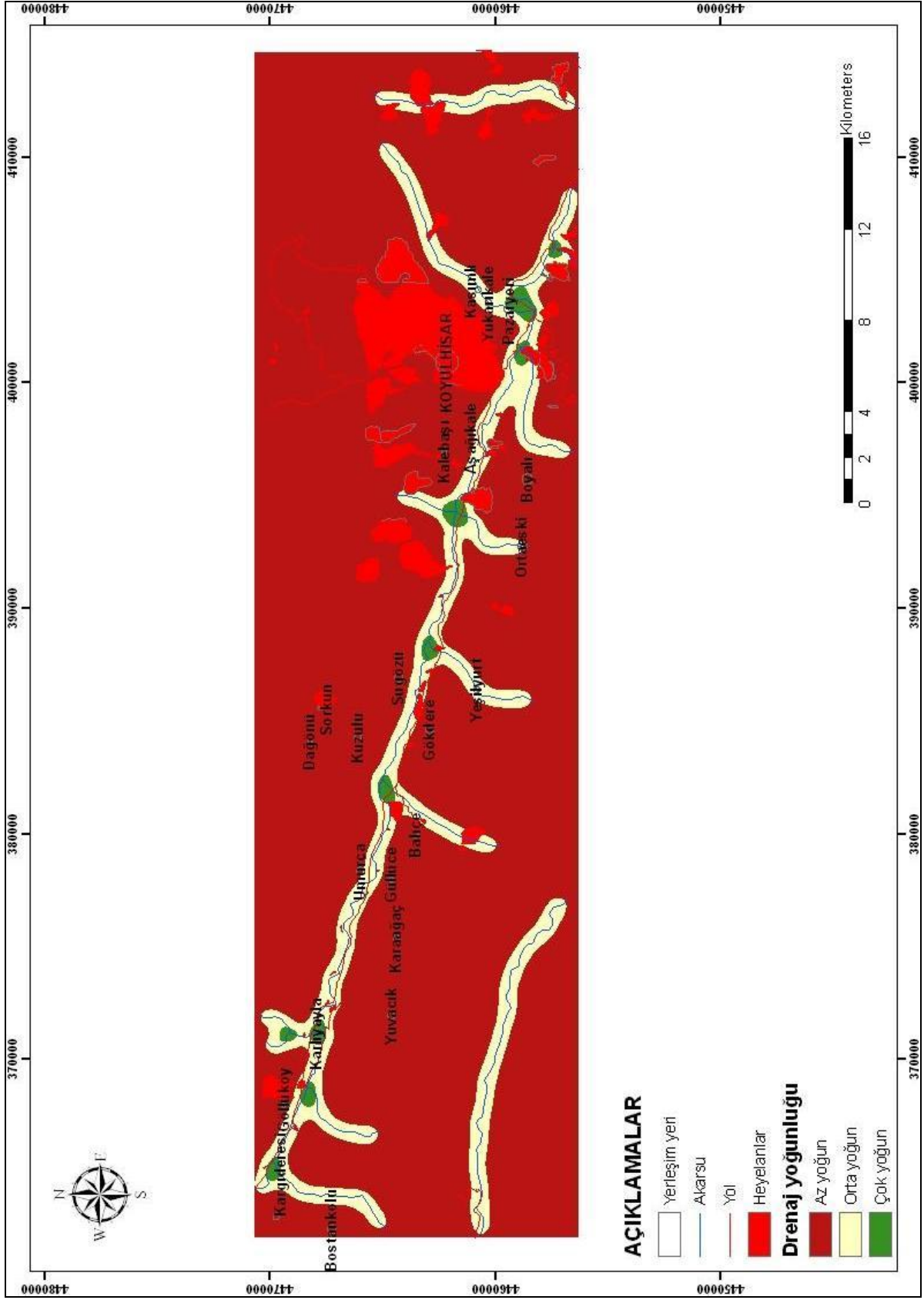
Tablo 19. Drenaj Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Drenaj Yoğunluğu Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Az Yoğun	1056878	87,21	54951	89,96	0,051994	46,34
Orta Yoğun	143608	11,85	5916	9,69	0,041195	36,72
Çok Yoğun	11418	0,94	217	0,36	0,019005	16,94

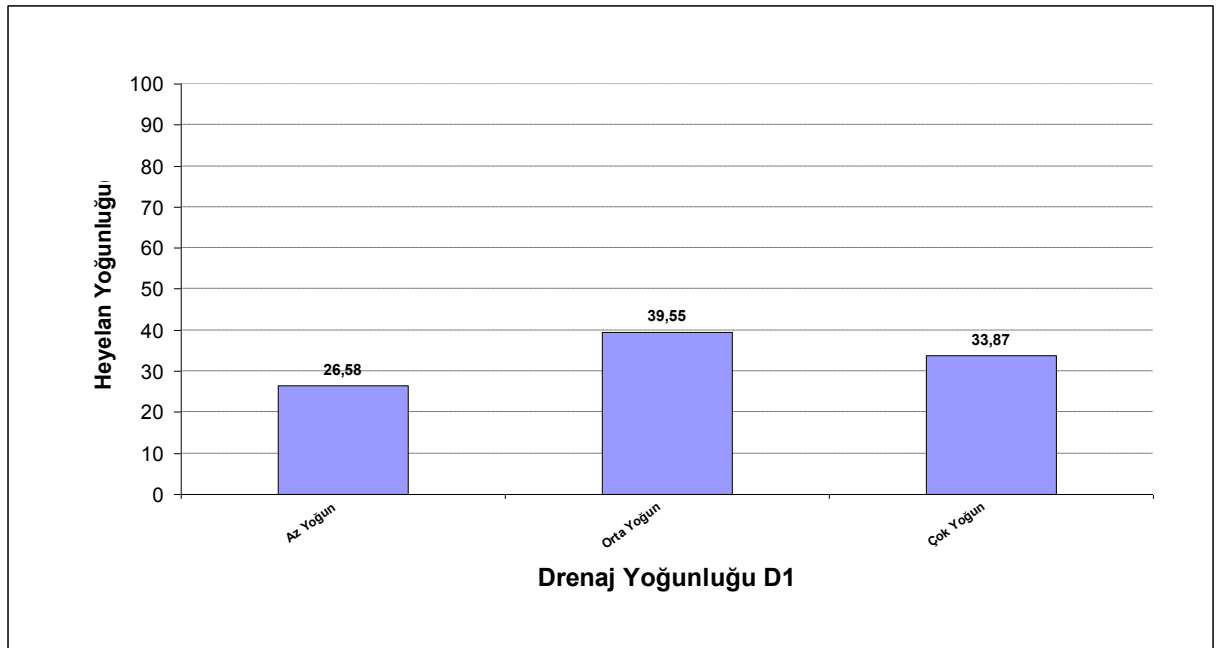
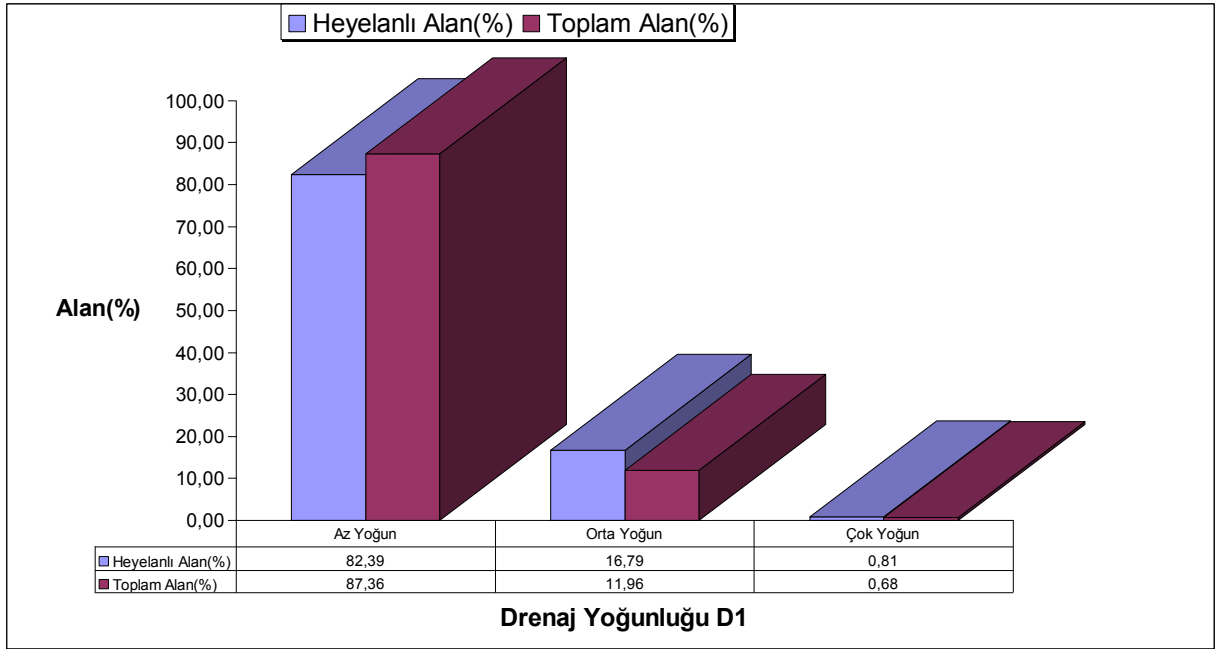
$$\Sigma B/A = 0,112194$$

Tablo 18,19’da hesaplanan değerler dikkate alınarak drenaj yoğunluğu sınıflarına ait histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 60, 61). Histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1’in drenaj yoğunluğunun çok yoğun olduğu sınıfa düşen toplam ve heyelanlı alanlarının az olduğu görülmektedir.

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D1 için sadece % 0,8’lik kısmının çok yoğun drenaj yoğunluğu sınıfında olmasına rağmen, heyelan yoğunluğu (%) değerlerine dikkate alındığında, bu sınıfın yoğunluğunun % 33,9 olduğu görülmektedir.



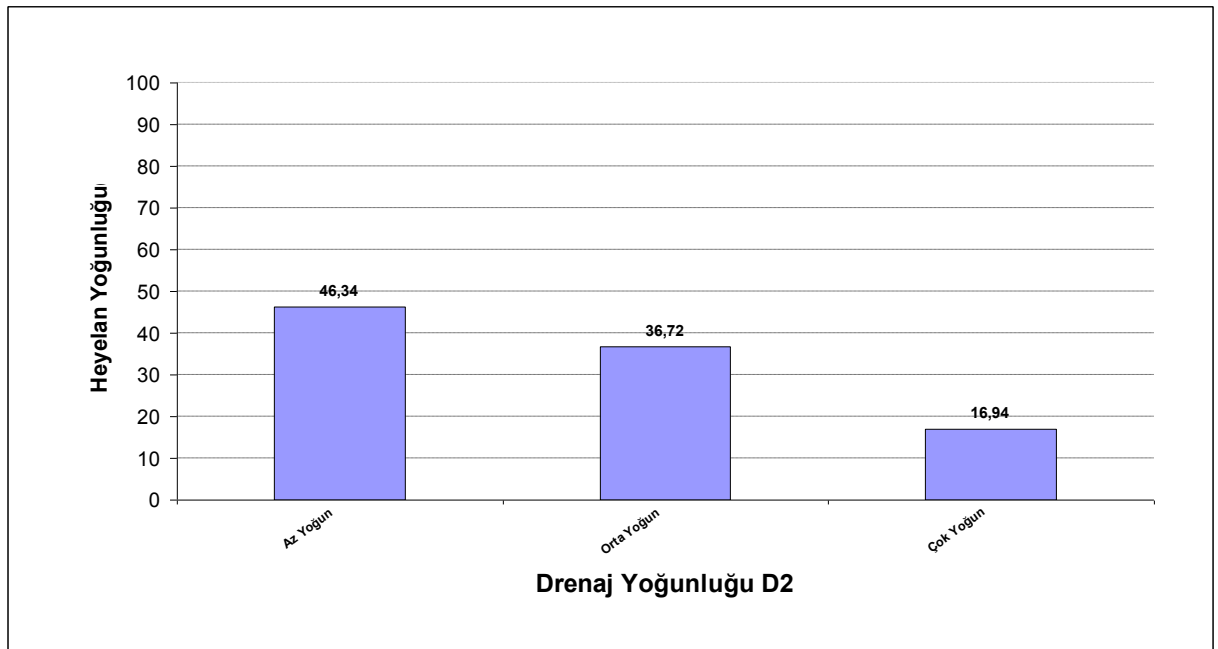
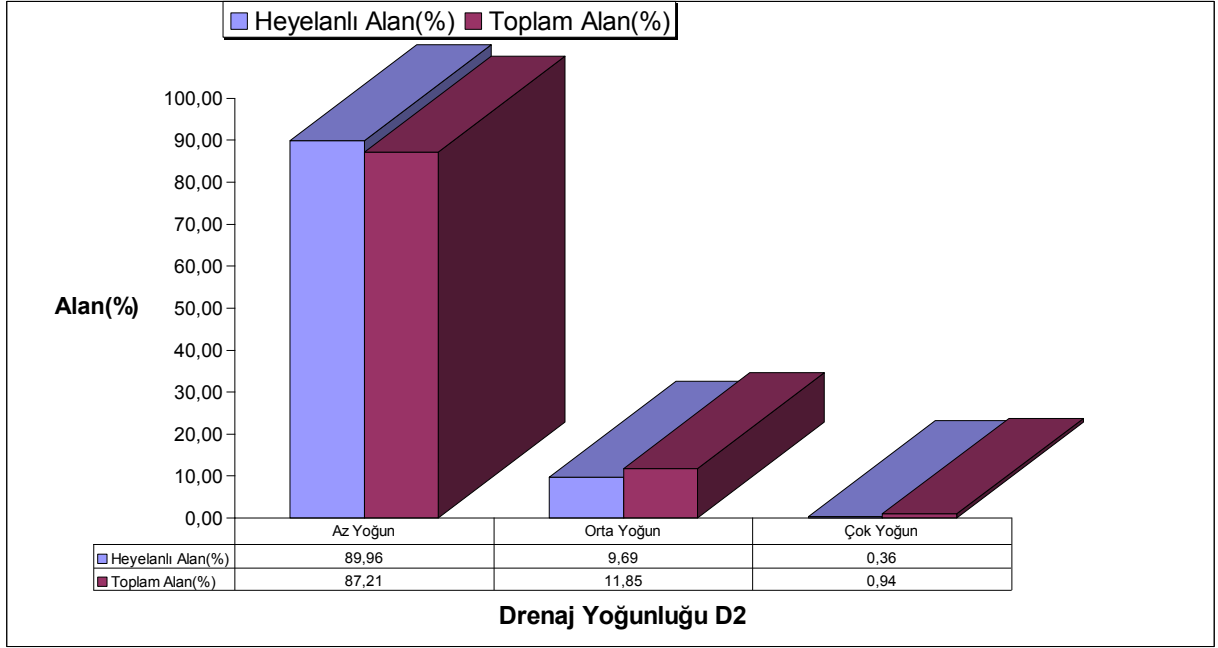
Şekil 59. İnceleme alanı D2 için drenaj yoğunluğu haritası



Şekil 60. (a,b) Drenaj yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

İnceleme alanı D2’de de drenaj yoğunluğunun çok yoğun olduğu sınıfa düşen toplam ve heyelanlı alanlarının az olduğu görülmektedir.

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D1 için sadece % 0,36'lık kısmının çok yoğun drenaj yoğunluğu sınıfında olduğu, heyelan yoğunluğu (%) değerlerine dikkate alındığında, bu sınıfın yoğunluğunun % 16,94 olduğu görülmektedir.



Şekil 61. (a,b) Drenaj yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

2.3.1.9. Fay (Kırık) Yoğunluğu

Fay (Kırık) yoğunluğu haritası da drenaj yoğunluğu haritasında olduğu gibi ArcGIS 9.1. yazılımındaki “DENSITY” komutuyla elde edilmiştir. Fay (Kırık) yoğunluğu haritasının hazırlanması amacıyla Kernel yöntemi kullanılmış, araştırma birim alanın çapı ise 800 m olarak dikkate alınmıştır.

Elde edilen fay yoğunluğu haritası çok az yoğun, az yoğun, yüksek yoğun ve çok yüksek yoğun olmak üzere yeniden sınıflandırılarak analiz aşamasında kullanılan harita formatına dönüştürülmüştür (Şekil 62, 63). Fay yoğunluğu sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için fay yoğunluğu haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmıştır. Fay yoğunluğu sınıflarının, toplam alanlarının % değerleri, heyelanlı alanlarının % değeri ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 20, 21) .

Tablo 20. Fay Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D1)

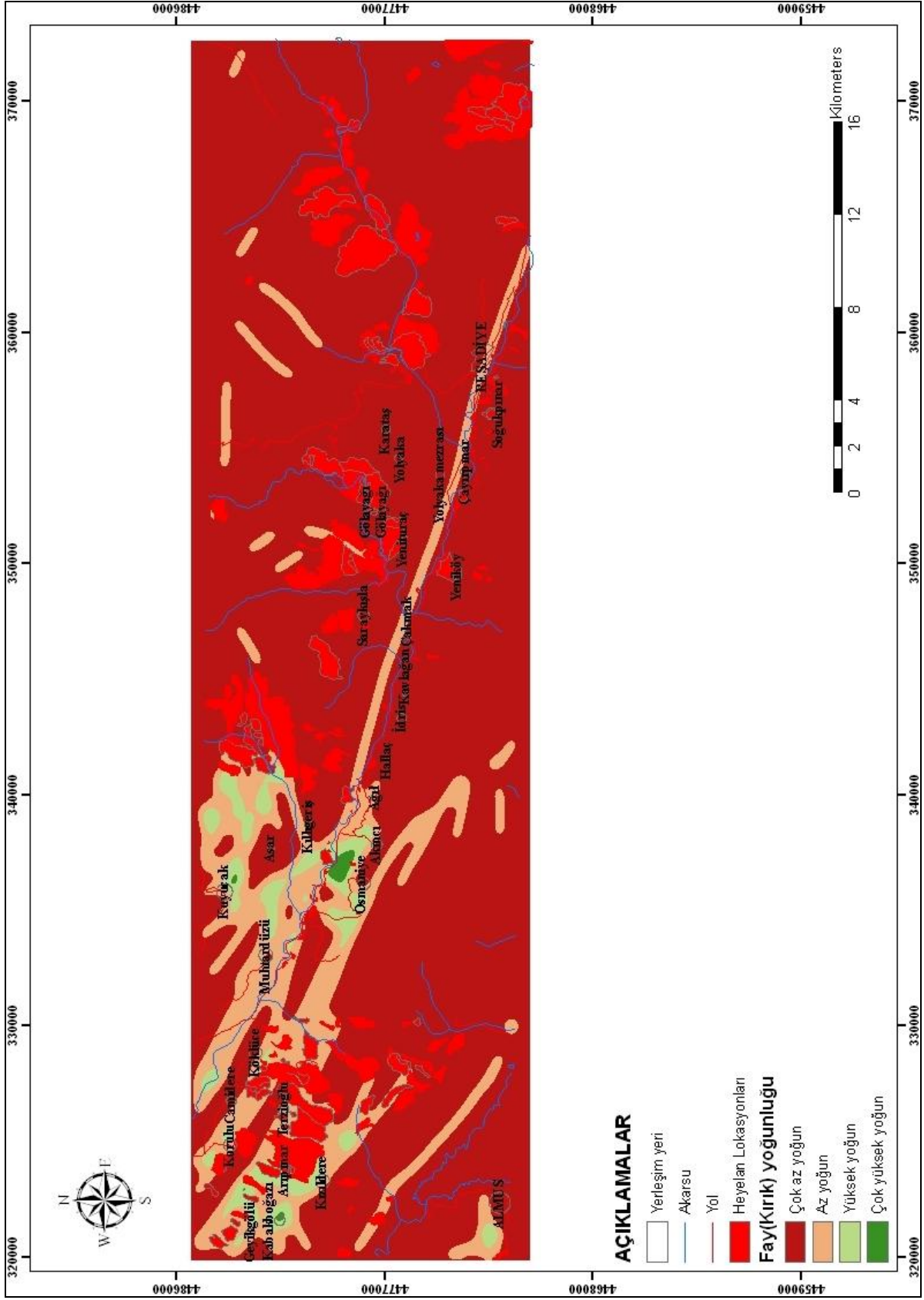
Faya Yakınlık Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Çok Az Yoğun	1031571	83,03	70859	81,47	0,06869	27,03
Az Yoğun	174102	14,01	12556	14,44	0,07212	28,38
Yüksek Yoğun	34918	2,81	3542	4,07	0,10144	39,92
Çok Yüksek Yoğun	1853	0,15	22	0,03	0,01187	4,67

$$\Sigma B/A = 0,25412$$

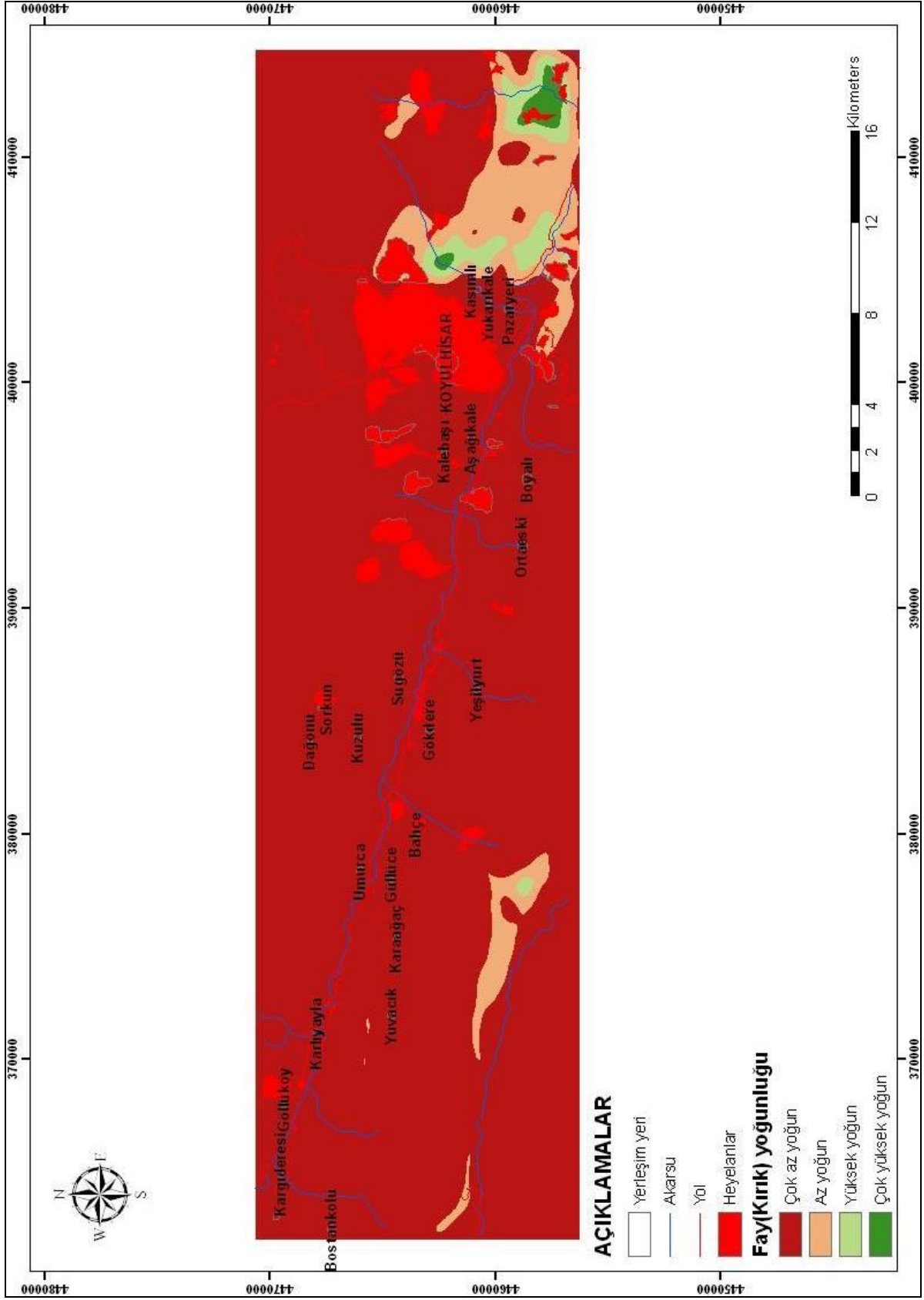
Tablo 21. Fay Yoğunluğu Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler (D2)

Faya Yakınlık Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Çok Az Yoğun	1111407	91,36	57307	93,67	0,051563	20,68
Az Yoğun	79483	6,53	2739	4,48	0,03446	13,82
Yüksek Yoğun	19550	1,61	206	0,34	0,010537	4,23
Çok Yüksek Yoğun	6072	0,50	928	1,52	0,152833	61,28

$$\Sigma B/A = 0,249393$$

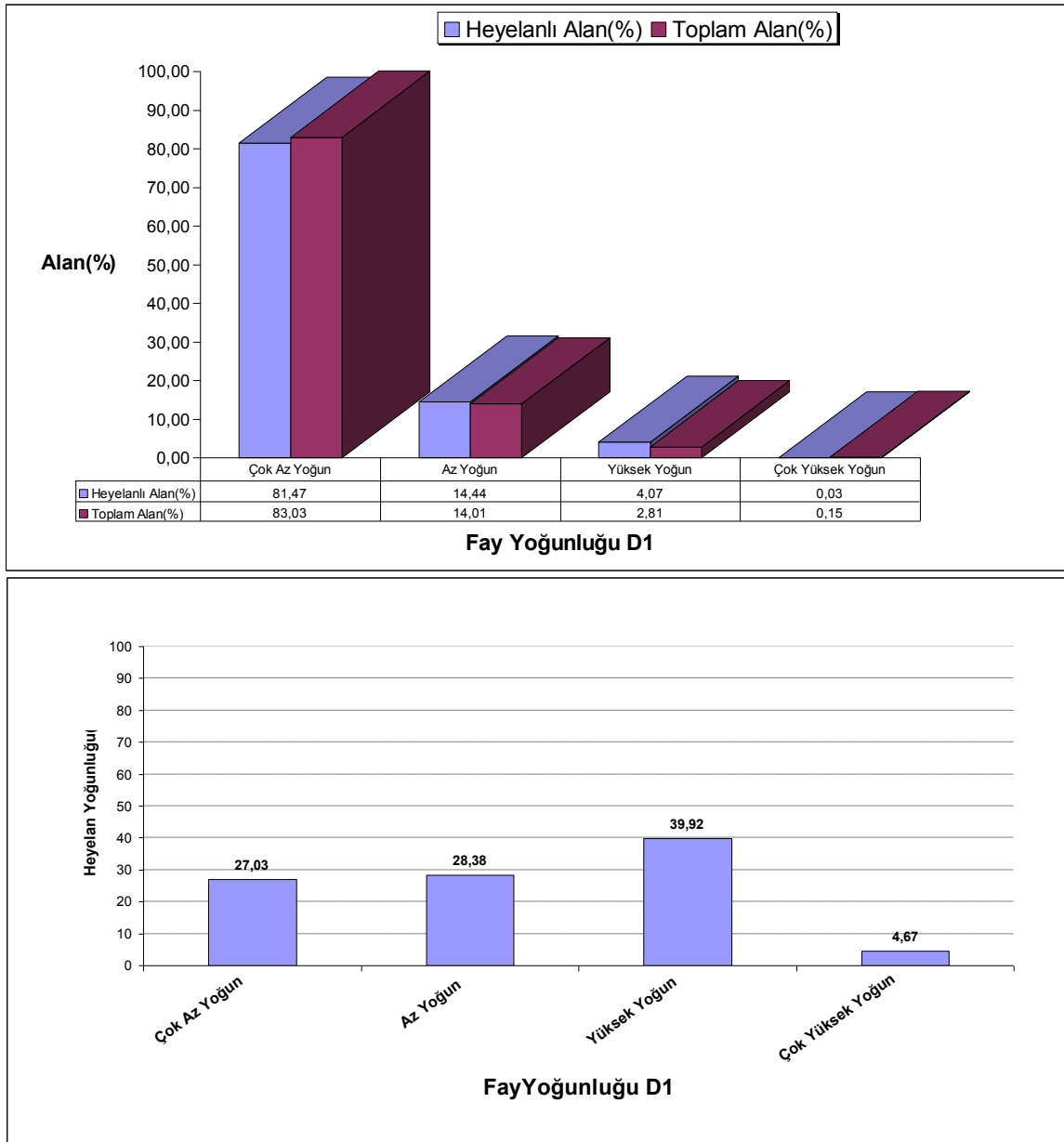


Şekil 62. İnceleme alanı D1 için fay yoğunluğu haritası



Şekil 63. İnceleme alanı D2 için fay yoğunluğu haritası

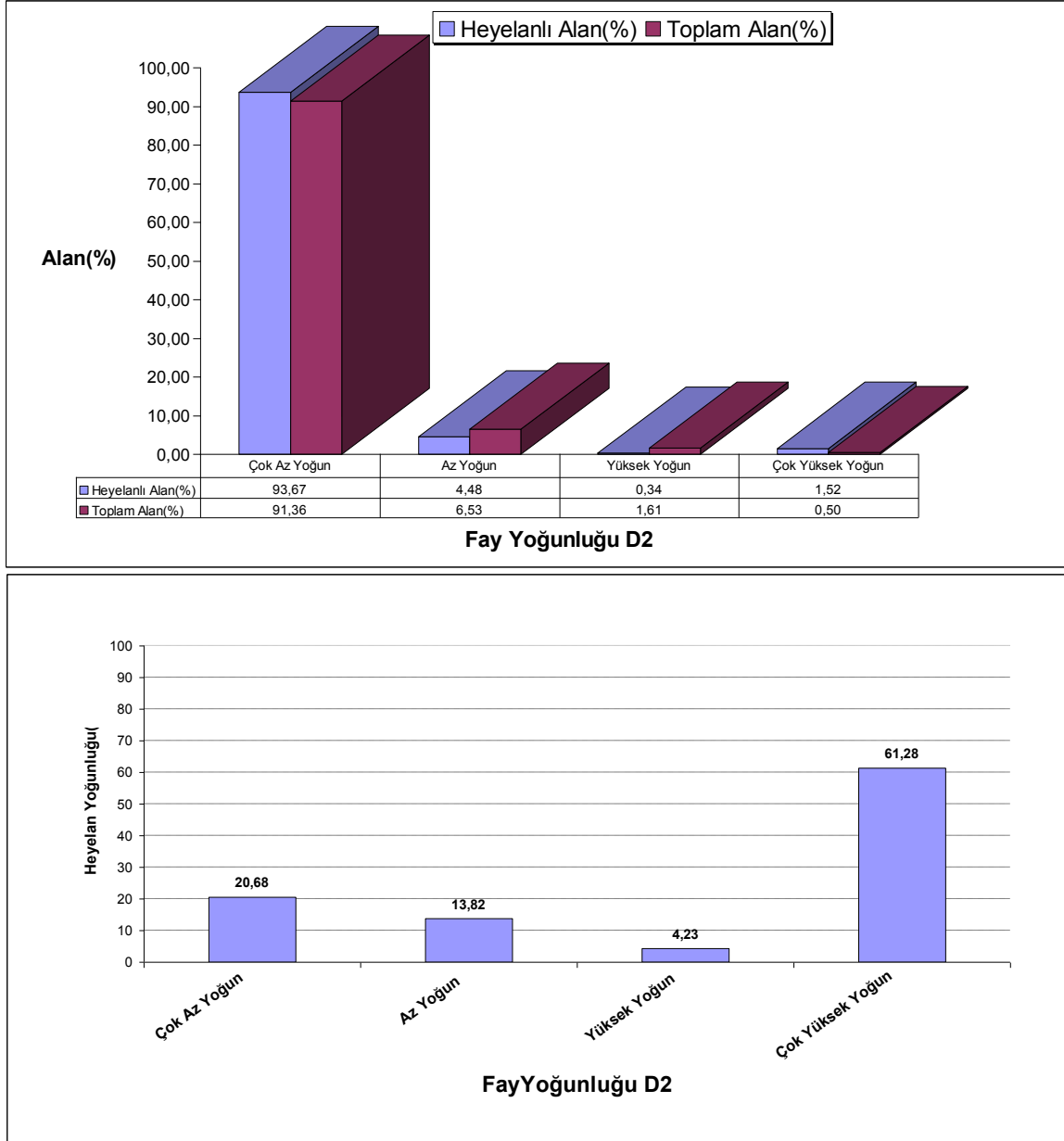
Tablo 20, 21’de hesaplanan değerler dikkate alınarak fay(kırık) yoğunluğu sınıflarına ait histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 64, 65). Histogramlar incelendiğinde, inceleme alanı D1’in fay yoğunluğunun çok yüksek yoğun olduğu sınıfa düşen toplam ve heyelanlı alanlarının çok az olduğu görülmektedir.



Şekil 64. (a,b) Fay yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D1)

Heyelanlı alanların, inceleme alanı D1 için sadece % 4,1’lik kısmının yüksek ve çok yüksek yoğun fay yoğunluğu sınıfında olmasına rağmen, heyelan yoğunluğu (%)

değerlerine dikkate alındığında, fay yoğunluğu yüksek ve çok yüksek yoğun sınıflarının heyelan yoğunluğu değerinin % 44,59 olduğu görülmektedir.



Şekil 65. (a,b) Fay yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar (D2)

İnceleme alanı D2'in fay yoğunluğunun çok yüksek yoğun olduğu sınıfa düşen toplam ve heyelanlı alanlarının çok az olduğu görülmektedir. Heyelanlı alanların, inceleme alanı D2'de sadece % 1,86'lık kısmının yüksek ve çok yüksek yoğun fay yoğunluğu sınıfında olmasına rağmen, heyelan yoğunluğu (%) değerleri dikkate alındığında, fay

yoğunluğu çok yüksek yoğun sınıfının heyelan yoğunluğu değerinin % 61,3 olduğu görülmektedir.

2.3.2. Heyelan Duyarlılık Analizleri

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntemler frekans oranı, lojistik regresyon yöntemi ve bulanık mantık yöntemleridir.

2.3.2.1. Frekans oranı (Frequency Ratio) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Heyelanların oluşumunu tahmin etmek için, geçmişte, heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerden dolayı meydana gelmiş bir heyelan, gelecekte aynı faktörlerden dolayı yeni heyelanların meydana gelmesi konusunda ışık tutacaktır (Chung ve Fabbri, 1999). Bu yaklaşıma bağlı olarak, heyelanın meydana geldiği alanlar ile bu alanlardaki heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişki, geçmişte heyelan olmamış alanlar ile heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişkilerden belirlenebilir (Lee, Choi ve Min, 2004). Bu nedenle, geçmiş heyelan konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktör arasındaki ilişkiyi (korelasyonu) ortaya koymak için “Frekans Oranı Yöntemi” kullanılmaktadır. Frekans oranı yöntemi, anlaşılır ve uygulaması çok kolay olan bir olasılık modeline sahiptir ve bu özelliği nedeniyle de literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Frekans oranı, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Erener, Şebnem ve Düzgün 2010). Frekans oranı hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$FR = \frac{PLO}{PIF} \quad (2.3.1)$$

Burada PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir (Tablo 22, 23).

Tablo 22. Frekans oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri D1

PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		FREKANS ORANI (FR)
		PİKSEL SAYISI	ORAN(%) (PIF)	PİKSEL SAYISI	ORAN(%) (PLO)	
Litoloji	Tg	69396	5,976	1626	1,860	0,311
	PTRt	2307	0,199	78	0,089	0,449
	Tck	14850	1,279	587	0,671	0,525
	Tptg	121	0,010	9	0,010	0,988
	Tc	27200	2,342	997	1,140	0,487
	Qal	10	0,001	0	0,000	0,000
	Kk	24697	2,127	637	0,728	0,343
	Qy	40074	3,451	836	0,956	0,277
	Qa	29809	2,567	4277	4,891	1,905
	Ta	490221	42,218	33858	38,721	0,917
	Ka(o)	55665	4,794	8265	9,452	1,972
	JKz	10803	0,930	1792	2,049	2,203
	Krb	65399	5,632	1789	2,046	0,363
	Kmn	31161	2,684	129	0,148	0,055
	Tys	168	0,014	0	0,000	0,000
	Tkk	299503	25,793	32591	37,272	1,445
	Tyh	8	0,001	0	0,000	0,000
Yükseklik Sınıfları (m)	0-450	44925	3,869	1510	1,727	0,446
	450-600	89251	7,686	3877	4,434	0,577
	600-750	101629	8,752	6448	7,374	0,843
	750-900	159498	13,736	11764	13,454	0,979
	900-1050	168760	14,534	21265	24,320	1,673
	1050-1200	193242	16,642	21363	24,432	1,468
	1200-1350	175865	15,145	15313	17,513	1,156
	1350-1500	155512	13,393	4433	5,070	0,379
	1500-1650	61270	5,277	928	1,061	0,201
	1650-1880	11435	0,985	552	0,631	0,641
Eğim Sınıfları (°)	0-5	172041	14,816	8886	10,162	0,686
	5-10	171813	14,797	15712	17,969	1,214
	10-15	208393	17,947	22568	25,810	1,438
	15-20	188542	16,237	17015	19,459	1,198
	20-25	153076	13,183	10595	12,117	0,919
	25-30	114085	9,825	6179	7,067	0,719
	30-35	76429	6,582	3492	3,994	0,607
	35-40	43432	3,740	1806	2,065	0,552
	>40	33575	2,891	1200	1,372	0,475
Bakı Sınıfları	DÜZ	112447	9,684	6417	7,339	0,758
	KUZEY	134567	11,589	11320	12,946	1,117
	KUZEYDOĞU	111592	9,610	9337	10,678	1,111
	DOĞU	109445	9,425	6675	7,634	0,810
	GÜNEYDOĞU	127141	10,949	8296	9,488	0,867
	GÜNEY	176368	15,189	12725	14,553	0,958
	GÜNEYBATI	145699	12,548	11688	13,367	1,065
	BATI	120199	10,352	10477	11,982	1,158
	KUZEYBATI	123926	10,672	10518	12,029	1,127

Tablo 22'nin devamı

Akarsuya Yakınlık Sınıfları(m)	0-100	64448	5,155	5419	6,197	1,202
	100-200	57677	4,613	5738	6,562	1,423
	200-300	55765	4,460	5408	6,185	1,387
	300-400	56895	4,550	5121	5,857	1,287
	400-500	55293	4,422	4132	4,726	1,069
	500-600	51800	4,143	3818	4,366	1,054
	600-700	52914	4,232	4143	4,738	1,120
	700-800	51463	4,116	4279	4,894	1,189
	800-900	49202	3,935	3901	4,461	1,134
	>900	754847	60,373	45468	51,999	0,861
Yola Yakınlık Sınıfları(m)	0-100	46966	4,062	2484	2,841	0,699
	100-200	38253	3,308	1827	2,089	0,632
	200-300	34375	2,973	1466	1,677	0,564
	300-400	33959	2,937	1516	1,734	0,590
	400-500	31770	2,748	1436	1,642	0,598
	500-600	28694	2,481	1280	1,464	0,590
	600-700	28925	2,501	1246	1,425	0,570
	700-800	28166	2,436	1378	1,576	0,647
	800-900	27145	2,348	1341	1,534	0,653
	>900	858066	74,207	72554	82,976	1,118
Faya Yakınlık Sınıfları(m)	0-100	102415	8,843	7697	8,803	0,995
	100-200	88779	7,665	6872	7,859	1,025
	200-300	75030	6,478	5585	6,387	0,986
	300-400	64039	5,529	4234	4,842	0,876
	400-500	54630	4,717	3602	4,119	0,873
	500-600	45811	3,955	3230	3,694	0,934
	600-700	43342	3,742	2878	3,291	0,880
	700-800	38435	3,319	2172	2,484	0,749
	800-900	35173	3,037	1964	2,246	0,740
	>900	610519	52,714	48715	55,712	1,057
Drenaj Yoğunluğu Sınıfları	Az Yoğun	1092256	87,359	72034	82,393	0,943
	Orta Yoğun	149576	11,963	14681	16,792	1,404
	Çok Yoğun	8472	0,678	712	0,814	1,202
Fay (Kırık) Yoğunluğu Sınıfları	Çok Az Yoğun	1031571	83,028	70859	81,467	0,981
	Az Yoğun	174102	14,013	12556	14,436	1,030
	Yüksek Yoğun	34918	2,810	3542	4,072	1,449
	Çok Yüksek Yoğun	1853	0,149	22	0,025	0,170

Tablo 23. Frekans oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri D2.

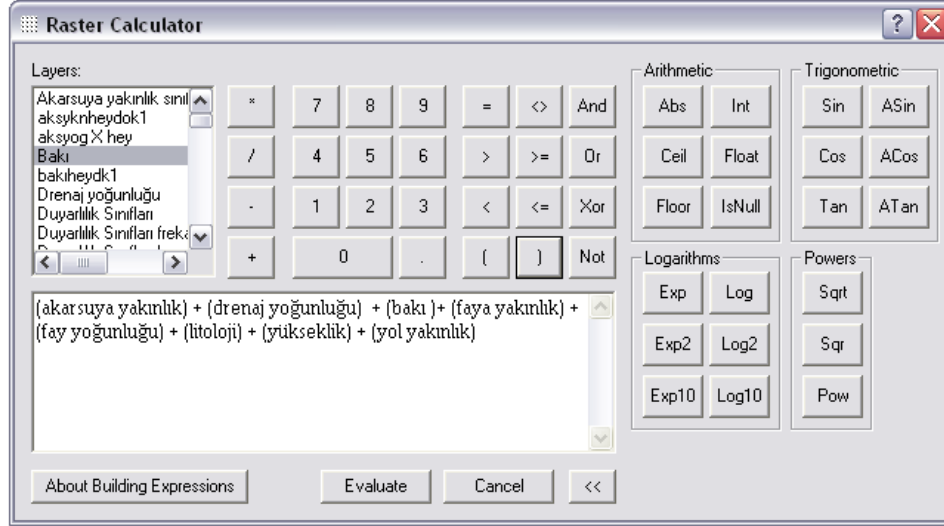
PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		FREKANS ORANI (FR)
		PİKSEL SAYISI	ORAN(%) (PIF)	PİKSEL SAYISI	ORAN(%) (PLO)	
Litoloji	Ta	5466	0,475	0	0,000	0,000
	Ttc	279791	24,316	9635	15,749	0,648
	Qa	22755	1,978	0	0,000	0,000
	Kytb	308864	26,842	42440	69,369	2,584
	Tkk	228	0,020	2	0,003	0,165
	Km	16266	1,414	0	0,000	0,000
	Krb	9	0,001	0	0,000	0,000
	Kri	11356	0,987	173	0,283	0,287
	Tc	159541	13,865	2209	3,611	0,260
	Ptd	109767	9,539	1452	2,373	0,249
	Tth	191812	16,670	5264	8,604	0,516
	Ptc	42466	3,691	0	0,000	0,000
	Kyt	226	0,020	0	0,000	0,000
	Yükseklik Sınıfları (m)	450-500	472	0,041	0	0,000
500-750		131649	11,441	5652	9,238	0,807
750-1000		191123	16,610	11724	19,163	1,154
1000-1250		214996	18,685	13916	22,746	1,217
1250-1500		205813	17,887	15058	24,613	1,376
1500-1750		253209	22,006	13381	21,872	0,994
1750-2000		98207	8,535	1449	2,368	0,278
2000-2250		35071	3,048	0	0,000	0,000
2250-2500		17342	1,507	0	0,000	0,000
2500-2625		2782	0,242	0	0,000	0,000
Eğim Sınıfları (°)	0-5	109678	9,532	5819	9,511	0,998
	5-10	110125	9,571	11608	18,974	1,982
	10-15	161258	14,014	14917	24,382	1,740
	15-20	181538	15,777	11067	18,089	1,147
	20-25	180452	15,682	7389	12,077	0,770
	25-30	161079	13,999	4994	8,163	0,583
	30-35	120202	10,446	2908	4,753	0,455
	35-40	72100	6,266	1569	2,565	0,409
	40-45	34413	2,991	637	1,041	0,348
	>45	19814	1,722	272	0,445	0,258
Bakı Sınıfları	DÜZ	75516	6,563	3363	5,497	0,838
	KUZEY	151144	13,139	2736	4,472	0,340
	KUZEYDOĞU	123532	10,736	2246	3,671	0,342
	DOĞU	108158	9,400	3722	6,084	0,647
	GÜNEYDOĞU	118461	10,295	7258	11,863	1,152
	GÜNEY	169380	14,720	15711	25,680	1,745
	GÜNEYBATI	144113	12,524	13521	22,100	1,765
	BATI	131648	11,441	8958	14,642	1,280
KUZEYBATI	128407	11,159	3665	5,991	0,537	

Tablo 23'ün devamı

Akarsuya Yakınlık Sınıfları(m)	0-100	47817	3,946	1522	2,488	0,631
	100-200	43274	3,571	1760	2,877	0,806
	200-300	41853	3,453	1644	2,687	0,778
	300-400	42246	3,486	1542	2,520	0,723
	400-500	41172	3,397	1440	2,354	0,693
	500-600	38000	3,136	1312	2,144	0,684
	600-700	38410	3,169	1480	2,419	0,763
	700-800	37422	3,088	1516	2,478	0,802
	800-900	36127	2,981	1567	2,561	0,859
	>900	845583	69,773	47301	77,314	1,108
Yola Yakınlık Sınıfları(m)	0-100	38847	3,227	6850	11,196	3,470
	100-200	33299	2,766	5633	9,207	3,329
	200-300	31115	2,585	5281	8,632	3,340
	300-400	30762	2,555	4746	7,757	3,036
	400-500	29972	2,490	3978	6,502	2,612
	500-600	27627	2,295	2936	4,799	2,091
	600-700	27843	2,313	2329	3,807	1,646
	700-800	26629	2,212	2007	3,280	1,483
	800-900	25446	2,114	1806	2,952	1,397
	>900	932300	77,444	25243	41,260	0,533
Faya Yakınlık Sınıfları(m)	0-100	73172	6,015	3498	5,718	0,951
	100-200	60206	4,949	2612	4,269	0,863
	200-300	49756	4,090	1904	3,112	0,761
	300-400	43533	3,579	1714	2,802	0,783
	400-500	38906	3,198	1872	3,060	0,957
	500-600	35122	2,887	1845	3,016	1,045
	600-700	35684	2,933	1705	2,787	0,950
	700-800	34698	2,852	1444	2,360	0,828
	800-900	33463	2,751	1254	2,050	0,745
	>900	811972	66,746	43332	70,827	1,061
Drenaj Yoğunluğu Sınıfları	Az Yoğun	1056878	87,208	54951	89,966	1,03
	Orta Yoğun	143608	11,850	5916	9,686	0,82
	Çok Yoğun	11418	0,942	217	0,355	0,38
Fay (Kırık) Yoğunluğu Sınıfları	Çok Az Yoğun	1111407	91,360	57307	93,669	1,03
	Az Yoğun	79483	6,534	2739	4,477	0,69
	Yüksek Yoğun	19550	1,607	206	0,337	0,21
	Çok Yüksek Yoğun	6072	0,499	928	1,517	3,04

Hesaplanan bu frekans oranı değerleri ilgili oldukları alt parametre sınıfına ağırlık değeri olarak atanmış ve frekans oranlarına göre parametre haritaları ArcGIS yazılımında yeniden sınıflandırılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni parametre haritaları ArcGIS

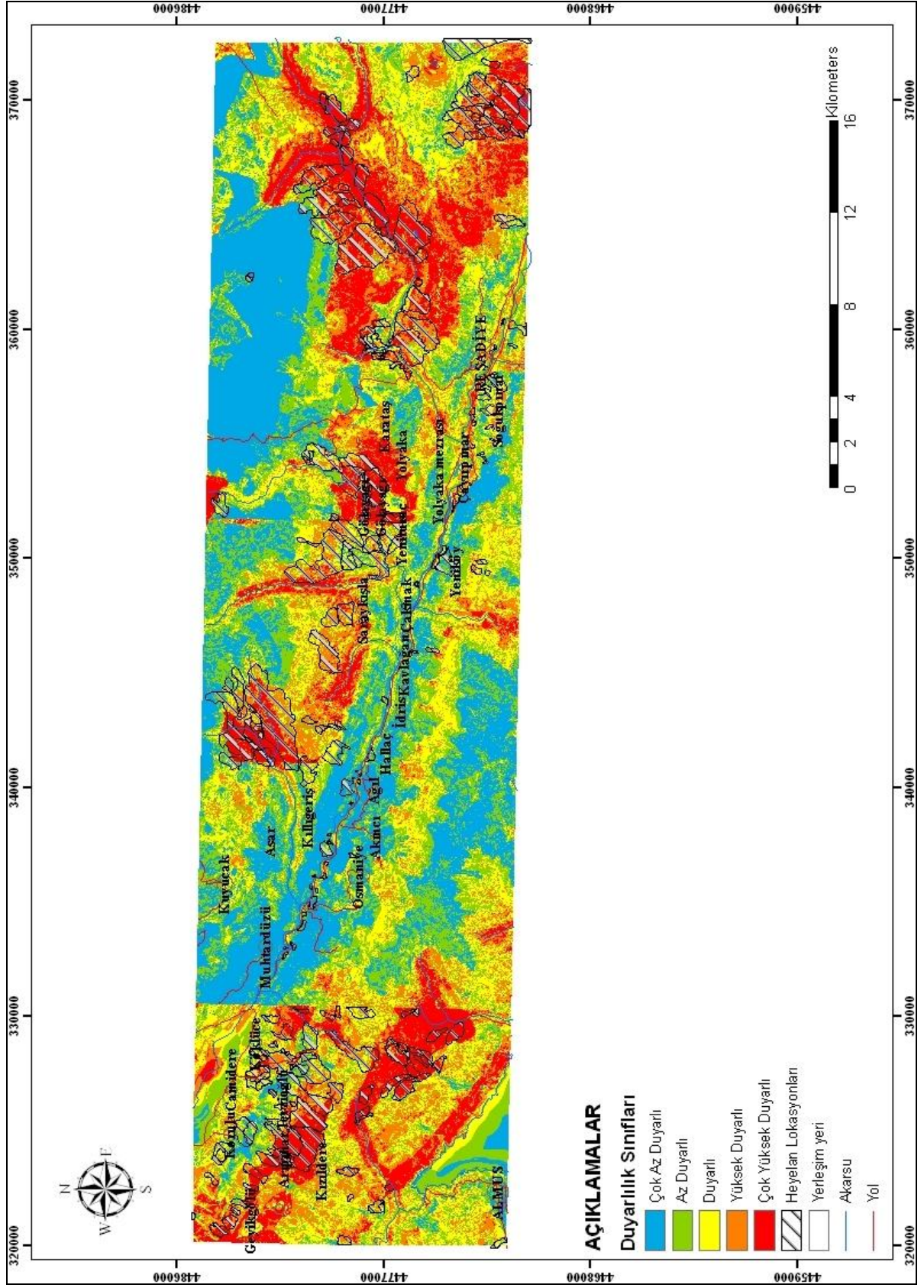
yazılımındaki Raster Calculator modülü kullanılarak toplanmış ve sonucunda heyelan duyarlılık indeks (Landslide Susceptibility Indeks) haritası oluşturulmuştur (Şekil 66).



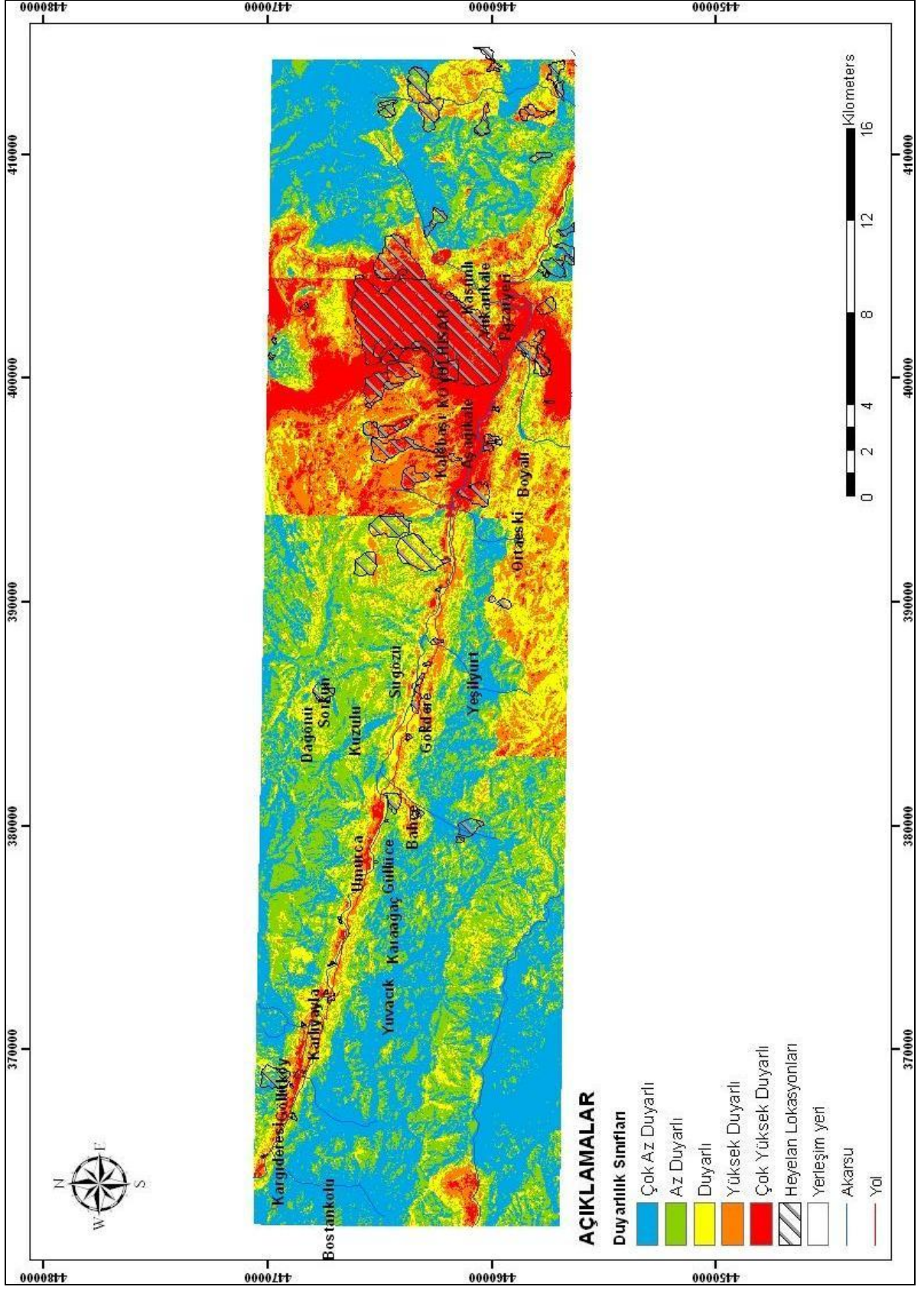
Şekil 66. Heyelan duyarlılık indeks haritasının oluşturulma aşaması (Raster Calculator modülü)

Heyelan duyarlılık indeks haritası, inceleme alanına ait heyelan duyarlılığının yorumlanabilmesi için ArcGIS yazılımında eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılmış ve sonuçta çok az duyarlılık derecesinden, çok yüksek duyarlılık derecesine kadar beş heyelan duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 67, 68). İnceleme alanı D1'in % 24.35'i çok az duyarlı, % 22.89'u az duyarlı, % 21.93'ü orta derece duyarlı, % 16.46'sı yüksek duyarlı ve % 14.36'sı ise çok yüksek duyarlı sınıfında olduğu görülmektedir. İnceleme alanı D2'in ise, % 33.71'i çok az duyarlı, % 24.83'ü az duyarlı, % 17.99'u orta derece duyarlı, % 13.36'sı yüksek duyarlı ve % 10.11'i ise çok yüksek duyarlı sınıfında olduğu görülmektedir.

Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının performans analizi için, analize katılmayan sadece performans analizi için ayrılan heyelanlar ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır. Bu sayede duyarlılık sınıflarına ait toplam alanlar ve duyarlılık sınıflarındaki heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır. Performansı yüksek duyarlılık haritalarında, yüksek ya da çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanı içerisinde kapladıkları alanların minimum olması istenirken, bu sınıflardaki heyelan yüzdelerinin en yüksek seviyede olması beklenmektedir (Dağ, 2007).

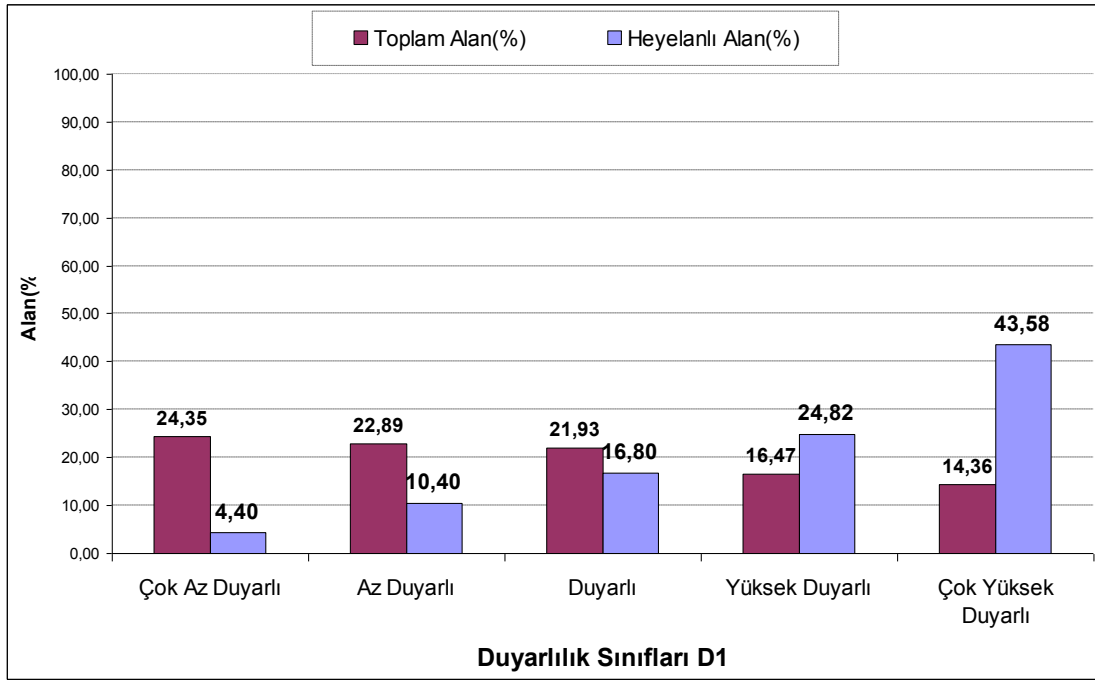


Şekil 67. Frekans oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D1)



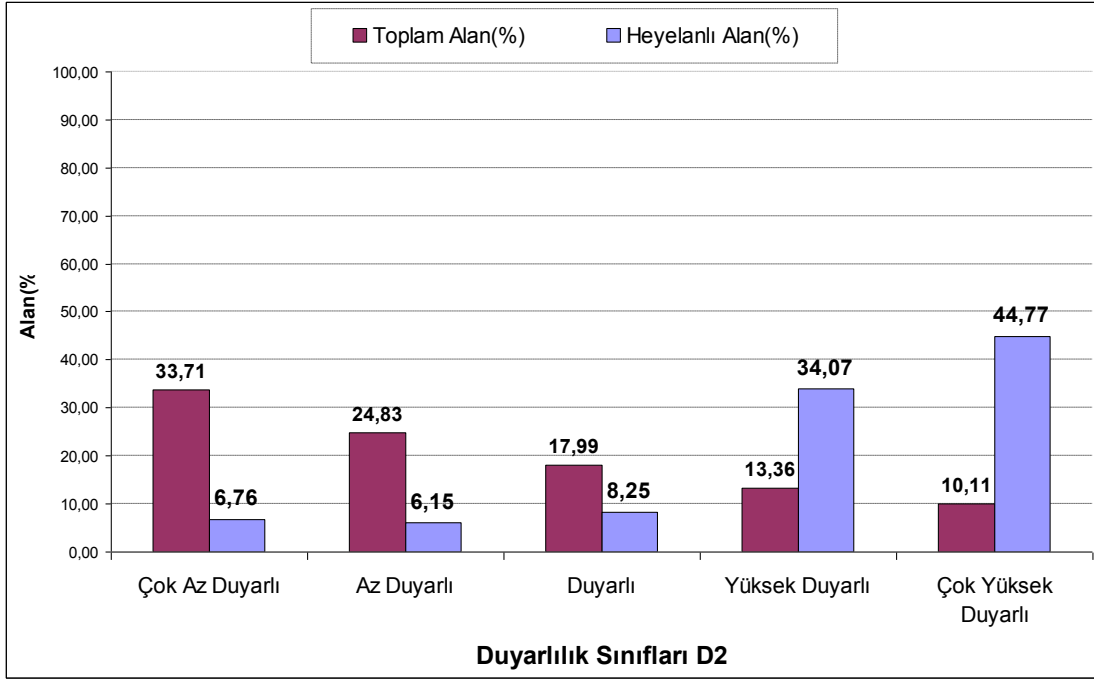
Şekil 68. Frekans oranı yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D2)

Buna göre, inceleme alanı D1’de performans analizi için kullanılan heyelanların % 4.4’ünün çok az duyarlı, % 10.4’ünün az duyarlı, % 16.8’i orta derece duyarlı, % 24.82’sinin yüksek duyarlı ve % 43.58’inin ise çok yüksek duyarlı sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 69).



Şekil 69. Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarının ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D1)

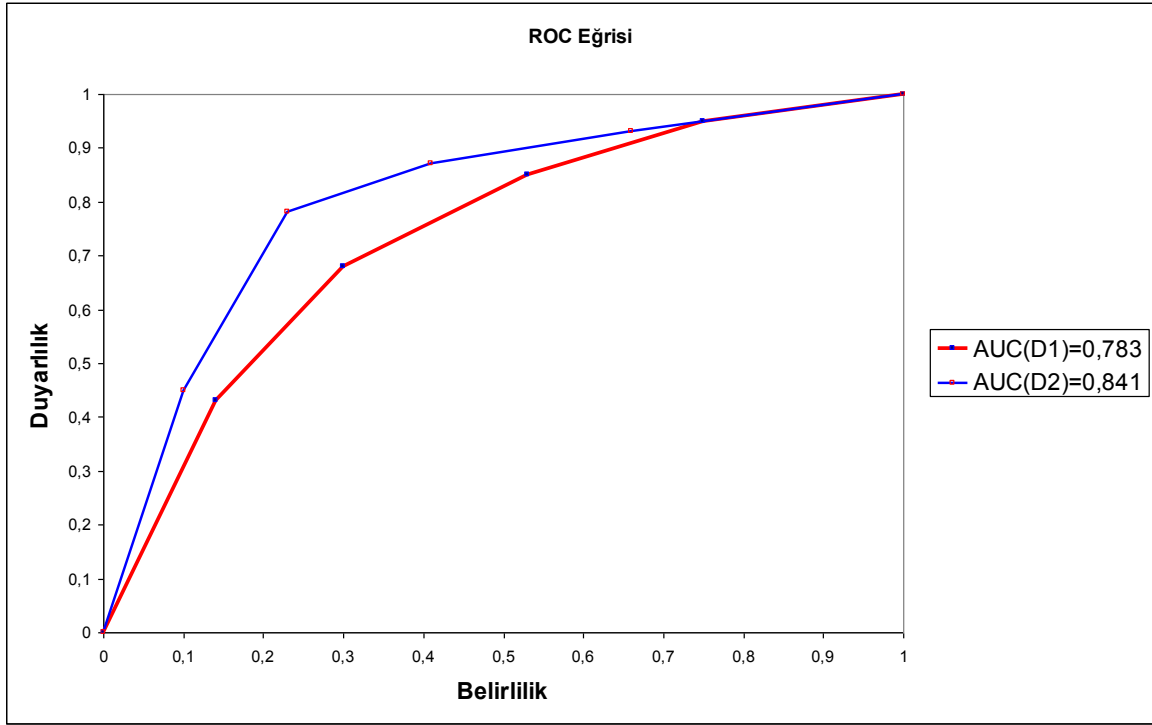
İnceleme alanı D2’de performans analizi için kullanılan heyelanların % 6,76’sının çok az duyarlı, % 6.15’inin az duyarlı, % 8.25’inin orta derece duyarlı, % 34.07’sinin yüksek duyarlı ve % 44.77’sinin ise çok yüksek duyarlı sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 70).



Şekil 70. Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarının ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D2)

2.3.2.1.1. Duyarlılık Haritasının Doğrulanması (Frekans Oranı)

Frekans oranı yöntemiyle yapılan analiz sonucu model uyumluluğunu test etmek ve başarısını değerlendirmek için “Göreceli Çalıştırma Özellikleri (Relative Operating Characteristic (ROC) yöntemi kullanılmıştır. Genel anlamda bu değer mevcut heyelanların olduğu harita (envanter) ile 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 0.5 ile 1 arasında bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. ROC eğrisi altında kalan alan değeri ne kadar büyük olursa aradaki uyumda o kadar iyidir. ROC eğrisi altında kalan alan, heyelan olması muhtemel alanlarla, heyelan olmaması beklenen alanları ayırt edebilme başarısının en iyi göstergesi olarak kabul edilir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005). ROC eğrisi çizimi için, heyelan duyarlılık haritalarının her bir sınıfına düşen toplam ve heyelanlı pixellerden yararlanılmıştır. ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değeri inceleme alanı D1 için 0.783 ve D2 için 0,841 olarak bulunmuştur (Şekil 71).



Şekil 71. Frekans oranı yöntemi için ROC eğrisi (D1, D2)

2.3.2.2. Lojistik(Mantıksal) Regresyon Metodu ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Regresyon analizi temelde; gözlenen bir olay değerlendirilirken, hangi olayların etkisi içinde olduğunun araştırılmasını amaçlanmaktadır. Olaylar bir veya birden çok olacağı gibi dolaylı veya doğrudan da etkilenebilirler. Regresyon analizi uygulanırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların matematiksel model yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir. Regresyon analizi, biri bağımlı (açıklanan) değişken, diğeri bağımsız (açıklayıcı) değişken olmak üzere en az iki değişken arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır.

Lojistik regresyon analizi, bağımlı bir değişken ile incelenen olayın (heyelan, erozyon, çığ düşmesi vb. gibi) olasılık durumunu etkileyebilecek bağımsız birden fazla değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemidir. Lojistik regresyon yöntemi, kullanıcıya, bağımlı bir değişken ile bağımsız bir çok değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi kurma imkânı tanımaktadır (Lee, 2005). Bu modelde bağımsız değişkenler üzerinde kısıtlama olmamasına karşılık, bağımlı değişkenin sürekli olma koşulu vardır. Lojistik regresyonun avantajı, değişkenlerin sürekli, kesikli veya her ikisinin birleşimi şeklinde olabilmesi, bu değişkenlerin normal dağılıma sahip

olmama zorunluğunun olması ve uygun bir bağlayıcı fonksiyonun olağan bir lineer regresyon modeline bağlanması yoluyla gerçekleştirilmesi olarak ifade edilmektedir (Lee, 2005; Ayalew ve Yamagishi, 2005). Lojistik regresyon modelinde bağımlı değişken, heyelanın mevcut olması ya da olmaması durumunu gösteren ikili bir değişkendir. Bağımlı değişkenin ikili değişken olması durumunda, lojistik link fonksiyonu uygulanabilir (Atkinson ve Massari, 1998). Böyle bir çalışma için, bağımlı değişken girdi verisi olarak 0 ya da 1 olmalı ki model heyelan olasılık analizi için uygulanabilir nitelik kazansın. Lojistik regresyon katsayıları, modeldeki her bir bağımsız değişkenin oranlarının tahmininde kullanılabilir. Sayısal olarak, meydana geliş ve bunun birçok değişken üzerindeki bağımlılığı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Hosmer ve Lemeshow, 1989).

$$p = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad (2.3.2)$$

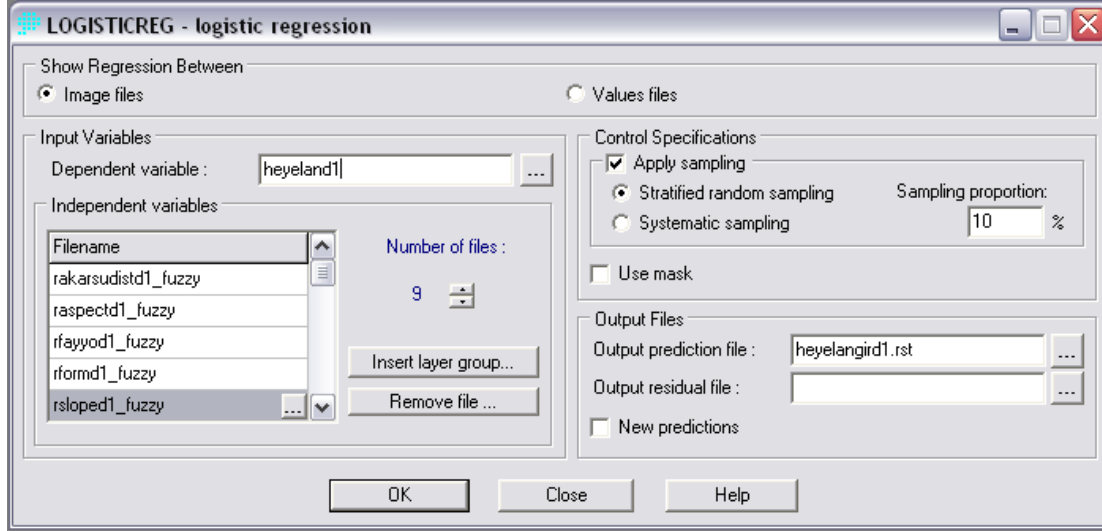
Burada “p” olayın (heyelan veya erozyon) meydana gelme olasılığını ifade etmektedir. Olasılık, 0’dan 1’e değişen S-şekilli bir eğri biçiminde olup, “z” doğrusal kombinasyonu göstermektedir. Lojistik regresyon, aşağıdaki biçimde gösterilen bir denklem içerir ve bu denklem yukarıda verilen z değerine karşılık gelir:

$$z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.3.3)$$

Burada “b₀” modelin sabiti, b_i (i = 0,1,2,...n) değerleri lojistik regresyon modelinin eğim katsayıları, x_i (i = 1,2,...n) değerleri ise bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Bu oluşturulan lineer model, heyelanın bağımsız değişkenler üzerindeki (meydana geliş öncesi koşullar) meydana geliş durumunu (var/yok) göstermektedir. Lojistik regresyonun başarısının değerlendirilmesi ile ilgili diğer analiz yöntemlerinden farklı bir yaklaşım bulunmaktadır. Buda ikili, sıralı veya çok sayıda kategorik veri içeren bağımsız değişkenin doğru ya da yanlış sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını gösteren sınıflandırma tablosunun kullanılmasıdır (Afifi ve Clark, 1998). Lojistik regresyon modelinin veri setine ne kadar uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla 1-(lnL/ lnL₀) değerinden hesaplanan pseudo R² değeri kullanmayı önermiştir. Bu değer bağımsız değişkenlerin modele katılımı ile bağımlı değişkendeki değişim oranını göstermektedir. Pseudo R² değeri 1’e eşit olması mükemmel bir uyumu, 0 ‘a eşit olması ise hiç bir ilişki olmadığını göstermektedir (Tablo

25). Pseudo R^2 'nin 0.2'den büyük olması durumu göreceli olarak iyi bir uyumu ifade etmektedir (Clark ve Hoskin, 1986).

Lojistik regresyon analizi, IDRISI yazılımında bir alt menü olarak yer alan LOGISTICREG arayüzü kullanılarak yapılmıştır (Şekil 72).



Şekil 72. Lojistik regresyon yöntemi için kullanılan yazılıma ait alt menü

Bu arayüzü kullanabilmek için öncelikle ArcGIS yazılımında raster veri formatında olan parametre haritaları shape(.shp) formatına dönüştürüldükten sonra IDRISI yazılımına aktarılmıştır ve tekrar raster veri formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra parametre haritaları lojistik regresyon arayüzünde bağımsız değişken (akarsuya yakınlık_fuzzy, drenaj yoğunluğu_fuzzy, baki_fuzzy, faya yakınlık_fuzzy, fay yoğunluğu_fuzzy, litoloji_fuzzy, eğim_fuzzy, yükseklik_fuzzy, yol yakınlık_fuzzy) olarak kullanılabilmeleri için 0-1 aralığında standartlaştırılmıştır. Bu amaçla IDRISI yazılımında yer alan FUZZY modülünden yararlanılmıştır. Lojistik regresyon işleminde bağımlı değişken olarak heyelan envanter haritası girilmiş, heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen 9 parametre de bağımsız değişkenler olarak tanıtılmıştır. Kontrol parametreleri olarak, tabakalandırılmış rastgele örnekleme yöntemi seçilmiş ve örnekleme oranı %10 olarak alınmıştır (Eastman,2004).

Bu işlemler sonucunda her iki inceleme alanı (D1, D2) içinde elde edilen regresyon denklemleri ve istatistiksel veri grupları aşağıda verilmiştir (Tablo 24, 25). Elde edilen regresyon denklemindeki bağımsız değişkenlere ait katsayılar, ait oldukları bağımsız değişkenin, heyelan gelişimindeki görece ağırlık değerini ifade etmektedir.

Regresyon Denklemi(D1):

$$\text{logit (heyeland1)} = -6.4407 + 0.493287 * \text{akarsuya yakınlık} + 0.446042 * \text{drenaj yoğunluğu} + 0.496942 * \text{bakı} - 0.110407 * \text{faya yakınlık} + 0.728934 * \text{fay yoğunluğu} + 2.483561 * \text{litoloji} - 1.428059 * \text{eğim} + 1.649251 * \text{yükseklik} + 0.622618 * \text{yol yakınlık}$$

Regresyon Denklemi(D2):

$$\text{logit (heyeland2)} = -10.3423 + 0.723896 * \text{akarsuya yakınlık} + 0.973306 * \text{drenaj yoğunluğu} + 1.491536 * \text{bakı} + 0.153727 * \text{faya yakınlık} + 3.356937 * \text{fay yoğunluğu} + 1.832265 * \text{litoloji} - 0.963162 * \text{eğim} + 2.846627 * \text{yükseklik} + 2.244631 * \text{yol yakınlık}$$

Tablo 24. Lojistik regresyon denkleminde belirlenen katsayılar.

Regresyon Katsayıları		
Değişkenler	Katsayılar(D1)	Katsayılar(D2)
Regresyon Katsayısı	- 6.4407	- 10.3423
Akarsuya Yakınlık	0.493287	0.723896
Drenaj Yoğunluğu	0.446042	0.973306
Bakı	0.496942	1.491536
Faya Yakınlık	- 0.110407	0.153727
Fay Yoğunluğu	0.728934	3.356937
Litoloji	2.483561	1.832265
Eğim	- 1.428059	- 0.963162
Yükseklik	1.649251	2.846627
Yola Yakınlık	0.622618	2.244631

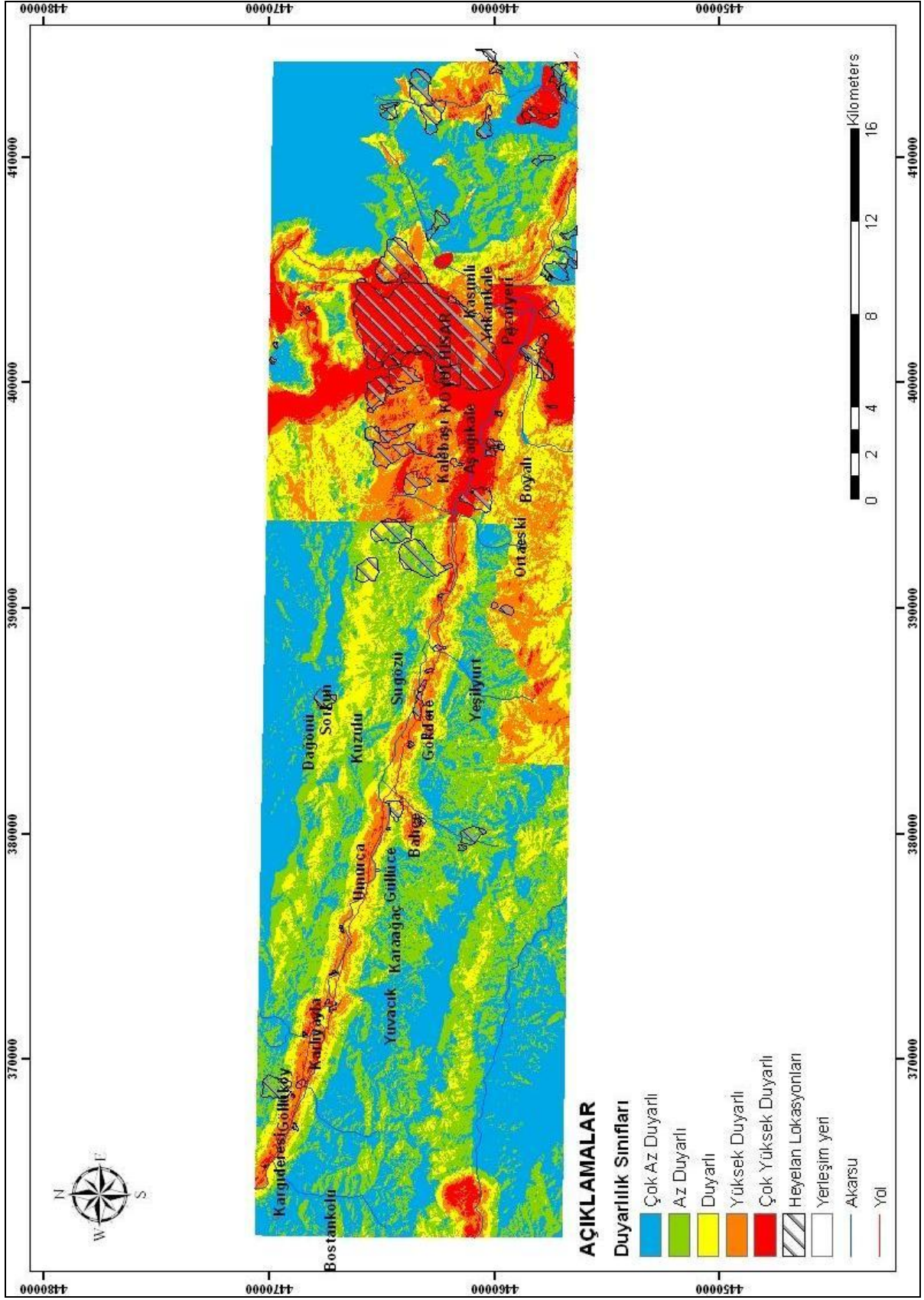
Tablo 25. Lojistik regresyon istatistik sonuçları

İstatistik Sonuçları		
	D1	D2
Toplam Gözlem Sayısı	1261400	1225938
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	1173912	1164781
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	87488	61157
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	93,0642	95,0114
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	6,9358	4,9886
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	118658	116084
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	110437	110204
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	8221	5880
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi (%)	93,0717	94,9347
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi (%)	6,9283	5,0653

Tablo 25' in devamı

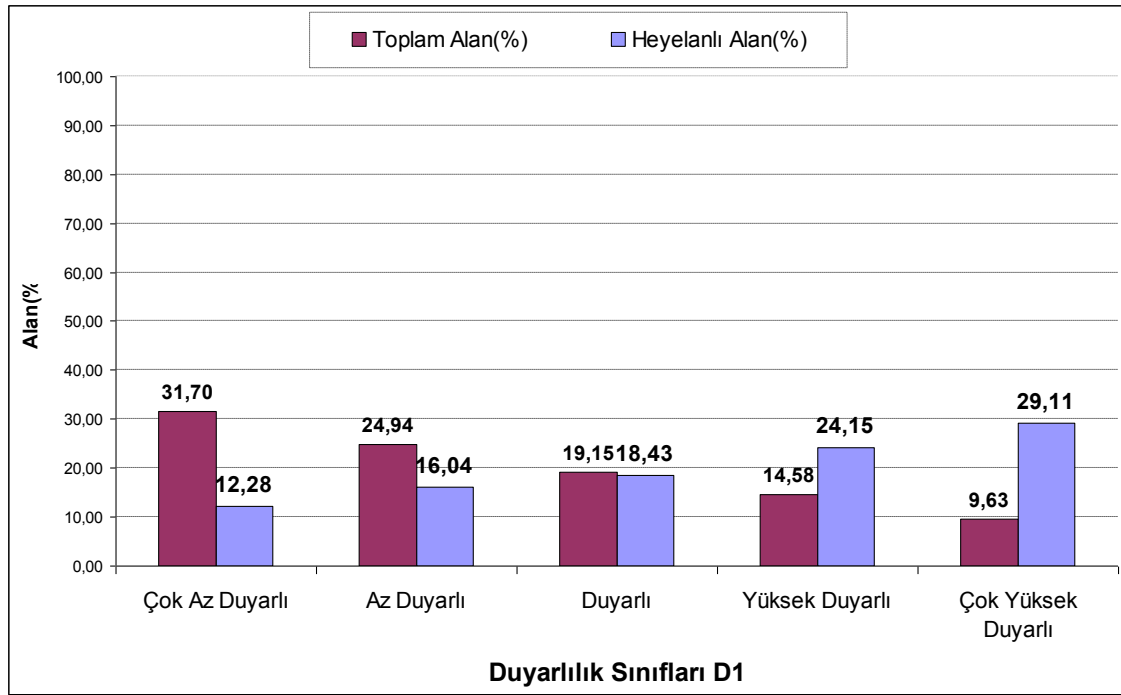
-2logL0	59751,5931	46534,2262
-2log(likelihood)	53338,7527	34114,4084
Pseudo R ²	0,2073	0,2669
Goodness of Fit	104219,5874	152049,3530
Model ChiSquare	6412,8404	12419,8179

Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen olasılık haritaları, inceleme alanına ait heyelan duyarlılığının yorumlanabilmesi için ArcGIS yazılımında eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılarak heyelan duyarlılık haritalarına dönüştürülmüştür (Şekil 73,74). Heyelan duyarlılık haritaları sonuçta çok az duyarlılık derecesinden, çok yüksek duyarlılık derecesine kadar beş heyelan duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir. İnceleme alanı D1'in % 31.70'i çok az duyarlı, % 24.94'ü az duyarlı, % 19.15'i orta derece duyarlı, % 14.58'i yüksek duyarlı ve % 9.63'ü ise çok yüksek duyarlı sınıfta olduğu görülmektedir. İnceleme alanı D2'in % 34.23'ü çok az duyarlı, % 25.71'i az duyarlı, % 16.66'sı orta derece duyarlı, % 13.68'i yüksek duyarlı ve % 9.73'ü ise çok yüksek duyarlı sınıfta olduğu görülmektedir.



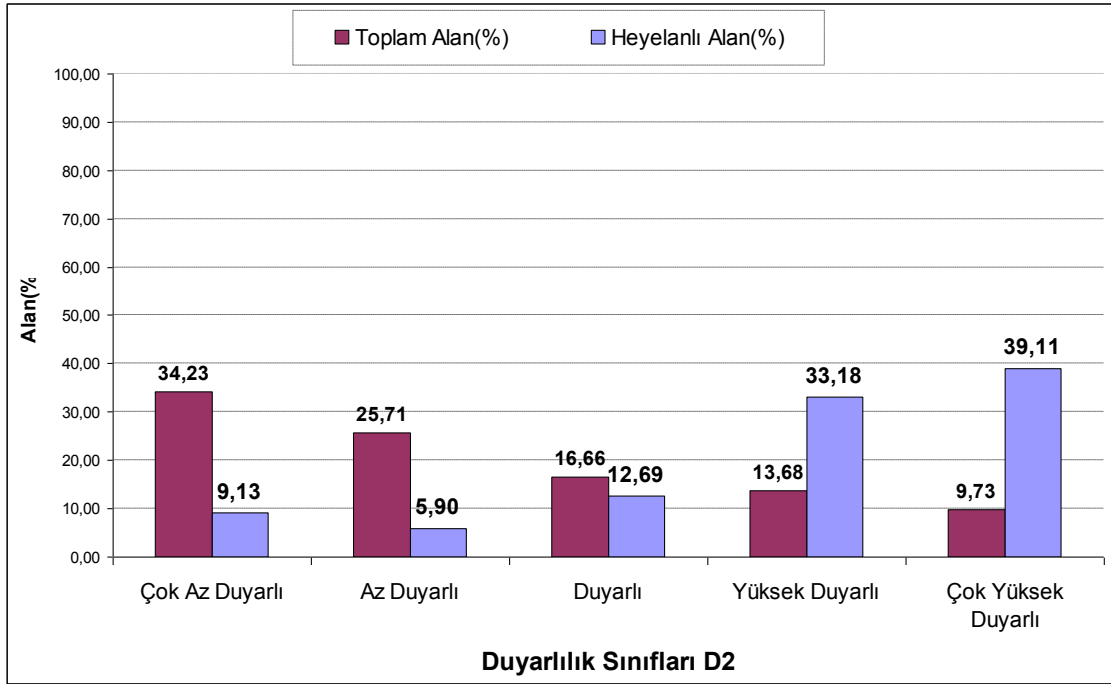
Şekil 74. Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D2)

Analize katılmayan sadece performans analizi için ayrılan heyelanlar ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır ve her bir duyarlılık sınıfına, haritalanan heyelanların hangi oranda düştükleri tespit edilmiştir. Buna göre, inceleme alanı D1’de performans analizi için kullanılan heyelanların % 12.28’inin çok az duyarlı, % 16.04’ünün az duyarlı, % 18.43’ünün orta derece duyarlı, % 24.15’inin yüksek duyarlı ve % 29.11’inin ise çok yüksek duyarlı sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 75).



Şekil 75. Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D1)

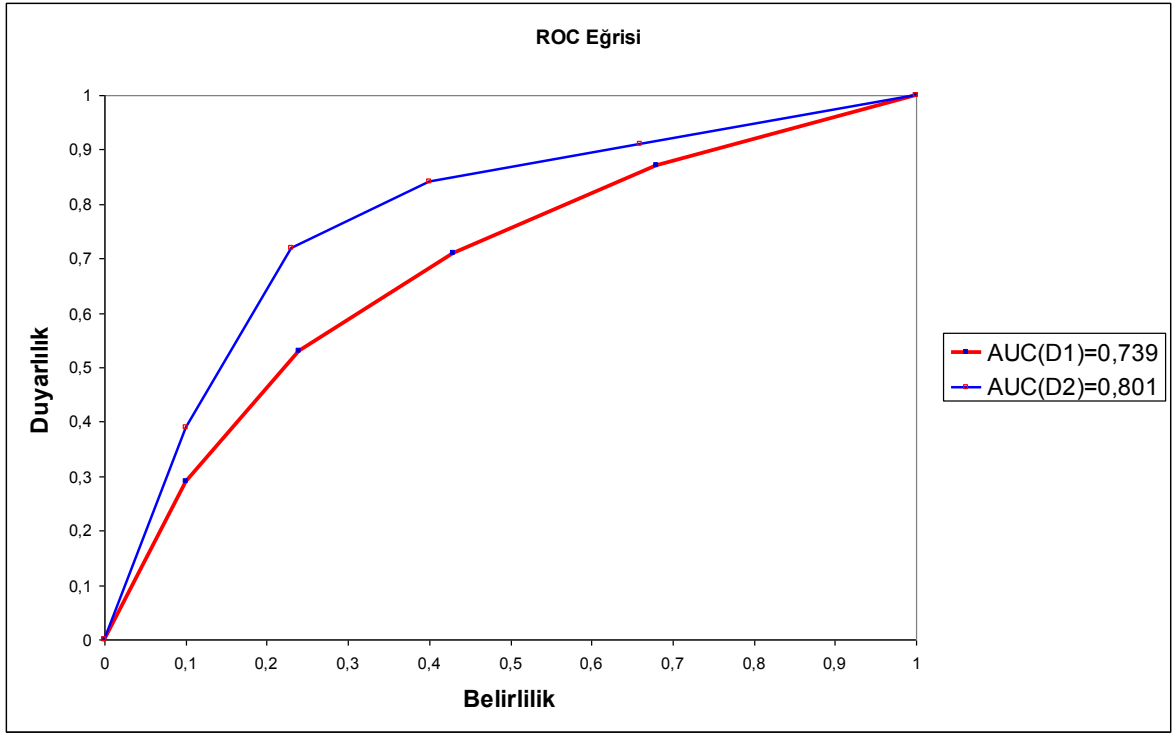
İnceleme alanı D1 ‘de olduğu gibi analize katılmayan sadece performans analizi için ayrılan heyelanlar ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır ve her bir duyarlılık sınıfına, haritalanan heyelanların hangi oranda düştükleri tespit edilmiştir. Buna göre, inceleme alanı D2’de performans analizi için kullanılan heyelanların % 9.13’ünün çok az duyarlı, % 5.90’nının az duyarlı, % 12.69’unun orta derece duyarlı, % 33.18’inin yüksek duyarlı ve % 39.11’inin ise çok yüksek duyarlı sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 76).



Şekil 76. Lojistik regresyon yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D2)

2.3.2.2.1. Duyarlılık Haritasının Doğrulanması (Lojistik Regresyon)

Frekans oranı yönteminde olduğu gibi lojistik regresyon analizi sonucu model uyumluluğunu test etmek ve başarısını değerlendirmek için “Göreceli Çalıştırma Özellikleri (Relative Operating Characteristic (ROC))” yöntemi kullanılmıştır. ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değeri inceleme alanı D1 için 0.739 ve D2 için 0,801 olarak bulunmuştur (Şekil 77).

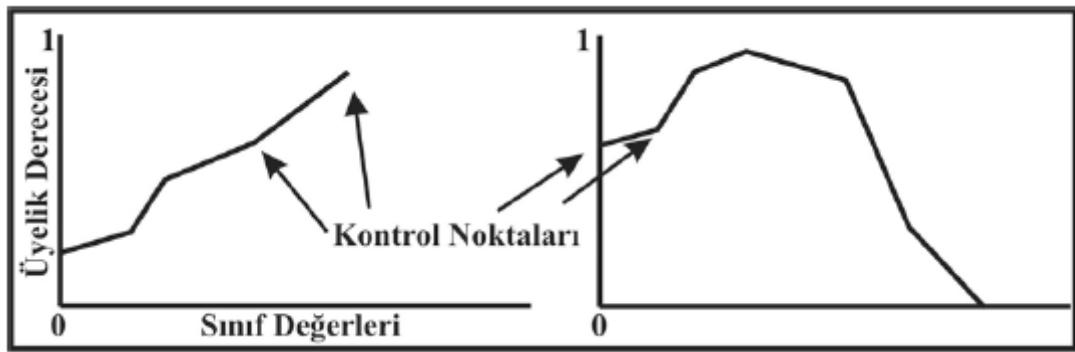


Şekil 77. Lojistik regresyon yöntemi için ROC eğrisi (D1,D2)

2.3.2.3. Bulanık Mantık Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan biri incelenen olayın çok karmaşık olması ve bu olayla ilgili yeterli bilgi bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesidir. İkincisi ise, insanın algılayış, muhakeme ve karar vermesine ihtiyaç gösteren durumlardır. Bulanık mantık ile karmaşık olan her problemin çözüleceği sonucu da çıkarılmamalıdır. Ancak, en azından insan düşüncesinin incelenen olayla ilgili olarak bazı sözel çıkarımlarda bulunması dolayısıyla daha iyi anlaşılabilen sonucuna varılabilmektedir (Şen, 2001). Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve alt kümelerine dayanır. Klasik yaklaşımda bir varlık ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde varlık küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", kümenin elemanı olmadığı zaman "0" değerini alır. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmesidir. Bulanık varlık kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi, 0 ile 1 aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ ile gösterilir.

Bu çalışma kapsamında üyelik fonksiyonları kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu kullanılarak bulunmuştur. Bu fonksiyon türü, problem çözümünde kullanılan parametredeki değişim değerleri ile bulanık üyelik derecesi arasındaki ilişkinin diğer üyelik fonksiyon türleri ile tam olarak tanımlanamadığı durumlarda kullanılmaktadır. Sınırsız sayıda kontrol noktası bulanık üyelik derecesi eğrisini tanımlamak için bu fonksiyonda kullanılabilir. Herhangi iki kontrol noktası ile bulanık üyelik derecesi arasındaki ilişki çizgisel olarak interpolate edilebilmektedir. Bu ilişki aşağıdaki Şekil 78’ de verilmiştir.



Şekil 78. Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonları (Akgün, 2007)

Bulanık mantık (fuzzy logic) yönteminde heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametrelerin sınıflarının bulanık üyelik dereceleri, IDRISI yazılımında yer alan FUZZY modülü kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 26). Bulanık üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değişmekte olup ve değer 1'e yaklaştıkça parametre sınıfının heyelan duyarlılığına etkisi artmaktadır. Parametre sınıflarının etkisi bulanık üyelik derecelerinin grafik gösterimi ile daha iyi görülmektedir (Şekil 79-83). Hesaplanan bulanık üyelik dereceleri ilgili oldukları parametre sınıflarına ağırlık değeri olarak ArcGIS yazılımında atanmış ve yeni parametre haritaları elde edilmiştir.

Tablo 26. Bulanık üyelik dereceleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri (D1, D2)

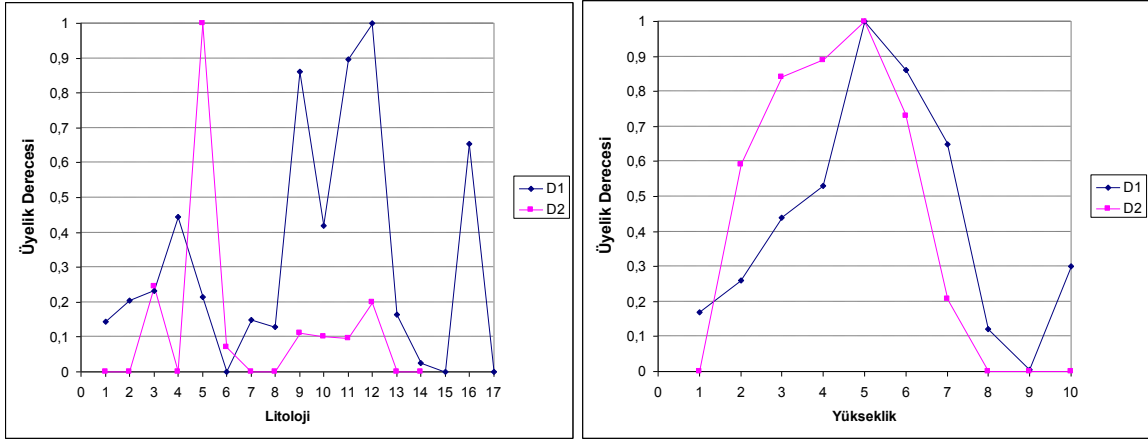
PARAMETRE	SINIF	D1		D2	
		DEĞER	BULANIK ÜYELİK DERECEŚİ	DEĞER	BULANIK ÜYELİK DERECEŚİ
Litoloji	1	Tg	0,145	Ta	0
	2	PTRt	0,205	Ttc	0,244
	3	Tck	0,233	Qa	0
	4	Tptg	0,444	Kybt	1
	5	Tc	0,215	Tkk	0,07
	6	Qal	0	Km	0
	7	Kk	0,15	Krb	0
	8	Qy	0,13	Kri	0,11
	9	Qa	0,86	Tc	0,1
	10	Ta	0,418	Ptd	0,095
	11	Ka(o)	0,896	Tth	0,2
	12	JKz	1	Ptc	0
	13	Krb	0,165	Kyt	0
	14	Kmn	0,025		
	15	Tys	0		
	16	Tkk	0,654		
	17	Tyh	0		
Yükseklik Sınıfları (m)	1	0-450	0,168	450-500	0
	2	450-600	0,259	500-750	0,59
	3	600-750	0,44	750-1000	0,84
	4	750-900	0,53	1000-1250	0,89
	5	900-1050	1	1250-1500	1
	6	1050-1200	0,86	1500-1750	0,73
	7	1200-1350	0,65	1750-2000	0,206
	8	1350-1500	0,12	2000-2250	0
	9	1500-1650	0,005	2250-2500	0
	10	1650-1880	0,3	2500-2625	0
Eğim Sınıfları (°)	1	0-5	0,22	0-5	0,43
	2	5-10	0,77	5-10	1
	3	10-15	1	10-15	0,86
	4	15-20	0,75	15-20	0,52
	5	20-25	0,463	20-25	0,3
	6	25-30	0,257	25-30	0,19
	7	30-35	0,14	30-35	0,12
	8	35-40	0,09	35-40	0,09
	9	>40	0,005	40-45	0,05
	10			>45	0,003
Bakı Sınıfları	1	DÜZ	0,005	DÜZ	0,362
	2	KUZEY	0,890	KUZEY	0,022
	3	KUZEYDOĞU	0,875	KUZEYDOĞU	0,025
	4	DOĞU	0,125	DOĞU	0,234

Tablo 26' nın devamı

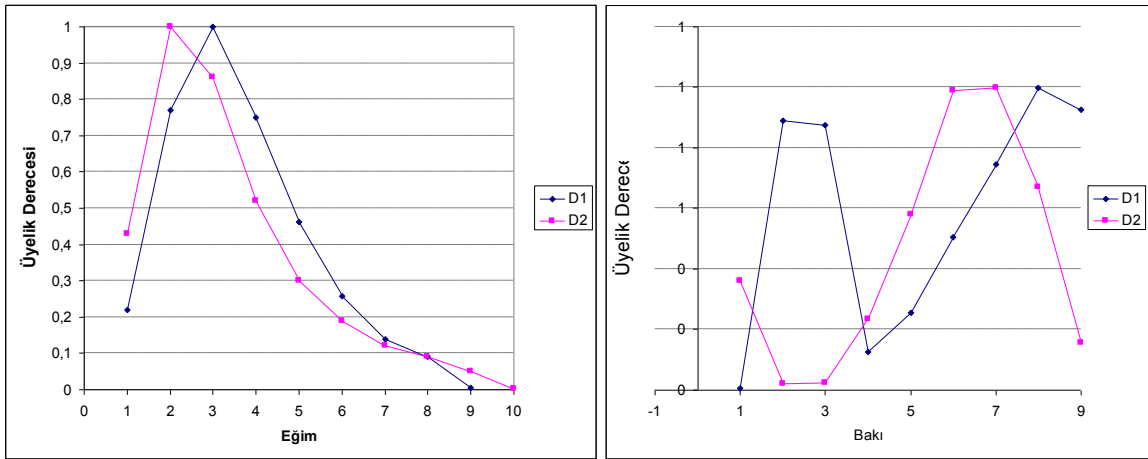
	5	GÜNEYDOĞU	0,255	GÜNEYDOĞU	0,58
	6	GÜNEY	0,505	GÜNEY	0,99
	7	GÜNEYBATI	0,745	GÜNEYBATI	1
	8	BATI	1	BATI	0,672
	9	KUZEYBATI	0,925	KUZEYBATI	0,155
Akarsuya Yakınlık Sınıfları(m)	1	0-100	0,605	0-100	0,014
	2	100-200	1	100-200	0,38
	3	200-300	0,945	200-300	0,322
	4	300-400	0,755	300-400	0,2
	5	400-500	0,375	400-500	0,15
	6	500-600	0,335	500-600	0,13
	7	600-700	0,475	600-700	0,29
	8	700-800	0,585	700-800	0,37
	9	800-900	0,495	800-900	0,48
	10	>900	0,005	>900	1
Yola Yakınlık Sınıfları(m)	1	0-100	0,25	0-100	1
	2	100-200	0,13	100-200	0,954
	3	200-300	0,01	200-300	0,96
	4	300-400	0,059	300-400	0,856
	5	400-500	0,08	400-500	0,71
	6	500-600	0,057	500-600	0,53
	7	600-700	0,021	600-700	0,38
	8	700-800	0,15	700-800	0,324
	9	800-900	0,17	800-900	0,295
	10	>900	1	>900	0,002
Faya Yakınlık Sınıfları(m)	1	0-100	0,79	0-100	0,668
	2	100-200	0,91	100-200	0,371
	3	200-300	0,76	200-300	0,062
	4	300-400	0,43	300-400	0,139
	5	400-500	0,405	400-500	0,7
	6	500-600	0,6	500-600	0,95
	7	600-700	0,435	600-700	0,643
	8	700-800	0,035	700-800	0,272
	9	800-900	0,005	800-900	0,011
	10	>900	1	>900	1
Drenaj Yoğunluğu Sınıfları	1	Az Yoğun	0,675	Az Yoğun	1
	2	Orta Yoğun	1	Orta Yoğun	0,8
	3	Çok Yoğun	0,855	Çok Yoğun	0,37

Tablo 26'nın devamı

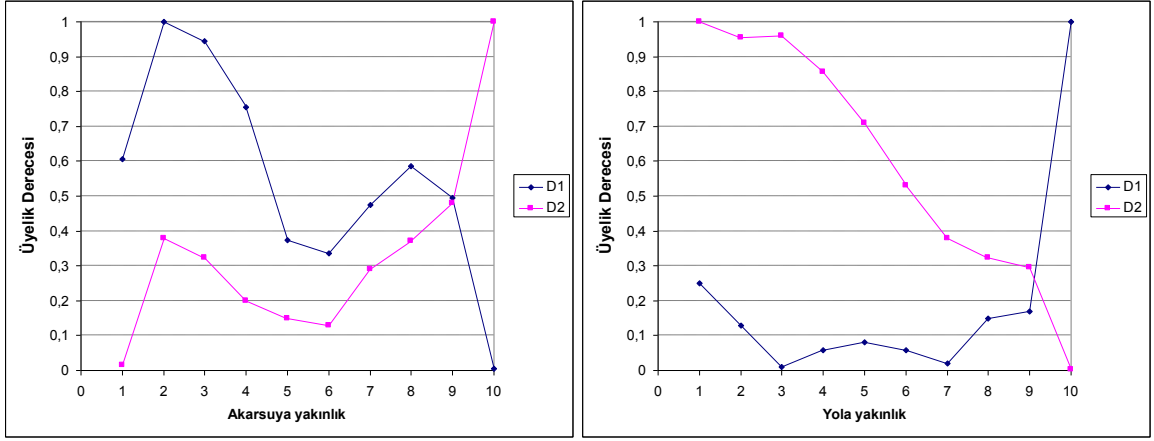
Fay (Kırık) Yoğunluğu Sınıfları					
	1	Çok Az Yoğun	0,67	Çok Az Yoğun	0,335
	2	Az Yoğun	0,715	Az Yoğun	0,225
	3	Yüksek Yoğun	1	Yüksek Yoğun	0,07
	4	Çok Yüksek Yoğun	0,11	Çok Yüksek Yoğun	1



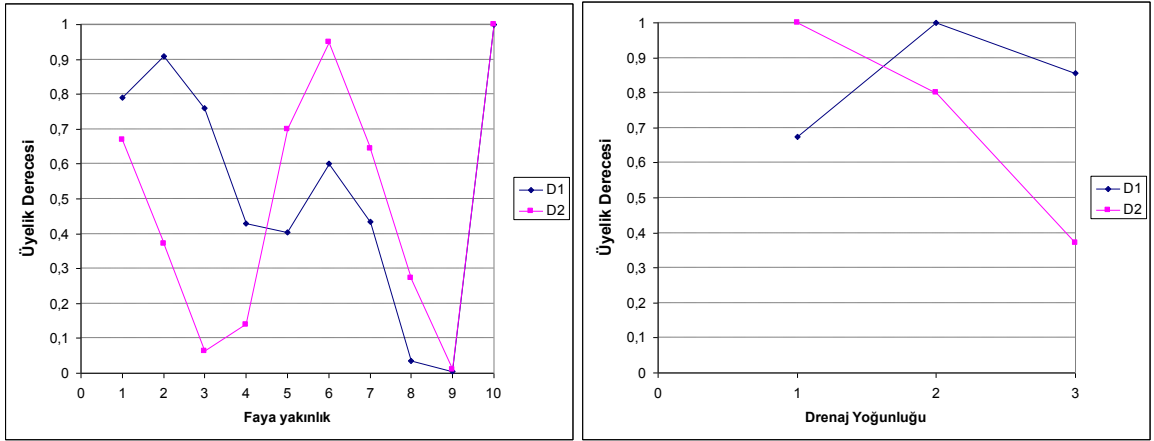
Şekil 79. Litoloji ve Yükseklik sınıfları bulanık üyelik dereceleri



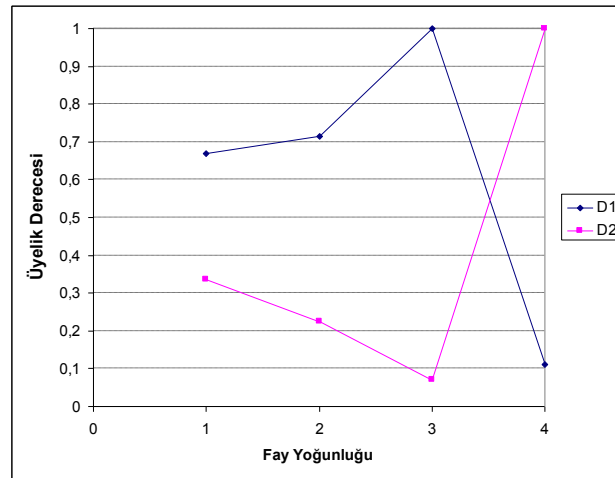
Şekil 80. Eğim ve Bakı sınıfları bulanık üyelik dereceleri



Şekil 81. Akarsuya ve Yola yakınlık sınıfları bulanık üyelik dereceleri



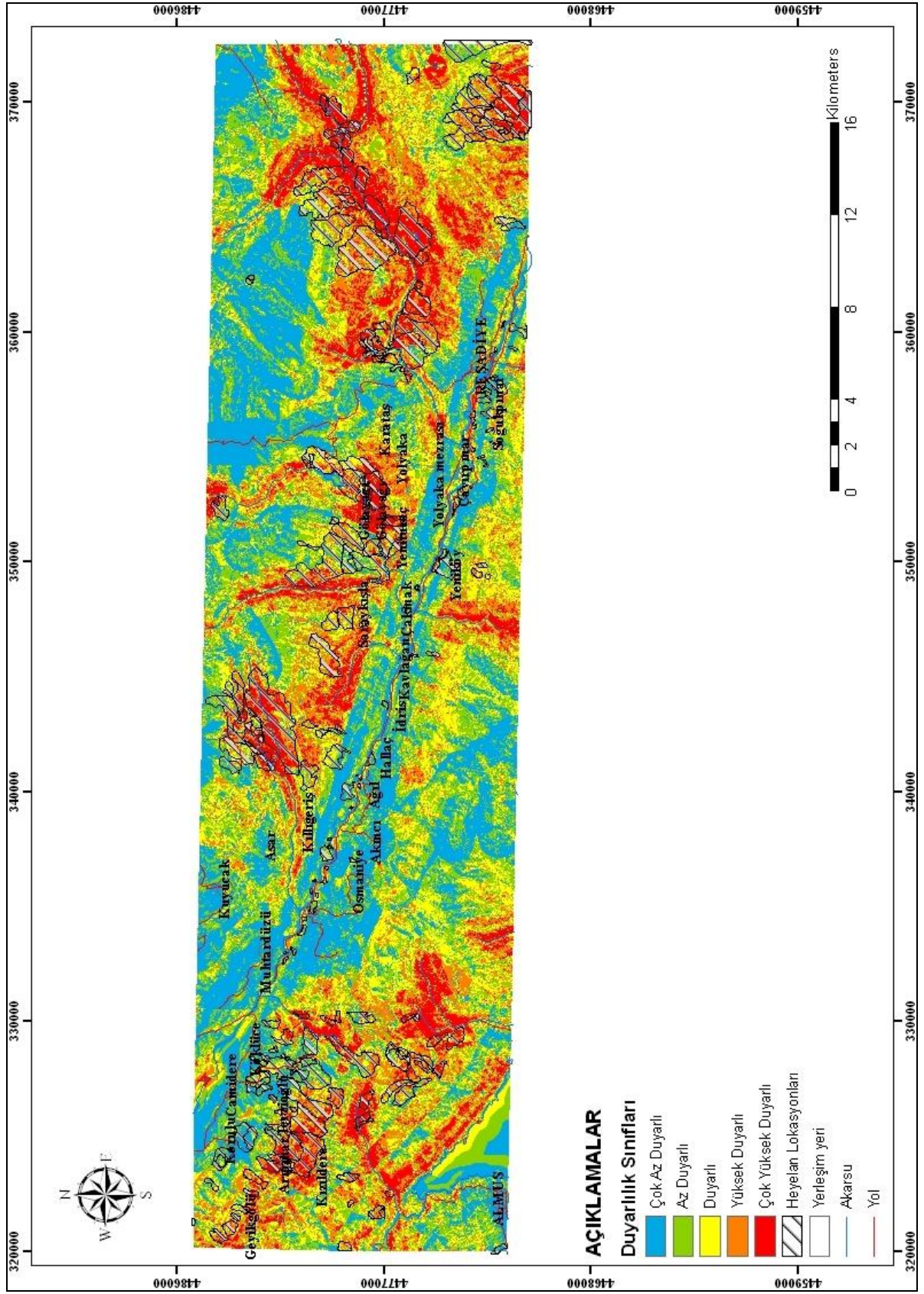
Şekil 82. Faya yakınlık ve Drenaj yoğunluğu sınıfları bulanık üyelik dereceleri



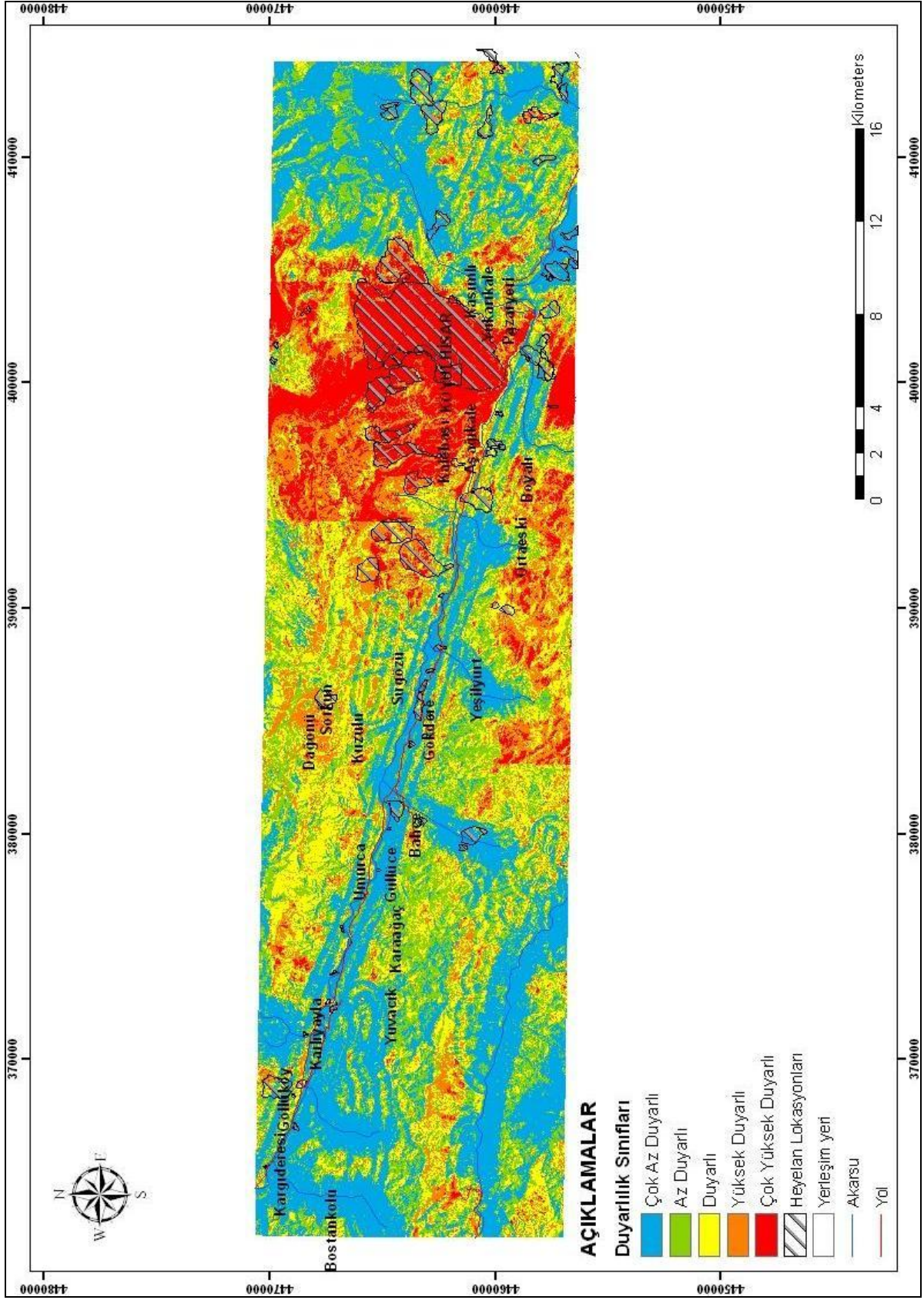
Şekil 83. Fay yoğunluğu sınıfları bulanık üyelik dereceleri

ArcGIS yazılımındaki Raster Calculator modülü kullanılarak toplanmış ve sonucunda heyelan duyarlılık indeks (Landslide Susceptibility Indeks) haritası oluşturulmuştur. Bu indeks haritaları, heyelan duyarlılık durumunun yorumlanması için eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılmış ve sonuçta çok az duyarlılık derecesinden, çok yüksek duyarlılık derecesine kadar beş heyelan duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 84,85).

Heyelan duyarlılık haritasında, inceleme alanı D1'in % 26.86'sı çok az duyarlı, % 23.85'i az duyarlı, % 20.54'ü orta derece duyarlı, % 17.48'i yüksek duyarlı ve % 11.27'si ise çok yüksek duyarlı sınıfta olduğu, İnceleme alanı D2'in % 31.89'u çok az duyarlı, % 22.45'i az duyarlı, % 19.43'ü orta derece duyarlı, % 14.92'si yüksek duyarlı ve % 11.30'u ise çok yüksek duyarlı sınıfta olduğu görülmektedir.

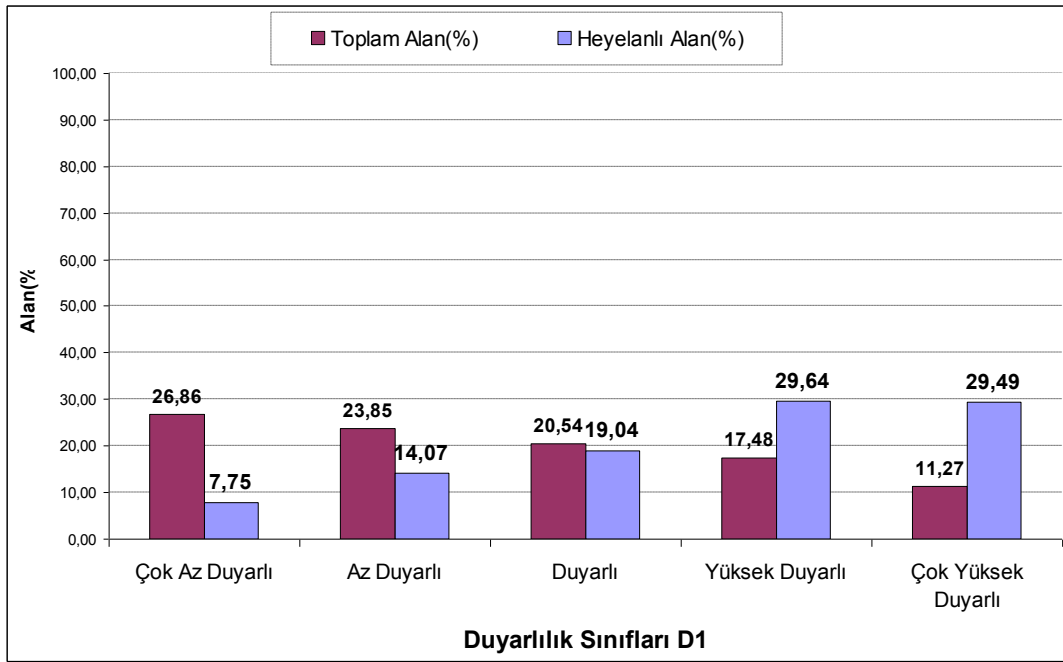


Şekil 84. Bulank mantık yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D1)



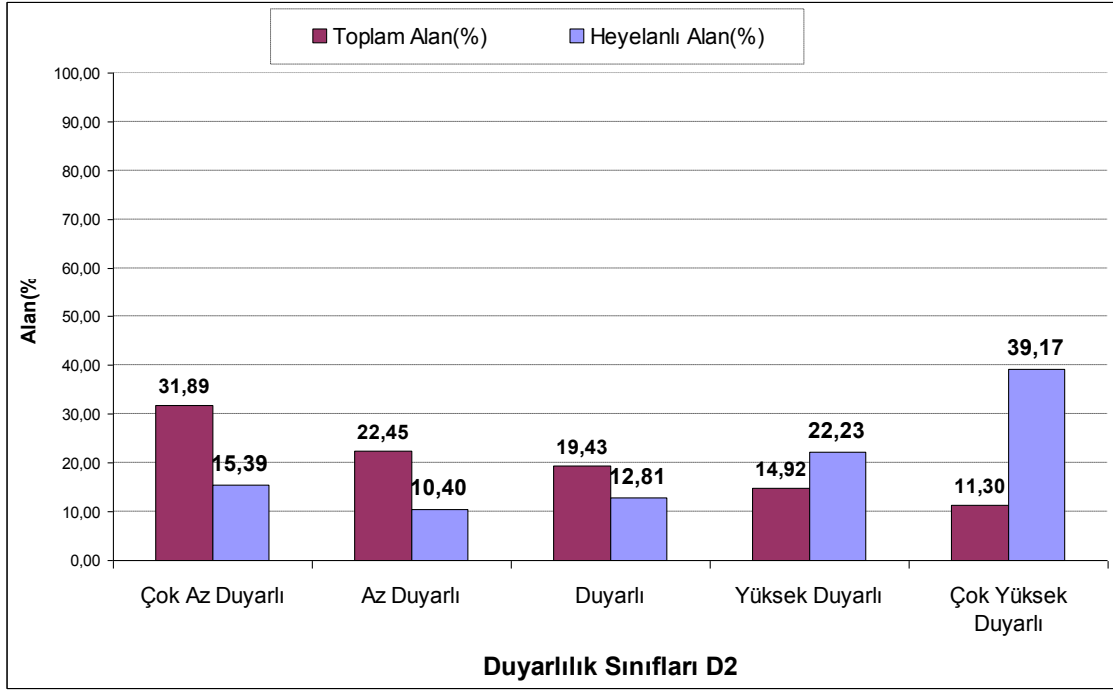
Şekil 85. Bulank mantık yöntemiyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritası (D2)

Diğer analiz yöntemlerinde olduğu gibi, analize katılmayan sadece performans analizi için ayrılan heyelanlar ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır ve her bir duyarlılık sınıfına, haritalanan heyelanların hangi oranda düştükleri tespit edilmiştir. Buna göre, inceleme alanı D1’de performans analizi için kullanılan heyelanların % 7.75’inin çok az duyarlı, % 14.07’sinin az duyarlı, % 19.04’ünün orta derece duyarlı, % 29.64’ünün yüksek duyarlı ve % 29.49’unun ise çok yüksek duyarlı sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 86).



Şekil 86. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D1)

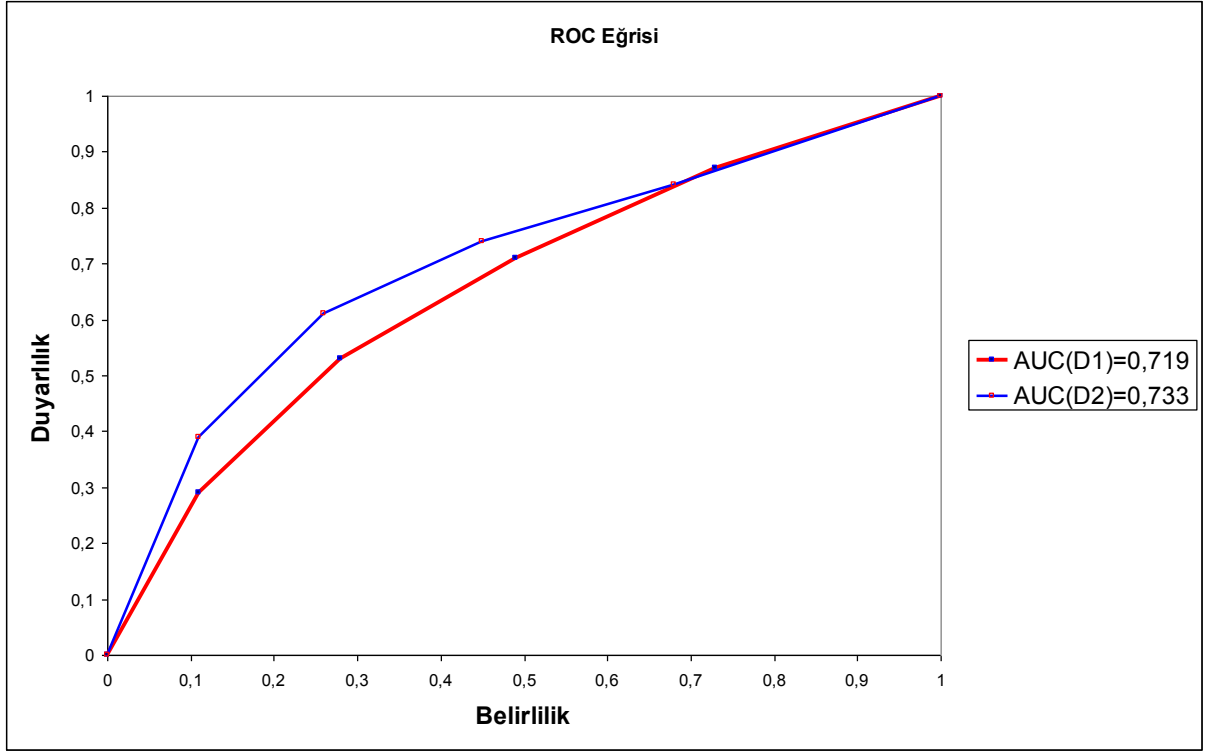
İnceleme alanı D2’de performans analizi için kullanılan heyelanların % 15.39’unun çok az duyarlı, % 10.40’ının az duyarlı, % 12.81’inin orta derece duyarlı, % 22.23’ünün yüksek duyarlı ve % 39.17’sinin ise çok yüksek duyarlı sınıfına düştükleri görülmektedir (Şekil 87).



Şekil 87. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflara düşen heyelanlı alanların alansal yüzdeleri (D2)

2.3.2.3. Duyarlılık Haritasının Doğrulanması (Bulanık Mantık)

Diğer iki yöntemde olduğu gibi bulanık mantık analiz sonucu model uyumluluğunu test etmek ve başarısını değerlendirmek için “Göreceli Çalıştırma Özellikleri (Relative Operating Characteristic (ROC))” yöntemi kullanılmıştır. ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değeri inceleme alanı D1 için 0.719 ve D2 için 0,733 olarak bulunmuştur (Şekil 88).



Şekil 88. Bulanık mantık yöntemi için ROC eğrisi (D1, D2)

3. SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu tez kapsamında Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Niksar (Tokat) doğusu ile Suşehri (Sivas) batısı arasında kalan 1445 km² alana sahip bölge heyelan duyarlılığı açısından incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. İnceleme alanı D1 için 251 adet 84.79 km² alana sahip heyelan ve inceleme alanı D2 için 90 adet 47.50 km² heyelan tespit edilmiş ve heyelan envanterleri oluşturulmuştur. Yapılan arazi çalışmaları ve gözlemleri neticesinde, inceleme alanında gerçekleşen heyelanların dairesel kayma ve toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir.

2. Literatür araştırmaları ve arazi çalışmaları sonucunda inceleme alanları için heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde litoloji, yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü, akarsuya yakınlık, yola yakınlık, faya yakınlık, drenaj yoğunluğu, fay (kırık) yoğunluğu parametrelerinin etkili olabilecekleri düşünülmüş ve analizlerde bu parametreler değerlendirilmiştir.

3. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde veri olarak analizde kullanılmak üzere üretilen parametre haritalarının alt gruplarının alansal dağılımları aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir.

- İnceleme alanı D1'in % 42,22'si Alibaba formasyonu, % 25,79'u Karşıkent formasyonu ve inceleme alanı D2'nin % 26,84'ü Boztepe formasyonu, % 16,67'si Haydaroğlu formasyonu, %13,87'si Canik formasyonu en fazla yüzdesi olan litolojik birimleri oluşmaktadır.
- İnceleme alanı D1'in %3,87'sinin 0-450 m , %7,69'unun 450-600 m, %8,75'inin 600-750 m, %13,74'ünün 750-900 m, %14,53'ünün 900-1050 m, %16,64'ünün 1050-1200 m, %15,15'inin 1200-1350 m, %13,39'unun 1350-1500 m, %5,28'inin 1500-1650 m, %0,98'inin 1650-1880 m arasında ve inceleme alanı D2'nin %0,04'ünün 450-500 m, %11,44'ünün 500-750 m, %16,61'inin 750-1000 m, %18,68'inin 1000-1250 m, %17,89'unun 1250-1500 m, %22,01'inin 1500-1750 m, %8,53'ünün 1750-2000 m, %3,05'inin 2000-2250 m, %1,51'inin 2250-2500 m, %0,24'ünün 2500-2625 m arasındaki yüksekliklerde olduğu tespit edilmiştir.
- İnceleme alanı D1'in %14,82'sinin eğimi 0-5 derece, %14,80'inin eğimi 5-10 derece, %17,95'inin eğimi 10-15 derece, %16,24'ünün eğimi 15-20

derece, %13,18'inin eğimi 20-25 derece, %9,82'sinin eğimi 25-30 derece , %6,58'inin eğimi 30-35 derece, %3,74'ünün eğimi 35-40 derece arasında değiştiği, %2,89'unun eğimi 40 dereceden büyük olduğu, inceleme alanı D2'nin %9,53'ünün eğimi 0-5 derece, %9,57'sinin eğimi 5-10 derece, %14,01'inin eğimi 10-15 derece, %15,78'inin eğimi 15-20 derece, %15,68'inin eğimi 20-25 derece, %14,00'ünün eğimi 25-30 derece, %10,45'inin eğimi 30-35 derece, %6,27'sinin eğimi 35-40 derece, %2,99'unun eğimi 40-45 derece arasında değiştiği, %1,72'sinin eğimi ise 45 dereceden büyük olduğu tespit edilmiştir.

- İnceleme alanı D1'in %9,68'inin düz alanlar, %11,59'unun kuzeye, %9,61'inin kuzeydoğuya, %9,43'ünün doğuya, %10,95'inin güneydoğuya, %15,19'unun güneye, %12,55'inin güneybatıya, %10,35'inin batıya, %10,67'sinin kuzeybatıya, inceleme alanı D2'nin %6,56'sının düz alanlar, %13,14'ünün kuzey, %10,74'ünün kuzeydoğuya, %9,40'ının doğuya, %10,30'unun güneydoğuya, %14,72'sinin güneye, %12,52'sinin güneybatıya, %11,44'ünün batıya, %11,16'sinin kuzeybatıya, yamaçlarda olduğu tespit edilmiştir.
- İnceleme alanı D1'in %5,15'inin akarsuya 0-100 m, %4,61'inin akarsuya 100-200 m, %4,46'inin akarsuya 200-300 m, %4,55'inin akarsuya 300-400 m, %4,42'sinin akarsuya 400-500 m, %4,14'ünün akarsuya 500-600 m, %4,23'ünün akarsuya 600-700 m, %4,12'sinin akarsuya 700-800 m, %3,94'ünün akarsuya 800-900 m, %60,37'sinin akarsuya 900 m'den büyük uzaklıklarda, inceleme alanı D2'nin %3,95'inin akarsuya 0-100 m, %3,57'sinin akarsuya 100-200 m, %3,45'i 200-300 m, %3,49'unun akarsuya 300-400 m, %3,40'ı 400-500 m, %3,14'ü 500-600 m, %3,17'sinin akarsuya 600-700 m, %3,09'unun akarsuya 700-800 m, %2,98'inin akarsuya 800-900 m, %69,77'sinin akarsuya 900 m'den büyük uzaklıklarda olduğu tespit edilmiştir.
- İnceleme alanı D1'in %4,06'sinin yola 0-100 m, %3,31'inin yola 100-200 m, %2,97'sinin yola 200-300 m, %2,94'ünün yola 300-400 m, %2,75'inin yola 400-500 m, %2,48'inin yola 500-600 m, %2,50'sinin yola 600-700 m, %2,44'ünün yola 700-800 m, %2,35'inin yola 800-900 m, %74,21'inin yola 900 m'den büyük uzaklıklarda, inceleme alanı D2'nin %3,23'ünün

yola 0-100 m, %2,77'sinin yola 100-200 m, %2,58'inin yola 200-300 m, %2,56'sinin yola 300-400 m, %2,49'unun yola 400-500 m, %2,29'unun yola 500-600 m, %2,31'inin yola 600-700 m, %2,21'inin yola 700-800 m, %2,11'inin yola 800-900 m, %77,44'ünün yola 900m'den büyük uzaklıklarda olduğu tespit edilmiştir.

- İnceleme alanı D1'in %8,84'ünün faya 0-100 m, %7,67'sinin faya 100-200 m, %6,48'inin faya 200-300 m, %5,53'ünün faya 300-400 m, %4,72'si 400-500 m, %3,96'sinin faya 500-600 m, %3,74'ünün faya 600-700 m, %3,32'sinin faya 700-800 m, %3,04'ünün faya 800-900 m, %52,71'inin faya 900 m'den büyük uzaklıklarda, inceleme alanı D2'nin %6,01'inin faya 0-100 m, %4,95'inin faya 100-200 m, %4,09'unun faya 200-300 m, %3,58'inin faya 300-400 m, %3,20'sinin faya 400-500 m, %2,89'unun faya 500-600 m, %2,93'ünün faya 600-700 m, %2,85'inin faya 700-800 m, %2,75'inin faya 800-900 m, %66,75'inin faya 900 m'den büyük uzaklıklarda olduğu tespit edilmiştir.
- Drenaj yoğunluklarına göre, inceleme alanı D1'in %87,36'sinin az yoğun, %11,96'sinin orta yoğun, %0,68'inin çok yoğun, inceleme alanı D2'nin %87,21'inin az yoğun, %11,85'inin orta yoğun, %0,94'ünün çok yoğun yoğunluk sınıflarında oldukları tespit edilmiştir.
- Fay yoğunluklarına göre, inceleme alanı D1'in %83,03'ünün çok az yoğun, %14,01'inin az yoğun, %2,81'inin yüksek yoğun, %0,15'inin çok yüksek yoğun, inceleme alanı D2'nin %91,36'sinin çok az yoğun, %6,53'ünün az yoğun, %1,61'inin yüksek yoğun, %0,50'sinin çok yüksek yoğun yoğunluk sınıflarında oldukları tespit edilmiştir.

4. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde girdi verisi olarak analizde kullanılan heyelanların parametre sınıfları içerisindeki alansal dağılımları aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir.

- Litolojik birimlere göre, inceleme alanı D1 içerisindeki heyelanların % 38,72'sinin Alibaba formasyonunda, % 37,27'sinin Karşıkent formasyonunda, inceleme alanı D2 içerisindeki heyelanların % 69,37'sinin Boztepe formasyonunda meydana geldiği belirlenmiştir.

- Yükseklik sınıflarına göre, inceleme alanı D1'de heyelanların %79,71'inin 600-1350 m arasında ve inceleme alanı D2'nin %97,63'ünün 500-1750 m arasındaki yüksekliklerde meydana geldiği belirlenmiştir.
- Yamaç eğim sınıflarına göre, inceleme alanı D1'de mevcut heyelanların %85,51'inin eğimi 0-25 derece arasında değişen yamaçlarda, inceleme alanı D2'de heyelanların %91,19'unun eğimi 0-30 derece arasında değişen yamaçlarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- Bakı sınıflarına göre, inceleme alanı D1'de heyelanların %37,41'inin güneye, güneydoğuya, güneybatıya, %24,86'sinin kuzeye, kuzeydoğuya, kuzeybatıya, %7,63'ünün doğuya, %11,98'inin batıya bakan yamaçlarda, inceleme alanı D2'de heyelanların %59,64'ünün güneydoğuya, güneye, güneybatıya, %14,13'ünün kuzeye, kuzeydoğuya, kuzeybatıya, %6,08'inin doğuya, %14,64'ünün batıya bakan yamaçlarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- Akarsuya yakınlık sınıflarına göre, inceleme alanı D1'de heyelanların %48,00'inin akarsuya 0-900m arasındaki uzaklıklarda, %52,00'sinin akarsuya 900 m'den büyük uzaklıklarda, inceleme alanı D2'de heyelanların %22,69'unun akarsuya 0-900m arasındaki uzaklıklarda, %77,31'inin akarsuya 900 m'den büyük uzaklıklarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- Yola yakınlık sınıflarına göre, inceleme alanı D1'de heyelanların %17,02'sinin yola 0-900 m arasındaki uzaklıklarda, %82,98'inin yola 900 m'den büyük uzaklıklarda, inceleme alanı D2'de heyelanların %58,74'ünün yola 0-900m arasındaki uzaklıklarda, %41,26'sinin yola 900 m'den büyük uzaklıklarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- Faya yakınlık sınıflarına göre, inceleme alanı D1'de heyelanların %44,29'unun faya 0-900 m arasındaki uzaklıklarda, %55,71'inin faya 900 m'den büyük uzaklıklarda, inceleme alanı D2'de heyelanların %29,17'sinin faya 0-900m arasındaki uzaklıklarda, %70,83'ünün faya 900 m'den büyük uzaklıklarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- Drenaj yoğunluğuna göre, inceleme alanı D1'de heyelanların %82,39'u az yoğun, %16,79'u orta yoğun, %0,81'i çok yoğun, inceleme alanı D2'de heyelanların %89,97'si az yoğun, %9,69'u orta yoğun, %0,36'si çok yoğun yoğunluk sınıflarında meydana geldiği belirlenmiştir.

- Fay yoğunluğuna göre, inceleme alanı D1’de heyelanların %81,47’si çok az yoğun, %18,53’ü az yoğun, yüksek yoğun, çok yüksek yoğun, inceleme alanı D2’de heyelanların %93,67’si çok az yoğun, %6,33’ü az yoğun, yüksek yoğun, çok yüksek yoğun yoğunluk sınıflarında meydana geldiği belirlenmiştir.

5. İnceleme alanlarında heyelan oluşumunda etkili olabilecek parametre alt sınıfları, heyelan yoğunluğu % değerleri ve frekans oranı değerlerine göre aşağıdaki şekilde belirlenmiştir. Buna göre;

- İnceleme alanı D1 için Zinav Kireçtaşı, inceleme alanı D2 için Boztepe formasyonu litolojik birimlerinin,
- İnceleme alanı D1 için 900-1050m arasındaki yükseklik sınıflarının, inceleme alanı D2 için 1250-1500m arasındaki yükseklik sınıflarının
- İnceleme alanı D1 için 10-15 derece arasında değişen eğim sınıflarının, inceleme alanı D2 için 5-10 derece arasında değişen eğim sınıflarının,
- İnceleme alanı D1 için Batı ve Kuzey bakı sınıflarının, inceleme alanı D2 için Güneybatı ve Güney bakı sınıflarının,
- İnceleme alanı D1 için 100-200m akarsuya yakınlık sınıflarının, inceleme alanı D2 için 900m’den büyük akarsuya yakınlık sınıflarının,
- İnceleme alanı D1 için 900m’den büyük yola yakınlık sınıflarının, inceleme alanı D2 için 0-100m yola yakınlık sınıflarının,
- İnceleme alanı D1 için 100-200m ve 900m’den büyük faya yakınlık sınıflarının, inceleme alanı D2 için 500-600m ve 900m’den büyük faya yakınlık sınıflarının,
- İnceleme alanı D1 için orta yoğun drenaj yoğunluğunun, inceleme alanı D2 için az yoğun drenaj yoğunluğunun,
- İnceleme alanı D1 için yüksek yoğun fay yoğunluğunun, inceleme alanı D2 için çok yüksek yoğun fay yoğunluğunun,

heyelan oluşumunda etkili olduğu belirlenmiştir.

6. İnceleme alanı D1 ve D2 için üç farklı yöntemle göre heyelan duyarlılık haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar heyelan duyarlılığı açısından çok az duyarlı, az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı, çok yüksek duyarlı olmak üzere beş sınıfa ayrılmış ve alansal dağılımları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Frekans oranı yöntemi ile hazırlanan duyarlılık haritasında, inceleme alanı D1'in

% 24.35'inin heyelana çok az duyarlı,
 % 22.89'unun heyelana az duyarlı,
 % 21.93'ünün heyelana orta derece duyarlı,
 % 16.46'sının heyelana yüksek duyarlı,
 % 14.35'inin ise heyelana çok yüksek duyarlı, inceleme alanı D2'nin
 % 33.71'inin heyelana çok az duyarlı,
 % 24.83'ünün heyelana az duyarlı,
 % 17.98'inin heyelana orta derece duyarlı,
 % 13.36'sının heyelana yüksek duyarlı
 % 10.10'unun ise heyelana çok yüksek duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

- Lojistik regresyon yöntemi ile hazırlanan duyarlılık haritasında, inceleme alanı D1'in

% 31.65'inin heyelana çok az duyarlı,
 % 24.94'ünün heyelana az duyarlı,
 % 19.15'inin heyelana orta derece duyarlı,
 % 14.57'sinin heyelana yüksek duyarlı,
 % 9.63'ünün ise heyelana çok yüksek duyarlı, inceleme alanı D2'nin
 % 34.22'sinin heyelana çok az duyarlı,
 % 25.71'inin heyelana az duyarlı,
 % 16.65'inin heyelana orta derece duyarlı,
 % 13.68'inin heyelana yüksek duyarlı,
 % 9.73'ünün ise heyelana çok yüksek duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Lojistik regresyon yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık analizinde inceleme alanı D1 için sırasıyla litoloji, yükseklik, fay yoğunluğu, yola yakınlık, bakı, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu parametreleri, inceleme alanı D2 için ise sırasıyla fay yoğunluğu, yükseklik, yola yakınlık, litoloji, drenaj yoğunluğu, akarsuya yakınlık, faya yakınlık parametrelerinin önemli olduğu belirlenmiştir.

- Bulanık mantık yöntemi ile hazırlanan duyarlılık haritasında, inceleme alanı D1'in

% 26.85'inin heyelana çok az duyarlı,
 % 23.84'ünün heyelana az duyarlı,

- % 20.54'ünün heyelana orta derece duyarlı,
- % 17.48'inin heyelana yüksek duyarlı,
- % 11.27'sinin ise heyelana çok yüksek duyarlı, inceleme alanı D2'nin
- % 31.89'unun heyelana çok az duyarlı,
- % 22.45'inin heyelana az duyarlı,
- % 19.43'ünün heyelana orta derece duyarlı,
- % 14.91'inin heyelana yüksek duyarlı ve
- % 11.30'unun ise heyelana çok yüksek duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

7. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğini test etmek için ROC (Relative Operating Characteristic) değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değerlerinden yararlanılmıştır. Buna göre,

- Frekans oranı yönteminde, inceleme alanı D1 için AUC değerinin 0,783, inceleme alanı D2 için AUC değerinin 0,841 olduğu,
- Lojistik regresyon yönteminde, inceleme alanı D1 için AUC değerinin 0,739, inceleme alanı D2 için 0,801 olduğu,
- Bulanık mantık yönteminde, inceleme alanı D1 için AUC değeri 0,719, alanı D2 için AUC değeri 0,801 olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler uygulanan üç farklı modelinde başarılı ve güvenli olduğunu göstermektedir.

8. AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değerlerine göre, her iki inceleme alanı için frekans oranı yöntemi kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının diğer yöntemlere göre daha güvenli ve başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca üretilen heyelan duyarlılık haritalarındaki “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip alanlarla, bu sınıfa düşen heyelanlı alanların uyumuna bakıldığında, inceleme alanı D1 için %44'lük, inceleme alanı D2 için %45'lik yüzde değeriyle frekans oranı yöntemi kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının en yüksek değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

9. Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarına göre, inceleme alanı D1'de yerleşim yeri olarak Arıpınar, Geyikgölü, Kabakboğazı, Gölayağı ve yakın çevrelerinin çok yüksek heyelan duyarlılığında olduğu, inceleme alanı D2'de ise Koyulhisar, Bahçe, Gökdere, Kuzulu, Kalebaşı, Aşağıkale, Umurca ve yakın çevrelerinin çok yüksek heyelan duyarlılığında olduğu tespit edilmiştir.

4. ÖNERİLER

1. Heyelanlardan kaynaklanan can ve mal kayıplarının azaltılması veya ortadan kaldırılması için ülkemizde heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ve bu haritaların yapılacak mühendislik çalışmalarında dikkate alınması önem taşımaktadır.

2. Heyelan duyarlılığının yüksek ya da çok yüksek olduğu alanlarda yapılaşmaya izin verilmemeli, verilecekse bu alanlar ve mevcut yerleşim alanları için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu bölgede arazi çalışmaları sırasında özellikle yol güzergâhı geçirilirken yapılan kazıların neden olduğu düşünülen heyelanlara rastlanılmıştır. Bu çalışmanın yeni yol güzergâhlarının belirlenmesinde dikkate alınmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

3. Heyelan duyarlılık parametreleri belirlenirken modelde kullanılması düşünülen bitki örtüsü parametresi, bütçe olanaklarının kısıtlı olmasından dolayı üretilmemiştir. Bitki örtüsü parametresi, bölge itibariyle fayın sismik aktivitesi ve heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen inceleme alanı içerisinde daha fazla noktadan gözlenerek elde edilecek sağlıklı yağış verilerinin yeni kurulacak modelde parametre olarak kullanılması düşünülmelidir. Gerekli verilere ulaşılması durumunda heyelan duyarlılık çalışmalarının bir sonraki adımı olan heyelan tehlike ve risk haritaları inceleme alanları için üretilmelidir.

4. Heyelan duyarlılık haritaların üretilmesinde kullanılan verilerin oluşturulması, hem maliyetli olmakta hem de çok zaman almaktadır. Bu tür çalışmalarda maliyeti azaltmak, zaman kaybını önlemek için temel verilerin sağlanabileceği bir veri tabanı oluşturulmalıdır. Dolayısıyla heyelan duyarlılık haritası üretmek için harcanan zamanda aynı alan için tehlike ve risk haritaları da üretilbilecektir.

5. KAYNAKLAR

- Afifi, A.A. ve Clark, V., 1998. Computer aided multivariate analysis, Chapman- Hall, London, 455p.
- Akgün, A., 2006. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yönteminin kullanımı: Ayvalık (Balıkesir) Örneği, Geosound, 48-49, 87-101.
- Akgün, A. ve Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region, Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R., 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. Bull, Engineering Geology Env., 58, 21-44.
- Alparslan, E., Yüce, H., Erkan, B., İnan, S., Engintav, S. ve Saatçılar R., 2006. Büyükçekmece ve Küçükçekmece Gölleri Arasındaki Bölgede Heyelan Duyarlılığının Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Çok Kıstaslı Analizi, 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, İstanbul, 1-8
- Anbalagan, R. ve Singh, B., 1996. Landslide Hazard and Risk Assessment Mapping of Mountainous Terrains- A Case Study from Kumaun Himalaya, India, Engineering Geology, 43, 237-246.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain, Engineering Geology, 32, 269-277.
- Atkinson, P.M. ve Massari, R., 1998. Generalized Linear Modelling of Susceptibility to Attributes, Engineering Geology, 32, 81-100.
- Ayalew, L., ve Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, Geomorphology, 65 1-2, 15-31.
- Ayenew, T., ve Barbieri, G., 2005. Inventory of Landslides and Susceptibility Mapping in the Dessie Area, North Ethiopia, Engineering Geology, 77 1-2, 1-15
- Aytekin, M., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi ve Heyelanlar, Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Potansiyeli Sempozyumu, Trabzon, 70-72.
- Baeza, C. ve Corominas, J., 2001. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility by Means of Multivariate Statistical Techniques, Earth Surf. Process. And Landforms, 26, 251-263.

- Bai, S. B., Wang J., Lü G.N., Zhou P.G., Hou S.S. ve Xu S.N., 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, Geomorphology, 115, 23–31
- Bayazıt, M., 1999. Hidroloji, Sayı:1605, 7. baskı, 127-131, Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., 2001. Hydrology, 143-145, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M. ve Marschalko, M., 2010. Landslide susceptibility assessment of the Kralčovany–Liptovský Mikuláš railway case study, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 162–171
- Berggren, B., Fallsvik, J. ve Viberg, L., 1991. Mapping and Evaluation of Landslide Risk in Sweeden, Proc.16th Int. Landslide Conf., Balkema, Rotterdam, 873-878.
- Blumenthal, M.M., 1950. Beitræge zur Geologie des Landschaften am Mittleren und Unteren Yeşilirmak (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar), Maden Tetkik ve Arama Enst. Yayını, seri D. no:4, Ankara.
- Bonham-Carter, G.F., 1996. Geographic information systems for geoscientists, modelling with GIS. Pergamon Press, Canada, 398 p.369
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F. ve Ataoğlu, E., 2000. Reliability of landslide isopleths maps, Bulletin of the International Association of Engineering Geology and Environment, 58, 95-98.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., ve Duman, T.Y., 2005. Susceptibility Assessments of Shallow Earthflows Triggered by Heavy Rainfall at Three Catchments by Logistic Regression Analyses, Geomorphology, 72, 250- 271
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F. ve Sole, A., 2008. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, Natural Hazards, 45, 55–72.
- Carrara, A, Cardinali, M., Detti, R., Guzetti, F., Pasqui, V. ve Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard, Earth Surf. Process. And Landforms, 16, 427-445.
- Cascini, L., Critelli, S., Gulla, G., ve Di Nocera, S., 1991. A methodological approach to landslide hazard assessment: a case history. Proc. 16th Int. Landslide Conf., Balkema, Rotterdam, 899-904.
- Çevik, E., 2002. GIS- Based Landslide Susceptibility Mapping for the Segment (60-83 km) of NG Pipeline, North of Hendek, MSc. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Geo. Eng. Dept, METU, Ankara.

- Çevik, E. ve Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, 44 949-962.
- Champati ray P.K., Dimri S., Lakhera R.C. ve Sati S., 2006. Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya , Landslides Springer-Verlag, 4, 101-111.
- Chau, K.T. ve Chan, J.E., 2005. Regional Bias of Landslide Data in Generating Susceptibility Maps Using Logistic Regression: Case of Hong Kong Island, Landslides, 2, 280-290.
- Chung, C.F. ve Fabbri, A.G., 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. Photogrammetric Eng. And Remote Sen.,65 (12), 1388-1399.
- Clark, W.A.V. ve Hoskin, P.L., 1986. Statistical Methods for Geographers, John Wiley and Sons., New York.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2002. A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method, Geomorphology, 48, 4, 349-364.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2006. A GIS-Based Automated Procedure for Landslide Susceptibility Mapping by the Conditional Analysis Method: The Baganza Valley Case Study (Italian Northern Apennines), Environmental Geology, 50, 941-961
- Cornforth, D.H., 2005. Landslides in Practice, Investigations, Analysis, and Remedial/Preventative Options in Soils, M.G. Anderson and K.S. Richards (eds.), John Wiley and Sons, 4.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2002. Landslides on Natural Terrain Physical Characteristics and Susceptibility Mapping in Hong Kong, Mountain Research and Development, 22, 1 40-47
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2001. Terrain-Based Mapping of Landslide Susceptibility Using a Geographical Information System: A Case Study, Can. Geotech. J., 38, 911-923.
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2002. Landslide Characteristics and Slope Instability Modelling Using GIS, Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology, 42, 213-228
- Davis, T.J. ve Keller,C.P., 1997. Modelling uncertainty in natural resource analysis using fuzzy sets and Monte Carlo simulation: slope stability prediction, Int. J. Geog. Inf. Sci.,11, 409-434

- Demir, G., 2004. Heyelanlar ve Rize Yöresine Ait Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- D.M.İ.G.M., 2008. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, (<http://www.dmi.gov.tr/indeks.aspx>).
- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A. ve Sonmez, H., 2006. Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Zoning of Cekmece Area, İstanbul, Turkey, Environmental Geology, 51, 241-256
- Eastman, J.R., 2004. IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, USA, pp 328.
- Environmental System Research Institute (ESRI), 2002. Using ArcGIS 9.1. Redlands CA. ESRI, Inc.
- Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C., 2004. Use of Fuzzy Relations to Produce Landslide Susceptibility Map of a Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey), Engineering Geology, 75, 229-250.
- Ercanoğlu, M., 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 979-992.
- Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide-Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach, Environmental Geology, 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi – Yenice Kuzeyi), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erener, A. ve Kaynia, M.A., 2007. İsveç'te Cbs Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalaması Uygulaması, Tmmob Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 30 Ekim –02 Kasım, K.T.Ü., Trabzon, II.Kitap, 925-933.
- Erener, A., Şebnem, H. ve Düzgün, B., 2010. Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), Landslides, Volume 7, 55-68.
- Erguvanlı, K., 1994. Mühendislik Jeolojisi, 5.Baskı, Seç Yayın, İstanbul.
- Ermini, L., Catani, F. ve Casagli, N., 2004. Artificial Neural Networks Applied to Landslide Susceptibility Assessment, Geomorphology, 66, 327-343.
- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R. ve Montero, J.C., 1999. Verification of Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study, Earth Surface Process and Landforms, 24, 537-544.

- Finlay, P.J. ve Fell, R., 1997. Landslide: Risk perception and acceptance, Can. Geotech. J., 34, 169-188.
- Gökçe, O., Demir, A. ve Özden Ş., 2006. Türkiye’de Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulanması (Afet Envanteri 1950-2005), 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 23-40.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y. ve Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity, Eng. Geol., 81, 65-83
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, Yerbilimleri, 23, 189-206.
- Gomez, H. ve Kavzoğlu, T., 2004. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, Engineering Geology, 78, 11-27.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P. ve Foltz, R.B., 2000. Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and GIS, 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling, Alberta, Canada, 9 pp.
- Gorsevski, P.V., ve Jankowski, P., 2008. Discerning landslide susceptibility using rough sets. Computers, Environment and Urban Systems, 32, 53-65.
- Guzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. ve Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.
- Guzzetti, F., Cardinalli, M. Reichenbach, P. ve Carrara, A., 2000. Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, Environmental Management, 25, 3, 247-263.
- Gritzner, M.L., Marcus, W.A., Aspinall, R. ve Custer, S.G., 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes. Payette River, Idaho, Geomorphology, 37, 149-165.
- Guzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Gali, M. ve Ardizzone, F., 2005. Probablistic landslide hazard assessment at the basin scale, Geomorphology, 72, 272-299
- Hasekioğulları, G. D., 2010. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hosmer, D.W. ve Lemeshow, S., 1989. Applied regression analysis, Wiley, New York.

- IAEG (International Association of Engineering Geology), Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation, 1976. UNESCO Pres, Paris, 79 p.
- Kamp, U., Growley B. J., Khattak, G. A. ve Owen, L. A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region, Geomorphology, 101, 631–642
- Kawabata, D. ve Bandibas J., 2009. Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN), Geomorphology, 113, 97–109.
- Komac, M., 2006. A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine Slovenia, Geomorphology, 71 1-4, 17-28.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2004. Landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea, Int J Remote Sensing, 25, 2037-2052.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S. ve Park, H.J., 2003. Determination and Application of the Weights for Landslide Susceptibility Mapping Using an Artificial neural Network, Engineering Geology, 71, 289-302.
- Lee, C.F., Ye. H., Yeung, M.R., Shan, X. ve Chen, G., 2001. A GIS-Based Methodology for Natural Terrain Landslide Susceptibility Mapping in Hong Kong, Episodes, 24, 3, 150-159.
- Lee, S. ve Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40, 1095-1113
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. Int. J. Remote Sens., 25, 2037- 2052.
- Lee, S. ve Sambath, T., 2006. Landslide Susceptibility Mapping in the Damrei Romel Area, Cambodia Using Frequency Ratio and Logistic Regression Models, Environmental Geology, 50, 847-855.
- Lee, S. ve Talib, J. A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, Environmental Geology, 47, 982–990
- Lee, S., 2005. Application of Logistic Regression Model and Its Validation for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Remote Sensing Data, Int. J. Remote Sensing, 26, 1477-1491.
- Lee, S. ve Pradhan, B., 2006. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, Landslides, 33-41.
- Luzi, L., Pergalani, F., ve Terlien, M.T.J., 2000. Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems, Engineering Geology, 58, 313-336.

- Luzi, L. ve Pergalani, F., 1999. Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The “Oltre Po Pavese” Case History (Region Lombardia-Italy), National Hazard, 20, 57-82.
- Maguire, D. J., 1992. An Overview and Definition of GIS, in maguire D. J., Goodchild M, Rhind d (eds.), GIS Principles and Applications, Longman, London, Vol.1.
- Martinez-Alegria, R., Galcon, C.O. ve Castro, J.T., 2000. Determination of landslide prone areas in the Pisuegra watershed using multi criteria analysis, Proc. 2nd. ICGESA 2000 Int.conf. on GIS for Earth Sci. Appl., Menemen, İzmir, 1-7
- Mazman, T., 2005. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve İstatistiksel Analiz Teknikleri ile Kumluca Havzasının(GD Bartın) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü., Adana.
- Nagarajan, R., Mukherjee, A., Roy, A., ve Khire, M.V., 1998. Temporal Remote Sensing Data and GIS Application in Landslide Hazard Zonation of Part of Western Ghat, India. Int. J. Rem. Sens., 9 , 4, 573-585.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M.V., 2000. Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, Bull. Engineering Geology., 58, 275-287.
- Nandi, A. ve Shakoor A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, Engineering Geology, 110, 11–20
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y. ve Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), Geomorphology, 94, 401–418.
- Okay, A. I., 1984. Kuzey Anadolu’da yer alan metamorfik kuşaklar. Proceedings of Ketin Symposium, Publications of the Turkish Geological Survey., 82–92.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, E., Oral, A., Keskin, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., 1980. Kuzey Anadolu Fayı-Kırşehir Masifi arasının temel jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enst. Rap., 6722 ,139, Ankara.
- Öztürk, A., 2002. Güzelce(Tokat) Barjı Eksen Yeri Jeolojisi ve Malzeme Etüdüleri, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V. ve Chander, R., 1998. Landslide Zoning in a Part of The Garhwal Himalayas, Environmental Geology, 36, 3-4, 325-334.
- Parise, M., 2001. Landslide Mapping Techniques and Their Use in the Assessment of the Landslide Hazard, Phys. Chem. Earth, 26(9), 697-703.
- Perotto-Baldivieso, H. L., Thurow, T. L., Smith, C. T., Fisher, R. F. ve Wu, X. B., 2004. GIS-Based Spatial Analysis and Modeling for Landslide Hazard Assessment in

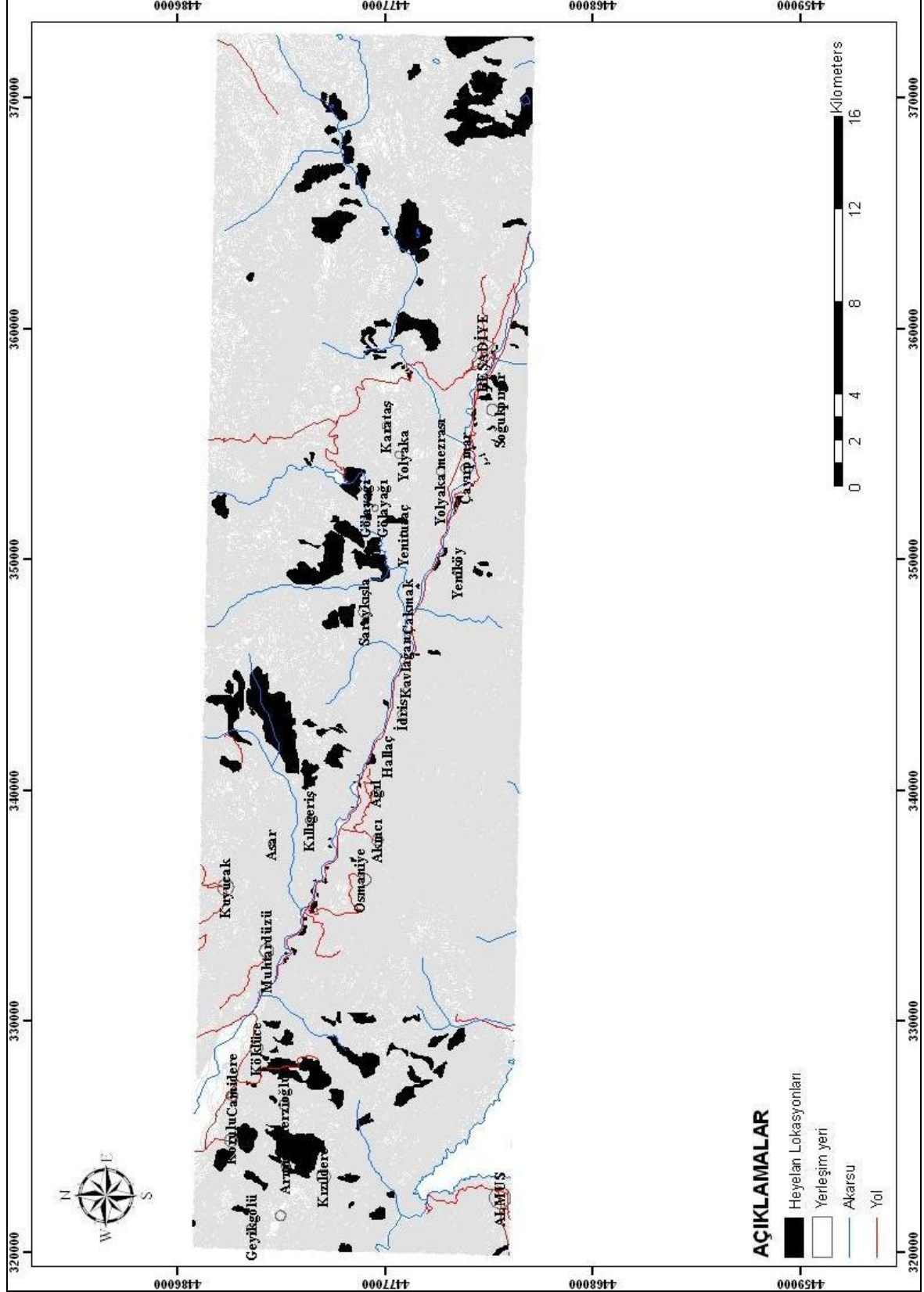
- Steeplands, Southern Honduras, Agriculture, Ecosystems & Environment, 103,1, 165-176.
- Pradhan, B., Lee, S. ve Buchroithner M.F., 2009. Use of geospatial data and fuzzy algebraic operators to landslide-hazard mapping, Appl Geomat, 1, 3–15
- Pradhan, B. ve Lee, S., 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, Environmental Modelling & Software, 25, 747–759
- Pradhan, B., 2010. 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, 1244–1256
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. ve Vitek, J. D., 2010. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes, Geomorphology, 122, 25–38
- Remondo, J., Gonzalez, A., Teran, J.R.D.D., Cendrero, A., Fabbri, A. ve Chung, C.J.F., 2003. Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications From A Case Study in Northern Spain, Natural Hazards, 30, 437-449.
- Rowbotham, D.N. ve Dudycha, D., 1998. GIS modelling of slope stability in Phewa Tal watershed, Nepal, Geomorphology, 26, 151-170.
- Ruff, M. ve Czurda, K., 2008. Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria), Geomorphology, 94, 314-324.
- Sağıroğlu, S., Besdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., Kayseri.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D. ve Marturia, J., 2003. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain), Natural Hazards, 30, 281-295.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, M.T.A. Derleme No:8174, 394, Ankara.
- Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, 176 s., Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun tektonik özelliği, Doktora tezi, İ. T. Ü., İstanbul.
- Sezer, E., Pradhan, B. ve Gökçeoğlu C., 2010. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia, Expert Systems with Applications, Elsevier, Article in press.

- Skempton, A. W. ve Hutchinson, S.N., 1969. Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng., Mexico City, 291-340
- Soeters, R.S. ve Van Westen, C.J., 1996. Slope stability recognition, analysis and zonation in landslide investigation and mitigation, Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., 129-177.
- Süzen, M.L., 2002. Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information System and Remote Sensing, Ph.D. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Geo. Eng. Dept, METU, Ankara.
- Tatar, O., 1988. Karayaka (Erbaa) ile Serenli(Niksar) arasında Kuzey Anadolu Fay Zonunun jeolojik ve tektonik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, C.Ü., Sivas.
- Tatar, O., 2005. Gürsoy, H., Koçbulut, F. ve Mesci, L., Aktif Fay Zonları ve Doğal Afetler: 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar-Sivas) Heyelanı, İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Seminerler Serisi, İstanbul.
- Tatar, O., Türk, T., Gürsoy, H., Hastaoğlu, K., Ayazlı, E., Poyraz, E., Gürsoy, Ö., Zabcı, C., Demir, G., Dikmen, Ü., Akın, M., Mesci, L., Koçbulut, F., Kavak, K.Ş., Sezen T.F. ve Polat, A., 2007. Kelkit vadisi afet bilgi sistemi (kabis) altyapısının oluşturulması, Ulusal coğrafi bilgi sistemleri kongresi, K.T.Ü, Trabzon
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, 424, Cem Web Ofset Ltd., Ankara.
- Temiz, H., 1988. Niksar (Tokat) güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay Zonunun Jeolojik ve tektonik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, C.Ü., Sivas.
- Terlemeç, İ. ve Yılmaz, A., 1980. Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye Arasında Kalan Yörenin Stratigrafisi, TJK. Bülteni, 23, 179-191.
- URL-1, www.bayındırlık.gov.tr, 11 Ocak 2011.
- URL-2, www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/tr_frames.htm, 10 Kasım 2009.
- URL-3, <http://www.teara.govt.nz>, 12 Şubat 2011
- URL-4, www.bgis.org, 02 Ocak 2011
- Van Den Eechaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. ve Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of Landslide Susceptibility Using Rare Events Logistic Regression A Case Study in the Flemish Ardennes (Belgium). Geomorphology, 76, 392-410.
- Van Vesten, C.J., Rengers, N. ve Terlien, M.T.J., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, Geol. Rundsch., 86, 404-414.

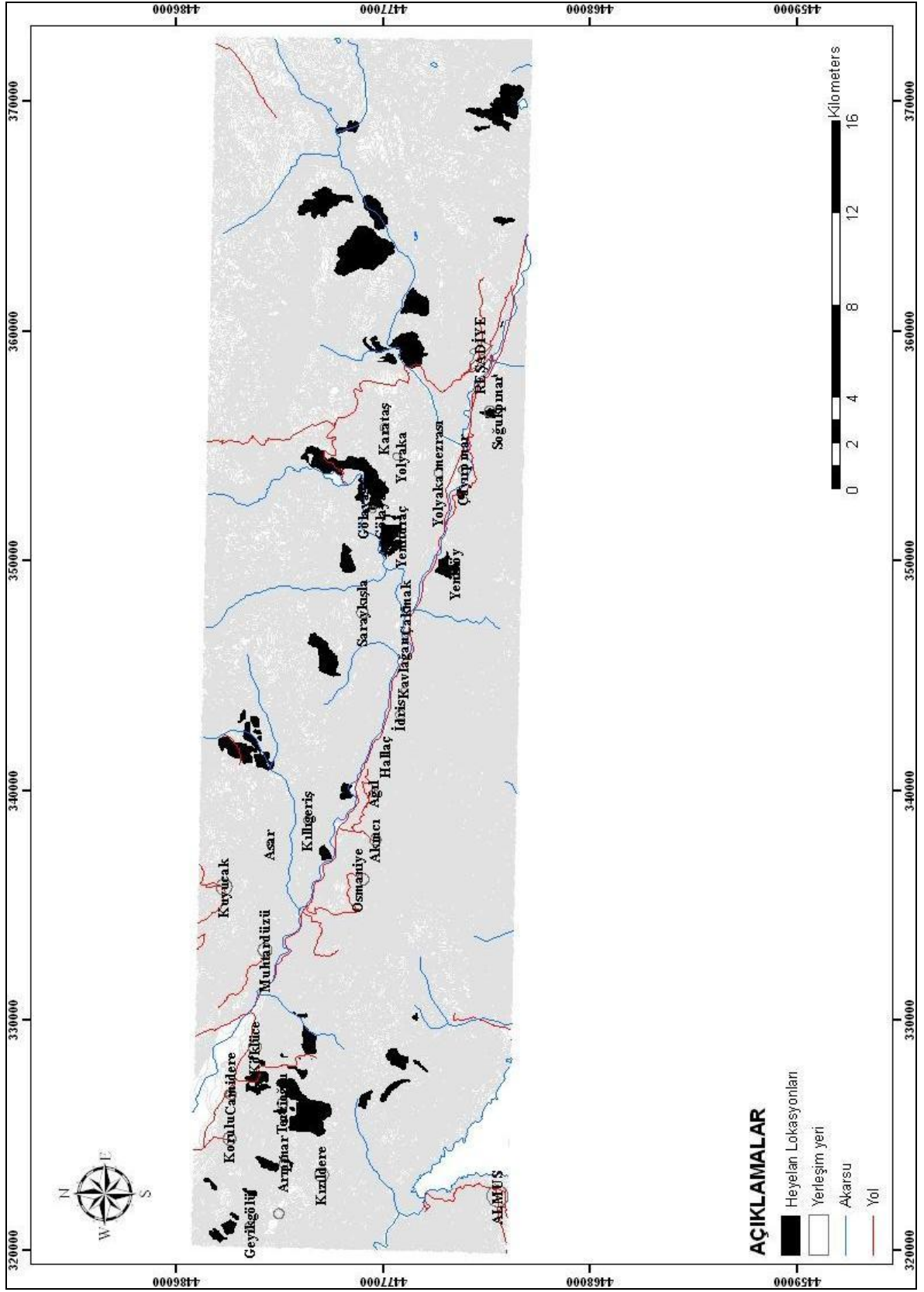
- Van Westen, C.J., Rengers, N. ve Soeters, R., 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assesment, Natural Hazards, 30, 399-419.
- Van Westen, C.J., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation, ITC Publication no: 15. International Institute for Aerospace and Earth Resources Survey, Enschede, The Netherlands, 245 pp.
- Van Westen, C.J., 1993. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geological Hazard Mitigation, ITC-Journal, 4, 393-399.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster R. L. & Krizek R. J. Ed., Landslides, analysis and control. Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, pp. 11–33.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, UNESCO Pres, Paris, 63.
- Wachal, D. J. ve Hudak, P. F., 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA, GeoJournal, 51 (3), 245-253.
- Wu, C.H. ve Chen, S.C., 2009. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method, Geomorphology, 112, 190–204
- WP/WLI (International Geotechnical Societies Unesco Working Party On World Landslide Inventory), 1993. A Suggested Method For Describing The Activity Of A Landslide, Bulletin International Association For EngineeringGeology, 53-57.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yalçın, A. ve Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey), Natural Hazards, 41, 241-255
- Yalçın, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey):Comparisons of results and confirmations, Catena, 72, 1–12.
- Yeşilnacar, E. ve Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). Engineering Geology, 79, 251-266
- Yetkil, V., 2009. Gölova (Sivas) Güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Yılmaz, A., 1984. Tokat (Dumanlı dağı) ile Sivas (Çeltek dağı) dolaylarının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu, MTA Derg., Ankara, 99/100, 1, 18.

- Yılmaz, C., 1992. Kelkit (Gümüşhane) yöresinin stratigrafisi, Jeoloji mühendisliği, s. 40, 50-62, Trabzon.
- Yılmaz, I., 2009. The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping by conditional probability and artificial neural networks, Environmental Earth Science, 60, 505-519.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul.
- Yüksel, N., 2007. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlık Haritalarının Olusturulmasında İstatistiksel Yöntemlerin Ve Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zhou, C.H., Lee, C.F., Li, J. ve Xu, Z.W., 2002. On the Spatial Relationship Between Landslides and Causative Factors on Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology, 43, 197-207.

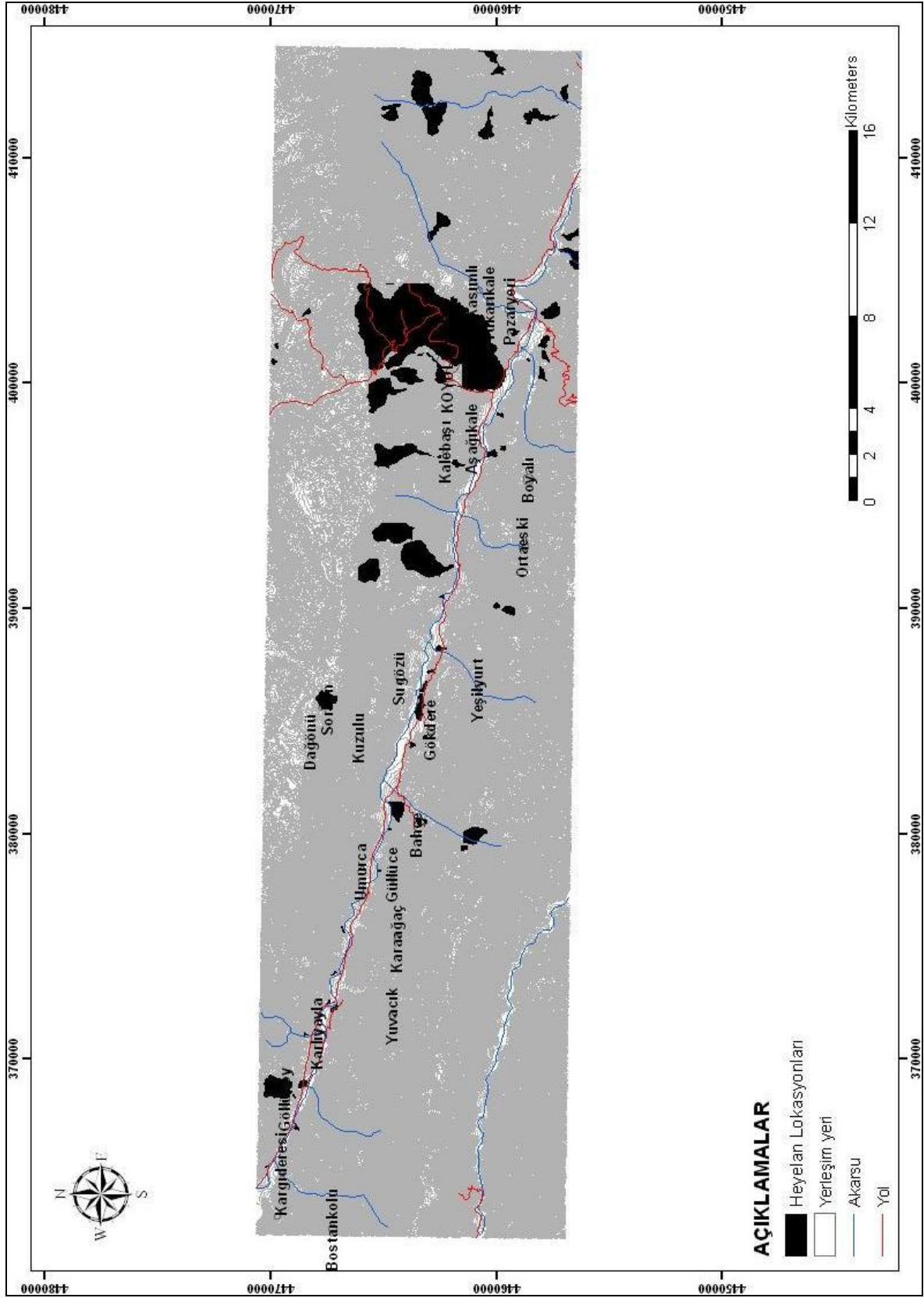
6. EKLER



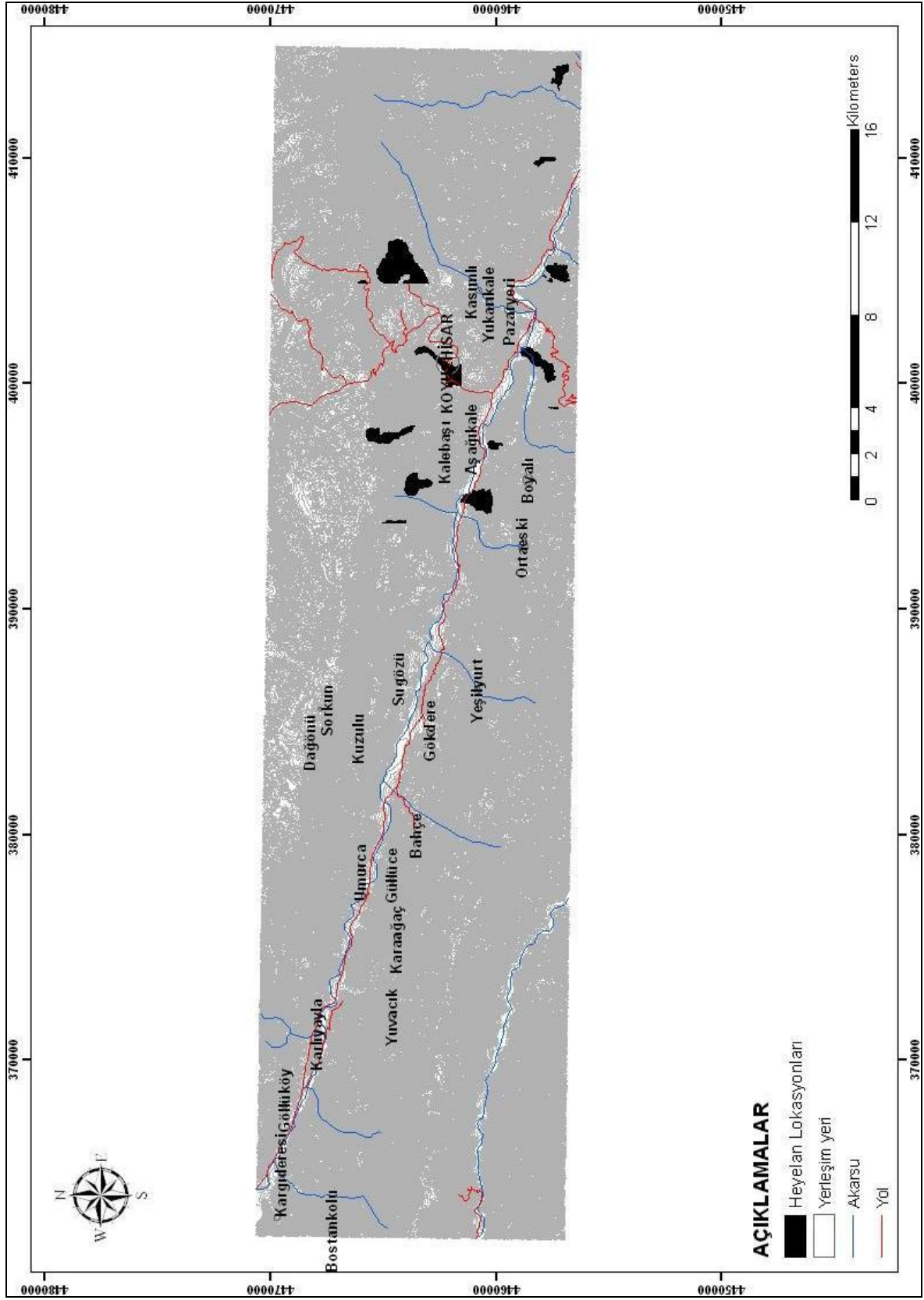
Ek Şekil 1. İnceleme alanı D1 için analizde kullanılan heyelanlar



Ek Şekil 2. İnceleme alanı D1 için performans analizinde kullanılan heyelanlar



Ek Şekil 3. İnceleme alanı D2 için analizde kullanılan heyelanlar



Ek Şekil 4. İnceleme alanı D2 için performans analizinde kullanılan heyelanlar

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan DEMİR 1979 yılında Trabzon ilinde doğdu. İlkokulu Ankara, ortaokulu Almanya ve liseyi Erzincan' da bitirdi. 1996 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bu bölümde öğrenimini 2000 yılı bahar yarıyılında tamamladı. 2000 yılı Aralık ayında Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2001 yılı Ocak ayında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimi için gönderildi. 2004 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimini tamamlayarak İnşaat Yüksek Mühendisi unvanını aldı. 2010 yılında Askerlik görevini 331. Kısa Dönem Er olarak Erzincan'da tamamladı. Halen Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce ve Almanca bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.