

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Senem TEKİN

**KADİRLİ – ASLANTAŞ (OSMANİYE) DOLAYLARININ CBS TABANLI
HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KADIRLI – ASLANTAŞ (OSMANİYE) DOLAYLARININ CBS TABANLI
HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ**

Senem TEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 13/01/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Doç. Dr. Tolga ÇAN
DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ÇETİN
ÜYE

Doç. Dr. Cüneyt GÜLER
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2011YL10**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KADIRLI – ASLANTAŞ (OSMANİYE) DOLAYLARININ CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ

Senem TEKİN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Tolga ÇAN
Yıl: 2014, Sayfa: 92
Jüri : Doç. Dr. Tolga ÇAN
: Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Doç. Dr. Cüneyt GÜLER

Bu çalışmada, Kadirli ilçesi dolayında toplam 523 km²'lik alanın heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Envanter haritasına göre heyelanların alansal dağılımı çalışma alanının yaklaşık % 3'üne karşılık gelmekte olup, hareketin tipi genel olarak dairesel ve kompleks kayma şeklinde gözlenmektedir. Ortalama heyelan alanı 0,07 km² ve 0,1 km²'nin altındaki heyelanlar toplam heyelanların % 80'ini oluşturmaktadır. Bakü Tiflis Ceyhan petrol boru hattının 30 km'lik bölümü çalışma alanı içerisinde geçmektedir. Heyelanlar bölgede en fazla, engebeli arazi ünitelerini oluşturan Geç Pliyosen yaşlı Kadirli formasyonu içerisinde gözlenmektedir. Kadirli formasyonu, çalışma alanının % 65'inde yüzeylenmekte olup litolojik olarak zayıf çimentolu çakıtaşı, kumtaşı ve kilitaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Landsat TM uydu görüntüsü kullanılarak yapılan arazi kullanım haritasına göre; çalışma alanının % 40'nın bitki örtüsüz ve tarım arazilerine karşılık geldiği belirlenmiştir. Çalışma alanının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı heyelan duyarlılık haritası, mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel değerlendirmede haritalama ünitesi olarak 25*25m'lik pikseller kullanılmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası olasılık değerlerine göre çok düşük (p < 0,18) ve çok yüksek (p > 0,72) aralığında 5 sınıfta değerlendirilmiştir. Duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgeler çalışma alanının % 35,54'üne karşılık gelmekte olup bu bölgelerde heyelanların % 86,46'sı bulunmaktadır. Oldukça yüksek performansa sahip duyarlılık haritasının bölgede yapılacak üst ölçekli planlama çalışmalarına önemli katkı sağlayacak nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri,Heyelan envanter, Heyelan duyarlılık, Kadirli formasyonu, Mantıksal regresyon.

ABSTRACT

MSc. THESIS

GIS BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF THE KADIRLI - ASLANTAŞ (OSMANIYE) REGION

Senem TEKİN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGY

Supervisor : Assoc. Prof.Dr. Tolga ÇAN
Year: 2014, Pages: 92

Jury : Assoc.Prof. Dr. Tolga ÇAN
: Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Assoc. Prof. Dr. Cüneyt GÜLER

In this study, landslide susceptibility assessments were achieved in 523 km² area around Kadirli town. Inventory map revealed that 3 % of the area affected by landslides which are mostly rotational and complex movements in nature. The average landslide size is 0,07 km² and the landslides smaller than 0.1 km² area constitute 80 % of all. 30 km.section of the Bakü Tiflis Ceyhan oil pipeline pass through the study area. Some settlements, agricultural lands and some places in vicinity of the pipeline have been adversely affected by landslides. Landslides are mostly located in Kadirli formation of Upper Pliocene which mainly corresponds to hillside morphologic units. Kadirli formation crops out in the 65 % of the entire study area and made up of slightly cemented conglomerate, sandstone and claystone intercalations. The land use map prepared using Landsat TM image revealed that 40 % of the area is represented by bare and farm lands.The GIS based landslide susceptibility map of the study area was prepared using logistic regression analysis. The landslide conditioning factors used in the statistical analysis were geological, landform classification, land use, curvature, aspect, slope, topographic wetness index, stream power index and slope length factor map. 25*25 m pixels were used as mapping units during the statistical assessments. The obtained landslide susceptibility map divided into five intervals according to the probability values varying between very low susceptible ($p < 0,18$) and very high susceptible ($p > 0,72$) classes. The high and very high susceptible areas corresponds 35,54 % of the entire area where 86,46 % of the landslides were located here into. The accomplished landslide susceptibility map with relatively high performance could be used during the medium scale planning strategies.

Keywords: Landslide inventory, Landslide susceptibility, Logistic regression, Kadirli formation, Geographic Information Systems.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “KADİRLİ-ASLANTAŞ (OSMANİYE) DOLAYLARININ CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRİLMESİ” konulu Yüksek lisans tezini veren, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile daima yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tolga ÇAN’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince bölüm imkanlarını kullanmamı sağlayan Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Osman PARLAK’a, diğer bölüm hocalarıma ve araştırma görevlilerine ve çalışmam sırasında teknik destek veren Yüksek jeoloji mühendisi Tolga MAZMAN ile Yrd. Doç. Dr. Muhterem KÜÇÜKÖNDER'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında Türkiye Heyelan Envanter Haritası projesi verilerinden yararlanma imkanını sağladığından dolayı Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörü Sayın Doç. Dr. Tamer YiĐit DUMAN’a teşekkür ederim.

Son olarak daima yanımda olan maddi manevi yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen ve varlıklarıyla bana güç veren AİLEME çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Genel Jeoloji	3
2.2. Heyelanlar İle İlgili Yapılan Çalışmalar	4
2.3. Heyelan Duyarlılık İle İlgili Çalışmalar	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	19
3.1.2. Çalışma Alanının Jeolojisi	20
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Mekansal Olabilirlik	28
3.2.2. Haritalama Birimleri	29
3.2.3. Mantıksal Regresyon Yöntemi ve Doğrulama Yöntemleri	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. Çalışma Alanının Heyelan Envanteri	39
4.2. Heyelanları Hazırlayıcı Faktörler	43
4.2.1. Sayısal Yükseklik Modeli	43
4.2.2. Yamaç Eğimi	44
4.2.3. Yamaç Yönelimi	45
4.2.4. Topografik Nemlilik İndeksi	46
4.2.5. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi	47
4.2.6. Nehir Aşındırma Gücü İndeksi	49

4.2.7. Güneş Radyasyonu.....	51
4.2.8. Arazi Sınıflaması ve Yamaç Durum İndeksi	54
4.2.9. Kesit, Düzlem ve Teğetsel Yamaç Şekli.....	56
4.2.10. Arazi Kullanımı.....	59
4.2.11. Pürüzlülük İndeksi	60
4.2.12. Eğim/Yamaç Yönelimi İndeksi.....	61
4.2.13. Ortalama Eğim İndeksi	62
4.3. Heyelanları Tetikleyici Faktörler	63
4.4. Heyelan Duyarlılık Haritaları.....	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Hata matrisi (Confusion Matrix).....	34
Çizelge 3.2. Kappa ve Pabak indekslerine göre model iyiliği dereceleri	35
Çizelge 3.3. Alıcı İşletim Karakteristiği (ROC) eğrisi sınıflaması	36
Çizelge 4.1. Güneş radyasyonu değerlerinin hesaplanmasında kullanılan regresyon eşitliklerine ait girdi parametreleri	52
Çizelge 4.2. Güneş radyasyonu değerlerinin hesaplanmasında McCune ve Keon (2002) tarafından önerilen regresyon eşitlikleri.....	53
Çizelge 4.3. Heyelanlara ait Cohen's Kappa ve Pabak indeks değerleri.....	67
Çizelge 4.4. Heyelan duyarlılık modellerinde çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanı, analiz ve test heyelanları içindeki % dağılımı.....	68
Çizelge 4.5. Mantıksal regresyon sonucunda 1_2 nolu veriseti hata matrisi.....	69
Çizelge 4.6. Alıcı İşletim Karakteristiği (ROC) eğrilerine ait istatistiksel değerler..	69
Çizelge 4.7. Mantıksal regresyon 1_2 nolu veriseti analiz sonuçları.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Çalışma alanının genel konumu	1
Şekil 2.1. Türkiye’deki doğal afetlerin, afet olay sayısı (a) ve toplam afettede sayısına göre (b) dağılımı	5
Şekil 2.2. Türkiye’de heyelanlı yerleşim birimlerinin mekansal dağılımı	6
Şekil 2.3. Türkiye Heyelan Envanter Haritası	7
Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası	21
Şekil 3.2. Çalışma alanı içerisinde Gebenköy formasyonunun genel görünümü	23
Şekil 3.3. Çalışma alanı içerisinde Kadirli formasyonu genel görünümü	23
Şekil 3.4. Kadirli formasyonun killi seviyelerinin görünümü	24
Şekil 3.5. Kadirli formasyonun çakıllı seviyelerinin görünümü	24
Şekil 3.6. Çalışma alanı içerisinde Bulgurkaya olistostromu genel görünümü	25
Şekil 3.7. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri (Aleotti ve Chowdury, 1999)	28
Şekil 4.1. Çalışma alanı gölgeli kabartma görüntüsü üzerine bindirilmiş çok zamanlı heyelan envanter haritası	40
Şekil 4.2. Kadirli-Andırın karayolunda gelişen dairesel heyelan	41
Şekil 4.3. Toputepe mevki kompleks kayma tipinde heyelan	41
Şekil 4.4. Söğütlüdere kuzeybatısı kompleks kayma tipinde heyelan	42
Şekil 4.5. Bakü-Tiflis-Ceyhan boru hattı güzergahında gelişen heyelan	42
Şekil 4.6. Çalışma kapsamında kullanılan heyelanları hazırlayıcı faktörler	43
Şekil 4.7. Sayısal yükseklik modeli	44
Şekil 4.8. Çalışma alanının yamaç eğim haritası	45
Şekil 4.9. Çalışma alanının yamaç yönelimi haritası	47
Şekil 4.10. Çalışma alanının topografik nemlilik indeksi	48
Şekil 4.11. Çalışma alanının sediman taşıma gücü indeksi haritası	49
Şekil 4.12. Çalışma alanının nehir aşındırma gücü indeksi haritası	51
Şekil 4.13. Çalışma alanının güneş radyasyon haritası	54
Şekil 4.14. TPI’nin morfolojik sınıflara göre dağılımı	55

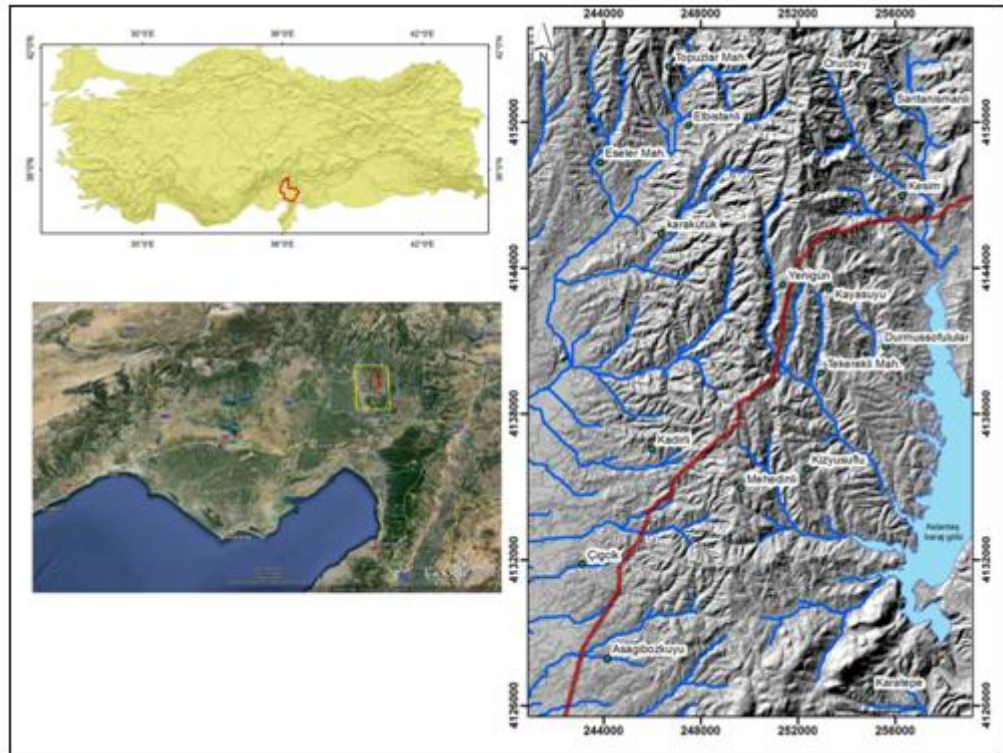
Şekil 4.15. Çalışma alanının Weiss 2001'e göre arazi sınıflaması	56
Şekil 4.16. Çalışma alanının düzlemsel (a), kesit (b) ve teğetsel (c) yamaç şekli haritaları	58
Şekil 4.17. Çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası	60
Şekil 4.18. Çalışma alanına ait pürüzlülük haritası	61
Şekil 4.19. Çalışma alanına ait eğim/yamaç yönelimi haritası.....	62
Şekil 4.20. Çalışma alanına ait ortalama eğim haritası	63
Şekil 4.21. Kadirli meteoroloji istasyonuna ait 1998-2012 yılları toplam yağış değerleri.....	64
Şekil 4.22. Çalışma alanına ait uzun yıllar aylık ortalama yağış değerleri	65
Şekil 4.23. 2009 Mart ve 2010 Ocak ayları kümülatif günlük yağış verileri.....	65
Şekil 4.24. Model yapılandırma eklentisi ile veri seti oluşturulması	66
Şekil 4.25. Çalışma alanındaki mevcut heyelanlar ile ilgili alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrisi.....	70
Şekil 4.26. Oluşturulan 1_1, 1_2, 1_3 veri setlerinden elde edilen duyarlılık haritaları	72
Şekil 4.27. Oluşturulan 2_1, 2_2, 2_3 veri setlerinden elde edilen duyarlılık haritaları	73
Şekil 4.28. Oluşturulan 3_1, 3_2, 3_3 veri setlerinden elde edilen duyarlılık haritaları	74
Şekil 4.29. Çalışma alanına ait sonuç heyelan duyarlılık haritası	76
Şekil 4.30. Heyelanların duyarlılık sınıflarına göre dağılımı.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

AUC	: Egri altında kalan alan
BTC	: Bakü Tiflis Ceyhan Boru hattı
β	: Yamaç eğimi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
MTA	: Maden Tetkik Arama
MR	: Mantıksal regresyon
SPI	: Nehir aşındırma gücü indeksi
ROC	: Alıcı işletim karakteristik eğrisi
TM	: Tematik haritalama
TPI	: Topoğrafik durum indeksi

1. GİRİŞ

Heyelanlar dünyada olduğu gibi ülkemizde de özellikle belli bölgelerde sıkça tekrarlanmakta olup, zaman zaman doğal afete dönüşerek oldukça önemli sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasında heyelan duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirme çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada; Çukurova bölgesi içinde Kadirli ilçesi (Osmaniye) ile Aslantaş Barajı arasında ki toplam 523 km²'lik bir alanın heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 1.1). Çalışma alanı içerisinde heyelanlar belirli bölgelerde yoğunluk göstermekte ve yerleşim birimlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla birlikte BTC petrol boru hattının yaklaşık 30 km'lik bölümü de çalışma alanı içerisinde geçmektedir. Bölgede meydana gelen heyelanlar, zaman zaman boru hattı ve çevresinde de risk oluşturmaktadır (Tekin ve Çan, 2013a).



Şekil 1.1. Çalışma alanının genel konumu.

Heyelan duyarlılık haritalarını oluşturulurken, kütle hareketlerinin karmaşık yapısı ve bu hareketleri kontrol eden faktörler iyi bilinmelidir. Heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliği; kaliteli, doğru, kullanışlı veriye ve analizlerde kullanılacak yöntemin ve modellerin iyi seçilmesine bağlıdır. Bu anlamda, heyelan duyarlılık haritaları genel olarak heyelanları kontrol eden faktörlerin ve heyelanların dağılımı arasındaki ilişkileri ortaya koyarak üretilen haritalardır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması, niteliksel ve niceliksel yaklaşımlar olarak iki ana başlıkta özetlenmektedir. Bu metotlardan niteliksel yöntemler genelde tecrübeye dayalı sezgisel yaklaşımlar veya tematik haritalarının çakıştırılması yöntemlerini içermektedir. Niceliksel yöntemler ise istatistiksel analizler, jeoteknik yaklaşımlar, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır. Günümüzde yazılım-donanım ve özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak, istatistiksel analizler, küçük ve orta ölçekli heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Çan ve ark., 2009).

Bu çalışma, bölgede heyelanlardan kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmaya katkı sağlamak amacıyla iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bölgenin Duman ve ark. (2009a) tarafından ‘Türkiye Heyelan Envanter Haritası’ projesi kapsamında hazırlanmış oldukları heyelan envanter haritası revize edilmiştir. Daha sonra heyelanların oluşumunda etkili olduğu düşünülen çevresel faktörler değerlendirilmiştir. Çevresel faktörler olarak başta jeoloji ve arazi kullanımı yanısıra bölgenin sayısal yükseklik modelinden üretilen birincil ve ikincil türev haritaları olmak üzere toplamda 25 farklı tematik harita Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında hazırlanmıştır. Model yapılandırma teknikleri uygulanarak tüm çalışma alanı için istatistik veri matrisi oluşturulmuştur (Tekin ve Çan, 2013b). Heyelan duyarlılık analizleri için literatüde yaygın olarak kullanılan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan mantıksal regresyon yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu ve performans değerlendirmeleri de ayrıca gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, bölgesel ölçekte çalışma alanında heyelan olaylarını kontrol eden çevresel değişkenler ile heyelanların mekansal olarak meydana gelebileceği alanlar belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında önceki çalışmalar, çalışma alanının jeolojisi ve genel olarak heyelan duraylılık üzerine yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir.

2.1. Genel Jeoloji

Kozlu (1987), Misis-Andırın dolaylarının stratigrafisi ve yapısal evrimi ile ilgili yaptığı çalışmada, Misis-Andırın Tersiyer basenini ayrıntılı tanıtmış, Bulgurkaya formasyonu adı altında Üst Eosen-Oligosen yaşlı olistostromal birimi tanımlayarak, bu olistostrom içindeki blokları Misis-Andırın as birliğine ait olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca Misis-Andırın basenindeki Alt Miyosen yaşlı Gebenköy formasyonu ile Alt-Orta Miyosen yaşlı Aslantaş-Karataş formasyonlarını tarifleyerek, bunların Adana ve İskenderun basen istifleri ile korelasyonu yapmıştır. Bununla beraber bölgedeki önemli tektonik hatları haritalamış ve Misis-Andırın baseninin yapısal jeolojisi hakkında ayrıntılı bilgi vermiştir.

Gökçen ve ark. (1988), Misis ve çevresinde yaptıkları çalışmada Bulgurkaya Olistostromunu yine Misis karmaşığı olarak tanımlamışlar ve Miyosen istifini bu karmaşığın devamı olarak yorumlamışlardır.

Ünlügenç ve ark. (1990), “Neojen Adana Basenin’deki Basen evriminin İncelenmesi” adlı çalışmalarında; inceledikleri alanın Torid Orojenik Kuşağı’ndaki en büyük havzalardan biri olduğunu (yaklaşık 10.000 km²) belirtmişlerdir. Bölgede sekiz litostratigrafik birim ayırtlanmış olup, bu birimlerin toplam kalınlığının 9.000 m’ye ulaştığını ortaya koymuşlardır. Faylar ve diğer yapısal kanıtların Adana Baseni’nin Erken Miyosen’deki başlangıcı boyunca yersel gerilme rejimi ile oluşan Neojen yaşlı birimler içerisinde gözlendiği ifade etmişlerdir.

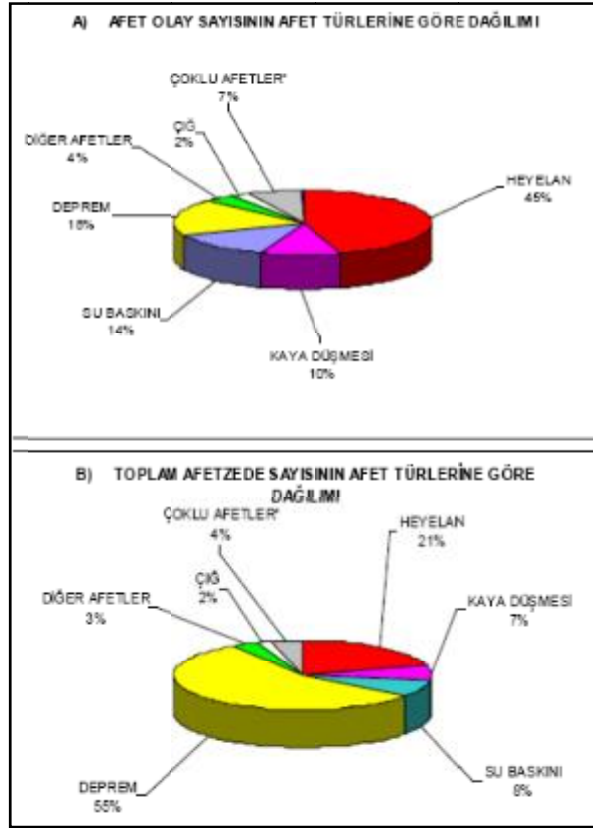
Çalışma alanında yapılmış en kapsamlı çalışmalardan biri Kozlu (1997) tarafından yapılan ‘Doğu Akdeniz Bölgesinde Yer alan Neojen Basenlerinin (İskenderun, Misis-Andırın) Tektono-Stratigrafi Birimleri ve Bunların Tektonik Gelişimi’ başlıklı doktora tez çalışmasıdır. Kozlu (1997) tarafından çalışma alanı

Amanos dağları çevresi ve İskenderun körfezi dolaylarından Yumurtalık bindirmesine kadar olan bölge “İskenderun Neojen As Havzası” veya “İskenderun Havzası”; Mersin-Adana-Karaisalı-Kozan çevresinden, Göksu-Çiçeklidere-Savran fay kuşağına kadar olan bölge (Doğu Torosların güney etekleri), “Adana Neojen As Havzası veya Adana Havzası” olarak tanımlamıştır. Buna göre Osmaniye ili ve çevresinin stratigrafisi Alt Paleozoyik’ten başlayıp, Üst Kretase, Eosen, Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner kadar devam eden bir istif sunmaktadır. Doğuda Amanos dağlarından başlayarak batıya doğru Alt Paleozoikten, Üst Kretase’ye kadar devamlı sayılabilecek bir istif sunmaktadır. Üst Kretase’de ofiyolit üzerlemesi bulunmakta ve yer yerde Eosen yüzeylemeleri gözlenmektedir. Bu çökeller içerisinde yer yer resifal mercekler izlenmektedir. İnceleme alanında güneybatıya doğru gidildikçe grabenleşmenin de etkisiyle bu formasyonlar üzerine Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç çökeller gelmektedir.

Özgül ve Kozlu (2002), “Kozan-Feke (Doğu Toroslar) Yöresinin Stratigrafisi ve Yapısal Konumu ile ilgili Bulgular” başlıklı yayınlarında; Doğu Toroslar’ıda inceleme alanını içine alan Osmaniye ili Kadirli ilçesi sınırları, gerek Toroslar’ın tektonostratigrafi birliklerinin büyük bölümünü kapsamaması, gerekse Kambriyen-Tersiyer aralığının tüm sistemlerini temsil eden kaya-stratigrafi birimlerini bulundurması açısından Toros kuşağının ilginç yönlerinden biri olduğunu belirtmişlerdir.

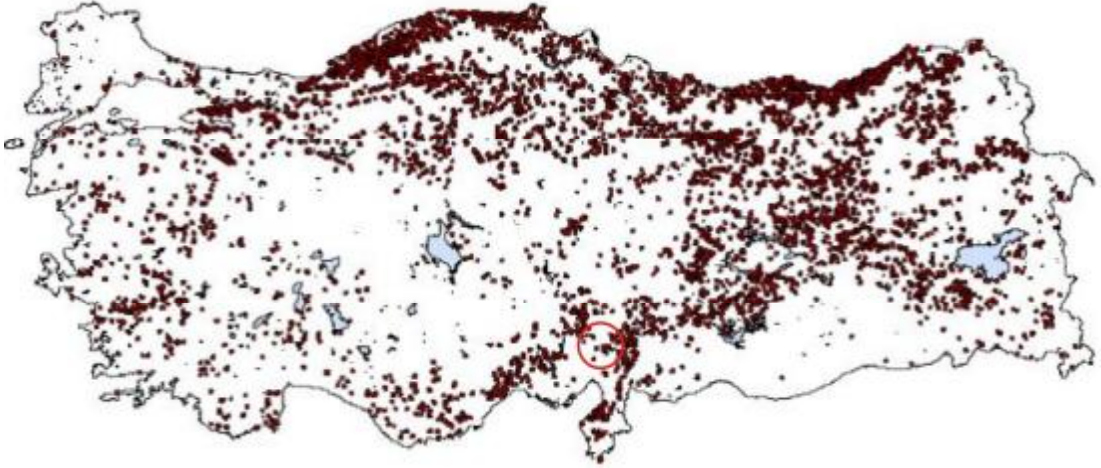
2.2. Heyelanlar ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de ulusal ölçekte, doğal afetlerden kaynaklanan kayıplar için etkilenen konut sayıları baz alınarak yapılmış sınırlı sayıda çalışma mevcuttur İldır (1995), Ergünay (1999) ve Gökçe ve ark., (2008). Değişik dönemleri kapsayan bu çalışmaların tamamında doğal afet olay sayısı baz alındığında heyelanlar ilk sırada (Şekil 2.1a), doğal afetlerden etkilenen konut sayısı baz alınarak yapılan değerlendirmelerde, heyelanlardan kaynaklanan kayıpların, depremlerden sonra ikinci sırada yer aldığı görülmektedir (Şekil 2.1b).



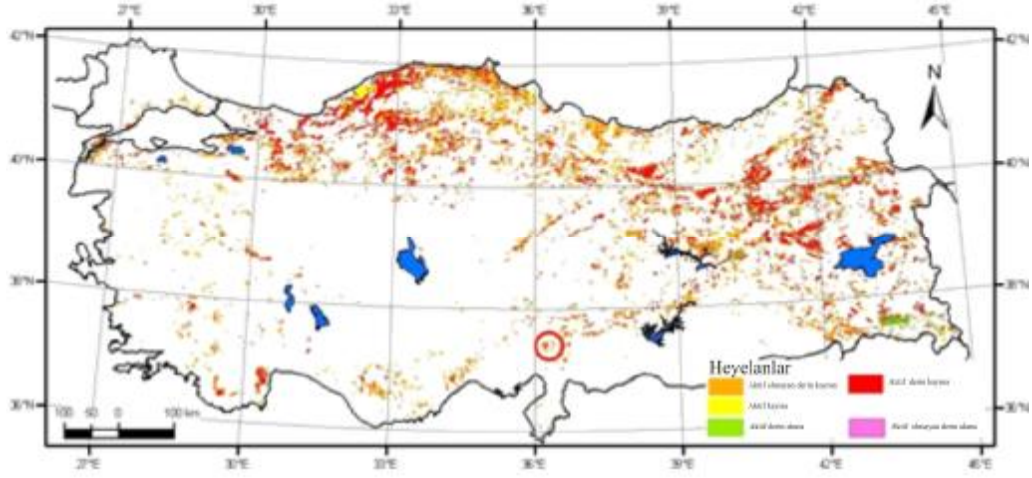
Şekil 2.1. Türkiye'deki doğal afetlerin, afet olay sayısına (a) ve toplam afetlerde sayısına (b) göre dağılımı (Gökçe ve ark., 2008; Çan ve ark. 2009).

Heyelanlı bölgeler için hazırlanan raporlara bağlı olarak hazırlanan, heyelanlı yerleşim birimlerinin dağılımını, heyelanların olduğu tarih ve meydana gelen kayıpların değerlendirildiği haritalar heyelan arşiv envanter haritaları olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de 1950-2008 yılları arasında heyelan afetine uğramış yerleşim birimlerinin dağılımı şekil 2.2'de verilmiştir (Gökçe ve ark., 2008). Buna göre heyelanlar genel olarak Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmakla birlikte Türkiye'nin hemen her yerinde gözlenebilmektedir.



Şekil 2.2. Türkiye’de heyelanlı yerleşim birimlerinin mekansal dağılımı (Gökçe ve ark., 2008).

MTA tarafından bölgesel ve ulusal ölçekte heyelan olaylarını anlamak ve haritalamak amacı ile 1997 yılında “Türkiye Heyelan Envanter Haritası” projesine başlanmış ve 2007 yılında tamamlanmıştır. Söz konusu proje kapsamında ayrıntılı hava fotoğrafı ve arazi çalışmaları sonucunda 1:25.000 ölçekli heyelanların tipi, görece derinliği ve aktivitelerinin belirtildiği sayısal tarihsel heyelan envanter haritaları üretilmiştir. Bu haritalar 1:500.000 ölçekli pafta sınırları dahilinde ayrı ayrı kitapçıklar olarak ekli haritaları ile birlikte basılmıştır (Duman ark,2005ab; 2006ab; 2007abc; 2009a-m). MTA tarafından hazırlanan Türkiye Heyelan Envanter Haritası kapsamında (Şekil 2.3) toplam alanı 17000 km²,den fazla olan 85000’in üzerinde heyelan haritalanmıştır (Çan ve Duman, 2008). Çalışma alanı, MTA tarafından oluşturulan envanter haritaları içerisinde Hatay paftasında yer almaktadır. 1:500.000 ölçekli Hatay paftası 38.000 km²,lik kara parçasını kapsamaktadır. Hatay paftasında, toplam kapladıkları alan 420,3 km² olan 1374 adet heyelan poligon (alansal) olarak, 23 adet adet çizgisel olarak işaretlenmiştir. Hatay paftasında toplamda 1374 adet heyelan bulunmakta ve bu heyelanların 167 adeti çalışma alanında bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Türkiye Heyelan Envanter Haritası (Çan ve Duman, 2008).

2.3. Heyelan Duyarlılık İle İlgili Çalışmalar

Carrara ve diğ. (1991), tarafından yapılan çalışmada Tescio (İtalya) havzasında heyelan tehlike değerlendirme yöntemlerinden diskriminant analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yüksek özdeğerlerle temsil edilen parametreler kullanılarak diskriminant analizi yapılmış ve standart diskriminant fonksiyonları elde edilmiştir. Kullanılan ve yüksek özdeğere sahip parametreler, yamaç eğim yönü, arazi kullanım potansiyeli, eklem pürüzlülük katsayısı, yamaç yönelimi ile tabaka yönelimleri arasındaki ilişkiler ve litolojik birimlerin geçirgenliğidir. Bu parametrelere ilişkin verilerin toplanması, değerlendirmesi ve sınıflandırması için çeşitli yazılımlar geliştirmişlerdir. Yamaç yöneliminin bu tür haritalarda kullanımına ilişkin görüş birliği yoktur. Heyelan tehlikesi ve riskinin değerlendirmesinde çok değişkenli istatistiksel model sonuçlarının önemli oranda nesnel olduğunu savunurlar.

Pachauri ve Pant (1992), Himalayalar da Yamuna Nehrine dökülen ağlar nehri boyunca uzanan 317 km²'lik havzada heyelan duyarlılık bölgelendirmesi yöntemi önerilmiş ve test edilmiştir. Ağlar havzası çok çeşitli kaya türleri genellikle sedimanter, bir aktif fay, heyelanlar, ortadan şiddetliye sismik aktivite, orta dereceli insan müdahalesi ile karakterize edilir. Bu sahada bir çalışma hariç çok az şey bilinmektedir. Bu çalışma arazi parametreleri ve heyelan tehlike haritalanması

arasındaki ilişkiye odaklanmıştır. Heyelan duraylılık haritası daha çok detaylı bilgilerle birleştirilebilecek olan ilk harita olarak sunulur. Bu harita Himalayalara ait sınıflandırılmış arazi veri tabanı haritasında jeolojik ve jeomorfolojik parametrelerin nicel hesaplamalarına dayalı yapılan ilk heyelan duyarlılık haritasıdır.

Bu çalışma iki aşamalıdır. Birinci aşama arazi birçok homojen, kendi içinde fizyografik benzerlik gösteren birimlere sınıflandırılmıştır. Her bir birime, heyelan ve jeolojik özellikler arasındaki karşılıklı ilişkiye bağlı derecelendirme sistemine ve jeolojik özellikler (eğim, faydan olan uzaklık, rölyef, eğim-şev ilişkisi vb. gibi) arasındaki karşılıklı ilişkiye bağlı derecelendirme sistemine göre puan verilmiştir. Her bir parametreye ilişkideki derecesine bağlı olarak (%) yüzde verilmiştir.

Gökçeoğlu ve Aksoy (1996), Kuzey Anadolu fay hattının yaklaşık 10 km. kuzeyinde Mengen çevresinde bulunan Gökçesu ve Pazarköy arasında kalan 120 km² lik bir alanda heyelan duyarlılık çalışması yapmış olup, bu çalışmada toprak zeminlerin makaslama dayanım parametreleri, yamaç yönelimi, yamaç eğimi, yükseklik değerleri, ana faylara olan mesafeler kullanılmıştır. Heyelanların aktivite durumlarının takibi için çalışılan alan ile ilgili farklı zamanlarda çekilmiş Spot uydu görüntüleri incelenmiştir. Bu veriler kullanılarak elde edilen duyarlılık haritaları 5 ayrı sınıfa ayrılmış olup heyelan envanter haritasında bulunan heyelanların hepsinin çok duyarlı sınıfa girdiği belirlenmiştir.

Atkinson ve Manssari (1997), genelleştirilmiş lineer modelde, İtalya, Apennines merkezindeki küçük alanlarda, heyelanlar ile çeşitli bağımsız değişkenler (jeoloji, tabakaların doğrultu eğim değerleri, yamaç yönelimi) arasında bir ilişki kurarak oluşturduğu modeli kullanmışlardır. Heyelan raster haritaları ve bağımsız değişkenler, hava fotoğrafları, topografik haritalar, jeoloji haritaları kullanılarak üretilmişlerdir. Lojistik regresyon, tüm yamaç hareketleri ve bağımsız değişkenler oluşturulduktan sonra elde edilmiştir. Lojistik regresyon sonucu çalışma alanının jeolojisi ve yamaç eğimi model parametreleri arasında bu alanda heyelanlara sebep olan en önemli faktör olarak bulunmuştur. Bölgedeki heyelanlar, aktivite durumlarına göre sınıflara ayrılmıştır. Çalışma alanında jeoloji ve yamaç eğimi her bir modelde en önemli parametre olurken, eğim, yamaç yönelimi ve doğrultu gibi diğer bağımsız değişkenler heyelan aktivitesinde daha az önemli rol oynamakta

olduğu belirlenmiştir. Sadece aktif heyelanlar için, ilave bağımsız değişkenler (bitki örtüsü, toprak kalınlığı, dik yönde eğrilik, yatay eğrilik, yamaçların içbükeyliği) modele eklenmiştir. Bu model sonucunda oluşturulan lojistik regresyon sonuçlarında şaşırtıcı bir şekilde bitki örtüsü ve yamaçların iç bükey parametreleri jeoloji ve yamaç eğiminden heyelanların oluşumunda çok daha önemli parametreler olduğunu belirlemişlerdir.

Van Westen ve ark. (1997), Coğrafi Bilgi Sistemlerini temel aldıkları çalışmada, nitel yaklaşım, istatistiksel nicel yaklaşım ve deterministik yaklaşım yöntemlerini kullanarak heyelan tehlike haritalarını üretmişlerdir. Kullanılan bu yöntemlerde çalışma alanı içerisindeki heyelanların alansal yayılımları ve türlerinin bilinmesinin gerektiği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Araştırmacılar deneyim ve hava fotoğraflarının nitel haritalama yönteminde önemli olduğunu, fakat nitel analizlerin pratikte kullanımının sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Çok değişkenli istatistiksel yaklaşımda hücrelerin homojen alanları temsil edecek şekilde seçilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. İki değişkenli istatistiksel analizde, heyelan oluşumuna neden olan parametrelerin katkı derecelerinin belirlenmesinde basit yoğunluk fonksiyonlarının kullanılabilmesini, fakat ilgili değişkenler için normalleştirme yapılmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Kullanılan yöntemle ilgili olarak istatistiksel analizlerde en önemli sorunun büyük alanlardan toplanması gerekli veriler için harcanan para ve zamanın olduğunu vurgulamışlardır. Bu sorunun da temsili küçük bir alanın seçilmesi ile aşılabileceğini ve uygulamada “harcanan para/elde edilen fayda” oranına bakılarak ciddi sınırlamalar olabileceğini belirtmişlerdir.

Guzzetti ve ark. (1999), heyelan duyarlılık değerlendirmelerindeki mevcut teknikleri orta İtalya'nın heyelanlara karşı tehlikeli alanlarının belirlenmesinde, değişik ölçekli çalışmalarla belirlemeyi amaçladığı araştırmalarında, mevcut duyarlılık yöntemlerini göz önünde bulundurarak şu değerlendirmeleri yapmışlardır.

Geçmişte meydana gelen yamaç yenilmelerinin, günümüzde de yamaç yenilmelerine sebep olan koşulların aynı veya benzer olması nedeni ile geçmiş tarihli heyelan olaylarını anlamak, heyelan olası tehlike değerlendirmelerinin temelini oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı heyelan duyarlılık tahmininde deneysel,

İstatistiksel veya deterministik olarak heyelan oluşumuna öngörülen modeller oluşturularak heyelanın oluşumuna ilişkin tahminlerde bulunulabilir. Heyelan olaylarını anlamak, heyelan olası tehlike değerlendirmelerinin temelini oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı heyelan duyarlılık tahmininde deneysel, istatistiksel veya deterministik olarak heyelan oluşumuna öngörülen modeller oluşturularak heyelanın oluşumuna ilişkin tahminlerde bulunulabilir.

Van Westen ve ark. (1999), literatürde bulunan heyelan duyarlılık zonlamasını doğrudan ve dolaylı haritalama olarak iki grub altında toplamışlardır. Doğrudan haritalama jeomorfoloğların arazinin durumuna ve deneyimine bağlı olarak üretilen heyelan duyarlılık haritaları olarak tanımlamakta olup, dolaylı haritaları ise heyelanların dağılımı ve yüzey şekli arasındaki ilişkilerden sağlanan bilgilere dayandırılarak, heyelana eğilimli alanların tahmininde deterministik veya istatistiksel modellerin kullanılmasıyla yapılmakta olan haritalar olarak tanımlamaktadırlar.

Her iki yöntemin ayrı avantajı ile dezavantajının olmasına karşın doğrudan haritalama yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının kalitesi tamamen tecrübeye bağlı olmasıdır ve belirlenen bir duyarlılık sınıfının dayandırıldığı neden genellikle haritada belirtilmemektedir. Dolaylı heyelan duyarlılık haritalarının üretilebilirliği genel olarak daha fazladır. İstatistiksel analiz kullanılarak elde edilen olası tehlike sınıfı sonuçları yüksek, orta, düşük diye bölümlere ayrılabilir. Şev duraysızlığıyla ilgili her faktör belirli bir ağırlık değeriyle veya iki değişkenli istatistiksel analiz sonuçlarıyla belirlenerek değerlendirilir yada çok değişkenli istatistiksel analiz modeliyle regresyon fonksiyonundaki bir değer ile ifade edilir. Büyük dezavantajlara sahip olan istatistiksel temele dayalı heyelan duyarlılık haritaları, genellikle şev duraysızlığıyla ilgili faktörlerin bütün bir alan için genelleştirilmesi zorunludur. Bu da tüm faktörlerin kombinasyonunun bütün bir alan için aynı olacağı anlamına gelmektedir. Herhangi bir bölgedeki özel faktörlerin kombinasyonu (kaya tipi, şev sınıfı, vb.) başka bir alanda duraysızlığa karşılık gelmeyebilir. Bu durumu göz önünde bulundurmak istatistiksel heyelan duyarlılık analizlerinde çok zordur. Heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan sınıflamaların tanımlanması bölgesel planlama amacıyla hazırlanmıştır. Bunun

anlamı da, bu haritalarda sadece yerel yollar, evler ve diğer binalar gibi küçük mühendislik yapılarının inşaatı ile ilgili heyelan duyarlılık değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu haritalarda lejand basit tutulmuş ve 3 sınıfa ayrılmıştır.

- 1) . Düşük Duyarlılık Sınıfı: Arazinin aynı durumda kalması koşuluyla gelecek dönemlerde herhangi bir yıkıcı olayın gelişmesi beklenmemektedir. Buna rağmen yetersiz inşaat ve alt yapılar probleme yol açabilir.
- 2) . Orta Duyarlılık Sınıfı: Bu alanlarda orta olasılıkta yıkıcı olayların oluşabileceği ve bunların da alt yapı ya da binalara zarar vereceği yerlerdir. Buna rağmen hasar çok lokal ve pahalı olmayan ve basit iyileştirme yöntemleriyle önlenabilir.
- 3) . Yüksek Duyarlılık Sınıfı: Bu tür alanlarda yıkıcı olayların olasılığı yüksektir. Burada bina ve alt yapılarda oldukça hasar beklenmektedir. Bu kesimlerde yeni alt yapı ve bina yapılması tavsiye edilmez veya en azından ayrıntılı çalışmalar sonucu yapılabilir.

Guzetti ve ark. (2000), heyelan haritalarını yoğunluk, envanter ve tehlike olarak üç sınıfa ayırmışlardır. Bölgesel heyelan tehlike modelleri, heyelan haritalama tekniği açısından en gelişmiş ve karmaşığı olarak ifade etmişlerdir. Çok değişkenli istatistiksel analizlerin heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde en sağlıklı sonucu veren yöntemlerden olduğunu, fakat yinede problemlerin olduğunu belirtmişlerdir.

Çan ve ark. (2005), batı Karadenizde meydana gelen aşırı yağışlardan dolayı artan toprak akmaları ile ilgili duyarlılık çalışması yapmışlardır. Agustu, Kelemen ve Egerci havzaları olmak üzere üç farklı havzada yapılan duyarlılık değerlendirmelerinde mantıksal regresyon istatistiksel analiz yöntemi kullanılmış olup harita birimi olarak tek durum indeksi kullanılmıştır. Oluşturdukları tek durum indeks sayıları Agustu, Kelemen, ve Egerci havzaları için sırasıyla 4,052, 12,314, 13.241 adet olup havzalar içerisinde yine sırasıyla 154, 152 ve 47 adet akma tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak heyelan duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir.

H.B. Wang ve ark. (2005), Japonya Minamata alanında heyelan duyarlılık yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmada, heyelanların coğrafi bilgi sistemi

teknolojisi temel alınarak, heyelan duyarlılık çalışmaları niceliksel ve niteliksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan heyelan envanteri daha önce Minamata alanında 1999 ve 2002 yıllarında çekilen hava fotoğrafları yorumlanarak hazırlanmıştır ve toplam 4 yıllık hava fotoğrafları yardımıyla çalışma alanında toplam 160 heyelan tanımlanmıştır. Heyelan envanterinin oluşturulmasından sonra veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri seti, çalışma alanının litolojisini, topografik özelliklerini, arazi kullanımı gibi verileri içermektedir. Bu çalışmada; heyelan oluşumunu etkileyen faktörler ve heyelan tehlike arasındaki ilişkiler farklı yöntemlerle anlatılmıştır. Mantıksal regresyon analizi olarak adlandırılan ve oluşturulan veri seti kullanılarak duyarlılık haritaları üretilmiştir ve bu haritadan elde edilen sonuçlar 4 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.

Y. Thiery ve ark. (2007), istatistiksel analizleri temel alarak yaptıkları çalışmada, karmaşık dağ yapıları için uygulanan iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemini kullanarak büyük ölçekte heyelan duyarlılık çalışmalarını bu alanda değerlendirmişlerdir. Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, son 10 yıl içerisinde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. En çok ilerleme, orta ölçekli (1:50.000-1:25.000) heyelan duyarlılık haritalarının yapılması esnasında sağlanmıştır. Avrupa da heyelan risk haritaları ve tehlike haritalarında, 1:10.000 ölçekteki değerlendirmelerde çok az sayıda performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çan ve ark. (2007b), batı Karadeniz bölgesinde üç farklı havza (Agustu, Eğerci ve Kelemen Havzaları) içerisinde gelişen akma ve kayma türü heyelanlara ilişkin duyarlılıkları ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Haritalama ünitesi olarak kayma türü heyelanlar için yamaç birimlerini (151, 440, 447 adet), akma türü heyelanlar için ise tek durum ünitelerini (4052, 13241, 12314 adet) kullanmışlardır. Duyarlılık değerlendirmelerinde çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan mantıksal regresyon yöntemini kullanarak her iki duyarsızlık türü için heyelan oluşma olasılığına karşılık gelen duyarlılık seviyelerini %20'lik eşit beş aralıkta sınıflamışlardır. Sınıflamaya göre yüksek ve çok yüksek duyarlı alan içerisinde kalan akma ve kayma türü duyarsızlıklarının performans değerlerini sırasıyla Agustu havzasında % 24-59, Eğerci havasında % 13-75 ve Kelemen havzasında ise % 15-88'inin yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıf içerisinde geliştiğini belirtmişlerdir.

Mazman ve Çan (2007), Kumluca havzasında (GD Bartın) yaptıkları çalışmada kullanılan yamaç birimleri yerine harita birimi olarak grid hücre birimi birimini kullanmıştır. 340 km²'lik çalışma alanını 25*25m boyutunda çözünürlüğe sahip 544610 adet ve heyelanları ise 78298 adet pikselle tanımlamıştır. Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde arazi kullanımı, jeoloji, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, düzlemsel ve kesit yamaç eğrileri, nehir aşındırma indeksi, topografik nemlilik indeksi haritalarını göz önünde bulundurarak mantıksal regresyon yöntemi ile heyelanlı alanlara eşit sayıda rasgele seçilen 5 farklı veri seti üzerinden heyelan duyarlılık değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Duyarlılık değerlendirmesini % 20 eşit olasılık aralığına bölerek çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 zona ayırmış ve performans değerleri sonucunda yüksek ve çok yüksek duyarlı alan içerisindeki heyelanların % 70,2±0,5 olarak değiştiğinin belirtmişlerdir.

Nefeslioğlu ve ark. (2008), Kelkit vadisinin bir bölümünü oluşturan çalışma alanlarında yaptıkları duyarlılık değerlendirmelerinde, doğal afetlerden kaynaklanan zararlar göz önüne alındığında ikinci sırada heyelanlar yer almaktadır. Bu çalışmada lojistik regresyon yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Dört farklı veri seti oluşturulmuştur, oluşturulan veri setlerinde topografik faktörler ve litoloji kullanılmıştır. Heyelanlar % 50 oranında ikiye ayrılarak analiz ve test heyelanları olarak kullanılmıştır. Ortalama karekök hata değerleri sırasıyla 84,16 ve % 0,36 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre yapılan duyarlılık çalışması yüksek oranda doğruluk göstermektedir. İleride meydana gelecek zararların önlenmesi için kullanılabilir bir çalışma olmaktadır.

Çil (2009), Erdemli (Mersin) yöresinin coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan olası tehlike değerlendirmesi isimli yüksek lisans tezinde, farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğraflarını inceleyerek Şahnadere su toplama havzasının çok zamanlı heyelan envanter haritası hazırlamıştır. Heyelanların mekansal olabilirliğinin belirlenmesi amacıyla mantıksal regresyon yöntemini kullanılarak belirli zaman aralığında gelişmiş heyelanlar için heyelan duyarlılık haritaları üretmiştir. Heyelanların frekans büyüklük ilişkileri ve heyelanları tetikleyici faktörlerden yağış frekans analizleri gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak heyelanların mekansal, alansal ve

zamansal olabilirlik parametrelerini göz önünde bulundurarak belirli zaman ve heyelan büyüklük değerlerine göre bölgenin heyelan olası tehlike haritalarını hazırlamıştır.

Akgün ve ark. (2010), İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması isimli yayınlarında Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği çalışmalarında; amaçlarına yönelik olarak, Ayvalık ilçesi (Balıkesir) ve yakın çevresini inceleme alanı olarak seçmişlerdir ve toplam 45 heyelan haritalamışlardır. Morfolojik, jeolojik ve arazi kullanımı verileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamında mevcut topoğrafik ve ilgili tematik haritalar kullanarak üretmişlerdir. Çalışma alanında, heyelana neden olan parametreler olarak; yamaç eğimi ve yönelimi, litoloji, kayaların ayrışma durumu, akarsu gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi, drenaj açısından uzaklık, yapısal unsurların yoğunluğu, arazi ve bitki örtüsü yoğunluğunu dikkate almışlardır. Bu heyelan parametreleri, bulanık üyelik fonksiyonları yardımıyla ortak bir ölçekte standartlaştırılmıştır. Daha sonra, her bir parametrenin heyelan oluşumuna katkısı; benzerlik oranı, mantıksal regresyon ve analitik hiyerarşi yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve bu parametrelerin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Her bir yöntemle belirlenen ağırlık değerleri dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritalarını üretmişlerdir, üretilen haritaların performansları, mevcut heyelan lokasyonları ile karşılaştırılarak Eğri Altındaki Alan yaklaşımıyla sınanmışlar ve bu değerleri sırasıyla benzerlik oranı yöntemi için 0,76, mantıksal regresyon için 0,77 ve analitik hiyerarşi yöntemi için 0,89 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre inceleme alanı için en başarılı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin, analitik hiyerarşi yöntemi ile olduğunu görmüşlerdir.

Eker ve ark. (2011), Bartın Ulus ilçesi yapay sinir ağı ve lojistik regresyon yöntemleri ile yaptıkları heyelan duyarlılık çalışması, uygulanması ve karşılaştırılması ile ilgili yaptıkları çalışmada; Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı lojistik regresyon ve yapay sinir ağı analizlerini kullanarak, Karadeniz bölgesindeki Bartın ilinin Ulus ilçesi için bir heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Bu araştırma kapsamında, Maden Tetkik ve Araştırma Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan heyelan envanter haritası ve heyelan sınıflandırma haritasını temel

almışlardır. Çalışma alanındaki analizlerin tamamını aktif heyelanlara dayanarak gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte, on dört açıklayıcı değişken CBS’de sayısallaştırılmış, birleştirilmiş ve düzenlenmiştir. Çalışma alanı 250*250 m’lik hücrelere bölünmüş ve heyelan envanter bilgisinin, alan üzerindeki yayılımının daha anlamlı bir popülasyon dağılımı göstermesini sağlamak için çekirdek (Kernel) yoğunluğu yöntemi uygulamışlardır. Bağımlı değişken, kalibrasyon ve doğrulama olarak iki veri seti oluşturulmuş ve kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır.

Kavzoğlu ve ark. (2012), heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan faktörlerin etkilerinin araştırılması başlıklı çalışmalarında; afet yönetimi için heyelana duyarlı alanların konumlarının ve risk büyüklüklerinin tahmin edilmesinin önemli olduğunu söylemişlerdir. Bu nedenle etkili bir afet yönetimi süreci temel altlık olarak tanımlanan doğru ve güncel heyelan duyarlılık haritaları gerektirdiği; heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi sürecinde çevresel şartlara göre farklılık gösteren birçok faktör bir arada analiz edildiğine değinmişlerdir. Söz konusu faktörlerin yanında doğruluğu yüksek heyelan duyarlılık haritası üretiminde uygun bir modelleme tekniğinin seçimi önemlidir. Günümüze kadar literatürde bu amaca yönelik istatistiksel ve sezgisel yaklaşımlar içeren birçok modelleme tekniği tanımlanmış ve uygulanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı heyelan duyarlılığını etkileyen faktörlerin sayısındaki artışın duyarlılık haritasının doğruluğu üzerindeki etkilerinin incelenmesi olarak belirlemişlerdir. Bu amaçla farklı boyutlardaki 4 veri seti (3 faktör, 5 faktör, 7 faktör ve 10 faktör içeren) oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde geleneksel bir metot olan lojistik regresyon yöntemi ve son zamanlarda kullanılan veri madenciliği yöntemlerinden destek vektör makineleri kullanılmıştır. Sonuçlar faktör sayısındaki artış ile birlikte heyelan duyarlılık haritalarındaki doğruluğun belli bir seviyeye kadar arttığını görmüşlerdir. Bu kritik düzeyden sonra doğruluğun azalma eğiliminde olduğu belirlemişlerdir. Bu davranış literatürde Hughes fenomeni ya da boyutsallık problemi ile açıklanabilmektedir. Diğer bir bulgu ise tüm durumlar için destek vektör makinelerinin lojistik regresyon yöntemine göre %6 daha doğru sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Dağ ve Bulut (2012), Rize Çayeli civarında yaptıkları duyarlılık değerlendirmesi çalışmalarında, ülkemizin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesi'nde ve özellikle de Doğu Karadeniz Bölümü'nde meydana gelen doğal afetlerin başında gelen heyelanlar ile ilgili duyarlılık çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, Çayeli yöresinde 2002 yılı Temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelen heyelanlar araştırılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmışlardır. İlk olarak heyelan envanter haritası oluşturmuşlardır ve toplam 149 adet heyelan haritalanmışlardır. Arazi incelemeleri sonucunda litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, arazi örtüsü, yükseklik, akarsuya yakınlık faktörleri, heyelana neden olan parametreler olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanına ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanında parametre haritaları üretmişlerdir. Haritalar mevcut heyelanlarla ilişkilendirilerek frekans oranı değerleri belirlemişlerdir. Bu değerlendirmelere göre, tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastitleri ile tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastitlerinin heyelan oluşumunda etkili olduğunu düşünmektedirler. Yine eğim sınıflarından 0°-20° arası, yamaç eğim yönü sınıflarından kuzey-kuzeydoğuya bakan yamaçlar, topoğrafik yükseklik sınıflarından 0-200 m arasındaki yükseklik sınıfları elde edilen değerlere göre önemli görülmüştür. Benzer şekilde tarımsal alan ve yerleşim alanlarından oluşan arazi sınıfları ile 0 - 100 m arasındaki akarsuya yakınlık sınıfları da ikili karşılaştırmalarda önemli olarak değerlendirilen parametre sınıflarıdır. Daha sonra ağırlık değerleri hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Son olarak üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelanların % 81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunduğunu belirlemişlerdir.

Mazman ve Çan (2013), tarafından yapılan heyelan duyarlılık haritaları ve doğruluğu başlıklı çalışmalarında, Mersin ili kuzeyinde yaklaşık 400 km²'lik bir alanda mantıksal regresyon yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık haritaları üretmiş ve elde ettikleri haritaların tahmin yeteneği ve doğruluğunu farklı yöntemler kullanarak test etmişlerdir. Heyelan envanter haritasının % 80'i analiz ve % 20 si test verisi olacak şekilde rastgele seçim yöntemi ile ikiye ayrılması şeklinde çalışmayı

gerçekleştirmişlerdir. Başarı ve tahmin oranı eğrilerine göre analiz verisi heyelanlarının % 75,51-86,85'inin; test verisi heyelanlarının % 70-82,64'ünün yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda olduğunu tespit etmişlerdir.

Özşahin (2013), tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de 1970-2012 yılları arasında meydana gelmiş 987 heyelan olayı içerisinde 7 olayla 39'uncu sırada yer alan Hatay ilinde heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri destekli Mora ve Vahrson (1994) tarafından geliştirilen heyelan duyarlılık modeli kullanılmıştır. Modelin uygulanma aşamasında heyelana etkisi olduğu düşünülen sebep ve tetikleyici faktörlerin yer aldığı formül içeriği takip edilmiştir. Faktör haritaların hazırlanmasında Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından ve çeşitli ölçeklerde hazırlanmış jeoloji, toprak nemlilik indeksi ve diri fay haritalarından yararlanılmışlardır. Ayrıca 1970-2012 yılları arasındaki zaman dilimini kapsayan Meteoroloji bültenlerinden de istifade edilmiştir. Çalışmanın haritalama aşaması, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından biri olan ArcGIS/ArcMap 10 paket programını kullanarak tamamlamışlardır. Kullanılan faktörlere ait haritalar yöntemde belirtilen ağırlık değerlerine göre 50*50 m çözünürlüğündeki grid haritalara dönüştürülmüş ve formül içeriği doğrultusunda birleştirilerek heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Analiz sonuçları heyelanların temel oluşum nedenlerinin eğim, litoloji ve stratigrafi ile toprak nemlilik indeksi gibi sebep, en yüksek aylık ortalama yağış ve sismik tehlike göstergesi gibi tetikleyici faktörler olduğu göstermiştir. Bu bakımdan ilde en geniş alanda (% 42 - 234620 ha) normal sınıfında, en küçük alanda ise (% 0.2 - 864 ha) çok yüksek heyelan riski hakimdir. Riskin en yüksek olduğu lokasyon ise Güney Amanos Dağları'dır. Ayrıca bu çalışma ile ilgili yöntemin bu tür sahalar için kullanılabilir olduğunu görmüşlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanı Genel Özellikleri

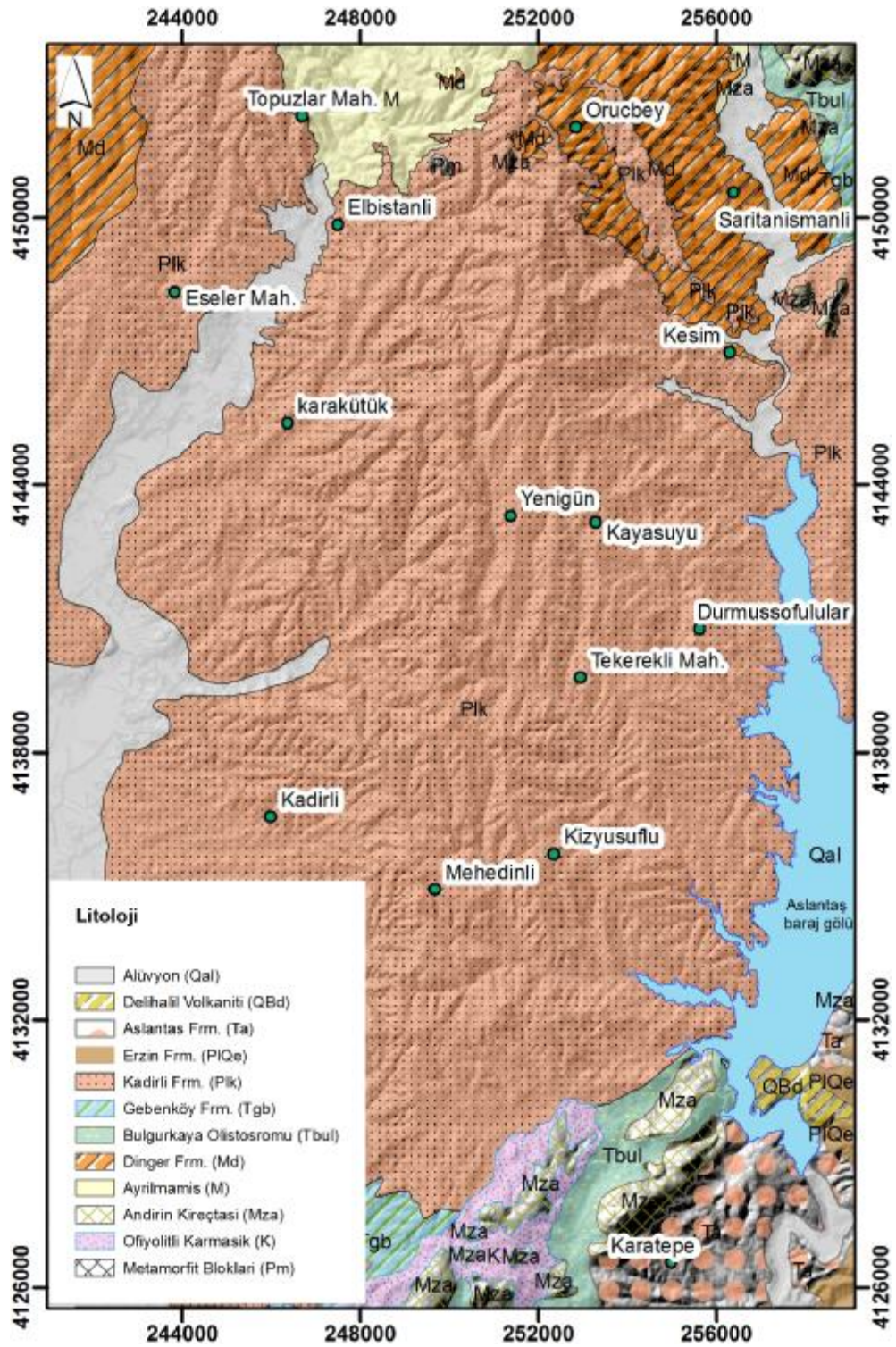
Çukurova bölgesi, morfolojik olarak çok engebeli bir arazi yapısına sahip olmamakla birlikte çalışma alanında olduğu gibi belirli, jeolojik, morfolojik ve fiziksel koşulların etkisi altında yoğun olarak heyelanlar oluşabilmektedir. Çalışma alanı jeolojik konum olarak Kozlu (1997) tarafından, KD-GB uzanımlı tektonik hatlar sunan, Misis Andırın Kuşağı olarak isimlendirilmiştir. Bölgede farklı tektonik hatlara ait çok sayıda birim yüzeylemekle birlikte çalışma alanının % 65'i Geç Pliyosen yaşlı Kadırlı formasyonu ile temsil edilmektedir. Yamaç eğimlerinin dağılımına bakıldığında; 10° den düşük eğimli yamaçların çalışma alanının % 50'sine karşılık geldiği, 20° üstündeki yamaçların ise çalışma alanının % 15'ine karşılık geldiği görülmektedir. Morfolojik açıdan çalışma alanı ova, etek düzlükleri ve alçak tepeliklerden oluşmaktadır. Deniz seviyesine göre ova tabanı yükseklik değerleri 40-90 m, etek düzlükleri 90-150 m arasında, alçak tepelikler ise en fazla 700 m'ye ulaşmaktadır. Çalışma alanının arazi yapısı Weiss (2001)'e göre 10 sınıfa ayrılmış olup, heyelanlar bu sınıflar içerisinde açık şev ve orta yamaç drenaj sınıfları içerisinde yer almaktadır. Landsat TM uydu görüntüsü kullanılarak yapılan arazi kullanım haritasına göre; çalışma alanının % 40'ının bitki örtüsüz ve tarım arazilerine karşılık geldiği belirlenmiştir. Bunların yanı sıra heyelan duyarlılık analizlerinde bağımsız değişken olarak kullanılmak üzere yamaç yönelimi, topoğrafik nemlilik indeksi, sediman taşıma kapasite indeksi, nehir aşındırma gücü indeksi, yamaç durum indeksi, kesit yamaç eğriliği, teğetsel yamaç eğriliği, düzlem yamaç eğriliği, güneş radyasyonu, pürüzlülük haritası, yüzey rölyef haritası, ortalama eğim, eğim/yamaç yönelimi oranı haritaları ArcGIS Desktop 10.1 programında jeomorfometrik ve Gradyan Metric eklentisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Tekin ve Çan 2013b).

Çalışma alanı için üretilen heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde mekansal olabilirlik parametresini bulabilmek için SPSS paket programı yardımı ile çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan mantıksal regresyon yöntemi kullanılmıştır.

Osmaniye İli Kadirli ilçesi Akdeniz ikliminin tipik özelliklerine ve meteorolojik şartlarına sahiptir. Kıyıya yakın alanlarda yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı Akdeniz iklimi, iç kesimlerde ve yükseklerde ise karasal iklim şartlarına geçiş gözlenmektedir. Osmaniye'de yıllık sıcaklık ortalaması 21,9°C'dir. Uzun yıllar verilerine göre yıllık yağış toplam miktarı 790 mm'dir. En çok yağış Aralık-Mart ayları arasında en az yağış ise Ağustos ayında gerçekleşmektedir (Tekin ve Çan, 2013a).

3.1.2. Çalışma Alanını Jeolojisi

Heyelan duyarlılık çalışmalarında çalışma alanının jeolojisi heyelanların oluşmasında başlıca kriterlerden biri olarak literatürde yer almaktadır. Çalışma alanının jeolojisi Kozlu (1997)'den alınmıştır (Şekil 3.1). Çalışma alanı; Misis-Adana yöresi, Amanoslar-İskenderun yöresi, Andırın-Göksun yöresi, Kozan Saimbeyli yöresi olmak üzere dört alt havzaya ayrılmıştır. Karataş ilçesinden başlayarak Misis dağları, Aslantaş barajı yöresinden, Andırın çevresinden, Göksun dolaylarına kadar uzanan ve Güneydoğu'dan Yumurtalık; Kuzeybatı'dan Göksun-Çiçekli-Savrun tektonik hatları arasında kalan Kuzeydoğu-Güneybatı uzanımlı alanı; "Misis Andırın Kuşağı veya Misis-Andırın Havzası olarak adlandırılmıştır. Misis-Andırın kuşağı çalışma alanında, tabandan tavana doğru; Aslantaş Formasyonu (Alt-Orta Miyosen), ayrılmamış (Alt-Üst Miyosen) birim üzerine Delihalil Volkaniti (Üst Pliyosen-Kuvaterner) yüzeylenmekte olup en üst seviyede ise güncel alüvyonlar yüzeylenmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Kozlu, 1997).

Amonos dağları-İskenderun yöresi, çalışma alanı içerisinde tabandan tavana doğru, ayrılmamış (Üst Miyosen- Alt Pliyosen) birim üzerine Erzin formasyonu (Üst

Pliyosen-Kuvaterner) gelmektedir. Andırın-Göksün yöresi, tabandan tavana doğru, Metamorfit blokları (Paleozoyik-Mezozoyik), Ofiyolit Karmaşığı (Üst kretase), Andırın Kireçtaşı (Mesozoyik), Bulgurkaya olistostromu (Üst Eosen-Oligosen), üzerine en üstte Gebenköy Formasyonu (Şekil 3.2) (Akitaniyen- Burdigaliyen) olarak çalışma alanında yer almaktadır (Kozlu, 1997). Kozan-Saimbeyli havzası çalışma içerisinde tabandan tavana doğru, Dinger formasyonu (Langiyen-Serravaliyen) üzerine Kadirli Formasyonu (Üst Pliyosen) gelmektedir (Şekil 3.3) Kadirli formasyonu, killi seviyeler (Şekil 3.4), gevşek yapılı kum dolgulu iri çakıltaşı (Şekil 3.5), kalın tabakalı çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve kumlu-çakıllı çamurtaşlarının düzensiz ardalanmasından oluşmaktadır. Kozlu (1997), yapmış çalışmada; çalışma alanının stratigrafisini ortaya çıkarmaya amaçlamıştır. Misis-Andırın Kuşağı veya Havzası olarak tanıtılacak bu dar kuşak, uzanımı boyunca (KD-GB) iki dilimden meydana gelmiştir. Birinci dilim, Misis- Andırın bölgesinde bloklu karışığı oluşturan ve blokların yer aldığı Bulgurkaya Olistostromunun çökel havzasıdır. Bu havza üzerine Alt Miyosen yaşlı Gebenköy formasyonu ilksel ilişkili olarak gelmekte ve birimin tavanına doğru ve KB devamında Adana Miyosen istiflerine geçilmektedir. İkinci dilim havzanın GD kanadında olup, burası; Alt-Orta Miyosen yaşlı Aslantaş ve Karataş formasyonlarının çökme alanıdır. Bulgurkaya Olistostromu (Tbul) Misis-Andırın havzasında Üst Eosen-Oligosen yaşlı denizel bir matriks içinde Misis-Andırın melanjına ait blokları kapsayan kaotik istif, "Bulgurkaya Olistostromu" olarak tanıtılmıştır (Şekil 3.6). Bu olistostromal istif, çok aktif tektono-sedimanter ortamın ürünü olup içinde bol olistolit bulunduran megabreş, killi-kumlu çakıltaşı seviyeleri ile ardalanmalı çökelen türbidit özellikli kumtaşı-kalkarenit ve kumlu marn kaya türlerinden oluşmaktadır. Birimin adı Kozlu (1987) tarafından Andırın ilçesinin batısında bulunan ve olistostrom fasiyeslerin tip yüzeylenmelerinin görüldüğü yer olan Bulgurkaya köyünden alınarak verilmiştir. Bulgurkaya formasyonunun kaotik yapısından dolayı formasyon adı yerine "Olistostrom" terimi kullanılmıştır. Birimde, olistostromal çakıltaşlarıyla çevrili irili-ufaklı olistolitlerle birlikte, istifin içine tektonik dilim olarak karışmış bloklar da bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Çalışma alanı içerisinde Gebenköy formasyonunun genel görünümü.



Şekil 3.3. Çalışma alanı içerisinde Kadirli formasyonunun genel görünümü.



Şekil 3.4. Kadirli formasyonun killi seviyelerinin görünümü.



Şekil 3.5. Kadirli formasyonunun çakıllı seviyelerin görünümü.



Şekil 3.6. Çalışma alanı içerisinde Bulgur kaya Olistostromunun genel görünümü.

Bazı alanlarda blokların büyüklüğünden veya sıklığından dolayı kumlu marn matrisi görmek oldukça güçleşmektedir. Ancak, blokları çevreleyen olistostromal özellikli breşleri görmek her zaman mümkündür. Özellikle Misis, Andırın ve Göksün yöresinde bloklar daha sık aralıklı ve büyük boyutlu olup matrisine göre daha geniş yayılım göstermektedir. Bulgur kaya olistostromu, kuzey-kuzeybatıdan Çiçeklidere-Savrun-Göksun fayları ile; güney-güneydoğu Sarıkeçili-Karatepe bindirmeleri ile sınırlıdır. Bu tektonik hatlar arasında kalan alan, yer yer daralıp genişleyen uzun bir kuşak oluşturmaktadır. Bu kuşakta Bulgur kaya olistostromunun temel birimi, Misis-Andırın melanjına ait naplar ve bu nap örtülerin tabanında yer alan Ballıkısık karmaşığdır. Bu olistostromun en tipik görüldüğü yerler, Andırın ilçesinin çevresinde, Aslantaş barajı batısındaki Hüsüoğlu, Meydan, Bahçe, Tülücüler köyleri civarında, Misis dağları yöresinde (Belören-Zıyanlı-Hurşutiye-Kızıldere köyleri çevresi) ve bu kuşağın güney tarafında yer alan Doruk-Kurtkulağı-Abidiye-Aziziye köyleri civarında bulunmaktadır. Bulgur kaya Olistostromu ayrıca Savrun suyu (çayı) koridorunda, Göksun-Sürgü fay kuşağında, Engizek dağlarının batı ucunda, Berit dağında, Göksun, Süleymanlı, Andırın üçgeninde, Kozan doğusundaki Dinger dağı uzantısında ve Kadirli kuzeyindeki Meziköy dolaylarında da yüzleklere sahiptir.

Bulgurkaya Olistostromu, temel birimleri üzerinde genelde mega-breş olarak yorumlanabilen seviyelerle başlamakta, daha sonra olistostromal özellikli killi-kumlu çakıltaşlarıyla devam etmektedir. Çakıltaşı seviyeleri içinde kumlu marn ve kumtaşı mercekleri bulunmaktadır. Çok değişik kaya türlerinden derlenmiş çakılların çoğunluğu köşeli olup, genelde gevşek yapıdadır. Bazı çakıltaşı seviyeleri karbonat çimento ile sıkı çimentolanmıştır. Çok kötü boylanmalı ve kaba derecelenme gösteren çakıltaşı seviyeleri, kumlu marnlardan oluşan matriksle aralanmalıdır. Bu çakıltaşları, bazı yörelerde olistostromal istifin egemen kaya türünü oluşturmakta ve istifin tabanından tavanına doğru hem kalınlığı hem de yayılımı azalmaktadır. Düzenli bir istiflenme ve tabakalanma göstermeyen bu çakıltaşı seviyeleri, yanal yönde incelik-kalınlaşabilmekte ve kalınlığı 2-120 m arasında değişmektedir. Havza açılımı ile ilgili oluşan bu olistostromun kalın çakıltaşı seviyeleri içinde, olistolit konumlu bloklar bulunmaktadır. Çakıltaşlarıyla çevrili bu bloklar, bazen dağ boyutuna kadar ulaşabilmektedir. Kumlu marnlar, genelde som (masif) ve kalın katmanlı olup, ince-orta katmanlı kalkarenit ve kumtaşı ara tabakaları içermekte, ayrıca, kum ve çakıl mercekleri de kapsamaktadır. Marnlarda, Üst Eosen-Oligosen yaşlı bol planktonik fosillerle birlikte, Orta Eosen yaşlı taşınmış bentonik fosillerde bulunmaktadır. Kalkarenit ve kumtaşı ara seviyelerinde, dereceli ve paralel tabakalanma, dalga laminasyonu gibi türbid akıntılarla oluşan sedimanter yapılar yaygındır. Bu olistostromal istifi oluşturan kaya türleri, özellikle sedimantasyon esnasında ve daha sonraki tektonizma ile aşırı makaslanmaya uğramıştır. Bu istifin içinde yeralan olistostromal fasiyes birimleri, dokusal ve yapısal özelliklerine göre, genel olarak dört grupta toplanabilir. Bunlar, mega-breşli seviyeler, çamur akıntı seviyeleri, moloz akıntı seviyeleri ve slump seviyelerinden oluşmaktadır. Misis-Andırın havzasında denizel Miyosen istifi; Serravaliyen katı ile son bulmaktadır. Tortoniyen öncesine rastlayan bu olay, Misis-Andırın kuşağının yükselme zamanına da eşdeğer olup, Adana ve İskenderun basenlerinin ayrılmasını sağlamıştır. Gebenköy formasyonu, Arap Platformu üzerinde çökelen Lice formasyonunun kuzey bölgesindeki allokton birlikler üzerinde çökelen eşdeğeri olup Misis-Andırın havzasındaki Aslantaş formasyonunun kuzey taraftaki devamıdır. Aslantaş formasyonu, İnceleme alanında türbiditik istiflerle temsil edilmekte ve Misis-

Andırın havzasının güneydoğu yan kanadında yer almaktadır. Misis-Andırın havzasının doğrultusu (KD-GB) boyunca uzanan formasyonların Misis ve Andırın yöresindeki yüzeylediği alanlarda alt ve üst dokanakları tektoniktir. Aslantaş formasyonuna ait dilimin tavanında Bulgurkaya-Gebenköy birimleri; tabanında ise, İskenderun havzasına ait istifler bulunmaktadır. Aslantaş formasyonu adı, Kozlu (1987) tarafından Aslantaş barajı yöresindeki yüzeylemesinden isimlendirmiştir ve Alt Miyosen yaşlı istif için tanımlamıştır (Kozlu, 1997).

3.2. Yöntem

Heyelanların gelecekte hangi bölgelerde meydana geleceğini gösteren heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, bölgenin heyelan envanter haritaları ve heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörler göz önünde bulundurularak oluşturulmaktadır. Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile ilgili çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır (Şekil 3.7). Bu çalışmada çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden mantıksal regresyon yöntemi uygulanmıştır. Heyelan duyarlılık (mekansal olabilirlik) haritalarının hazırlanması öncelikli olarak, çalışma alanını belli alt bölgelere ayıran, uygun haritalama biriminin seçimini gerektirmektedir. Uygun haritalama biriminin seçimi ise çalışma alanındaki heyelanların alansal büyüklüğü, çalışma alanının büyüklüğü, çözünürlük, ölçek ve kullanılan parametre haritalarının türüne bağlı olarak değişmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında genel olarak piksel, yamaç birimi veya tek durum birimleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin çoğunluğunun sayısal yükseklik modelinden türetilmesi sebebiyle haritalama ünitesi olarak piksel birimleri tercih edilmiştir. Yapılan duyarlılık değerlendirmesinde arazi kullanımı, arazinin sayısal yükseklik modelinden üretilen türev haritalar; yamaç yönelimi, yamaç eğimi, topografik nemlilik indeksi, topografik konum indeksi, yamaç durum indeksi göz önünde bulundurulmuştur. Bölgenin heyelan duyarlılık haritası mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası, heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörler kullanılarak mantıksal regresyon yöntemi ile üretilmiştir



Şekil 3.7. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri (Aleotti ve Chowdury (1999)'dan).

3.2. 1. Mekansal Olabilirlik

Literatürde, heyelan duyarlılık (mekansal olabilirlik) ile heyelan tehlike terimleri arasında karışıklık vardır. İki terim de sık sık aynı anlamda kullanılmasına rağmen farklılıklar vardır. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kütle hareketlerinin karmaşık yapısını ve bu hareketleri kontrol eden faktörlerin iyi bilinmesi gerekmektedir (Guzzetti ve ark., 1999a). Heyelan duyarlılık çalışmasının temelini 'geçmiş günümüzün anahtarıdır' prensibi oluşturmaktadır. Geçmişte meydana gelmiş olan kütle hareketlerini meydana getiren faktörler ve koşullar büyük bir ihtimalle günümüzde ya da gelecekte oluşabilecek kütle hareketlerinin de hazırlayıcısı olacaktır (Guzzetti ve ark., 1999b). Heyelan duyarlılık bölgesel çalışma alanlarında heyelanların geçmişte meydana gelmiş olan ve muhtemel olarak meydana gelebilecek alanların belirlenmesidir (Brabb, 1984). Heyelanların mekansal olabilirliği, heyelan envanter haritaları ile heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörler değerlendirilerek, niteliksel ve niceliksel faktörler göz önünde bulundurularak hazırlanırlar.

Niceliksel yöntemler; üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar istatistiksel analizler, jeoteknik yaklaşımlar, yapay sinir ağları veya bulanık mantık yöntemleridir. Bu yöntemlerden istatistiksel analiz yöntemi; iki değişkenli analiz, çok değişkenli analiz ile matris analiz, olmak üzere üçe ayrılırken, jeoteknik yaklaşımlar; deterministik analiz ve olasılık yaklaşım olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Niteliksel yöntemler tecrübeye dayalı olarak geliştirilen bir yöntemdir. Yöntem kendi içerisinde arazide yapılan jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirmeler ile indeks veya parametre haritalarının kullanımı olmak üzere iki alt başlığa ayrılmaktadır. İndeks veya parametre haritalarının kullanımı yöntemi kendi içerisinde indeks haritaların çakıştırılması veya birleştirilmesi ile mantıksal analiz yöntemleri olmak üzere iki ye ayrılmaktadır. Tez çalışması kapsamında çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden mantıksal regresyon yöntemi uygulanmıştır.

3.2.2. Haritalama Birimleri

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında ilk olarak uygun harita biriminin seçimi gerekmektedir. Uygun harita biriminin seçilmesi ise çalışma alanındaki heyelanların mekansal büyüklüğü, çalışma alanının büyüklüğü, çözünürlük, ölçek ve en önemlisi kullanılacak olan parametrelerin türüne bağlıdır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında genellikle piksel yamaç birimi veya tek durum birimleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan parametrelerin çoğunluğu sayısal yükseklik modelinden üretildiği için haritalama ünitesi olarak piksel tercih edilmiştir. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli 10m kontur aralıklı 1:25.000 ölçekli sayısal kontur haritasından elde edilmiştir. Yapılan duyarlılık değerlendirmesinde jeoloji, yamaç yönelimi, yamaç eğimi, nehir aşındırma indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç eğriliği, topografik konum indeksi, sediman taşıma gücü indeksi, güneş radyasyonu, arazi kullanımı, düzlemsel yamaç şekli, kesit yamaç şekli, teğetsel eğrilik, pürüzlülük indeksi, eğim/yamaç yönelimi,

ortalama eğim haritaları göz önünde bulundurulmuştur. Oluşturulan sayısal yükseklik modeli ve türev haritalar ile, Landsat uydu görüntüsü kullanılarak elde edilen arazi kullanımı haritalarında Universal Transver Merkatör (UTM) projeksiyon sistemi, Avrupa 1950 datumu kullanılmıştır (ED_1950_UTM_Zone_37N).

3.2.3. Mantıksal Regresyon Yöntemi ve Doğrulama Yöntemleri

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde çok değişkenli istatistiksel yaklaşımlardan biri olan mantıksal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Mantıksal regresyon yöntemi sırasında heyelanları hazırlayıcı faktörler araştırma bulguları bölümünde ayrıntılı olarak açıklanan, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, düzlemsel, kesit ve teğetsel yamaç eğrilikleri, nehir aşındırma gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi, sediman taşıma kapasite indeksi ve topografik pozisyon indeksinden üretilmiş olan arazi sınıflandırması ile yamaç durum indeksi haritaları göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen tematik haritalardan duyarlılık haritasının oluşturulabilmesi için çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden mantıksal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda mantıksal regresyon yönteminin ayrıntıları Bircan, (2004), Coşkun ve ark., (2004), Van Den Eeckhaut ve ark., (2005), SPSS Advanced Statistics User Guide., (2006), Ege ve Bayraktaroğlu (2007),’den yararlanılarak özetlenmiştir.

Mantıksal regresyon, bağımlı değişkenin ikili gözleendiği durumlarda, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin neden sonuç ilişkisini belirlemede kullanılan, bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkeninin beklenen değerlerinin olasılık olarak elde edildiği bir regresyon yöntemidir. Diğer bir deyişle bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin beklenen değerinin olasılık olarak elde edildiği sınıflama ve atama işlemini yapmaya yardımcı olan bir regresyon yöntemidir. İstatistiksel değerlendirmelerde kullanılan diğer regresyon yöntemlerinin aksine mantıksal regresyon analizlerinde verilerin sürekli olması veya normal dağılım göstermeleri gibi ön koşullar bulunmamaktadır. Bununla birlikte mantıksal regresyon analizlerinde varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği şartı bulunmamakla birlikte bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin olmadığı varsayılmaktadır.

Mantıksal regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenler sürekli ya da kategorik verilerden oluşturulabilmektedir. Mantıksal regresyon bağımsız değişkenlerin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesinde sağladığı avantaj sebebiyle birçok istatistiksel analizde tercih edilen bir yöntem olmuştur. Mantıksal regresyon analizi sonucunda elde edilen mantıksal regresyon fonksiyonun olasılık değeri Eşitlik 3.1’de görüldüğü gibidir.

$$P(Y = 1) = p_i = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \mathbf{K} + b_n X_n)}} \quad (3.1)$$

Ancak analizde kullanılan bağımlı değişken kesikli ve [0-1] değerleri almaktadır. Denklem eşitliğinin sağ tarafında bulunan ve bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan değer $-\infty$ ile $+\infty$ arasında değişmektedir. Bu $-\infty$ ile $+\infty$ eğrisini doğrusal hale çevirmek için lojit dönüşüm uygulanmaktadır (Eşitlik 3.2). Bu dönüşüm esasen P olasılık değerinin 0’a yaklaştığında durum olasılığı $-\infty$, 1’e yaklaştığında ise $+\infty$ ’a yaklaşmaktadır.

$$MR = \log \frac{P_i}{1 - P_i} = z_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \mathbf{K} + b_n X_n \quad (3.2)$$

Burada, MR mantıksal regresyon denklemini, X değerleri heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak düşünülen bağımsız değişkenleri, b’lar ise bağımsız değişkenlere ait regresyon katsayılarını vermektedir.

Mantıksal regresyon analizinde, lojit modeldeki katsayılar tahmin edildikten sonra, genel olarak modelin güvenilirliğinin test edilmesi gerekir. Bu amaçla bağımsız değişkenler ile kategorik bağımlı değişken arasında önemli derecede ilişki olup olmadığının hipotezleri, yani teorik modelin, verileri iyi temsil edip etmediğinin hipotezleri oluşturularak test edilmelidir. Bu amaçla modelin uygunluğunun belirlenmesinde Ki-Kare testi veya Hosmer ve Lemeshow G istatistiği olarak da bilinen test yapılmalıdır. Ki-Kare testi için log benzerlik fonksiyonu kullanılır. Bu istatistik, sabit terim dışındaki tüm lojit katsayılarının sıfıra eşit olup olmadığını

sınamaktadır (H_0 hipotezi). Bu istatistiğin anlamlı olmaması mantıksal regresyon analizinde istenen durumu göstermektedir.

Log olabilirlik değeri 0–1 aralığında değerler almaktadır. Bu oran, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından tahmin edilme olasılığını göstermektedir. 1’den küçük sayıların logaritması 0 ile $-\infty$ arasındaki $\log L$ istatistiği, en çok olabilirlik algoritması ile tahmin edilmektedir. $-2 \log L$ istatistiği yaklaşık olarak Ki-Kare dağılımına uyduğundan, mantıksal regresyon analizindeki $-2 \log L$ istatistiği, regresyon analizindeki hata kareleri toplamına benzemektedir. Yani olabilirlik oranı 1 ise, $-2 \log L$ istatistiği sifıra eşit olmaktadır. Model, verileri tam olarak temsil ederse olabilirlik oranı 1 ve dolayısıyla $-2 \log L$ ’nin sifır olması anlamına gelmektedir. Bu da daha küçük $-2 \log L$ istatistiğinin, her zaman daha iyi bir model olduğunu göstermektedir. Olabilirlik fonksiyonunu (D) kullanarak, gözlenen değerlerle tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması işlemi aşağıdaki ifade ile yapılmaktadır (Eşitlik 3.3.).

$$D: -2\log(\text{İndirgenmiş modelin olabirliliği} / \text{Tüm modelin Olabirliliği}) \quad (3.3)$$

Burada indirgenmiş model, elde edilen tek değişkenli (Sabit değer) denklemin maksimum olabirliliğini, tüm model ise sabit değer yanında denkleminde en az 1 bağımsız değişkenin bulunduğu eşitlik olarak tanımlanmaktadır.

Parantez içindeki ifade “olabilirlik oranı”nı göstermektedir. Logaritmanın -2 katının alınmasının nedeni matematiksel olduğu kadar dağılımı bilinen bir değer elde edilebilmesidir. Sonuçta D değeri, hipotez testi amacıyla kullanılabilir. Bu teste “olabilirlik oran testi” adı verilir. Bağımsız değişkenler ile kategorik bağımlı değişken arasında önemli derecede ilişki olup olmadığı D testinin geliştirilmiş hali olan Hosmer ve Lemeshow G istatistiği ile test edilmektedir (Eşitlik 3.4.).

$$G=(-2\log\text{İndirgenmiş model olabirliliği})-(-2\log\text{Tüm model olabirliliği}) \quad (3.4)$$

Değişkenler arası anlamlılığın ortaya konabileceği bir diğer test ise Wald Testidir. Bu test için gerekli varsayımlar log olabilirlik oran testindeki varsayımlarla

aynıdır. Wald testi, eğim parametresinin en çok olabilirlik tahmini olan b_1 'in kendi standart hatasının karesine bölünmesiyle elde edilir. Elde edilen oran standart normal dağılım gösterir ve $b_1 = 0$ şeklindeki hipotezi test eder (Eşitlik 3.5.).

$$W = \frac{b_1}{SE(b_1)^2} \quad (3.5)$$

Bu istatistiklerle birlikte mantıksal regresyon analiz sonuçlarında bağımsız değişkenlerin etkisini ortaya koyan parametre ise odds oranıdır (Eşitlik 3.6). Bu oran denklemde bulunan b katsayılarının eksponansiyellerinin alınması ile hesaplanmakta ve modeldeki diğer değişkenlerin sabit tutulması durumunda ilgili değişkenin 1 birim arttırıldığında üstünlük oranında hangi düzeyde bir atışın olacağını göstermektedir.

$$\text{Odds Oranı} = \text{Exp}(\beta) \quad (3.6)$$

Modelin uyum iyiliği, bağımlı değişkeni açıklamak için oluşturulan en iyi modelin etkinliğinin bir ölçüsünü göstermektedir. Doğrusal regresyon analizindeki R^2 istatistiğine benzeyen ve geniş kabul gören bir istatistik, mantıksal regresyon analizinde bulunmamaktadır. R^2 , bağımlı değişkenin açıklanan varyansının yüzdesini göstermekte, ancak mantıksal regresyon analizinde bağımlı değişkenin varyansı bu değişkenin frekans dağılımına bağlıdır. Diğer bir anlatımla iki gruplu bir bağımlı değişkenin varyansı grup frekansları eşit olduğu zaman maksimum olmaktadır. Bu nedenle regresyon analizindeki R^2 değeri ile mantıksal regresyon analizindeki R^2 değerini karşılaştırmak uygun değildir. Bununla birlikte literatürde mantıksal regresyon analizi için çeşitli R^2 istatistiğine yer verilmekte ve modelin iyiliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu istatistiklerden en çok kullanılan iki tanesi Cox ve Snell R^2 ile onun geliştirilmiş versiyonu olan Nagelkerke R^2 değerleridir.

- i) Cox ve Snell R^2 : Olabilirlik esasına göre çoklu R^2 istatistiğine benzemektedir. İstatistiğin maksimum değerininin genelde 1'den küçük olması bu istatistiğin yorumunu güçleştirmektedir.

- ii) Nagelkerke R^2 : Cox ve Snell R^2 istatistiğinin 0–1 aralığında değerler almasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Mantıksal regresyon analizinden elde edilen modelin gerçekliği aynı zamanda Cohen's Kappa indeks, Pabak (düzeltilmiş Cohen's Kappa) ve alıcı işletim karakteristiği eğrisi (ROC curve) yaklaşımlarıyla da kontrol edilebilmektedir. Bu iki yaklaşımın temelleri ise mantıksal regresyon sonucu elde edilen hata matrisi (Çizelge 3.1.) oluşturmaktadır.

Çizelge 3.1. Hata matrisi (Confusion Matrix)

Gözlenen		Tahmin Edilen	
		Olay	
		0	1
Olay	0	TN	FN
	1	FP	TP

Burada TN Doğru negatif, FN Yanlış negatif, FP Yanlış pozitif, TP Doğru pozitif değerleridir. Cohen's Kappa indeksinin hesaplanması aşağıda verilen eşitlik 3.7-3.9'dan yapılmaktadır ve çıkan kappa sonucuna göre modelin iyilik derecesi çizelge 3.2'de bulunmaktadır.

$$k = \frac{P_{obs} - P_{exp}}{1 - P_{exp}} \quad (3.7)$$

$$P_{obs} = \frac{TP + TN}{N} \quad (3.8)$$

$$P_{exp} = \frac{(TP + FN)(TP + FP) + (FP + TN)(FN + TN)}{N^2} \quad (3.9)$$

Model iyiliğinin kontrol edilebileceği bir diğer yaklaşım ise Kappa indeksinin düzenlenmiş hali olan Pabak indeksidir (Eşitlik 3.10). Bu indeksten çıkan sonuç Cohen's Kappa indeksinde olduğu gibi çizelge 3.2'den yorumlanmaktadır.

$$PABAK = 2P_{obs} - 1 \quad (3.10)$$

Çizelge 3.2. Kappa ve Pabak indekslerine göre model iyiliği dereceleri

Kappa istatistik	İyilik Derecesi
<0,00	Kötü
0,00-0,20	Az
0,21-0,40	Uygun
0,41-0,60	Makul
0,61-0,80	Yüksek
0,81-1	Mükemmel

Modelin iyiliğinin sınanabileceği yaklaşımlardan biri olan ROC eğrisi modelin doğru pozitif (TP) ve yanlış pozitif (FP) tahmin oranları arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılır. Y eksenini duyarlılığa (sensitivity) karşılık gelmekte ve modelin doğru pozitifleri tahmin kapasitesini belirtmekte ve eşitlik 3.11'deki formülle hesaplanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3.11)$$

X eksenini özgüllük değerini ifade etmektedir ve eğri üzerinde 1-özgüllük olarak tanımlanır. Modelin doğru negatif (TN) tanımlama kabiliyetini belirtir. Özgüllükteki artış duyarlılıktaki artışa karşılık gelmektedir. Buna göre x eksenini eşitlik 3.12'deki formülle hesaplanmaktadır.

$$\text{Özgüllük (Specificity)} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3.12)$$

Yüksek özgüllük değerlerinde yüksek duyarlılık modelin iyiliğini belirtir. Modelin doğruluğunun sayısal olarak ifadesi eğrinin altındaki alan ile tanımlanır. Burada 1 değeri mükemmel doğruluğu 0,5 in altındaki değer ise modelin kötü olduğunu ifade etmektedir. Alan ve doğruluk arasındaki niteliksel ve niceliksel

ilişkiler genelde doğrusal bir davranış gösterir ve aşağıdaki sınıflama kullanılabilir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. ROC eğrisi sınıflaması

Eğri altında kalan alan (AUC)	Model iyiliği
0,9	Mükemmel
0,8-0,9	Çok iyi
0,7-0,8	İyi
0,6-0,7	Ortalama
0,5-0,6	Yetersiz

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hareket eden malzemenin cinsi, hareket eden kütlenin alansal büyüklüğü ve derinliği, hareketin tipi ve hızı ile heyelena neden olan faktörlerin çeşitliliği, çalışma alanının büyüklüğü, çalışmanın gerçekleştirileceği harita ölçeği, çalışmanın amacı gibi değişkenler göz önünde bulundurulduğunda, heyelanlar ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı yaklaşımların kullanılması zorunlu hale gelmekte ve her bir yaklaşımda kendi içerisinde belli sınırlamaları bulunmaktadır (Çan, 2009).

Bu çalışmada Osmaniye il sınırları içerisinde, Kadirli ilçesi ile Aslantaş arasındaki bölgenin, niceliksel yöntemlerden, çok değişkenli istatistiksel analiz teknikleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları hazırlanmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan parametrelerden en önemli kriterlerden biri olan, heyelan envanter haritalarının doğruluğu ve en doğru şekilde oluşturulması çok önemlidir. Heyelan envanter haritaları heyelanların tiplerinin, yerlerinin ve eğer biliniyorsa oluşum zamanlarının belirtildiği haritalardır. Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler çalışmanın amacına, çalışma alanının büyüklüğüne, heyelanların işleneceği topografik haritaların ve kullanılan hava fotoğraflarının ölçeğine ve eldeki mevcut altyapı ve maddi olanaklara bağlı olarak değişmektedir (Çan, 2009). Heyelan haritaları tekil heyelanlarla ilgili tarihsel veri kayıtlarının derlenmesiyle ve/veya hava fotoğrafı ve arazi çalışmalarının birlikte gerçekleştirilmesiyle yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden birincisi heyelan arşivi (WP/WLI, 1990), heyelanın nerede oluştuğunu bildiren harita şeklindeyken, ikincisi ise heyelan kütesinin alansal dağılımını gösteren haritalardır (Guzzetti ve ark, 1999a). Heyelan envanter haritaları yapıldığı tarih itibari ile mevcut olan heyelanların tümünü içeriyorsa tarihsel heyelan envanter haritası olarak isimlendirilmektedir. Ancak özellikle küçük ölçekli heyelanlar zaman içinde, çevresel faktörlerden dolayı morfolojilerini kaybettiklerinden, tarihsel envanter haritalarında gösterilememektedir. Bu nedenle belirli bir olay sonucunda tetiklenen tüm heyelanların haritalanabilmesi ancak olay sırasında yapılan ayrıntılı arazi çalışmaları veya olay sonrası çekilen hava fotoğrafları veya yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile mümkün olmaktadır (Çan, 2009).

Heyelan envanter haritaları, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için gerekli olan temel ve en önemli veri setlerinden birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, yine heyelan envanter haritalarını temel alan heyelan aktivite haritaları, değişik zaman aralıklarında çekilmiş hava fotoğrafı yorumlamaları ve düzenli arazi gözlemlerine dayanılarak üretilmektedir (Soeters ve Van Westen, 1996).

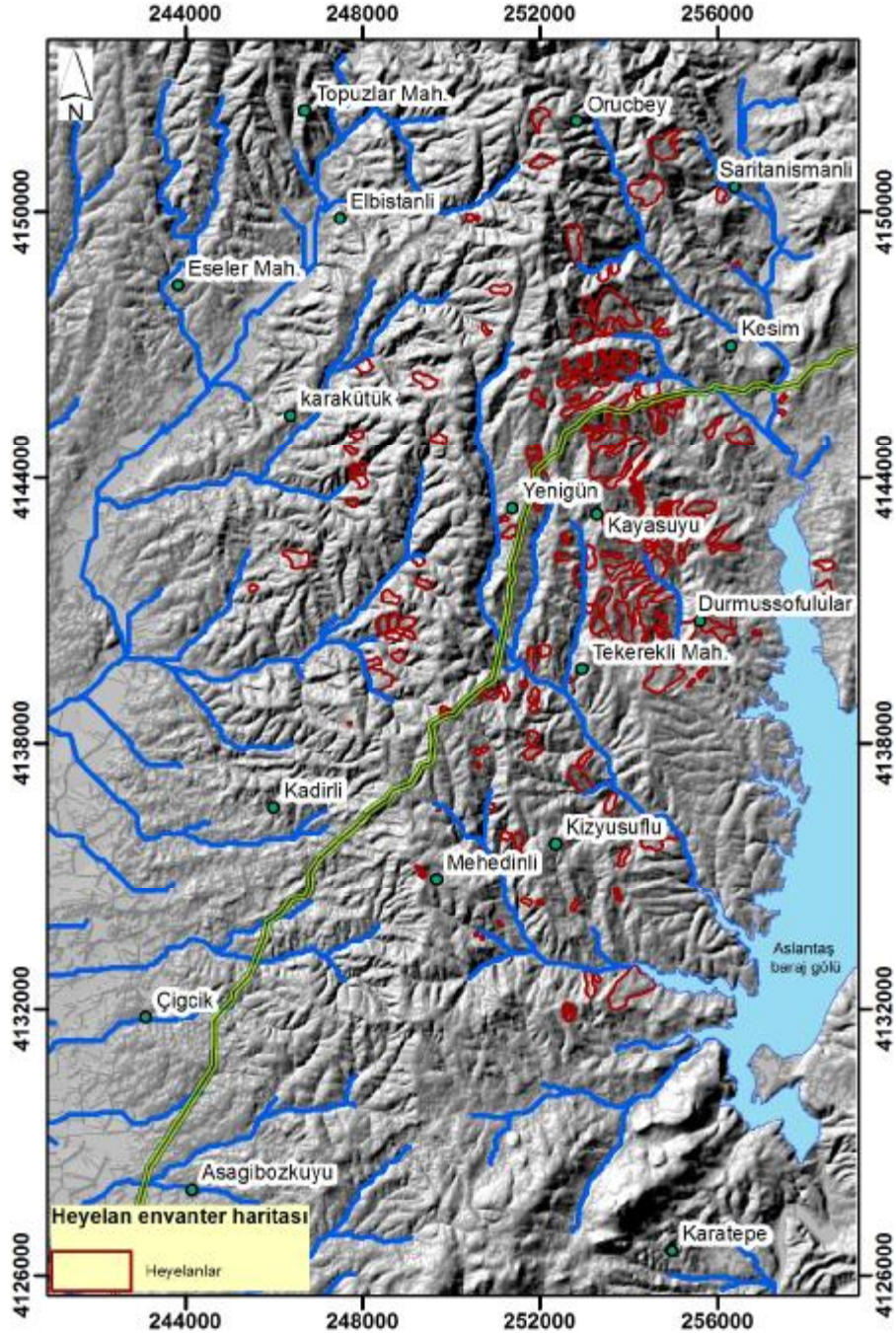
Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulmasıyla, heyelanların gelecekte nerede oluşabileceğini yani mekansal olabilirlik değerlerinin gösterildiği haritalardır. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kütle hareketlerinin karmaşık yapısını ve bu hareketleri kontrol eden faktörlerin iyi bilinmesi gerekmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliği; kaliteli, doğru, kullanışlı veriye ve analizlerde kullanılacak yöntemin modellemesinin iyi seçilmesine bağlıdır. Bu anlamda, heyelan duyarlılık haritaları, genel olarak heyelanları kontrol eden faktörlerin ve heyelanların dağılımı arasında ilişkileri ortaya koyarak üretilen haritalardır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması, niteliksel ve niceliksel yaklaşımlar olarak iki ana başlıkta özetlenmektedir. Bu metotlardan niteliksel yöntemler genelde tecrübeye dayalı arazide yapılan jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirmeler sonucu sezgisel olarak veya indeks ve parametre haritalarının karşılaştırılması yöntemlerini içermektedir. Niceliksel yöntemler ise istatistiksel analizler, jeoteknik yaklaşımlar, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır. Günümüzde yazılım - donanım ve özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak, istatistiksel analizler, küçük ve orta ölçekli heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Heyelanların neden olduğu değişimlerin uzaktan algılama teknikleri kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada öncelikle duyarlılık haritalarının elde edilmesi için gerekli olan veriler hazırlanmıştır. İkinci bölümde ise elde edilen veriler kullanılarak veri seti oluşturulmuş olup SPSS programında istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları elde edilmiştir.

4.1.Çalışma Alanının Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, heyelanların tiplerinin, yerlerinin ve eğer biliniyorsa oluşum zamanlarının belirtildiği haritalardır. Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler, çalışmanın amacına, çalışma alanının büyüklüğüne, heyelanların işleneceği topografik haritaların ve kullanılan hava fotoğraflarının ölçeğine ve eldeki mevcut altyapı ve maddi olanaklara bağlı olarak değişmektedir. Heyelan envanter haritaları, heyelanlarla ilişkili jeomorfolojik, jeolojik ve arazi kullanımı gibi koşulların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Farklı ölçeklerde hazırlanan jeolojik ve jeomorfolojik birimlerle ilişkili heyelan envanter haritaları, stereo hava fotoğrafları ve çeşitli uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak morfolojik, tekstürel ve yapısal özelliklerine bağlı olarak yorumlanabilmektedir (Singhroy ve ark., 2008). Çalışma alanı heyelan envanteri, Duman ve ark. (2009g)'de tamamlamış oldukları Türkiye Heyelan Envanter projesinde belirlenen heyelanlar temel alınarak çeşitli zamanlarda yapılan arazi çalışmaları ile güncellenmiş olup toplamda 185 adet heyelan bulunmaktadır (Şekil 4.1). Yapılmış olan arazi çalışmalarında, 2009 yılı sonrası gelişen 18 adet yeni heyelan tanımlanmış ve envanter haritasına eklenmiştir. Heyelanlı alanların toplamı 14,13 km² olup, bu da çalışma alanının yaklaşık % 3'üne karşılık gelmektedir. Heyelanların % 86,4'ü gevşek yapılı kum dolgulu iri çakıltaşı, kalın tabakalı çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, düşük dayanımlı kıltaşı ve çamurtaşlarının düzensiz ardalanmasından oluşan Kadirli formasyonu içerisinde gözlenmektedir (Şekil 4.2). Heyelanlar genel olarak kompleks ve dairesel kayma tipinde (Şekil 4.3, 4.4), 15° üzerindeki eğime sahip vadi yamaçlarında gözlenmekle birlikte, aşırı yağışlara bağlı olarak küçük ölçekli akmalarda da gözlenmektedir. Çalışma alanından geçen petrol boru hattının (Şekil 4.5) yaklaşık 1 km'lik bölümü de heyelanlardan olumsuz yönde etkilenmektedir. Bölgedeki heyelanlar genel olarak aşırı yağışların tetiklemesi sonucu oluşmaktadır. Çalışma alanı sınırları içerisinde bulunan Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne ait Kadirli meteoroloji istasyonundan elde edilen yağış verilerine göre 1998-2012 yılları arasında ortalama yıllık yağış değeri 790 mm'dir. En fazla yağış ortalama 100 mm ile Aralık-Mart ayları arasında gözlenmektedir. Günlük 100 mm veya birkaç günlük

birikimli yağış değerlerinin 150 mm'yi aştığında bölgede heyelanların tetiklendiği gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanı gölgeli kabartma görüntüsü üzerine bindirilmiş çok zamanlı heyelan envanteri.



Şekil 4.2. Kadirli-Andırın karayolunda gelişen dairesel heyelan.



Şekil 4.3. Toputepe mevki kompleks kayma tipinde heyelan.



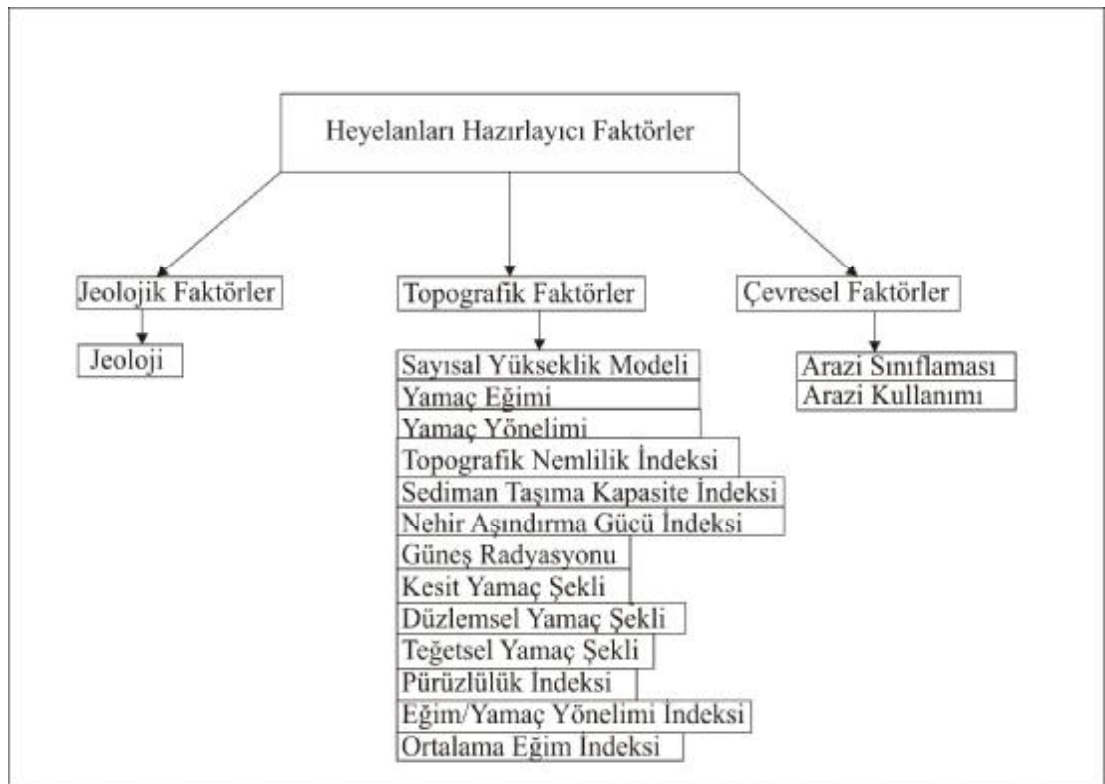
Şekil 4.4. Söğütlüdere kuzeybatısı kompleks kayma tipinde heyelan.



Şekil 4.5. BTC boru hattı güzergahında gelişen heyelan.

4.2. Heyelanları Hazırlayıcı Faktörler

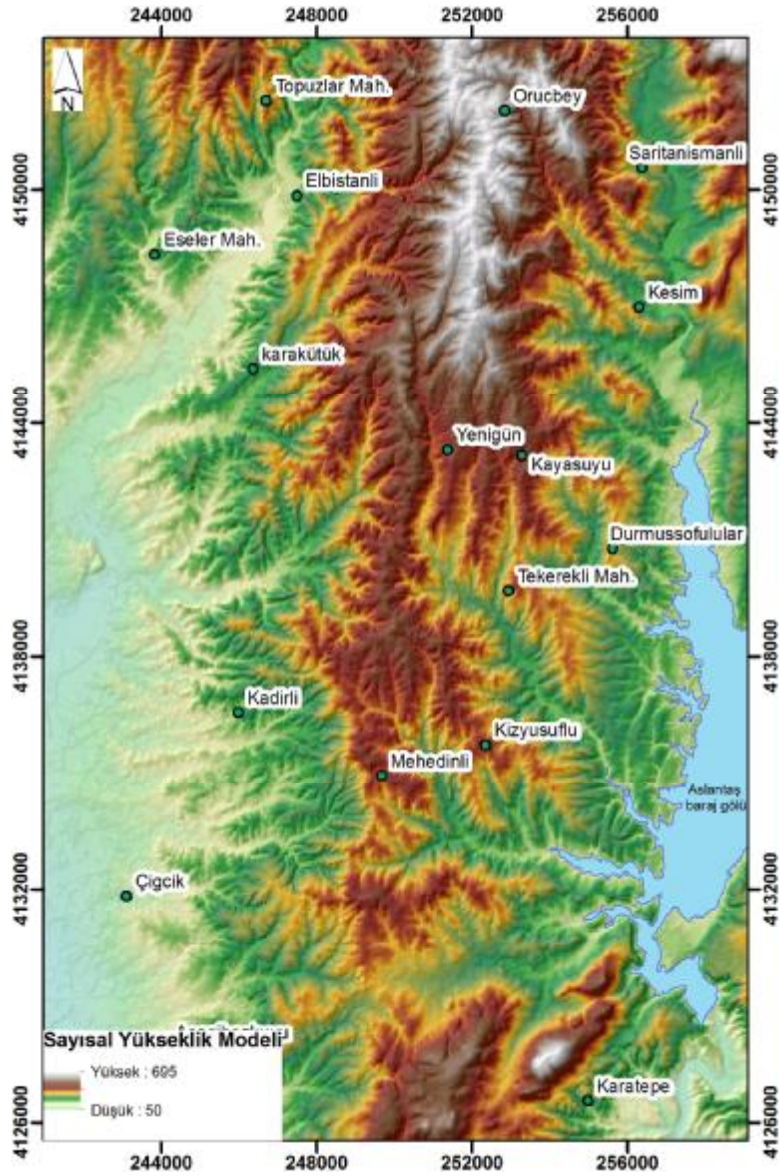
Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak göz önünde bulundurulmuş parametreler şekil 4.6'da belirtilmiştir. Arazi sınıflaması ve arazi kullanımı haritaları Landsat TM uydu görüntüsünden, jeoloji haritası Kozlu (1997) çalışmasından, topografik faktörler ise 1/25000 ölçekli sayısal kontur haritasından elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Çalışma kapsamında kullanılan heyelanları hazırlayıcı faktörler.

4.2.1. Sayısal Yükseklik Modeli

Çalışma alanına ait eş yükselti eğrileri kullanılarak ArcMap 10.1 programında düzensiz üçgenel ağ oluşturulduktan sonra raster formatına dönüştürülerek, 25*25 m mekansal çözünürlükte sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanının deniz seviyesinden itibaren yükseklik değerleri 50 ile 695 m arasında değişmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli.

4.2.2. Yamaç Eğimi

Eğim, belirli iki nokta arasındaki düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjant açısıyla ifadesidir. Sayısal yükseklik modelinin türevi olan yamaç eğimi haritası şekil 4.8’de görülmekte olup güneyden kuzeye gidildikçe eğim miktarının arttığı görülmektedir. Litoloji tipinde bağlı olarak yamaç duyarlılıklarında en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. En yüksek eğim değerine sahip yamaçlar kuzey kesimde bulunmakta ve 60°’ye ulaşmaktadır.



Şekil 4.8. Çalışma alanının yamaç eğim haritası.

4.2.3. Yamaç Yönelimi

Yamaç eğiminin azalan doğrultusunun kuzeyle yaptığı açı olarak tanımlanan yamaç yönelimi haritası şekil 4.9'de görülmektedir. Genel olarak heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasının nedenlerini, sahanın genel morfolojik eğiminin yanı sıra, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve/veya güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar ile ilişkilendirmek mümkündür. Yoğun yağış alan yamaçlar, topografik yamaç eğimi ile zeminin türü, geçirgenliği,

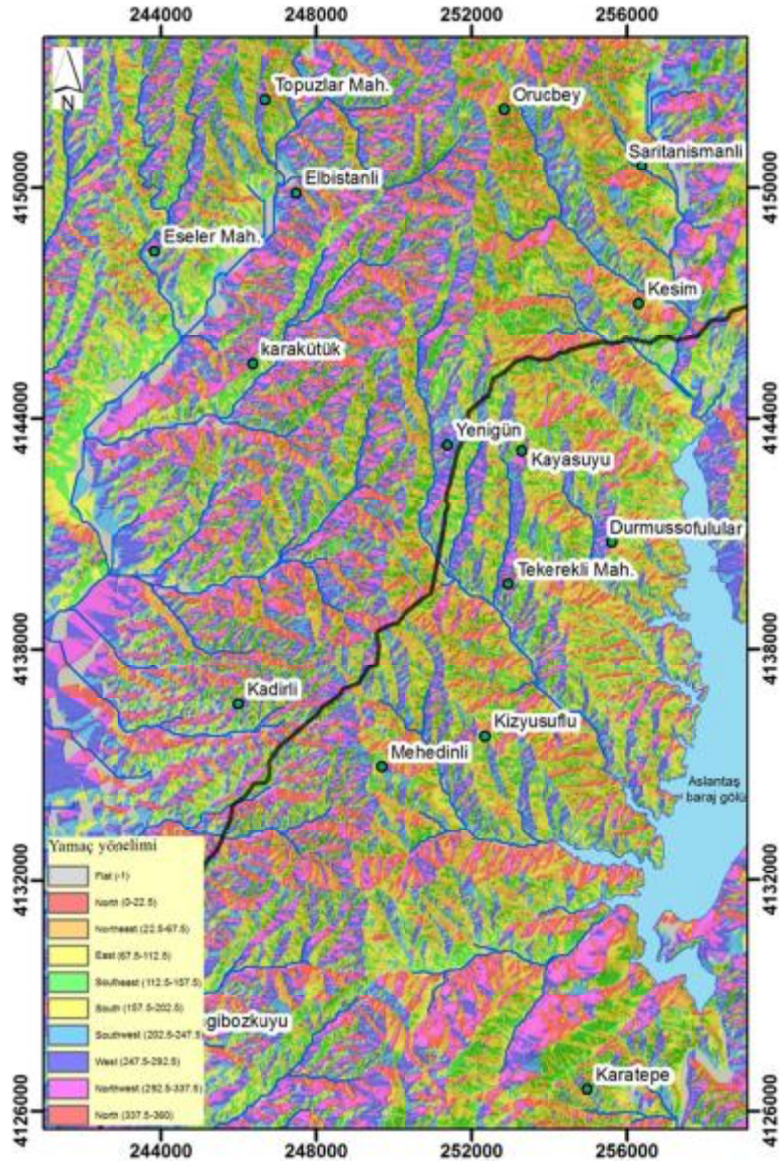
gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak; egemen yönelimin dışındaki yönelimlere sahip yamaçlara oranla doygunluğa daha çabuk ulaşmakta ve zemin içerisinde daha yüksek gözenek suyu basınçlarının gelişmesine neden olabilmektedir. Bu olayın daha yoğun yağış alan yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirebilmesi mümkündür (Ercanoğlu, 2003). İnceleme alanına ait yamaç yönelimi haritası, 25 m çözünürlükte hazırlanmış olan sayısal yükseklik modelinden elde edilmiştir. Yamaç yönelimi düzlük, kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı olmak dokuz ayrı sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflamadaki heyelan yoğunluğuna bakıldığında güney yöne bakan yamaçlarda yamaçlarda heyelanlar yoğun olarak görülmektedir.

4.2.4. Topografik Nemlilik İndeksi

Topografik nemlilik indeksi yüzeysel akış potansiyeline sahip suya doygun alanların topografik lokasyon ve boyutlarını ifade etmekte yaygın şekilde kullanılmaktadır (Moore ve ark., 1991). Bu yaklaşım ilk kez Beven ve Kirkby, (1979) tarafından önerilmiş ve zaman içerisinde geliştirilerek Barling (1992) tarafından aşağıda verilen Eşitlik 4.1 ile ifade edilmiştir.

$$W = \ln (A_s / \tan\beta)^n \quad (4.1)$$

Burada A_s : Kullanılan harita biriminin alanı ($m^2 m^{-1}$), β : Yamaç Eğimi ($^\circ$) değerine karşılık gelmektedir. Topografik nemlilik indeksi çalışılan bölgenin suya doygunluğunu alansal ölçüde boyutlandırmaktadır (Şekil 4.10). Şekil 4.10.'de görüleceği üzere çalışma alanı için en yüksek topografik nemlilik indeksi değerleri genelde nehir içlerinde 10-15 derecelik yamaç eğimine sahip bölgelerde yoğunlaşmaktadır.



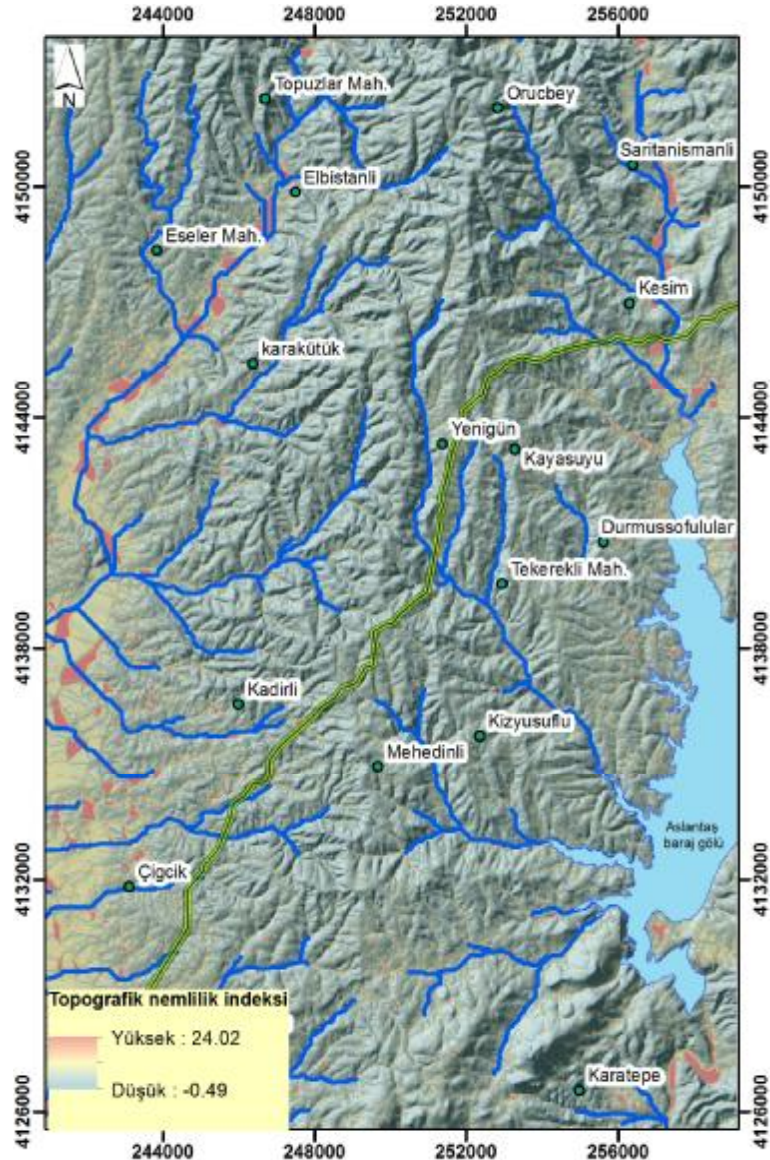
Şekil 4.9. Çalışma alanının yamaç yönelimi haritası.

4.2.5. Sediman Taşıma Kapasite İndeksi

Sediman taşıma kapasite indeksi Moore ve Burch (1986a,b) tarafından nehir aşındırma gücü teorisinden yola çıkılarak üretilmiştir (Eşitlik 4.2). Bu parametre aynı zamanda 100 m'den kısa yamaç uzunluğuna sahip ve yamaç eğiminin 14°'den az olduğu koşullarda, gözden geçirilmiş evrensel zemin kayıp eşitliğinin denkleminde bulunan yamaç uzunluğu parametresine eş değerdir (Wilson ve Gallant, 2000).

$$LS = (m+1) \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^m (\sin\beta / 0,0896)^n \quad (4.2)$$

Burada A_s : Kullanılan harita biriminin alanı ($m^2 m^{-1}$), β : Yamaç Eğimi ($^\circ$), m : 0.4, n : 1.3' dür. Sediman taşıma kapasite indeksi çalışma alanı için nehir yatağı üzerinde ve yamaçlarda yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.11).



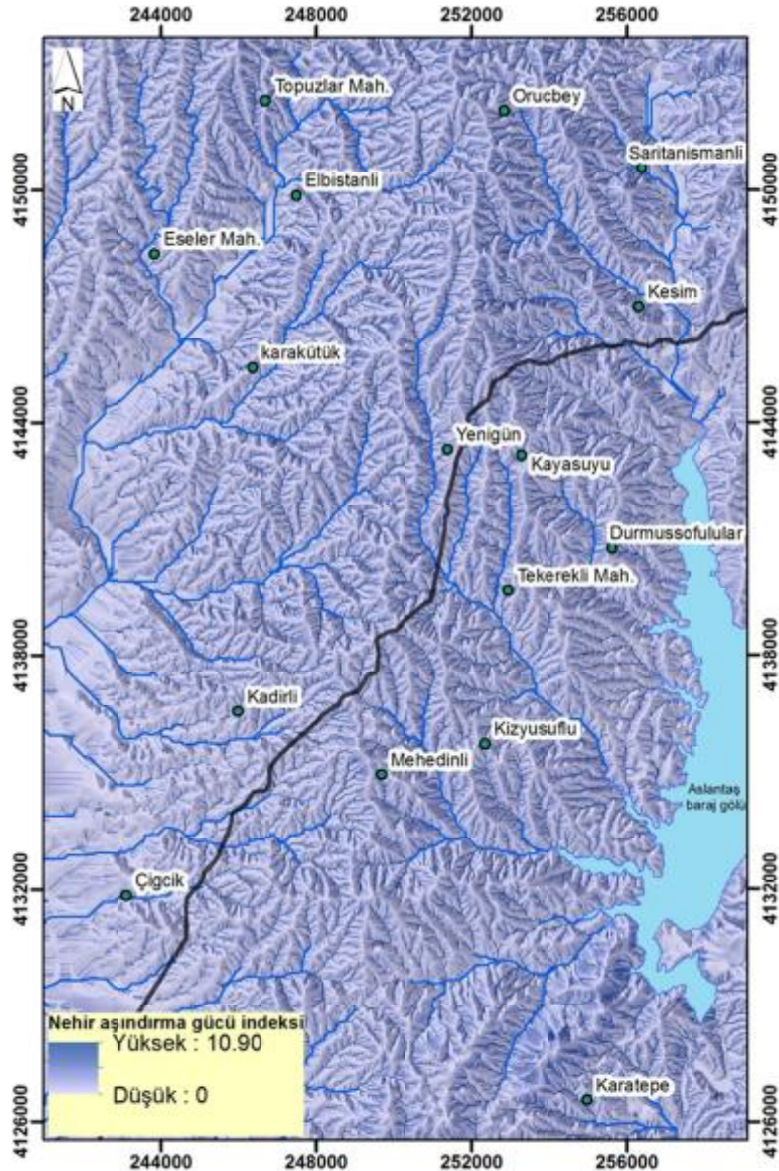
Şekil 4.10. Çalışma alanının topografik nemlilik indeksi haritası.

gibi hesaplanmaktadır. Çalışma alanının nehir aşındırma gücü haritası şekil 4.12’de verilmiştir.

Sediman taşıma kapasitesi (SLF) Moore ve Burch (1986 a, b) tarafından nehir aşındırma gücü teorisinden yola çıkılarak üretilmiştir. Bu parametre aynı zamanda 100 m den kısa yamaç uzunluğuna sahip ve yamaç eğiminin 14°’den az olduğu koşullarda, incelenmiş ve evrensel zemin kayıp eşitliğinin denkleminde bulunan yamaç uzunluğu parametresine denk olarak kabul edilmiştir.

$$SPI = (A_s \cdot \tan b) \quad (4.3)$$

Burada A_s : Kullanılan harita biriminin alanı ($m^2 m^{-1}$), b : Yamaç Eğimi ($^\circ$) değeridir.



Şekil 4.12. Çalışma alanının nehir aşındırma gücü indeksi haritası.

4.2.7. Güneş Radyasyonu

Yıllık güneş radyasyonunun hesaplanması ArcView 3.2 GIS programında Parks (2004) tarafından yazılmış olan eklenti ile oluşturulmuştur. Yıllık güneş radyasyonunun hesaplanabilmesi için McCune ve Keon (2002) tarafından farklı regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 4.1, 4.2). Bu eklenti ile üç farklı şekilde geliştirilen regresyon denklemleri çalışma alanına uygulanarak yıllık güneş radyasyonu değerleri 1cm^2 de 1 yıl içerisinde etkin olacak MJ güneş radyasyonu

cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında enlem, eğim ve yamaç yönelimi parametreleri dikkate alınmaktadır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için önerilen üç farklı regresyon denkleminin bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. Buna göre hesaplamaların yapılması için kullanılan “solar radiation” eklentisinin 1. eşitliği dünyanın her yerinde uygulanabilecek şekilde yazılmıştır. Ancak Parks (2004), bu denklemin çok doğru sonuçlar vermeyeceğini öngörmüş ve kullanılmasını önermemiştir. 2. denklem ise bütün enlemlerde kullanılabiliceğini fakat yamaç eğimleri $0-60^\circ$ arasında değişen bölgelerin yıllık güneş radyasyonlarını hesaplamaktadır. Parks (2004), eğim değerlerinin bu aralığa uyması durumunda eklentisinde kullanmış olduğu 2. eşitliğin 1. eşitliğe göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Eklentide bulunan son eşitliğin ise ön koşullarının sayısı artmaktadır. Bu önkoşullar çalışma alanının $30^\circ-60^\circ$ enlemleri arasında yer alması ve çalışılan alandaki eğim değerlerinin 60° fazla olmaması koşuludur. Parks (2004) bu koşulların sağlanması durumunda hesaplamaların daha yüksek doğrulukla hesaplandığını belirtmiş ve eklentide bulunan 3. eşitliğin kullanılması tavsiye edilmiştir. Çalışma alanı 37° enlemde bulunmakta ve eğim değerlerinin % 99 luk bir kısmı 60° 'nin altındadır. Bu koşullar Parks (2004) ün önermiş olduğu 3. denklemin önkoşulları sağladığından hesaplamalar bu denklem kullanılarak yapılmış ve güneş radyasyon haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.13).

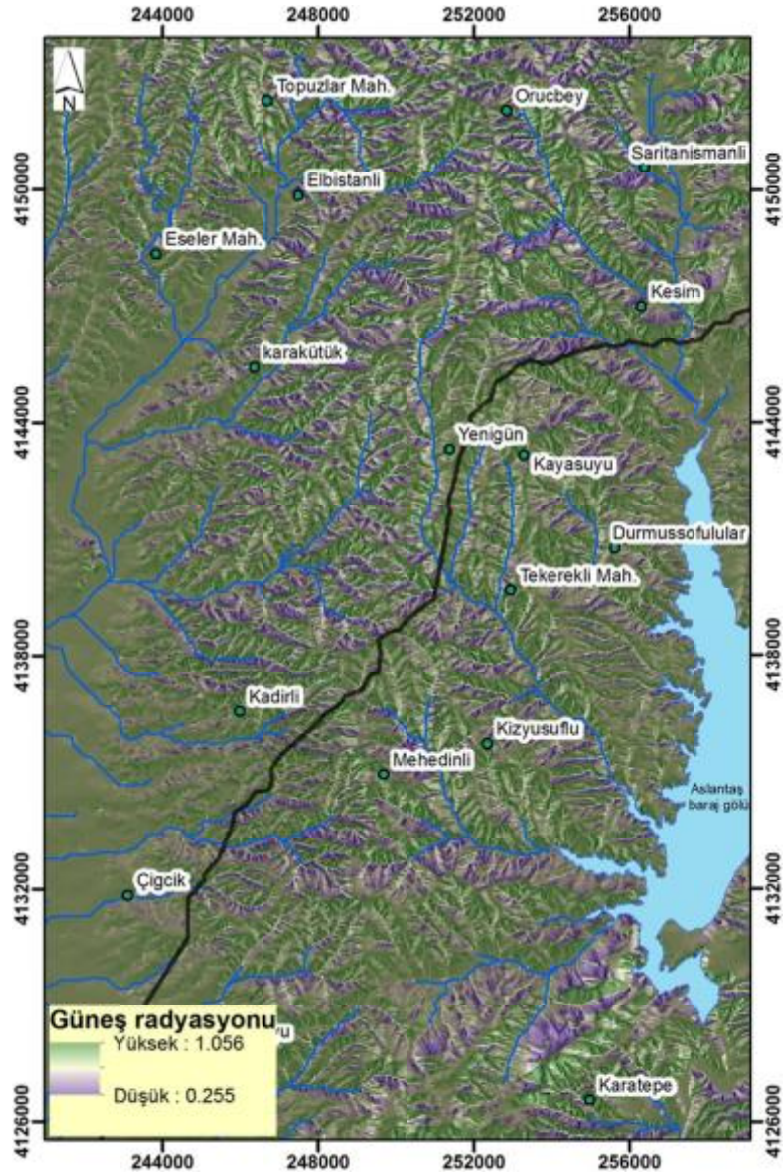
Çizelge.4.1. Güneş radyasyonu değerlerinin hesaplanmasında kullanılan regresyon eşitliklerine ait girdi parametreleri (McCune ve Keon, 2002)

Değişken	Sembol	Birim	Aralık (π)	Aralık ($^\circ$)
Dönüştürülmüş Yamaç Birimi*	A	Radyan (E)	$0-\pi$	0-180
Yamaç Eğimi	S	Radyan	$0-\pi/2$	0-90
Enlem	L	Radyan	$0-\pi/3$	0-60
Potansiyel anlık doğrudan radyasyon	Rad	$\text{MJ cm}^{-2}\text{yıl}^{-1}$	0,03-1,11	-

*Dönüştürülmüş Yamaç Birimi ($^\circ$) = $|180^\circ - |\text{yamaç yönelimi} - 180^\circ|$

Çizelge 4.2. Güneş radyasyonu değerlerinin hesaplanmasında McCune ve Keon (2002) tarafından önerilen regresyon eşitlikleri.

	Eşitlik 1	Eşitlik 2	Eşitlik 3
Parametre Sayısı	4	4	4
Yamaç Eğimi Aralığı (°)	0-90	0-60	0-60
Enlem Aralığı (°,N)	0-90	0-90	30-60
Düzeltilmiş R ²	0,958	0,978	0,983
Bağımlı Değişken	ln[Rad]	ln[Rad]	ln[Rad]
Sabit	-1,467	-1,236	0,339
cos(L) x cos(S)	1,582	1,350	0,808
cos(A) x sin(S) x sin (L)	-1,500	-1,376	-
sin(L) x sin(S)	-0,262	-0,331	-0,196
sin(A) x sin(S)	0,607	0,375	-
cos(A) x sin(S)	-	-	-0,482

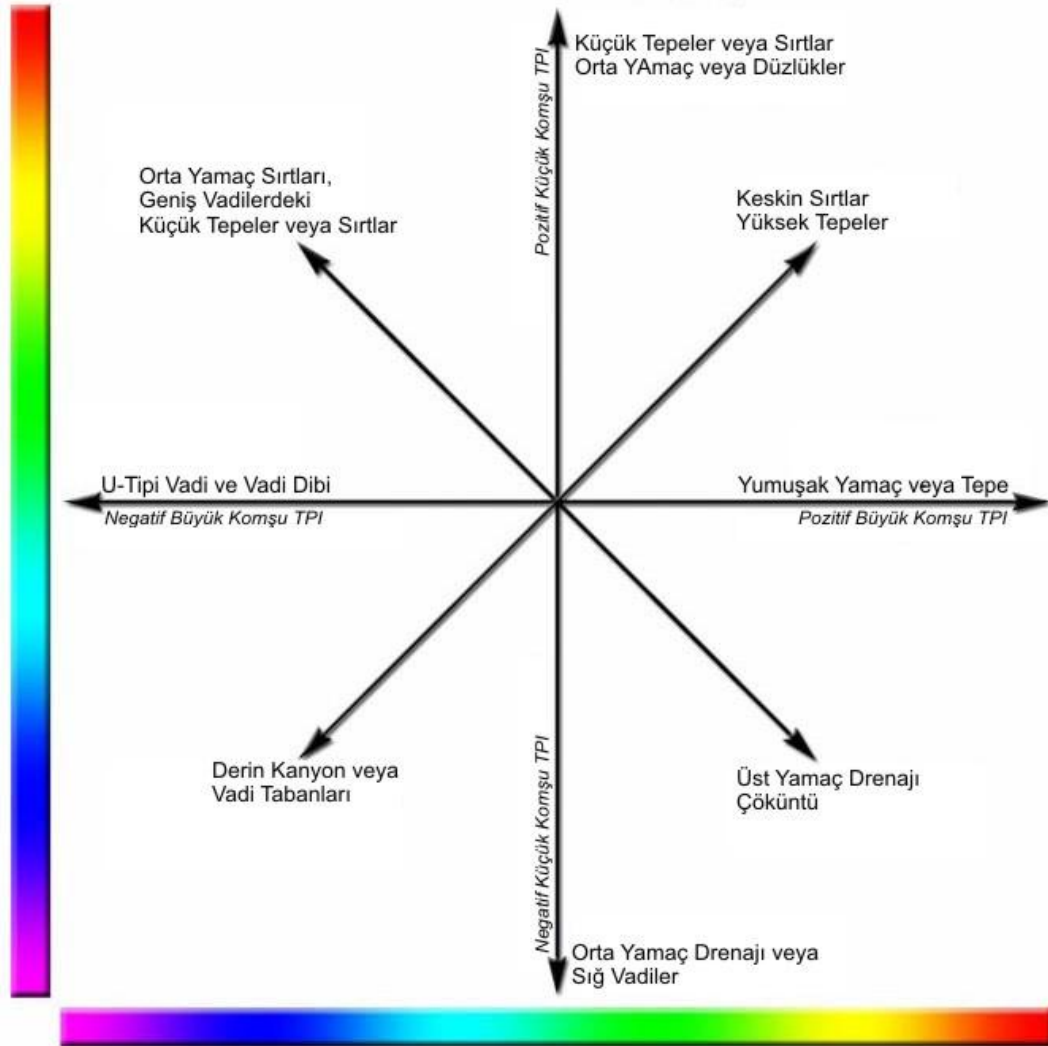


Şekil 4.13. Çalışma alanının güneş radyasyon haritası.

4.2.8. Arazi Sınıflaması ve Yamaç Durum İndeksi

Topografik pozisyon indeksi (TPI), 1 pikselin yüksekliği ile bu pikselin sayısı ve komşu piksellerin hangilerinin olacağı kullanıcı tarafından tanımlanan komşu piksellerinin yükseklik değerlerinin ortalamasının hesaplanması temeline dayanan bir sınıflama sistemidir. Çalışma alanının morfolojik yapısını yansıtacak olan uygun TPI değerleri kullanılarak Weiss (2001)'e göre arazi sınıflaması şekil 4.14'te, topografik durum indeksi parametresine göre hazırlanan arazi sınıflaması haritası şekil 4.15'de

verilmiştir. Böylece çalışma alanındaki arazi yapıları ayrıntılı bir şekilde belirlenerek duyarlılık değerlendirmesi çalışmasında parametre olarak kullanılmıştır. Arazi sınıflaması haritasına bakıldığında heyelanlar bu sınıflar içerisinde açık şev ve orta yamaç drenaj sınıflarında yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.14. TPI'nin morfolojik sınıflara göre değişimi (Weiss 2001).

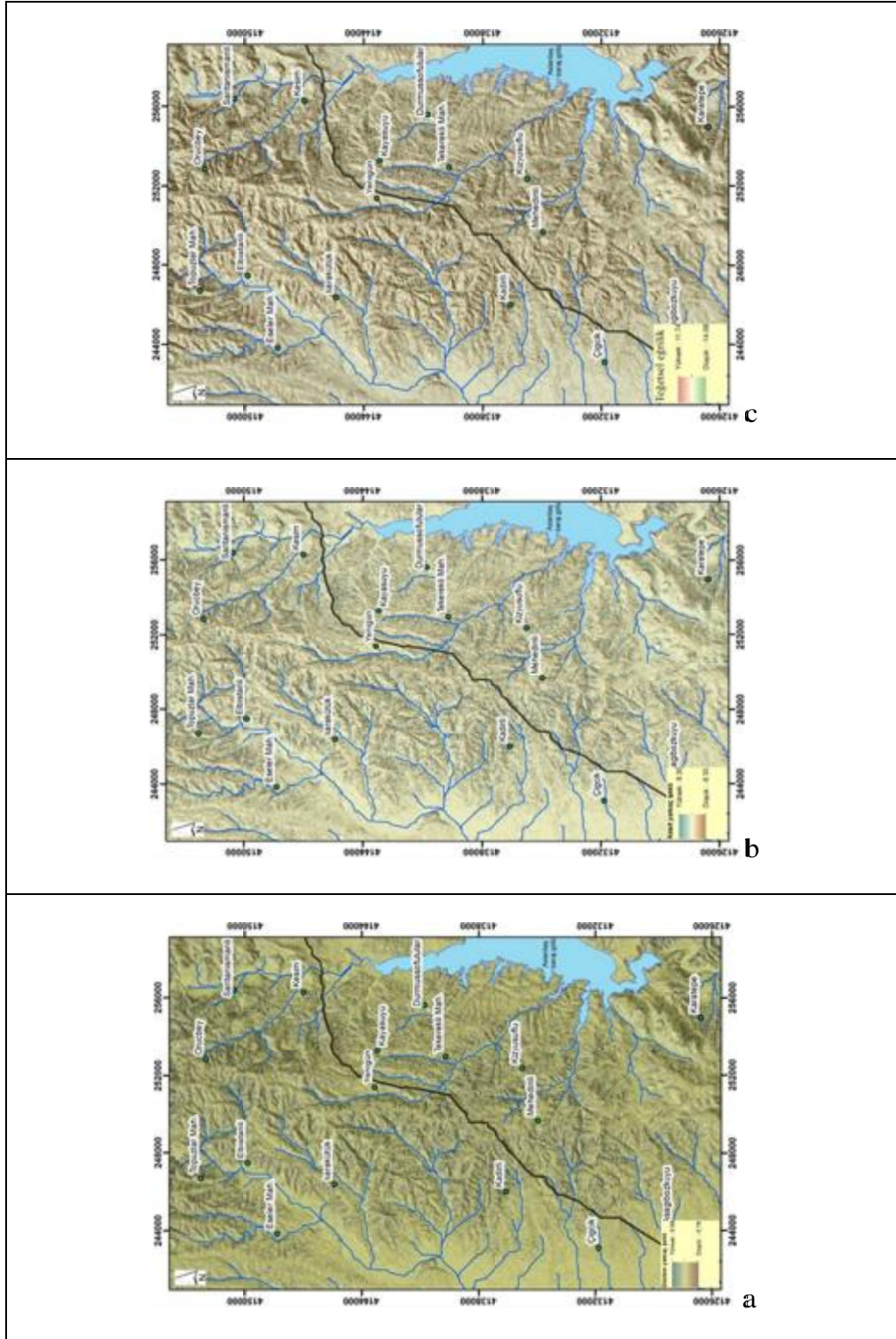


Şekil 4. 15.Çalışma alanının (Weiss 2001)'e göre arazi sınıflaması haritası.

4.2.9. Kesit, Düzlem ve Teğetsel Yamaç Şekli

Profil yamaç eğriselliği, dikey düzlemde eğim yönüne paralel eğrisellik olarak tanımlanabilir (Wilson and Gallant, 2000). Profil yamaç eğriselliği; suyun yüzeydeki akış hızı ve sedimentlerin yamaç boyunca taşınımı ve böylece gelişen erozyonu, eğim değişim oranını ifade ederek ortaya koyar. Plan yamaç eğriselliği (kontur eğriselliği) ise yatay düzlemle yüzeyin kesişimiyle ortaya konur, belli konturlar boyunca yönelim oranı olarak da ifade edilebilir (Wilson and Gallant,

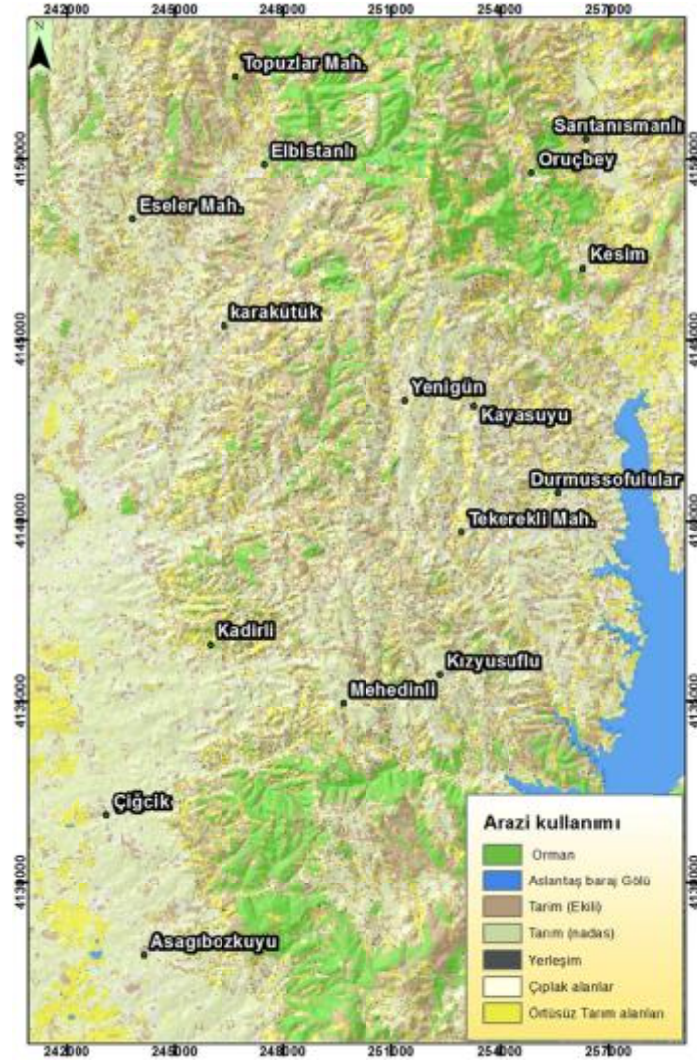
2000). Plan egriselliği topografik konverjans ve diverjans alanlarını ortaya koyarak yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. İç bükey ve dış bükey yamaç şekilleri hidrolojik akış durumunu kontrol etmesi bakımından oldukça önemlidir. Yamaç şekilleri değerlendirildiği doğrultuya göre 2 farklı eğrisellik değeri sunmaktadır. Bunlardan birincisi kesit diğeri ise düzlem yamaç şekilleridir. Düzlem yamaç şekli (Şekil 4.16a), belirli bir yükseklik boyunca (eş yükselti eğrisi) yamaç yöneliminin değişim oranı olarak tanımlanmaktadır. Kesit yamaç şekli (Şekil 4.16b) ise azalan eğim yönünde akış çizgisindeki eğim değişim oranı olarak tanımlanmaktadır (Wilson ve Gallant, 2000). Bunun yanı sıra düzlem yamaç şekli değerinin yamaç eğimi değeri ile çarpılmasından elde edilen değer tegetsel eğrilik (Şekil 4.16c) olarak tanımlanmaktadır (Huggett ve Cheesman 2002).



Şekil 4.16. Çalışma alanının düzlemsel (a), kesit (b) ve teğetsel (c) yamaç şekli haritaları.

4.2.10. Arazi Kullanımı

Landsat-I (TM:Thematic Mapper) 1972 yılında NASA tarafından uzaktan algılama çalışmalarında kullanılmak üzere fırlatılan ilk uydudur. Landsat I ardından 2, 3, 4, 5, 6, ve en son 1999 yılında Landsat 7 (ETM+ Enhance Thematic Mapper) uydusu yörüngeye oturtulmuştur. Yeryüzü üzerinde aynı alanı 16 günde bir taranmaktadır. Görüntü büyüklüğü 185*185 km'dir. Heyelanların belirlenmesinde ve ileride nerede meydana geleceğini belirlemede kullanılan haritalardan biri olan arazi kullanımı haritası çalışma alanına ait 2010 yılında çekilmiş olan Landsat TM uydu görüntüsü kullanılarak Envi 4.8 programında kontrollü sınıflama yöntemi ile elde edilmiştir (Şekil 4.17). Çalışma alanı içerisinde genellikle tarım yapıldığından dolayı tarım alanları üç ayrı sınıfa ayrılmıştır. Oluşturulan arazi kullanımı haritası yedi sınıf olarak oluşturulmuştur. Bu sınıflar orman, Aslantaj baraj gölü, tarım (ekili), tarım (nadas), yerleşim, çıplak alanlar, örtüsüz tarım alanlarından oluşmaktadır. Çalışma alanının %40'ı bitki örtüsüz ve tarım arazilerine karşılık gelmektedir.

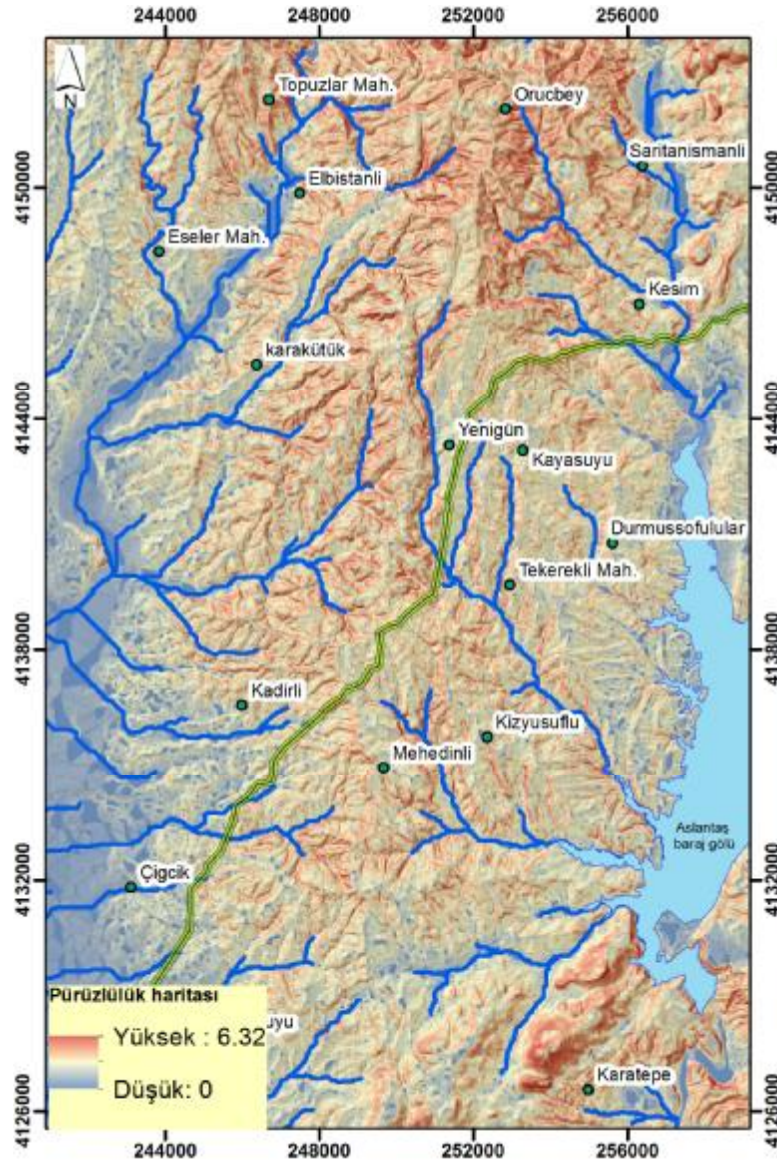


Şekil 4.17. Çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası.

4.2.11. Pürüzlülük İndeksi

Jeomorfolojinin alt disiplinlerinden olan jeomorfometri de amaç yerşekillerinin nitel ve nicel ölçümü ve tanımlanmasıdır (Pike ve Dikau, 1995; Dehn ve ark., 2001; Pike, 2002). Tanımlamalar temelde mesafenin bir fonksiyonu olarak rölyef değişimlerinin analizi ile yapılır. Yeryüzü şekillerinin bilgisayar ortamında tanımlanmasında morfometrik parametrelerin sınıflandırılması, filtreleme, küme analizi ve çok değişkenli istatistik gibi çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır (Altundağ, 2008). Algoritmaların kullanılmasıyla otomatik ve yarı otomatik olarak yerşekillerinin sınıflandırılması ile ilgili pek çok araştırma literatürde yer almaktadır.

Üretilen bu parametrelerden pürüzlülük haritası belirlenen bir alan içerisindeki pürüzlülüğü gösteren (Şekil 4.18) pürüzlülük indeksi değerlerinin düşük olduğu alanların heyelan oluşumuna sebep olduğu görülmüştür.

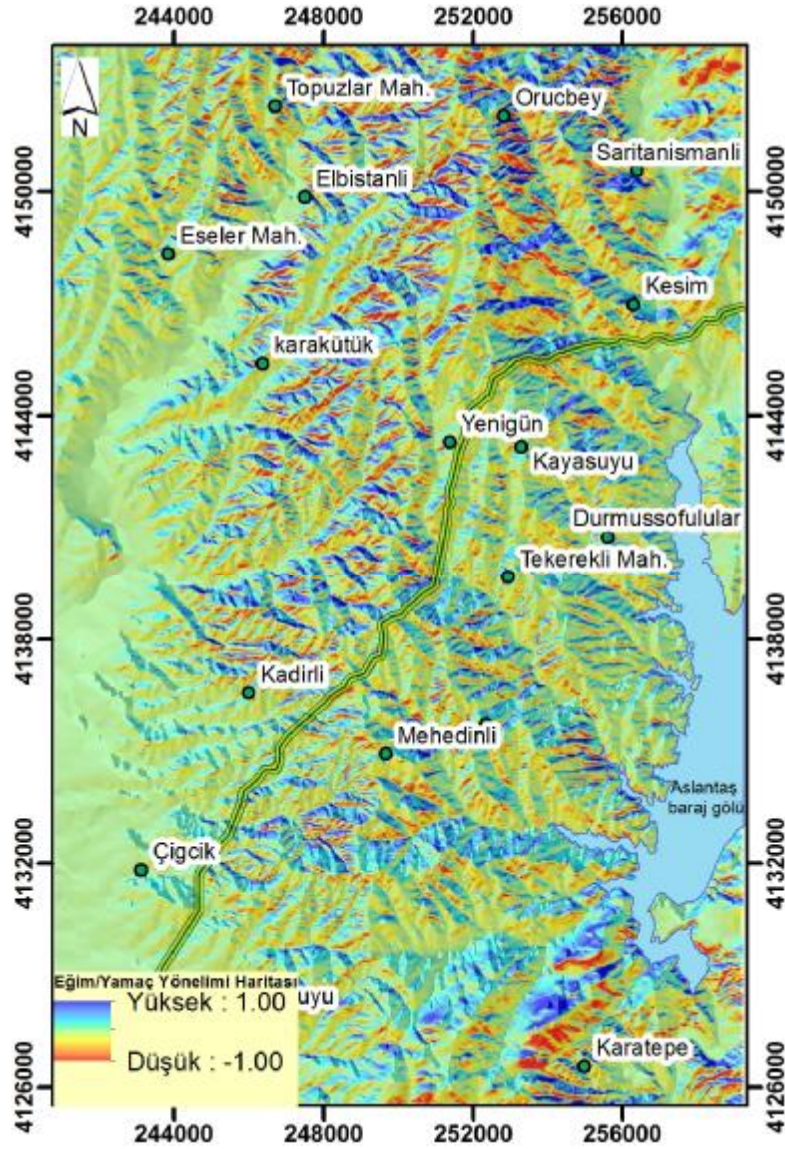


Şekil 4.18. Çalışma alanına ait Pürüzlülük haritası.

4.2.12. Eğim/Yamaç Yönelimi İndeksi

Yamaç eğimi ve yamaç yönelimi haritalarının oranlanmasıyla elde edilen eğim/yamaç yönelimi indeksi standart metod kullanılarak oluşturulmuştur.

Hesaplanan değerlere bakıldığında düzensiz üçgensel ağ tabanlı ve grid tabanlı hesaplamalara çok yakındır. Bu oranlama sonucunda yüksek çıkan değerler yamaçların iç kesimlerine karşılıkta gelmekte olup düz alanlar ise düşük bölgeleri oluşturmaktadır (Şekil 4.19).

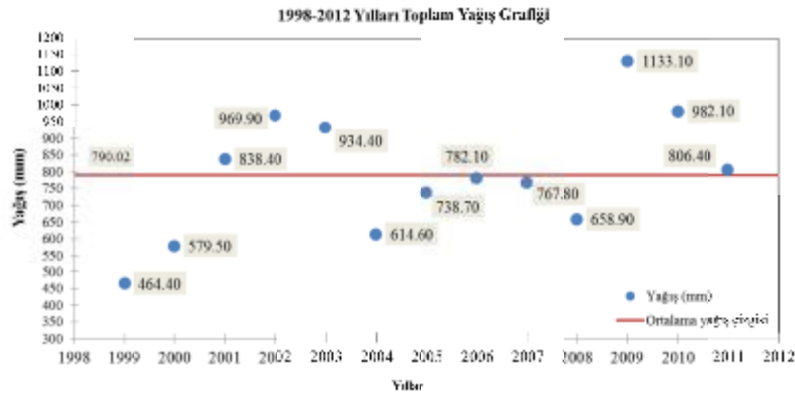


Şekil 4.19. Çalışma alanına ait Eğim/Yamaç Yönelimi haritası.

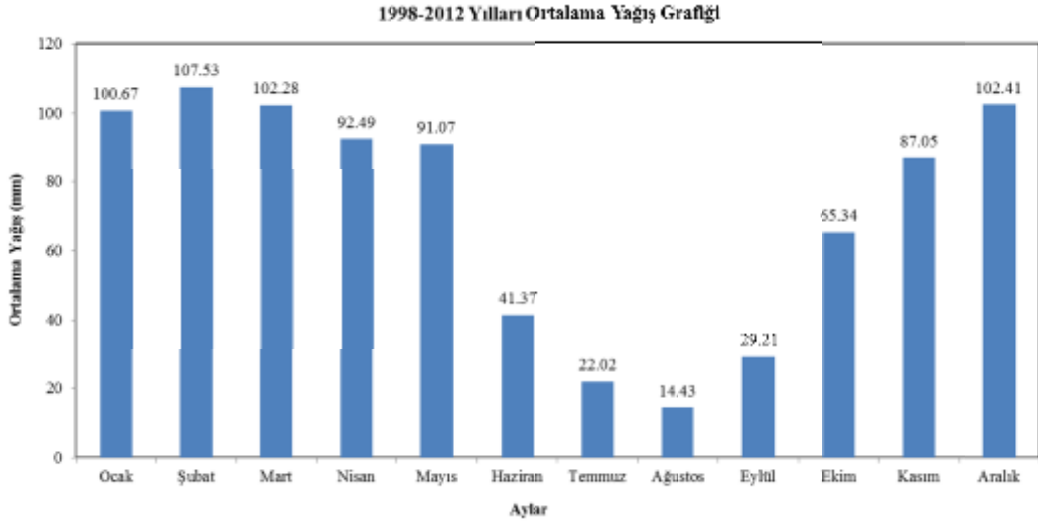
4.2.13. Ortalama Eğim İndeksi

Heyelan oluşumunda en etkili parametrelerden biri olan yamaç eğimi tez kapsamında Gradyan metric eklentisi kullanılarak ortalama eğim haritasına

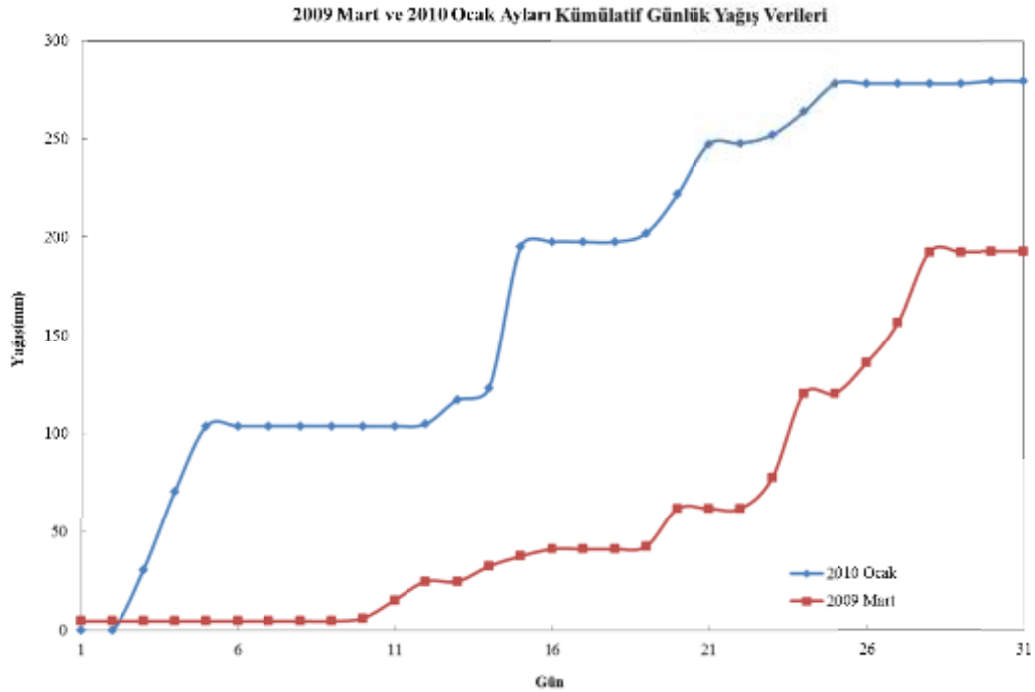
Genel Müdürlüğünden alınan 1998-2012 yılları arasındaki Kadirli meteoroloji istasyonuna ait günlük yağış verileri düzenlenerek aylık ve yıllık toplam ve ortalama yağış olarak hesaplanmıştır. Toplam yağış verilerinin yıllık dağılımına bakıldığında, ortalama yıllık yağışın 790,0 mm olduğu, bölgede en yüksek yağışın 2009 yılında (1133,10 mm) en düşük yağış değerinin ise 1999 yılında (464,40 mm) meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.21). 1998-2012 yılları arasındaki yağışların yıl içerisindeki aylara göre dağılımına bakıldığında ortalama aylık yağışların Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında birbirlerine yakın ve en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.22). Bunlar içerisinde en fazla aylık yağış ise 107,53 mm ile Şubat ayına karşılık gelmektedir. Güncellenen heyelan envanter arazi çalışmaları esnasında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde tarihi bilinen heyelan olaylarının 2008-2010 Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar ile tarihi bilinen heyelan olaylarının 2009 Mart ve 2010 Ocak aylarında gerçekleştiği belirlenmiştir. 2009 Mart ve 2010 Ocak aylarında meydana gelen toplam yağış değerleri sırasıyla 150 ve 250 mm'nin üzerindedir (Şekil 4.23). 2009 ve 2010 yılı Osmaniye Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü afet verileri incelendiğinde 29 Ocak 2010 tarihinde oluşan heyelandan Şehit Mustafa Yağız mahallesinde 4 adet evin olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir. Meteoroloji verilerine bakıldığında Şehit Mustafa Yağız mahallesinde oluşan heyelanın 13 Ocak-25 Ocak 2010 tarihinde bölgeye düşen yağışların etkisiyle oluştuğu görülmekte bu günlere ait toplam yağış değeri ise 173,6 mm olarak bölgeye düşmüştür.



Şekil 4.21. Çalışma alanında bulunan Kadirli meteoroloji istasyonuna ait 1998-2012 yılları toplam yağış değerleri.



Şekil 4.22. Çalışma alanına ait uzun yıllar aylık ortalama yağış değerleri.



Şekil 4.23. 2009 Mart ve 2010 Ocak ayları kümülatif günlük yağış verileri.

4.4. Heyelan Duyarlılık Haritaları

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan tüm veriler ArcGIS ortamında hazırlanmıştır. Model yapılandırma, geoprocessing iş akışlarının yapılandırılmasında görsel bir modelleme dili olmasından ve karmaşık geoprocessing

Analizlerde kullanılan envanter haritası (21.749 piksel) yaklaşık 1/5 oranında (alansal dağılım ve piksel sayısı dikkate alınarak) rastgele seçim yöntemi ile iki gruba ayrılmıştır. İkiye ayrılan bu grubun % 80'lik kısmına karşılık gelen bölümü duyarlılık analiz veri setinde; kalan % 20'lik kısım ise doğrulama veri seti olarak kullanılmıştır. Bilindiği üzere mantıksal regresyon denklemi bir olayın olup olmaması koşulunu az çok eşit sayıda veri kullanıldığı zaman verimli sonuçlar vermektedir. Bu durum göz önüne alınarak her bir duyarlılık analizi için kullanılan heyelanlı harita birimi (1 olayı) sayısı kadar heyelansız harita birimi sayısının seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçla veri setinden her bir analizde kullanılmak üzere heyelanlı piksel sayısı kadar beş adet heyelansız piksel veri kümesi (0 olayı) rastgele seçim yöntemi ile seçilmiş ve veri setleri oluşturularak analizler yapılmıştır. Mantıksal regresyon sonuçlarının yorumlanmasından Cohen Kappa, Pabak (Çizelge 4.3) yaklaşımları kullanılmıştır bu indekslerin sonuçlarına baktığımızda yüksek ve mükemmel olarak derecelendiği görülmektedir.

Çizelge 4.3. Heyelanlara ait Cohen's Kappa ve Pabak indeksi değerleri

Veri seti heyelanları	kappa indeksi	Pabak
Reg1_1	0,702	0,702
Reg1_2	0,885	0,885
Reg1_3	0,722	0,722
Reg2_1	0,668	0,668
Reg2_2	0,715	0,715
Reg2_3	0,678	0,678
Reg3_1	0,702	0,702
Reg3_2	0,693	0,693
Reg3_3	0,701	0,701

Oluşturulan üç veri setinin herbiri için aynı sayıda heyelandan etkilenmeyen alanlar içinden üçer adet olmak üzere toplamda dokuz adet istatistiksel veri seti elde edilmiştir. Heyelan duyarlılık modellerinden elde edilen sonuçlar çizelge 4.4'de özetlenmiştir. Çizelge 4.4'te dokuz adet veri setinden elde edilen heyelan duyarlılık haritaları içinde çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının çalışma alanına karşılık gelen yüzde değerleri ile bu sınıflar içerisinde yer alan analiz

ve test heyelanlarının dağılımı görülmektedir. Genel olarak bakıldığında tüm duyarlılık modellerinin oldukça yüksek kestirim gücüne sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan regresyon analizleri sonucunda hangi veri setinin duyarlılık analizlerinde kullanılıcağına dair verilen karar bütün istatistiksel değerlendirmelerde veri setleri arasındaki değerlerin birbirine çok yakın olması nedeniyle mantıksal regresyon denkleminde edilen değerlere göre yapılan duyarlılık sınıfları içerisindeki test verisi olarak kullanılan heyelanların dağılım yüzdelere bakılarak hangi veri setinin kullanılıcağına karar verilmiştir.

Çizelge 4.4. Heyelan duyarlılık modellerinde çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanı, analiz ve test heyelanları içinde % dağılımı.

	Duyarlılık Sınıfları	Çalışma alanı Yüzde %	Analiz heyelanlar Yüzde %	Test heyelanlar Yüzde %
1 ₁₁	Cok düşük	22,38	0,78	0,82
	Düşük	19,80	3,63	2,74
	Orta	22,29	10,99	9,99
	Yüksek	20,57	30,25	25,73
	Cok yüksek	14,97	54,36	60,73
1 ₂	Cok düşük	23,21	0,95	0,96
	Düşük	19,86	4,95	4,08
	Orta	22,33	15,97	13,11
	Yüksek	20,16	31,73	28,92
	Cok yüksek	14,44	46,40	52,93
1 ₃	Cok düşük	24,34	1,05	1,33
	Düşük	20,76	5,88	5,39
	Orta	21,88	18,29	15,64
	Yüksek	19,30	32,60	28,04
	Cok yüksek	13,72	42,18	49,60
2 ₁	Cok düşük	26,56	1,45	2,46
	Düşük	21,08	6,88	6,47
	Orta	21,48	19,26	16,60
	Yüksek	18,47	31,83	28,71
	Cok yüksek	12,41	40,59	45,77
2 ₂	Cok düşük	22,42	1,00	1,87
	Düşük	19,97	4,36	4,74
	Orta	21,80	14,12	12,81
	Yüksek	20,47	31,14	26,77
	Cok yüksek	15,34	49,38	53,81
2 ₃	Cok düşük	26,15	1,56	2,61
	Düşük	21,19	6,62	6,32
	Orta	21,59	18,39	16,11
	Yüksek	18,63	32,67	27,91
	Cok yüksek	12,44	40,76	47,05
3 ₁	Cok düşük	20,70	0,40	0,51
	Düşük	13,89	3,79	2,65
	Orta	20,88	9,86	10,96
	Yüksek	23,90	34,96	29,38
	Cok yüksek	20,63	50,98	56,51
3 ₂	Cok düşük	22,33	1,39	1,83
	Düşük	20,99	8,53	7,72
	Orta	18,04	18,46	16,00
	Yüksek	11,92	30,04	29,86
	Cok yüksek	26,72	41,58	44,59
3 ₃	Cok düşük	26,49	1,84	1,81
	Düşük	19,55	6,61	10,73
	Orta	20,77	17,70	15,61
	Yüksek	18,90	29,82	28,79
	Cok yüksek	14,30	44,03	43,05

Sonuç duyarlılık haritası olarak kullanılan reg1_2 veri setinin regresyon hata matrisi çizelge 4.5’de verilmiş olup genel doğruluk % 72,2 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Mantıksal regresyon sonucunda 1_2 veriseti hata matrisi.

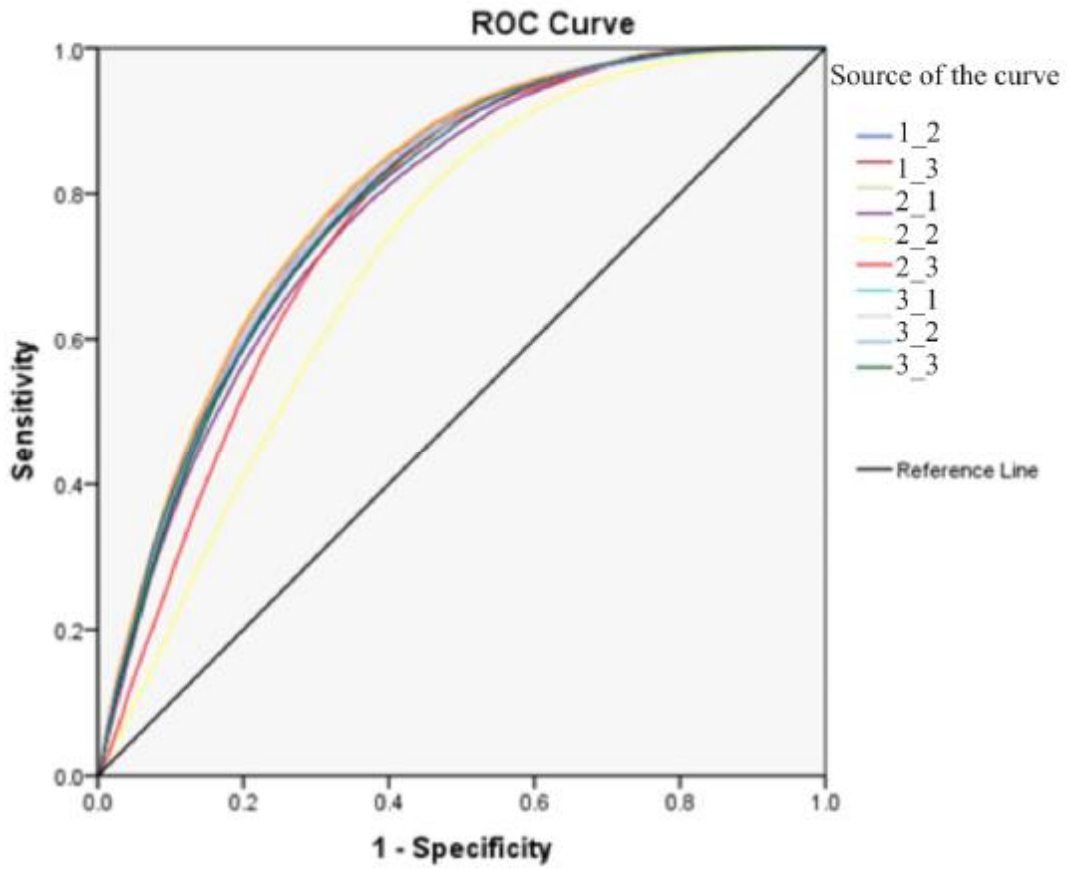
Gözlenen Heyelan	Tahmin edilen		Doğruluk
	heyelan		
	0	1	
0	11423	5429	67,8
1	3938	12914	76,6
Genel %			72,2

Heyelanlara ait alıcı işletim karakteristik (ROC curve) eğrisi SPSS programında çizdirilmiş ve eğri altında kalan alan hesaplanmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrilerine ait istatistiksel değerler.

Sonuç değişkenleri	Alan	Standart hata	Sig.(B)	%95 Güven aralığı	
				Alt sınır	Üst sınır
1_1	0,791	0,001	0	0,789	0,794
1_2	0,798	0,001	0	0,795	0,800
1_3	0,790	0,001	0	0,788	0,793
2_1	0,776	0,001	0	0,774	0,779
2_2	0,716	0,001	0	0,713	0,718
2_3	0,767	0,001	0	0,765	0,770
3_1	0,789	0,001	0	0,786	0,791
3_2	0,799	0,001	0	0,796	0,801
3_3	0,792	0,001	0	0,789	0,794

Oluşturulan verisetlerine ait düşük, orta, yüksek duyarlılık sınıfları için başarı tahmin eğrisi şekil 4.25’de verilmiştir. Duyarlılık çalışmaları sonucu elde edilen alıcı işletim karakteristik eğrisi şekil 4.25’de görülmektedir.



Diagonal segments are produced by ties.

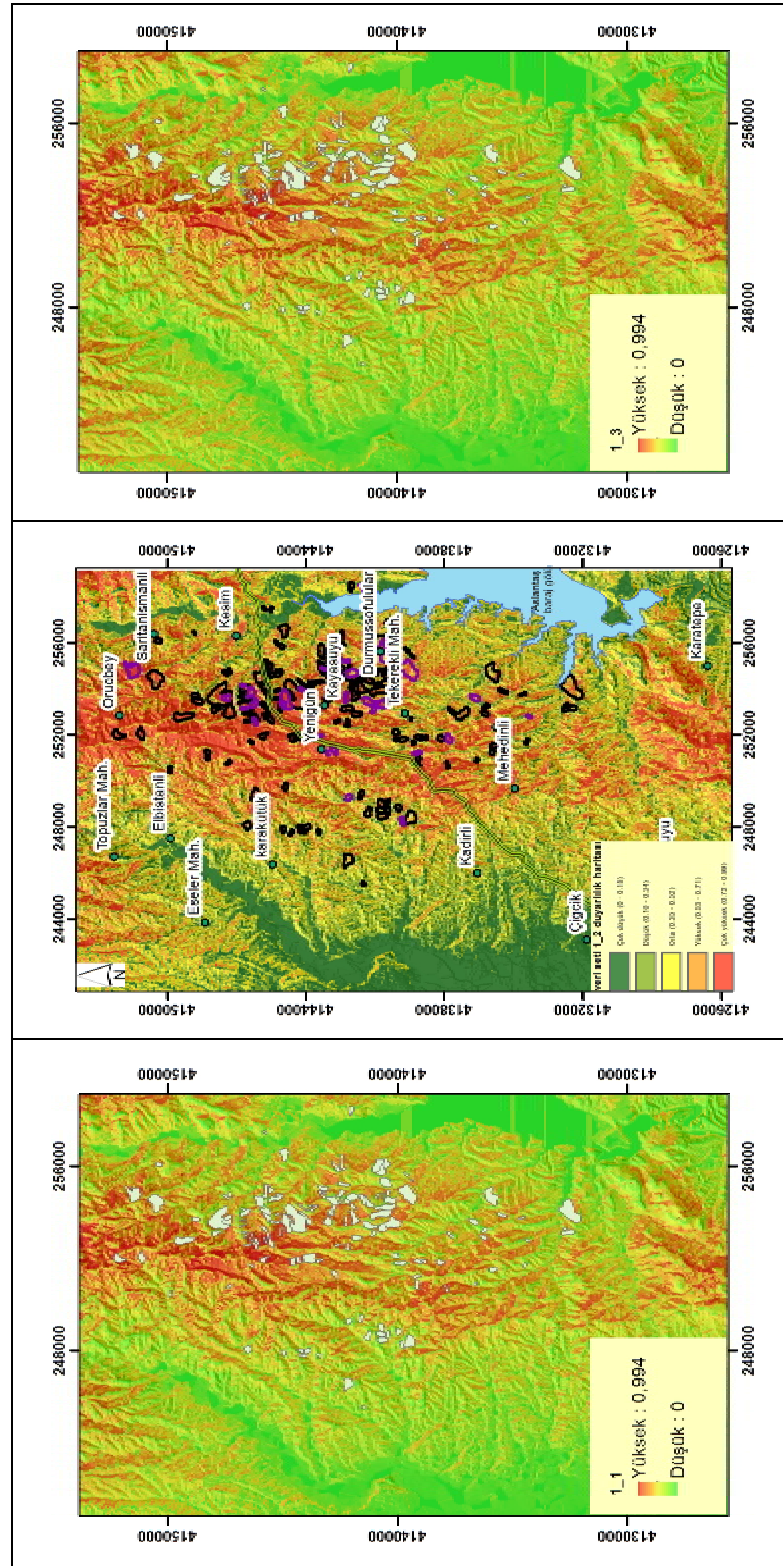
Şekil 4.25. Çalışma alanındaki mevcut heyelanlar ile ilgili alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrisi.

Veri setlerinde kategorik ve sürekli toplam 55 adet bağımsız değişkenden aşamalı mantıksal regresyon yöntemi ile sabit ile birlikte 16 adet anlamlı değişken denkleme girmiştir. Bu değişkenler çizelge 4.7’de görülmektedir.

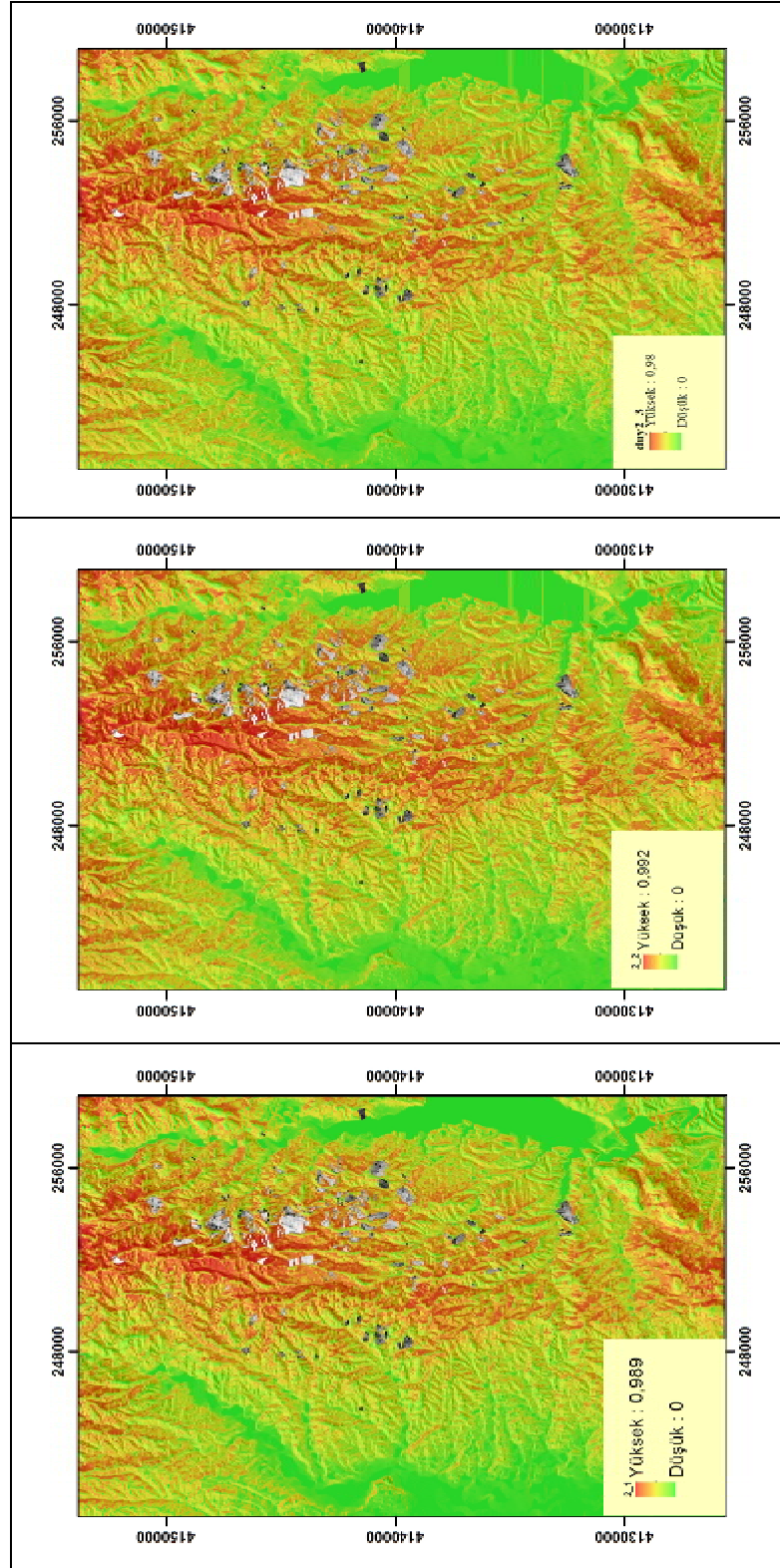
Çizelge 4.7. Mantıksal regresyon Set1_2 veri seti analiz sonuçları.

Değişken	Anlamlılık				
	(B)	Standart hata	Wald	(P)	Exp(B)
Yükseklik	0,007	0	1714,316	0,001	1,007
Eğim	0,026	0,007	12,586	0,005	1,027
Sediman taşıma kapasitesi	-0,061	0,009	43,98	0,002	0,94
Nehir aşındırma gücü	0,321	0,037	75,298	0,007	1,378
Topoğrafik Nemlilik indeksi	-0,081	0,015	28,55	0,000	0,922
Orman	0,455	0,08	32,218	0,003	1,576
Ekili tarım	1,251	0,578	4,682	0,026	3,494
Nadas tarım	1,348	0,073	344,482	0,005	3,848
Çıplak alanlar	0,604	0,049	150,641	0,001	1,83
Pürüzlülük	3,514	0,131	721,007	0,000	33,579
Eğim/Yamaç yönelimi oranı	-0,561	0,123	20,707	0,001	0,571
Ortalama eğim (3x3piksel)	-0,419	0,018	516,759	0,005	0,658
Sırt	-0,335	0,111	9,149	0,002	0,716
Yerel sırtlar	-0,691	0,035	380,362	0,007	0,501
Orta yamaç	-0,38	0,041	87,428	0,0035	0,684
Sabit	-5,403	0,211	658,695	0,0011	0,005

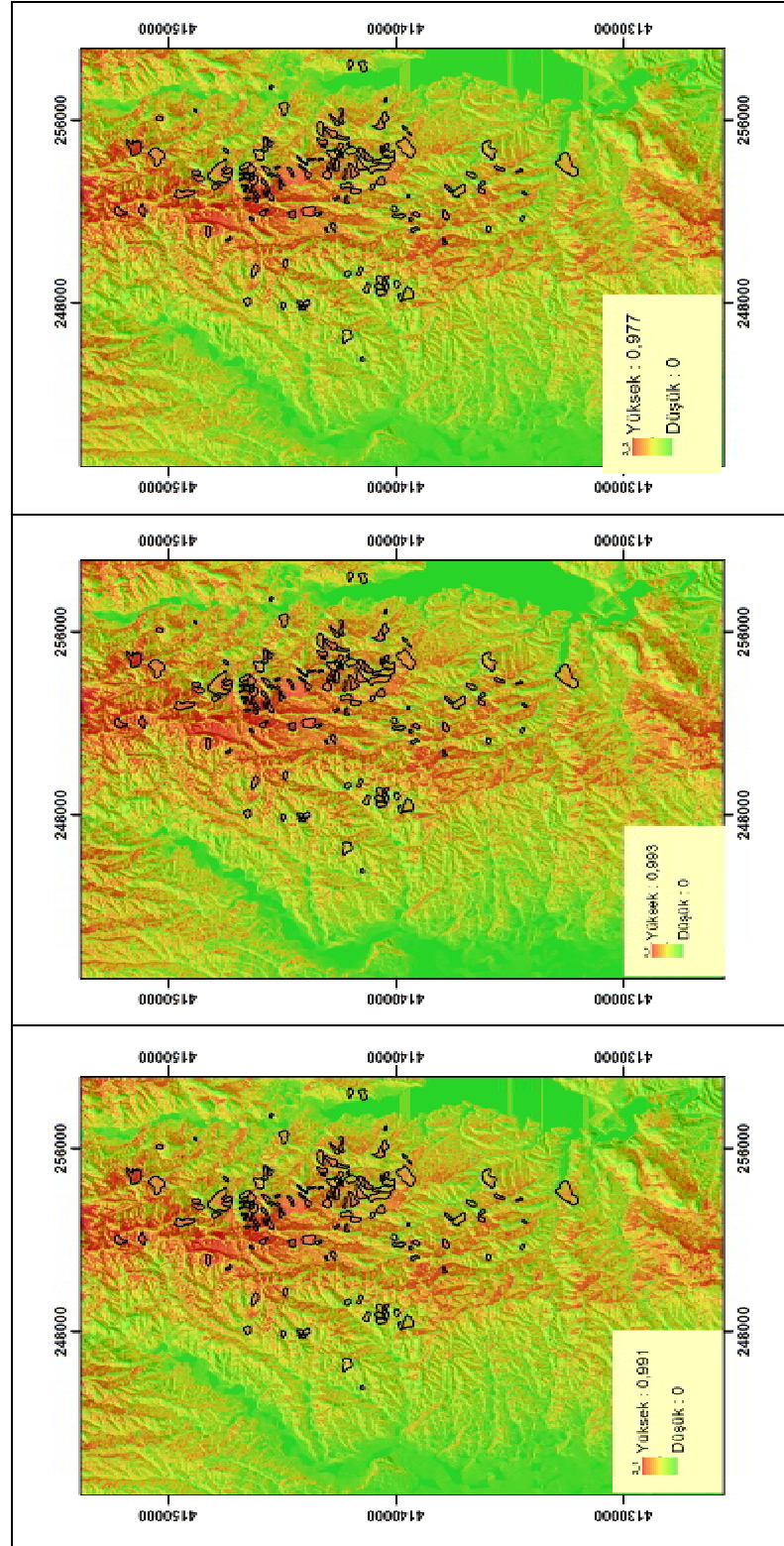
Tez çalışması kapsamında edilen dokuz adet duyarlılık haritası şekil 4.26, 4.27, 4.28'de görülmektedir.



Şekil 4.26. 1_1, 1_2, 1_3 nolu veri setlerinden elde edilen duyarlılık haritaları.

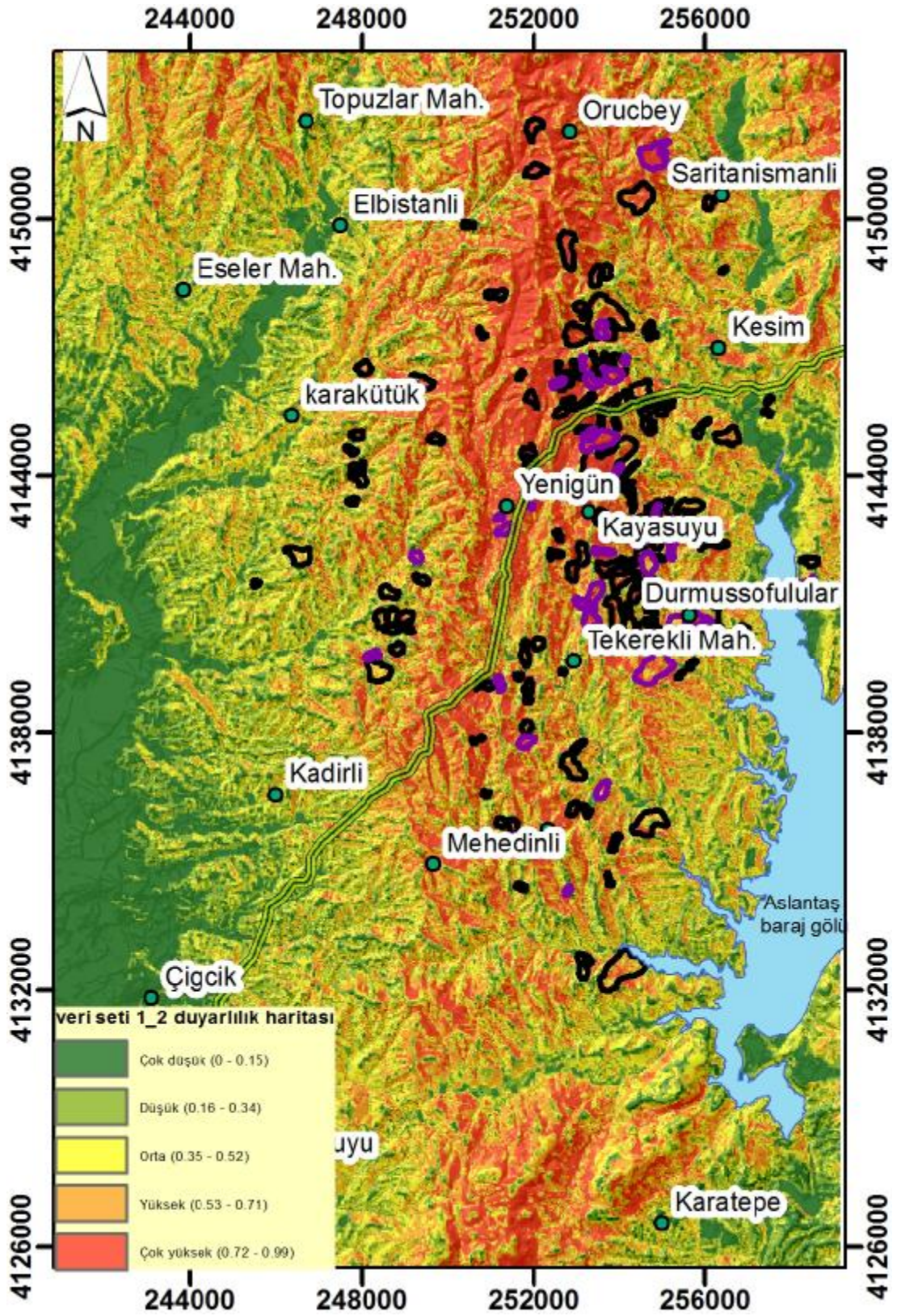


Şekil 4.27. 2_1, 2_2, 2_3 nolu veri setlerinden elde edilen duyarlılık haritaları.

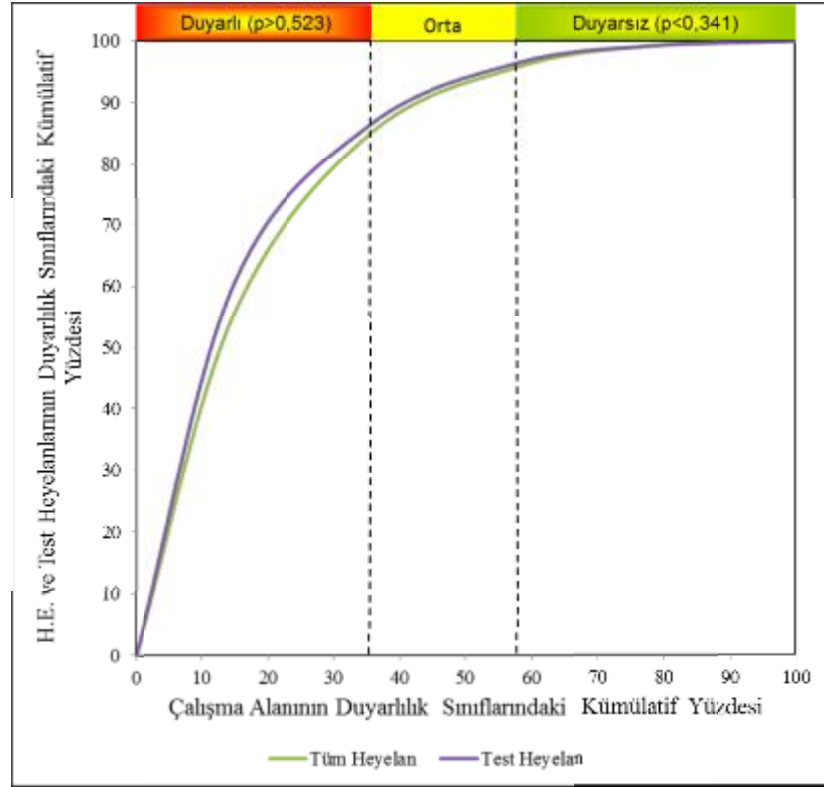


Şekil 4.28. 3_1, 3_2, 3_3 nolu veri setlerinden elde edilen duyarlılık haritaları.

Elde edilen tüm duyarlılık haritaları için heyelanlardan ayrılan yaklaşık % 20'lik doğrulama verilerinin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfları içerisindeki yüzde toplamlarına bakıldığında (Çizelge 4.4) % 77,73 ile en doğru performans elde edilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak duyarlılık haritasının bu veri seti kullanılarak oluşturulmasına karar verilmiştir. Yapılan duyarlılık haritalarında en doğru performans değerleri (Şekil 4.29) elde edilen heyelan duyarlılık haritası olasılık değerlerine göre çok düşük ($p < 0,18$) ve çok yüksek ($p > 0,72$) aralığında değişmektedir (Şekil 4.30). Haritada çalışma alanının % 22,3'ü çok düşük, % 19,8 'si düşük, % 22,3'ü orta, % 20,6'sı yüksek, % 14,9'u çok yüksek duyarlılık sınıf aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Elde edilen dokuz adet duyarlılık modeli içinde veri seti 1_2'de yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda, hem analiz hem de test heyelanlarının en yüksek performans elde edilmiştir.



Şekil 4.29. Çalışma alanına ait sonuç heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 4.30. Heyelanların duyarlılık sınıflarına göre dağılımı.

Yapılan çalışmalar sonucunda yükseklik, yamaç eğimi, pürüzlülük, tarım nadas, tarım ekili, yükseklik, ortalama eğimin heyelanlı alanların heyelanlı olmayan alanlardan ayrılmasında en önemli parametreler olarak öne çıktığı görülmüştür. Çalışma alanından 30 km'lik bölümü geçmekte olan BTC boru hattının yaklaşık olarak 12 km'si yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda yer almaktadır ve 1 km'lik bölümü de heyelanlardan olumsuz yönde etkilenmektedir.

5, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Osmaniye ili Kadirli ilçesi merkez alınarak, toplam 523 km² olan çalışma alanında, bölgede etkili olan ve doğal afete dönüşerek önemli ekonomik kayıplara yol açan heyelanlar sistematik bir şekilde çalışılmış ve niceliksel heyelan duyarlılık değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. BTC Boru hattının 30 kilometresi çalışma alanından geçmektedir. Çalışma alanında bazı yerleşim birimleri, karayolu ve BTC boru hattının bazı bölümleri heyelanlardan olumsuz yönde etkilenmektedir. Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasına katkı sağlamak, bölgesel ölçekte heyelanların mekansal dağılımını belirlemek ve heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörlerin göz önünde bulundurularak heyelana duyarlı bölgeleri belirlemek amacıyla söz konusu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

MTA tarafından oluşturulan heyelan envanter haritası temel alınarak çeşitli zamanlarda yapılan arazi çalışmaları ile bölge ile ilgili envanter haritası güncellenmiş olup heyelan sayısı 167'den 185'e çıkarılmıştır. Son güncel heyelanlarla beraber heyelanlı alanların toplam büyüklüğü yaklaşık 14 km²'dir.

Heyelanların mekansal olabirlikleri, diğer bir deyişle, heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak çalışma alanının jeolojisi başta olmak üzere arazinin sayısal yükseklik modelinden üretilen türev haritalar (yamaç yönelimi, yamaç eğimi, nehir aşındırma indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç eğriliği, topografik konum indeksi, sediman taşıma gücü indeksi, güneş radyasyonu, arazi kullanımı, düzlemsel yamaç şekli, kesit yamaç şekli, tegetsel eğrilik, pürüzlülük indeksi, eğim/yamaç yönelimi, ortalama eğim) ve 2010 Landsat TM görüntüleri kullanılarak oluşturulan arazi kullanımı haritası göz önünde bulundurularak toplamda 55 adet bağımsız değişken ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen duyarlılık haritalarında çalışma alanında 30 kilometresi geçen BTC hattının yaklaşık 1 km'sinin heyelanlardan olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Çalışma alanının jeolojisine bakıldığında yaklaşık % 67 sini oluşturan Pliyosen yaşlı Kadirli formasyonun heyelan oluşumunda en etkili jeolojik birim olduğu gözlenmiştir.

İstatistiksel çalışmalarda haritalama birimi olarak 25*25 m boyutlarında piksel birimi kullanılmıştır. Çalışma alanı toplam 830,489 adet piksel birimi ile temsil edilmektedir. Mekansal olabilirlik parametresinin üretiminde kullanılmak üzere hazırlanan veriler bağımlı değişken olan heyelanlar ile, çok değişkenli istatistiksel analizlerden biri olan mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık değerlendirmeleri yapılmıştır.

Mantıksal regresyon analizleri sonucunda heyelan duyarlılık sınıflamasına ilişkin elde edilen genel doğruluk % 72,7 olarak bulunmuştur, Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 grup'a ayrılmış olup çalışma alanının % 35,54 yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde olduğu belirlenmiştir, Elde edilen heyelan duyarlılık haritası olasılık değerlerine göre çok düşük ($p < 0,18$) ve çok yüksek ($p > 0,72$) aralığında değiştiği görülmektedir, Çalışma alanındaki heyelanların % 86,46 yüksek ve çok yüksek alanlarda yer aldığı görülmüştür. Oluşturulan model iyiliğini kontrol eden Kappa ve Pabak indekslerine bakıldığında, bunların yüksek sınıf aralığına düştüğü görülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen verilerin, bölgesel ölçekte çalışma alanında heyelan olaylarını kontrol eden çevresel değişkenler ile heyelanların mekansal olarak meydana gelebileceği alanların belirlenmesi yanısıra heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasına yönelik çalışmalara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AKGÜN, A. ve TÜRK, N., 2010. İki ve çok değişkenli istatistiksel ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği, Jeoloji mühendisliği dergisi 34 (2).
- ALEOTTI, P, and CHOWDURY, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, Bull, Eng, Geol, Environ. 21-44.
- ALTUNDAĞ D., 2008. Holosende Uzungöl Ve Su toplama havzasında oluşan çevresel değişimler, Ankara üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 83 s., Ankara.
- ATKINSON, P,M, and MASSARI, R., 1997. Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy, Computers& Geosciences, 24, 4, 373-385.
- BARLING, R. D., 1992. Saturation zones and ephemeral gullies on arable land in southeastern Australia, Ph,D, Thesis Universty of Melbourne.
- BRABB, E., 1984. Innovative approaches to landslide hazard mapping, Proceedings 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 1: 307-324.
- BEVEN, K. J., ve KIRKBY, M. J., 1979. A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology Hydrological Sciences Bulletin Vol, 24, No, 1, p 43-69, March.
- BİRCAN, H., 2004. Lojistik Regresyon Analizi: Tıp Verileri Üzerine Bir Uygulama, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2004 / 2: 185-208.
- BURROUGH P, A. VAN GAANS P., F, M. MACMİLLAN R, A., 2000. High-resolution landform classification using fuzzy k-means, Fuzzy Sets and Systems 113, pp 3-52.
- BOLONGARO-CREVENNA A. TORRES-RODRI'GUEZ V. SORANİ V. FRAME D. ARTURO M. 2005. Ortiz, Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico, Geomorphology 67, pp 407-422.
- CARRARA, A. CARDINALI, M. GUZZETTI, F. REICHENBACH, P. 1991. GIS based techniques for mapping landslide hazard ([http:// deis158,deis,unibo,it](http://deis158.deis.unibo.it)).

- COŞKUN, S. KARTAL, M. COŞKUN, A. BİRCAN, H. 2004. Lojistik regresyon analizinin incelenmesi ve diş hekimliğinde bir uygulaması, Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi Cilt:7 Sayı:1.
- ÇAN, T. ÇİL, E. ŞEN, S. C. 2007a. Sarılar köyü (Mersin) heyelanının gelişimi ve afet iyileştirme uygulamalarının etkinliği, 60, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara, 68-69.
- ÇAN, T. NEFESLİOĞLU, H. A. DUMAN, T. Y. GÖKÇEOĞLU, C. SÖNMEZ, H. 2007b. Batı Karadeniz Bölgesinde Seçilmiş Üç Farklı Havzanın Akma ve Kayma Duyarlılıklarının Ayrı Ayrı Değerlendirilmesi, Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 212-220 İstanbul.
- ÇAN, T. NEFESLİOĞLU, H. A. GÖKÇEOĞLU, C. SÖNMEZ, H. DUMAN, T. Y. 2005. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses, Geomorphology, 72, 250-271.
- ÇAN, T. VE DUMAN, T. Y. 2008. General evaluation of historical landslide inventory of Turkey, Proceedings in Symposium of Paleoenvironmental Reconstruction and Material Circulation by Water System, Abstracts book, pp,6-8, Hakozaki Campus Kyushu Univ. Fukuoka Japan, Aralık 22-25.
- ÇAN, T. DUMAN, T.Y. ÇİL, E. ve MAZMAN, T. 2009. Mersin Merkez ve Erdemli ilçeleri kuzeyinin Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan envanter, duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirmesi, TÜBİTAK-ÇAYDAG:107Y138, Adana,
- ÇİL, E., 2009. Erdemli (Mersin) yöresinin coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan olası tehlike değerlendirmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 142, Adana.
- DAĞ, S. BULUT, F. 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye), Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36 (1).
- DEHN M. GARTNER H. DİKAU R. 2001. Principles of semantic modeling of landform structures, Computers & Geosciences 27, pp 1005–1010.

- DUMAN, T, Y. ÇAN, T. EMRE, Ö. KEÇER, M. DOĞAN, A. ATEŞ, S. and DURMAZ, S. 2005a. Landslide inventory of northwestern Anatolia, *Engineering Geology*, 77, 1/2, 99–114.
- DUMAN, T, Y. EMRE, Ö. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, A,H. KEÇER, M. DOĞAN, A. DURMAZ, S. ve ATEŞ, Ş. 2005b. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Zonguldak Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi - 4, Ankara, 24.
- DUMAN, T, Y. NEFESLIOĞLU, A,H. ÇAN, T. ATEŞ, Ş. DURMAZ, S. OLGUN, Ş. HAMZAÇEBİ, S. ve KEÇER, M. 2006a. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli İstanbul Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi - 6, Ankara, 25.
- DUMAN, T, Y. ÇAN, T. GÖKÇEOĞLU, C. NEFESLIOĞLU, H, A. and SÖNMEZ, H. 2006b. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, 51, 241-256.
- DUMAN, T,Y. NEFESLIOĞLU, H,A. ÇAN, T. OLGUN, Ş. DURMAZ, S. HAMZAÇEBİ, S. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2007a. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Trabzon Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-9, Ankara, 25.
- DUMAN, T,Y. DURMAZ, S. ÇAN, T. OLGUN, Ş. ATEŞ, Ş. KEÇER, M. HAMZAÇEBİ, S. NEFESLIOĞLU, H,A. ve ÇÖREKÇIOĞLU Ş. 2007b. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Samsun Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-8, Ankara, 23.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. EMRE, Ö. ATEŞ, Ş. KEÇER, M. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2007c. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Sinop Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-7, Ankara, 21.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2009 a. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Ankara Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-19, Ankara, 17.

- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009 b. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli İzmir Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-20, Ankara, 18.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009c. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Denizli Paftası," MTA Özel Yayınlar Serisi-21, Ankara, 22.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. ELMACI H. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009d. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Konya Paftası," MTA Özel Yayınlar Serisi-22, Ankara, 22.
- DUMAN, T,Y., OLGUN, Ş. DURMAZ, S. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. ELMACI, H. veVE ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009e. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Cizre Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-26, Ankara, 16.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. ELMACI, H., DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009f. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Diyarbakır Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-25, Ankara, 16.
- DUMAN, T,Y. ÇAN, T., OLGUN, Ş. NEFESLIOĞLU, H,A. DURMAZ, S. HAMZAÇEBİ, S. ELMACI, H. ve ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009g. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Hatay Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-24, Ankara, 23.
- DUMAN, T,Y. ÇAN, T., OLGUN, Ş. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. ELMACI, H. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇİOĞLU, Ş. 2009h. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Adana Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-23, Ankara, 19.

- DUMAN, T,Y. OLGUN Ş. ÇAN T. NEFESLIOĞLU H,A. HAMZAÇEBİ S. ELMACI, H. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2009 i. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Kayseri Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-18, Ankara, 20.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. ELMACI, H. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2009j. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Sivas Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-17, Ankara, 21.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. ELMACI, H. DURMAZ, S. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2009k. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Erzurum Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-16, Ankara, 26.
- DUMAN, T,Y. OLGUN, Ş. ÇAN, T. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. ELMACI, H. NEFESLIOĞLU, H,A. ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş, 2009l. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Van Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-15, Ankara, 23.
- DUMAN, T,Y., OLGUN, Ş. ÇAN, T. NEFESLIOĞLU, H,A. HAMZAÇEBİ, S. DURMAZ, S. ELMACI, H., ve ÇÖREKÇIOĞLU, Ş. 2009m. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Kars Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara.
- DUMAN, T,Y., ÇAN, T. ve EMRE, Ö., 2011. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası - 1/1,500,000 Ölçekli, MTA Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, 23.
- 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, 203 s. (yayınlanmamış).
- 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.

- ERGÜNAY, O., 1999. A Perspective of Disaster in Turkey: Issues and Prospects, Urban Settlements and Natural Disasters, Proceedings of UIA Region II Workshop, Chamber of Architects of Turkey.
- EGE, İ, VE BAYRAKTAROĞLU, A., 2007. Küreselleşme Sürecinde İMKB Şirketlerinin Hisse Senedi Getiri Başarılarının Lojistik Regresyon Tekniği İle Analizi, 8, Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi, İnönü Üniversitesi Malatya.
- EKER A, M. DİKMEN M. CAMBAZOĞLU S. AKGÜN H. 2012. Bartın, Ulus İlçesi İçin Yapay Sinir Ağı Ve Lojistik Regresyon Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Çalışmasına Uygulanması ve Karşılaştırılması, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University Cilt 27, No 1, 163-173, 2012 Vol 27, No 1, 163-173, 2012.
- GÖKÇE, O. DEMİR, A. ÖZDEN, Ş. 2006. Türkiye’de heyelanlı yerleşim birimlerinin dağılımı ve CBS ortamında sorgulanması, 1, Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 24-40.
- FELS, J., VE ZOBEL., R., 1995. Landscape position and classified landtype mapping for the statewide DRASTIC mapping project. North Carolina State University. Technical Report VEL.95.1 to the North Carolina Department of Environment, Health, and Natural Resources, Division of Environmental Management.
- GÖKÇE O. ÖZDEN, Ş. ve DEMİR, A. 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı, Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 118.
- OĞUZLAR, A, 2005. Lojistik Regresyon Analizi Yardımıyla Suçlu Profilinin Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 19 (1-2), 21-35.
- 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, Eng, Geol. 44, 147-161.
- GÖKÇEN, S. L., KELLING, G., GÖKÇEN, N. and FLOYD, P. A. (1988). Sedimentology of a Late Cenozoic sequences; the Misis Complex, Adana, Southern Turkey: Sedimentary Geology, 59, 205-235.

- GUZZETTI, F. CARRARA, A. CARDINALI, M. AND REICHENBACH, P. 1999a. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216.
- GUZZETTI, F. CARDINALI, M. REICHENBACH, P, and CARRARA, A. 2000. Comparing Landslides Maps: a case study in the Upper Tiber Basin, Central Italy, *Env, Manag.* 25 (3), 247-263, s.
- GUZZETTI, F. MALAMUD, B, D. TURCOTTE, D, L. and REICHENBACH, P, 2002. Power-law correlations of landslide areas in Central Italy, *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 169–183.
- GUZZETTI, F. REICHENBACH, P. CARDINALI, M. ARDIZZONE, F. AND GALLI, M, 2003. Impact of landslides in the Umbria Region, Central Italy, *Nat, Hazards Earth Syst, Sci.* 3, 469–486.
- GUZZETTI, F. REICHENBACH, P. CARDINALI, M. GALLI, M. ARDIZZONE, F. 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale, *Geomorphology* 72, 272–299.
- HUGGETT, R., VE CHEESMAN, J., 2002. *Topography and the environment.* Pearson Education Limited, Harlow, United Kingdom.
- ILDIR, B. 1995. Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar, In: *Proc, of 2nd National Landslide Symposium of Turkey*, Sakarya University, 1-9.
- KAVZOĞLU, T., ÇÖLKESEN, İ., ŞAHİN, E, K., 2012. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan faktörlerin etkilerinin araştırılması: Düzköy örneği, IV. Uzaktan algılama ve Coğrafi bilgi sistemleri Sempozyumu (UZAL- CBS 2012), 16-19 Ekim 2012, Zonguldak.
- KOZLU, H. 1987. Structural development and stratigraphy of Misis–Andırın region, *Proceedings of the Seventh Turkish Petroleum Congress*, Ankara, 104–116, in Turkish with English abstract.

- KOZLU, H. 1997. Tectono-stratigraphic units of the Neogene basins (Iskenderun, Misis–Andırın) and their tectonic evolution in the eastern Mediterranean region, Unpublished PhD Thesis, Natural Science Institute, Cukurova University, Adana, Turkey, p, 189 (in Turkish), region, Unpublished PhD Thesis, Natural Science Institute, Cukurova University, Adana, Turkey, p, 189 (in Turkish).
- MAZMAN, T. ve ÇAN, T. 2007. Mantıksal Regresyon Yöntemi İle Kumluca Havzası (Batı Karadeniz) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi; Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi Denizli, Mayıs 25–27.
- MAZMAN, T. ÇAN, T. 2013. Heyelan Duyarlılık Haritaları ve Doğruluğu, 66, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri 310-311 Ankara, 2-6 Nisan 2013.
- MCCUNE, B., and KEON, D., 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *J. Veg. Sci.* 13: 603-606.
- MORA, S., and VAHRSON, G., 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bull Assoc Eng Geol* XXXI(1):49–58.
- MOORE, I,D. TURNER, A,K. WILSON, J,P. JENSON, S. and BAND, L. 1993. GIS and land-surface-subsurface process modelling, In M,F, Goodchild, B, O, Parks, and L,T, Steyaert (eds,) *Environmental Modelling with GIS*, p, 196-220, New York: Oxford University Press.
- MOORE, I,D. BURCH, G,J. 1986a. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory, *Water Researches Research* 22, 1350–1360.
- MOORE, I, D. GRAYSON, R, B, VE LADSON, A, R. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications, *Hydrological Processes* 5, pp, 3–30.
- NEFESLİOĞLU, H,A. DUMAN, T,Y. DURMAZ, S. 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), *Geomorphology*, 94(3–4), 401–418.
- NIEMANN, K, O. HOWES, D, E. 1991. Applicability of digital terrain models for slope stability assessment, *ITC J* 1991-3: 127–138.

- OĞUZLAR, A., 2005. Lojistik Regresyon Analizi Yardımıyla Suçlu Profiline Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 19 (1-2), 21-35.
- ÖZGÜL, N, ve KOZLU, H, 2002. Kozan-Feke (Doğu Toroslar) Yöresinin Stratigrafisi ve Yapısal Konumu ile ilgili Bulgular TPJD Bülteni, cilt 14, sayı 1, sayfa 1-36.
- ÖZŞAHİN, E. 2013. CBS kullanılarak hatay ili heyelan duyarlılık analizi, Anadolu doğa bilimleri dergisi, 4(1): 47-59.
- PACHAURI, A, K, ve PANT, M. 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes, Engineering Geology, 32, 81-100.
- PIKE, R,J. DIKAU, R. 1995. Advances in geomorphometry, Z, Geomorphol. N,F, Suppl, Bd, 101, 238.
- PIKE, R,J. 2002. A Bibliography of Terrain Modeling (Geomorphometry), the Quantitative Representation of Topography-Supplement 4,0, Open-File Report 02-465, U,S, Geological Survey.
- SINGHROY, O. SARANGI, A. and SHARMA, M. C. 2008. Hypsometric Integral Estimation Methods and its Relevance on Erosion Status of North-Western Lesser Himalayan Watersheds, Water Resources Management, Volume 22, Number 11 / November, 1545-1560.
- SHARY P, A. SHARAYA L, S. MİTUSOV A, V. 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis, Geoderma 107, pp 1 –32.
- SOETERS, R. AND VAN WESTEN, C,J. 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation, In: Turner AK, Schuster RL (eds) Landslides: investigation and mitigation, Transp Res, Board, Nat Res, Counc Spec Rep 247,129-177.
- SPSS for WINDOWS, REL, 15,0. 2006. Chicago: SPSS Inc.
- TEKİN, S. ÇAN, T. 2013a. Kadirli İlçesi (Osmaniye) Dolayının Heyelan Duyarlılık değerlendirmesi, 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri 314-315 Ankara, 2-6 Nisan 2013.

- TEKİN S. ve ÇAN, T. 2013b. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile Kadirli-Aslantaş (Osmaniye) arasının heyelan duyarlılık değerlendirmesi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013. 11-13 Kasım 2013, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Bildiriler İnteraktif CD, Bildiri No: 216, Ankara.
- THIERY, Y. and MALET, J., 2007. Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: application to a complex mountainous environment , *Geomorphology* 92, 1-2 (2007) 38-59.
- ÜNLÜGENÇ, U. C., KELLING, G., DEMİRKOL, C., 1990. Aspects of Basin Evolution in the Neogene Adana Basin, SE Turkey, International Earth Sciences Congress on Aegean Region 1-6 October, İzmir-Turkey, p. 353-369.
- VAN WESTEN, 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 DEN EECKHAUT, M. VANWALLEGHEM, T. POESEN, J. GOVERS, G. VERSTRAETEN, G, and VANDEKERCKHOVE, L. 2005. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium) *Geomorphology*, Volume 76, Issues 3-4, 30 June 2006, Pages 392-410.
- VARNES, D,J. 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice, In *Natural Hazards*, Vol, 3, UNESCO, 63 pp, Paris.
- WANG, H. B. And SASSA, K., 2005. Rainfall-induced landslide hazard assessment using artificial neural networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, pp 235-247.
- WEISS, A. 2001. Topographic Position and Landforms Analysis, Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.
- WP/WLI, 1990. A suggested method for reporting a landslide, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No, 41, 5-12.
- WP/WLI, 1993. *Multilingual Landslide Glossary*, Bitech, Richmond, British Columbia, 59 p.

WP/WLI, 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No, 52, 75-78.

ÖZGEÇMİŞ

01/01/1988 tarihinde Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı, 2005 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu, 2009 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisansa başladı.