

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Senem TEKİN

**GÖKSU NEHRİ HAVZASININ COĞRAFI BİLGİ
SİSTEMLERİ TABANLI JEOMORFOMETRİK ANALİZİ VE
NİCELİKSEL HEYELAN OLASI TEHLİKE
DEĞERLENDİRMESİ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖKSU NEHRİ HAVZASININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
TABANLI JEOMORFOMETRİK ANALİZİ VE NİCELİKSEL HEYELAN
OLASI TEHLİKE DEĞERLENDİRMESİ

Senem TEKİN

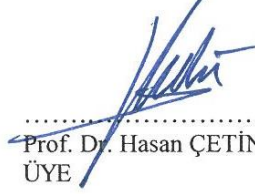
DOKTORA TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

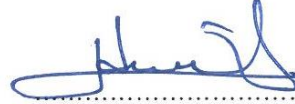
Bu Tez 19/06/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.



Prof. Dr. Tolga ÇAN
DANIŞMAN



Prof. Dr. Hasan ÇETİN
ÜYE



Dr. Öğr. Üyesi Hidayet TAGA
ÜYE



Prof. Dr. Şaziye BÖZDAĞ
ÜYE



Prof. Dr. Aykut AKGÜN
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.

Kod No: FDK-2017-9454

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterimindeki kullanımı, 5846 sayılı fikir ve sanat eserleri kanunundaki hükümlere tabidir

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**GÖKSU NEHRİ HAVZASININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
TABANLI JEOMORFOMETRİK ANALİZİ VE NİCELİKSEL HEYELAN
OLASI TEHLİKE DEĞERLENDİRMESİ**

Senem TEKİN

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Tolga ÇAN
Yıl: 2019, Sayfa: 219
Jüri : Prof. Dr. Tolga ÇAN
: Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Dr. Öğr. Üyesi Hidayet TAGA
: Prof. Dr. Şaziye BOZDAĞ
: Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Akarsu havzaları iklim, jeoloji, hidroloji ve biyolojik çeşitliliklerin kontrolünde yeryüzünü şekillendiren önemli dinamik doğal süreçlere sahiptir. Bu çalışmada, 11.213 km² alana sahip, Göksu Nehri havzasında, dinamik hidrolojik süreçlerin belirlenmesi amacıyla jeomorfometrik analizler ve niceliksel heyelan olası tehlike çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kayma ve kaya düşmesi tipinde heyelanlar havzada yaygın olup, önemli sosyal ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Kaya düşme tipi heyelanlar için MaXent yöntemi ile heyelan duyarlılık çalışması gerçekleştirilmiştir. Kayma türü heyelan olası tehlike haritalamasında mekansal olabilirlik, yapay sinir ağları, karar ağacı ve mantıksal regresyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Heyelanların zamansal olabilirliği, heyelan arşiv kayıtları ve meteorolojik veriler dikkate alınarak, yağış-frekans analizlerinden heyelanları tetikleyen yağışların tekrarlanma aralıkları ve belirli zamanlara ait (1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl) aşılma olasılıkları ile elde edilmiştir. Heyelanların alansal büyüklük - frekans analizleri yapılarak, dağılıma uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenmiş ve belli eşik değerinin üstünde (Heyelan alanı > 0.05 km², 0.20 km² ve 0.50 km²) heyelanların aşılma olasılıkları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların Göksu Nehri havzasında, havza yönetimi ve heyelan afet zararlarının azaltılmasına yönelik mekansal planlama çalışmalarına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Göksu Nehri havzası, heyelan duyarlılık, zamansal olabilirlik, heyelan olası tehlike.

ABSTRACT

Phd THESIS

GIS BASED GEOMORPHOMETRIC ANALYSES AND QUANTITATIVE LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENTS OF THE GÖKSU RIVER WATERSHED

Senem TEKİN

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Tolga ÇAN
Year: 2019, Pages: 219
Jury : Prof. Dr. Tolga ÇAN
: Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Asst. Prof. Dr. Hidayet TAGA
: Prof. Dr. Şaziye BOZDAĞ
: Prof. Dr. Aykut AKGÜN

River watersheds have important dynamic natural processes that configure the landscape features under the control of climate, geology, hydrology and biodiversity. In this study, quantitative landslide hazard assessments and geomorphometric analyzes were carried out in order to determine the dynamic hydrological processes in Göksu River watershed of 11.213 km². Slide and rock fall type landslides are common in the area, leading to significant social and economic losses. A landslide susceptibility assessment was carried out using MaXent method for rock-falls. Spatial probability in landslide hazard assessments for slide types were performed by artificial neural networks, decision tree and logistic regression methods. The temporal probabilities of the landslides, taking into account the landslide archive records and meteorological data, the return periods and the exceedence probabilities in certain periods (1, 5, 10, 25, 50 and 100 years) has been obtained. Evaluating the spatial extent - frequency analysis of the landslides, relevant probability density function was determined and the exceeding probabilities the landslides above the certain threshold value (Landslide area > 0.05 km², 0.20 km² and 0.50 km²) were calculated. It is believed that the results will make significant contributions to spatial planning studies for watershed management and landslide hazard mitigation in Göksu River watershed.

Keywords: Göksu river watershed, landslide susceptibility, temporal probability, landslide hazard assessment.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Çevresel planlamalar, sürdürülebilir kalkınma sürecinin merkezinde yer almakla birlikte, insan ve doğal çevre arasındaki ilişkilerin güvenli ve sistematik bir şekilde yönlendirilmesi ve yönetilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle bazı doğal ortamların korunabilmesi açısından; doğayı, olumsuz insan etkilerinden koruyabilen ve insanları da doğal olası tehlikelerden (deprem, heyelan, sel gibi) korumaya yönelik politikaların geliştirilip, sistemli bir şekilde etkinliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Su toplama havzalarının topoğrafik ve drenaj ağı özellikleri, su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin kontrolü açısından havzanın fiziksel özelliklerinin ele alınması sebebiyle havza yönetimi planlamalarında önemli parametrelerdir. Yüzeysel morfolojik özellikleri ile havzaların aşınım döngüleri belirlenebilmekte ve sayısal yorumlamalar yapılabilmektedir. Dolayısıyla sayısal havza analizleri kullanılarak yapılan jeomorfometrik çalışmalar, havzadaki erozyonel süreçler ve havza durumu yorumlanması açısından önemlidir. Jeomorfometrik değerlendirmeler, çizgisel (Çatallanma oranı, Uzunluk Oranı, Tekstür oranı), alansal (Drenaj yoğunluğu, havza şekli, Akarsu sıklığı, uzunluk oranı, Gravelius İndeksi) ve yüzeysel morfolojik (Hipsometrik integral/eğri) parametreleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Jeomorfometrik analizler ile Göksu nehrinin yüksek nehir dizinine ve hidrolojik açıdan çok yüksek yüzeysel akışa sahip olduğu, erozyonel süreçler ile havzanın % 54'ünün aşındığı, aşınma süreçlerinin havzanın üst kesimlerinde yer alan temel birimlerde yavaş, Miyosen örtü birimlerinin yüzeylendiği orta ve aşağı kesimlerde ise hızlı aşınmaya bağlı derin vadi yarılımlarının geliştiği sonucu elde edilmiştir.

Göksu Nehri havzasında özellikle belli bölgelerde kayma ve kaya düşme türü heyelanlar yaygın olarak gözlenmektedir. Kaya düşmeleri, Göksu Nehri havzası ana alt havzalarından olan Ermenek ve Gökçay'da, derin vadi yarılımlarının bulunduğu, dik şevlere sahip, Miyosen birimlerinden Mut

formasyonunda sıklıkla gözlenmektedir. Haritalanabilir ölçekteki kaya düşme kaynak zonları belirlenerek, kaya düşme olaylarının meydana gelmesinde etkin rol oynadığı düşünülen çevresel değişkenler Maksimum entropy yöntemi ile analiz edilmiş ve kaya düşme duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bölgede uzun süreden beri etkili olduğu gözlenen kaya düşme ve kayma türü heyelan olayları önemli sosyal ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu durumun önlenmesi amacıyla Göksu nehri havzasında kayma türü heyelanlar için olası tehlike haritaları oluşturularak önlem çalışmaları için ışık tutması planlanmıştır. Bu kapsamda tez çalışması için hazırlanan bölgesel olası tehlike haritaları, belirli bir zamanda, belirli bir bölgede, belirli bir büyüklükteki heyelan olaylarının olma olasılıklarını içermektedir. Heyelan olası tehlike haritaları heyelan risk haritalarının en önemli girdi parametrelerinden birini oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Göksu Nehri havzası için karar ağaç, mantıksal regresyon ve yapay sinir ağları yöntemi ile mekansal olabilirlik değerlendirmesi olan heyelan duyarlılık çalışmaları yapılarak gelecekte nerelerde heyelan olabileceği değerlendirilmiştir. Zamansal olabilirlik parametresi, bölgede heyelanları tetikleyen en önemli faktör olan yağış-frekans analizleri ve ekstrem yağışların tekrarlanma aralıklarının hesaplanması ile belirlenmiştir. Geçmişte oluşan ve halen aktif olan heyelanların alansal büyüklük – frekans analizleri ile alansal olabilirlik değerleri için uygun olan üç parametrelili ters gama olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum Doktora çalışmasının nihai sonuca ulaştırılmasında, çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana "Göksu Nehri Havzasının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Jeomorfometrik Analizi ve Niceliksel Heyelan Olası Tehlike Değerlendirmesi" konulu Doktora tezimi veren, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile her daim yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tolga ÇAN'a, Tez İzleme Komitesinde yapıcı eleştirileriyle yol gösteren Sayın Prof. Dr. Hasan ÇETİN ve Dr. Öğr. Üyesi Hidayet TAĞA'ya teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca bölüm imkanlarını kullanmamı sağlayan Jeoloji Mühendisliği Bölüm hocalarına ve çalışmam sırasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim. "FDK-2017-9454" kodlu Proje'ye sağladıkları destekten dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim. AFAD-UDAP işbirliği ile gerçekleştirilen "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi" Projesi'nde birlikte çalıştığım ve tanımaktan çok mutlu olduğum proje ekibine çok teşekkür ederim. Tübitak 2229 ve 2237 kodlu Programlar kapsamında "Doğal Ekosistemler İçin Cbs ve Uydu Görüntüleri Kullanılarak Çevresel Altlıkların Hazırlanması", "Vejetasyon Çevre İlişkileri-Analitik Değerlendirmeler", "Arazi Çeşitliliğinin Entropi Temelli Algoritmalar ile Hesaplanması ve Haritalanması" projelerine katılımcı olarak seçilmiş olmamdan dolayı proje ekiplerine çok teşekkür ederim.

Son olarak daima yanımda olan her daim varlıklarıyla yaşamımı güzelleştiren, maddi manevi yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen ve varlıklarıyla bana güç veren babam Kazım TEKİN, annem Gönül TEKİN ve kardeşim Oğuzhan TEKİN'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1. Jeoloji.....	7
2.2. Jeomorfoloji Çalışmaları.....	13
2.3. Heyelan Envanter Çalışmaları	17
2.4. Heyelan Duyarlılık Çalışmaları	21
2.5. Heyelan Olası Tehlike Çalışmaları	27
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. Materyal.....	39
3.2. Metot	51
3.2.1. Jeomorfometrik Değerlendirmeler	51
3.2.2. Haritalama Birimleri	54
3.2.3. Heyelan Olası Tehlike Haritaları	54
3.2.3.1. Heyelan Duyarlılık Yöntemleri.....	54
3.2.3.1.(1). Yapay Sinir Ağları.....	54
3.2.3.1.(2). Karar Ağaç Yöntemi	54
3.2.3.1.(3). Mantıksal Regresyon Yöntemi	54
3.2.3.1.(4). Maksimum Entropi (Maxent) Yöntemi	54
3.2.3.2. Heyelan Duyarlılık Performans Analizleri.....	60

3.2.3.2.(1) Hata Matrisi	54
3.2.3.2.(2) Başarı Tahmin Eğrileri	61
3.2.3.2.(3) Jacknife Eğrileri	61
3.2.3.2.(3) Alıcı İşletim Karakteristiği	61
3.2.3.3. Zamansal Olabilirlik	62
3.2.3.3.(1) Kesikli Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	63
3.2.3.3.(2) Sürekli Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	65
3.2.3.3.(3) Uygunluk Testleri	65
3.2.3.4. Heyelanların Alansal Olabilirliği	67
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	73
4.1. Jeomorfometrik Değerlendirmeler	74
4.1.1. Havza Morfometrisi	74
4.1.1.1. Akım Yönü	73
4.1.1.2. Kümülatif Akım	74
4.1.1.3. Akarsu Drenaj Sistemleri ve Havza Oluşumu	75
4.1.2. Çizgisel Morfometrik Özellikler	79
4.1.3. Alansal Morfometrik Özellikler	81
4.1.4. Yüzey Morfometrik Özellikler	82
4.1.5. Akarsu Boyuna Profil Analizleri	83
4.2. Göksu Havzası Çevresel Değişkenleri	88
4.2.1. Göksu havza jeolojisi	88
4.2.2. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	92
4.2.3. Sayısal Yükseklik Modeli Türev Haritaları	94
4.3. Göksu Havzası Heyelanları	105
4.3.1. Göksu Havzası Arşiv Heyelan Envanteri	106
4.3.2. Göksu Havzası Tarihsel Heyelan Envanteri	108
4.3.2.1. Kayma Türü Heyelan Envanter Haritası	107
4.3.2.2. Kaya Düşme Heyelan Envanter Haritası	111

4.4. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmeleri.....	115
4.4.1. Kaya Düşme Türü Duyarlılık Değerlendirmesi	115
4.4.2. Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi	119
4.4.2.1. Yapay Sinir Ağları	107
4.4.2.2. Karar Ağaç Yöntemi	121
4.4.2.3. Mantıksal Regresyon Yöntemi.....	124
4.4.2.3.(1). Mantıksal Regresyon Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık haritası.....	125
4.4.3.Kayma türü heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırması	138
4.5.Zamansal Olabilirlik	139
4.5.1. Uzun yıllar yağış verileri için istatistiksel değerlendirmeler	139
4.5.1.1. Mut İstasyonu İstatistiksel Dağılım Modelleri.....	137
4.5.1.2. Silifke İstasyonu İstatistiksel Dağılım Modelleri.....	143
4.5.1.3. Mut ve Silifke İstasyonları için Genel Dağılım	149
4.6.Alansal Olabilirlik.....	155
4.7.Olası Tehlike Haritaları.....	160
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	171
KAYNAKLAR	177
ÖZGEÇMİŞ	219



ÇİZELGE LİSTESİ

SAYFA

Çizelge 3. 1. Çizgisel ve alansal morfometrik indisler.	53
Çizelge 3. 2. Hata matrisi (Confusion Matrix).....	62
Çizelge 3. 3. Alıcı İşletim Karakteristik eğrisi sınıflaması	64
Çizelge 4.1. Alansal morfometrik parametreler.	82
Çizelge 4.2. Veriseti 1 için mantıksal regresyon denklemine giren parametreler.	129
Çizelge 4.3. Veriseti 2 için mantıksal regresyon denklemine giren parametreler.	130
Çizelge 4.4. Veriseti 3 için mantıksal regresyon denklemine giren parametreler.	131
Çizelge 4.5. Mantıksal regresyon Veriseti1 için hata matrisi.	132
Çizelge 4.6. Mantıksal regresyon Veriseti2 hata matrisi.	132
Çizelge 4.7. Mantıksal regresyon Veriseti3 hata matrisi.	132
Çizelge 4.8. Heyelan duyarlılık sınıflarının test, analiz, tüm heyelanlar ile çalışma alanları içerisindeki yüzde dağılımları.....	133
Çizelge 4.9. Kolmogorov-Smirnov testine göre en uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları.	143
Çizelge 4.10. En uygun dağılım modellerine ait istatistiksel değerler.....	143
Çizelge 4.11. Kolmogorov-Smirnov testine göre en uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları.	149
Çizelge 4.12. En uygun dağılım modellerine ait istatistiksel değerler.....	149
Çizelge 4.13. K-S uygunluk analizine göre en uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları.	153
Çizelge 4.14. Poisson dağılımına göre 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda heyelanların aşılma olasılıkları.	154
Çizelge 4.15. Kayma türü heyelanların alansal istatistik verileri.....	156



ŞEKİLLER LİSTESİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.	4
Şekil 1.2.	Niteliksel heyelan olası tehlike haritalarının hazırlama aşamaları.....	5
Şekil 2. 1.	Türkiye’deki doğal afetlerin, afet olay sayısına (a) ve toplam afetzede sayısına (b) göre dağılımı (Gökçe ve ark. 2008; Çan ve ark. 2009).....	18
Şekil 2. 2.	Türkiye’de heyelanlı yerleşim birimlerinin mekansal dağılımı (Gökçe ve ark., 2008).....	19
Şekil 2. 3.	Türkiye Tarihsel Heyelan Envanter Haritası (duman ve ark., 2011).....	20
Şekil 3.1.	Göksu nehri havzası içindeki yerleşim birimlerinin mekansal dağılımı.....	40
Şekil 3.2.	Çalışma alanındaki 1/25000 ve 1/100000 ölçekli pafta sınırları.	40
Şekil 3.3.	1960-1990 yılları ortalama sıcaklık (a), ortalama yıllık yağış (b), en çok yağış alan aya ait ortalama yağış (c) verileri (http://www.worldclim.org/version1).....	42
Şekil 3.4.	2070 yılı ortalama sıcaklık (a), ortalama yıllık yağış (b), en çok yağış alan aya ait ortalama yağış (c) verileri (http://www.worldclim.org/version1).....	43
Şekil 3.5.	Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarının mekansal dağılımı.	44
Şekil 3.6.	Sarıveliler meteoroloji istasyonuna ait 2014-2018 yılları aylık toplam yağış değerleri.	46
Şekil 3.7.	Ermenek meteoroloji istasyonuna ait 2013-2018 yılları aylık toplam yağış değerleri.	46

Şekil 3.8.	Hadim meteoroloji istasyonuna ait 2011-2018 yılları aylık toplam yağış değerleri.	47
Şekil 3.9.	Havza içi ve Çevre istasyon verileri interpolasyon tekniği ile Eş Yağış Eğrileri.	47
Şekil 3.10.	Göksu havzası ve çevresi yağış istasyonlarına ait Thiessen Poligonlar.	48
Şekil 3.11.	Seviye-1 CORINE arazi kullanımı haritası.	49
Şekil 3.12.	Seviye-2 CORINE arazi kullanımı haritası.	50
Şekil 3.13.	Seviye-3 CORINE arazi kullanımı haritası.	51
Şekil 3.14.	Hipsometri eğrisi ve hipsometrik integralin hesaplamasında kullanılan parametreler (Singh ve ark., 2008'den).	53
Şekil 3.15.	Heyelan olası tehlike değerlendirme akış şeması (Guzetti ve ark., 2005'den geliştirilmiştir).	55
Şekil 3.16.	Heyelan duyarlılık yöntemleri (Westen, 2013).	56
Şekil 3.17.	Genel yapay sinir ağ yapısı.	57
Şekil 3.18.	CHAID algoritmasının genel yapısı.	59
Şekil 3.19.	Mantıksal regresyon oluşum şeması.	60
Şekil 3.20.	H_0 Hipotezi ve Kritik Değer ölçütü.	69
Şekil 4.1.	CBS ortamında Akarsu drenaj ve havza oluşumu.	74
Şekil 4.2.	Akış yönleri ve bu yönlere ait hücre değerleri.	75
Şekil 4.3.	Göksu nehri havzası akış yönleri Haritası.	76
Şekil 4.4.	Göksu nehri havzası kümülatif akım haritası.	77
Şekil 4.5.	Göksu havzasına ait Strahler yöntemine göre 250 (a), 500(b), 1000(c), 2500(d), 5000(e) metrelerden uzun akarsu dizinleri.	78
Şekil 4.6.	Göksu nehri havzası (a) ve alt havza (b) sınırları.	79
Şekil 4.7.	Ermenek (a), Gökçay (b) ve Göksu (c) nehrinin kıvrımlılık indeks parametresi.	81
Şekil 4.8.	Göksu, Ermenek ve Gökçay Havzala'larının hipsometrik eğrisi ve hipsometrik integral değeri.	83

Şekil 4.9.	Geçişli ve dengeli akarsu sistemlerinin boyuna nehir profilleri (Wobus ve ark., 2006).	85
Şekil 4.10.	Geçişli ve dengeli akarsu sistemlerinin boyuna nehir profilleri (a, b) ve harita (c, d) üzerinde gösterimi (Wobus ve ark., 2006).	86
Şekil 4.11.	Göksu havzası boyunca konkavite indeks değeri (0.45 θ ref) alınarak elde edilen Göksu nehrinin normalize diklik indeksi (Ksn) değeri	86
Şekil 4.12.	Göksu nehri ve yan kollarının Normalize edilmiş diklik indeksi (Ksn) haritası (a) ve Mut kuzeyinde litoloji değişimine bağlı Ksn değerlerinin dağılımının yakından görünümü (b).	87
Şekil 4.13.	Göksu havzasının jeoloji haritası (Dalkılıç ve Balcı 2009, Ulu ve Balcı 2009, Şenel ve ark., 2016, Bilgiç, 2009, Alan ve ark., 2013, Şenel ve Metin 2016, Alan ve ark., 2014a,b, Ilgar ve ark., 2016, Alan ve ark., 2011, Şenel ve ark., 2016'ya göre hazırlanmıştır).	90
Şekil 4.14.	Gümüşali (a), Kongul (b), Taşkent (c) Formasyonları.	91
Şekil 4.15.	Derinçay (a), Mut (b), Kösellerli (c) Formasyonları.	92
Şekil 4.16.	Göksu havzasının Sayısal yükseklik modeli.	93
Şekil 4.17.	Göksu havzası Yamaç Eğim Haritası.	94
Şekil 4.18.	Ortalama Eğim Haritası.	95
Şekil 4.19.	TRASP (a), SIN (b) ve COS (c) eğim durumu haritaları.	96
Şekil 4.20.	İç bükey ve dış bükey yamaç eğriselliklerine göre yüzey su akışının şematik gösterimi (Buckley 2010'den).	97
Şekil 4.21.	Düzlem (a), Kesit (b), Teğetsel (c) yamaç eğrisellikleri.	98
Şekil 4.22.	Sıcaklık indeksi.	99
Şekil 4.23.	Pürüzlülük (a), SRR(b) indeksi.	100
Şekil 4.24.	Topoğrafik Nemlilik İndeksi.	101
Şekil 4.25.	Yamaç Yönelimi haritası.	102

Şekil 4.26. Nehir Aşındırma Gücü İndeksi.....	103
Şekil 4.27. TPI'nin morfolojik sınıflara göre değişimi (Weiss 2001).	104
Şekil 4.28. Arazi Sınıflaması.....	104
Şekil 4.29. Arazi Kullanımı.....	105
Şekil 4.30. Heyelan arşiv kayıtları.....	107
Şekil 4.31. İlçe bazlı kayıt sayıları (Gökçe ve ark., 2009).....	108
Şekil 4.32. Kayma Türü heyelan envanter haritaları.	109
Şekil 4.33. Ermenek havzasında kayma türü heyelanların Ermenek barajı Kuzeybatı (a), Güneydoğu (b) yamaçlarının yakından görünümü.....	110
Şekil 4.34. Başyayla ilçesi Güzelyurt mahallesi, Sarıveliler ilçesi Çevrekayak mahallesinde gözlenen heyelanlar.	111
Şekil 4.35. Mut-Ermenek karayolunda gözlenen heyelanlar.	111
Şekil 4.36. Havzanın taban kesimlerinde yer alan Dereköy-Pamuklu arası (a), ve Karakaya (b) yerleşim birimlerinde gözlenen heyelanlara ait örnekler.	112
Şekil 4.37. Kaya düşme heyelan envanter haritası.	113
Şekil 4.38. Göksu havzası bazı kesimlerinde kaya düşme kaynak alanları.	114
Şekil 4.39. Göksu havzası kaya düşme heyelan duyarlılık haritası.	117
Şekil 4.40. Alıcı işletim karakteristik eğrisi.	117
Şekil 4.41. Çevresel değişkenlerin kaya düşme duyarlılık sonucundaki etkileri, Jacknife Eğrisi.....	118
Şekil 4.42. İleri beslemeli yapay sinir ağ yapısı.	119
Şekil 4. 43. Yapay sinir ağ yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi.	120
Şekil 4.44. Hata histogramı.	121
Şekil 4.45. Çapraz entropi model sonucu	122
Şekil 4.46. Analiz, doğrulama, test ve çalışma alanı tüm heyelanların model uyum iyiliği.	122

Şekil 4.47. YSA Başarı-Tahmin eğrisi (a), Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi (b).....	123
Şekil 4.48. Ki-kare otomatik etkileşim dedektörü ile karar ağaç yönteminin çalışma prensibi.....	124
Şekil 4.49. Göksu havzası karar ağaç yöntemi ile Elde edilen heyelan duyarlılık haritası.....	125
Şekil 4.50. Karar ağaç yöntemi sonucu elde edilen duyarlılık haritasının, Başarı-Tahmin eğrisi (a), Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi (b).....	126
Şekil 4.51. Mantıksal regresyon yönteminin tez kapsamındaki akış şeması.	127
Şekil 4 52. Mantıksal regresyon yöntemi ile Heyelan duyarlılık haritası (veriseti1).....	134
Şekil 4 53. Mantıksal regresyon yöntemi ile Heyelan duyarlılık Haritası (veriseti2).....	135
Şekil 4. 54. Mantıksal regresyon yöntemi ile Heyelan duyarlılık Haritası (veriseti3).....	136
Şekil 4.55. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritalarının, Veriseti1 (a), Veriseti2 (b) ve veriseti3 (c) için, Başarı-Tahmin eğrisi Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi altında kalan alan değerleri.	137
Şekil 4 56. Karar ağaç, mantıksal regresyon, ve YSA yöntemleriyle elde edidlen heyelan duyarlılık haritalarına ait Box ve Whisher grafiği	138
Şekil 4.57. Mut istasyonu uzun yıllar yıllık yağış verileri.....	140
Şekil 4.58. Mut meteoroloji istasyonu uzun yıllar ortalama yağış değerleri.	141
Şekil 4.59. 1958-2018 Yılları Mut İstasyonu Günlük Maksimum Yağış Değerleri.....	141
Şekil 4.60. Birikimli Dağılım Fonksiyonu (CDF).....	142

Şekil 4.61. 3 günlük maksimum yağış verileri için uygun dağılım modelleri.....	143
Şekil 4.62. Mut istasyonu 3 günlük maksimum yağış verileri için elde edilen yaşam fonksiyon eğrileri.....	144
Şekil 4.63. 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yıl için yağış değerlerinin olma olasılıkları.....	145
Şekil 4.64. Silifke meteoroloji istasyonu uzun yıllar yıllık toplam yağış değerleri.....	146
Şekil 4.65. Silifke meteoroloji istasyonu uzun yıllar ortalama yağış değerleri.....	147
Şekil 4.66. 1958-2019 Yılları Silifke İstasyonu Günlük Maksimum Yağış Değerleri.....	147
Şekil 4.67. 1968, 2001 ve 2018 yılları Aralık ayı kümülatif günlük yağış verileri.	148
Şekil 4.68. Birikimli Yoğunluk Fonsiyon Eğrisi (CDF).....	149
Şekil 4.69. 4 günlük maksimum yağış verileri için uygun dağılım modelleri.....	150
Şekil 4.70. Silifke istasyonu 3 günlük maksimum yağış verileri için elde edilen yaşam fonksiyon eğrileri.....	151
Şekil 4.71. 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yıl için yağış değerlerinin olma olasılıkları.....	151
Şekil 4.72. Uzun dönem Silifke Meteroloji istasyonu 4 günlük yağışlara ait Olasılık yoğunluk fonksiyonu.	154
Şekil 4.73. Çalışma alanına ait heyelan envanter haritasına göre heyelanların olasılık yoğunluğu (kırmızı kareler) ve buna uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu.	158
Şekil 4.74. Çalışma alanındaki heyelan envanterine uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu.....	159

Şekil 4.75. Heyelan yoğunluk fonksiyonuna göre alansal olarak 0.05, 0.20, 0.50 km ² 'den büyük heyelanların aşılma olasılıkları.	159
Şekil 4.76. 0.05 km ² 'den büyük ve 1 (a), 5(b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	161
Şekil 4.77. 0.05 km ² 'den büyük, 10(c) ve 25(d) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	162
Şekil 4.78. 0.05 km ² 'den büyük ve 50 (a), 100 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	163
Şekil 4.79. 0.20 km ² 'den büyük ve 1 (a), 5 (b), yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	164
Şekil 4.80. 0.20 km ² 'den büyük ve 10 (a), 25 (b), yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	165
Şekil 4.81. 0.20 km ² 'den büyük ve 50 (a) ve 100(b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	166
Şekil 4.82. 0.50 km ² 'den büyük ve 1 (a) ve 5 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	167
Şekil 4.83. 0.50 km ² 'den büyük ve 10 (a) ve 25 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	168
Şekil 4.84. 0.50 km ² 'den büyük ve 50 (a) ve 100 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.	169



SİMGELER VE KISALTMALAR

1-p:	Aşılma Olasılığı
AB:	Avrupa Birliği
AUC:	Eğri altında kalan alan
CBS:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CDF:	Birikimli Dağılım Fonksiyonu
CHAID:	Ki-kare otomatik etkileşim dedektörü
Ck:	Kongul Formasyonu
CLC:	Standart Corine Arazi Örtüsü
CORINE:	Coordination of Information on the Environment
Cos:	Kosünüs
CRT:	Otomatik Etkileşim Algılama
Dd:	Drenaj Yoğunluğu
Dgü:	Gümüşali Formasyonu
FN:	Yanlış negatif
FP:	Yanlış pozitif
Fs:	Akarsu Sıklığı
H:	Heyelan
HI:	Hipsometrik İntegral
HLI:	Sıcaklık İndeksi
Jkp:	Polat Formasyonu
K:	Uç değer
K _G :	Gravelius İndeksi
KI:	Kıvrımlılık indeksi
K _s :	Diklik İndeksi
K-S:	Kolmogrov-Smirnov
Max:	En yüksek

MaxEnt:	Maksimum Entropi
MGM:	Meteroloji Genel Müdürlüğü
Min:	En düşük
Mm:	Milimetre
Mof:	Melanj
MTA:	Maden Tetkik Arama
Of:	Ofiyolit
P:	Olma Olasılığı
Pt:	Taşkent Formasyonu
Qpa:	Ayrılmamış Pleistosen
R _b :	Çatallanma Oranı
Re:	Havza uzunluk Oranı
R _F :	Havza Şekli
R _l :	Uzunluk Oranı
SAR:	Eğim/yamaç yönelimi
SIN:	Sinüs
SLIQ:	Kontrollü denetleme
slope2nd:	Yamaç Eğimi 2.türevi
SPI:	Sediman Taşıma Kapasite İndeksi
SPSS:	Statistical Package for the Social Sciences
SRR:	Yüzey rölyef Oranı
SYM:	Sayısal yükseklik modeli
T:	Tekstür - Doku Oranı
TIN:	Düzensiz Üçgensel Ağ Modeli
Tjc:	Çamlık Formasyonu
Tmd:	Derinçay Formasyonu
Tmk:	Köselerli Formasyonu
Tmm:	Mut Formasyonu

TN:	Doğru negatif
TP:	Doğru pozitif
Tr:	Tekrarlanma Aralığı
Tra:	Altınlı Formasyonu
Trjc:	Çenger Formasyonu
Trk:	Karakuz Formasyonu
TWI:	Topoğrafik nemlilik indeksi
UA:	Uzaktan Algılama
UTM:	Universal Transver Merkatör
YSA:	Yapay Sinir Ağları
θ :	Konkavite Değeri
β :	Regresyon Katsayısı
μ :	Medyan
σ :	Ölçek parametresi



1. GİRİŞ

Doğal afetler, toplumun sosyo-ekonomik faaliyetlerini önemli ölçüde aksatan, can ve mal kayıplarına neden olan doğa olayları olarak tanımlanmaktadır. Hızlı nüfus artışı, küresel iklim değişikliği ve doğal yeryüzü dinamikleri sonucu afete dönüşen deprem, taşkın, heyelan ve kuraklık gibi doğa olaylarının sayısında, 1900-2018 yılları arasında, dünya genelinde üssel bir artış olduğu gözlenmektedir (EMDAT 2019). Toprak, moloz veya kaya kütlelerinin yamaç aşağı hareketi olarak tanımlanan heyelanlar, farklı hareket mekanizmaları (kayma, düşme, devrilme, akma, yanal yayılma vb.), hareket hızları (birkaç mm/yıl-m/s), alansal büyüklüğü ile bunları hazırlayıcı (jeolojik, morfolojik, insan etkisi) ve tetikleyici (deprem, sel, aşırı yağış, hızlı kar erimesi vb.) faktörlerin çeşitliğine bağlı olarak farklı coğrafi bölgelerde çoğu kez afete dönüşerek dünya genelinde önemli sosyal ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Schuster ve Turner 1996). Heyelanlarla ilgili bilimsel ve teknolojik çalışmalar, dünya genelinde heyelan afet riskinin azaltılması açısından daha güvenilir, kesin veya uygun maliyetli olması yönünde sürekli olarak geliştirilmektedir. Ancak, bu bilimsel ve teknolojik gelişmeler, ülkelerin gelişmişlik düzeyine bağlı olarak, eşit biçimde paylaşılammakta ve uygulamalar arasındaki seviye farkının çok geniş olduğu bilinmektedir (Sassa ve ark., 2018).

Heyelanların yol açtığı kayıplara karşı etkili mücadele, belirli bir bölgede mevcut heyelanların mekansal dağılımı ve bunları kontrol eden çevresel değişkenlerin sağlıklı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Bu kapsamda, heyelan envanter haritaları, heyelanların mekansal dağılımı, tipi, alansal büyüklüğü gibi değerlendirmelere açıklık getirmektedir (Fell ve ark., 2008a,b; Van Westen ve ark., 2008; Van Den Eeckhaut ve ark., 2012). Heyelan envanter haritalarının kalitesi, bu haritalar baz alınarak üretilen heyelan duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirmelerinde temel girdi oluşturmasından dolayı son derece önemlidir (Guzzetti ve ark., 2000; Guzzetti ve ark., 2006; Galli ve ark., 2008; Van Westen ve ark., 2008; Van Den Eeckhaut ve Hervás, 2012).

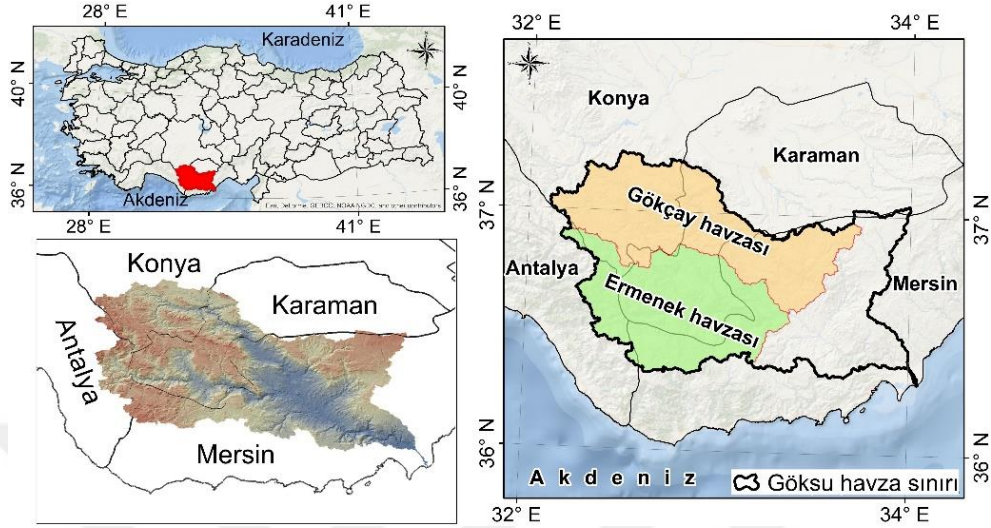
Heyelanlar ile ilgili yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978, Hansen, 1984, Cruden, 1991, Cruden ve Varnes, 1996, Soeters ve Van Westen, 1996, WP/WLI, 1991, 1993, 1994, 1995, 2001), heyelan envanter haritalarının hazırlanması (Zaruba ve Mencl 1961, Varnes, 1974, 1984, WP/WLI, 1990, Soeters ve Van Westen, 1996, Duman ve ark., 2005a,b, Duman ve ark., 2006a, Duman ve ark., 2007a,b,c, Duman ve ark., 2009a-m, Guzzetti ve ark., 2012), ve bunların istatistiksel olarak önemini belirten çalışmalar (Guzzetti ve ark., 2000, 2002, 2003, Malamud 2003a,b, Malamud ve ark., 2004a,b) şeklinde özetlenebilir.

Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan algılama (UA) tekniklerinin yaygın olarak kullanılması ile bölgesel ölçekte heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda ulusal ve uluslararası literatür de artış görülmektedir. CBS kullanılarak heyelan duyarlılık ve olası tehlike değerlendirmelerine ilişkin yöntemler Dai ve ark., (2002); Wang ve ark., (2005); Chacon ve ark., (2006); Fell ve ark., (2008a, b); van Westen ve ark., (2008); Corominas ve ark., (2014); Hungr (2016); Rossi ve Reichenbach (2016) tarafından derlenmiştir. Heyelan duyarlılık ve olası tehlike ile ilgili çalışmalar heyelan envanter tabanlı olasılık yaklaşımı (Chau ve ark., 2004, Guzzetti ve ark., 2005a,b), sezgisel yaklaşımlar (Pachauri ve Pant, 1992, Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996, Pachauri ve ark., 1998; Wachal ve Hudak, 2000; Ayelew ve Yamagishi, 2005), istatistiksel yaklaşımlar (Carrara ve ark., 1991, Jade ve Sarkar, 1993, Atkinson ve Massari, 1998, Guzzetti ve ark., 1999, Baeza ve Corominas, 2001; Clerici ve ark., 2002, Lee ve Min, 2004; Ercanoğlu ve ark., 2004; Süzen ve Doyuran, 2004a, b; Ayalew ve Yamagishi, 2005, Çan ve ark., 2005, Gökçeoğlu ve ark., 2005, Duman ve ark., 2006a), deterministik yaklaşımlar (Soeters ve Van Westen, 1996) olarak sıralanmaktadır. Bununla birlikte, literatürde son yıllarda söz konusu analizlerin bilgi temelli yapay zeka yöntemleri ile gerçekleştirilmesine ilişkin çalışmalara da rastlanmaktadır (Juang ve ark., 1992, Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002 ve 2004, Gomez ve Kavzoglu, 2005, Lee ve ark., 2003 ve 2004, Yeşilnacar ve Topal, 2005).

Günümüzde niceliksel veri güdümlü yaklaşımlar içerisinde en yaygın olarak kullanılanları istatistiksel ve makine öğrenme yöntemleridir (Westen, 2013, Corominas ve ark., 2014, Goetz ve ark., 2015, Chen ve ark., 2017).

Varnes (1984) olası tehlike (hazard) terimini potansiyel zarara yol açabilecek belirli bir heyelanın, belirli bir lokasyonda, belirli bir zamanda oluşma olasılığı olarak ifade etmektedir. Van Vesten ve ark., (2003) ve Crozier ve Glade (2005) olası tehlike terimini iki şekilde ifade etmektedirler. Bunlardan birincisi mekansal olabilirliği ifade eden ve genelde duyarlılık terimi olarak ta kullanılan belirli bir heyelanın, belirli bir lokasyonda gerçekleşme olasılığını ifade ederken, diğeri Varnes (1984) tanımına uygun olarak olası tehlike mekansal ve zamansal olasılığın birlikte değerlendirildiği belirli bir olayın, belirli bir lokasyonda ve zaman diliminde gerçekleşme olasılığını ifade etmektedir.

2014 yılında yürürlüğe giren “mekansal planlar yapım yönetmeliği” kapsamında fiziki, doğal, tarihi ve kültürel değerleri korumak ve geliştirmek, koruma ve kullanma dengesini sağlamak, ülke, bölge ve şehir düzeyinde sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek, yaşam kalitesi yüksek, sağlıklı ve güvenli çevreler oluşturmak amaçlanmıştır. Ulusal ve bölgesel düzeyi kapsayan mekansal strateji planlamalarında, bölge, havza veya il düzeyinde gerçekleştirilen Çevre düzeni planlarında afet zararlarının azaltılmasına yönelik olarak tehlike ve risklerin analiz edilerek tanımlanması, önlemlerin alınması, afet risklerini azaltıcı önerilerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’deki 25 ana havzadan biri olan Doğu Akdeniz Havzası içerisinde, 11.213 km² ile en büyük alt havza olan, Göksu nehri havzasının jeomorfometrik ve heyelan olası tehlike değerlendirmeleri yapılmıştır (Şekil 1.1).

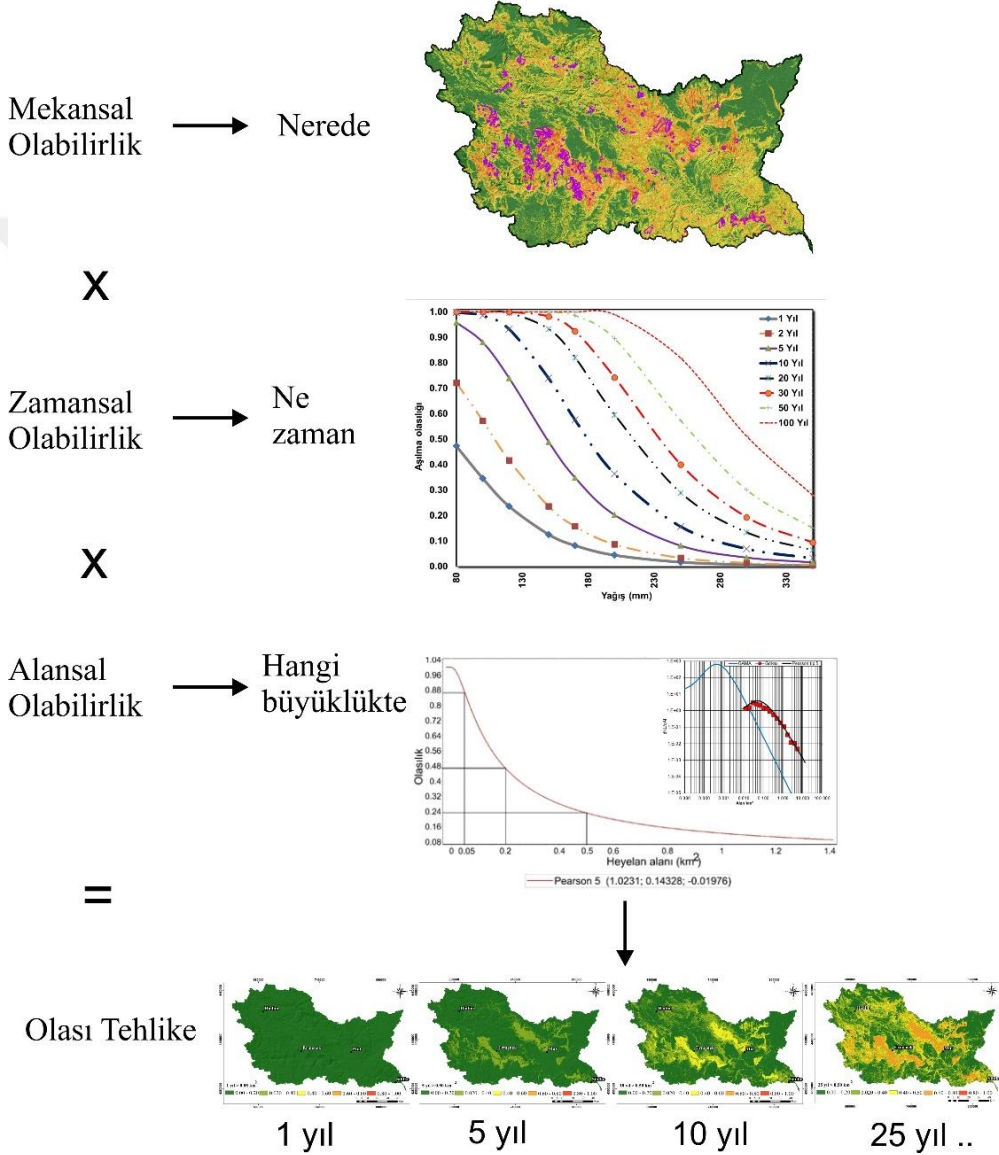


Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

Çalışmada ilk olarak, havzada etkili olan dinamik hidrolojik süreçlerin ortaya çıkarılması amacıyla jeomorfometrik analizler gerçekleştirilmiştir. Jeomorfolojik değerlendirilmeler, çizgisel (Çatallanma oranı, Uzunluk Oranı, Tekstür oranı) alansal (Drenaj yoğunluğu, havza şekli, Akarsu sıklığı, uzunluk oranı, Gravelius İndeks) ve yüzey morfometri (Hipsometrik integral/eğri) parametreleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, kaya düşmeleri için MaxEnt yöntemi kullanılarak duyarlılık değerlendirmeleri, kayma türü heyelanların ise nerede, ne zaman ve hangi büyüklükte gerçekleşme olasılıklarını gösteren, niceliksel yöntemler kullanılarak heyelan olası tehlike haritaları hazırlanmıştır. Kayma türü heyelanlarda duyarlılık değerlendirmeleri Yapay Sinir Ağları (YSA), Karar ağacı ve Mantıksal Regresyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki farklı büyüklüklerdeki heyelanların aşılma olasılıkları, heyelanların alansal büyüklük – frekans ilişkisinden elde edilen olasılık yoğunluğu ve buna uygun olasılık yoğunluk fonksiyonundan elde edilmiştir. Heyelanların zamansal olabilirliği ise bölgede heyelanları tetikleyen yağış değerlerinin yağış-frekans

analizlerinden elde edilen tekrarlanma aralıkları ve belirli zamanlardaki aşılma olasılıkları ile belirlenmiştir. Elde edilen mekansal, zamansal ve alansal olabilirlik parametrelerinin bir arada değerlendirilmesiyle, Göksu havzasındaki kayma türü heyelanlar için olası tehlike haritaları üretilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Niteliksel heyelan olası tehlike haritalarının hazırlama aşamaları.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında önceki çalışmalar, jeoloji, jeomorfometri, heyelan envanter, duyarlılık ve olası tehlike alt başlıklarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

2.1. Jeoloji

Toros orojenik dağ kuşağı içerisinde yer alan çalışma alanında temel birimler farklı tektono-stratigrafik birlikler altında sınıflandırılmıştır (Özgül, 1973; Metin, 1984; Özgül, 1976). Çalışma alanının güney kesimlerinde ise Mut havzasına ait, Üst Oligosen-Alt-Orta Miyosen yaşlı örtü çökelleri geniş alanlarda yüzeylemektedir. Aşağıda çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan jeolojik çalışmalara yer verilmiştir.

Blumentall (1951), Mersin-Göksu-Mut bölgesinde bulunan ofiyolitlerin ve kireçtaşı bir Paleozoyik serinin olmasını şist-hornştayn tabaka birliği ile sıkı bir ilişki sonucu geliştiğini söylemektedir. Böyle bir tabaka karışığının Kıyı Toroslarında gözlenmediğini, bu ofiyolitli zonla Silifke-Ovacık Paleozoyik'i arasında Babadıl-Gilindre kıyı Paleozoyik'inin bulunduğunu, ofiyolitli zonun genel yayılımı içinde güney ile kuzey bölgeler arasında bir tektonik ilişkinin varlığının hemen hemen kabul edilebileceğini, Anamur kuzey-kuzeydoğusunda Anamur Masifi adını verdiği kloritli, mermerleşmiş kireçtaşı ve fillitler ile Hadim Paleozoyik'i arasında kuzeye yatımlı bir Üst Kretase'nin varlığını doğudan, Silifke-Gilindre bölgesinde ise çalışma alanının büyük bir kısmının Göksu deltası ve Mut havzaları arasında yer aldığını belirtmişlerdir.

Akarsu (1960), Mut bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını ve stratigrafik dikme kesitini hazırlamıştır. Buna göre temeli oluşturan birimler, şistler ve kireçtaşlarından oluşmakta ve bunların üzerine uyumsuz olarak Alt Kretase yaşlı kireçtaşları gelmektedir. Bunların üzerine ise uyumsuz olarak Alt Miyosen yaşlı

kireçtaşları, onun üzerinede Orta Miyosen yaşlı marnlı kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltaşların bulunduğunu belirtmiştir.

Niehoff (1960), Temel üzerine transgresyonun Mut Havzası'nda Akitaniyen'de, Karaman Havzası'nda Burdigaliyen ve Helvesiyen'de başladığını söylemektedir. Her iki Miyosen havzası arasında fasiyes ve kalınlık sınırlarının Miyosen içi fay tektoniği ile geniş ölçüde kontrol edildiğini belirtir. Çakıltaş çökmesi sonrası marn ve sahile yakın kenar resiflerinin oluştuğunu vurgular. Miyosen'in denizel çökelleri ile Karaman yöresindeki göl sel kireçtaşlarının ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Koçyiğit (1977), Mut Havzası'nda özellikle Miyosen transgresyonu başlangıcında düşey hareketlerin egemen duruma geçtiğini ve Miyosen tortullarının yanal ve düşey doğrultulu fasiyes değişimi gösterdiğini ve günümüzdeki görünümünün oluşumuna neden olduğunu açıklamaktadır.

Özgül (1971), Orta Toroslar'ın kuzey kesiminde Hadim ve Bozkır ilçeleri dolayında yaptığı incelemede, Paleozoyik ve daha genç yaşlı kaya birimlerini kapsayan ve birbirinden farklı havzaların tektonik ilişkili olduğunu ve tektonik birliklerin varlığını ortaya koymuştur.

Gedik ve ark (1979), Mut Havzası'nda yaptıkları geniş ve kapsamlı çalışmalarında, Paleozoyik-Mezozoyik birimlerini Ovacık formasyonu (Ordovisyon), Hırmanlı Fm., Akdere Fm. (Orta-Üst Devoniyen), Belpınartepe Fm. (Karbon-Permiyen), Kızılkuzlukdere Fm. (Triyas), Boztepe Fm. (Resiyen), Çambaşıtepe Fm. (Senomaniyen-Koniasiyen), olarak incelemişler ve ofiyolitik melanjın yerleşme yaşını Kretase sonu-Eosen başı olarak yorumlamışlardır.

Gökdeniz (1981), Karaman-Ermenek arasında Mesozoyik yaşlı karbonatlardan oluşan otokton konumlu kaya birimleri ile onun üstünde bir biri üstüne bindirmeli konumda üç ayrı allokton birlik ve tüm öteki birimleri örten Miyosen yaşlı kayaların varlığından söz eder. Araştırmacı istifin allokton kayaların en alt yapısal diliminin içinde yeşil tüfitlerin de bulunduğu olistrostrom gibi kaba kırıntılarla başlayan ve pelajiklerle biten Orta-Üst Triyas yaşlı kayalardan

oluşturduğunu, bunun üzerinde yer alan kırıntılıların Toros Silsilesi'nde deki "Vahşi Fliş" e denk geldiğini, Triyas-Jura yaşlı neritik karbonatların en üst dilimi oluşturduğunu, yeşil tuffitlerin yaşının Orta Triyas olduğunu, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre kaynak volkanizmasının kalkalkalen olduğunu, alttan üste doğru, zaman içinde alkali olmayandan alkali olan volkanizmaya doğru bir gelişme gözlemlendiğini, yeşil tuffitlerin saha ve laboratuvar gözlemlerine göre denizel bir ortamda çökelmiş olduğunu anlaşıldığını, bu veriler ışığında paleocoğrafyasal bölgenin bir adayayı çevresinde adayayı arkası veya adayayı arası tipinde olduğunu ileri sürmüştür.

Demirtaşlı (1983), Orta Toros Kuşağı'nın doğuda Ecemiş Fayı, batıda Hadim Napı gibi iki önemli tektonik hat arasında yer aldığını kuzeyden de İç Toros Kuşağı ile sınırlandığını, Orta Toros Kuşağındaki kayaların otokton ve allokton konumlu çökellerle, allokton konumlu Ofiyolitik Melanj' dan oluştuğunu, otokton ve allokton konumlu kaya birimlerinin Anamur doğusunda kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Hadim Napı boyunca Anamur Metamorfikleri üzerine itildiğini, Alanya Metamorfikleri'nin Göksun Metamorfikleri ile Bitlis Masifi'nin Batıya uzantısını oluşturduğunu ileri sürerler.

Tanar ve Gökçen (1990), Mut-Ermenek Tersiyer istifinin stratigrafisi ve mikropaleontolojisi çalışmasında, tabandaki Miyosen öncesi birimler üzerine uyumlu olarak gelen killi kireçtaşları ve marn birimlerinin ardalanmalı olarak bulunduğu açık renkli kırılğan şeyllerden oluşan, Üst Oligosen-Alt Miyosen (Akitaniyen) yaşlı Fakırca Formasyonu'nu tanımlamıştır.

Bilgin ve ark (1994), Mut- Silifke-Gülnar yöresinin jeolojisi çalışmalarında, çalışma alanının 1/25 000 ölçekli jeolojik haritaları hazırlamıştır.

Özdoğan (2004), Mut bölgesinde yüzeylenen kayaçları, Miyosen ve Miyosen öncesi olmak üzere iki grupta incelemiştir. Miyosen öncesi kayaçları, Paleozoyik (karbonatlı, kırıntılı ve metamorfik kayaçlar) ile Mesozoyik yaşlı kireçtaşları oluşturmaktadır. Miyosen çökelleri ise; tabanda, temel kayaçların üzerinde, açısız uyumsuzlukla Derinçay Formasyonu ile başlamaktadır.

Akitaniyen-Burdigaliyen zaman aralığında çökelen bu formasyon, üç üyeye ayırarak incelemiştir. Bu formasyonun üzerinde resifal özellikteki Burdigaliyen yaşlı Mut Formasyonunun bulunduğu, Mut ve Derinçay Formasyonlarının yanal ve düşey geçişli dokanak özelliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Mut Formasyonu üzerinde ise, Kösellerli Formasyonunun yine yanal ve düşey geçişli olduğunu belirtmiştir.

Dalkılıç ve Balcı (2009), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli O-30 paftasında farklı havza koşullarını yansıtan, birbiri üzerine bindirmiş tektono-stratigrafik birimlerden oluşan Hadim, Beyşehir-Hoyran napları ve neototkon konumlu Tersiyer kayaçları incelemiştir. Hadim napı'na ait olan Kartaldağ, Ermenek ve Aladağ dilimleri, Beyşehir-Hoyran Napları'na ait Kretase Ofiyolitli melanji ile Korualan, Huğlu ve Boyalıtepe dilimlerini incelemiştir. Ayrılmamış Boyalıtepe dilimi, Belveren bloğu olarak haritalanmıştır. Geç Kretase sonunda Neotetis'in kapanmasına bağlı olarak Hadim ve Beyşehir-Hoyran Napları birbirleri üzerine itildiğini ifade etmişlerdir.

Ulu ve Balcı (2009), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli N-30 paftası için yapmış oldukları çalışmada, bölgeye ait jeodinamik evrimi ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Toros kuşağında bulunan çalışma alanında farklı havza koşullarını yansıtan, birbiri üzerine bindirmiş Beyşehir-Hoyran-Hadim naplarına ait birlikler ve neotoktan konumlu Tersiyer örtü kayaçların bulunduğunu söylemektedirler. Beyşehir-Hoyran-Hadim Nap'larının oluşturduğu temel birimlerin Bolkardağı Birliği, Aladağ Birliği ve Bozkır Birliğinden oluştuğunu ve bu birliklerin birbiri ile tektonik dokanaklı bulunduğunu söylemektedirler. Bolkardağı Birliğinin düşük dereceli metamorfizma geçirdiğide ifade etmektedirler.

Bilgiç (2009), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli Karaman-N31 paftası için yapmış olduğu çalışmada, paftanın kuzeyinin Bolkar Dağı Birliği, Güneyinin ise Aladağ birliği ile sınırlandırılmış olduğunu söylemektedir. Her iki tektono-

stratigrafik birimin çeşitli allokton kütleler içeren ofiyolitli melanj tarafından tektonik dokanakla üzerlendiğini belirtmişlerdir.

Alan ve ark (2014a), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli P-30 paftasında, Orta Toroslar'ın güney kesiminde ve Mersin iline bağlı Bozyazı, Aydıncık ve Gülnar ilçeleri dolayının stratigrafisi, metamorfizması ve yapısal yapısı incelemiştir.

Alan ve ark (2014b), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli P31-P32 paftasında, Orta Toroslar'ın güney kesimini içeren çalışmalarında, stratigrafi, metamorfizma ve yapısal özelliklerine göre birbirinden farklı dört adet yapısal birim ve bunların tektonik dilimleri ile bu birimleri örten Tersiyer yaşlı çökelleri çalışmışlardır. Bu birliklerin, Görbiyes Dağı Birliği, Geyik Dağı Birliği ve bu birliklere ait tektonik dilimler ile Aladağ Birliği ve Bozkır Birliği'ne ait birimler ve bunları örten Tersiyer-Kuvaterner yaşlı örtü kayalardan oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Ilgar ve ark (2016), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli O-31 paftasında çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmayı Orta Toroslar'da, Kuzeyde Karaman ili ile güneyde Silifke ilçesi arasında yapmışlardır. Bölgede Mesozoyik-Tersiyer yaşlı çok fazla litostratigrafik birim bulunmaktadır. Bu birimleri bölgeye tektonik olarak yerleşmiş olan Bozkır ve Aladağ birlikleri ile üzerlerine uyumsuz olarak yerleşen Tersiyer yaşlı birimlerin geldiğini söylemektedirler. Tersiyer yaşlı birimlerin ise Derinçay, Mut, Köseleli, Dağpazarı Tırtar ve Ballı Formasyonlarının oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Şenel ve ark (2016), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli O-28 paftası için hazırlamış oldukları raporda, Anamas-Akseki otoktonu, Antalya napları, Alanya napı, Beyşehir-Hoyran-Hadim naplarına ait kaya birimleri ile Miyosen ve Kuvaterner yaşlı neotokton örtü birimlerinin bölgede görüldüğünü söylemektedirler. Orta Toroslar'ın otokton konumlu birimlerini temsil eden Anamas Akseki otoktonun, kuzeyden güneye doğru birbiri üzerine itilmiş pekçok yapısal birim tarafından üzerlendiği sonucunu elde etmişlerdir.

Şenel ve Metin (2016), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli N-28 paftasında çalıştıkları alanda Göksu havzası üst orta kesimlerini de içine alan çalışmaların da, örtü kaya birimlerini, Orta Miyosen yaşlı konglemera, kumtaşı, ve kilitaşlarından oluşan Aşağıçığil formasyonu ile Orta-Üst Miyosen yaşlı konglemera ve kumtaşlarından oluşan Kozludere formasyonu, geç Miyosen - Pliyosen yaşlı volkanitlerden oluşan Erenlerdağı volkanitleri, Geç Pliyosen-Pliyosen yaşlı kilitaş, marn, killi kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan İnsuyu formasyonlarından oluştuğunu söylemektedirler. Kuvaterner ise bölgede eski akarsu çökelleri, göl çökelleri, yamaç molozu, moren ve alüvyonlar ile temsil edildiğini belirtirler. Geç Kretase sonunda ise, kuzeyde bir araya gelen Beyşehir-Hoyran-Hadim napları, kuzeyden güneye doğru Eosen sonlarında Anamas-Akseki ototkonu üzerine yerleştiğini belirtmişlerdir. Eosen sonrasında bölgede büyük çaplı doğrultu atımlı, düşey eğimli normal faylar ve eğim atımlı normal fayların geliştiğini vurgulamışlardır.

Şenel ve ark (2016), Türkiye Jeoloji Haritaları 1/100.000 ölçekli P-28 paftasında çalıştıkları bölgede, Antalya napı, Alanya napı ve Beyşehir-Hoyran-Hadim Nap'larına ait kaya birimlerinin yüzelediğini söylemektedirler. Temel birimlerden farklı ortam koşullarında gelişmiş yapısal birimlerden oluşan Antalya naplarına ait Çataltepe napı, Alakırçay ve Tahtalıdağ napına ait kaya birimlerinde bölgede yer aldığını vurgulamaktadırlar.

Keskin ve ark (2018), Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100.000 ölçekli O-29 paftası için hazırlanmış olukları raporda, Toros Kuşağı'nın Orta Toroslar bölümünde bulunan çalışma alanı için, farklı havza koşullarını yansıtan birbiri üzerine bindirmiş tektono-stratigrafik birimlerden oluşan Alanya Birliği, Antalya Birliği, Geyik Dağı Birliği, Aladağ Birliği'ne ait Kartal Dağı Tektonik Dilimi ve Taşkent Tektonik Dilimi, Bozkır Birliğine ait Başkışla Karışığı, Huğlu Grubu, Bucakkışla Tektonik Dilimi, Bozdağ Tektonik Dilimi, Kızılcadağ Ofiyolit Melanj ve Olistostromu ile Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı Örtü çökellerini incelemişlerdir.

2.2. Jeomorfoloji Çalışmaları

Erol (1990), Türkiye kıyılarının dünyanın en hareketli yerlerinden biri olduğunu, kıyıların milyonlarca yıldan beri değişmiş ve değişmekte olduğunu ortaya çıkarmış ve bu hareketlerin günümüzde de devam ettiğini belirtmiştir. Göksu Delta ovasında, kıyı çizgisinin karaya doğru gerilemesi (retrograding), kumsallarda giderek artan bir erozyon olayı, dolayısı ile birçok sahil sitesinin dalga hareketlerine maruz kalmasını, lagün kıyılarında ve sulak alanlarda önemli değişimler, ağzıboğulan akarsular geriye doğru şişerek zararlı taşkınlarda artışlar olabileceğini belirtmiştir.

Mater ve Turoğlu (2002), 50 yıllık zaman aralığı içinde yaşanan jeomorfolojik değişimleri, bu değişimlerin sebeplerini, doğal ortam ve insan yaşamı üzerindeki sonuçlarını araştırmışlardır. Çalışma sahasındaki jeomorfolojik çeşitlilik, güncel morfordinamik etken ve süreçlerin faaliyetleri ve insan faktörünün de katkısıyla, kısa bir zaman aralığı içinde, büyük bir hızla şekil ve karakter değişimleri yaşamış, bu gelişimin halen de devam etmekte olduğunu ifade etmişlerdir.

Öner ve ark (2002), “Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyılarında deniz seviyesi ve kıyı çizgisi değişimleri” adlı çalışmalarında, Türkiye kıyıları, son buzul çağından günümüze buzulların erimesi sonucu tüm dünya denizlerinin yükselmesine bağlı olarak, boğulmuş kıyı özelliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Atalay (2005), son buzul çağının en önemli özelliğinden biri de deniz seviyesinin şimdiki seviyesine göre 125 m kadar düşmesi olduğunu ve bu düşme sonucu kıyı bölgelerimizde 125 m derinliğe kadar olan kıta sahanlıkları kara haline geldiğini ve günümüzdeki akarsuların, bugünkü döküldükleri yerden kilometrelerce uzakta denize ulaştığını belirtmişlerdir.

Çiçek ve ark (2003), Mut havzasında yatay ve yataya yakın Miyosen yaşlı kireçtaşı, marn ve killerin, Miyosen yaşlı birimler üzerinde 1450-2000 metre yüksekliklerde yaygın olarak gözlendiğini belirtmiştir. Orta Miyosen (Serravalien) yaşlı yapısal-aşınım yüzeyi, 850-1200 m’lerde yayılan Üst Miyosen (Mesinien)

aşınım yüzeyi, 500- 700 m'ler de yayılan Pliosen aşınım yüzeyi 250-400 m'ler de yayılan en alt Pleistosen aşınım yüzeyi olmak üzere 4 yüzey görülmektedir. Göksu Nehri vadisi boyunca Pleistosen yaşlı 4 sekiden oluştuğunu söylemektedir. Bunları çimentolanma dereceleriyle birbirinden ayırmaktadır. Göreceli yükselteleri sırasıyla S190, S2 50-60, S3 30-40, S4 10 m. olup, yörede dolinlerin hakim karstik şekilleri oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Buldur ve ark (2004), Göksu Nehrinin genel uzantısının KB-GD doğrultusunda olduğunu ve Türkiye'nin genel epirojenik ve orografik yapısına bağlı olarak "enine (kuzey-güneydoğrultusunda akan) akarsular" grubunda olduğunu ifade etmişlerdir.

Keçer ve Duman (2007), Göksu nehrinin oluşturduğu deltada yapmış oldukları çalışmada, hem Türkiye'nin hem de Doğu Akdeniz'in en önemli sulak alanlarından biri olduğunu söylemektedirler. Deltanın, göçmen kuşlar açısından uğrak bir yer olduğunu ve koruma alanı olarak belirlenen bir bölgede yer aldığını söylemektedirler. Son yarım yüzyılda deltanın kıyı kesimlerinde deniz aşındırma dinamikleri etkisiyle kıyının gerilediğini belirtmektedirler. Ayrıca, kıyı kumulları ve kıyı setlerinden rüzgarla taşınan malzemenin lagün alanını doldurduğunu söylemektedirler. Deltada meydana gelen değişimlerin nedenlerini ortaya koymak ve çözüm önerileri getirmek amacıyla delta ortamındaki güncel dinamik süreçler ayrıntılı olarak araştırmışlardır. Elde edilen bulgulara göre, delta ortamındaki doğal akarsu sisteminin, kıyı dinamiği ve rüzgar erozyonu süreçleri ve yapay müdahaleler ile değiştiği sonucuna varmışlardır.

Karakoç ve Karabulut (2010), Göksu deltası kıyı çizgisinde meydana gelen değişimlerin CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri ile incelenmesi başlıklı çalışmalarında, deltanın doğu kıyılarında meydana gelen bir gerilemenin, güncel başlangıç bölgesinde ise ilerlemenin gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Paradeniz lagünü kıyı kordonunda şiddetli bir kıyı gerilemesinin, İncekum burnunun batı ve güneydoğusunda ise kumul ilerlemesinin oluştuğu ve Altinkum mevkiinde ise şiddetli bir kıyı gerilemesinin olduğunu belirtmişlerdir.

Schildgen ve ark (2012), Türkiye'nin güneyindeki Mut Havzası'ndaki bulunan Neojen yaşlı sedimentleri ve Kuaterner akarsu teraslarını ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. İç Anadolu platosunun güney kenarı boyunca Geçler'den itibaren yüzey gelişimi ile ilgili detaylı araştırmalar yapmışlardır. Orta Anadolu platosunun güney kenarı boyunca Geç Miyosen'den günümüze kadar yüzey oluşumlarını ¹⁰Be, ²⁶Al ve ²¹Ne yöntemleriyle yaşlandırarak belirlemişlerdir. Mut Havzası'ndaki Göksu Nehri'nin 28-133 metre arasında bulunan flüviyal terasların ortalama 0.52 - 0.67 mm / yıl oranına karşılık geldiğini belirlemişlerdir.

Schildgen ve ark (2014), tarafından yapılan yaşlandırma çalışmalarına göre Göksu havzasının Ermenek kolu hariç günümüzden 1.6 milyon yıl önce Pleyistosen döneminde denizel ortamın etkisinde olduğu ve 130 bin yıldan günümüze kadar 0.52-0.66 mm/yıl arasında vadi yarılma hızına sahip olduğu belirtmişlerdir.

Avşın (2014), Göksu Nehri'nin Kuaterner iklimsel değişimleri ve tektonizmaya etkisini ortaya çıkarmaya amaçlamıştır. Bu amaçla, Göksu Nehri vadisindeki jeomorfolojik birimler (aşınım yüzeyleri, sekiler, alüvyal yelpazeler, akarsu yatağı, taşkın ovası, nehir adaları) haritalanmış, akarsu sekilerinin morfometrik, stratigrafik ve kronolojik özellikleri belirlenmiş ve vadinin flüviyal aktivitesi ortaya çıkarmıştır.

Efe (2015), Göksu havzasının alt havzalarından biri olan Ermenek havzasının jeomorfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, yatay tabakalı tortul kayalar içinde açılan derin vadiler ve kanyonlar sahanın başlıca jeomorfolojik özellikler olarak ortaya çıktığını söylemektedir. Miyosen denizi bölge üzerinde hakim olmadan önce Paleozoyik ve Mesozoyik formasyonlar ile Ofiyolitik Melanj'in aşındığını ve bu sırada meydana gelen küçük göller içinde akarsular tarafından çakıltası, kumtaşı, marn ve şeyllerden oluşan malzeme biriktiğini yapmış olduğu laboratuvar çalışmaları sonucunda tespit etmiştir. Alt Miyosen'den Orta Miyosen'e kadarki dönemde meydana gelen son Alpin hareketler göl tabanlarında biriken bu malzemenin kıvrımlanmasına neden olarak

senklinaller meydana geldiğini belirlemiştir. Orta Miyosen'den itibaren Batı Torosların doğu kesiminden batıya doğru Tetis denizi Ermenek havzasında tekrardan etkili olduğunu, derin vadilerde marn, sığ alanlarda Mut formasyonunun çökeldiğini ortaya çıkarmıştır. Orta Miyosen esnasında tabakalar yatay konumlarını kıvrımlanma olaylarının gözlenmemesi sebebiyle korudukalarını söylemektedir. Orta Miyosen sonunda Tetis denizi tamamen bölgede etkinliğini yitirmiştir. Üst Miyosen'de ise meydana gelen gerilme hareketleri Orta Miyosen döneminde meydana gelen birimlerin yükselmesine sebep olmuş ve Kuvaterner'de de devam eden yükselmeler sonucu 2000 m'ye yakın yükselmelerin meydana geldiğini söylemektedir. Pliyosen'de ise yükselen kireçtaşı birimleri gravite faylarının etkisiyle parçalanmış ve bu birimler Ermenek çayı ve kolları tarafından aşındırılarak önce gevşek marn tabakaları taşınmış ve resifal kireçtaşları ile daha yaşlı birimler ortaya çıkmıştır. Bu aşınım sonucu çıkan materyal akarsular tarafından Mut havzasına, bir kısmı da Silifke deltasına ve Akdeniz'e taşınmıştır. Malzemenin diğer bir kısmı da vadi tabanları ile kenar kısımlarda birikerek Kuvaterner taraçalarını oluşturduğunu belirtmiştir.

Güner, ve ark (2018), Göksu deltasında yaptıkları çalışmada, Özellikle denize yakın bölgelerde yeraltı su kullanımının bir sonucu olarak tatlı su akiferlerinin etkilenme riskinin arttığını söylemektedirler. Bu durum özellikle sahip oldukları zengin bitki tür ve biyolojik çeşitliliği bakımından önemli olan alanlar da zamanla çevre sorunlarını beraberinde getireceğini ifade etmektedirler. Göksu Deltasında seçilen yeraltı kuyularındaki su verilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında toplam 24 yeraltı su kuyusundan Mayıs 2012-Nisan 2013 boyunca toplanan örneklerde fiziksel ve kimyasal su kalite parametreleri incelemiştir. Yeraltı suyu verilerinin daha etkin biçimde değerlendirilmesi amacı ile Aqua Chem kullanarak (Piper, Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramı) kalitesi sınıflamasını yapmışlardır. İncelenen yeraltı suları genel olarak orta derecede tuzlu ve düşük sodyum içeriğine sahip su özelliğini gösterdiğini tespit etmişlerdir. Farklı enterpolasyon yöntemleri ile de bölge için dağılım haritaları yapmışlardır.

Tekin ve Çan (2019a), Doğu Akdeniz bölgesinin önemli akarsularından biri olan Göksu Nehri havzası ve akarsu ağının jeomorfometrik değerlendirmesini yapmışlar ve arazi kullanımı, litolojik özellikler ile heyelan olaylarını ilişkilendirmişlerdir. Göksu Nehri havzasının jeomorfometrik değerlendirmelerini; alansal, çizgisel ve yüzey morfolometri değişkenleri kullanılarak incelemişlerdir. Göksu nehri havzasında, geçirgen olmayan ve gözeneksiz özellikte litoloji gösteren birimlerde dentritik drenaj ağları gelişirken, dik yamaçlarda paralel drenaj ağları meydana geldiğini ve Göksu havzasının genel vadi yapısı ise “V” şekilli vadi özelliği sunduğunu belirtmişlerdir.

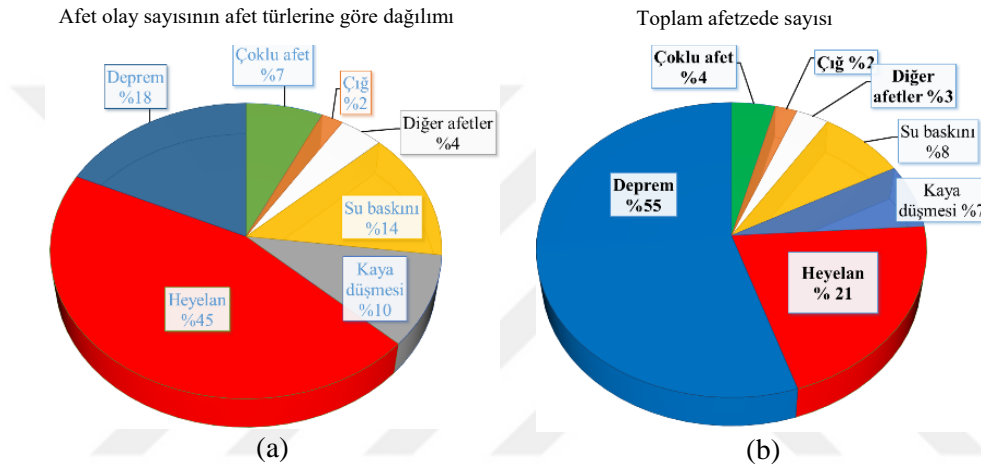
2.3. Heyelan Envanter Çalışmaları

Heyelan haritaları tekil heyelanlarla ilgili tarihsel veri kayıtlarının derlenmesiyle ve/veya hava fotoğrafı ve arazi çalışmalarının birlikte gerçekleştirilmesiyle yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden birincisi heyelan arşiv envanteri, ikincisi ise heyelan kütesinin alansal dağılımını gösteren haritalardır (Guzzetti ve ark., 1999). Heyelan envanter haritaları, belli bir tetiklenme süreci ayırt edilmeksizin geçmişte oluşmuş ve yapıldığı tarih itibarı ile morfolojilerini koruyan, tüm heyelanları gösteriyorsa tarihsel heyelan envanteri olarak isimlendirilmektedir. Aşırı yağış, kar erimesi ve deprem gibi belli bir tetikleyici faktör sonucu meydana gelmiş heyelanların gösterildiği haritalar ise heyelan olay envanter haritası olarak tanımlanmaktadır. Farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden yararlanılarak üretilen envanter haritaları ise çok zamanlı heyelan envanter haritası olarak isimlendirilmektedir (Guzzetti ve ark., 2000, 2012).

Türkiye’de ulusal ölçekte, doğal afetlerin sebep olduğu kayıplardan kaynaklı hasar gören konutlar temel alınarak yapılmış sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Ildır, 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

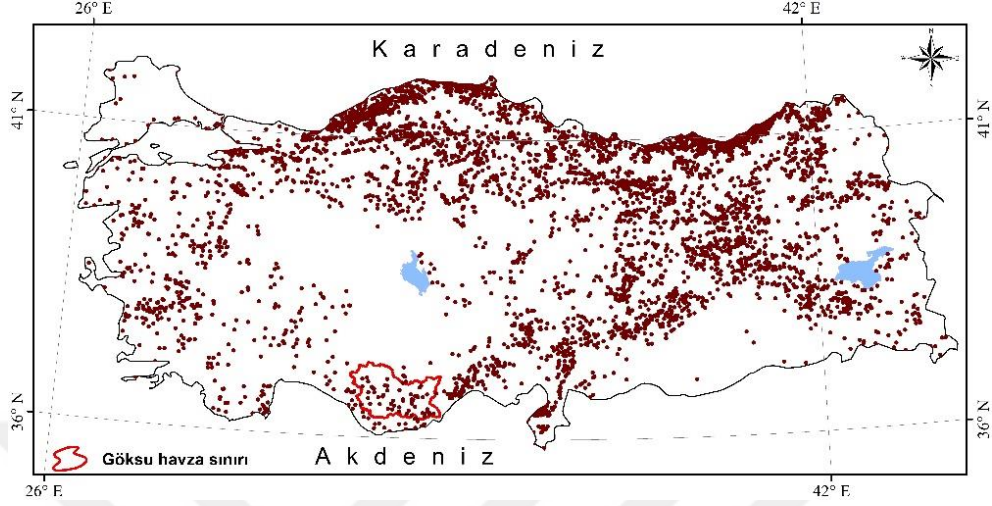
alınarak yapılan değerlendirmelerde, heyelanlardan kaynaklanan kayıpların, depremlerden sonra ikinci sırada yer aldığı görülmektedir (Şekil 2.1b).

Heyelanlı bölgeler için hazırlanan raporlara bağlı olarak hazırlanan, heyelanlı yerleşim birimlerinin dağılımını, heyelanların oluştuğu tarih ve meydana gelen kayıpların değerlendirildiği haritalar heyelan arşiv envanter haritaları olarak tanımlanmaktadır.



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

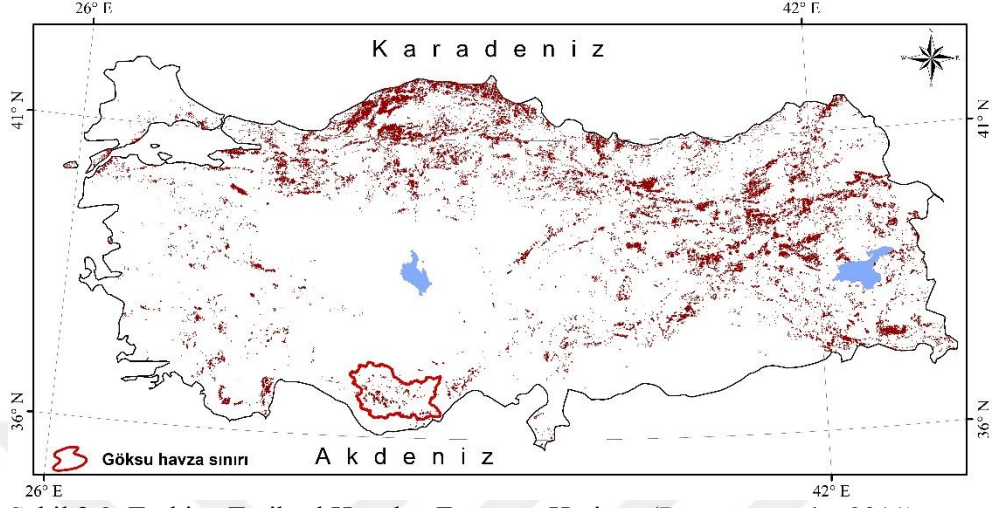
Gökçe ve ark., (2008) tarafından, Türkiye'de 1950-2008 yılları arasında heyelan afetine uğramış yerleşim birimlerinin dağılımı hazırlanmıştır (Şekil 2.2). Buna göre heyelanlar en fazla Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde en az Trakya, İç Anadolu, Güney doğu Anadolu bölgelerinde gözlenmekte, çalışma alanının da içinde bulunduğu bazı bölgelerde ise yerel koşullara bağlı olarak geliştiği gözlenmektedir.



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

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 ve ark., 2005a, b; 2006a.; 2007a, b, c; 2009a-m). MTA tarafından hazırlanan Türkiye Heyelan Envanter Haritası kapsamında (Şekil 2.3) toplam alanı 17.000 km²’den fazla olan 85.000’in üzerinde heyelan haritalanmıştır (Duman ve ark., 2011).

Çan ve ark (2013), Türkiye Heyelan Veri Tabanı başlıklı çalışmalarında, heyelanların çeşitli jeolojik, morfolojik ve fiziksel faktörler etkisi altında geliştiğini söylemektedir. Ülkemizde heyelanların yol açtığı kayıpların azaltılması ve mekansal dağılımını kontrol eden çevresel değişkenlerin daha iyi anlaşılması kapsamında MTA genel Müdürlüğü tarafından “Türkiye Heyelan Envanter Haritası Projesi”nin yapıldığını belirtmişlerdir.



Şekil 2.3. Türkiye Tarihsel Heyelan Envanter Haritası (Duman ve ark., 2011).

Taga ve Zorlu (2017), “Dik Yamaçlardaki Kaya Düşme Tehlikesinin Değerlendirilmesi: Ermenek (Karaman, Türkiye)” başlıklı çalışmalarında, yaklaşık 90° eğime sahip olan şevlerin, kaya birimlerinin litolojik ve mühendislik özellikleri ile iklim etkisi nedeniyle kaya düşmesi kaynak alanları oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bölgede kaya düşmesi nedeni ile yaklaşık 500 konutun ağır hasar gördüğünü ve can kaybı ile sonuçlanan kaya düşmeleri meydana geldiğini belirlemişlerdir. Çalışma alanındaki kaya düşmelerine neden olan etmenlerin; süreksizlikler, litolojik değişiklikler, iklim ve donma-çözülme süreci olarak tanımlamaktadırlar. Süreksizlik analizleri ile asılı, ayrılmış ve düşmüş blokların yerleri ve boyutlarını belirlemiş, jeolojik, morfolojik ve topoğrafik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca, kaya düşmesi tehlikesini 10 farklı enine kesit üzerinde iki boyutlu analizler ile değerlendirmişlerdir. Kaya düşmesi analizi sırasında, her bir profil için çeşitli boyutlarda blokların kaçma mesafesi, sıçrama yüksekliği, kinetik enerji ve hızları RocFall v4.0 paket programı kullanılarak hesaplamışlardır.

2.4. Heyelan Duyarlılık Çalışmaları

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile bir bölgede geçmişte meydana gelen heyelanlar ve bunları kontrol eden çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler ortaya konarak, bölgede ileride heyelanların nerede gelişebileceği modellenmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması niteliksel ve niceliksel yaklaşımlar olarak iki ana başlıkta özetlenmektedir (Soeters ve van Westen, (1996), Aleotti ve Chowdhury, (1999), Guzzetti ve ark., (1999), Corominas ve Moya, (2010), Westen (2013).

Niteliksel yöntemler genelde tecrübeye dayalı arazide yapılan jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirmeler ve sezgisel yaklaşımlardan oluşmaktadır. Niteliksel yöntemlerden, jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirme yönteminin en önemli kısıtlaması, bu yöntem kullanarak oluşturulan duyarlılık haritalarında, hazırlayan araştırmacıların tecrübelerinin ön plana çıkmasıdır. Niteliksel yöntemlerden ikincisi olan sezgisel yaklaşımlarda ise heyelanların oluşmasında etkili olduğu düşünülen değişkenler arazi gözlemleri ile tespit edilerek, belli alt kategorilere ayrılarak değerlendirilip, harita haline getirilmesinden sonra bu haritaların karşılaştırılması ile duyarlılık haritaları yapılır. Bu yöntemin sınırlamaları ise uzun arazi çalışmaları, heyelanın oluşmasında etkili olduğu düşünülen parametrelerin belirlenmesinde ve indeks haritalarının oluşturulması aşamasında bu haritaları yapan kişinin tecrübesinin ön plana çıkmasıdır (Hansen ve ark., 1995; Reichenbach ve ark., 2005, 2018). Niceliksel yöntemlerden fiziksel tabanlı yöntemlerde, heyelanlar açısından duraylı/duraysız alanlar, sonsuz şevlerin stabilitesi gibi basit limit denge veya daha karmaşık dinamik yöntemler kullanılarak duyarlılık modellemeleri gerçekleştirilmektedir (Montgomery ve Dietrich, 1994; Rigon ve ark., 2006; van Asch ve ark., 2007, Simoni ve ark., 2008).

Niceliksel yöntemlerden veri güdümlü yaklaşımlar olarakta isimlendirilen duyarlılık modellemelerinde ise istatistiksel, yapay sinir ağları, karar ağacı gibi teknikler kullanılarak duyarlılık modelleri gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler geçmişte meydana gelen heyelanların gelecekte de benzer bölgelerde oluşacağı

ilkesine dayandırılmaktadır (Carrara, 1983; Guzzetti ve ark., 1999; Huabin ve ark., 2005; Chacón ve ark., 2006; van Westen ve ark., 2008, Reichenbach ve ark., 2018).

Bununla birlikte heyelan duyarlılık konusunda yapılmış makalelerde kullanılan yaklaşım ve değişkenler ile ilgili daha ayrıntılı değerlendirmeler Huabin ve ark., (2005), Chacón ve ark., (2006) Fell ve ark., (2008a, 2008b), Galli ve ark., (2008); van Westen ve ark., (2008), Gökçeoğlu ve Sezer (2009) Kanungo ve ark., (2009) ve Reichenbach ve ark., (2018) tarafından yapılmıştır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde literatürde en fazla kullanılan yöntemin mantıksal regresyon ve heyelanları hazırlayıcı çevresel değişkenler olarak en fazla morfoloji (yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç eğrisellikleri, yükseklik), arazi örtüsü ve jeolojik verilerin kullanıldığı belirlenmiştir (Reichenbach ve ark., 2018).

Heyelan duyarlılık konusunda son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ülke genelinde uluslararası heyelan duyarlılık çalışmalarına bakıldığında, heyelan duyarlılık çalışmalarının büyük bölümü heyelan sıklığının yüksek olduğu, Karadeniz ve Marmara bölgeleri içerisinde yer almaktadır. (Gökçeoglu ve Aksoy (1996); Ercanoğlu ve Gökçeoglu (2002); Cevik ve Topal (2003); Ercanoğlu ve Gökçeoglu (2004); Ercanoğlu ve ark., (2004); Suzen ve Doyuran (2004a, 2004b); Ercanoğlu (2005); Gökçeoglu ve ark., (2005); Yesilnacar ve Topal (2005); Duman ve ark., (2006); Yılmaz ve Yıldırım (2006); Akgün ve Bulut (2007); Ozdemir ve Turoglu (2007); Yalçın ve Bulut (2007); Akgün ve ark., (2008); Ercanoğlu ve ark., (2008); Gorum ve ark., (2008); Nefeslioglu ve ark., (2008a); Nefeslioglu ve ark., (2008b); Temiz (2008); Yalçın (2008); Kincal ve ark., (2009); Yılmaz (2009a, 2009b); Yılmaz ve Keskin (2009); Nefeslioglu ve ark., (2010); Yılmaz (2010a, 2010b); Alparslan (2011); Ercanoğlu ve Temiz (2011); Yalçın ve ark., (2011); Akgün ve ark., (2012a,b); Eker ve ark., (2012); Erener ve Duzgun (2012); Hasekiogullari ve Ercanoğlu (2012); Nefeslioglu ve ark., (2012); Reis ve ark., (2012); Suzen ve Kaya (2012); Yılmaz ve ark., (2012); Das ve ark., (2013); Demir ve ark., (2013); Eker ve Aydın (2014); Kavzoglu ve ark., (2014); Osna ve ark., (2014); Demir ve ark., (2015); Eker ve ark., (2015);

Kavzoglu ve ark., (2015); Sahin ve ark., (2015); Akgün ve Erkan (2016); Aydın ve Eker (2016); Colkesen ve ark., (2016); Dagdelenler ve ark., (2016); Ercanoglu ve ark., (2016); Erener ve ark., (2016); Tasoglu ve ark., (2016); Canoglu (2017); Erener ve ark., (2017); Sahin ve ark., (2017); Raja ve ark.,(2017); Sezer ve ark., (2017); Arca ve ark., (2018); Demir (2018); Raja ve ark., (2018); Arca ve ark.,(2019); Can ve ark.,(2019)). Doğu Anadolu (Avcı (2016); Yüksel ve Avcı (2017), İç Anadolu (Ozdemir (2011); Ozdemir ve Altural (2013), Ege (Akgün ve Turk 2010; Akgün 2012) ve Akdeniz bölgesinde ise (Ozdemir (2009); San (2014); Ada ve San (2018); Tekin ve Çan (2018), oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun nedeni bu bölgelerde heyelanları tetikleyen ana faktör olarak yağışların, Marmara dahil, Karadeniz bölgesine göre daha düşük sıklıkta ekstrem meteorolojik olayların gerçekleşmesidir.

Bununla birlikte bir bölümü tez çalışmaları sırasında çalışma alanı içinde, diğerleri ise Osmaniye, Adana ve Mersin gibi çalışma alanına yakın bölgelerde yapılan duyarlılık değerlendirmeleri ile de ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Tekin ve Çan (2013), Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Teknikleri ile Kadırlı Aslantaş (Osmaniye) arasının heyelan duyarlılık değerlendirmesini Mantıksal Regresyon yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Heyelanların çalışılan bölgenin % 3'üne karşılık geldiğini ifade etmektedirler.

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.

Tekin (2014), Osmaniye ili Kadirli ilçesi dolayında toplam 523 km²'lik bölgede heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapmıştır. Heyelan envanter haritasına göre heyelanların alansal dağılımı çalışma alanının yaklaşık % 3'üne karşılık geldiğini ve hareket tipinin genel olarak dairesel ve kompleks kayma şeklinde gözlemlendiğini söylemektedir. Heyelanların bölgede genel olarak, engebeli arazi ünitelerini oluşturan Geç Pliyosen yaşlı Kadirli formasyonu içerisinde gözlemlendiğini ifade etmektedir. Kadirli formasyonun, çalışma alanının % 65'inde yüzelediğini hesaplamış olup litolojik olarak zayıf çimentolu çakıltası, kumtaşı ve kıltaşı ardaşından oluştuğunu söylemektedir. İstatistiksel değerlendirmelerde haritalama ünitesi olarak 25x25m'lik pikselleri kullanmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası olasılık değerlerine göre çok düşük ($p < 0.18$) ve çok yüksek ($p > 0.72$) aralığında 5 sınıfta değerlendirmiştir. Duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgeler çalışma alanının % 35.54'üne karşılık geldiğini ve heyelanların % 86.46'sında bu alanlarda yer aldığını belirtmiştir.

Tekin ve ark (2015a), Doğu Akdeniz Bölgesinde Yapay Sinir Ağları Yöntem ile 50641 km²'lik alanda duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalıştıkları bölgede 1451 adet heyelanın alansal büyüklüğünü 549 km² olduğunu ifade etmektedirler. Çalışma alanının elde edilen duyarlılık haritasına göre % 17'sinin yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Tekin ve Çan (2015), Osmaniye ili Kadirli ilçesi dolaylarında, Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları ile yaptıkları çalışmada, Matlab ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarını kullanmışlardır. Çevresel değişkenleri 0-1 arasında normalize etmiş ve analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yüksek ve Çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanının yaklaşık %13'üne karşılık geldiğini ve çalışmada elde edilen sonuçların bölgede yapılacak risk değerlendirme çalışmalarına önemli katkı sağlayacağını düşünmektedirler.

Tekin ve Çan (2016a), il sınırları bazında Mersin, Antalya, Adana, Hatay ve Osmaniye illeri için yaptıkları duyarlılık değerlendirmesinde, MTA tarafından hazırlanan Türkiye Tarihsel Heyelan Envanter veritabanına göre Mersin, Adana,

Osmaniye ve Hatay illerinin sırasıyla % 1.45, % 0.2, % 0.8 ve % 0.5'i heyelanlı olup, oldukça düşük heyelan yüzdelerine sahip olduğunu söylemektedirler. Duyarlılık haritaları sonucunda Mersin, Adana, Osmaniye ve Hatay il sınırlarının sırasıyla; % 10, % 2, % 13, % 16'sı ve heyelanların ise % 73, % 28, % 61, % 75'i yüksek-çok yüksek sınıf aralığında bulunduğunu hesaplamışlardır.

Tekin ve Çan (2016b), Heyelan örneklem seçimindeki farklı yaklaşımların heyelan duyarlılık haritalarının başarı-tahmin eğrileri üzerine yaptıkları çalışmada, niceliksel heyelan duyarlılık yöntemlerinde geçmişte heyelanlara neden olan faktörlerin gelecekte de heyelanların mekansal dağılımında etkili olacağı varsayımı yapmışlardır. Buna göre duyarlılık haritalarının başarı ve tahmin kapasitesi genel olarak heyelan envanter haritasının doğruluğu ve heyelanların oluşumunda etkili olduğu düşünülen faktörlerin seçimine bağlı olarak değiştiğini söylemektedirler. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan mantıksal regresyon yöntemi niceliksel heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde en fazla kullanılan yöntemler arasında olduğunu ifade etmişlerdir. İstatistiksel değerlendirmelerde uygun haritalama ünitesi, heyelanlı ve heyelandan etkilenmemiş alanların oranı, analiz ve doğrulama veri setlerinin seçimi duyarlılık haritaları üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Tekin ve Çan (2017a), Göksu nehri havzasının ana alt havzalarından biri olan Gökçay havzasında Karar Ağaç Yöntemi ile duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. Heyelanları % 80 analiz % 20 doğrulama heyelanları olarak rastgele seçim yöntemi ile ayırmışlardır. Duyarlılık haritasının doğruluğunu Alıcı İşletim Karakteristiği ve Başarı-Tahmin Eğrileri ile değerlendirmişlerdir. Çalışma alanının % 22'si, analiz heyelanlarının % 75.42'si, test heyelanlarının ise % 73.55'i orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde yer aldığını söylemektedirler. Alıcı işletim karakteristik eğrisi altında kalan alan analiz ve doğrulama veri setlerinde sırasıyla 0.848 ve 0.764 olarak elde etmişlerdir.

Tekin ve Çan (2017b), 4020 km²'lik Ermenek havzasında karar ağaç yöntemi CHAID algoritması ile yaptıkları duyarlılık çalışmasında, bölgedeki

heyelanlar ile jeoloji, sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, yamaç eğrisellikleri, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç yönelimi gibi parametreler arasındaki ilişkiyi ki-kare istatistiği ile irdemişlerdir. Elde ettiklerin heyelan duyarlılık haritasında heyelanların % 86.73'ünün, çalışma alanının ise %22.44'ünün yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda olduğunu tespit etmişlerdir. Alıcı işletim eğri altında kalan alanı 0.914 olarak hesaplamışlardır bu da elde ettikleri modelin yüksek kestirim gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Tekin ve Çan (2018a), Maksimum Entropi Yöntemi ile Mut (Mersin)-Taşkent (Konya) arasında kalan 3000 km²'lik bölgede kaya düşme duyarlılık değerlendirmesi yapmışlardır. Kaya düşmeleri, şev yüksekliği, yayılım mesafesi üzerinde mevcut yamaç eğimi ve blok boyutuna bağlı olarak bölgede yerleşim birimlerini ve ulaşım ağlarını zaman zaman tehdit ettiğini söylemektedirler Bu nedenle ilk aşamada bölgesel ölçekte kaya düşmesi kaynak alanlarının belirlenmesi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yüksek ve Çok yüksek duyarlı bölgelerin çalışma alanının % 9'una karşılık geldiğini ve alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alanın 0.85 olarak hesaplandığını söylemektedirler. Yamaç eğimi ve yükseklik verisi kestirim modeline % 90 katkı sağladığını ifade etmektedirler.

Tekin ve Çan (2018b), Osmaniye ili Kadirli ilçe ve civarını içeren 523 km²'lik bölgede yaptıkları heyelan duyarlılık çalışmasında mantıksal regresyon yöntemini kullanmışlardır. Heyelanları % 80 ve % 20 oranında ayırarak 3 farklı veriseti elde etmişlerdir. Rastgele seçim yönteminde hem heyelanları alansal olarak hemde nokta verisinden ayırmak üzere 2 şekilde 3'er adet setler hazırlamışlardır. Sonuç olarak alansal olarak seçilen setlerin performans değerlendirmelerinin nokta bazlı yapılan seçimlerden çok daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Tekin ve Çan (2019a), Göksu nehri havzasının ana alt havzalarından biri olan Ermenek Nehri havzasında (4020 km²) Yapay Sinir Ağları yöntemi ile heyelan duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. Havzada heyelanların yaygın olarak yanal ve düşey geçişli Miyosen kırıntılı ve karbonatlı birimlerin içerisinde görüldüğünü belirtmektedirler. Toplam alanı 161 km² olan 302 adet heyelan

haritalanmışlardır. Duyarlılık değerlendirmelerinde heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak jeoloji, sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, pürüzlülük indeksi, teğet, düzlemsel, kesit yamaç eğrisellikleri, topoğrafik nemlilik indeksi, ortalama eğim, yüzey-röliyef oranı değişkenlerini kullanmışlardır. Heyelan duyarlılık modellemesi için elde edilen veri seti, rastgele seçim yöntemiyle % 15 test, % 15 doğrulama ve % 70 analiz olarak üç bölüme ayırmışlardır. Duyarlılık haritasını çok düşük – çok yüksek arasında 5 sınıfta değerlendirilmişlerdir. Duyarlılık haritasının doğruluğunu, başarı tahmin ve alıcı işletim karakteristiği eğrileriyle değerlendirmişlerdir. Duyarlılık haritasında mevcut heyelanların % 77'sinin, çalışma alanının % 29'unun yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıflar içerisinde yer aldığını ve alıcı işletim eğrisi altında kalan alanın ise 0.893 olarak bulmuşlardır.

2.5. Heyelan Olası Tehlike Çalışmaları

Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılması risk değerlendirmesi ve risk yönetimi ile mümkündür. Ancak, olası tehlikeler tanımlanmadan, risk değerlendirmeleri ve zarar azaltma çalışmalarının yapılması mümkün değildir.

Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Azaltma Stratejisi (2009) kapsamında “olası tehlike” can ve mal kaybına, sosyal ve ekonomik bozulmaya ve çevresel hasarlara neden olabilecek tehlikeli bir olayın, tarihsel ve bilimsel değerlendirmeler ile niceliksel olarak farklı bölgelerde, farklı şiddet derecelerinde, oluşma sıklığı olarak tanımlanmaktadır.

Heyelan değerlendirmeleri ile ilgili olarak, olası tehlike hakkında ilk kapsamlı tanım Varnes (1984) tarafından, zarar verme potansiyeline sahip bir heyelanın belirli bir zaman ve mekanda oluşma olasılığı olarak tanımlanmıştır. Risk tanımlamasını da risk altındaki elemanların hasar görülebilirlik derecesi ve olası tehlike ile çarpımı şeklinde aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

$$\text{Risk} = \text{Olası Tehlike} \times \text{Hasar görülebilirlik} \times \text{Risk altındaki elemanlar (maliyet)}$$

Guzzetti (1999), Varnes (1984)'ün tanımına olayın büyüklüğü de ekleyerek heyelan olası tehlike tanımını; zarar verme potansiyeline sahip bir büyüklükteki heyelanın belirli bir zaman ve mekanda oluşma olasılığı olarak tanımlamıştır. Bu tanım gereği yapılan niceliksel olası tehlike değerlendirmelerinde, heyelanın nerede ($P_{mekansal}$), ne zaman ($P_{zamansal}$) (veya ne kadar sıklıkla) ve ne kadar büyüklükte ($P_{alansal}$) gerçekleşme olasılıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre heyelan olası tehlikesi aşağıdaki şekilde;

$$\text{Olası tehlike} = P_{mekansal} \times P_{zamansal} \times P_{alansal}$$

heyelanların mekansal, zamansal ve alansal olasılıklarının çarpımından elde edilmektedir. Heyelanların mekansal olabilirliği heyelan duyarlılık çalışmaları ile ortaya konmakta ve bu konuda yukarıda da açıklandığı üzere ulusal ve uluslar arası literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Heyelanların zamansal olabilirliği ise bunları tetikleyen yağış, kar erimesi veya deprem eşik değerlerinin bilinmesini gerektirmektedir. Alansal olabilirlik ise heyelan envanter haritalarından frekans büyüklük analizlerinden elde edilebilmektedir. Bu durumda en büyük sorunu, olası tehlike değerlendirmelerinin gerçekleştirilebilmesi için yukarıdaki verilerin temin edilebilmesi oluşturmaktadır.

Diğer taraftan heyelan olası tehlike ve duyarlılık tanımlarının bu konuda uzman kişiler tarafından da literatürde yanlış kullanıldığı görülmektedir. Literatürde heyelan olası tehlike değerlendirmesi olarak verilen bazı çalışmaların aslında heyelan duyarlılık olarak ele alındığı görülmektedir (Chacón ve ark., 2006; Guzzetti, 2006, Fell ve ark., 2008a). Aşağıda heyelan olası tehlike çalışmaları ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar verilmiştir.

Guzzetti ve ark (2005), Staffora Nehri (İtalya) havzasında niceliksel heyelan olası tehlikesini belirleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Modelde, heyelanların nerede, ne sıklıkta ve ne kadar büyüklükte olabileceği olasılık teorisine göre belirlemişlerdir. İlk olarak bölgenin 1955 ve 1999 yılları arasında

çekilen çok sayıda hava fotoğrafı çalışmalarından çok zamanlı heyelan envanterini hazırlamışlar ve çalışma alanını 2243 jeo-morfolojik birime ayırarak, morfolojik, litolojik, yapısal ve arazi kullanımı gibi heyelanları hazırlayıcı faktörleri dikkate alarak, ayırma analizi ile heyelan duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Her haritalama birimi için, envantere belirlenen toplam heyelan olayı sayısını, incelenen sürenin zaman dilimine oranı ile heyelanların tekrarlanma aralıkları belirlenmiş ve Poisson olasılık modeline göre, her haritalama biriminde bir veya daha fazla heyelan olma olasılığın belirlemişlerdir. Çok zamanlı envanter haritasından elde edilen heyelanların frekans -alansal büyüklüklerinin istatistik analizi ile heyelanların alansal olasılığını elde etmişlerdir. Her haritalama birimi için niceliksel heyelan olası tehlikesi, heyelan büyüklüğü, zamansal olabilirliği ve mekansal olabilirliği çarpılarak elde edilmiştir.

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.

Bednarik ve Paudits (2010), yaptıkları çalışmada Batı Slovakya'da gelişen farklı tipdeki heyelanlar için farklı istatistiksel yöntemler ile heyelan duyarlılık ve olası tehlike değerlendirmeleri yapmışlardır. 1/10000 ölçekli heyelan envanter haritası hazırlamışlardır. Heyelana sebep olan faktörler olarak da başta 10 metre çözünürlükte sayısal yükseklik modeli ve türev haritalarını çalıştıkları bölge için CBS ortamında analiz etmişlerdir.

Bozzano ve ark (2010), İtalya'da yapmış oldukları çalışmada, ileriye dönük heyelan tehlike haritaları hazırlamışlardır. 2008'de başladıkları olay bazlı heyelan envanter haritaları ile yapmış oldukları çalışmada GBInSAR tekniği ile heyelanları takip etmişlerdir. Bu yöntemin kendine özgü yapısı sayesinde her türlü hava koşullarında sürekli ve tam zamanlı heyelanların gelişimi ve ilerleme süreçlerini irdelemişlerdir.

Brambilla ve ark (2010), Orta Amerika'daki heyelanlar ile İtalya'da bulunan sığ heyelanların karşılaştırılmasını yapmışlardır. Bölgesel ölçekte tehlike haritalarının oluşturulmasını kapsayan çalışmalarında, SINMAP ve Mora-Vahrson yöntemleri ile değerlendirmeler yapmışlardır. Litoloji parametresini temel alarak kullanmışlardır. Yağış verileri ile heyelan oluşma zamanları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Pradhan ve Youssef (2010), Malezya'da yapmış oldukları heyelan olası tehlike çalışmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan algılama yazılımlarını kullanmışlardır. Hava fotoğrafları ve farklı zamanlı arazi çalışmaları ile envanter haritası oluşturmuşlardır. Heyelan oluşumunu etkileyen faktörleri bölge için belirlemişlerdir. Landsat TM uydu görüntülerini kullanmışlardır. Meteorolojiden temin ettikleri yağış verileri ile yağış dağılım haritaları oluşturmuşlardır. Heyelan tehlike alanlarının belirlenmesi için frekans oranı yöntemi ile öncelikle duyarlılık değerlendirmeleri yapmışlardır.

Kirschbaum ve ark (2010), heyelan tehlike uygulamaları için global heyelan kataloğu: yöntem, sonuçlar ve sınırlamaları başlıklı çalışmalarında, dünyadaki heyelan envanter çalışmalarının sistematüğini çalışmışlardır. İnsani, ekonomik kayıpların tahmini ile heyelanların ilişkilerini incelemişlerdir. Küresel iklim değişikliliğini uzaktan algılama teknikleri ile değerlendirmişlerdir. Heyelan tetiklemesine yol açan sebepleri incelemişlerdir. Heyelan tehlike kataloğu oluşturabilmek için yapılması gerekenleri değerlendirmişlerdir. Küresel ölçekte heyelan olayları üzerine metodoloji geliştirmeyi amaçlamışlardır. Heyelan

dağılımlarının zamansal istatistiklerini inceleyerek öngörülerde bulunmuşlardır ve frekans dağılımları ile irdelemişlerdir.

Pradhan ve Lee (2010), heyelan olası tehlike haritalarının altlık parametresi olan heyelan duyarlılık çalışmalarını frekans oranlama, mantıksal regresyon ve yapay sinir ağları ile gerçekleştirmişlerdir. Spot 5 uydu görüntülerini kullanmış olup 3 farklı yöntemi ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi kullanarak tehlike haritaları elde etmişlerdir.

Ramli ve ark (2010), heyelan envanter haritaları ile heyelan olası tehlike uygulamaları üzerine yaptıkları çalışmada heyelan yönetiminin temel yönlerini ve kentsel gelişim süreçleri, arazi kullanım planlamaları üzerine değerlendirmeler yapmışlardır.

Das ve ark (2011), Kuzey Himalayalar'da yapmış oldukları çalışmada, sosya-ekonomik koşulların değişmesiyle heyelanların kentsel bölgeler ile olan ilişkilerini değerlendirmişlerdir. Özellikle orta ölçekli planlama çalışmalarında heyelan olası tehlike haritalarının önemini vurgulamışlardır. Heyelan oluşumları ile başta jeoloji olmak üzere çevresel değişkenleri farklı tekniklerle değerlendirilerek elde edilen duyarlılık çalışmalarının önemini vurgulamaktadırlar. Heyelanların alansal ağırlı varyans değerlerini kullanarak heyelanlar için frekans analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çok zamanlı yağış verileri ile tetikleyici faktör üzerinden analizler yapmışlar. Zamansal ve alansal büyüklük parametrelerini Poisson dağılımını kullanarak hesaplamışlardır. Heyelanların ters gama model ile uyumlu olduğunu belirlemişlerdir.

Jaiswal ve ark (2011), Güney Hindistan'da karayollarını tehdit eden heyelanlarda ulaşım hatları için niceliksel heyelan tehlike haritaları oluşturmuşlardır. 1987-2007 yılları arasında 21 yıllık zaman diliminde gelişen heyelan arşiv kayıtlarını incelemişlerdir. 901 adet heyelan haritalamışlardır. Heyelanlar, türlerine, hacimlerine ve skarp derinliği, akma mesafelerine göre sınıflandırılmıştır. Heyelan tehlike hesaplamalarında geçmiş dönemde meydana gelen heyelanları tetikleyen yağışları incelemişlerdir. Belirli büyüklükte meydana

gelen heyelanlar üzerinde alansal olabilirlik değerlerini istatistik dağılımları ile incelemişlerdir. 1-50 yıllık geri dönüş periyotlarında zamansal olabilirlik analizleri gerçekleştirmişlerdir. 1, 3, 5, 15, 25 ve 50 yıllık olası tehlike haritaları oluşturmuşlardır. 2009 yılında meydana gelen heyelanlar ile ürettikleri haritaları karşılaştırmış olup yüksek kestirim elde etmişlerdir.

Nakasuji (2011), Japonya Gunma bölgesinde gelişen heyelanların tetikleyici faktörler olan deprem ve yağışlar ile ilişkisini incelemiştir. 7 büyüklüğünde gelişen deprem sonrasında bölgede heyelanların gelişiminin arttığını söylemektedir. 359 hanede heyelandan kaynaklı zararların meydana geldiğini belirtmiştir.

Nefeslioğlu ve ark (2011), Rize Çayeli’de orta ölçekli heyelan olası tehlike çalışması gerçekleştirmişlerdir. 1955-2007 yılları için heyelan envanter çalışması yapmışlardır ve heyelan oluşumunu sebep olan çevresel parametreler ile yapay sinir ağı yöntemi ile de duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. 33 yıllık yağış verilerini incelemişlerdir. Yağış-frekans analizleri ile elde ettikleri olasılık değerini kullanarak heyelanların 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık periyotta tekrarlanma aralıklarını belirlemişlerdir.

Bednarik ve ark (2012), Slovakya’nın güneybatı kesiminde olası tehlike ve risk çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında özellikle kent merkezlerinde ve kalkınmanın artacağı alanlarda böyle çalışmaların yapılmasının öneminden bahsetmişlerdir.

Çan ve ark (2012), Mersin-Erdemli bölgesinde niceliksel heyelan risk değerlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. İlk aşamada heyelan arşiv kayıtları ile farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğraflarını incelemiş olup çok zamanlı heyelan envanter haritaları hazırlanmışlardır. Heyelanların mekansal olabilirliğinin belirlenmesi amacıyla mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak belirli zaman aralığında gelişmiş heyelanlar için heyelan duyarlılık haritaları üretilmişlerdir. Zamansal olabilirlik değerleri, tetikleyici faktörler göz önünde bulundurularak, yağış frekans ilişkileri kullanılarak belirlenmiştir. Buradan 5, 10, 25, 50 ve 100

yıllık zaman dilimleri içerisinde heyelan oluşma olasılıkları hesaplanmışlardır. Heyelanların alansal olarak olabilirliği ise 1955-69 tarihsel ve 1969 yılı heyelan olay envanter haritalarından elde edilen frekans dağılımlarına göre belirlemişlerdir. Frekans dağılımına uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu ise üç parametrelili ters gama dağılımını kullanılarak hazırlanmıştır.

Del Gaudio ve ark (2012), Güney İtalya’da yaptıkları çalışmada sismik risk çalışmaları için heyelanlı alanlarının önemine vurgu yapmışlardır. Şev stabilite değerlendirmelerinin sismik tehlike haritaları üzerindeki etkilerine değinmişlerdir. Newmark modeline dayanan yaklaşımları incelemişler ve heyelanlar ile tetikleyici faktörler arasında eşik değeri hesaplamaları yapmışlardır.

Allasia ve ark (2013), yakın gelecekte meydana gelecek heyelanların tespit edilmesi için gerçek zamanlı izleme yöntemi ile heyelan tehlike senaryoları hazırlanmışlar ve erken uyarı sistemlerini değerlendirmişlerdir.

Bui ve ark (2013), Vietnamda yapmış oldukları çalışmada 21 yıllık yağış değerleri ile yağış frekans analizleri yapmışlardır. Bölgede gelişen heyelanların başlıca tetikleyici faktörünün yağış olduğunu söylemişlerdir. Çalıştıkları alan için yağış eşik değeri belirlemişler ve oluşma olasılıklarını hesaplamışlardır. 2010 yılında gelişen bölge için belirlenen eşik değerin çok üzerinde gelişen günlük yağışlar sonucu bölgede heyelanların arttığını söylemektedirler. Zamansal olabilirlik parametresini Poisson modeline göre hesaplamışlardır. 1, 3 ve 5 yıllık zaman dilimleri için heyelan olası tehlike haritaları hazırlanmıştır.

Pardeshi ve ark (2013), heyelan olası tehlike ve risk çalışmalarında son yıllardaki trendler üzerine yapmış oldukları çalışmada, niceliksel, niteliksel ve yarı niceliksel yöntemler için değerlendirmeler yapmışlardır. Heyelanlar ile yağış eşiği en düşük değeri kullanarak bölgesel ölçekli yağış yoğunluğu ve süresini incelemişlerdir.

Wu ve Chen (2013), Tayvan Shihmen havzasında yapmış oldukları heyelan olası tehlike çalışmasında, zamansal ve alansal olabilirlik değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. Heyelan duyarlılık değerlendirme sonuçlarını başarı-tahmin

eğrileriyle gerçekleştirmişlerdir. Doğrulama verisi olarak Typhoon bölgesinde meydana gelen güncel heyelanları kullanmışlardır. Perarson tip 5 olasılık yoğunluk fonksiyonunu kullanarak 2, 5, 10, 20 ve 50 yıllık tekrarlanma aralıklarını ve yağış aşılma olasılıklarını hesaplamışlardır.

Cantarino ve ark (2014), İspanya’da yaptıkları heyelan olası tehlike çalışmasında, konut yapılarının risk değerlendirme çalışmalarını incelemişlerdir. İspanyol arazi kullanımı ve farklı çevresel değişkenleri kullanmışlardır.

Nino ve ark (2014), Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı depremlerin tetiklediği heyelanlar için envanter çalışması gerçekleştirmişlerdir. Stokastik olaylar olarak tanımladıkları heyelanlarda mekansal, zamansal ve alansal olabilirlik değerlerini hesaplamışlardır. Yıllık tekrarlanma periyodlarını değerlendirmişlerdir. Deprem yeri, derinlik ve büyüklüklerini incelemişlerdir. Newmark yer değiştirme denklemlerini incelemişler ve olasılıksal olarak dönüşüm periyodlarını hesaplamışlardır.

Aghda ve Bagheri (2015), 1997 yılında gelişen $M_w=6.1$ büyüklüğündeki depremin tetiklemesiyle meydana gelen heyelanlar için çalışma gerçekleştirmişlerdir. Landsat uydu görüntülerini ve bölgeye ait sayısal yükseklik modeli kullanarak çevresel değişkenleri değerlendirmişlerdir. CAMEL programı yardımıyla heyelan olası tehlike haritası oluşturmuşlardır.

Lee ve ark (2015), Güney Korede yaptıkları çalışmada, mantıksal regresyon yöntemi ile mekansal olabilirlik parametresi ve yağış verileri ile zamansal olabilirlik değerlendirmesi yapmışlardır. Yağış verileri ile yaptıkları istatistiksel dağılımlarda Gumbell dağılımı ile uygun olduğunu tespit etmişlerdir. 1, 3, 10, 50, 100 yıllık olasılık değerlerini hesaplamışlardır. 3 günlük maksimum yağış verilerini değerlendirdiklerinde 202 mm lik eşik değer belirlemişlerdir.

Çan ve Duman (2016), ‘Heyelan risk değerlendirmelerinde gerekli bilgi altyapısı’ başlıklı çalışmalarında, risk çalışmalarının, heyelanların gelecekte nerede meydana geleceğinin belirlendiği mekansal olabilirlik, hangi büyüklükte gelişeceğinin hesaplandığı alansal olabilirlik ve ne zaman gerçekleşeceğinin

hesaplandığı zamansal olabilirlik değerlendirmelerinin birlikte analiz edilmesi ile üretebileceğini vurgulamışlardır. Risk altındaki elemanların hasargörebilirlik dereceleri ile ortaya çıkabilecek toplam ekonomik kayıpların değerlendirilmesine vurgu yapmaktadırlar. Bu açıdan sayısal risk değerlendirmelerinde belirli bir doğruluk ve hassasiyete sahip çok zamanlı heyelan envanter haritaları, heyelanları tetikleyici faktörlerin frekans büyüklük ilişkileri, heyelanları hazırlayıcı çevresel değişkenler ile noktasal, çizgisel ve alansal olarak risk altındaki elemanlara ilişkin mekansal güncel bilgilerin önemini ifade etmişlerdir.

Çan ve ark (2017), “Gülyalı (Ordu) - Bulancak (Giresun) arası kıyı kuşağı havzalarının heyelan olası tehlike haritaları” başlıklı çalışmalarında, 1032 km²'lik Bulancak havzasında çalışmışlardır. Havzada zaman zaman gelişen yoğun heyelan aktivitesinin olduğunu söylemektedirler. 2016 yılında gelişen ani kar erimeleri ve aşırı yağışların tetiklemeyle birçok heyelan meydana gelmiş olup havzada 140 adet heyelan haritalamışlardır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde mantıksal regresyon yöntemini kullanmışlardır. Zamansal olabilirlik parametresi hesaplarında bölgede bulunan arşiv kayıtlarını inceleyerek tarihi bilinen heyelan olayları üzerinden Poisson dağılımı değerlendirmesi yapmışlardır. 1, 5, 10, ve 25 yıllık aşılma olasılıklarını belirlemişlerdir. Alansal olabilirlik değerlendirmelerinde ise 0.01 km², 0.05 km² ve 0.1 km²'den büyük heyelanların 1, 5, 10 ve 25 yıllık zaman dilimleri için aşılma olasılıklarını hesaplamışlardır.

Bricker ve ark (2017), Nepal'de 25 Nisan 2015 tarihinde 7.8 büyüklüğünde gelişen depremin tetiklemeyle gelişen heyelanlarda yaptıkları çalışmada, 2 boyutlu modelleme teknikleri ile tehlike ve risk çalışmaları gerçekleştirmişlerdir.

Guoliang ve ark (2017), Doğu Himalaya'nın tektonik olarak aktif olduğu kesimlerinde Sichuan-Tibet karayolunda gelişen heyelanlarda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bölgeye ait sismik heyelan tehlike haritaları üretmişlerdir. 50 yıl için % 10 aşılma olasılık değerlerini hesaplamışlardır. Yeni yapılacak yol bina gibi insan yapılarında riskleri azaltmayı planlamışlardır.

Fan ve ark (2017), havza ölçeğinde yaptıkları olası tehlike çalışmalarında, şiddetli yağışların sebep olduğu sığ heyelanlarda değerlendirme yapmışlardır. Aynı zamanda bölgedeki zemin su içeriği ile viskozitesi arasındaki ilişkiyi de incelemişlerdir. Sonuç olarak elde ettikleri haritalarda hidro-mekanik modeller oluşturmuşlardır.

Golovko ve ark (2018), Güney Kırgızistan'da Uzaktan Algılama tabanlı yaptıkları heyelan olası tehlike çalışmalarında, çok zamanlı heyelan envanter haritaları hazırlamışlardır. 30 yıllık uzun süreli yağış verileri ile zaman serisi değerlendirmeleri yapmışlardır. Elde ettikleri haritalarda yüksek doğruluk kestirimi elde etmişlerdir.

Alvioli ve ark (2018), Küresel iklim değişim senaryoları ile bölgesel heyelanları değerlendirerek olası tehlike haritaları elde etmişlerdir. Bölgede bulunan 56 yağış istasyonundan elde ettikleri uzun yıllara ait yağış verilerinde incelemelerde bulunmuşlardır. Gelecek için yapılmış olan iklim senaryoları ile yağış istatistiklerini karşılaştırdıklarında uyum elde edememişlerdir. Alansal büyüklük değerlendirmesi ile olasılıklar hesaplamış ve bölgeye ait farklı zamanlar için olası tehlike değerlendirmeleri yapmışlardır.

Khodashahi ve ark (2018), depremlerin tetiklemeyle İran'da gelişen heyelanların, insan yaşamına olumsuz etkilerini ele almışlardır. 7.3 büyüklüğünde 1990 yılında gelişen deprem sonrasında bölgede çekilen yüksek çöznürlüklü hava fotoğraflarını incelemişler ve envanter haritaları oluşturmuşlardır. Binalarda, yollarda gelişen hasar tespiti yapmışlardır. Bölge ile ilgili Bulanık Mantık yöntemi ile heyelan duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. Olası tehlike değerlendirmelerini ise CAMEL programını kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Razifard ve ark (2019), İranda gelişen tarihsel depremler sonucu meydana gelen heyelanlar için envanter çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bulanık Mantık yöntemi tabanlı olası tehlike haritaları oluşturmuşlardır. 12 Ağustos 2012'de Mw=6.4 ve Mw=6.2 büyüklüğünde gelişen depremlerin 300 km'lik tampon bölgede hissedildiği, büyük hasar ve can kayıplarına yol açtığını söylemektedirler.

Aynı zamanda heyelan gibi doğa olaylarında çok sayıda geliştiğini ifade etmişlerdir. 47 kaya düşmesi, 9 kayma türü derin heyelan sonucunda büyük hasarlar gözleendiğini ifade etmişlerdir.



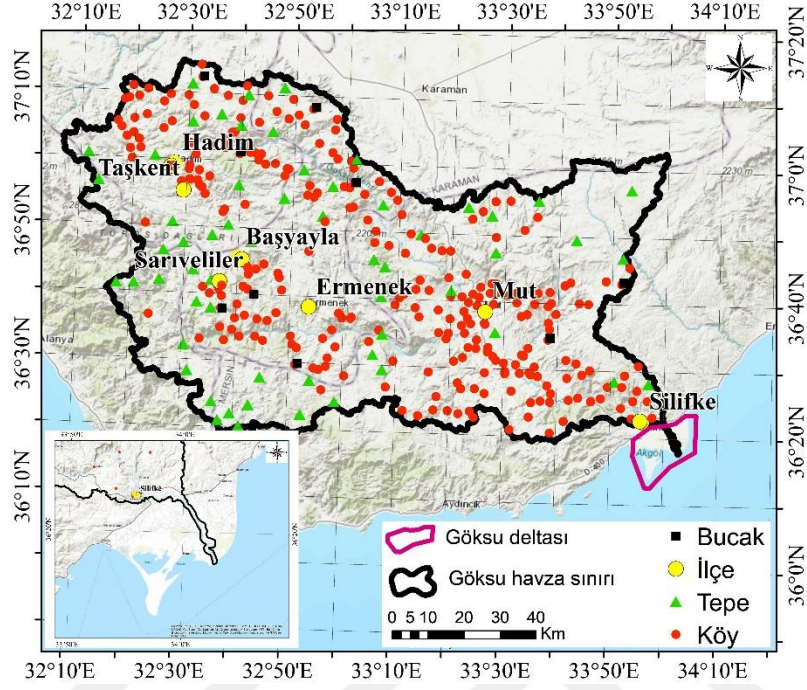


3. MATERYAL VE METOT

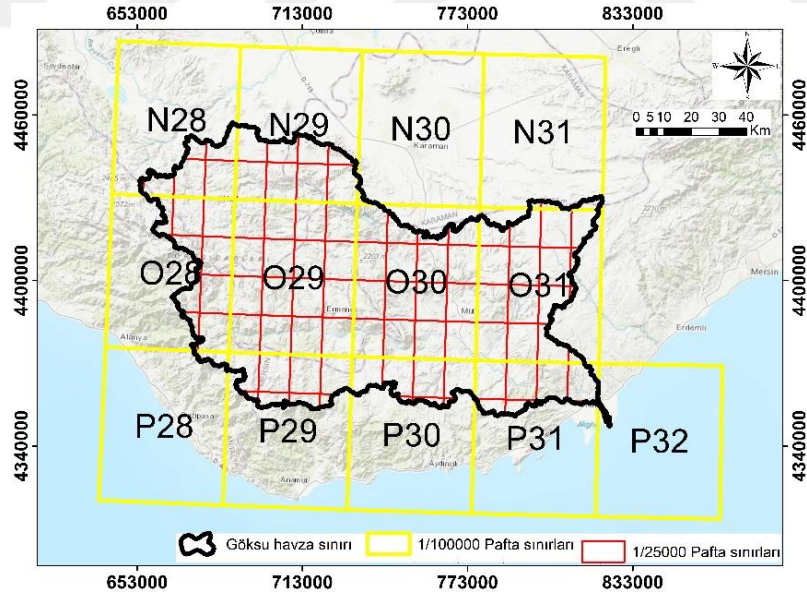
3.1. Materyal

Bu çalışma, 32°10' ve 33°55' Doğu boylamları ile 36°20' ve 37°15' Kuzey enlemleri arasında yer almakta olup, Akdeniz Havzası'ndaki Göksu Nehri'nin oluşturduğu 11.213 km² büyüklüğe sahip havzada gerçekleştirilmiştir. Göksu Nehri yaklaşık 260 km uzunluğunda olup, Doğu Akdeniz havzasının en büyük alt akarsu havzasını oluşturmaktadır. Mut ilçesi yakınlarında, Ermenek ve Gökçay olmak üzere iki alt havzaya ayrılmaktadır. Ermenek ve Gökçay nehirlerinin oluşturduğu alt havzaların alansal büyüklükleri sırasıyla, 4020 km² ve 4423 km²'dir. Göksu nehri Antalya, Konya, Karaman ve Mersin il sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza sınırı içerisinde Sarıveliler, Hadim, Taşkent, Başyayla, Ermenek, Mut ve Silifke ilçeleri yer almakta olup, bu ilçelere bağlı 287 adet kırsal yerleşim bulunmaktadır (Şekil 3.1). Göksu Nehri, Silifke (Mersin) ilçesinin güney kenarında bulunan Paradeniz ve Akgöl olmak üzere 2 lagün barındıran Göksu deltasından Akdeniz'e dökülmektedir (Şekil 3.1).

Göksu havzasının büyük bir kısmı Akdeniz Bölgesi'nde Orta Toros Kuşağı'nda yer almakta olup, Antalya ve Adana havzalarıyla birlikte Türkiye'nin önemli Neojen Havzalarından biri olan Mut havzasında içermektedir. Havza 1/25.000 ölçekli 104 pafta içerisinde, 1/100.000 ölçekli N28, N29, N31, O28, O29, O30, O31, P28, P29, P30, P31, P32 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.2).



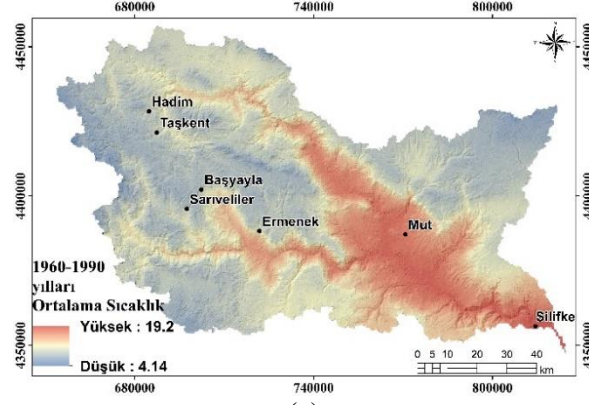
Şekil 3.1. Göksu nehri havzası içindeki yerleşim birimlerinin mekansal dağılımı.



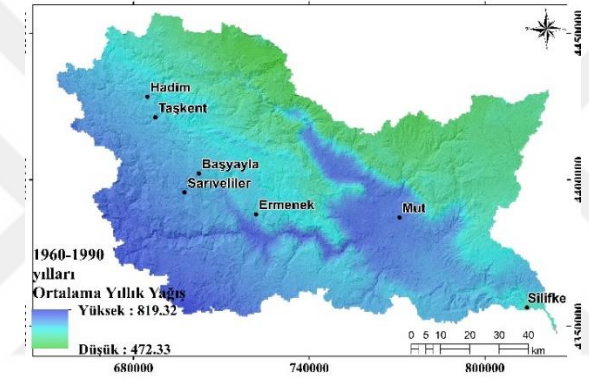
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki 1/25000 ve 1/100000 ölçekli pafta sınırları.

Ülkemizde; Karasal, Akdeniz, Marmara (geçiş) ve Karadeniz olmak üzere 4 farklı iklim tipi yaşanmaktadır. Tez çalışma alanı olan Göksu havzası alt kesimlerinde Akdeniz iklimi Orta ve üst kesimlerinde ise Karasal iklim görülmektedir. Dolayısıyla, İç Anadolunun temel iklim yapısı, burada da kısmen görülmektedir. Havzada Orta Toros Dağları'nın Göksu nehri tarafından derin bir şekilde yarıldığı vadi tabanlarında ise, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz iklim özellikleri de görülmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde ve Türkiye'deki ekstrem yağış olaylarında artışlar gözlenmektedir. Uzun süreli klimatolojik gözlemlerin çözümlmelerine dayanan yeni bulgular, 1950'lerden beri özellikle günlük ekstrem hava sıcaklıklarında ve sıcak hava dalgalarının sıklığı ve uzunluğunda da önemli değişiklikler ortaya çıktığını göstermektedir. Ülkemizin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, küresel iklim değişikliğine karşı yerkürenin en hassas bölgelerinden birisidir. Geleceğe yönelik yapılan öngörülerde Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı öngörülmektedir. İklim değişkenlerinde meydana gelmesi öngörülen etkenlerdeki değişimler afetler üzerinde de etkin rol oynayacağı düşünülmektedir (Türkeş 2014). Yaklaşık 1 km²'lik mekansal çözünürlüğe sahip bir dizi küresel iklim katmanları için Worldclim (<http://www.worldclim.org/version1>) tarafından hazırlanan iklim verileri Göksu havzası için incelenmiştir. Buna göre, 1960-1990 yılları arası havzada ortalama yıllık sıcaklık değerlerinin 4.19 ile 19.2 derece (Şekil 3.3a), ortalama yıllık yağış değerlerinin 472 ile 819 mm (Şekil 3.3b), aylık ortalama yağış değerlerinin ise 74 ile 161 mm arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 3.3c).

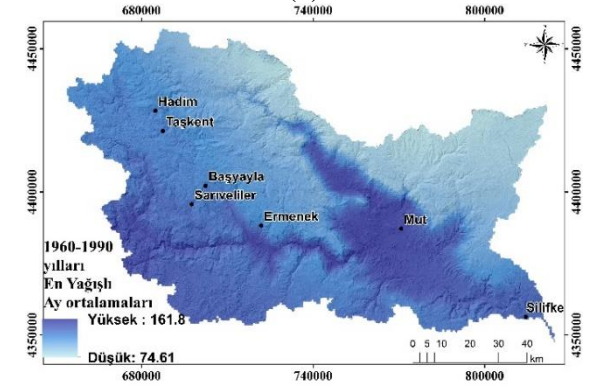
Worldclim iklim senaryolarından günümüz modeli kullanılarak üretilen modeller ile geleceğe yönelik kestirimlerde yapılmıştır. Bu modellere göre, Göksu nehri havzasının 2070 yılında, yıllık ortalama sıcaklık (Şekil 3.4a) değerinde artış, yıllık (Şekil 3.4b) ve aylık (Şekil 3.4c) ortalama yağış değerlerinde ise azalma olacağı öngörülmektedir.



(a)

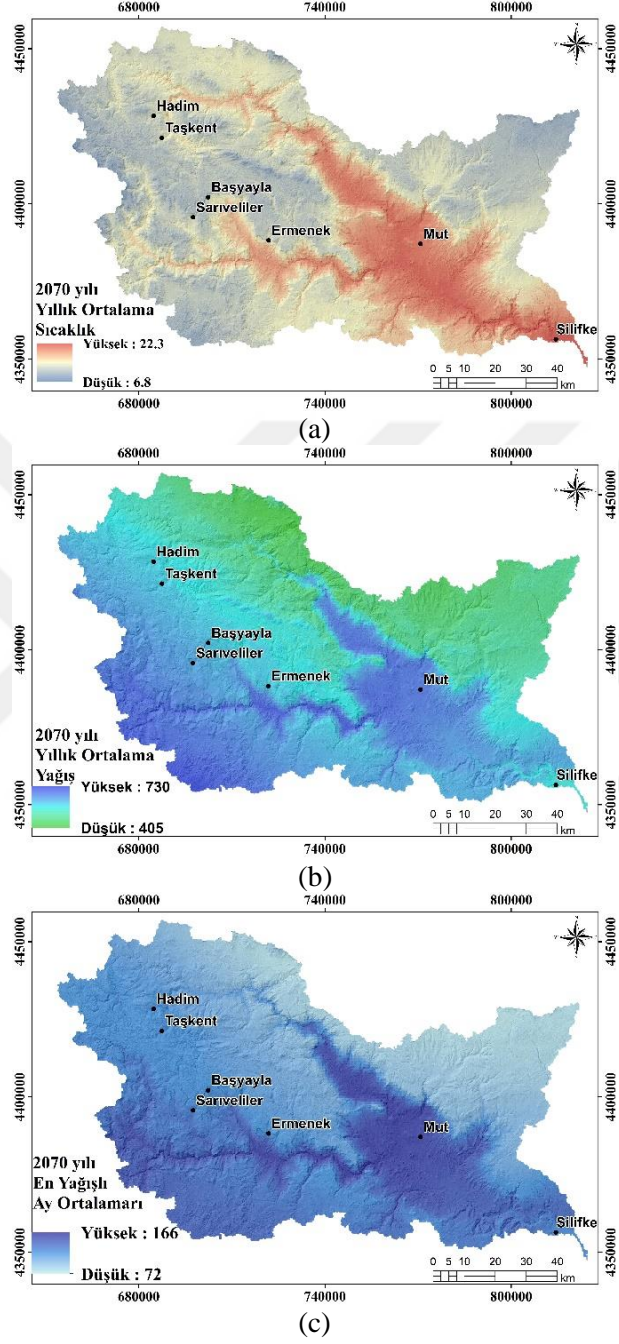


(b)



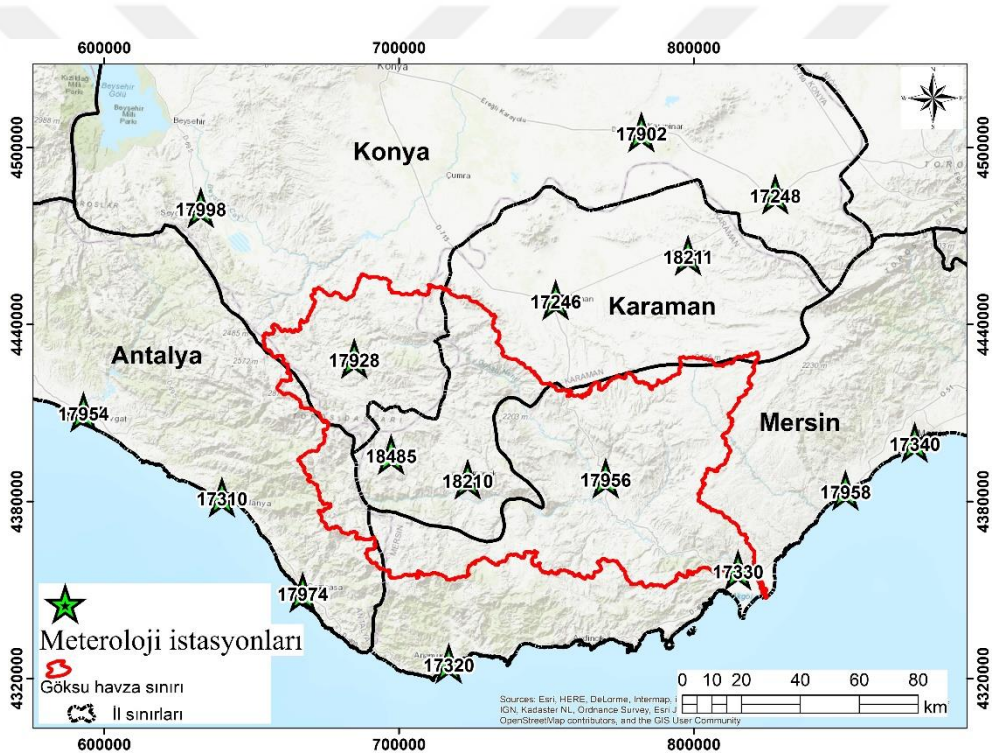
(c)

Şekil 3.3. 1960-1990 yılları ortalama sıcaklık (a), ortalama yıllık yağış (b), en çok yağış alan aya ait ortalama yağış (c) verileri (<http://www.worldclim.org/version1>).



Şekil 3.4. 2070 yılı ortalama sıcaklık (a), ortalama yıllık yağış (b), en çok yağış alan aya ait ortalama yağış (c) verileri (<http://www.worldclim.org/version1>).

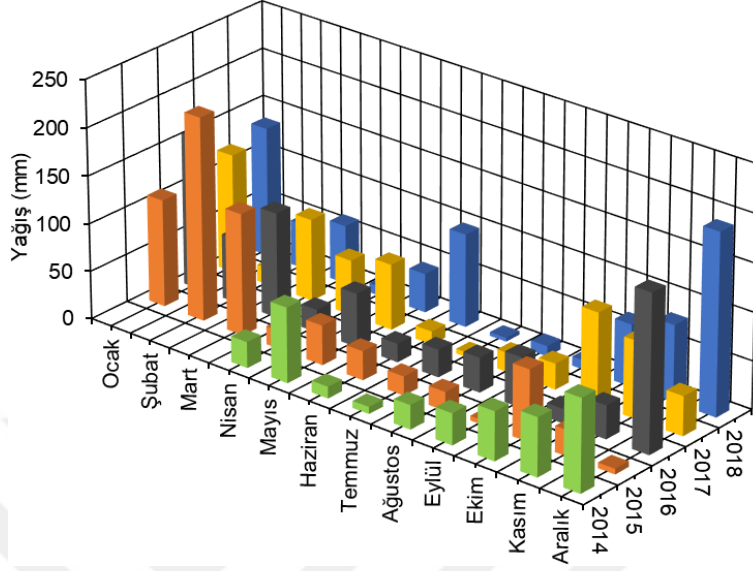
Göksu havzası içerisinde ve çevresinde bulunan yağış istasyonlarına ait uzun yıllara günlük yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilerek daha detaylı olarak değerlendirilmiştir. Havza içerisinde, Ermenek (18210 nolu), Sarıveliler (18485 nolu), Mut (17956 nolu), Silifke (17330 nolu) ve Hadım (17928 nolu) meteoroloji istasyonları yer almaktadır (Şekil 3.5). Tez kapsamında, Mut ve Silifke istasyonlarına ait uzun dönem yağış verileri, Araştırma Bulguları bölümünde, “Zamansal olabilirlik değerlendirmesi” başlığında ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.



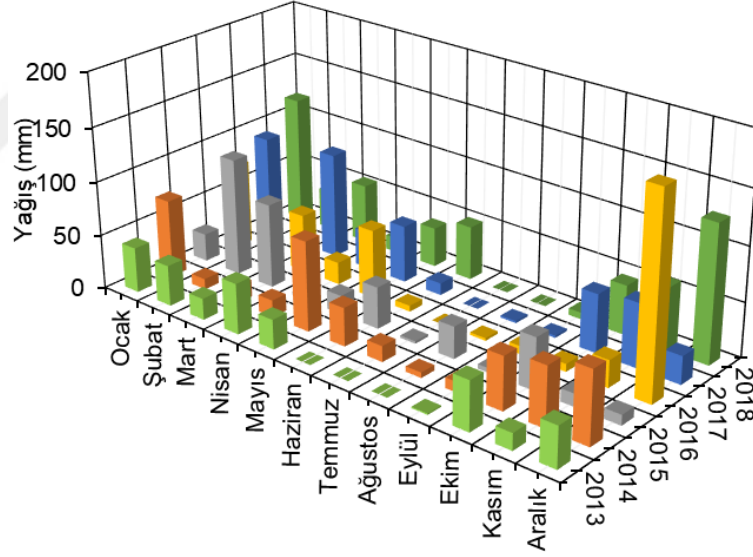
Şekil 3.5. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarının mekansal dağılımı.

MGM'den elde edilen verilere göre Sarıveliler istasyonu 2014 Nisan - Aralık-2018 ayları arasındaki günlük yağış verilerine göre, en yüksek yağış 2015 Şubat ayında toplam 212.50 mm olarak kayıt edilmiştir (Şekil 3.6). Sarıveliler istasyonu

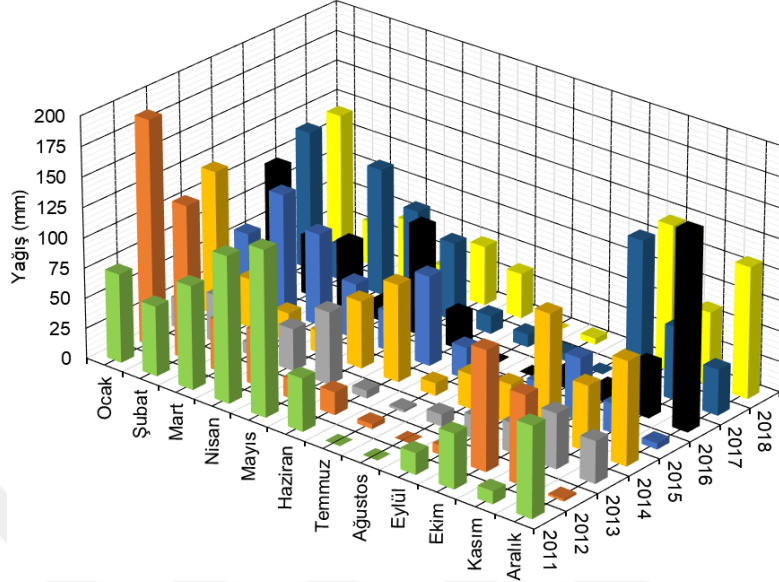
verilerine göre ise 12 aylık periyotta 5 yıl içerisinde en yağışlı geçen aylar sırasıyla Şubat, Aralık ve Ocak ayları olarak kayıt edilmiştir. Ermenek istasyonu 2013 Ocak - 2018 Aralık ayları arasındaki günlük yağış verilerine göre, en yüksek yağış 2016 Aralık ayında toplam 184.80 mm olarak kayıt edilmiştir (Şekil 3.7). Ermenek istasyonu verilerine göre ise 12 aylık periyotta 6 yıl içerisinde en yağışlı geçen aylar sırasıyla Aralık, Ocak ve Şubat ayları olarak kayıt edilmiştir (Şekil 3.7). Hadim istasyonu 2011 Ocak - 2018 Aralık ayları arasındaki günlük yağış verilerine göre, en yüksek yağış 2012 Ocak ayında toplam 187.80 mm olduğu görülmektedir (Şekil 3.8). Hadim istasyonu verilerine göre ise 12 aylık periyotta 8 yıl içerisinde en yağışlı geçen aylar sırasıyla Ocak, Aralık, Mayıs ayları olduğu görülmektedir (Şekil 3.8). Göksu nehri havzasına düşen ortalama yağış miktarı, Göksu nehri havzası ve çevresinde bulunan MGM yağış istasyonlarından alınan veriler ile, her istasyon için yıllık ortalama yağış değerleri hesaplanmıştır. Ortalama yıllık yağış verileriyle havzaya düşen yağış miktarları, aritmetik ortalama, eş yağış eğrileri ve Thiessen poligon yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Aritmetik ortalama yöntemine göre havza ve çevresindeki yağış istasyonlarının yıllık ortalama yağışı 524.18 mm olarak hesaplanmıştır. Eş yağış eğrileri için kullanılan istasyonlara ait veriler ile Spline yöntemiyle interpolasyon yapılmış ve eşit yağış düşen noktaların birleştirilmesiyle elde edilen eğriler elde edilmiştir. Eş yağış eğrilerine göre Göksu nehri havzasının doğu kesimlerinde yıllık ortalama yağış 500 - 800 mm arasında değişim göstermektedir (Şekil 3.9). Thiessen Poligon yöntemi ile birbirine komşu istasyonlar, üçgenleme yöntemi ile birleştirilmiş ve üçgen kenarlarının orta noktaları hesaplatılmıştır. İstasyonlar etrafında çokgenler oluşturulmuştur. Her bir yağış istasyonu bir çokgen içerisinde bulunmaktadır. Oluşturulan Thiessen poligonlar (Şekil 3.10) Göksu nehri havzası için kesilmiştir ve havza içerisinde bulunan her bir çokgenin alanı hesaplatılmıştır. Çokgenler için etki ağırlık değerleri toplam çokgen alanlarının tek tek alanlarıyla oranlanması ile bulunmuştur. Etki ağırlıklarının yağış değerlerinden Göksu havzası için ortalama yıllık yağış 478.14 mm olarak bulunmuştur.



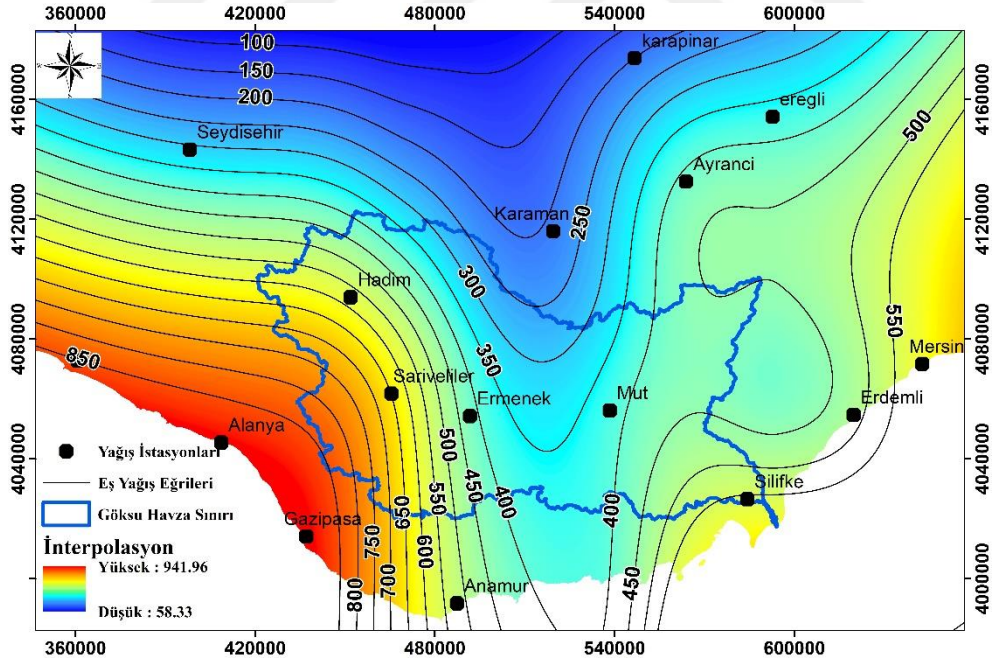
Şekil 3.6. Sarıveliler meteoroloji istasyonuna ait 2014-2018 yılları aylık toplam yağış değerleri.



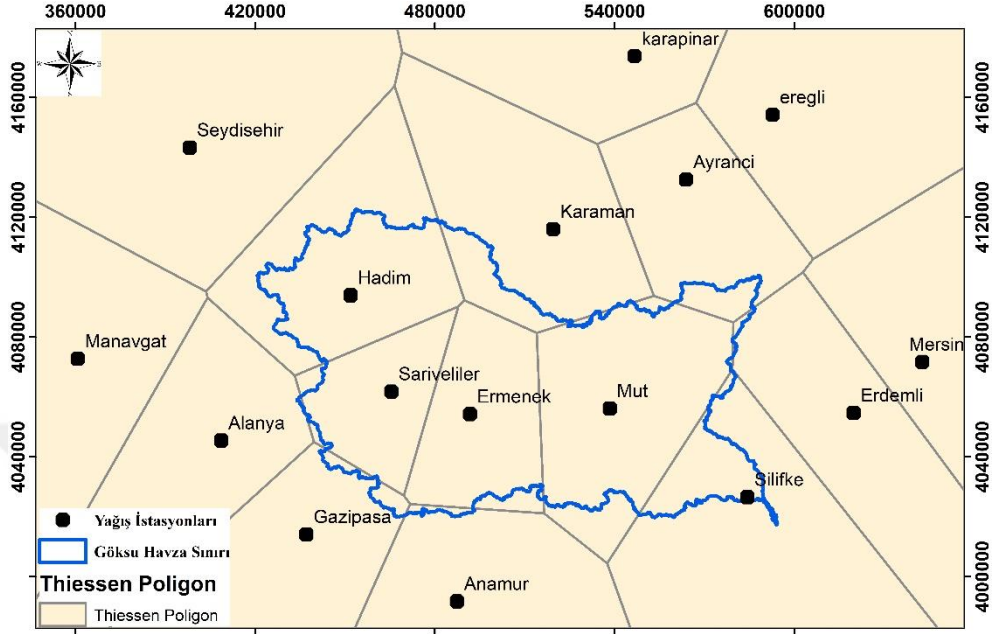
Şekil 3.7. Ermenek meteoroloji istasyonuna ait 2013-2018 yılları aylık toplam yağış değerleri.



Şekil 3.8. Hadim meteoroloji istasyonuna ait 2011-2018 yılları aylık toplam yağış değerleri.



Şekil 3.9. Havza içi ve Çevre istasyon verileri interpolasyon tekniği ile Eş Yağış Eğrileri.

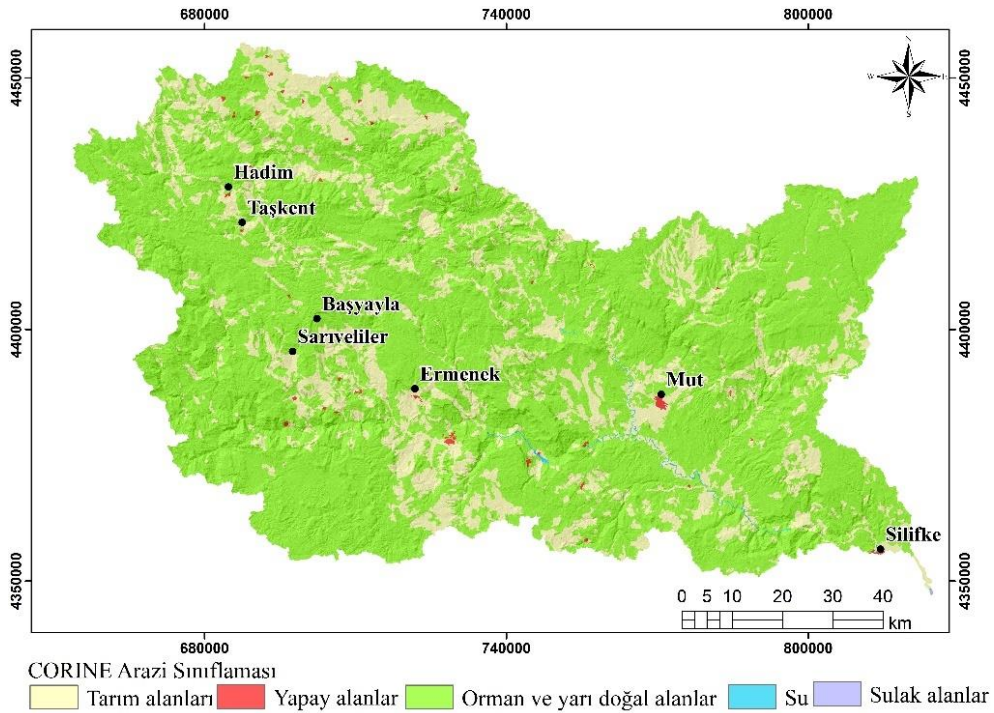


Şekil 3.10. Göksu havzası ve çevresi yağış istasyonlarına ait Thiessen Poligonlar.

Arazi kullanımı değişimleri bir bölgede, toprak, iklim, topoğrafya, hidrolojik olayların etkisi altında bulunan kara parçası üzerinde gelişen değişimleri açıklamaktadır. Arazi çeşitliliği, arazi kullanımı ve arazi örtüsü kavramlarının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Arazi örtüsü, arazinin yüzeyini kaplayan doğal bitki örtüsünü de içeren toprak yapısı, tarım arazilerinin ekili olup olmaması ve insan yapılarını içermektedir. Arazi kullanımı ise arazi örtüsünün, insanlığın arazi örtüsünden nederece faydalandığını yansıtan ölçütlerden oluşmaktadır. Ancak son yıllarda bu iki kavram yeryüzünde bulunan bütün varlıkları tanımlayacak biçimde, arazi kullanımı – arazi örtüsü şeklinde tek tanımda kullanılmaktadır. Arazi kullanımı-arazi örtüsü zaman içerisinde değişikliğe uğramaktadır. CORINE (Çevresel Bilginin Koordinasyonu), AB (Avrupa Birliği) ülkeleri kapsamında 1980'lerin ortalarından itibaren, belirli periyodlarla tüm üye ülkeleri kapsayacak şekilde Arazi örtüsü-arazi kullanımını belirlemeye yönelik uygulanmaktadır (Disperati ve Virdis, 2015).

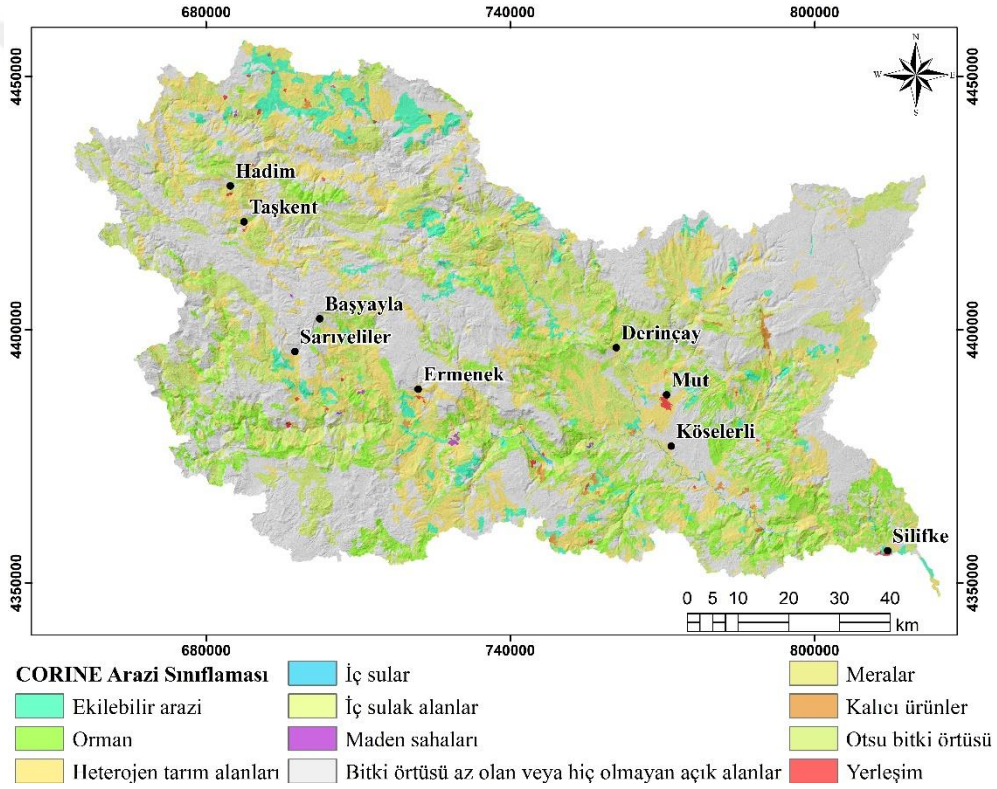
Standart Corine Arazi Örtü sınıflandırma sistemi, 5 ana grup altında üç düzeyden oluşan hiyerarşik bir yapıdadır. Başlıca gruplar; Yapay Bölgeler, Tarım Alanları, Ormanlar ve Doğal Alanlar, Sulak Alanlar ve Su Yapıları olarak gruplandırılmaktadır. Sınıflandırma sistemi aynı zamanda temel arazi örtüsü sınıflarına ek olarak, arazi kullanım sınıfları (özellikle yapılaşma alanları grubu) ve arazi örtüsü ve arazi kullanımı karışımı sınıfları da içerir. Tüm bunlarla birlikte en detaylı halde sınıflandırılan seviye-3'te 44 sınıf bulunmaktadır (<http://www.corine.itu.edu.tr/typography.html>).

Seviye 1 olarak hazırlanan haritaya göre, Göksu havzasında, tarım alanları, yapay alanlar, orman ve yarı doğal alanlar, su ve sulak alan sınıfları yer almaktadır. Bu sınıflara göre orman ve yarı doğal alanlar çalışma alanının % 65'ne karşılık gelmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Seviye-1 CORINE arazi kullanımı haritası.

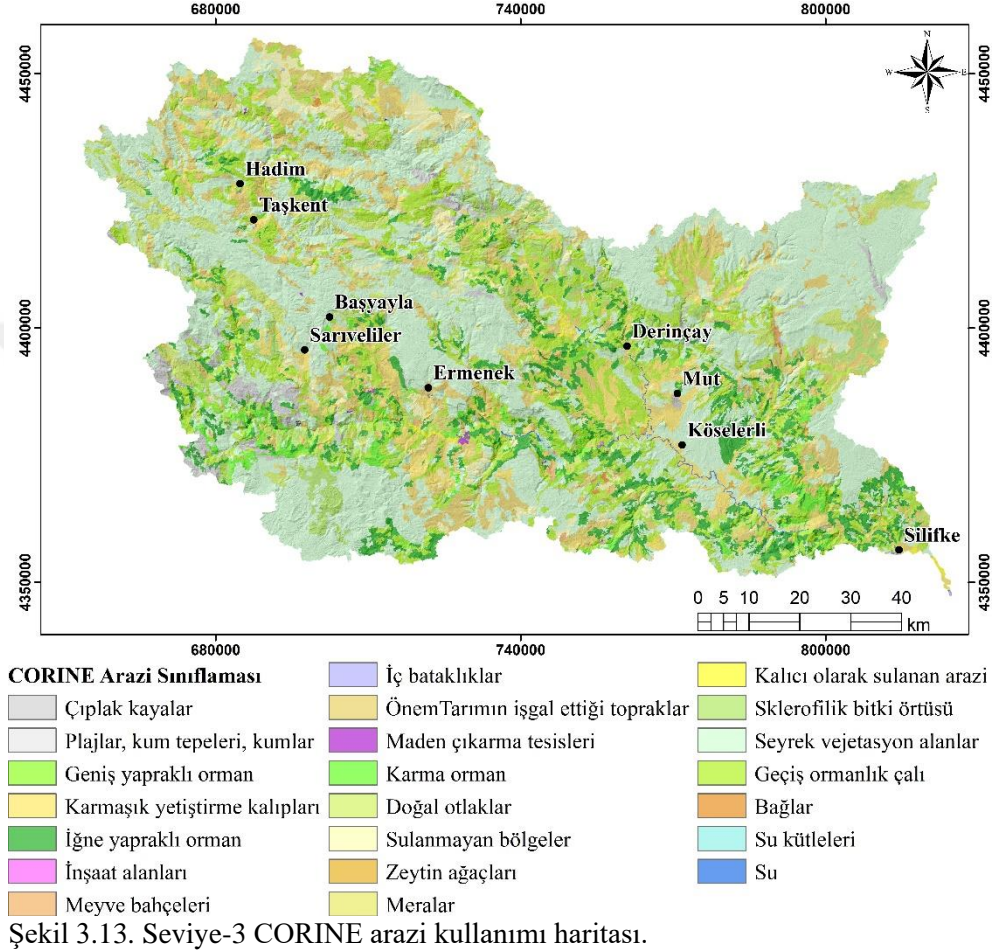
Seviye 2 olarak hazırlanan haritaya göre Göksu havzasında ekilebilir arazi, orman, heterojen tarım alanları, iç sular, iç sulak alanlar, maden sahaları, bitki örtüsü az olan veya hiç olmayan açık alanlar, meralar, kalıcı ürünler, otsu bitki örtüsü ve yerleşim sınıfları bulunmaktadır. Bu sınıflara göre bitki örtüsü az olan veya hiç olmayan açık alanlar havzada % 26'lık bölgede yer almakta olup, havza kenarlarında ve havza içinde dik yamaçlarda yoğun olarak bulunmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Seviye-2 CORINE arazi kullanımı haritası.

Seviye 3'e göre, benzerlikleri çok detaylı olarak hazırlanan haritaya göre Göksu havzasında 22 farklı sınıf bulunmaktadır. Ekilebilir arazi, orman, heterojen tarım alanları, iç sular, iç sulak alanlar, maden sahaları, bitki örtüsü az olan veya hiç olmayan açık alanlar, meralar, kalıcı ürünler, otsu bitki örtüsü ve yerleşim

sınıflarından oluşmaktadır. (Şekil 3.13). Seyrek vejetasyon alanlar ile bağlar Gökusu havzasında % 41’lik alansal büyüklüğe sahiptir.



3.2. Metot

3.2.1. Jeomorfometrik Değerlendirmeler

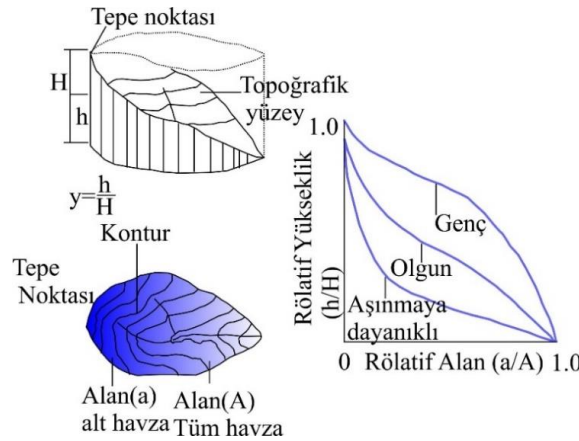
Jeomorfometri Pike (2002) tarafından, “Kantitatif, arazi yüzeyi analizleri bilimi” olarak tanımlanmaktadır. Su toplama havzalarının karakteristik özellikleri ile morfolojik süreçlerinin anlaşılması konusunda çalışmalar Horton (1932) tarafından başlatılmıştır. Akarsu havza özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmaya başlanan çalışmalar, Strahler tarafından 1952’de hipsometrik eğrinin

tanımlanmasıyla bir ileri adıma geçiş göstermiştir. Chorley (1972), Patton (1976), Keller ve Pinter (1996) ve Pike ve ark., (2009) yaptığı çalışmalar ile akarsu morfometrisi üzerine yapılan çalışmaları daha detaylı hale getirmiş ve bir çok farklı yöntem ile morfometrik değerlendirmeler yapmışlardır. Genel olarak incelendiğinde, jeomorfometrik analizler, akarsuların aşındırma faaliyetlerinin hangi aşamada olduğu konusunda değerlendirmeler bütünüdür. Çizgisel, alansal ve yüzeysel olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirilmektedir. Çizgisel morfometrik analizler, akarsu su toplama havzalarında bulunan nehirlerin detaylı incelenmesini içermektedir. Bu analizler başlıca, Çatallanma Oranı (Rb) (Schumm, 1956), Uzunluk Oranı (RL) (Schumm, 1956), ve Tekstür - Doku Oranı (T) (Horton, 1945) kıvrımlılık indeksi (KI) parametrelerini içermektedir. Çizgisel morfometrik analizler sadece havzanın drenaj ağı üzerinden değerlendirilirken, alansal morfometrik özellikler hem drenaj ağı hemde tüm havza yüzeyine ait değerler ile elde edilmektedir (Ritter ve ark., 1995). Havzaya düşen yağışların toplanması ve yüzeysel akışın birikimi açısından önemli parametrelerdir. Alansal morfometrik değerlendirmeler kendi içersinde, Drenaj Yoğunluğu (Dd), Akarsu Sıklığı (Fs) (Horton, 1945), Havza Şekli (RF) (Horton, 1945), Havza uzunluk Oranı (Re) ve Gravelius İndeksi (KG)'dir (Gravellius, 1914). Drenaj Yoğunluğu (Dd) (Horton, 1932) parametrelerinden oluşmaktadır. Çizgisel ve alansal morfometrik özellikleri, akarsu kollarının toplam sayısı (Nu), üst dizine ait akarsu kollarının toplam sayısına (N(u+1)), havza çapı (P), havza alanı (A), dizin sayısı toplam uzunluğu (Lu), bir sonraki dizin sayısı uzunluğu (Lu+1), Havza uzunluğu (Lb), Dizinlerin toplam sayısı (N) gibi havza içi değerlerin hesaplanması ile gerçekleştirilmektedir (Çizelge 3.1). Yüzey morfometrisine ait değerlendirmeler, hipsometrik eğri ve hipsometrik integral parametreleriyle belirlenmiştir. Hipsometrik eğri, bir havza içinden geçen h yüksekliğine ait bir eşyüksele eğrisinin üzerinde kalan alanın tüm drenaj havzasının alanına oranı (a/A , x) ve eş yükselti eğrisinin değeri ile havzanın en yüksek kotunun oranının (h/H , y) karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Hipsometrik integral (HI) ise havza özelliklerini belirlemede önemli bir

parametredir (Ritter ve ark., 2002). H_I değerlerine göre havzalar eski (monadnock: erozyonal süreçlerin dengelendiği havza; $H_I \leq 0.3$) olarak tanımlanmakta olup su toplama havzasının tamamen dengelendiğini belirtmektedir. H_I değerinin $0.3 \leq H_I \leq 0.6$ arasında olduğu durumlar olgun aşama, $H_I \geq 0.6$ ise genç ya da dengeye ulaşmamış olarak yani erozyona karşı oldukça duyarlıdır havzaları tanımlamaktadır (Strahler 1952; Sarangi ve ark., 2001) (Şekil 3.14). Tez kapsamında hipsometrik analizler, ArcGIS ortamında hypsometry eklentisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1.Çizgisel ve alansal morfometrik indisler.

İndisler	Eşitlik	Kaynak
Çatallanma Oranı	$R_b = N_u / N_{(u+1)}$	Schumm (1956)
Uzunluk Oranı	$R_l = L_u / L_{u+1}$	Horton (1945)
Tekstür - Doku Oranı	$T = N_{u1} * (1/P)$	Horton (1932)
Kıvrımlılık İndeksi	$K_i = L_{top} / (L_1 - L_2)$	Keller ve Pinter (1996)
Drenaj Yoğunluğu	$D_d = L_u / A$	Horton (1932)
Akarsu sıklığı	$F_s = N_u / A$	Horton (1932)
Havza şekli	$F_f = A / L_b^2$	Horton (1932)
Havza uzunluk oranı	$R_e = 2 / L_b * \sqrt{A / \pi}$	Schumm (1956)
Gravelius indisi	$K_g = P / 2 \sqrt{\pi * A}$	Horton (1945)



Şekil 3.14. Hipsometri eğrisi ve hipsometrik integralin hesaplamasında kullanılan parametreler (Singh ve ark., 2008'den).

3.2.2. Haritalama Birimleri

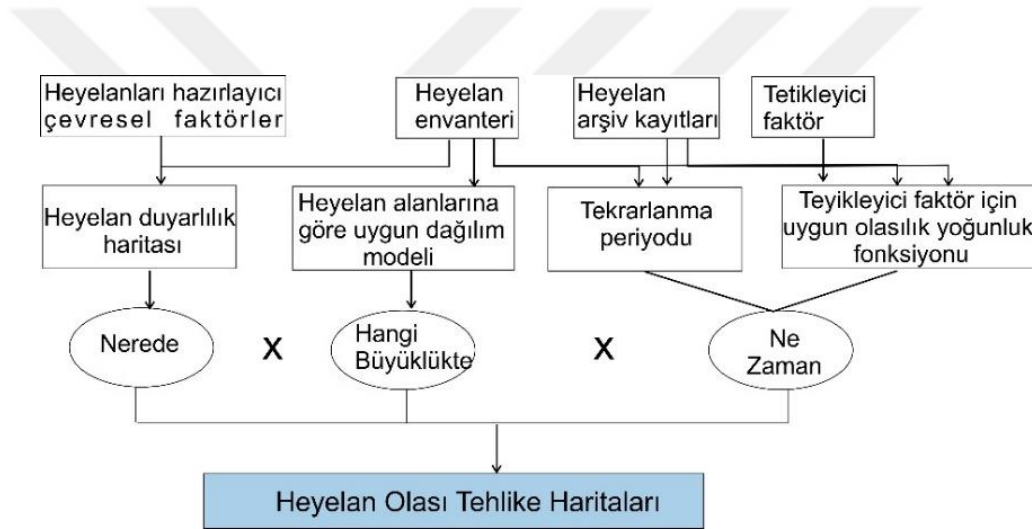
Bölgesel ölçekte yapılan, heyelan duyarlılık ve olası tehlike değerlendirmelerinde, öncelikli olarak uygun haritalama biriminin belirlenmesi gerekmektedir. Haritalama birimi, çalışma sınırları içerisinde, belirli bir arazi bölümünün komşu birimlerden farklı bir dizi özellikleri ile ayrılan bir parçası olarak tanımlanmaktadır (Carrara ve ark., 1995; van Westen ve ark., 1997; Guzzetti ve ark., 1999; Guzzetti, 2006). Çalışma ölçeğine bağlı olarak, bir haritalama birimi, birim içi homojen olan ve diğer birimler ile olan farkı en üst düzeye çıkaran coğrafi bir alanı temsil etmektedir. Uygun harita biriminin seçilmesi ise, bölgesel anlamda çalışılan doğa olaylarının çalışma alanındaki mekansal büyüklüğü, toplam çalışma alanının büyüklüğü, çözünürlük, ölçek ve en önemlisi kullanılacak olan parametrelerin türüne göre belirlenmektedir. Literatürde heyelan duyarlılık değerlendirmesi için önerilen haritalama birimleri; piksel (grid hücre), arazi, tek durum, yamaç, jeo-hidrolojik, topografik, ve idari birimler olmak üzere yedi farklı gruptan oluşmaktadır (Reichenbach ve ark., 2018).

Göksu Nehri havzası için yapılan jeomorfometrik değerlendirmeler ve heyelan olası tehlike haritalarının altlık haritaları olan çevresel değişkenlerin sayısal yükseklik modeli ve türevinden oluşan değişkenler olması sebebiyle haritalama birimi olarak piksel kullanımı tercih edilmiştir. Bu kapsamda vektör veri formatında hazırlanan haritalarda raster formatına dönüştürülmüştür. Tez kapsamında kullanılan bazı yöntemlerin sınırlamalarından dolayı piksel seçimi için farklı mekansal çözünürlükler kullanılmıştır. CBS ortamında tüm verilerde 6 derecelik Avrupa 1950 datumu, Universal Transver Merkatör (UTM) projeksiyon sistemi kullanılmıştır.

3.2.3. Heyelan Olası Tehlike Haritaları

Olası tehlike terimini, Varnes (1984), zarar verebilme potansiyeline sahip herhangi bir doğa olayının belirli bir alanda ve belirli bir zaman aralığında gerçekleşme olasılığı olarak tanımlamıştır. Guzzetti ve ark., (1999), Varnes

(1984)'ın tanımına, heyelanların alansal olabilirlik kavramını da ilave ederek, olası tehlike kavramını değerlendirmiştir. Guzzetti ve ark., (1999) olası tehlikenin tanımını, belirli bir büyüklükteki heyelanın, belirli bir zaman aralığında ve belirli bir bölgede oluşma olasılığı olarak ifade etmektedir. Bu tanım belirli tipteki heyelanın (hangi olay), heyelanların mekansal (nerede), zamansal (ne zaman) ve alansal (hangi büyüklükte) olabilirlik değerlerinin bilinmesini gerektirmektedir (Şekil 3.15). Aşağıda olası tehlike değerlendirme aşamalarında kullanılan yöntemler alt başlıklar halinde verilmiştir.

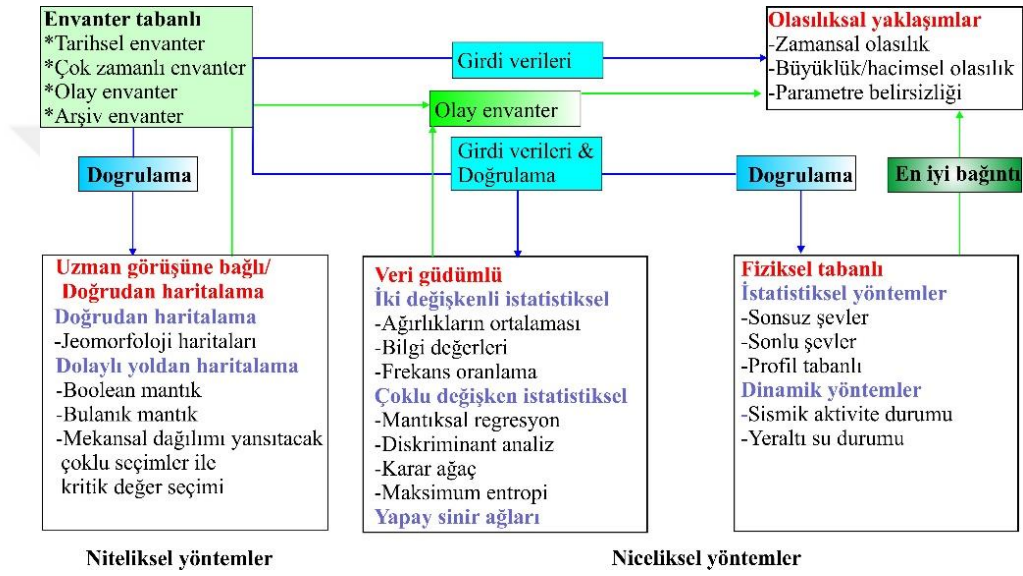


Şekil 3.15. Heyelan olası tehlike değerlendirmesi akış şeması (Guzzetti ve ark., 2005'den geliştirilmiştir).

3.2.3.1. Heyelan Duyarlılık Yöntemleri

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. Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri genel olarak niceliksel ve niteliksel olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır (Şekil 3.16). Niteliksel yöntemler genel olarak uzman görüşüne bağlı olarak sezgisel yaklaşımları

içermektedir. Niceliksel yöntemler ise istatistiksel analizlere dayanan tekniklerden oluşmaktadır. Bu çalışmada kayma türü heyelanlar için niceliksel yöntemlerden veri güdümlü yöntemler olan, karar ağaç, yapay sinir ağları ve mantıksal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Kaya düşme heyelan duyarlılık analizleri için ise Maksimum Entropy Yöntemi tercih edilmiştir.

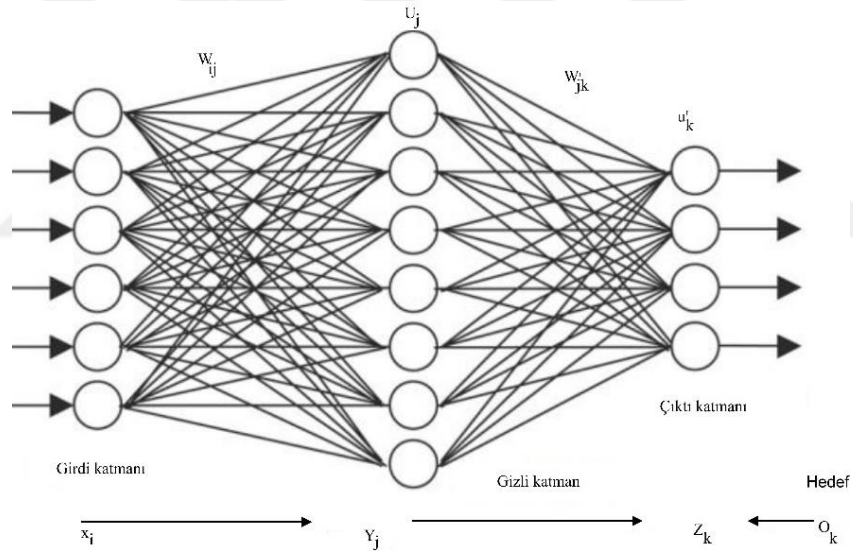


Şekil 3.16. Heyelan duyarlılık yöntemleri (Westen, 2013).

3.2.3.1. (1). Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA), biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilen ve paralel yapıya sahip matematiksel modelleme yöntemidir. Genel olarak YSA, tek katmanlı ya da çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden meydana gelen bir sistem olarak tanımlanabilir (Ayalew ve ark., 2005). YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal olmadığından, hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA'da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli yöntemlerden biri

olmuştur. YSA'ları, ileri beslemeli, geri beslemeli ve radyal tabanlı sinir ağlarından oluşmaktadır (Polykretis ve ark., 2015). İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA), nöron modeli oluşturulan katmanların ardışık biçimde bir araya getirilmesi sonucu kurulabilir. İBYSA, giriş, çıkış ve gizli katman olmak üzere en az üç katmandan oluşmakta ve giriş/çıkış katmanlarındaki nöron sayısı, problem üzerindeki etkili parametreler dikkate alınarak belirlenmektedir. Giriş ve çıkış katmanları arasında gizli katmanlar bulunur (Şekil 3.17) ve bu katmanlardaki nöronlar, doğrusal olmayan davranışlarından dolayı, YSA'nın doğrusal olmayan davranışının kaynağını teşkil ederler. Gizli katman sayısı ise farklı çalışmacılar tarafından üretilen denklemler ile belirlenmektedir.

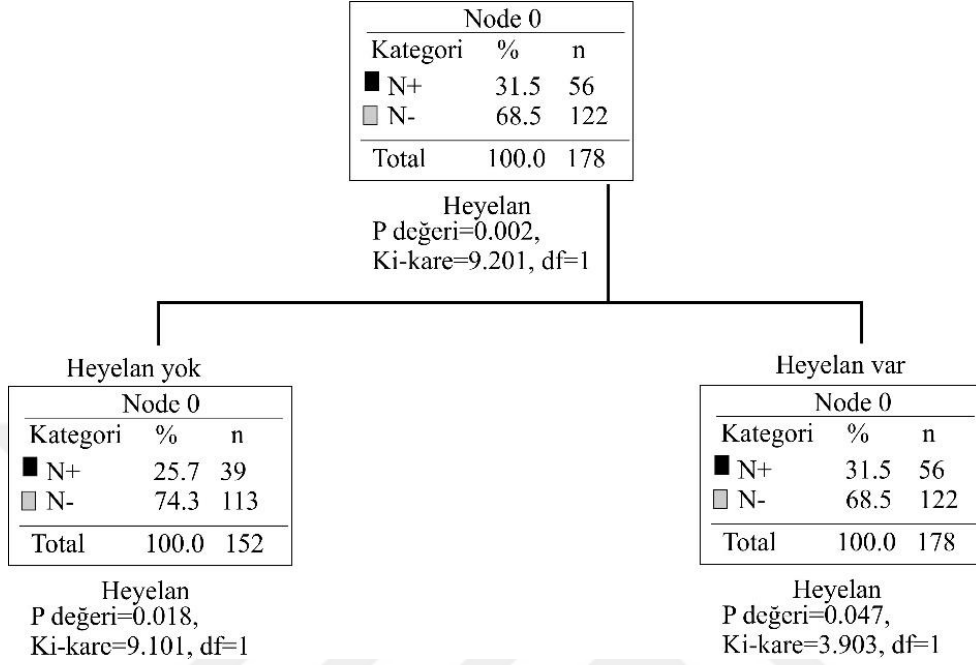


Şekil 3.17. Genel yapay sinir ağ yapısı (Polykretis ve ark., 2015).

3.2.3.1. (2). Karar Ağaç Yöntemi

Karar ağaçları, sınıfları bilinen örnek bir veriden tümevarım yöntemiyle öğrenilen ağaç şekilli bir karar yapısı çeşididir (Althuwaynee ve ark., 2014; Alkhasawneh ve ark., 2014; Youssef ve ark., 2016; Tsangaratos ve Ilia 2016). Belirli bir sınıfın olası üyesi olacak elemanların belirlenmesi, Parametrik

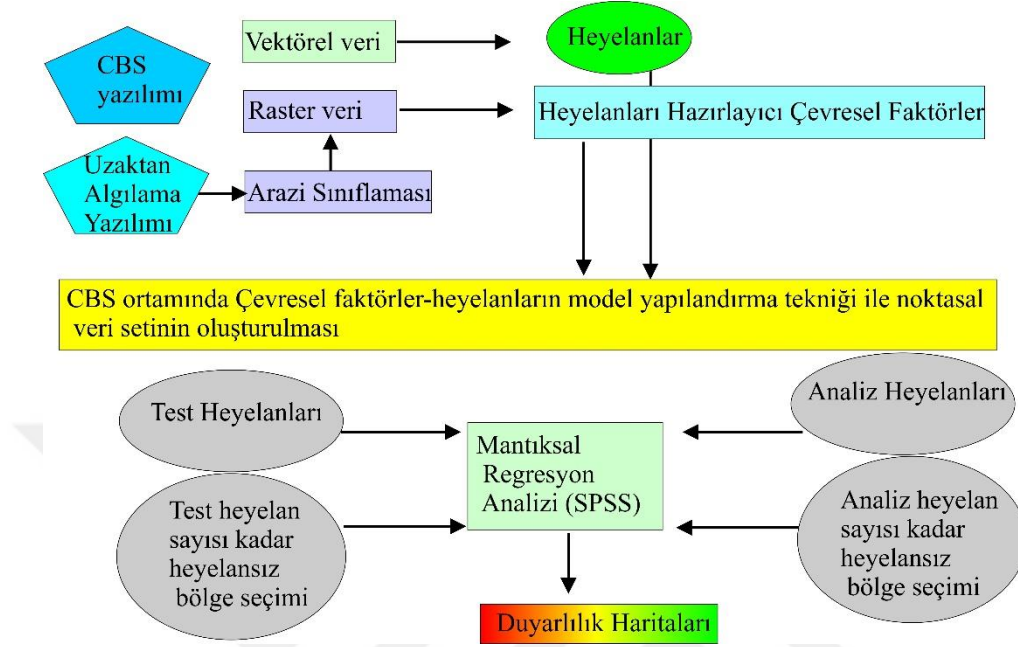
modellerin kurulmasında kullanılmak üzere çok sayıdaki değişkenden en önemlilerinin seçilmesi, gelecekteki olayların (Heyelanların) tahmin edilebilmesi için kurallar oluşturulması, sadece belirli alt gruplara özgü olan ilişkilerin tanımlanması, kategorilerin birleştirilmesi ve sürekli değişkenlerin kesikli değişkenlere dönüştürülmesinde yaygın olarak birçok bilim dalında kullanılmaktadır. Karar ağaç yöntemi, ID3 algoritmaları, Ki-kare otomatik etkileşim dedektörü (CHAID), Otomatik Etkileşim Algılama (CRT), Kontrollü denetleme (SLIQ) gibi algoritmalarından oluşmaktadır. CHAID ile diğer yöntemler arasındaki en önemli farklılıklardan birisi, ID3, C4.5, ve CRT ikili ağaçlar türetirken, CHAID çoklu ağaçlar türetmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Ki-kare otomatik etkileşim dedektörü (CHAID) kullanılmıştır (Şekil 3.18). CHAID metodu 1980’de Kaas tarafından en iyi bölmeyi hesaplamak için istatistik olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı, hedef değişkene (Heyelanlar) uyan çiftlerde tahmin değişkeninin (heyelanları hazırlayıcı faktörler) olası kategori çiftini birleştirmesiyle oluşturulmuştur. En uygun bölümleri seçmek için kullanılan entropy yerine chi-square testi kullanılmaktadır. En iyi bölmeyi hesaplamak için tahmin değişkenleri hedef değişkene uyan bir çiftin içinde istatistik olarak anlamlı bir fark kalmayınca kadar birleştirilmektedir.



Şekil 3.18. CHAID algoritmasının genel yapısı.

3.2.3.1.(3). Mantıksal Regresyon Yöntemi

Mantıksal regresyon, bağımlı değişkenin ikili gözlendiği 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 (Atkinson ve Massari 2011). Diğer bir deyişle bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin beklenen değerinin olasılık olarak elde edildiği sınıflama ve atama işlemini yapmaya yardımcı olan bir regresyon yöntemidir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Mantıksal regresyon oluşum şeması.

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 fonksiyonunun olasılık değeri Eşitlik 3.1’de görüldüğü gibidir.

$$P(Y = 1) = p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad (3.1)$$

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.

$$MR = \log \left[\frac{P_i}{1 - P_i} \right] = z_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (3.2)$$

Burada, MR mantıksal regresyon denklemini, X değerleri heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak düşünülen bağımsız değişkenleri, β '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.

Log olabirlik 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 logL istatistiği, en çok olabirlik algoritması ile tahmin edilmektedir (Hosmer ve ark., 2013).

3.2.3.1.(4). Maksimum Entropi (MaxEnt) Yöntemi

Maksimum entropi yöntemi, sınırlı bilgi ve bu bilginin çevresel değişkenler ile olan ilişkisini mümkün olan en az önyargılı tahminle, olasılık dağılımının oluşturulmasını sağlamaktadır. MaxEnt, sadece var verileri ile bölgesel

özellikler arasında ilişkiler kurarak çalışma alanı için dağılım modelleri üreten bir yaklaşımdır (Elith ve ark., 2006). Yalnızca envanter verisi olarak adlandırılan var verileri ile güvenilir olmayan yok veri kaydı probleminden uzaklaştırır. Özellikle, yok verileri potansiyel dağılım modellemesini imkansız hale getirebilen biyotik etkileşimlerin güçlü etkilerini ve dağılım kısıtlamalarını taşır (Jimenez-Valverde ve ark., 2008). MaxEnt yöntemi diğer var verisi ile çalışan yöntemlere göre daha az veri ile daha doğru sonuçlar vermesi sebebi ile öne çıkmaktadır (Hernandez ve ark., 2006; Wisz ve ark., 2008). Çalışma alanının büyüklüğü dikkate alındığında kaya düşme alanları belirli alanlarda gözlemlendiğinden kaya düşme duyarlılık haritaları MaxEnt yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.2. Duyarlılık Haritalarının Performans Analizleri

3.2.3.2.(1). Hata Matrisi

Elde edilen modellerin performansını değerlendirmek için hedef niteliğe ait tahminlerin ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı hata matrisi kullanılmaktadır (Çizelge 3.2) (Hosmer ve ark., 2013). Burada TN Doğru negatif, FN Yanlış negatif, FP Yanlış pozitif, TP Doğru pozitif değerlerdir (Eşitlik 3.3, 3.4, 3.5).

Çizelge 3. 2. Hata matrisi (Hosmer ve ark., 2013)

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

$$\kappa = \frac{P_{obs} - P_{exp}}{1 - P_{exp}} \quad (3.3)$$

$$P_{obs} = \frac{TP + TN}{N} \quad (3.4)$$

$$P_{exp} = \frac{(TP + FN)(TP + FP) + (FP + TN)(FN + TN)}{N^2} \quad (3.5)$$

3.2.3.2.(2). Başarı Tahmin Eğrileri

Başarı Tahmin Eğrileri var verilerinin elde edilen sonuç olasılıkları ile yüzde olarak doğruluğunu ifade etmektedir. Çalışma alanı ve var verileri (heyelanlar) yüksek olasılık değerleri gösterip göstermediği konusunda karşılaştırma yapmak için yardımcı olan eğrilerden oluşmaktadır (Chung ve Fabri 2008).

3.2.3.2.(3). Jackknife Eğrileri

Analizlerde var verisi olarak kullanılan değişkenlerin (heyelanlar) büyüklüğü yada sayısı çalışma alanının büyüklüğüne göre göreceli olarak az olan çalışmalarda, sonuca etki eden çalışma alanını yansıtan değişkenler için tekrarlanabilirliğini inceleyen ve sonuç olasılık değerleri üzerindeki etki değerlerini kıyaslamaktadır. Jackknife eğrileri ile tek bir değişkenden yola çıkarak elde edilen olasılık tahminlerin var verileri olan heyelanlar için de geçerli ve kabul edilebilir tahminler olup olamayacağını incelemektedir. Jackknife yönteminde, her tekrarlanmada verisetinden bir değişken atılarak işlem gerçekleşir. Çift çapraz geçerlilik yöntemi 3 adımda analiz edilmektedir. İlk adım, orijinal veri tabanı rastgele ikiye ayrılır, ikinci adımda, her iki örnekte de analizler ayrı ayrı yapılır ve üçüncü adımda ise sonuçlar deneysel olarak karşılaştırılır. Jackknife tekniği, bilinen yollardan elde edilmesi zor olan durumlarda tahmindeki biası azaltan ve güven aralıklarını yaklaşık olarak veren bir yöntemdir. Yöntemin temeli; her bir değişken için veri setinden sırayla çıkararak sonuç üzerindeki performansını analiz etmektedir (Philips ve ark., 2006).

3.2.3.2.(4). Alıcı İşletim Karakteristiği

Elde edilen modelin gerçekliği alıcı işletim karakteristiği eğrisi yaklaşımıyla da kontrol edilebilmektedir. 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) (Hosmer ve ark., 2013).

Çizelge 3.3. Alıcı İşletim Karakteristik eğrisi sınıflaması (Hosmer ve ark., 2013)

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

3.2.3.3. Zamansal Olabilirlik

Zamansal olabilirlik parametresi heyelan olası tehlike haritalarının ikinci basamağını oluşturmakta ve heyelanları tetikleyici faktörlerin frekans analizlerinden elde edilmektedir. Çalışma alanında heyelanlar aşırı yağışlar sonucu meydana geldiğinden zamansal olabilirlik parametresi istatistiksel olarak yağış frekans analizlerinden elde edilmiştir. Heyelan olası tehlike değerlendirmelerinde, alansal ve zamansal olabilirlik parametrelerini belirlemede aritmetik ortalama, varyans, standart sapma, değişim katsayısı, çarpıklık ile örneklem uzayının yapısına bağlı olarak değişen Olasılık Fonksiyonu ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Bazı deneylerle sonlu ya da sayılabilir sonsuz sayıda sonuçları içeren örneklem uzayları yaratılır. Herhangi bir olasılık fonksiyonu böyle bir örneklem uzayında belirlenmişse ona “Kesikli Olasılık Fonksiyonu” veya “Olasılık Fonksiyonu” denir. Belirli bir zaman aralığında

sonuçların sayılamayacak sonsuz sayıda oluşmasından doğan örneklem uzaylarında tanımlanmış fonksiyonlar ise “Sürekli Olasılık Fonksiyonu” veya “Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu” olarak tanımlanmaktadır.

Bir fonksiyonun olasılık yoğunluk fonksiyonu olabilmesi için (Eş. 3.6);

a. $0 \leq f(x)$ Her $x \in S$ için (3.6)

b. $\int_S f(x)dx = 1$ olması gerekmektedir.

Heyelan olası tehlike haritalarının üretiminde heyelanların hangi büyüklükte olabileceklerini tahmin etme amacı ile sürekli olasılık fonksiyonları kullanılmaktadır. Zamansal olabilirlik parametresinin üretimi ise iki şekilde hesaplanmaktadır. Bunlardan, birincisi tetikleyici faktörün tekrarlanma periyodunu sürekli olasılık fonksiyonlarını kullanarak belirlemek ve kullanılan sürekli olasılık fonksiyonlarının tetikleyici faktörle ilişkisini test ederek en uygun dağılımı kullanarak, istenilen zamanlar için en az 1 defa heyelan veya olayın olma olasılıklarının bulunmasıdır. İkincisi ise hazırlanan çok zamanlı heyelan envanter haritası yardımıyla heyelanların veya olayın tekrarlanma periyodu bulunarak kesikli olasılık yoğunluk fonksiyonları ile istenilen zaman aralıkları için en az 1 defa heyelan veya olayın olma olasılıklarının bulunması şeklinde hesaplanabilmektedir.

3.2.3.3. (1). Kesikli Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Kesikli Olasılık Dağılımları rassal bir olayın oluşumundaki olası dağılımı tanımlamaktadır. Kesikli olasılık yoğunluk fonksiyonları iki veya daha fazla olanaklı birbirinden bağımsız, bir veya n defa tekrarlanan bir deneyin olumlu ya da olumsuz sonucunu, arka arkaya yapılan bir deneyde ilk başarının elde edilmesi için

gerekli deney sayısının belirlenmesi gibi sonlu örneklem uzaylarında belirlenen olayların yorumlanmasında kullanılmaktadır. Literatürde Bernoulli, Binom, Genelleştirilmiş Binominal, Geometrik, Pascal, Hipergeometrik, Genelleştirilmiş Hipergeometrik ve Poisson Dağılımları en çok kullanılan kesikli olasılık fonksiyonlarıdır. Bunlar içerisinde Poisson dağılımı, az gözlenen olaylarla ilgili yaygın olarak kullanılan bir dağılımdır. Heyelan olaylarının zamansal olasılıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan kesikli olasılık fonksiyonudur. Heyelan olası tehlike haritalarının üretimde Poisson dağılımları mevcut ön koşullarından dolayı literatürde tercih edilmektedir. Bu dağılım kütle hareketleri gibi sonlu ya da sayılabilir sonsuz sayıda sonuçlar içeren örneklem uzayları için kullanılabilir. Ancak, dağılımın kullanılmasında aşağıda belirtilen iki ön koşulun sağlanması gerekmektedir. Bu ön koşullar;

- İki ayırık zaman aralığında ortaya çıkan olayların birbirinden bağımsız olma koşulu,
- Tanımlanan aralıkta ilgilenilen olayın ortaya çıkma olasılığının sabit olması ve olasılığın değişmeme koşuludur.

Poisson dağılımı Eşitlik 3.10'da verilmiştir, buna göre;

$$P(N(T) = n) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad n = 0,1,2,\dots \text{ dir.} \quad (3.10)$$

Burada t zaman, n olay sayısıdır. λ =olay/zaman olarak ifade edilmekte olup olasılık değerini vermektedir. Bir olayın belli bir süre içerisinde en az bir defa gerçekleşmesi olasılığı ise, temeli Poisson dağılımına dayanan Eşitlik 3.11'de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır (Crovelli 2000).

$$P(N(t) \geq 1) = 1 - P(N(t) = 0) = 1 - e^{-t/\mu} \quad (3.11)$$

Eşitlikte $\mu=1/\lambda$ olarak tanımlanmakta olup, tekrarlanma aralığını vermektedir.

3.2.3.3.(2). Sürekli Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Heyelan olayları genel olarak aşırı yağışların, deprem ya da hızlı kar erimeleri gibi etkenlerin tetiklemesi sonucu oluşmaktadır. Hızlı kar erimesi ve depremlerin tetiklemesi sonucu da heyelanların oluştuğu bilinmekle beraber sayı olarak daha azdır. Aşırı yağışlar veya sel gibi hidrolojik olayların tekrarlanma periyotlarının tahmin edilmesinde birçok olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesinde ilk önce veri kümesindeki değerler için frekans analizleri yapılır ve uygun sıklık dağılımına uyan olasılık yoğunluk fonksiyonları seçilir. Bu fonksiyonlardan literatürde en çok kullanılanları Normal; 2 ve 3 parametrelili Log Normal, Burr, Frechnet, Weibull, Gamma; Exponential, Pearson Tip III, Log Pearson Tip III, Gumbel, Log Gumbel ve Genelleştirilmiş Extrem Değer Tip I dağılımıdır. Bu dağılımların yanı sıra veri kümesindeki değerlere uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları da üretilebilmektedir. Yukarıda belirtilen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının grafiklenmesinde ise en çok Normal, Log Normal, Gumbel ve Log Gumbel olasılık kağıtları kullanılmaktadır. Tez kapsamında heyelanların zamansal olabirlik parametresinin tahmininde, yağışların tetiklemesi sonucu meydana gelen heyelanların, olay tarihleri göz önünde tutularak, uzun yıllar maksimum toplam yağış verileri kullanılarak tekrarlanma periyodunun bulunması amacı ile Burr, Gumbel max., Genelleştirilmiş Extrem (Uç), Pearson 5, Gen. Gama, Burr (4p), Frechnet, Lognormal, Gumbel, Log Gumbel, Pearson Tip III Log Pearson Tip III ve Değer dağılımları kullanılmıştır. Bu dağılımların kullanılmasındaki ana faktör literatürde ekstrem değerlerin bulunduğu veri kümelerinde uygun sonuçlar vermesidir.

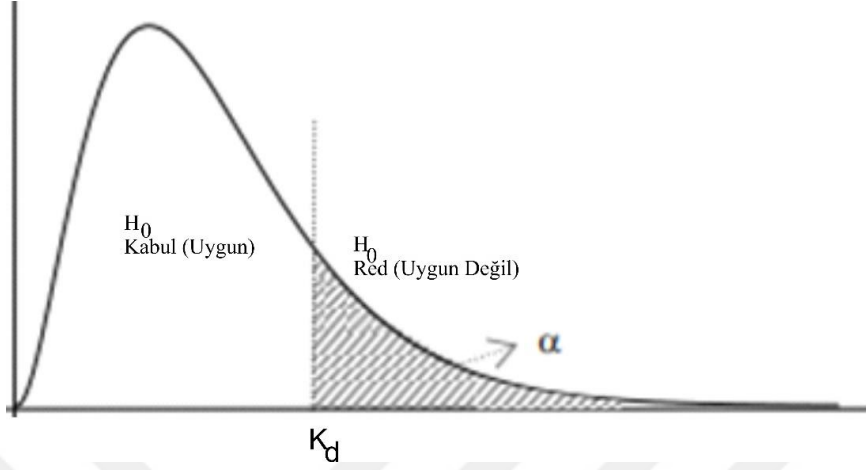
3.2.3.3.(3). Uygunluk testleri

Ki-Kare dağılımı ilk olarak 1900'lü yıllarda Pearson tarafından önerilmiştir. Ki-Kare dağılımı oldukça yaygın olarak ve bir çok amaçla kullanılan dağılım modellerinin uygunluğunu, bağımsızlığın, varyans, homojenlik ve bağımlılık durumlarını sınamaktadır. Ki-Kare; aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal bölünmeli bir değişkenin herbirinin diğerinden bağımsız olarak seçilen n birimli bir örnekleme ait değerlerin karelerinin toplamı demektir. Hipoteze uygunluk testinde; gözlenen frekansların (o_i), belli bir hipoteze göre elde edilen beklenen frekanslara (e_i) uygun olup olmadığı incelenmektedir. n sayıdaki verinin veri, r kategoriden oluşan bir verisetinde hipotezler; Gözlenen frekanslar ile beklenen frekanslara uygun ise eş. 3.12'deki gibi olması beklenir. Eğer uygun değil ise $H_1: O_i \neq E_i$ şeklinde gözlenmektedir. Test istatistiği Eş. 3.13'e göre hesaplanmaktadır. O_i 'lerin e_i 'lere yaklaşması durumunda χ^2 istatistiği sıfıra yaklaşacaktır.

$$H_0: O_i = e_i, i=1, 2, \dots, r, (o_1=e_1, o_2=e_2, \dots, o_r=e_r) \quad (3.12)$$

$$X^2 = \sum \left(\frac{O_i - e_i}{e_i} \right)^2 \quad (3.13)$$

Ki-Kare uygunluk testi sağ kuyruk testi olup, $o_i - e_i$ farklarının kareleri alınarak χ^2 test istatistiği hesaplanmaktadır. Fark büyüdükçe, farkların kareleri pozitif yönde sonsuza doğru büyümekte olduğundan, red bölgesi daima dağılımın sağ kuyruğunda olur. Buna göre karar modeli Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. H_0 Hipotezi ve Kritik Değer ölçütü.

Kritik değer (K_d), α önem seviyesi ve $s.d = r-1-m$ serbestlik derecesine göre hazırlanmış χ^2 kritik değerler tablosundan belirlenir. Burada m tahmin edilen parametre sayısıdır. Örneğin; normal dağılım için tahmin edilen parametreler μ ve σ olduğundan $m = 2$ alınır (Akyol ve Gürbüz 2002). Kritik değer Eş. 3.14'e göre hesaplanmaktadır. Test istatistiğinde hesaplanan χ^2 değeri ile K_d karar modeli ile karşılaştırılarak karar verilir.

$$K_d = \chi_{\alpha}^2, r - 1 - m \quad (3.14)$$

X^2 uygunluk testlerinin alternatifi olarak Kolmogorov-Smirnov testi, Kolmogorov tarafından 1933 yılında önerilmiştir. Kolmogorov, tek örnek için uyum iyiliği testini ileri sürmüştür. 1939 yılında ise bir Rus matematikçisi olan Smirnov tarafından iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testi geliştirilmiştir. Kolmogorov ve Smirnov testi benzerlik nedeniyle, uygulamada, Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri olarak bilinmektedir. X^2 testinin uygulanabilmesi için beklenen frekansların 5'den büyük olması istenir. Kolmogorov-Smirnov testi böyle bir şarta dayanmadığı için kolayca uygulanabilmektedir. Ki-Kare testinde

beklenen frekansların 5'ten büyük olması için ya örneklerin büyük hacimli olması gerekir, yada sınıflar birleştirilmek suretiyle beklenen frekansların 5'den büyük olması sağlanır. Bu durumda ise bilgi kaybı söz konusu olmaktadır. Kolmogorov-Simironov testinde beklenen frekanslar için bir alt limit söz konusu değildir (Kartal 1998).

3.2.3.4. Heyelanların Alansal Olabilirliği

Heyelan olaylarının alansal olabilirlik parametresi, heyelanların veya kendiliğinden meydana gelen doğa olaylarının hangi büyüklükte olacağını tahmin etme amacı ile frekans - büyüklük dağılımları ile ilişkilendirilerek bulunabilmektedir. Bir heyelan olayının sıklık – alansal büyüklük dağılımı, farklı boyutlarda meydana gelen heyelanların çoğunluğunun miktarını belirtmektedir. Doğa olaylarının açıklanması esnasında karşılaşılan “kayıp olay sayısı” tarihsel süreçte uğramış oldukları değişim veya doğa olaylarının tespit süreci sırasında atlanan veri kaybından dolayı sıklık - alan dağılımları Üssel kanun dağılımı ile ilişkilendirilerek kullanılmaktadır (Malamud ve ark., 1999). Üssel kanun dağılımı, doğada gelişen küçük ölçekli olaylar ile büyük ölçekli olayların oluşma olasılıkları arasındaki farkı en net ortaya koyan dağılım olmasından dolayı doğa olaylarının açıklanmasında kullanılması önerilmektedir (Malamud ve ark, 1999).

Malamud ve ark. (2004a) üssel kanun dağılımını kullanarak olaylar arasındaki sıklık - alan ilişkilerinden elde ettiği değeri, en az bir olayın olma olasılığını basit olasılık kullanarak hesaplamış ve bulmuş olduğu bu iki değeri çarparak belirlenen bir büyüklükteki heyelanın (olayın) olma olasılığını Eşitlik 3.15 ile ifade etmiştir.

$$p(A_L) = \frac{1}{N_{LT}} \frac{\delta N_{CL}}{\delta A_L} \quad (3.15)$$

Burada N_{LT} tamamlanmış heyelan envanter haritasındaki toplam heyelan sayısı, A_L ise heyelan alanıdır. Malamud (2004a) Eşitlik 3.15'deki formülü 300 adet olasılık yoğunluk fonksiyonu ile test etmiş ve Eşitlik 3.16'da verilen üç parametrelili ters gamma olasılık yoğunluk fonksiyonunun (Pearson tip 5 dağılımı olarak ta bilinmektedir) aşağıdaki parametre değerleri ile % 96 oranında uyum gösterdiğini belirtmiştir. Malamud ve ark. (2004b) üç parametrelili ters gama dağılımını farklı bölgelerde gelişen farklı tipteki heyelan olayları ile ilişkilendirerek, dağılımın heyelan olayları için yapılan sıklık - alan dağılımları ile iyi uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

$$P(A_L; \rho, a, s) = \frac{1}{a\Gamma(\rho)} \left(\frac{a}{A_L - s} \right)^{\rho+1} \exp\left(-\frac{a}{A_L - s} \right) \quad (3.16)$$

Burada a, maksimum olasılığı kontrol eden değer olup, ($a=1,28 \times 10^{-3} \text{ km}^2$), s parametresi küçük ölçekli heyelanları kontrol eden parametre değeridir ($s=1,32 \times 10^{-4} \text{ km}^2$). p ise büyük ve orta ölçekli heyelanları kontrol eden parametre değeri olup ($\rho=1,40$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.21a). Γ gamma dağılımının simgesi olup (Eşitlik 3.17);

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (3.17)$$

formülü ile hesaplanmaktadır ($\Gamma(1.4)=0.88726$). Guzzetti ve ark., (2005) önerilen üç parametrelili ters gamma fonksiyonunu İtalya'nın olası tehlike haritalarının üretiminde kullanarak heyelanların alansal olabilirlik değerlerinin hesaplanabileceğini belirtmiştir. Heyelan olayının hangi büyüklükte olacağı, dağılımın integrali alınarak (Eşitlik 3.18), belirli bir büyüklükteki heyelanın oluşma olasılığı bulunabilmektedir (Şekil 3.21a).

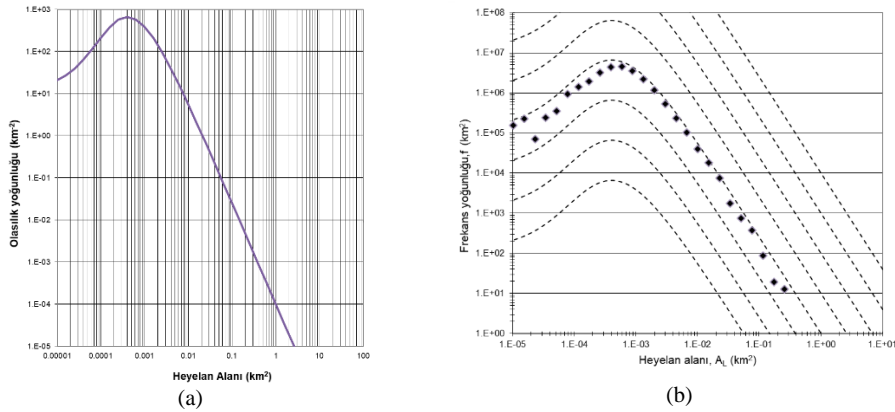
$$P(A_L) = \int_{a_L}^{\infty} p(A_L; \rho, a, s) dA_L = \int_{a_L}^{\infty} \frac{1}{a\Gamma(\rho)} \left(\frac{a}{A_L - s} \right)^{\rho+1} \exp\left(-\frac{a}{A_L - s}\right) dA_L \quad (3.18)$$

Heyelan- büyüklük ilişkisi ise Malamud ve ark. (2004a) tarafından aşağıdaki eşitlik 3.19 ile hesaplanmaktadır.

$$mL = \log_{10}(N_{LT}) \quad (3.19)$$

burada N_{LT} bir olaydaki toplam heyelan sayısını vermektedir. Eşitliğe göre 10 ile 10^8 adet heyelanın magnitüde değeri 1 ile 8 arasında değişmektedir. Bu ilişki sıklık yoğunluk ilişkileri göz önünde bulundurularak tarihsel heyelan envanter haritalarında toplam heyelan alanı ve sayısının kestirilmesinde de eşitlik 3.20'de verildiği ve Şekil 3.21b'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır.

$$f(A_L) = \delta N_{CL} / \delta A_L = N_{LT} p(A_L) \quad (3.20)$$



Şekil 3.21. Malamud ve ark. (2004 a,b) tarafından önerilen eksiksiz olay heyelan envanter haritaları için olasılık yoğunluk fonksiyonu (a) heyelan büyüklük-sıklık ilişkisi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

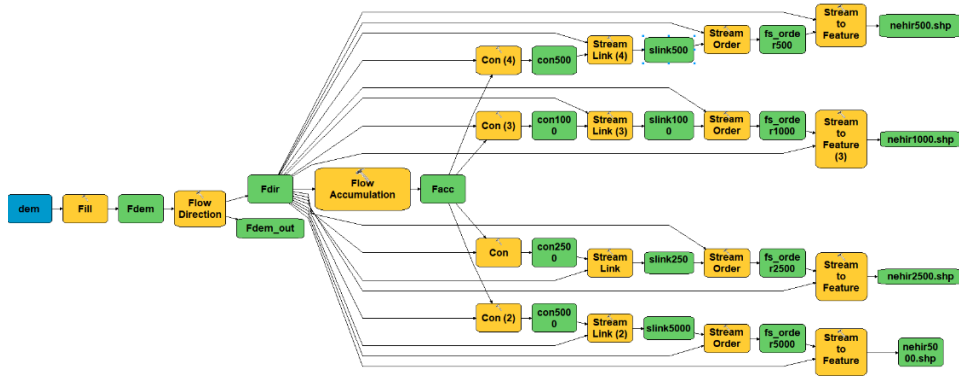
Düşme, devrilme, akma, kayma gibi farklı hareket mekanizmaları ve içinde geliştiği toprak, moloz veya kaya kütlelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim, hareket eden kütlelerin alansal büyüklüğü ve derinliği, hareketin hızı, çalışma alanının büyüklüğü, ölçek ve çalışmanın amacı gibi kriterler göz önünde bulundurulduğunda, aynı bölgede heyelanlarla ilgili farklı yaklaşımların kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Tez çalışma alanı, Göksu havzasının tamamını kapsamasından dolayı, çalışmanın ilk aşamasında havzanın yapısı, erozyonel ve heyelan olaylarını da kontrol eden dinamik süreçlerin etkisi, CBS ortamında sayısal olarak jeomorfometrik analizler ile gerçekleştirilmiştir. Jeomorfometrik analizler kendi içerisinde, alansal, çizgisel, yüzeysel morfolojik değerlendirmeler ile akarsu boyuna profil analizleriyle değerlendirilmiştir. Tezin ikinci aşamasında ise havzada etkili olan heyelanlardan kaya düşmeleri ve kaymalar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Havza genelinde kaya düşmelerine ait toplanan verilerin sınırlamalarından dolayı, sadece kaya düşmesi kaynak zonlarına göre belirlenmesi amacıyla duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Kayma türü heyelanlar için ise niceliksel heyelan olası tehlike değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Olası tehlike haritaları, belirli bir bölgede, belirli bir zamanda, belirli büyüklükteki heyelanların olma olasılığı olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, heyelanların nerede olabileceğini yansıtan duyarlılık değerlendirmeleri, yapay sinir ağları, karar ağacı ve mantıksal regresyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Heyelanların zamansal olabilirliği, bölgede heyelanları tetikleyen yağış değerleri dikkate alınarak, yağış-frekans analizlerinden elde edilmiştir. Heyelanların alansal olabilirlik değerlendirmeleri ise heyelan envanter haritasındaki heyelanların alansal büyüklük – sıklık ilişkilerine uygun olasılık yoğunluk dağılımı ile belirlenmiştir.

4.1. Jeomorfometrik Değerlendirmeler

Jeomorfometrik analizler, farklı yöntemler ile topoğrafik yapının ortaya çıkarılması, ölçülmesi çalışılan bölge içerisinde farklı ve ortak yönleri jeolojik, iklimsel ve diğer özellikleri ile doğrudan ilgilidir. Akarsu sistemleri, yeryüzünü şekillendiren en önemli dış kuvvetler arasında yer almakta olup, akarsu havzaları genel olarak iklim, litoloji ve tektonik gibi etkenler tarafından kontrol edilmektedir. Akarsu havzası ve havzadaki drenaj ağı yapısının CBS ortamında jeomorfometrik indisler yardımıyla değerlendirilmesi, havzada etkili olan dinamik hidrolojik süreçlerin ortaya çıkarılması ve yorumlanmasında da önemli katkılar sunmaktadır.

4.1.1. Havza Morfometrisi

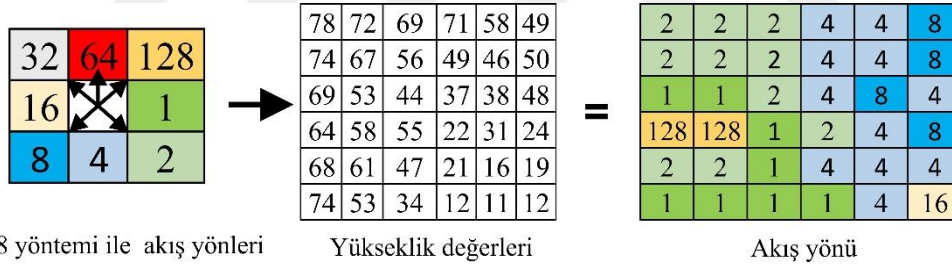
Akarsu drenaj kolları ve havza sınırları analizleri SYM kullanılarak CBS ortamında Hidroloji eklentisi kullanılarak, akım yönü ve kümülatif akım değerlerine göre raster ve vektörel formatlarda gerçekleştirilmiştir. Havza başlangıç noktaları belirlenerek, Göksu nehri ana ve yan kollarına ait havza sınırları oluşturulmuştur. Akarsu drenaj ağları oluşturulurken model yapılandırma tekniği kullanılarak modeller geliştirilmiş ve nehir dizinleri oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Daha sonra havza ve drenaj yapılarına ait jeomorfik indisler kullanılarak jeomorfometrik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. CBS ortamında Akarsu drenaj ve havza oluşumu.

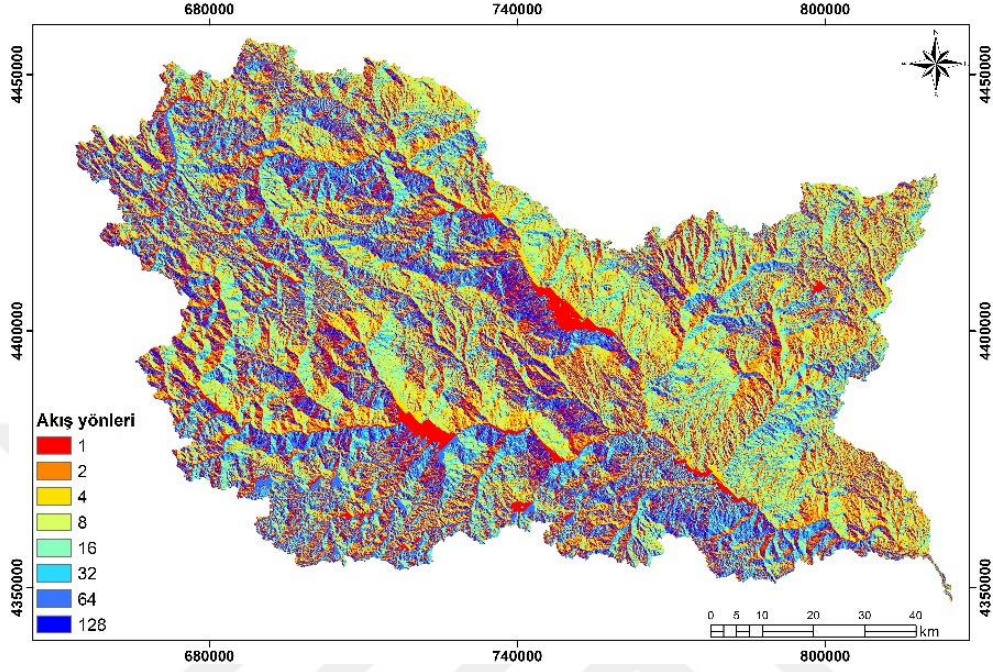
4.1.1.1. Akım Yönü

Akım yönleri, sayısal yükseklik modeline bağlı olarak hidrolojide su akış kanallarının ve sediment taşınım hareketlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Tarboton, 1997). SYM üzerinde her bir grid hücresinin sahip olduğu bir yükseklik değeri bulunmaktadır. Bir hücredeki akış eğimin en fazla olduğu ve düşük yükseklik değerine sahip komşusu yönünde olduğunu kabul eden, tek akış yönüne sahip, D8 algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Herhangi bir X hücresinden olası akış yönleri ve bu akış yönlerine göre, yeni oluşacak su akış yönü modelinde X hücresinin alacağı değerler belirlenmektedir. Buna göre X hücresinde akış hücrenin sağına doğru ise, X hücresinin akış yönü değeri 1, soluna doğru ise 16 ve aşağı doğru ise 4 olacaktır (Jenson ve Domingue 1988). SYM üzerindeki her bir hücreye ilişkin olası su akış yönleri hesaplanarak, su akış yönleri modeli oluşturulmaktadır.



Şekil 4.2. Akış yönleri ve bu yönlere ait hücre değerleri.

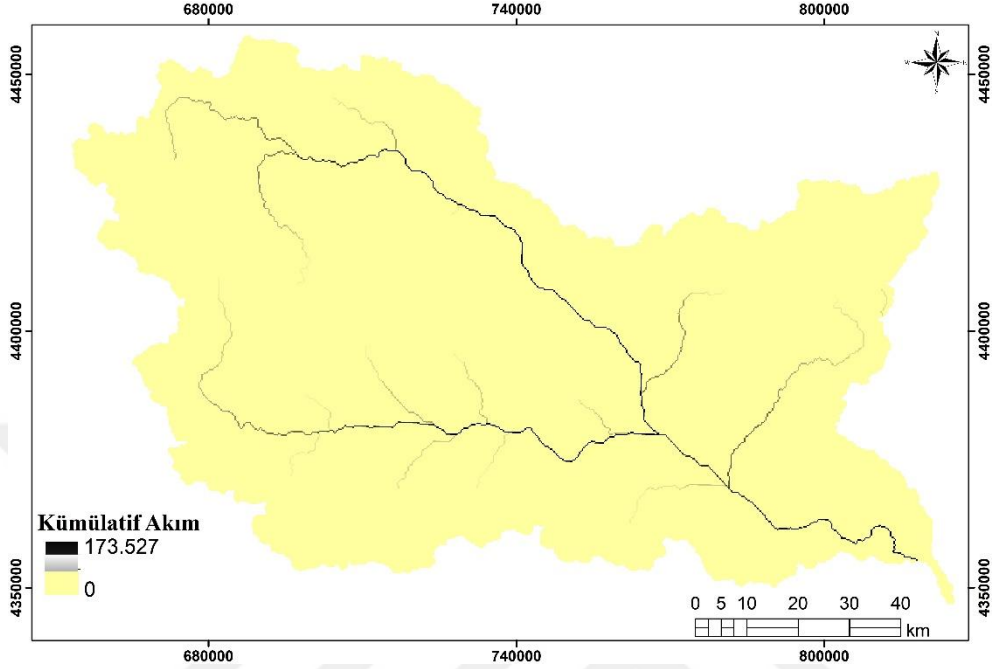
Akış yönleri modeli üzerinde, hücrelerin akış yönüne göre, her bir hücreye gelen akış miktarı, birikimli olarak toplanmakta ve akış toplanma grid hücreleri elde edilmektedir. SYM'den; su akış yönleri hesaplatılmıştır. Göksu havzası için, 10 metre çözünürlükte akım yönü haritası Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Göksu nehri havzası akış yönleri Haritası.

4.1.1.2. Kümülatif Akım

Akım yönleri haritası kullanılarak bölgeye ait akış toplama durumu analizi gerçekleştirilmiştir. Kümülatif akım ile her bir hücreye akan su miktarı hesaplanmaktadır. Standart olarak her bir hücrede 1 birim su olduğu düşünülerek, yukarıdaki hücrelerden akan suyun aşağıdaki komşu hücrede 2 birime ulaştığı kabul edilmektedir. Bu akış işlemi grid hücresinin en altında bulunan hücreye kadar devam etmektedir. Göksu nehri havzası için yapılan değerlendirmede her bir grid hücresi 0 ile 173.527 arasında değerler almıştır. Sarı ile gösterilen alanlardaki değerler düşük, koyu renkli hücreler ise değerleri ise yüksektir. En yüksek gridin sahip olduğu değer yüzeysel akışın en fazla toplandığı bölgeler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.4).



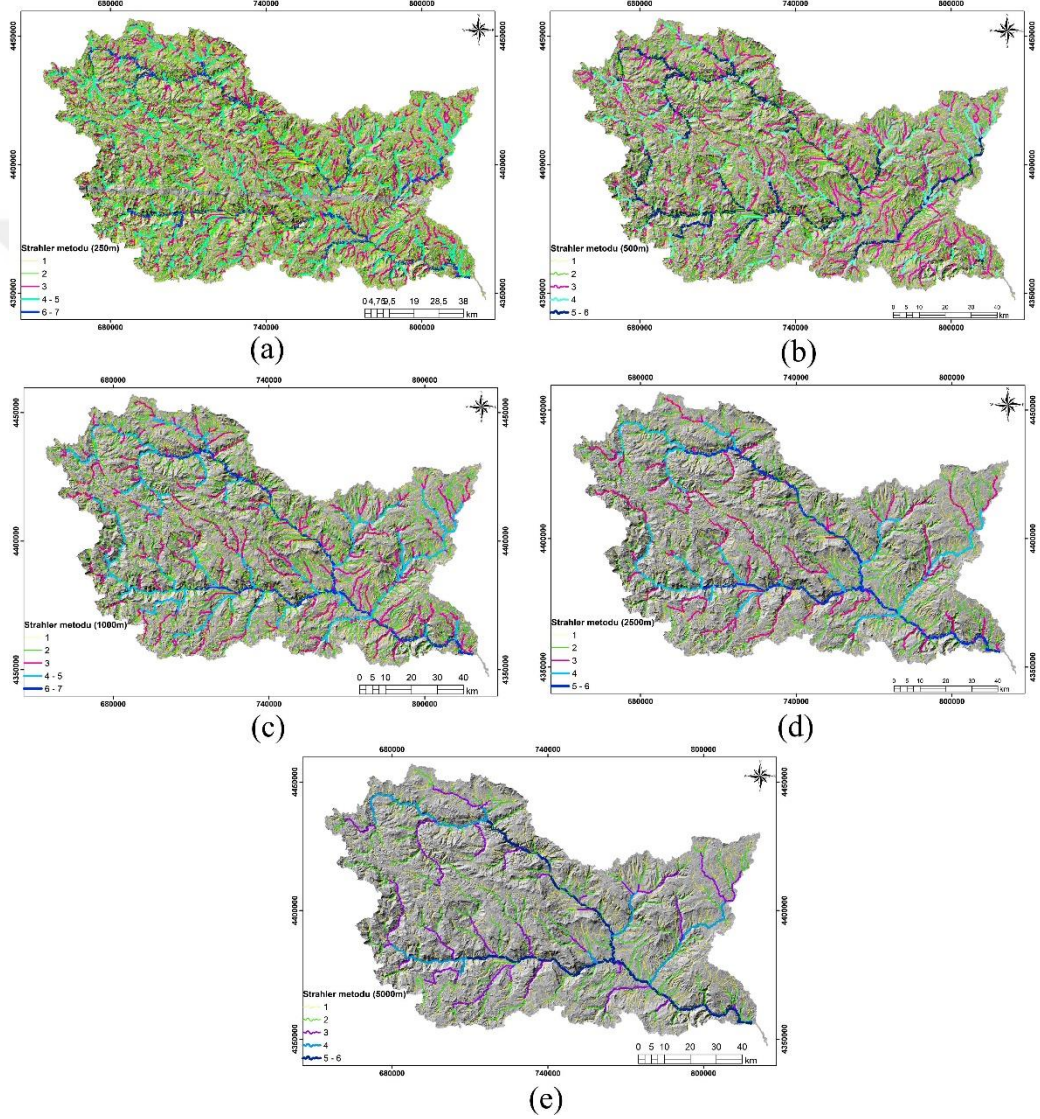
Şekil 4.4. Göksu nehri havzası kümülatif akım haritası.

4.1.1.3. Akarsu Drenaj Sistemleri ve Havza Oluşumu

Çalışılan havzaya ait detaylı sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulan akım yönü ve kümülatif akım parametreleri sonrasında, öncelikli olarak akarsu nehir ana ve yan kolları CBS ortamında “con” eklentisi kullanılarak farklı eşik değerlerde uzunlukları 250, 500, 1000, 2500 ve 5000 grid hücreden daha uzun olan tüm nehir kolları Strahler (1952) yöntemine göre oluşturulmuştur (Şekil 4.5). “Stream order” eklentisi ile raster halde doğrusal şekilde sıralanmış halde çizgisel drenaj ağları oluşturularak vektör formatında Strahler yöntemi ile Göksu nehri ana ve yan kolları, ayrıntılı şekilde sayısal olarak elde edilmiştir.

Strahler yöntemine göre Göksu nehri ve yan kolları için alt havzalar oluşturulmuştur (Şekil 4.6). Göksu nehri Ermenek ve Gökçay olmak üzere 2 ana koldan oluşmaktadır. Ermenek havzasının alanı 4.020 km², Gökçay havzasının ise 4.423 km²'dir. Ermenek havzası kendi içerisinde 57 alt havzaya ayrılmış olup,

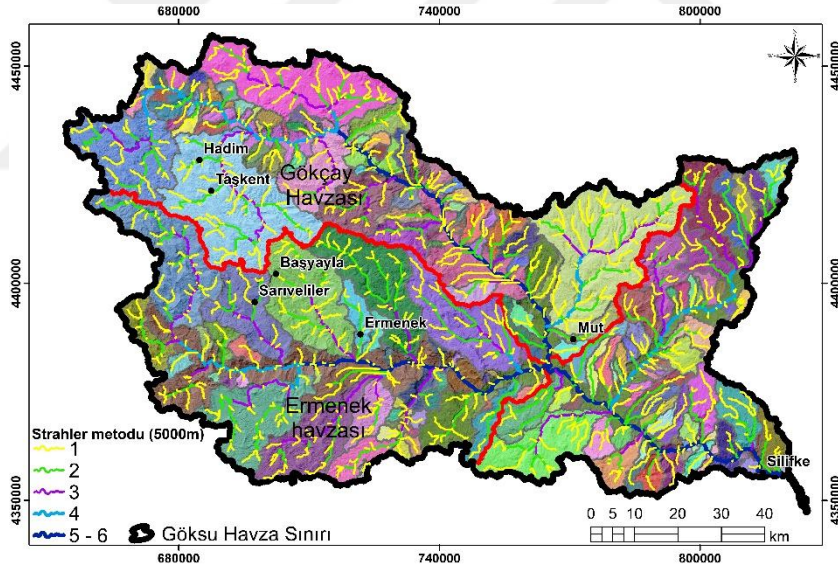
bunlar içerisinde 10 tanesi alansal olarak 100 km²'nin üzerindedir (Şekil 4.6a). Gökçay havzası ise 87 alt havzadan oluşmakta ve bu havzaların 9 tanesi 100 km²'den büyük alansal yayılım göstermektedir (Şekil 4.6b).



Şekil 4.5. Gökçay havzasına ait Strahler yöntemine göre 250 (a), 500(b), 1000(c), 2500(d), 5000(e) metrelerden uzun akarsu dizinleri.



(a)



(b)

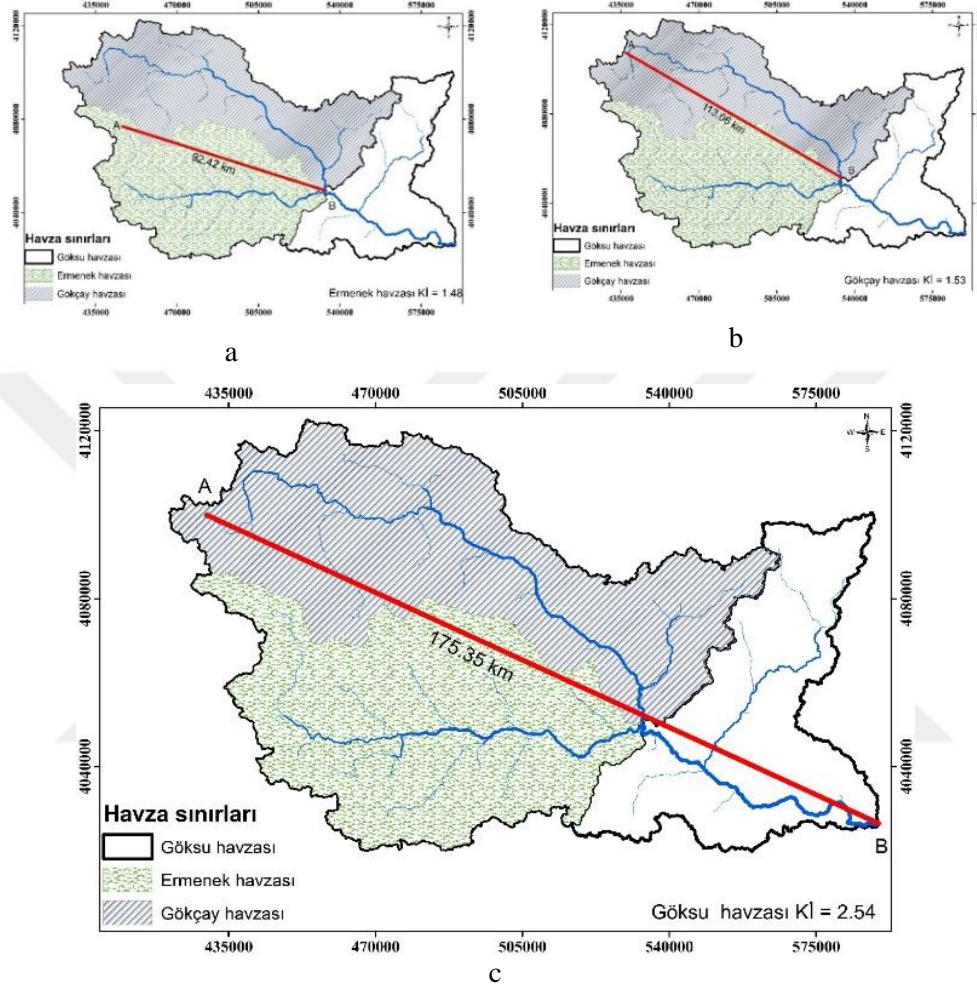
Şekil 4.6. Göksu nehri havzası (a) ve alt havza (b) sınırları.

4.1.2. Çizgisel Morfometrik Özellikler

Havzaların çizgisel morfometrik özellikleri, havzada bulunan drenaj yapısının incelenmesine dayanmaktadır. Bu özelliklerin temelinde akarsu

dizininin sayısı, uzunluğu, havzanın çevre uzunluğu gibi parametreler kullanılmakta olup başlıca Çatallanma Oranı (R_b) (Schumm, 1956), Uzunluk Oranı (R_L) (Schumm, 1956), ve Tekstür - Doku Oranı (T) (Horton, 1945) kıvrımlılık indeksi (K_I) parametrelerini içermektedir. Çatallanma oranı (R_b) parametresi özellikle havzaların akarsu durumu ve mevcut durumların belirlenmesi açısından önemlidir. Çatallanma oranının (R_b) yüksek veya düşük değerler göstermesi havzaya düşen yağışın topoğrafya üzerinde, yüzey geçirimsizliği ve bitki örtüsü ile olan ilişkisini ortaya çıkarmaktadır. Strahler yöntemine hesaplanan nehir kollarına göre Göksu havzasının 6 dizinden meydana gelmekte olup her bir dizinin sayısı sırasıyla 952, 339, 183, 102, 87'dir. Ortalama çatallanma değeri 2.06'dır. Uzunluk oranı (R_L), ana nehir ve kollarının uzunluklarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Böylece üst kollardan gelecek olan suyun taşınmasında, alt kolların uzunluklarının yeterli olup olmadığı ortaya çıkmaktadır. Göksu Havzası'nın uzunluk oranı (R_L) toplamı 9.96 olup, ortalaması 1.99'dur. Tekstür - Doku oranı (T), Strahler yöntemine göre birinci dizine ait toplam dizin sayısı ile havzanın çevre uzunluğu arasındaki oran olarak hesaplanmakta olup, Göksu Nehri Havzası için 0.88 olarak hesaplatılmıştır. Kıvrımlılık indeksi, havzadaki drenaj ağı yapısının yorumlanmasında kullanılan morfolojik parametrelerden biridir. Bu çalışmada Mueller (1968) tarafından geliştirilen model kullanılarak kıvrımlılık indeksi hesaplanmıştır. İndeks akarsu havzasının topolojik ve hidrolojik karakteristiğini açıklamakta kullanılmaktadır. Akarsu vadisi eğiminde değişikliğe sebep olan faktörler sebebiyle kanal kıvrımlılığı değişebilir (Keller ve Pinter 1996). Bu çalışmada Göksu nehri ve alt nehir kolları olan Ermenek ve Gökçay nehirleri için kıvrımlılık indeksi Eş 4.1'e göre hesaplatılmıştır. Buna göre Ermenek havzası 1.48, Gökçay havzası 1.53 ve Göksu havzası geneli ise 2.54 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7).

$$K_I = \frac{\text{Nehir uzunluğu}}{\text{Nehir başlangıç-bitiş arası mesafe}} \quad (4.1)$$



Şekil 4.7. Ermenek (a), Gökçay (b) ve Göksu (c) nehrinin kıvrımlılık indeks parametresi.

4.1.3. Alansal Morfometrik Özellikler

Havzaların alansal özelliklerinin oluşturduğu morfometrik parametreler, havzaya düşen yağışların toplanması ve yüzeysel akışın birikimi açısından çok önemli bir özelliğe sahiptir (Çizelge 4.1). Bu parametreler; Drenaj Yoğunluğu (D_d), Akarsu Sıklığı (F_s) (Horton, 1945), Havza Şekli (R_F) (Horton, 1945), Havza uzunluk Oranı (R_e) ve Gravelius İndeksi (K_G)'dir (Gravellius, 1914). Drenaj

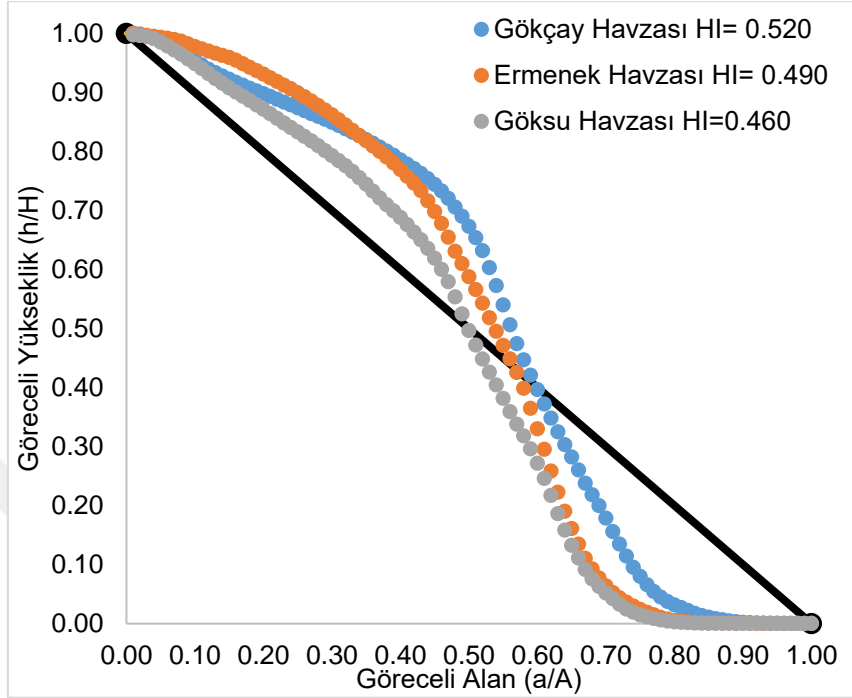
Yoğunluğu (D_d) (Horton, 1932), havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesini ifade etmektedir. Akarsu sıklığı (F_s) parametresi doğrudan drenaj yoğunluğu parametresi ile ilişkilidir. Akarsu sıklığı (F_s) geçirgen olmayan zemin özellikleri, seyrek bitki örtüsü ve yüksek rölyef özelliklerini gösterirken, düşük F_s değerleri ise geçirgen olan jeolojik birimleri ve alçak rölyef özelliklerini ortaya koymaktadır. Drenaj yoğunluğu ve akarsu sıklığı havzalardaki drenaj ağının dokusu ile ilişkilidir. Göksu Havzası'nda, geçirgen olmayan ve gözeneksiz özellikte litoloji gösteren birimlerde dentritik drenaj ağları gelişirken, yüksek eğimli yamaçlarda paralel drenaj ağları meydana gelmektedir. Göksu havzası'nın genel vadi yapısı ise "V" şekilli vadi özelliği sunmaktadır.

Çizelge 4.1. Alansal morfometrik parametreler.

Alansal morfometrik parametreler	Değer
Drenaj yoğunluğu (km/km^2)	0.40
Akarsu sıklığı(km/km^2)	7.47
Havza şekli	0.02
Havza uzunluk oranı	0.62
Gravelius indisi	2.27

4.1.4. Yüze Morfometrik Özellikler

Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral havzanın aşınım durumunu ve gençlik, olgunluk, yaşlılık evrelerinden hangi aşamada olduğunu belirtmektedir (Strahler, 1952, Ritter ve ark., 2002). Göksu havzasına ait hipsometrik integral değeri 0.460, Ermenek havzası hipsometrik integral değeri 0.490, Gökçay havzası hipsometrik integral değeri 0.520 olarak hesaplatılmıştır. Buna göre, Göksu, Ermenek ve Gökçay havzaları sırasıyla % 54, % 51 ve % 48'lük kısımlarının erozyonal süreçler ile aşındığını ve aşınımın döngüsü için ise gençten olgun aşamaya geçiş evresinde olduğunu göstermektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Gökçay, Ermenek ve Göksu Havzalarının hipsometrik eğrisi ve hipsometrik integral değeri.

4.1.5. Akarsu Boyuna Profil Analizleri

Akarsu drenaj sistemleri yeryüzü şekillerini kontrol eden kuvvetlerin değişimlerini yansıtan en alt seviyeyi oluşturmaktadırlar. Bu değişimler akarsuyun ana kayayı değiştirecek aşındırma hızı (Rosenbloom ve Anderson, 1994; Whipple, 2004) yanı sıra akarsu yatağını ani olarak düşey ve yatay yönde değiştirecek tektonik kuvvetlere bağlı olarak gelişmektedir (Niemann ve ark., 2001; Whipple, 2001). Bu vadi tabanı değişimleri havzadaki yamaçları da dolaylı yoldan etkileyeceğinden sediman gelişi, yatak yükü ve nehir aşındırma gibi düzensizlikleri de beraberinde getirmektedir. (Whipple ve Tucker, 2002). Heyelanların yoğun olduğu havzalarda akarsu boyuna profil analizleri ile ilgili çalışmalar (Ouimet ve ark. 2007; Walsh ve ark., 2012, Othman ve Gloaguen 2013, Borgomeo ve ark., 2014) tarafından yapılmıştır.

Akarsu sistemleri ana kaya üzerinde ayırma limitli (detachment limited) veya güncel alüvyon çökellerinden oluşan taşıma limitli (transport limited) olarak ikiye ayrılmaktadır. Ancak genel olarak her iki sistem birbirinin devamı niteliğinde olduğundan üçüncü bir sınıf olarakta hibrit sistem tanımlanmıştır (Whipple ve Tucker 2002). Anakaya üzerinde akan nehir sistemleri yamaç erozyonu süreçlerini ve nehir yarıлма hızlarını kayıt altında tutan en alt sınır koşulunu oluşturarak; iklim, litoloji ve tektonik gibi olayların açıklanmasına kantitatif olarak katkı sağlar (Howard ve ark., 1994; Tinkler ve Wohl, 1998; Kirby ve ark., 2003; Whipple, 2004; Wobus ve ark., 2006). Bu süreçler akarsuların boyuna profil analizleri ile ilişkilendirilmektedir (Wobus ve ark., 2006). Göksu nehri havzasının Ermenek kolu, hariç günümüzden 1.6 milyon yıl önce Pleyistosen döneminde denizel ortamın etkisinde olduğu ve 130.000 yıldan günümüze kadar 0.52-0.66 mm / yıl arasında vadi yarıлма hızına sahip olduğu belirlenmiştir (Schildgen ve ark 2012, 2014).

Akarsu boyuna profil analizleri, SYM, akım yönü ve kümülatif akım değerleri, CBS ve Matlab yazılımları birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

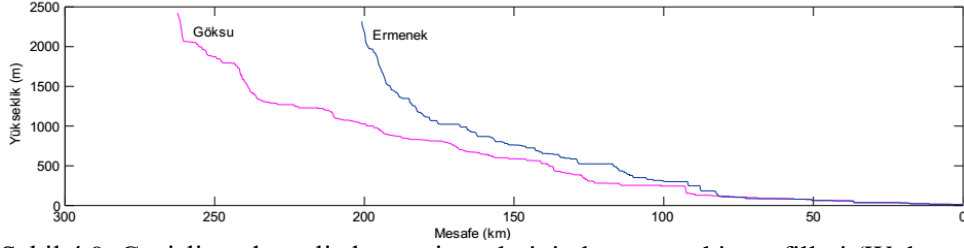
Akarsu kanallarının drenaj alanı ile yatak eğimi arasındaki ilişki üssel dağılım fonksiyonuna uygun davranış gösterdiği ilk olarak Flint (1974) tarafından eşitlik 4.2'de tanımlanmıştır. Buna göre;

$$S = k_s A^{-\theta} \quad (4.2)$$

Eşitlikte 4.2'de S, akarsu yatak eğimini, A akış yukarı drenaj alanı, k_s ve θ ise sırasıyla diklik (steepness) ve konkavite indeksleri olarak tanımlanmaktadır.

Bu jeomorfik indisler, havza morfolojisi, kaya kütlelerinin dayanımı, akarsuyun hidrolik geometrisine bağlı olarak değişmektedir (Montgomery ve ark 1996 ve Wobus ve ark 2006). Bu değerler A ve S'in regresyon analizinden direkt olarak ölçülebilmekte ve çoğunlukla log-log çizelgesi üzerinde ilgili trendlerce belirlenmektedir (Şekil 4.9). Göksu nehri temel birimlerin bulunduğu jeolojik alanlarda 2300 m yüksekliklerde başlamakta ve Neojen örtü birimlerinin

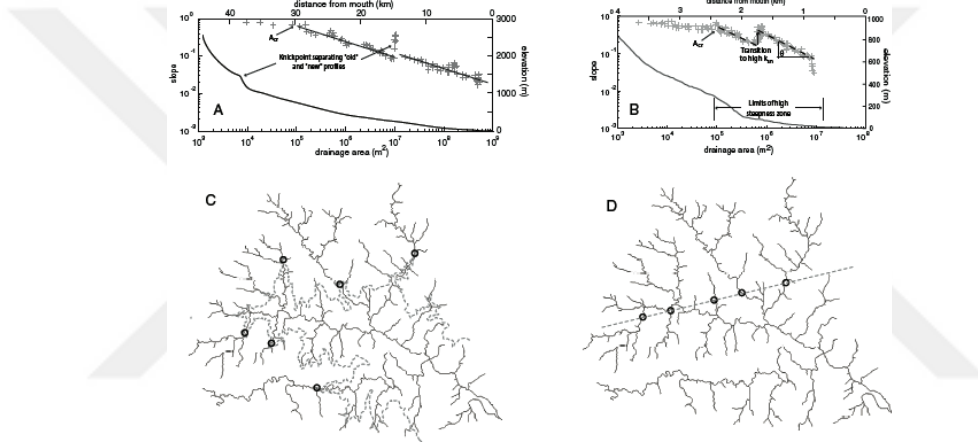
bulunduğu bölgelerde 1300 m kotlarına düşmektedir. Ermenek Nehrinde ise Neojen örtü birimleri 1000 m'lik kotlarda başlamaktadır.



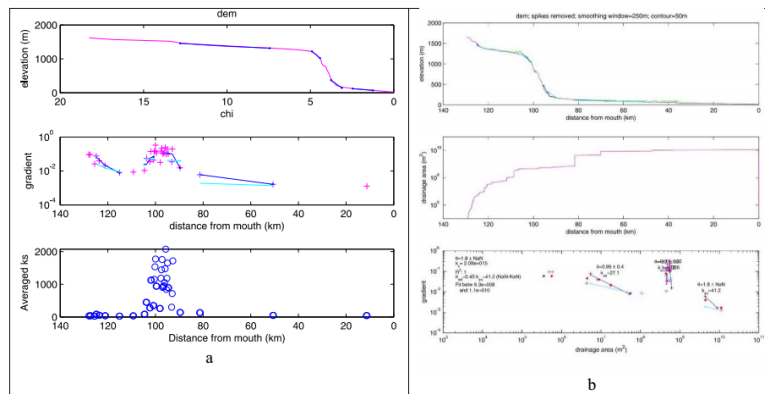
Şekil 4.9. Geçişli ve dengeli akarsu sistemlerinin boyuna nehir profilleri (Wobus ve ark., 2006).

Litolojik farklılıklar, akarsu rejimi veya fay gibi tektonik etkiler konkavite ve diklik indeksi ile ayırt edilebilmektedir. Normalize Diklik indeksi, karşılaştırma standard sağlaması bakımından sabit bir referans Konkavite Değeri alınarak ($\theta_{ref}=0.45$), hesaplanmaktadır (Snyder ve ark., 2006; Wobus ve ark., 2003, 2006). θ_{ref} diklik indekslerinin birbiriyle ilişkili olmasından dolayı, ayırt etmede önemli rol oynar. Normalize edilmiş diklik indeksi tektonik olarak göreceli yükselme hızlarının veya rejim değişikliği ile ilişkili akarsu yarıma hızlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Şekil 4.10). Şekil 4.10a'da geçişli nehir sistemine ait akarsu profili üzerindeki basamaklı yapının eski ve yeni akış rejimi görülmektedir. Şekil 4.10b'de ise nehrin, tektonik yükselmeye bağlı akarsu profili ve drenaj alanı akarsu gradyanı üzerindeki diklik ve konkavite değişimleri şematik olarak görülmektedir. Şekil 4.10c'de tektonik aktivitenin olmadığı ve doğrudan akarsu yarıma hızına bağlı geçişli rejim değişikliğine karşılık gelen diklik indeksi sabit bir yükseklikte tüm drenaj ağını etkilediği görülmektedir. Tektonik yükselmenin düşük ve yüksek olduğu taraflar tektonik hat boyunca akarsu boyuna profillerin de belirgin olarak diklik indeksi ile temsil edilmektedir (Şekil 4.10d). Akarsu boyuna profil analizleri ile kırılma noktalarına akarsu gradyanı ile drenaj alanları arasındaki ilişkiye baktığımızda, kırılma noktaları bariz litoloji

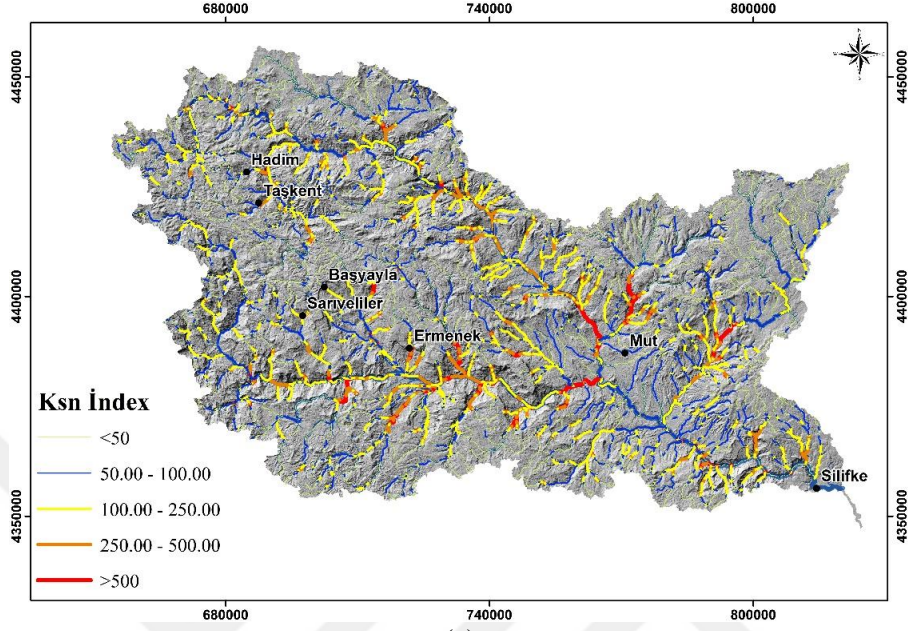
değişimlerine karşılık geldiği görülmektedir (Şekil 4.10). Şekil 4.11’de konkavite değerlerinin litoloji değişimlerine bağlı olarak ani kırılmalar gösterdiği görülmektedir. Ksn index haritasına göre Göksu ve Ermenek havzalarındaki yüksek Ksn değerleri havza içlerinde Mut formasyonu ile Köşelerli formasyonlarının sınır bölgelerinde gözlenmiştir. Mut formasyonunun karstik yüzey şekillerine sahip, zayıf yüzey drenajının geliştiği kesimlerde ise düşük Ksn değerleri görülmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.10. Geçişli ve dengeli akarsu sistemlerinin boyuna nehir profilleri (a, b) ve harita (c, d) üzerinde gösterimi (Wobus ve ark., 2006).



Şekil 4.11. Göksu havzası boyunca konkavite indeks değeri (0.45 θ_{ref}) alınarak elde edilen Göksu nehrinin normalize diklik indeksi (Ksn) değeri.



(a)



(b)

Şekil 4.12. Göksu nehri ve yan kollarının Normalize edilmiş diklik indeksi (Ksn) haritası (a) ve Mut kuzeyinde litoloji değişimine bağlı Ksn değerlerinin dağılımının yakından görünümü (b).

4.2. Göksu Havzası Çevresel Değişkenleri

4.2.1. Göksu Havza Jeolojisi

Göksu havzası yukarı kesimlerinde, Devoniyen-Eosen zaman aralığında Torosların farklı tektonik dilimlerine ait temel birimler bulunmaktadır (Şekil 4.13). Neojen öncesine ait bu birimler havzanın % 42.71'ini oluşturmaktadır. Göksu havzası orta ve alt seviyelerinde Neojen Mut havzasına ait birimler yüzeylemektedir.

Havzada en yaşlı birim olarak Taşkent tektonik birimine ait, oldukça sınırlı alanlarda yüzeyleyen, Gümüşali formasyonu bulunmaktadır (Şekil 4.14a). Formasyon başlıca kumlu kireçtaşı, şeyl, silttaşı, kumtaşı ve resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Karbonifer yaşlı Kongul Formasyonu, Aladağ tektonik dilimine ait birimlerden birini oluşturmaktadır (Şekil 4.14b). Rekristalize kireçtaşı, metaşeyl, metakumtaşı ve kuvarsitten oluşmaktadır (Keskin ve ark. 2018). Havzada % 9.42'lik alansal büyüklüğe sahip olup, Hadim ve Taşkent ilçeleri arasında görülmektedir. Üst Permiyen yaşlı Taşkent Formasyonu, Özgül ve ark. (1976) Bolkardağı birliği olarak tanımladıkları Sinatdağı Napı'na ait bir birimdir. Bolkardağı birliği, Devoniyen-Geç Kretase aralığında gelişen kaya birimlerini kapsamaktadır. Diğer birliklerden farklı olarak kısmen metamorfizma geçirmiştir (Şenel ve ark. 2016). Taşkent formasyonu, genellikle bol forominiferli ve algli kireçtaşlarından ve kalkışistlerden oluşmaktadır (Şekil 4.14c). Ermenek güneyinde görülen Hadim napı Ermenek dilimine ait Altınlı Formasyonu Orta-Üst Triyas yaşlı koyu gri renkli şeyl ve çörtlü, radyolaryalı kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır.

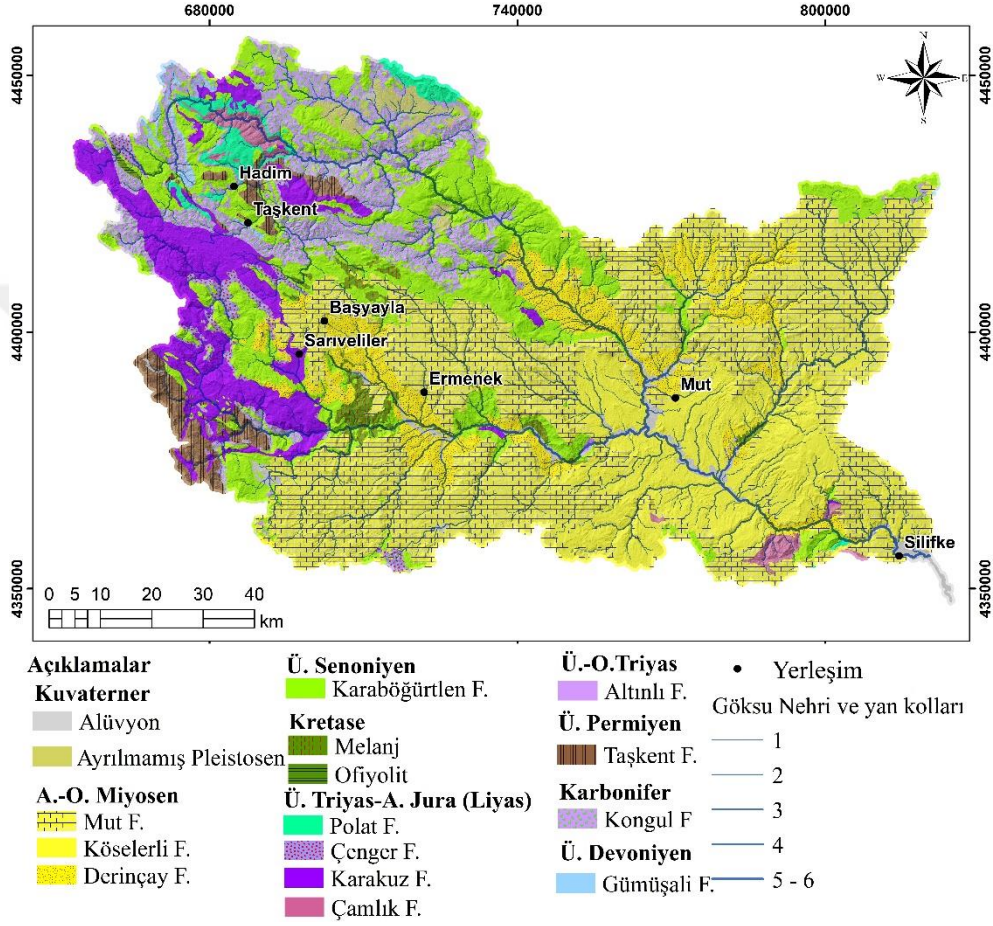
Üst Triyas Alt Jura yaşlı Çamlık formasyonu, Aladağ Tektonik Birliğine ait bir birimdir. Çamlık formasyonu, platform tipi karbonatların çökeldiği sığ ve sakin deniz shelf ortamında, Kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşından oluşan birimdir (Alan ve ark., 2016). Havzanın üst orta kesimlerinde küçük bir alanda görülmektedir. Shelf tipi kırıntılı ve karbonatlı kayaçları içeren allokton dilimlerden oluşan Hadim napı içerisinde tanımlanan Kartaldağı dilimine ait birimlerden olan Karakuz Formasyonu, genel olarak kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşmaktadır. Hadim Napı ile Anamas-Akseki otoktonu arasında ara zon niteliğinde ince bir

tektonik dilim olan Tavas (Eğrigöl) Napı'na ait Üst Triyas-Alt Jura yaşlı Çenger Formasyonu konglemera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır.

Anamas-Akseki Otoktonuna ait birimlerden biri olan Üst Triyas yaşlı Polat Formasyonu, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve ara seviyelerde görülen neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şenel ve ark., 2016a). Orta Toroslar'da Mersin kuzeybatısında yer alan Mersin ofiyoliti ilk kez Juteau (1980) tarafından Mersin Ofiyoliti olarak adlandırılmıştır. Kretase yaşlı Ofiyolit birimi, Göksu havzasında, çok küçük bir bölgede yüzeylenmektedir. Ofiyolitik melanj birimi, diyabaz daykları, radyolarit ve mafik volkaniklerden oluşmaktadır (İlgar ve ark., 2016). Polat formasyonu üzerine tektonik dokanaklı olarak yerleşmiş olup, Mesozoyik yaşlı Neotetis okyanusal kabuğunun dalma batmasına bağlı olarak gelişen Ofiyolit biriminden türeyen kayaçlardan oluşmaktadır (İlgar ve ark., 2016). Üst Senoniyen yaşlı Hadim napına ait olan Karaböğürtlen Formasyonu, kumtaşı, şeyl, kireçtaşı bloklu flišli konglemera içermektedir (Şenel ve ark., 2016b).

Göksu havzasında, Mesozoyik yaşlı birimlerin üzerine Mut havzasına ait birimlerden, çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve marnlardan oluşan Alt Miyosen Derinçay Formasyonu (Şekil 4.15a), Mut ilçesinin kuzeybatısında ve Göksu nehrinin doğusunda kuzeybatı-güneydoğu uzanımlıdır. Derinçay Formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Orta Miyosen yaşlı Mut Formasyonu (Şekil 4.15b), Orta Toroslar'da oldukça geniş alanlarda görülmektedir. Resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Göksu havzasında Mut Formasyonu yatay, yataya yakın konumludur. Mut Formasyonu, Derinçay Formasyonunun üst seviyelerini oluşturan çamurtaşları ve ince tabakalı kumtaşları ile uyumludur. Mut Formasyonu, birbiri ile yanal ve düşey geçişli karbonat platform çökelleri, resif çökelleri ve lagün çökelleri olmak üzere farklı çökeltme sistemleri içinde depolanmış kayaçlardan oluşmaktadır (İlgar ve ark., 2016). Mut formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olan Köseleli Formasyonu (Şekil 4.15c), kireçtaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Daha yaşlı birimler üzerinde transgresif aşmalı olarak görülür. Tüm birimler Kuvaterner birimleri tarafından uyumsuz olarak örtülür (Dalkılıç ve Balcı, 2009). Yamaç molozları ise yüksek eğimli temel kayaçların eteklerinde biriken tutturulmamış köşeli, az yuvarlak

blok, çakıl, kum, silt ve az miktarda kilden oluşan birikinti konileri ve yelpazeler şeklinde havzada yer yer yüzeylemektedir.



Şekil 4.13. Göksu havzasının jeoloji haritası (Dalkılıç ve Balcı 2009, Bilgiç, 2009, Ulu ve Balcı 2009, Alan ve ark., 2011, Alan ve ark., 2014a, b, Şenel ve ark., 2016a, Şenel ve Metin 2016b, Ilgar ve ark., 2016, Şenel ve ark., 2016'ya göre hazırlanmıştır).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.14. Gümüşali (a), Kongul (b), Taşkent (c) Formasyonları.



(a)



(b)



(c)

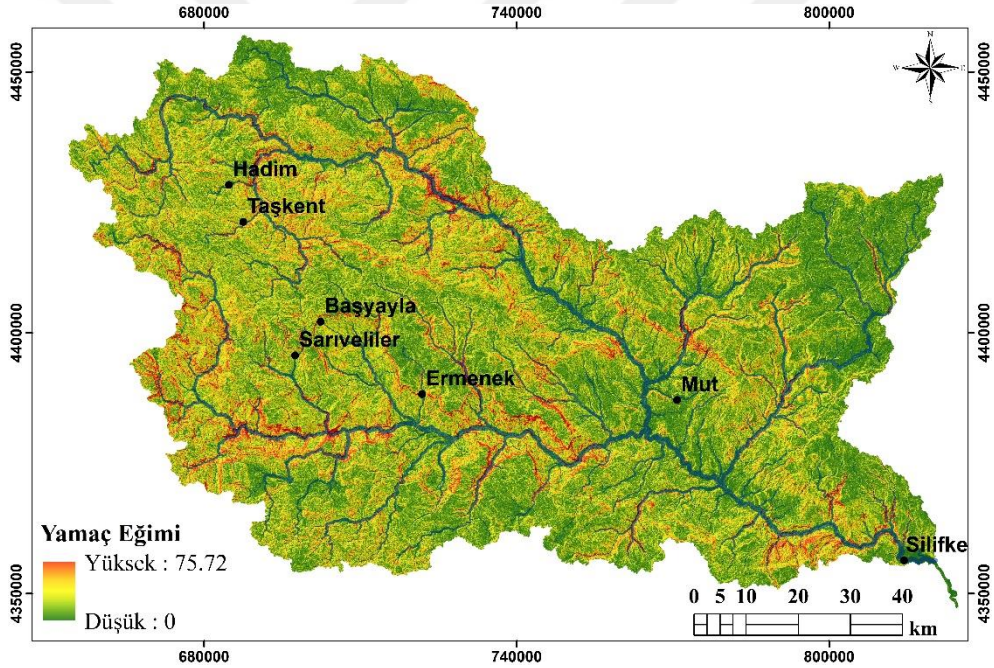
Şekil 4.15. Derinçay (a), Mut (b), Köşelerli (c) Formasyonları.

4.2.2. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli 104 topoğrafik haritaya ait 10 m aralıklar ile hazırlanan eşyüksekti eğrileri kullanılarak 10 m çözünürlükte SYM

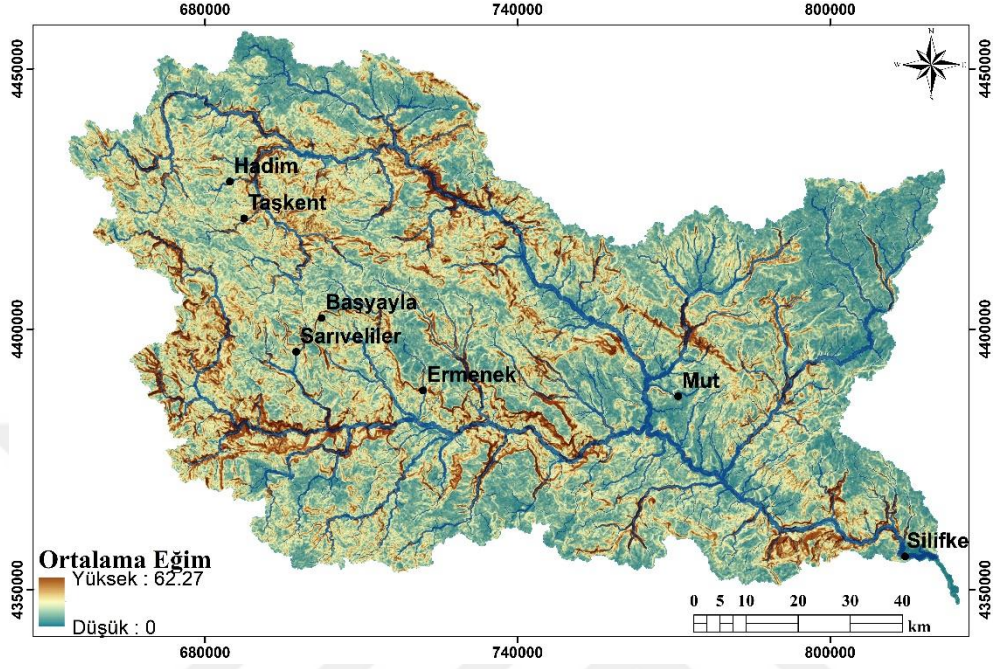
4.2.3. Sayısal Yükseklik Modeli Türev Haritaları

Sayısal yükseklik modelinin birincil türevlerinden bir tanesi olan yamaç eğimi, topografik dikliğin azalma yönünde yükseklik değerlerindeki değişim miktarının bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir (Gallant ve Wilson, 2000). Yamaç eğimi heyelan duraylılık değerlendirmelerinde en önemli ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Göksu nehri havzası yamaç eğimi değerleri, genel olarak vadi içlerinde yüksek değerler sunmakta olup, 72°'lik değerlere ulaşmaktadır (Şekil 4.17). Göksu nehri havzasının 10°'nin altındaki yamaç eğim değerleri % 40.97'lik alan kaplamaktadır.



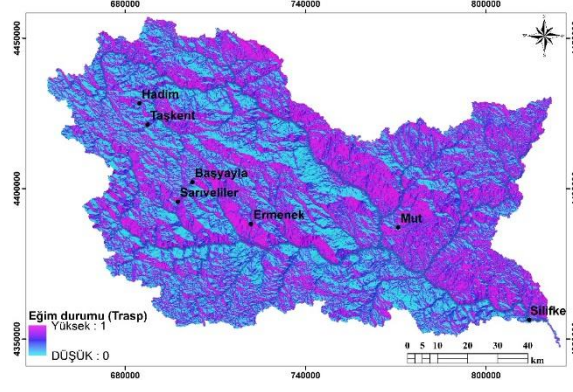
Şekil 4.17. Göksu havzası Yamaç Eğim Haritası.

Tanımlanmış bir pikselin komşu piksellere göre ortalama eğim değeri olarak tanımlanan ortalama eğim haritası 3x3'lük komşu piksellere göre elde edilmiştir (Şekil 4.18).

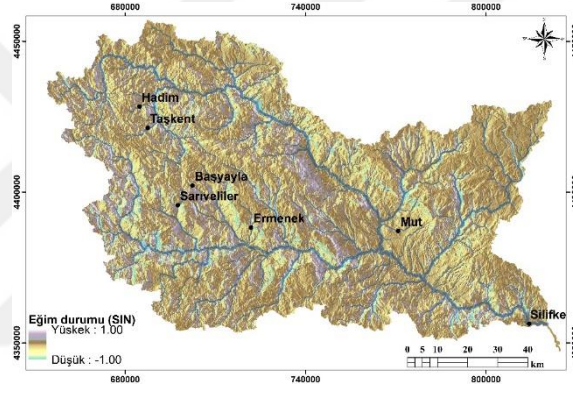


Şekil 4.18. Ortalama Eğim Haritası.

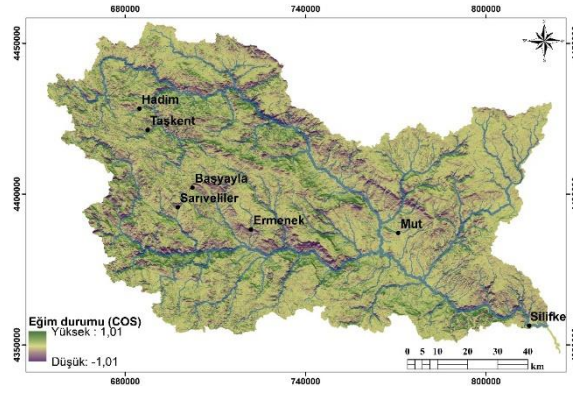
Yamaç eğiminin yamaç yönelimine oranlanması ile elde edilen eğim durumu (TRASP), (COS) ve (SIN) parametreleri (Stage, 1976) sırasıyla, bir pikselin yamaç eğimi değerinin komşu ve karşı pikseldeki yamaç yönelimine oranını sunmaktadır (Şekil 4.19).



(a)



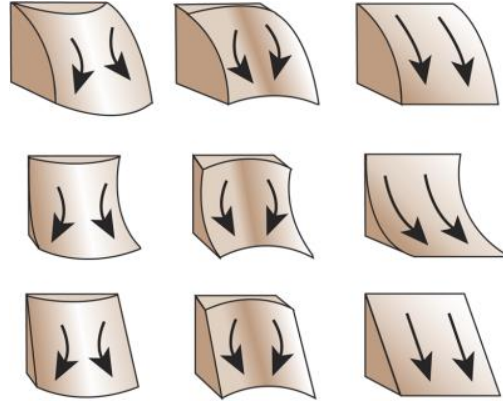
(b)



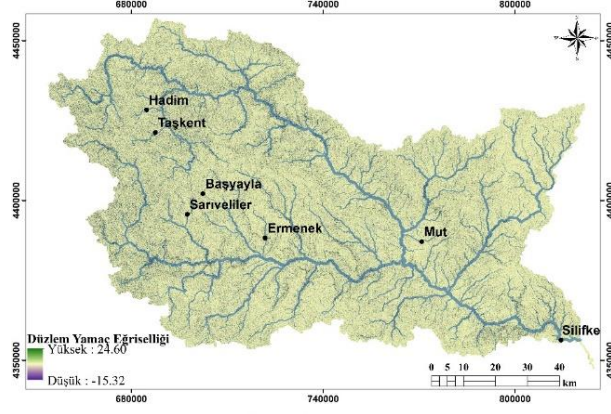
(c)

Şekil 4.19. TRASP (a), SIN (b) ve COS (c) eğim durumu haritaları.

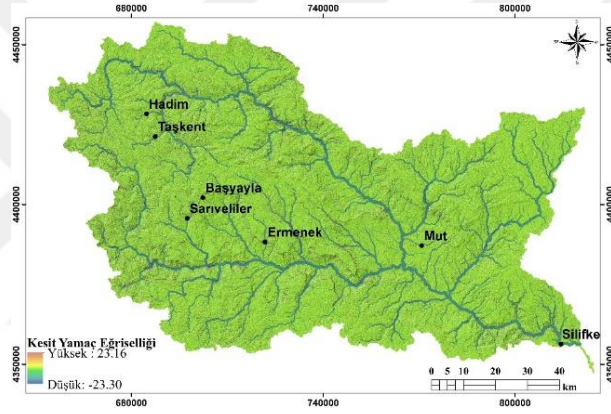
Düzlem yamaç eğriselliği, dikey düzlemde eğim yönüne paralel eğrisellik olarak tanımlanabilir (Wilson ve Gallant, 2000). Düzlem yamaç eğriselliği; suyun yüzeydeki akış hızı ve sedimentlerin yamaç boyunca taşınımı ve böylece gelişen erozyonu, eğim değişim oranını ifade ederek ortaya koyar. Teğet yamaç eğriselliği ise yatay düzlemle yüzeyin kesişimiyle ortaya konur, belli konturlar boyunca yönelim oranı olarak da ifade edilebilir (Wilson ve Gallant, 2000). Kesitsel yamaç eğriselliği 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 (Şekil 4.20). Bunlardan birincisi kesit diğeri ise düzlem yamaç şekilleridir. Düzlem yamaç şekli (Şekil 21a), belirli bir yükseklik boyunca (eş yükselti eğrisi) yamaç yöneliminin değişim oranı olarak tanımlanmaktadır. Kesit yamaç şekli (Şekil 21b) 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 teğetsel eğrilik (Şekil 21c) olarak tanımlanmaktadır (Huggett ve Cheesman, 2002).



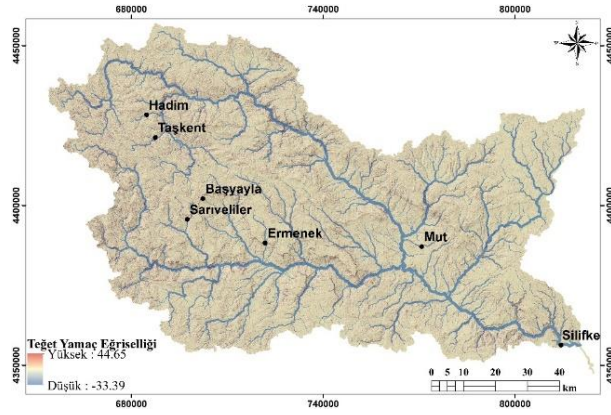
Şekil 4.20. İç bükey ve dış bükey yamaç eğriselliklerine göre yüzey su akışının sematik gösterimi (Buckley 2010'den).



(a)



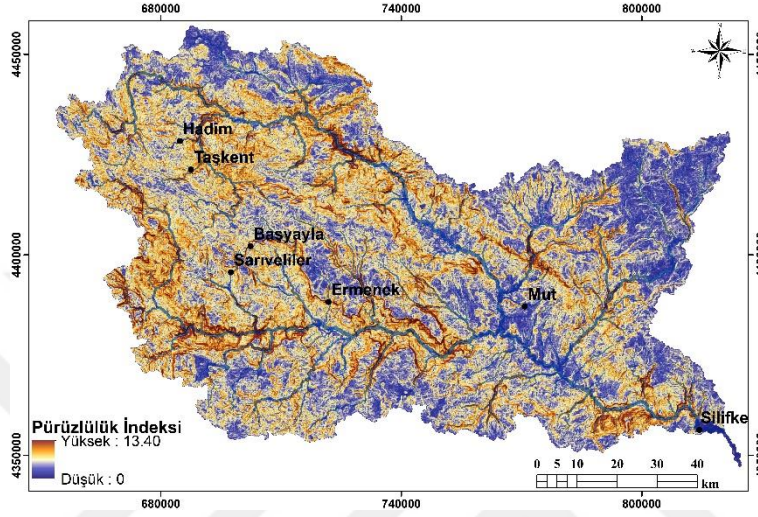
(b)



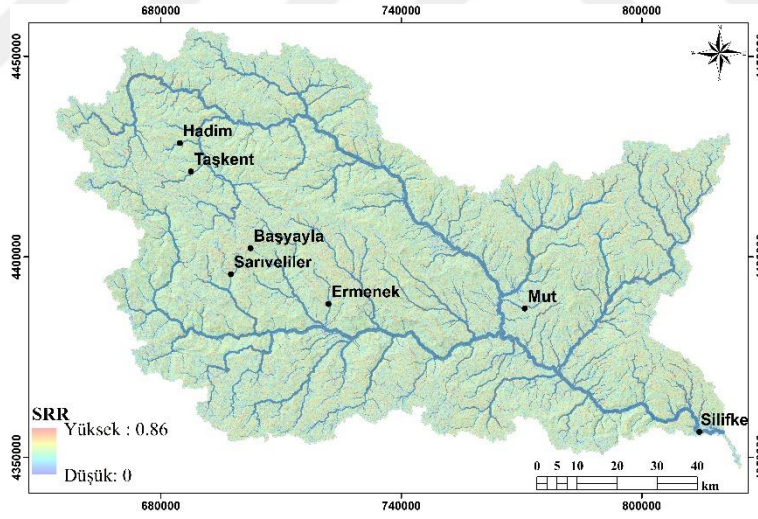
(c)

Şekil 4.21. Düzlem (a), Kesit (b), Teğetsel (c) yamaç eğrisellikleri.

düşük yükseklik değerinin çıkarılmasının en yüksek, en düşük yükseklik farkına oranlanmasıyla elde edilmiştir. (Şekil 4. 23b).



(a)

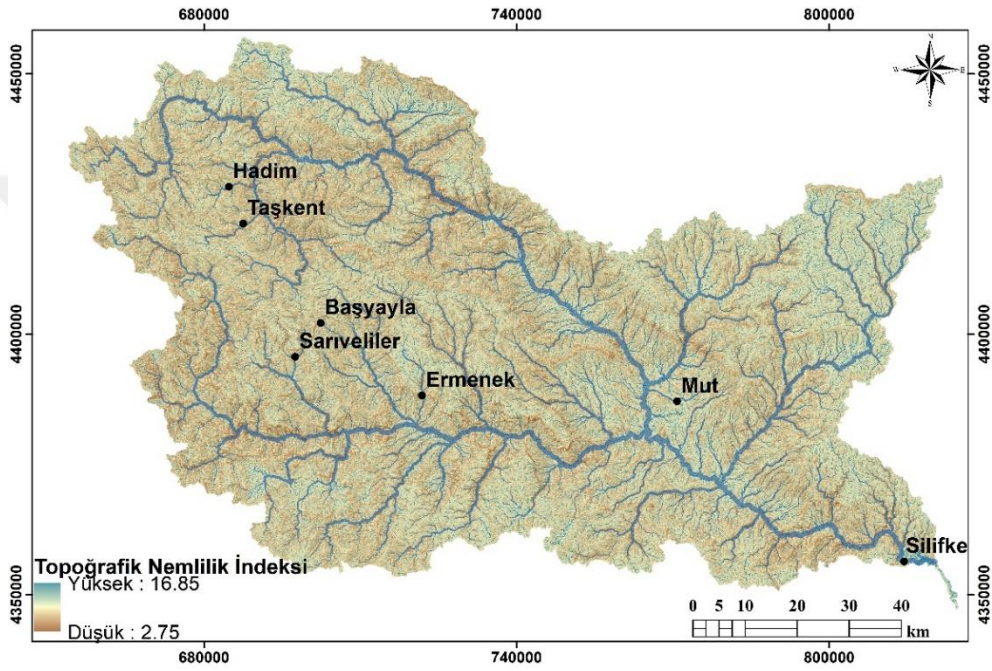


(b)

Şekil 4.23. Pürüzlülük (a), SRR(b) indeksi.

Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) yüzeysel akış potansiyeline sahip suya doymun alanların topoğrafik lokasyon ve boyutlarını ifade etmekte yaygın şekilde

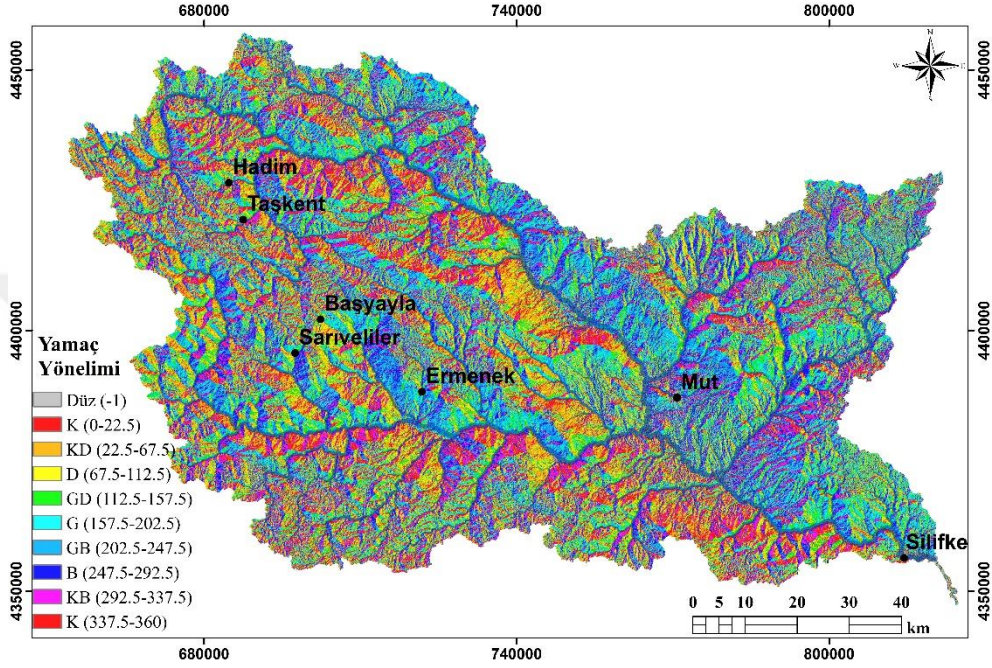
kullanılmaktadır (Moore ve ark., 1991). Bu yaklaşım ilk kez Beven ve Kirkby (1979) tarafından önerilmiş ve zaman içerisinde geliştirilerek Barling (1992) tarafından geliştirilmiştir. SYM temel alınarak Göksu havzasına ait topoğrafik nemlilik indeksi şekil 4.24’de görülmektedir.



Şekil 4.24. Topoğrafik Nemlilik İndeksi.

Yamaç yönelimi, yamaç eğiminin azalan doğrultusunun kuzeyle yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.25). Genel olarak heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasının nedenlerini, sahanın genel morfolojik eğiminin yanı sıra, özellikle bölgesel 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 ulaşmaktadır. Bu olayın daha yoğun yağış alan yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirebilmesi mümkündür (Ercanoğlu, 2004).

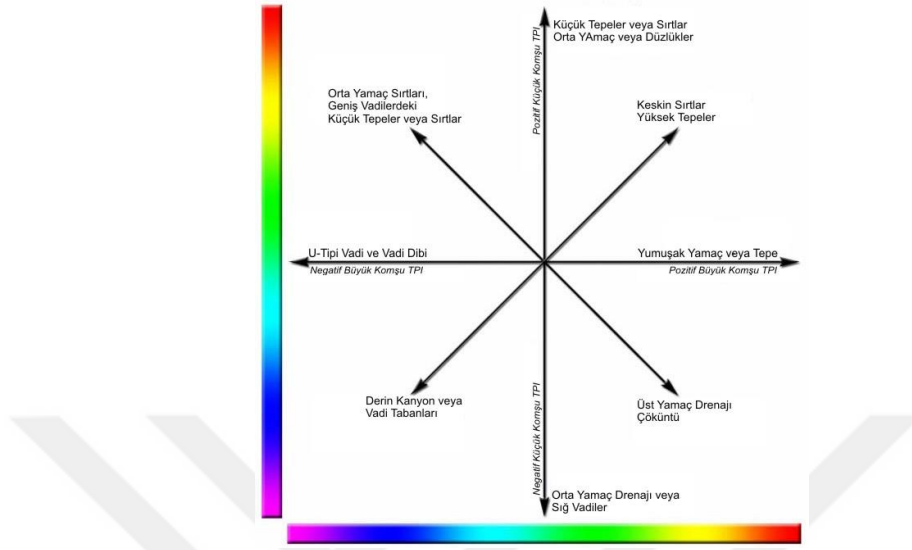


Şekil 4.25. Yamaç Yönelimi haritası.

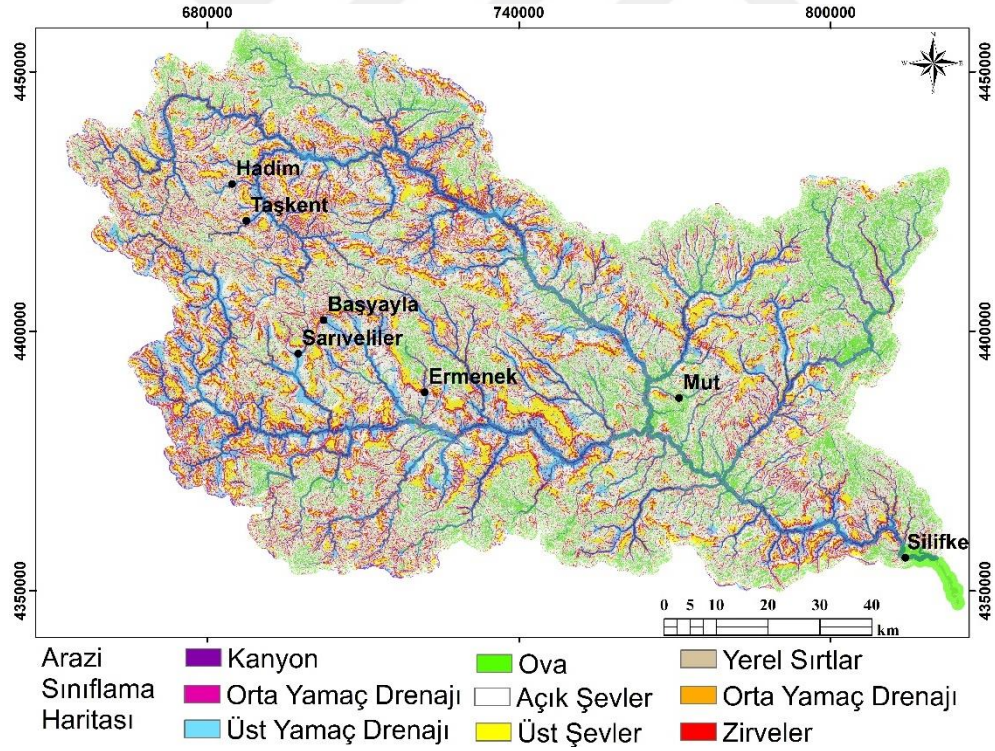
Nehir aşındırma gücü indeksi (SPI) vadi içlerinde oluşabilecek yatak erozyonunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu parametrenin hesaplanmasında akımın (q) harita birim alanları ile orantılı olduğu öngörülmektedir (Moore ve ark., 1991). Nehir aşındırma indeksi erozyonal süreçleri kontrol eden ana faktörlerden biri olup heyelan oluşumunu etkili olan parametrelerden de birisidir ve eşitlik 4.3'deki gibi hesaplanmaktadır. Çalışma alanının nehir aşındırma gücü haritası şekil 4.26'de verilmiştir.

$$SPI = (A_s \times \tan \beta) \quad (4.3)$$

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

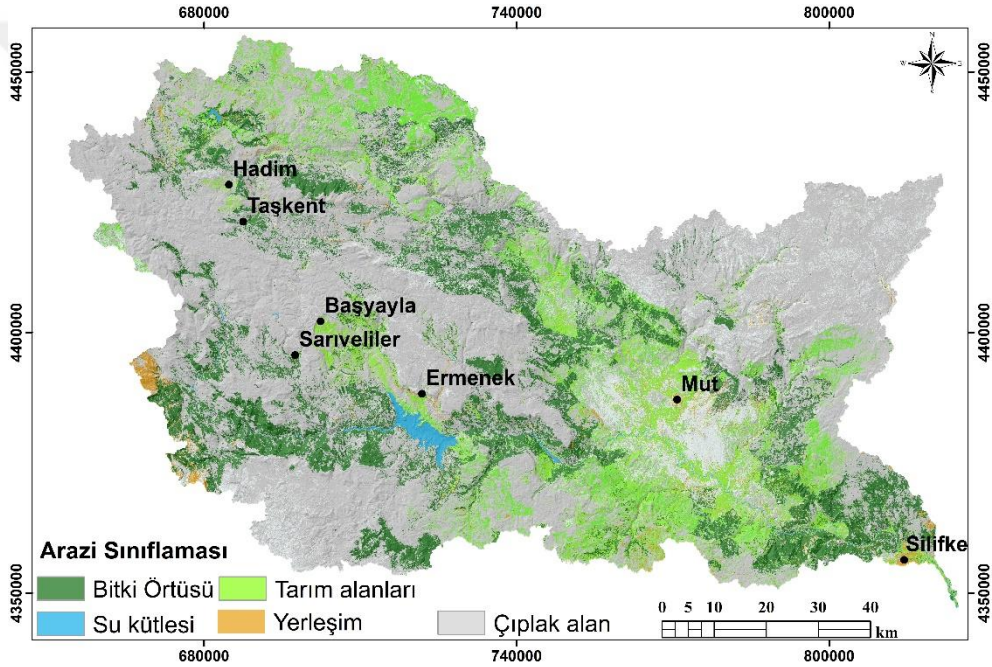


Şekil 4.27. TPI'nin morfolojik sınıflara göre değişimi (Weiss, 2001).



Şekil 4.28. Arazi Sınıflaması.

Göksu nehri havzası Landsat uydu görüntülerinde, 176-34, 176-35, 177-34 ve 177-35 nolu hatlara ait görüntülerin hemen hemen ortasında bulunmaktadır. Havzaya ait arazi kullanım haritası 25 Eylül 2018 Landsat uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında, Spektral Açık Haritalama yöntemi ile analizler yapılmıştır. Yapılan arazi sınıflamasında yerleşim, çıplak alanlar, tarım alanları, bitki örtüsü, yerleşim, çıplak alan olmak üzere 5 sınıfta değerlendirilmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Arazi Kullanımı.

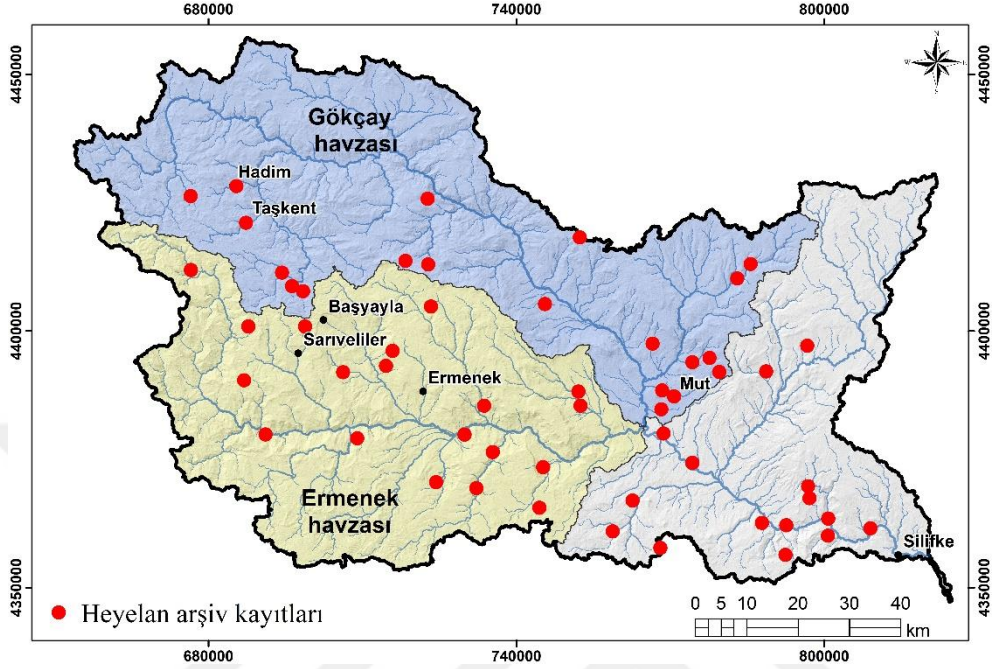
4.3. Göksu Havzası Heyelanları

Heyelan envanter haritaları tekil heyelanlarla ilgili tarihsel veri kayıtlarının derlenmesiyle ve/veya hava fotoğrafı ve arazi çalışmalarının birlikte gerçekleştirilmesiyle yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden birincisi heyelan arşiv envanteri, ikincisi ise heyelan kütesinin alansal dağılımını gösteren envanter haritalardır (Guzzetti ve ark., 1999). Heyelan envanter haritaları, belli bir

tetiklenme süreci ayırt edilmeksizin geçmişte oluşmuş ve yapıldığı tarih itibari ile morfolojilerini koruyan, tüm heyelanları gösteriyorsa “tarihsel heyelan envanteri” olarak isimlendirilmektedir. Aşırı yağış, kar erimesi ve deprem gibi belli bir tetikleyici faktör sonucu meydana gelen heyelanların gösterildiği haritalar ise “olay heyelan envanter” haritası olarak tanımlanmaktadır. Farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinden yararlanılarak üretilen envanter haritaları ise “çok zamanlı heyelan envanter” haritası olarak isimlendirilmektedir (Guzzetti ve ark., 2012). Aşağıda Göksu havzası arşiv ve tarihsel heyelan envanter haritaları verilmiştir.

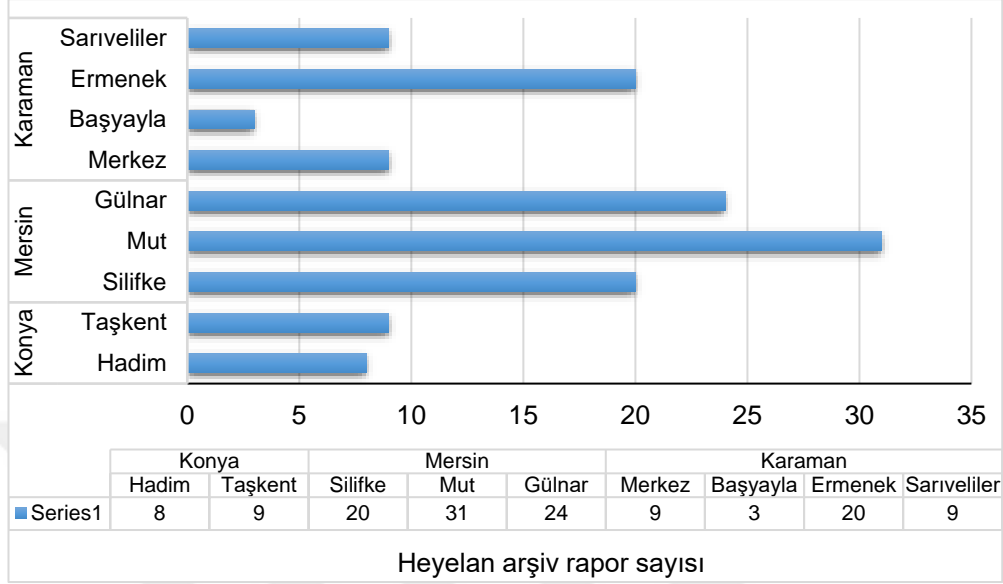
4.3.1. Göksu Havzası Arşiv Heyelan Envanteri

Heyelan arşiv envanteri, heyelanların meydana geldiği tarih ve heyelan sonucu meydana gelen kayıpların belirtildiği rapor ve belgelere dayalı yapılan çalışmalar olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanında ait heyelan arşiv kayıtları “Türkiye’de Afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı, afet bilgileri envanteri” veritabanı incelenerek değerlendirilmiştir. Söz konusu veri tabanı Gökçe ve ark., (2008) tarafından Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında doğal afetlerden etkilenen yerleşim birimlerini kapsamaktadır. 1955 - 2008 yılları arasında Göksu havzasında raporlanan 133 adet (Şekil 4.30, Şekil 31) heyelan olayı, toplam 998 tane etkili nakil gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.30. Heyelan arşiv kayıtları.

Konya ili Taşkent ilçesinde 1966 ve 1981 yıllarında yapılan raporlarda toplam 63, Hadim ilçesinde 1971 yılında 36, Mersin ili Silifke ilçesinde 1969 yılında 170, Mut ilçesinde 1969, 2001, 2002 tarihlerinde 144, Gülnar ilçesinde 270 etkili nakil gerçekleştirilmiştir. Arşiv kayıtlarında en çok etkili nakil gerçekleştirilmesine sebep olan heyelanların, 50'si Ermenek havzasında yer almakta olup toplamda 377 etkili nakil gerçekleştirilmiştir. Ağustos-Eylül 1964 aylarında gelişen aşırı yağışlardan dolayı oluşan heyelan sonucu 09/09/1964 tarihli raporda Mersin ili Gülnar ilçesinde Köseçobanlı köyünün tamamının nakil edilmesine karar verilmiş ve 108 konut vb., taşınmaz için nakil kararı çıkmıştır. Ocak-Şubat-Mart 1968 tarihinde gelişen yağışlardan kaynaklı ise Karaman ili Sarıveliler ilçesinde 59 etkili nakil gerçekleştirilmiştir. Gülnar ilçesi Gezende köyünde 03/02/1969 tarihinde 38 etkili nakil gerçekleştirilmiştir.



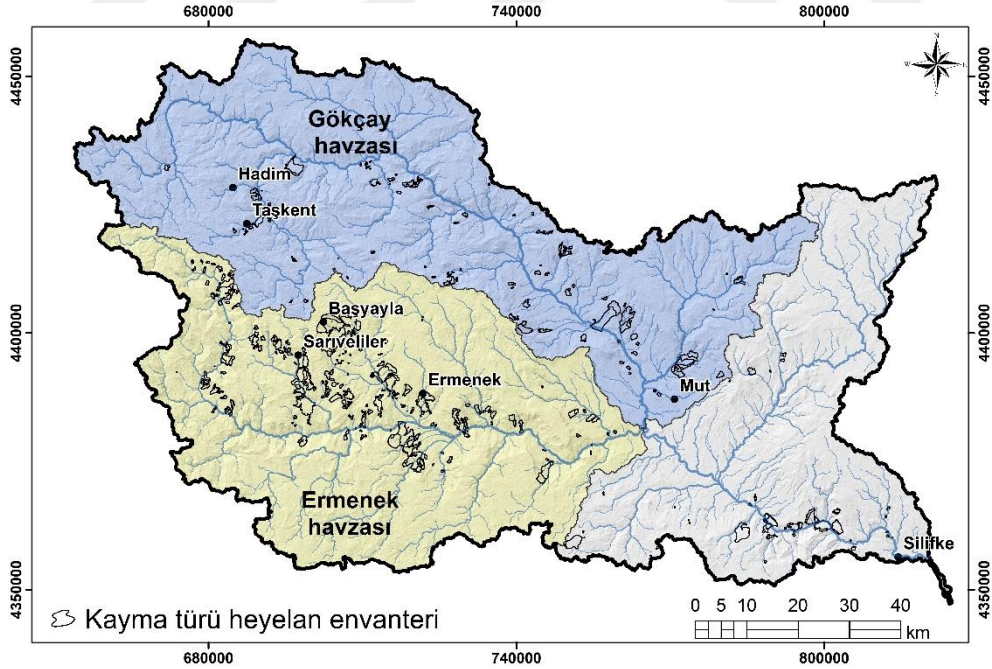
Şekil 4.31. İlçe bazlı kayıt sayıları (Gökçe ve ark., 2008).

4.3.2. Göksu Havzası Tarihsel Heyelan Envanteri

Tarihsel heyelan envanter haritaları, yapıldığı tarih itibariyle geçmişten günümüze haritalanabilir ölçekte yapılan haritalardır (Duman ve ark., 2011). Küçük ölçekli heyelanlar zaman içinde, çevresel faktörlerden dolayı morfolojilerini kaybettiklerinden, tarihsel envanter haritalarında gösterilememektedir. Heyelan envanter haritaları, heyelanların tiplerini, yerlerini ve biliniyorsa oluşum zamanlarının belirtildiği haritalardan oluşmaktadır. 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 ve ark., 2009). Havza genelinde kayma türü heyelanlar düzlemsel, dairesel türde görülmektedir. Havza genelinde özellikle Ermenek Havzasında kaya düşme türü heyelanlarda bulunmaktadır.

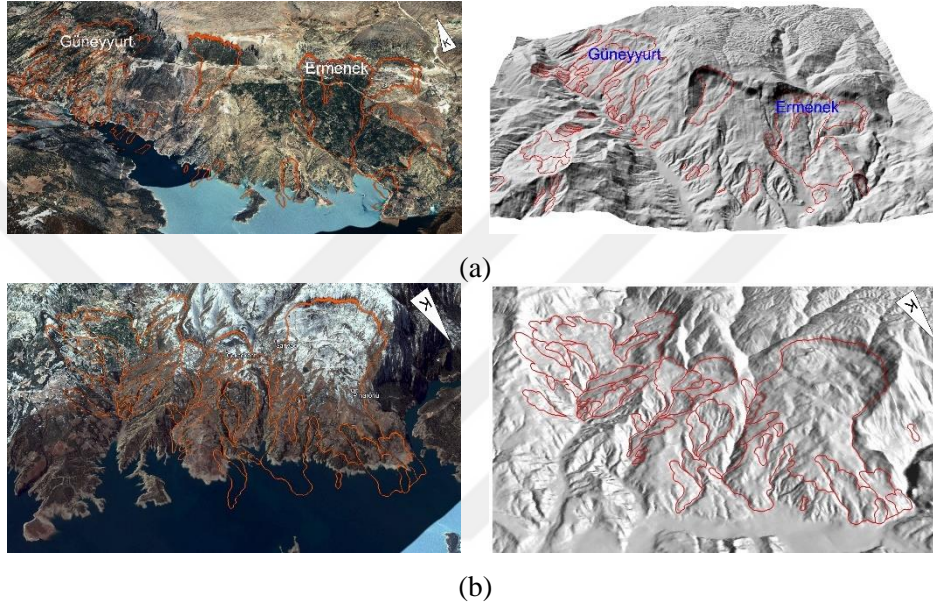
4.3.2.1. Kayma Türü Heyelan Envanter Haritası

Tarihsel heyelan envanter haritaları geçmişte oluşmuş ve yapıldığı tarih itibarı ile haritalanabilen tüm heyelanları gösterildiği heyelan envanter haritalarıdır. Tarihsel heyelan envanter haritaları özellikle sığ ve küçük ölçekli heyelanların çevresel ve fiziksel faktörlerin altında zamanla kaybolmasından dolayı bu tür heyelanları karakterize edememektedir. Çalışma alanına ait kayma türü heyelan envanteri, Duman ve ark., (2009d) tarafından Türkiye Heyelan Envanter haritası temel alınarak, farklı zamanlarda yapılan arazi çalışmaları ile güncellenmiştir. Göksu havzası heyelan haritasında 559 adet kayma türü heyelan haritalanmıştır (Şekil 4.32). Kayma türü heyelanların % 69.85'i; Alt Miyosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı, çamurtaşı ardalanmasından oluşan Derinçay Formasyonu, Orta-Üst Miyosen yaşlı yanal ve düşey geçişli olarak bulunan resifal kireçtaşı, killi kireçtaşı, mikritik kireçtaşından oluşan Mut Formasyonu ile killi kireçtaşı, marn, kumtaşından oluşan Köşelerli Formasyonunda yer almaktadır.



Şekil 4.32. Kayma Türü heyelan envanter haritaları.

Kayma türü heyelanlar Göksu havzası genelinde görülmektedir. Ermenek havzasında heyelanlar, Güneyyurt, Sarıveliler ve Başyayla ilçelerinde yoğunluk göstermektedir. Bazı büyük ölçekli heyelan kütlelerinin yayılma bölgeleri Ermenek baraj gölünün altında kalmaktadır (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Ermenek havzasında kayma türü heyelanların Ermenek barajı Kuzeybatı (a), Güneydoğu (b) yamaçlarının yakından görünümü.

Başyayla ilçesi Güzelyurt mahallesi, Sarıveliler ilçesi Çevrekayak mahallesinde gözlenen heyelanlar Şekil 4.34’de görülmektedir. Heyelanlar genel olarak, yanal ve düşey geçişli Miyosen kırıntılı ve karbonatlı birimlerden oluşan Mut, Derinçay ve Köşelerli formasyonlarında yaygın olarak gözlenmektedir. Mut-Ermenek karayolu çalışmaları sırasında eski bir heyelan kütlesi içinde yapılan kazı çalışmaları sonucu mevcut heyelanın bir bölümü tekrar aktivite kazanmıştır. Kayan heyelan kütlesi yol trafiğini kapatılmış olup, heyelanın önlenmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.35). Gökçay havzasında ise heyelanlar Miyosen yaşlı

çakıltaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı, çamurtaşı Derinçay formasyonunda görülmektedir.



Şekil 4.34. Başyayla ilçesi Güzelyurt mahallesi, Sarıveliler ilçesi Çevrekayak mahallesinde gözlenen heyelanlar.

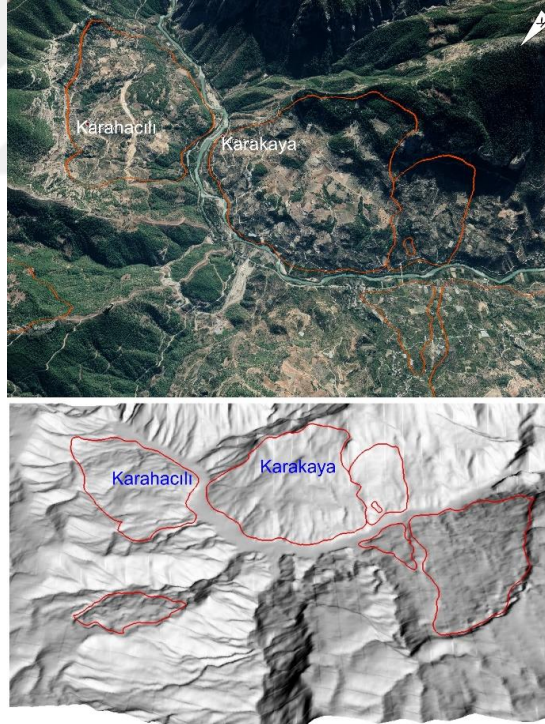


Şekil 4.35. Mut-Ermenek karayolunda gözlenen heyelanlar.

Göksu havzası alt kesimlerinde resifal karbonatlı kireçtaşlarının taban kesimlerindeki kayma türü heyelanlar gözlenmektedir. Özellikle Silifke, Karakaya, Dereköy bölgesinde derin heyelanlar bulunmaktadır (Şekil 4.36).



(a)

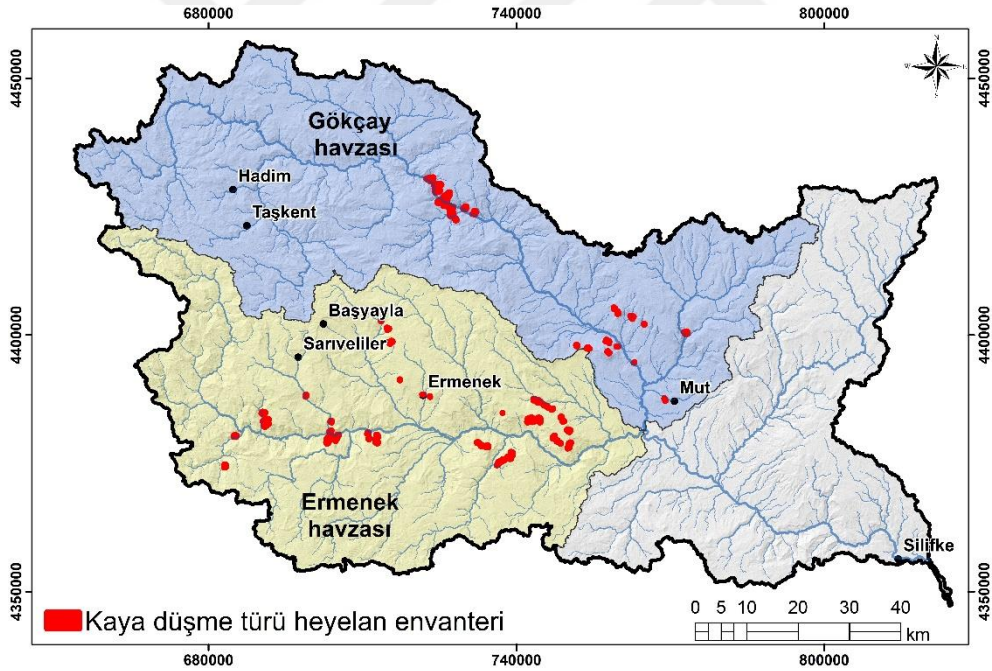


(b)

Şekil 4.36. Havzanın taban kesimlerinde yer alan Dereköy-Pamuklu arası (a), ve Karakaya (b) yerleşim birimlerinde gözlenen heyelanlara ait örnekler.

4.3.2.2. Kaya Düşme Heyelan Envanteri

Türkiye’de görülen kütle hareketlerinden biri olan kaya düşmesi arazinin engebeli ve eğimli, bitki örtüsünün seyrek olduğu yamaçlarda görülmekte olup zaman zaman can ve mal kayıplarına da yol açmaktadır. Ülkemiz’de kaya düşme türü heyelanlar için hazırlanan envanter haritası bulunmamaktadır. Göksu Nehri havzası genelinde, kaya düşme türü heyelan envanteri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, farklı tarihli Google Earth görüntüleri ve arazi çalışmaları ile hazırlanmıştır. 240 farklı bölgede de kaya düşmesi haritalanmıştır (Şekil 4.37). Havza genelinde kaya düşmeleri genellikle resifal karbonatların oluşturduğu dik yamaçlar boyunca gözlenmektedir. Kaya düşme olayları, havza genelinde 1000 m. ve üzerinde görülen Mut Formasyonunun resifal kireçtaşlarında gelişmektedir.



Şekil 4.37. Kaya düşme heyelan envanter haritası.

Ermenek havzasında kaya düşmeleri genel olarak, resifal nitelikli Mut formasyonunun kıltaşı-marn seviyelerin de yağışların tetiklemesiyle birlikte

ayrışması ve dolayısıyla fosilli kireçtaşı, kireçtaşı seviyelerinin serbest kalması ile gerçekleştiğini belirlenmiştir. Serbest kalan bu kaya bloklarının düzlemsel kayma şeklinde başlayan hareketi, topoğrafyanın dik olmasından (yüksek açılı) dolayı düşme şeklinde devam etmektedir (Tağa ve ark., 2009) Özellikle Ermenek ve Derinçay bölgelerinde kaya düşmelerine rastlanmaktadır (Şekil 4.38). Havzanın üst kesimlerinde vadi yarılımlarının neredeyse hiç gözlenmemiş olması sebebiyle kaya düşmelerinde rastlanmamıştır.



Şekil 4.38. Göksu havzası bazı kesimlerinde kaya düşme kaynak alanları.

4.4. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmeleri

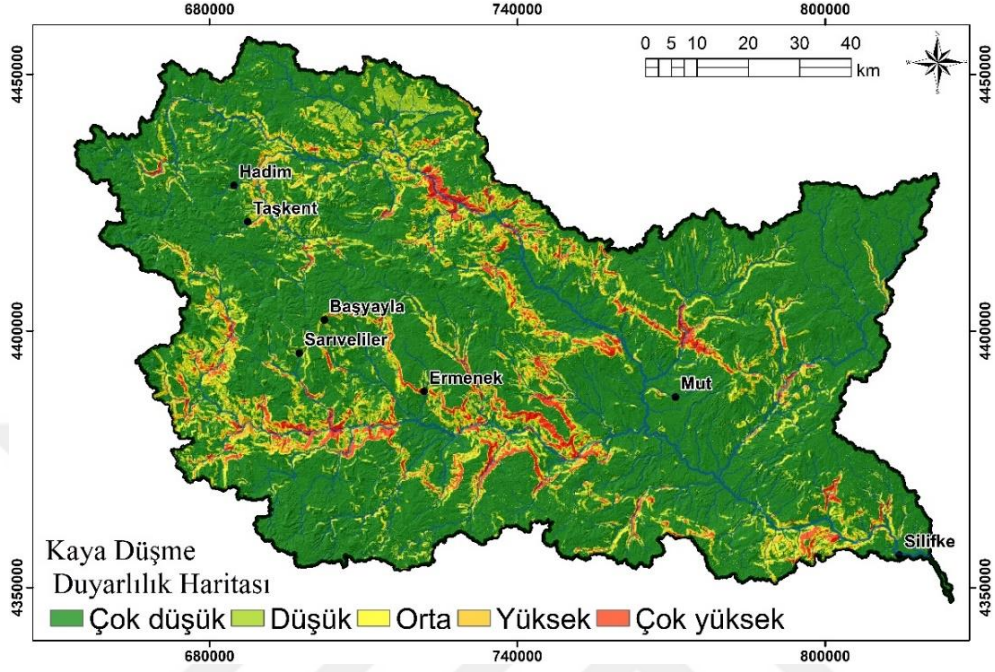
Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulmasıyla, heyelanların gelecekte nerelerde gerçekleşebileceğini gösteren mekansal olabilirlik değerlerinin gösterildiği haritalardır. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kütle hareketlerinin karmaşık yapısını ve bu hareketleri kontrol eden faktörlerin iyi bilinmesi gerekmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliği; kaliteli, doğru, kullanışlı veriye ve analizlerde kullanılacak yöntemin modellenmesinin iyi seçilmesine bağlıdır. Bu anlamda, heyelan duyarlılık haritaları, genel olarak heyelanları kontrol eden faktörlerin ve heyelanların dağılımı arasında ilişkileri ortaya koyarak üretilen haritalardır. Duyarlılık değerlendirmelerin hangi yöntemlerle yapılacağı ve hangi tür heyelanlarda çalışılacağına göre değişiklik göstermektedir. Farklı türlerdeki heyelanların oluşum mekanizmalarındaki farklılıklar sebebiyle ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda göksu havzasında bulunan kayma ve kaya düşme türü heyelanlar ayrı ayrı değerlendirilerek farklı yöntem ve teknikler ile analiz edilmiştir.

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, olası tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılan önemli altlık haritalardan biridir birini oluşturmaktadır. Heyelanların gelecekte nerede meydana gelebileceğini gösteren heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, farklı teknik ve yaklaşımlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada yapay sinir ağları, karar ağaç ve mantıksal regresyon yöntemleri ile 100 x 100 haritalama ünitesi kullanılarak duyarlılık çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

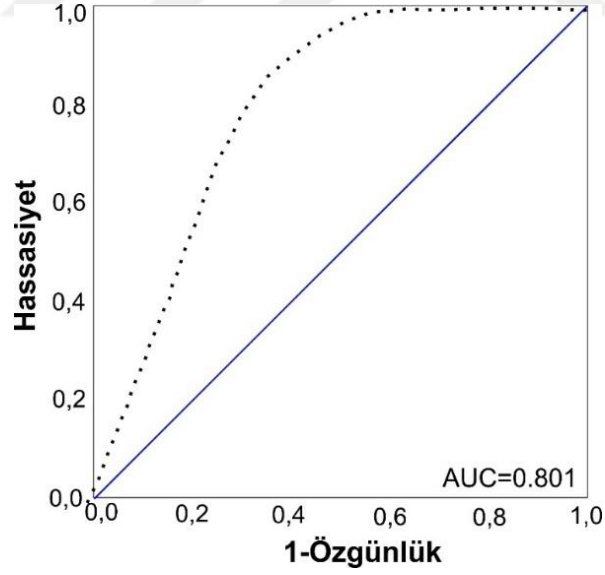
4.4.1. Kaya Düşme Türü Duyarlılık Değerlendirmesi

MaxEnt yaklaşımı ile Göksu havzasında sınırlı sayıda haritalandırılan kaya düşme kaynak zonları için potansiyel alanlar belirlenmiştir. Havzada resifal kireçtaşlarından oluşan Mut formasyonu, başlıca marn ve killi kireçtaşlarından oluşan Kösellerli formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Bölgede birkaç on metreden 300 m'yi aşan dik şevler oluşturan Mut formasyonunun da kaya düşmesi

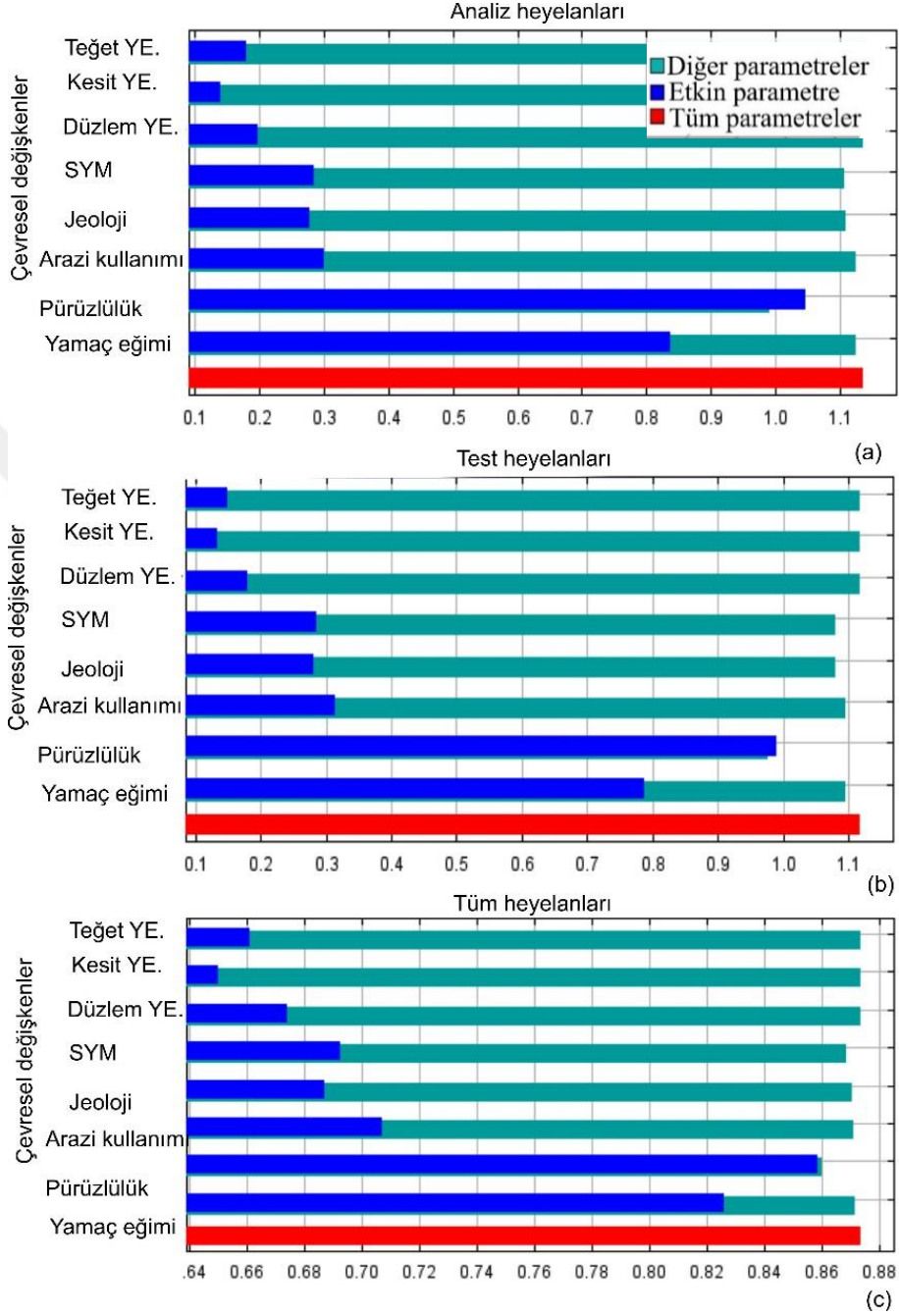
olayları oldukça fazla gözlenmektedir. Kaya düşmeleri, şev yüksekliği, yayılım mesafesi üzerinde mevcut yamaç eğimi ve blok boyutuna bağlı olarak bölgede yerleşim birimlerini ve ulaşım ağlarını zaman zaman tehdit etmektedir. Bu nedenle ilk aşamada bölgesel ölçekte kaya düşmesi kaynak alanlarının belirlenmesi önem taşımaktadır. Morfolojik olarak belirgin çevresel değişkenlerin kontrolü altında gelişen kaya düşme alanları değişik yüksekliğe sahip kaya şevlerinde sınırlı alanlarda haritalanmış ve sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, Kesit, Düzlem, Teğetsel yamaç eğrisellikleri, Jeoloji haritası, arazi kullanımı ve pürüzlülük indeksleri kullanılarak maksimum entropi yaklaşımı ile modellenmiştir. Modelin doğruluğu ve hassasiyeti alıcı işletim karakteristik eğrileri kullanılan değişkenlerin tahminleri hesaplamada yüzde olarak anlamlılığı ile değerlendirilmiş ve her bir parametrenin sonuç üzerindeki etkisini inceleyen Jacknife grafiği ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanında kesin olarak gözlenen kısmi kaya düşmeleri envanter verisinden yola çıkılarak, Göksu Nehri havzasında kaya düşme duyarlılık çalışması gerçekleştirilmiştir. Yüksek ve çok yüksek duyarlı kaya düşme potansiyeline sahip alanlar, çalışma alanının % 15'ine karşılık gelmektedir (Şekil 4.39). Alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan 0.801 olarak bulunmuştur (Şekil 4.40). Kullanılan parametreler ile kaya düşmeleri arasındaki model uyum grafiklerine göre çalışmada kullanılan çevresel değişkenlerin hepsinin kaya düşmelerinde etkin parametre olduğu görülmektedir (Şekil 4.41). Bölgede kaya düşmelerinin meydana geldiği tarihler ve tetikleyici faktörlere ilişkin bölgesel düzeyde veri bulunmadığından dolayı olası tehlike değerlendirmesi yapılamamıştır.



Şekil 4.39. Göksu havzası kaya düşme heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 4.40. Alıcı işletim karakteristik eğrisi.

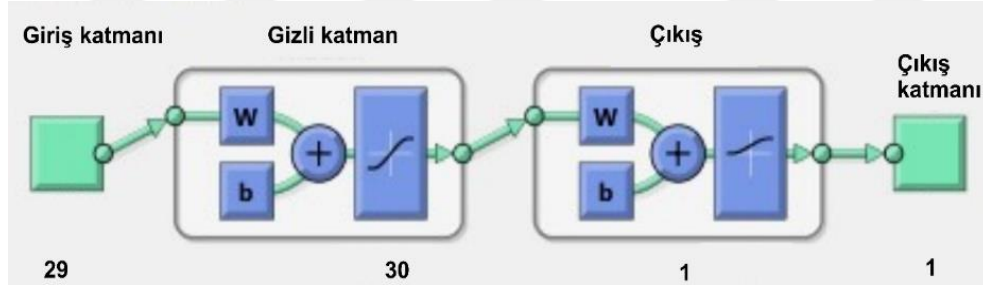


Şekil 4.41. Çevresel değişkenlerin kaya düşme duyarlılık sonucundaki etkileri, Jackknife Eğrisi.

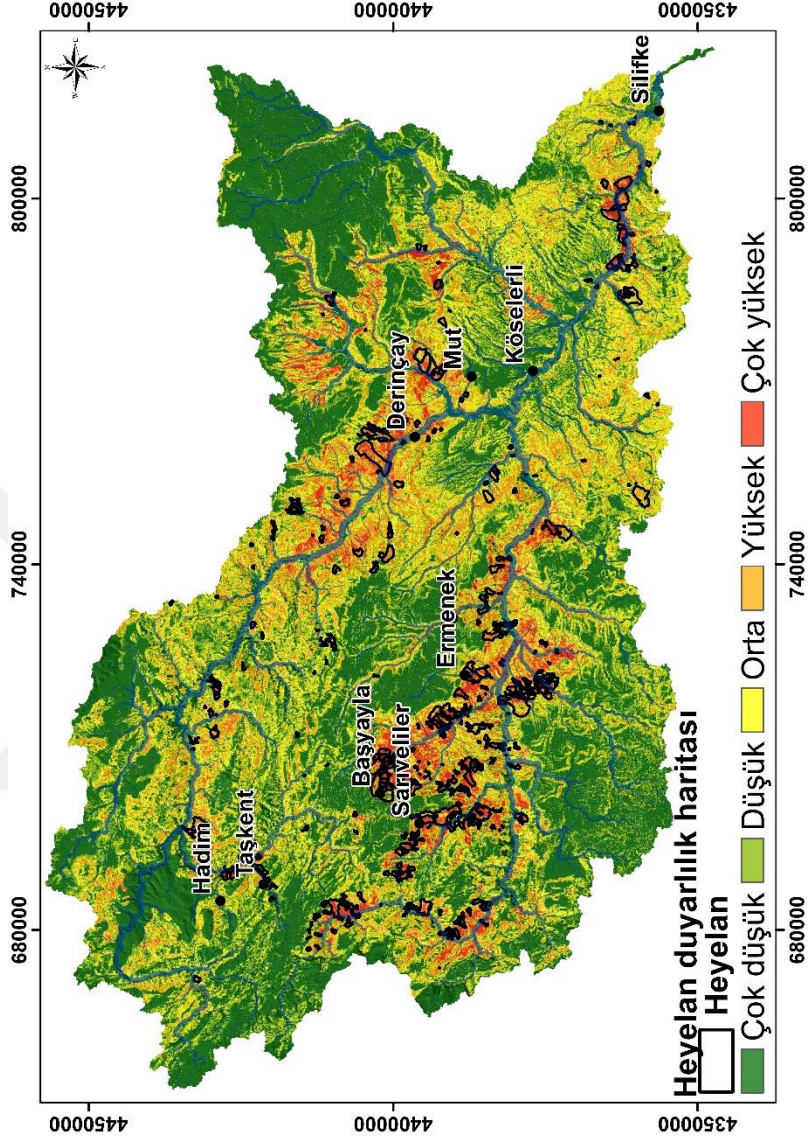
4.4.2. Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi

4.4.2.1. Yapay Sinir Ağları

Girdi ve çıktı katmanları arasındaki gizli katman sayısı modelin performansını doğrudan etkilemektedir (Basheer ve Hajmeer, 2000; Karsoliya, 2012). Bu çalışmada jeoloji haritasında yer alan 16 adet birime ilave olarak 13 adet sayısal yükseklik modeli ve türevinden üretilen çevresel değişkenler ile toplamda 30 adet YSA giriş katmanı oluşturulmuştur (Şekil 4.42). Göksu nehri havzası veriseti (1.119,474 piksel), % 70 analiz, % 15 test ve % 15'i doğrulama olmak üzere 3'e bölünmüştür. Karsoliya (2012) tarafından önerilen giriş katman sayısının üçte ikisi ile iki katı arasında değişen gizli katman sayıları denenmiş ve en iyi sonucun elde edildiği 30 gizli katman ile sonuç duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Eğitim algoritması geri yayımlı ölçeklendirilmiş eşlenik gradyan metodu ve log-sigmoid transfer fonksiyonu kullanılarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 4.43).

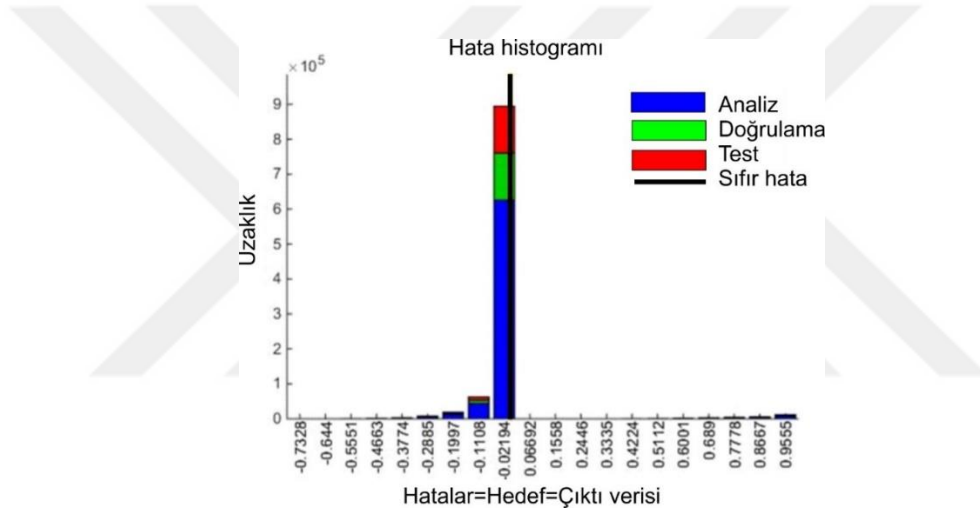


Şekil 4.42. İleri beslemeli yapay sinir ağı yapısı.



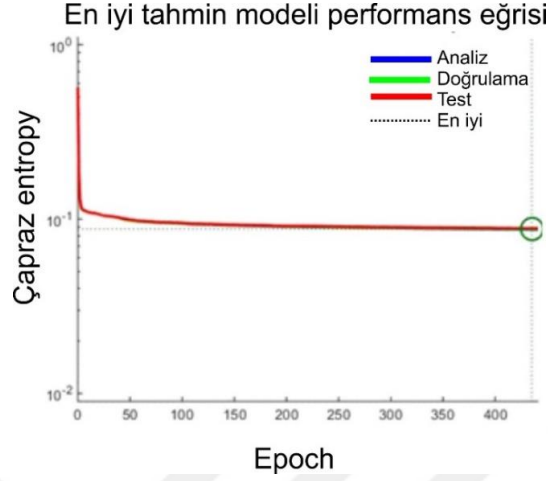
Şekil 4.43. Yapay sınırlar yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirilmesi.

Elde edilen heyelan duyarlılık haritası performans ve doğruluk değerlendirmeleri birçok farklı yöntem ile değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki olan hata histogramında, mavi çubuklar eğitim verilerini temsil etmektedir. Yeşil çubuklar doğrulama verilerini, kırmızı çubuklar ise test verilerini göstermektedir. Histogram, uyumsuzluğun veri yoğunluğundan önemli ölçüde daha kötü olduğu veri noktaları olan aykırı değerlerin bir göstergesidir. Göksu havzası için yapılan yapay sinir ağ modelinde hata histogramı sonucunda değişkenler ile heyelanlar arasında herhangi bir veri uyumsuzluğuna rastlanmamıştır (Şekil 4.44)



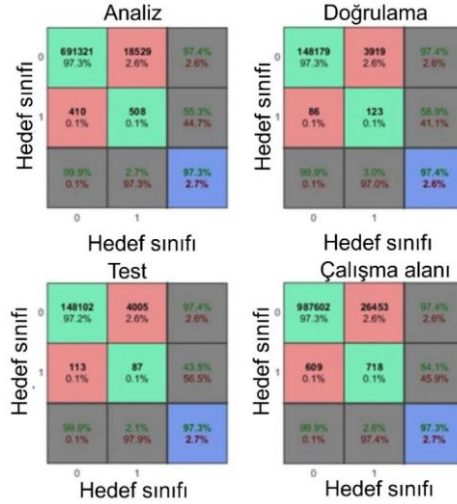
Şekil 4.44. Hata histogramı.

Modelde ortalama karekök hata değerini dikkate alarak çapraz-entropi performans fonksiyonu kullanılmıştır. Çapraz entropi kaybı veya log kaybı (log loss), çıkış katmanı 0 ile 1 arasında bir olasılık değeri olan bir sınıflandırma modelinin performansını ölçmekte ve YSA modelinde kullanılmaktadır. Tahmin edilen olasılık asıl değerden uzaklaştıkça çapraz entropi kaybı artmaktadır. Çapraz entropi ile yapılan performans değerlendirmesi, olasılık değeri olarak 0.087561 olarak model ağ mimarisinde hesaplanmıştır. Analiz, test setlerinde en güçlü olasılığı 435 nolu Epoch'da model yakalamıştır (Şekil 4. 45).



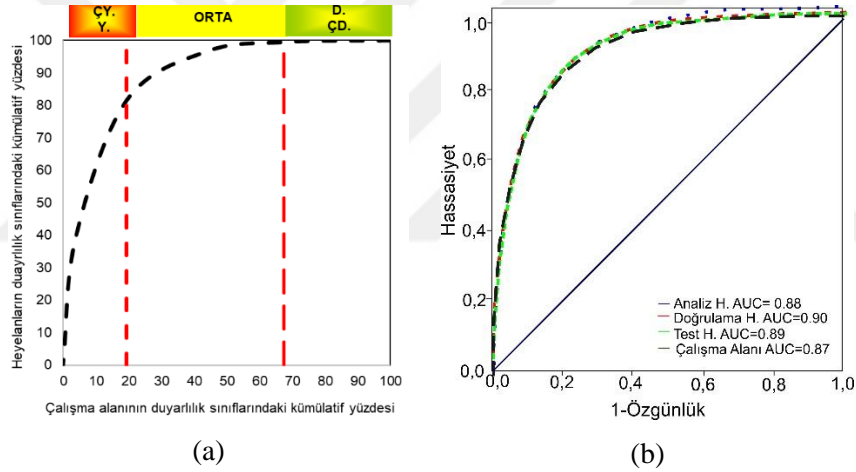
Şekil 4.45. Çapraz entropi model sonucu

Heyelan duyarlılık değerlendirmesi analiz, test, doğrulama ve çalışma alanında bulunan heyelanlı setlerin performans değerlendirmelerine bakıldığında, analiz heyelanlarının % 97.3, doğrulama heyelanlarının % 97.4, test heyelanlarının % 97.3 ve tüm çalışma alanında bulunan heyelanlarında % 97.3'ünün var verisi olarak modelde doğru tahmin edildiği görülmektedir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46. Analiz, doğrulama, test ve çalışma alanı tüm heyelanların model uyum iyiliği.

Matlab ve CBS birlikte kullanılarak gerçekleştirilen YSA yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının performans değerlendirmesi yukarı da bahsedilen yöntemler dışında başarı tahmin eğrileri ve alıcı işletim karakteristik eğrileriyle de değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Başarı-Tahmin eğrisine göre çalışma alanının % 19.38'i, heyelanların ise % 81.50'si yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır (Şekil 4.47a). Alıcı işletim karakteristik eğrisi ile elde edilen eğri altında kalan değeri analiz, test, doğrulama heyelanlarında ve tüm çalışma alanında sırasıyla 0.88, 0.89, 0.90 ve 0.87 olarak hesaplatılmıştır (Şekil 4.47b). Buda bize elde ettiğimiz modelin yüksek kestirim gücüne ve doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir.

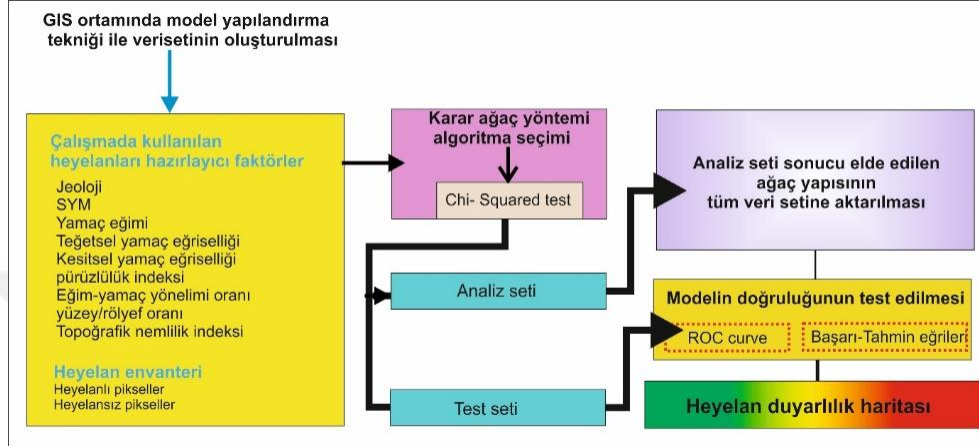


Şekil 4.47. YSA Başarı-Tahmin eğrisi (a), Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi (b).

4.4.2.2. Karar Ağaç Yöntemi

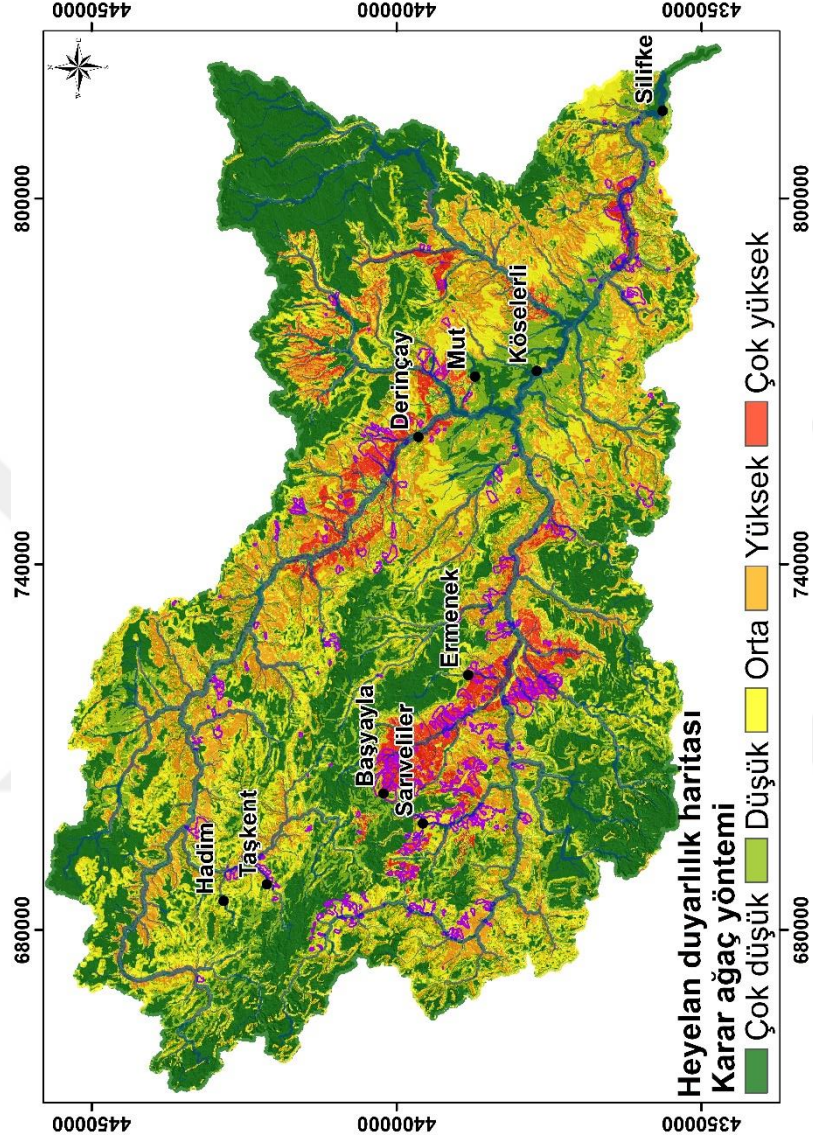
Bu çalışmada Karar Ağaç yönteminde bulunan farklı algoritmalarından biri olan, Ki-kare otomatik etkileşim dedektörü (CHAID) tercih edilmiştir (Şekil 4.48). CHAID algoritması, büyük ölçekli çalışma veri matrisleri için yapılacak yorumlamalarda ve veritabanları ile entegrasyon kolaylığı ile bir çok yöneme göre avantajlar sunmaktadır. Bir diğer avantajıda, birçok çapraz tablonun kullanılması

ve heyelanlar ile çevresel değişkenler arasındaki istatistiksel önem değerlerini ortaya çıkarmasıdır.

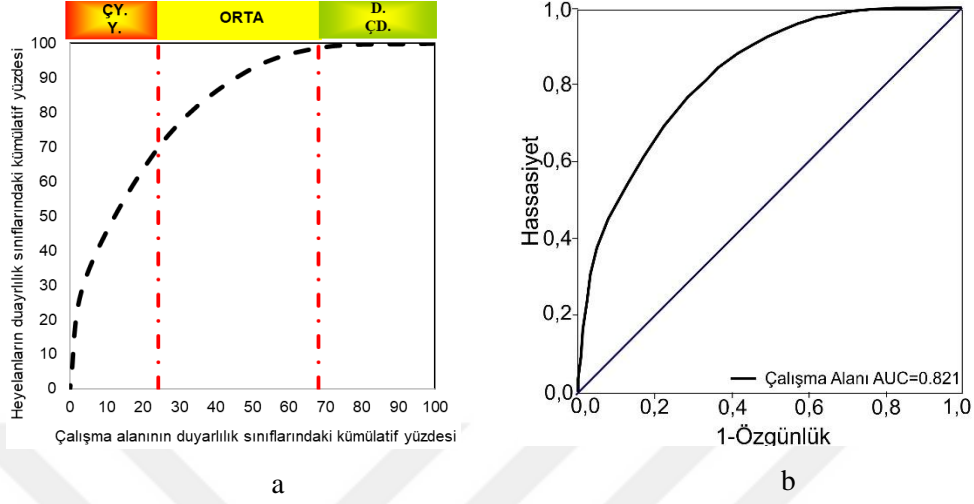


Şekil 4.48. Ki-kare otomatik etkileşim dedektörü ile karar ağaç yönteminin çalışma prensibi.

CHAID algoritması kullanılarak Göksu Nehri havzasının heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıfta değerlendirilmiştir (Şekil 4.49). Buna göre çalışma alanının % 24.24 'ü heyelanların ise yaklaşık % 72'si yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunmaktadır (Şekil 4.50a). Alıcı işletim karakteristik eğri altında kalan alan değeri 0.821 olarak bulunmuştur ve karar ağaç yöntemi ile elde edilen haritanın yüksek doğruluk sonucu gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.50b).



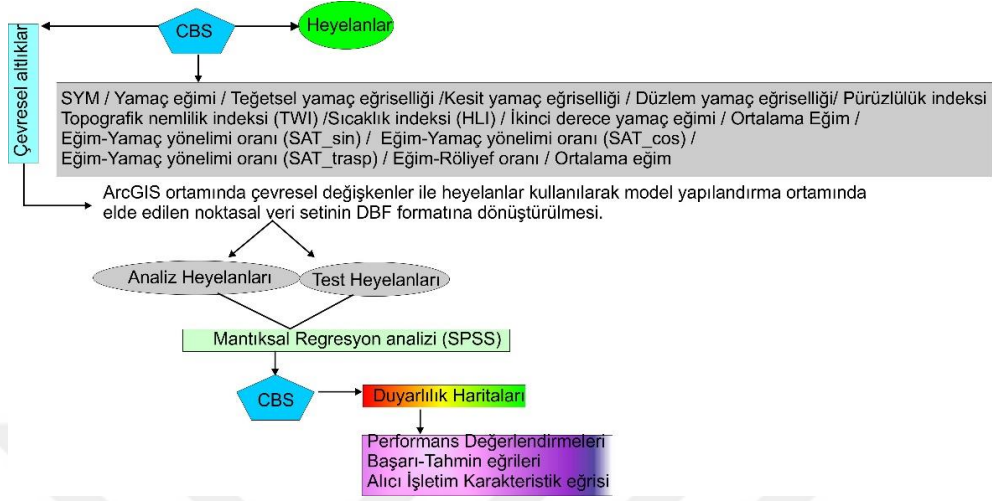
Şekil 4.49. Göksu havzası karar ağaç yöntemi ile Elde edilen heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 4.50. Karar ağaç yöntemi sonucu elde edilen duyarlılık haritasının, Başarı-Tahmin eğrisi (a), Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi (b).

4.4.2.3. Mantıksal Regresyon Yöntemi

Mantıksal regresyon analizlerinde Göksu Nehri havzasında, çevresel değişkenler ve heyelanlar temel alınarak model yapılandırma tekniği ile birlikte havza geneli için veriseti oluşturulmuştur (Şekil 4.51). Analizler 100 x 100 m.'lik mekansal çözünürlükte gerçekleştirildiği için tüm değişkenler ve altlık parametreleri standart bir çözünürlükte CBS ortamında hazırlanmıştır. Model yapılandırma, görsel bir modelleme dili olmasından ve karmaşık modellerinin oluşturulmasında sağladığı kolaylık sebebiyle mantıksal regresyon analizlerinde kullanılmıştır. Örnekleme komutu ile sürekli veriler çıkarım yapma eklentisi ile kategorik veriler birleştirilmiştir, bağımlı değişken olan heyelanlar birleştirme eklentisi ile birleştirilerek veri matrisi oluşturulmuştur. Mantıksal regresyon denklemi bir olayın olup olmaması koşulunu az çok eşit sayıda veri kullanıldığı zaman verimli sonuçlar vermektedir. Bu amaçla veri setinde heyelansız piksellerden rastgele seçim yöntemi kullanılarak seçim yapılmıştır ve böylece veri setleri oluşturularak istatistiksel analizler yapılmıştır.



Şekil 4.51. Mantıksal regresyon yönteminin tez kapsamındaki akış şeması.

Analizde kullanılan bağımlı değişken olan heyelanlar, 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 (Eşitlik 4.3). Bu $-\infty$ ile $+\infty$ eğrisini doğrusal hale çevirmek için lojit dönüşüm uygulanmaktadır (Eşitlik 4.4). Bu dönüşüm esasen P olasılık değerinin 0'a yaklaştığında durum olasılığı $-\infty$, 1'e yaklaştığında ise $+\infty$ 'a yaklaşmasıdır.

$$MR = \log \left[\frac{P_i}{1 - P_i} \right] = z_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (4.3)$$

$$P(Y = 1) = p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad (4.4)$$

4.4.2.3. (1). Mantıksal Regresyon Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritası

Tez kapsamında heyelan duyarlılık değerlendirmeleri mantıksal regresyon yöntemi ile de değerlendirilmiştir. Göksu havzası 1.119,474, heyelan envanteri ise 29.950 piksel ile temsil edilmektedir. Heyelan envanter haritasında bulunan her bir

heyelanın alansal büyüklüğü göz önünde bulundurularak heyelanların alansal dağılımına göre 3 farklı doğrulama ve analiz heyelanları seçilmiştir. %80'i (23.960 piksel) analiz olmak üzere 3 farklı analiz heyelan seti hazırlanmıştır.. Buna göre, analiz heyelanları sırasıyla 23.995, 25.230 ve 23.870 pikselden oluşmaktadır. Doğrulama heyelanları olan % 20'lik kısım ise sırasıyla 5.955, 4.720 ve 6.080 pikseller ile temsil edilmektedir. Göksu Nehri havzasında heyelansız bölgeler 1.089,525 pikselden oluşmaktadır. Rastgele seçim yöntemi ile heyelansız bölgelerden analiz ve test heyelanlı piksel sayıları kadar farklı seçim yapılarak 3 veri seti oluşturulmuş ve her biri için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. SPSS paket programında gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen denklemler Eş. 4.3 ve Eş. 4.4'e göre tüm çalışma alanına yaygınlaştırılmıştır.

Veriseti 1 için yapılan mantıksal regresyon analizine göre pürüzlülük indeksi, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), Derinçay formasyonunun B istatistik değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir (Çizelge 4.2). Veriseti 2 için yapılan mantıksal regresyon analizinde 23 değişkenin denkleme girdiği görülmektedir (Çizelge 4.3). Veriseti 3 için yapılan mantıksal regresyon analizinde 26 değişkenin denkleme girdiği görülmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.2. Veriseti 1 için mantıksal regresyon denklemine giren parametreler.

Değişken	Anlamlılık				
	B	Standart hata	Wald	df	Exp(B)
Dgü	-20.45	4152.45	0.00	1	0.00
Ck	-0.39	0.05	64.78	1	0.68
Tmd	1.84	0.04	2278.79	1	6.32
Trk	0.82	0.04	359.97	1	2.28
Tmk	-1.63	0.06	861.63	1	0.20
Of	0.55	0.09	39.91	1	1.73
Tra	-2.94	0.80	13.56	1	0.05
Tjc	-1.50	0.12	144.74	1	0.22
Jkp	-20.59	2101.26	0.00	1	0.00
Qpa	-20.12	2401.87	0.00	1	0.00
Trjc	1.49	0.08	368.46	1	4.44
Mof	-20.80	7576.64	0.00	1	0.00
Pt	-0.33	0.09	13.06	1	0.72
Tmm	-0.08	0.03	4.94	1	0.93
sat_cos	-0.87	0.12	49.86	1	0.42
sat_sin	-0.92	0.12	56.84	1	0.40
SAR	-19.59	0.78	628.06	1	0.00
Pürüzlülük	10.22	0.30	1156.53	1	27384.58
Kesit Eğrisellik	-2.18	0.45	23.26	1	0.11
TWI	1.42	0.16	80.38	1	4.13
SRR	-1.53	0.13	150.81	1	0.22
SYM	-3.31	0.08	1735.73	1	0.04
slope2nd	-3.65	0.15	572.07	1	0.03
Yamaç eğimi	3.00	0.40	56.02	1	20.08
Sabit	0.17	0.31	0.30	1	1.19

Çizelge 4.3. Veriseti 2 için mantıksal regresyon denklemine giren parametreler.
Anlamlılık

Değişken	B	Standart hata	Wald	df	Exp(B)
Kka	-0.29	0.07	18.542	1.00	0.752
Dgü	-1.92	0.38	25.264	1.00	0.146
Ck	-0.59	0.07	66.821	1.00	0.556
Tmd	1.56	0.06	586.956	1.00	4.752
Trk	0.25	0.07	12.521	1.00	1.289
Tmk	-0.80	0.07	141.994	1.00	0.45
Tra	-3.37	0.78	18.448	1.00	0.034
Tjc	-2.09	0.15	184.514	1.00	0.123
Jkp	-20.94	2071.26	0	1.00	0
Qpa	-2.70	0.37	53.583	1.00	0.067
Trjc	1.13	0.10	129.689	1.00	3.098
Mof	-20.70	7603.18	0	1.00	0
Pt	-0.79	0.11	52.128	1.00	0.455
Tmm	-0.41	0.06	41.659	1.00	0.665
sat_sin	-0.46	0.12	15.068	1.00	0.633
sar	-16.90	0.72	550.448	1.00	0
Pürüzlülük	9.30	0.29	1028.979	1.00	10888.23
Kesit Eğrisellik	-1.08	0.44	6.078	1.00	0.341
TWI	1.87	0.15	150.837	1.00	6.515
SRR	-1.26	0.12	111.004	1.00	0.284
SYM	-2.97	0.08	1491.777	1.00	0.051
slope2nd	-3.13	0.15	446.825	1.00	0.044
Yamaç eğimi	2.73	0.38	51.871	1.00	15.327
Sabit	-0.93	0.30	9.603	1.00	0.393

Çizelge 4.4. Veriseti 3 için mantıksal regresyon denklemine giren parametreler.

Değişken	Anlamlılık				
	B	Standart hata	Wald	df	Exp(B)
Kka	0.12	0.03	12.14	1.00	1.13
Dgü	-1.51	0.38	15.73	1.00	0.22
Ck	-0.42	0.05	80.95	1.00	0.65
Tmd	1.85	0.04	2628.39	1.00	6.37
Trk	0.80	0.04	383.04	1.00	2.23
Qal	0.46	0.09	25.51	1.00	1.59
Tmk	-0.70	0.05	223.16	1.00	0.50
Of	0.50	0.08	37.31	1.00	1.65
Tra	-2.82	0.79	12.83	1.00	0.06
Tjc	-1.41	0.13	113.54	1.00	0.24
Jkp	-20.58	2103.81	0.00	1.00	0.00
Qpa	-2.26	0.37	38.00	1.00	0.11
Trjc	1.41	0.08	284.75	1.00	4.09
Mof	-20.44	7749.51	0.00	1.00	0.00
sat_cos	-0.29	0.12	5.65	1.00	0.75
sat_sin	0.50	0.12	17.60	1.00	1.66
SAR	-20.49	0.78	685.20	1.00	0.00
Pürüzlülük	9.21	0.30	964.88	1.00	10018.10
Kesit Eğrisellik	-2.96	0.83	12.69	1.00	0.05
TWI	1.90	0.16	146.97	1.00	6.66
SRR	-1.42	0.13	120.96	1.00	0.24
SYM	-2.77	0.08	1191.30	1.00	0.06
slope2nd	-3.24	0.15	464.26	1.00	0.04
Teğetsel Eğrisellik	1.51	0.72	4.34	1.00	4.51
Yamaç eğimi	3.89	0.39	97.26	1.00	48.93
Sabit	-1.44	0.31	21.72	1.00	0.24

Mantıksal regresyon hata matrisine göre veriseti-1'in genel doğruluk değerinin çizelge 4.5'de görüldüğü gibi % 76.3 olduğu bulunmuştur. Veriseti-2'nin hata matrisine göre verisetinin genel doğruluk değerinin çizelge 4.6'de görüldüğü gibi % 74.3 olarak hesaplatılmıştır (Çizelge 4.6). veriseti-2'nin ise hata matrisi tablosuna göre genel doğruluk değerinin Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi % 74.8 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5.Mantıksal regresyon Veriseti1 için hata matrisi.

Gözlenen	Tahmin Edilen		Doğruluk
	0	1	
0	18.094	5.901	76.7
1	6.086	17.909	75.9
Genel %			76.3

Çizelge 4.6.Mantıksal regresyon Veriseti2 hata matrisi.

Gözlenen	Tahmin Edilen		Doğruluk
	0	1	
0	18.157	6.713	75.9
1	7.428	17.802	72.7
Genel %			74.3

Çizelge 4.7. Mantıksal regresyon Veriseti3 hata matrisi.

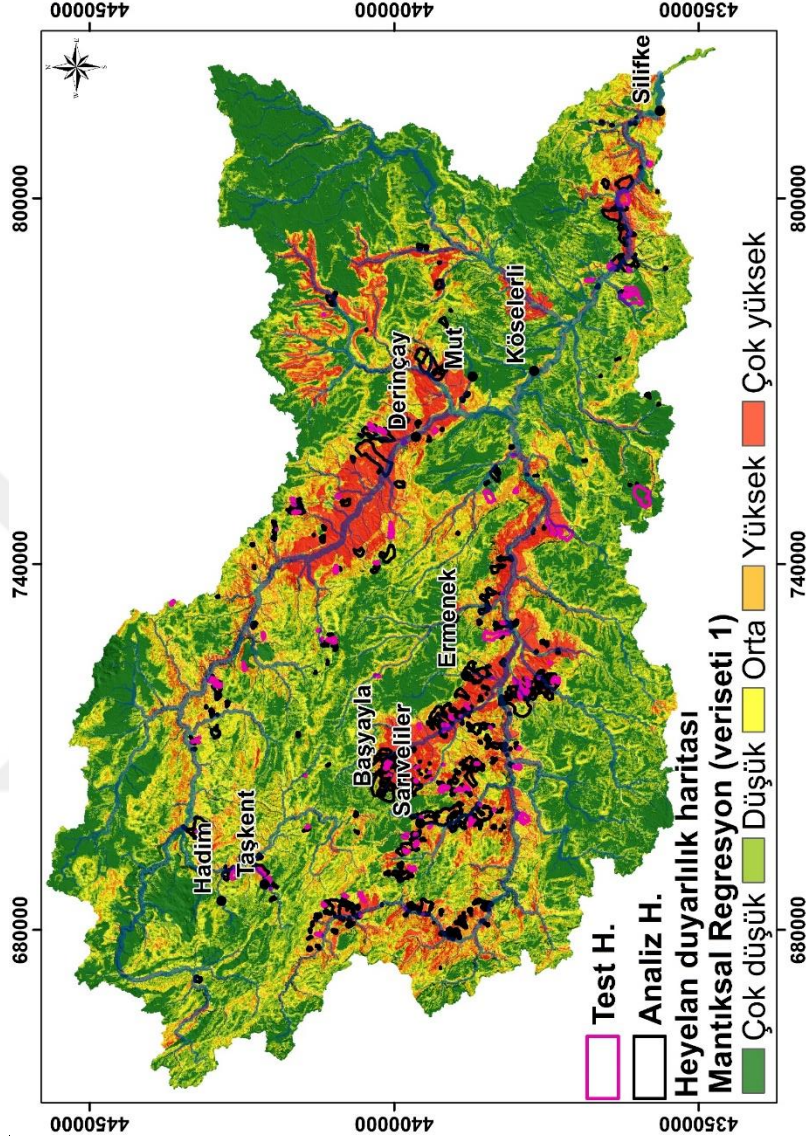
Gözlenen	Tahmin Edilen		Doğruluk
	0	1	
0	17.487	6.383	75.3
1	6589	17.281	74.3
Genel %			74.8

Her bir veriseti için elde edilen duyarlılık haritaları doğal komşuluk ilişki sınıf aralıkları kullanılarak çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıf olarak değerlendirilmiştir. Her bir veriseti için elde edilen detaylı duyarlılık sınıflarına ait yüzdeler Çizelge 4.8'de görülmektedir. Göksu nehri

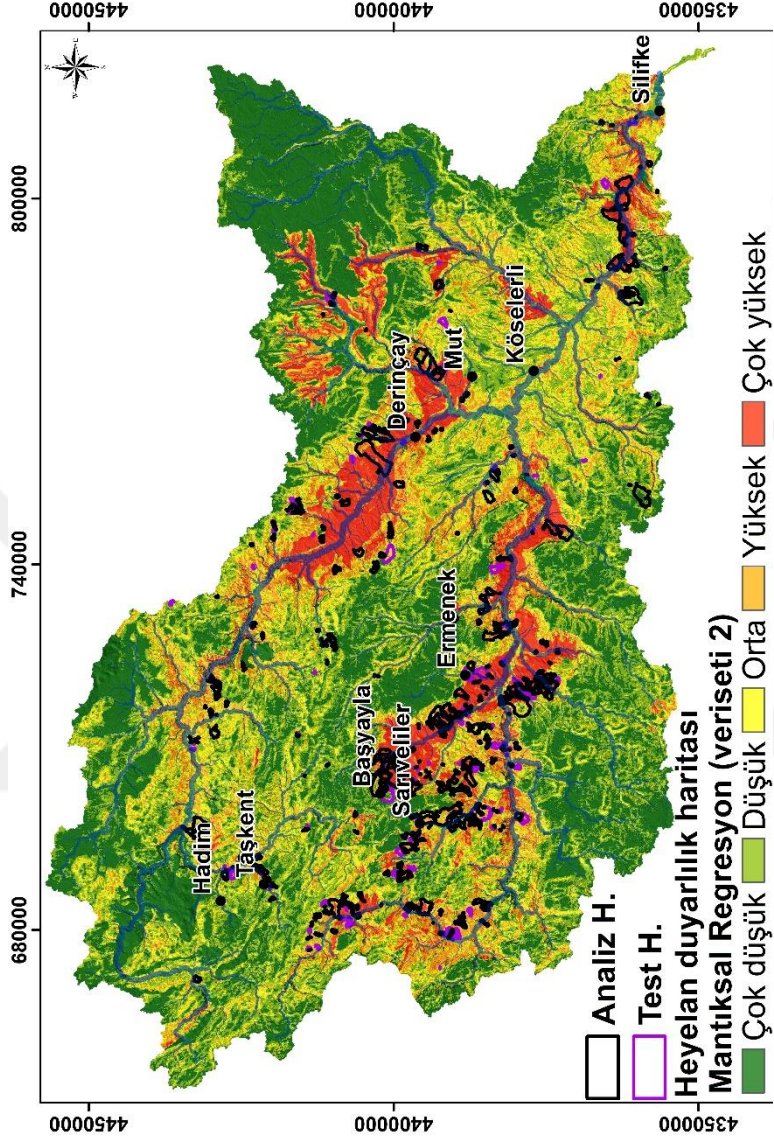
havzasına ait mantıksal regresyon yöntem ile elde edilen, Veriseti1, Veriseti2 ve Veriseti3'e ait heyelan duyarlılık haritaları Şekil 4.52, 4.53 ve 4.54'de görülmektedir. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu tezde kullanılan diğer yöntemler olan YSA ve Karar Ağaç yöntemlerinde olduğu gibi Başarı-Tahmin ve Alıcı işletim karakteristik eğrisi altında kalan alan yöntemleriyle kontrol edilmiştir (Şekil 4.55).

Çizelge 4.8. Heyelan duyarlılık sınıflarının test, analiz, tüm heyelanlar ile çalışma alanları içerisindeki yüzde dağılımları.

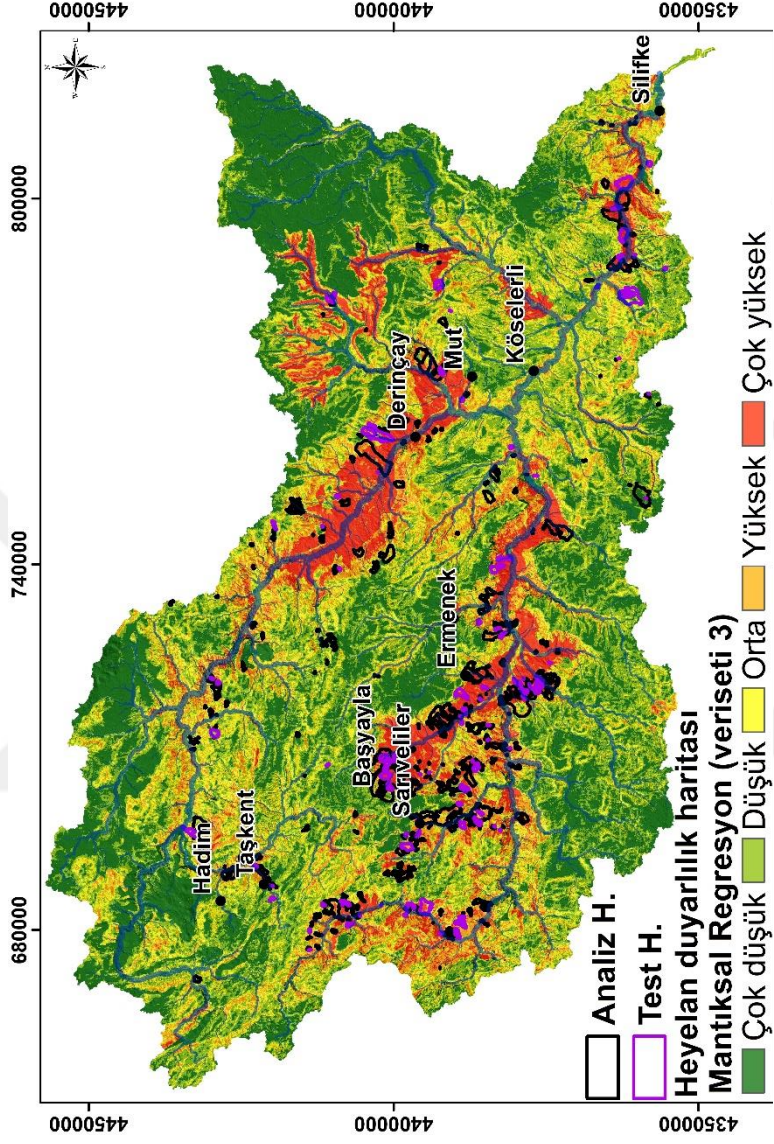
	Heyelan duyarlılık sınıfları	Heyelanlar			Çalışma alanı
		Test	Analiz	Tüm	
Veriseti1	Çok düşük	4.26	1.87	4.57	32.06
	Düşük	5.32	7.97	8.33	27.10
	Orta	14.23	15.89	15.53	17.32
	Yüksek	38.40	26.33	26.24	12.91
	Çok yüksek	37.80	47.93	45.31	10.62
Veriseti2	Çok düşük	3.32	2.49	2.38	28.72
	Düşük	5.29	8.84	8.53	27.07
	Orta	13.44	17.68	18.52	20.30
	Yüksek	35.33	26.02	27.48	13.95
	Çok yüksek	42.62	44.97	43.09	9.97
Veriseti3	Çok düşük	2.48	2.95	2.86	26.90
	Düşük	8.43	7.66	7.81	27.86
	Orta	14.04	17.01	16.43	20.57
	Yüksek	22.36	28.52	27.31	13.98
	Çok yüksek	52.69	43.87	45.59	10.68



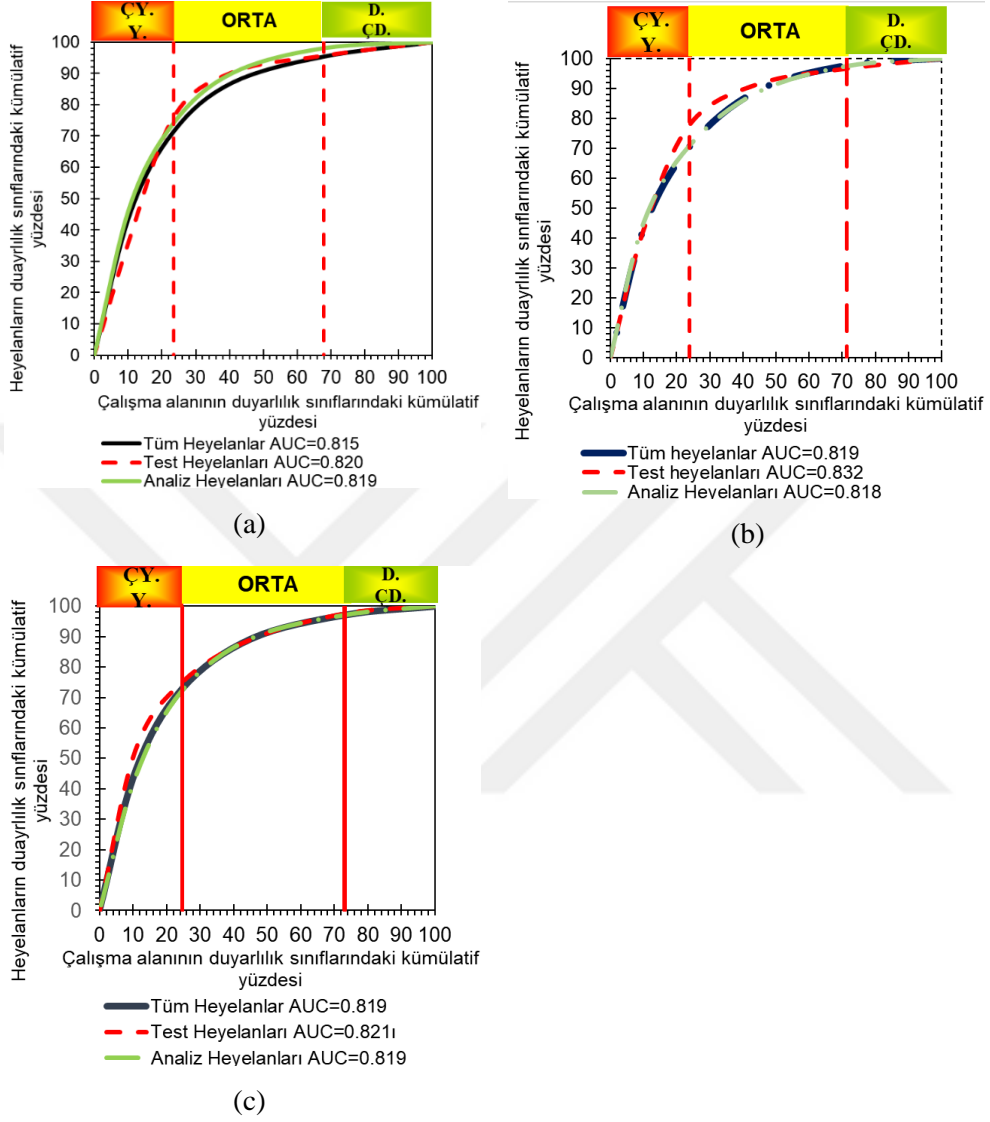
Şekil 4-52. Mantıksal regresyon yöntemi ile Heyelan duyarlılık haritası (veriseti1).



Şekil 4 53. Mantıksal regresyon yöntemi ile Heyelan duyarlılık Haritası (veriseti2).



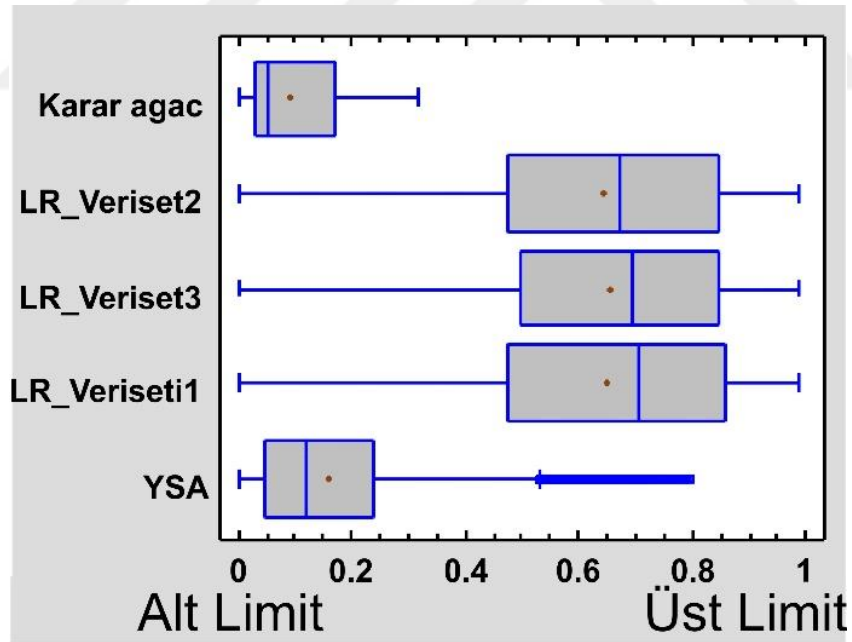
Şekil 4. 54. Mantıksal regresyon yöntemi ile Heyelan duyarlılık Haritası (veriseti3).



Şekil 4.55. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritalarının, Veriseti1 (a), Veriseti2 (b) ve veriseti3 (c) için, Başarı-Tahmin eğrisi Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi altında kalan alan değerleri.

4.4.3. Kayma türü heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırması

Göksu nehri havzasına ait Karar ağaç, YSA ve Mantıksal regresyon yöntemleriyle elde edilen duyarlılık haritaları, farklı yöntemler ile doğruluğu ve güvenilirliği test edilmiştir. Göksu nehri havzasına ait heyelan envanter haritası ile beş duyarlılık haritası birlikte değerlendirildiğinde yüksek kestirim kapasitesine sahip oldukları hesaplatılmıştır. Her bir yöntem ile elde edilen duyarlılık değerlerinin dağılımı Şekil 4.56'da verilmiştir. Mantıksal regresyon yöntemiyle elde edilen duyarlılık haritalarında olasılık değerleri 0-1 arasında değiştiğinden, içlerinde en iyi performansı gösteren veriseti-1 ile elde edilen haritanın olası tehlike haritalarının üretilmesinde mekansal olablirlik parametresi olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Buna göre, Veriseti-1'e ait tanımlayıcı istatistik değerleri, ortalama: 0.335, Standart sapma: 0.25, Varyans katsayısı: %75.28, En düşük: 0, En yüksek:0.996, çarpıklık: 1.71 ve basıklık:72.58 olarak bulunmuştur.



Şekil 4 56. Karar ağaç, mantıksal regresyon, ve YSA yöntemleriyle elde edilmiş heyelan duyarlılık haritalarına ait Box ve Whisher grafiği

4.5. Zamansal Olabilirlik

Tez çalışması kapsamında yapılan heyelan envanter haritası, arşiv kayıtları, farklı tarihli uydu görüntülerinin incelenmesiyle sonucunda bölgedeki heyelanların çok eski tarihlerden günümüze kadar devam ettiği görülmektedir. Heyelanların zamansal olabilirlik parametresi, genel olarak yağış, deprem ve hızlı kar erimesi gibi tetikleyici faktörlerin uzun yıllar sıklık büyüklük ilişkilerinden elde edilmektedir. Çalışma alanında heyelanların genel olarak aşırı yağışlar ile tetiklendiği bilinmektedir. MGM'den, Göksu havzası içerisinde bulunan Mut ve Silifke meteoroloji yağış istasyonlarına ait uzun yıllara ait günlük yağış verileri temin edilmiştir. Diğer istasyonlara ait istatistiksel değerlendirmeler Materyal bölümünde detaylı anlatılmıştır. Havzada meydana gelen heyelanların detaylı incelenmesi için İl Afet Müdürlüğünden temin edilen afet raporlarına göre bölgede meydana gelen heyelanların 1968-Kasım-Aralık, 1969 Ocak-Şubat, 2001 Aralık ayı ve 2006 Aralık aylarında meydana gelen yağışların tetiklemeyle gerçekleşen birçok heyelan sonucu kaynaklı etkili nakil gerçekleştirildiği görülmüştür. Aynı zamanda arşiv kayıtlarının detaylı incelenmesi sonucunda bölgede meydana gelen heyelan olaylarının 1956-2018 yılları arasında genellikle Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında gelişen gelişen 3 - 4 günlük ekstrem yağışların tetiklenmesiyle geliştiği görülmüştür. Bu anlamda Mut ve Silifke istasyonları için istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

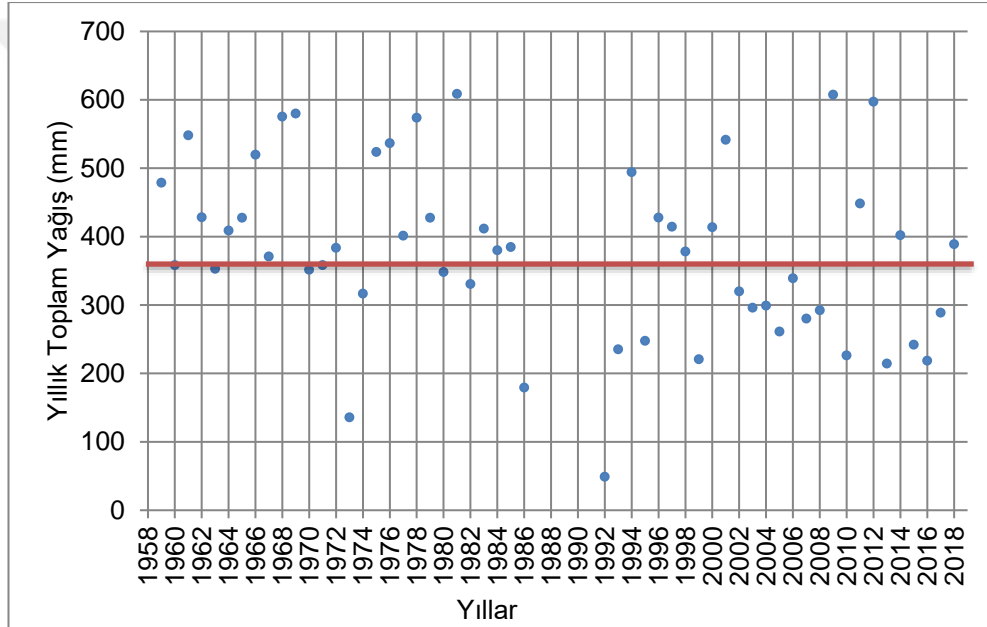
4.5.1. Uzun yıllar yağış verileri için istatistiksel değerlendirmeler

Çalışma alanı içerisinde bulunan yağış istasyonlarına ait kayıtlar 30 yıldan daha uzun olmak koşuluyla Silifke ve Mut istasyonları için bulunması sebebiyle yağış frekans analizleri bu istasyon verileri ile değerlendirilmiştir.

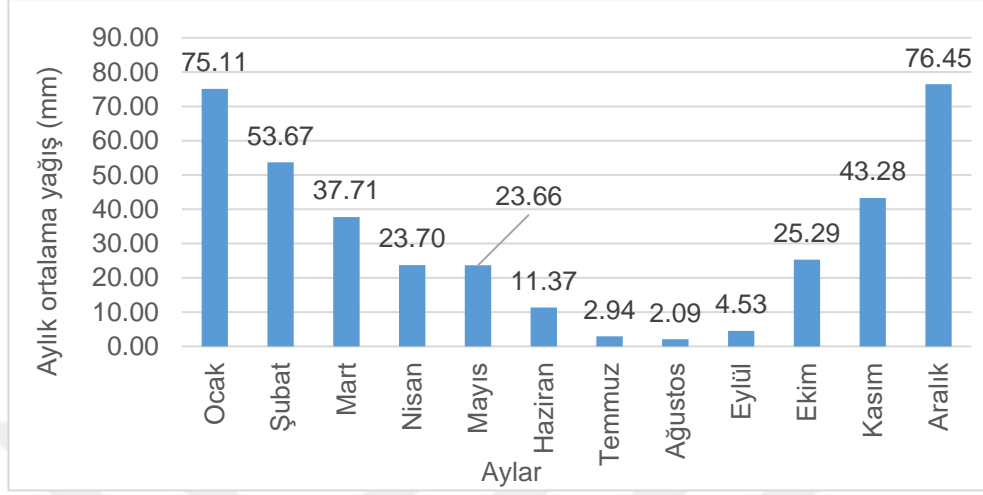
4.5.1.1. Mut İstasyonu İstatistiksel Dağılım Modelleri

MGM'den elde edilen verilere göre Mut istasyonu 1959 Ocak-2018 Aralık ayları arasındaki günlük yağış verilerine göre, en yüksek yağış 1981 yılında 608.70 mm

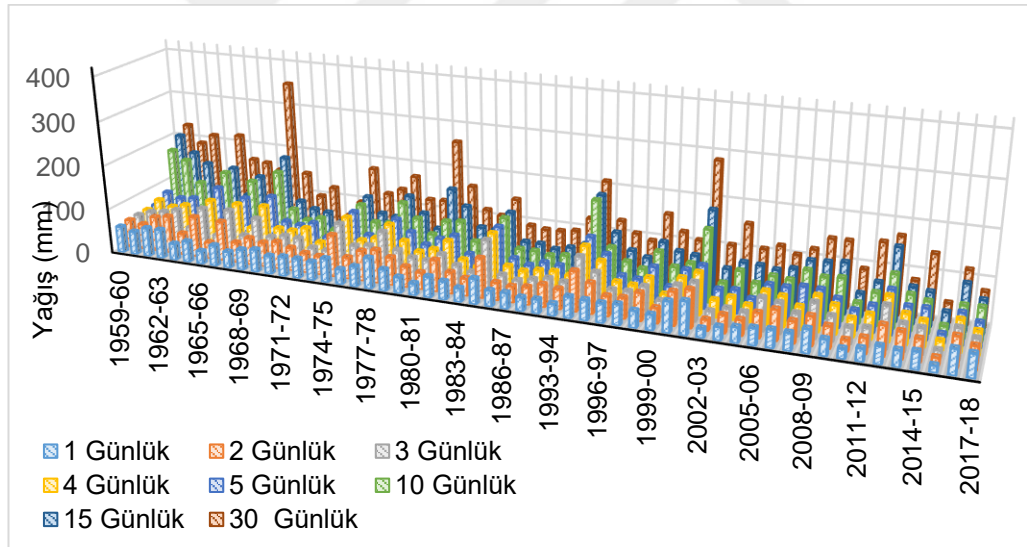
olarak kayıt edilmiştir (şekil 4.57). Mut istasyonu verilerine göre ise 12 aylık periyotta en yağışlı geçen aylar sırasıyla Aralık ve Ocak ayları olarak kayıt edilmiştir (Şekil 4.58). Mut istasyonu için MGM'den elde edilen verilere göre, 1958-2018 yılları arasında günlük yağış verileri için 1,2, 3, 4, 5,10,15 ve 30 günlük ekstrem yağışlar hesaplanmıştır (Şekil 4.59). 2015-2016 yılları yağış mevsimi içerisinde en düşük (X_{min}) 14.200 mm., en yüksek (X_{max}) 1984-1985 yılı yağış mevsiminde 114.200 mm. yağış değeri görülmektedir.



Şekil 4.57.Mut istasyonu uzun yıllar yıllık yağış verileri.



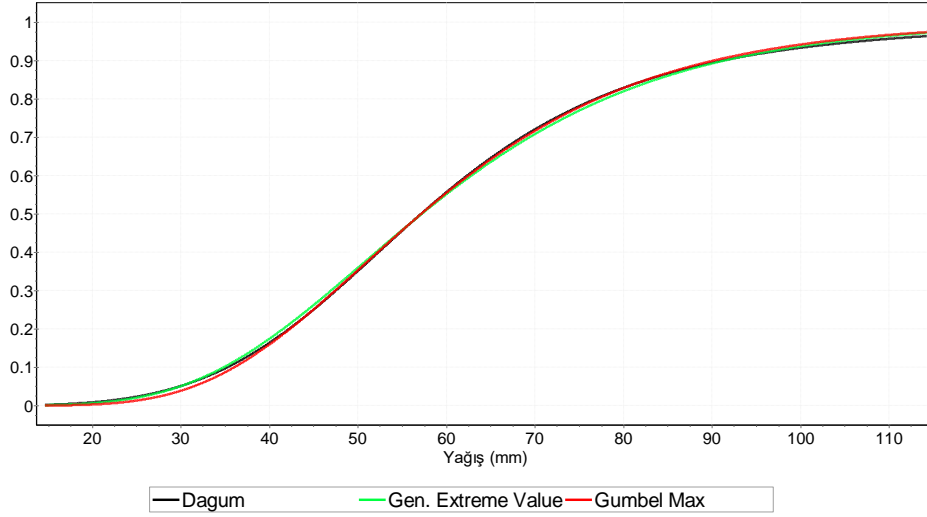
Şekil 4.58. Mut meteoroloji istasyonu uzun yıllar ortalama yağış değerleri.



Şekil 4.59. 1958-2018 Yılları Mut İstasyonu Günlük Maksimum Yağış Değerleri.

1958-2018 yılları arası uzun yıllar yağış verilerine göre, 3 günlük maksimum yağış verileri incelendiğinde, 55 yıllık zamanda her yıl için gelişen 3 günlük maksimum yağış verilerinin kuvvet yasasına uygun bir dağılıma sahip olup

olmadığı incelenmiştir. Sürekli kuvvet yasasına göre birikimli dağılım fonksiyonu (CDF) hesaplatılmıştır (Şekil 4. 60).



Şekil 4.60. Birikimli Dağılım Fonksiyonu (CDF).

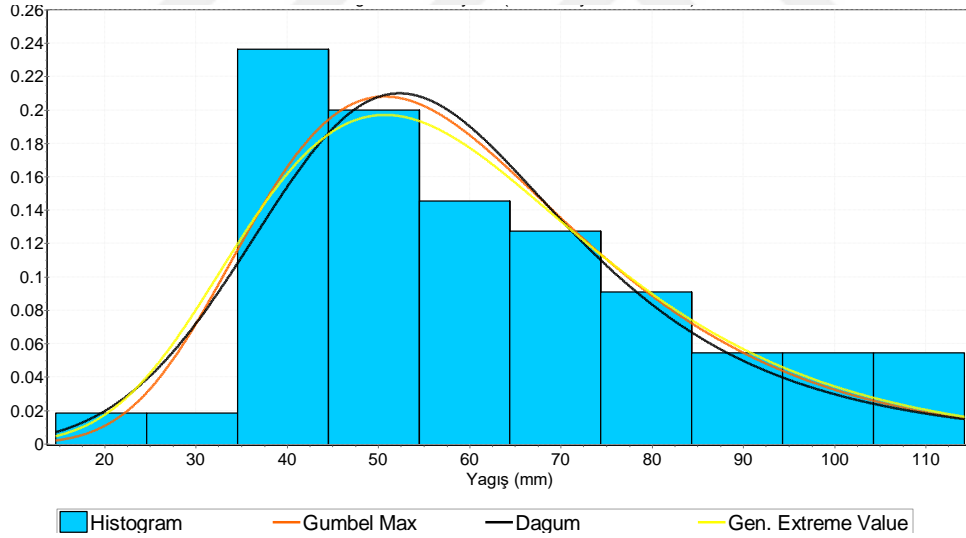
CDF ile kuvvet yasasına uygun dağılımlar belirlendikten sonra uygunluk testlerinden, belirli bir önem seviyesinde hipotez dağılımın kabulü veya reddinin belirlenmesi için kullanılan ve sadece sürekli rastgele değişkenler için uygulanan Kolmogrov-Smirnov (K-S) testi ile uygun dağılımlar belirlenmiş (Şekil 4. 61) olup 3 günlük maksimum yağış verilerinde K-S olasılık değerlerinde en yüksek sonucu Gumbel Max, Genelleştirilmiş Uç Değer ve Dagum dağılımlarıyla elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Uygun dağılım parametrelerine göre, dağılım şeklini veren k değeri Genelleştirilmiş Uç Değer 0.01619, Dagum'da ise 0.92444'dür. Ölçek parametresi 17.6 olarak görülmektedir (Çizelge 4.10). Anlamlılık değerleri 0.05'den büyük hesaplanmış olup, yağışların sebep olduğu heyelanların çoğunun az sayıdaki gözlem verisi ile açıklanabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.9. Kolmogorov-Smirnov testine göre en uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları.

Veri sayısı	55				
D- İstatistiği	Gumbel Max (0.06242), Genelleştirilmiş Uç Değer (0.06336), Dagum (0.06462)				
Olasılık değeri	Gumbel Max (0.97379), Genelleştirilmiş Uç Değer (0.97), Dagum (0.96434)				
Aşılma olasılıkları	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Kritik Değer	0.14164	0.16186	0.17981	0.20107	0.21574
H-Hipotezi	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

Çizelge 4.10. En uygun dağılım modellerine ait istatistiksel değerler.

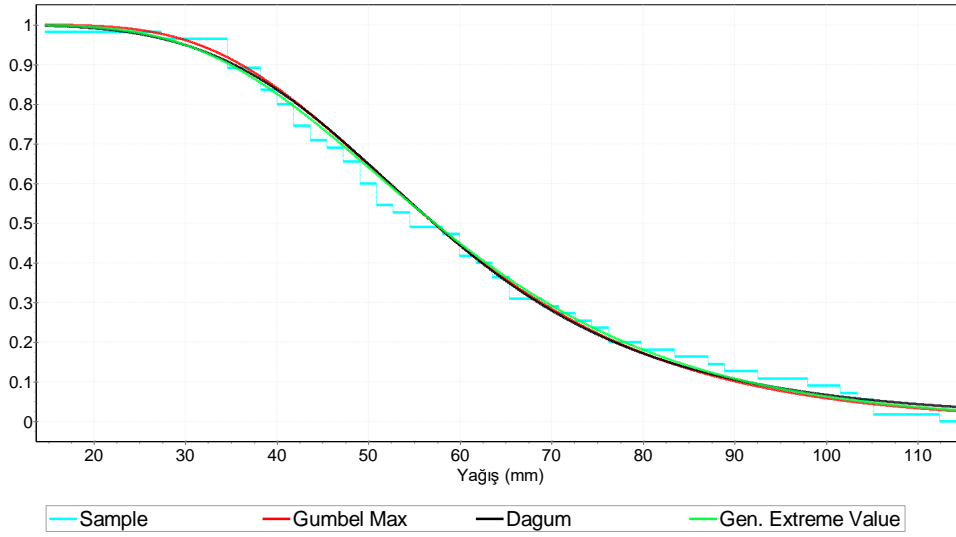
1	Gumbel Max	$\sigma = 17.6$ $\mu = 50.71$
2	Gen. Extreme Value	$k = -0.01619$ $\sigma = 18.589$ $\mu = 50.432$
3	Dagum	$k = 0.92444$ $\alpha = 4.7475$ $\beta = 58.49$



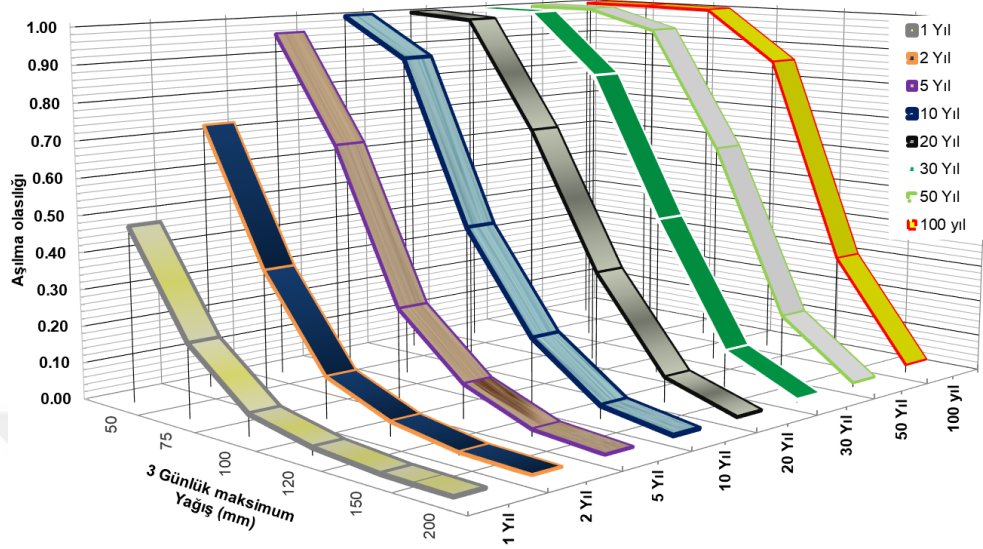
Şekil 4.61. 3 günlük maksimum yağış verileri için uygun dağılım modelleri.

55 yıllık veride 3 günlük maksimum yağış verileri üzerinden yapılan olasılık yoğunluk dağılımlarında en yüksek K-S değerinin elde edildiği Gumbel

Max, Genelleştirilmiş Uç Değer ve Dagum dağılımları hemen hemen birbirine çok yakın olasılık değerleri sunmaktadır (Şekil 4.62). Bölgede 100 mm'den büyük yağışların olma olasılıkları 0.05897 olarak görülmektedir (Şekil 4. 62). Kümülatif 3 günlük toplam 150 mm'lik yağışın Mut istasyonu ve civarında tekrarlanma periyodu 51 yıl olarak hesaplanmıştır. Poisson dağılımına göre bulunan tekrarlanma periyoduna göre heyelan olayının Poisson 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yılda en az bir defa oluşması için aşılma olasılıkları hesaplanmıştır (Şekil 4.63).



Şekil 4.62. Mut istasyonu 3 günlük maksimum yağış verileri için elde edilen yaşam fonksiyon eğrileri.

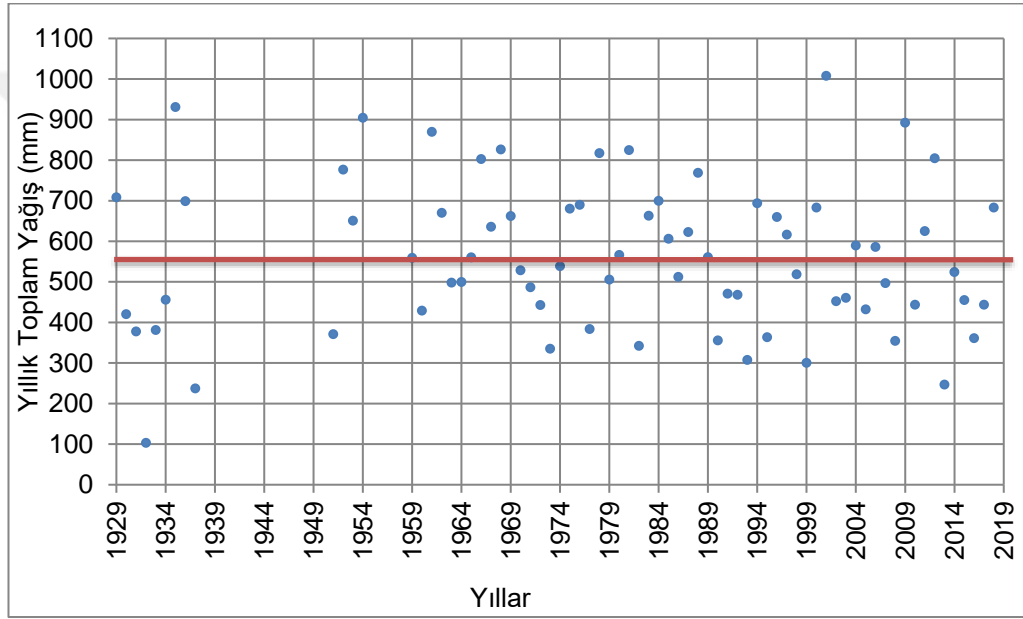


Şekil 4.63. 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yıl için yağış değerlerinin olma olasılıkları.

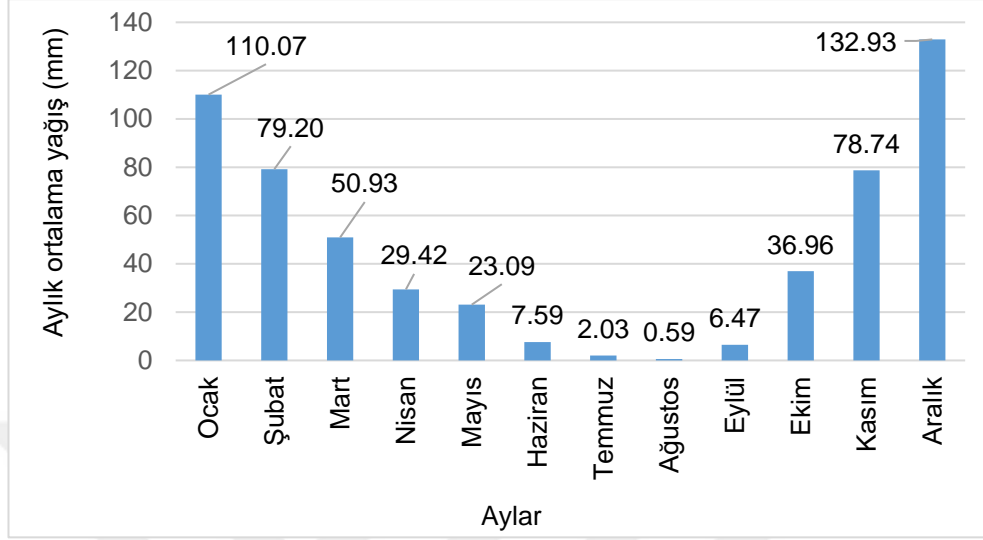
4.5.1.2. Silifke İstasyonu İstatistiksel Dağılım Modelleri

MGM'den elde edilen verilere göre Silifke istasyonu 1929-2018 yılları arasındaki yıllık toplam yağış verilerinin dağılımına bakıldığında, Ortalama yıllık yağışın 560 mm civarında olduğu, bölgede en yüksek yağışın 2001 yılında (1007 mm) ve en düşük yağışın 1932 yılında (103 mm) meydana geldiği görülmektedir. (Şekil 4.64). 1929-2019 yılları arasında yağışların yıl içerisindeki aylara göre dağılımına bakıldığında ortalama yağışların % 71'inin Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında meydana geldiği belirlenmiştir. Bunlar içerisinde en fazla ortalama yağış ise 132.93 mm ile Aralık ayına karşılık gelmektedir. Silifke istasyonu ve civarındaki gelişen heyelanlara ait raporlar incelendiğinde, tarihi bilinen heyelan olaylarının 1968, 2001, ve 2018 yılları Aralık aylarında gelişen 4 günlük ekstrem yağışlar sonucu gerçekleştiği belirlenmiştir. 1968, 2001 ve 2018 Aralık ayında meydana gelen toplam yağış değerleri sırasıyla 337.30, 504.50 ve 288 mm'dir (Şekil 4.65). Bu yağışların ortalama yağış değeri olan 560 mm ortalama yıllık yağış değerleri ile karşılaştırıldığında oldukça ekstrem yağış

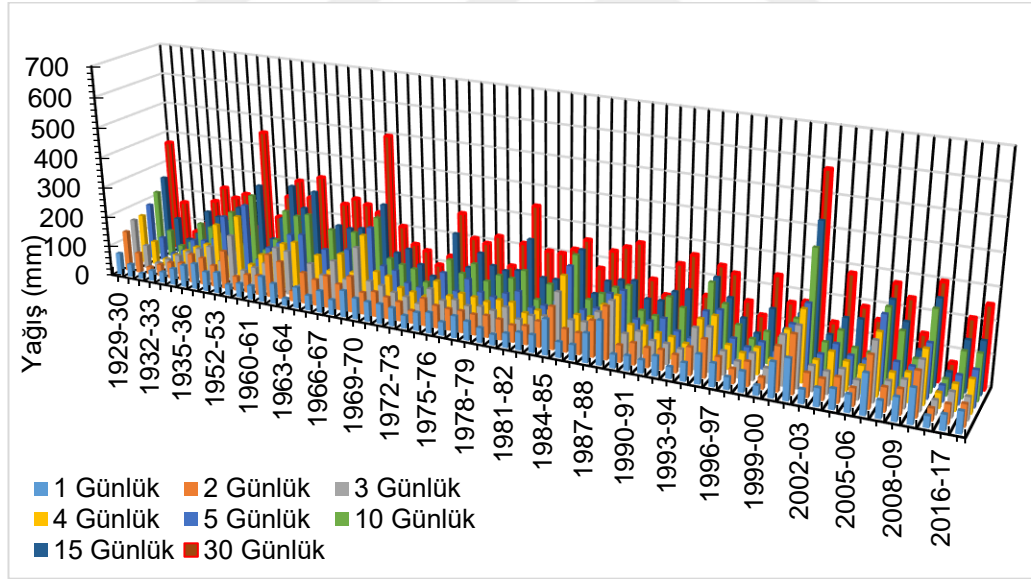
olayları olduğu gözlenmektedir. 1929-2018 yılları arasında günlük yağış verileri için 1, 2, 3, 4, 5,10, 15 ve 30 günlük ekstrem yağışlar hesaplanmıştır (Şekil 4.66). 1968, 2001 ve 2018 Aralık ayları kümülatif yağış değerleri incelendiğinde, 2001 Aralık ayında 1 günde yaklaşık 110 mm yağış olduğu, 1968 Aralık ayında ise ard arda gelen 4 günde neredeyse 200 mm'nin üzerinde yağışının bölgeye düştüğü görülmektedir (Şekil 4.67).



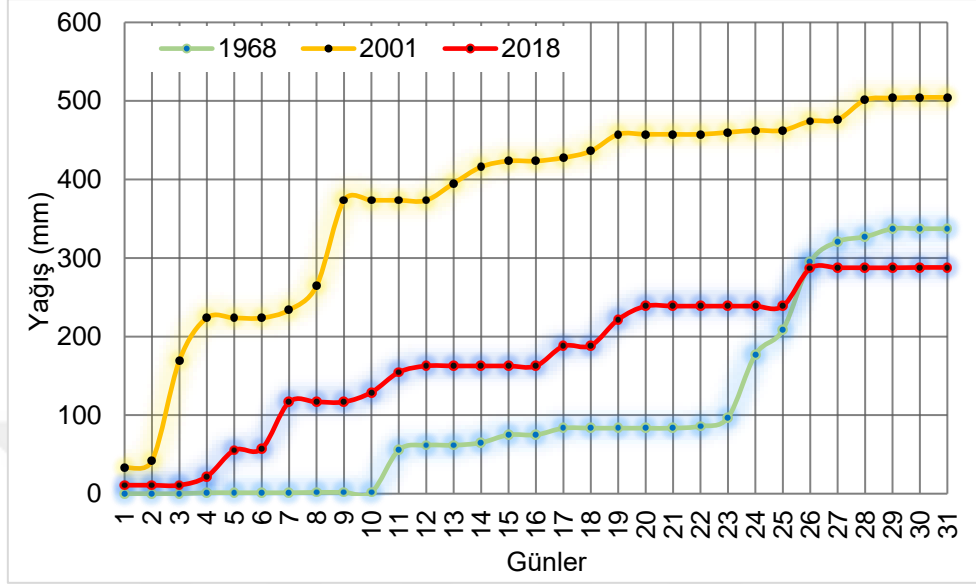
Şekil 4.64. Silifke meteoroloji istasyonu uzun yıllar yıllık toplam yağış değerleri.



Şekil 4.65. Silifke meteoroloji istasyonu uzun yıllar ortalama yağış değerleri.

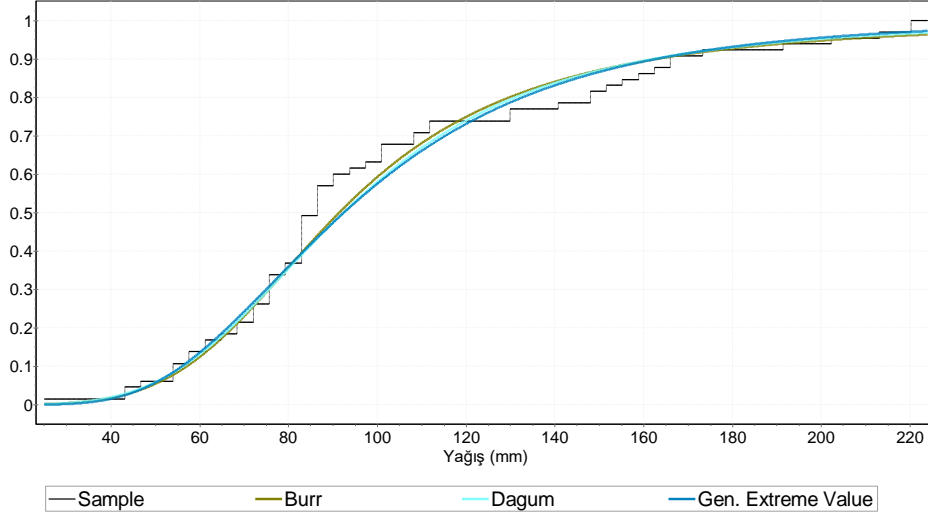


Şekil 4.66. 1958-2019 Yılları Silifke İstasyonu Günlük Maksimum Yağış Değerleri.



Şekil 4.67. 1968, 2001 ve 2018 yılları Aralık ayı kümülatif günlük yağış verileri.

1929-2018 yılları arası eksikli uzun yıllar yağış verilerine göre, 4 günlük maksimum yağış verileri incelendiğinde, 65 yıl için yapılan değerlendirmede her yıl için gelişen 4 günlük maksimum yağış verilerinin kuvvet yasasına uygun bir dağılıma sahip olup olmadığını incelenmiş ve uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Sürekli kuvvet yasasına göre Birikimli Dağılım Fonsiyonları (CDF) hesaplatılmıştır (Şekil 4.68). 1931-1932 yılları yağış mevsimi içerisinde en düşük (X_{min}) 25.10 mm, en yüksek (X_{max}) 2001-2002 yılı yağış mevsiminde 223.70 mm yağış değeri görülmektedir. Gözlenen ve beklenen değerlerin kümülatif nisbi frekansları arasındaki mutlak farkın en büyüğü olan D-istatistiği değerlerine baktığımızda Burr 0.062226, Dagum 0.11925 ve Genelleştirilmiş Uç Değer 0.72673 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.11). Ölçek parametresi 17.6, ortalama değer ise 50.72 olarak görülmektedir (Çizelge 4.12). Anlamlılık değerleri 0.05'den büyük hesaplanmıştır.



Şekil 4.68. Birikimli Yoğunluk Fonsiyon Eğrisi (CDF).

Kuvvet yasasına uyan uygun olasılık yoğunluk fonksiyonlarının Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri çizelge 4.12’de görülmektedir.

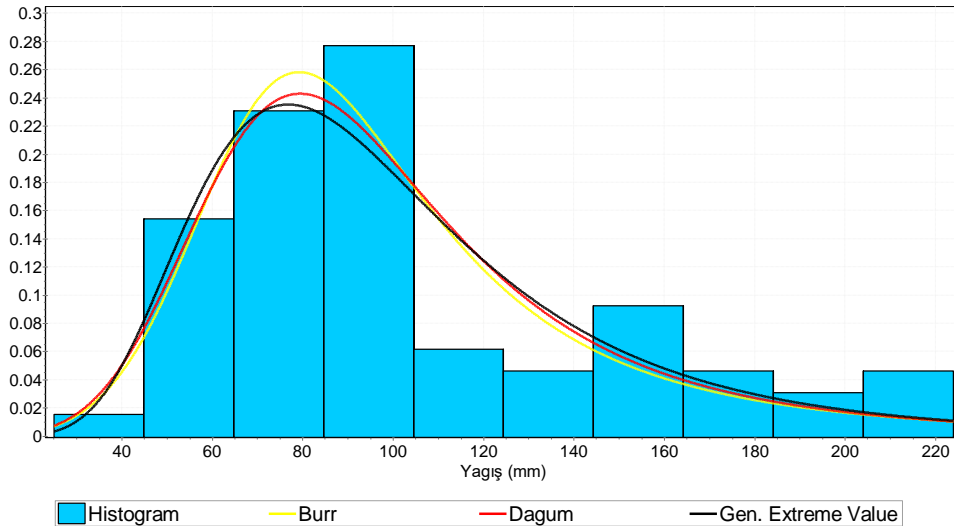
Çizelge 4.11. Kolmogorov-Smirnov testine göre en uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları.

Veri sayısı	65				
D- İstatistiği	Burr (0.062226), Dagum (0.11925), Genelleştirilmiş Uç Değer (0.72673)				
Olasılık değeri	Burr (0.39421), Dagum (0.29009), Genelleştirilmiş Uç Değer (0.28964)				
Aşılma olasılıkları	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Kritik Değer	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
H-Hipotezi	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

Çizelge 4.12. En uygun dağılım modellerine ait istatistiksel değerler.

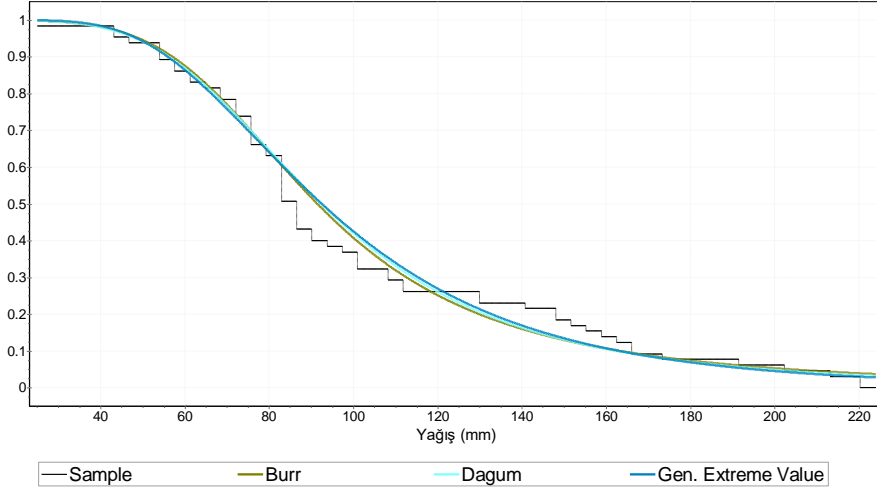
1	Gumbel Max	$\sigma =17.6$ $\mu =50.71$
2	Gen. Extreme Value	$k=-0.01619$ $\sigma=18.589$ $\mu=50.432$
3	Dagum	$k= 0.92444$ $\alpha=4.7475$ $\beta=58.49$

CDF ile kuvvet yasasına uygun dağılımlar belirlendikten sonra uygunluk testlerinden, belirli bir önem seviyesinde hipotez dağılımın kabulü veya reddinin belirlenmesi için kullanılan ve sadece sürekli rastgele değişkenler için uygulanan Kolmogrov-Smirnov (K-S) testi ile belirlenen uygun olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ait eğriler şekli 4.69’da görülmektedir.

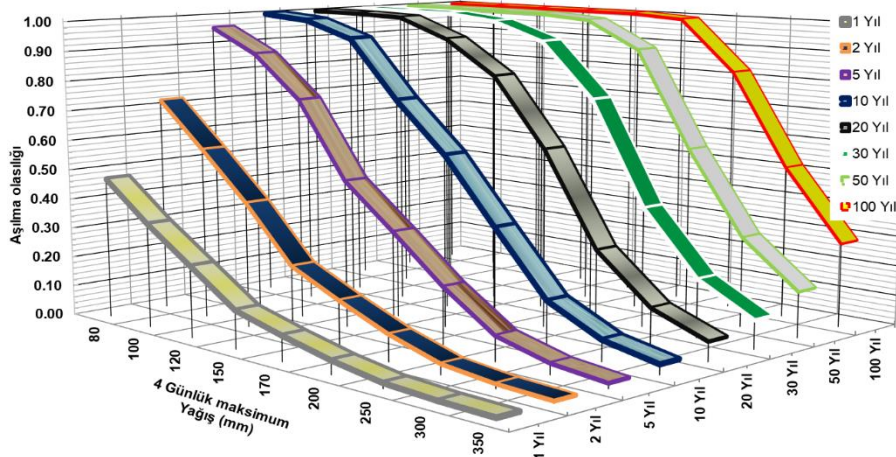


Şekil 4.69. 4 günlük maksimum yağış verileri için uygun dağılım modelleri.

65 yıllık veride 4 günlük maksimum yağış verileri üzerinden yapılan olasılık yoğunluk dağılımlarında en yüksek K-S değerinin elde edildiği Burr, Dagum ve Genelleştirilmiş Uç Değerdağılımları hemen hemen birbirine çok yakın olasılık değerleri sunmaktadır. Bölgede 100 mm’den büyük yağışların olma olasılıkları yaklaşık 0.42543 olarak görülmektedir (Şekil 4.70). Kümülatif toplamda 4 günlük 150 mm’lik yağışın Silifke istasyonu ve civarında tekrarlanma periyodu 7 yıl olarak hesaplanmıştır. Poisson dağılımına göre bulunan tekrarlanma periyoduna göre yağışların Poisson dağılımına göre 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yılda aşılma olasılıkları hesaplanmıştır (Şekil 4.71). 150 mm’lik 4 günlük yağışın olma olasılığı %50’iken 10 yılda olma olasılığı %80 hesaplanmıştır (Şekil 4.71).



Şekil 4.70. Silifke istasyonu 3 günlük maksimum yağış verileri için elde edilen yaşam fonksiyon eğrileri.



Şekil 4.71. 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yıl için yağış değerlerinin olma olasılıkları.

4.5.1.3. Mut ve Silifke İstasyonları için genel değerlendirme

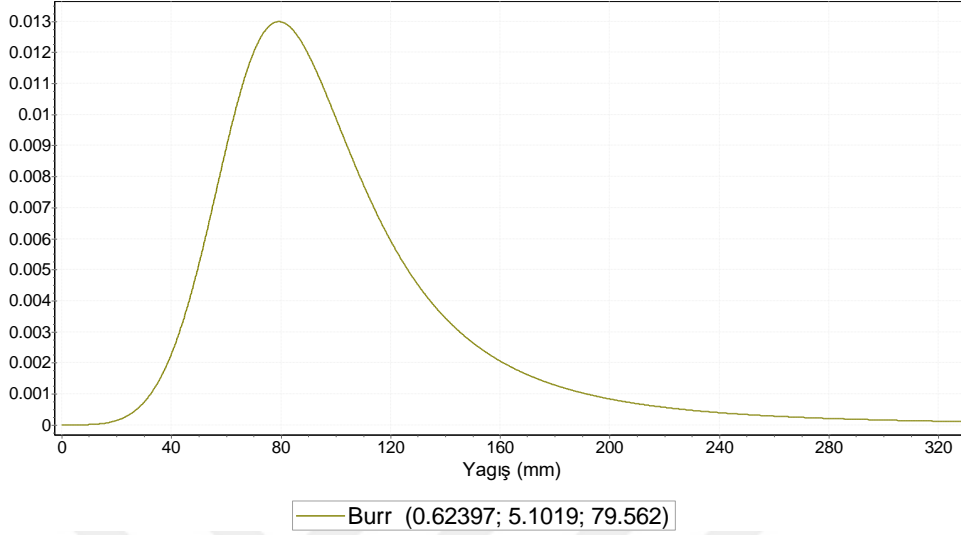
Heyelanları tetikleyen yağış olaylarında, heyelanların oluştuğu zamandan daha önceki yağışların değerlendirilmesi gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle Göksu havzası içerisinde uzun yıllara ait yağış verileri bulunan Mut ve Silifke istasyonları için yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucu 1,2, 3, 4, 5, 10, 15 ve

30 günlük ekstrem yağış değer analizleri yapılmıştır. Belirlenen günlük yağış değerleri için hangi dağılımın uygun olduğu yapılan kuvvet analizleriyle belirlenmiş ve uygun olan dağılımlar için K-S uygunluk analizleri yapılmıştır. (Çizelge 4.13). Belirlenen zaman aralıklarına ait (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 ve 30) yağış değerleri için uygun olasılık yoğunluk fonksiyonlarına göre tekrarlanma periyodları belirlenmiştir. Bir olayın belli bir süre içerisinde en az bir defa gerçekleşmesi olasılığının, temeli Poisson dağılımı ile belirlenmektedir. Buna göre havza geneli arşiv kayıtlarına göre bölgede gelişen ve hasara yol açan heyelanların 4 günde 200 mm'yi aşan yağış miktarlarında olduğu sonucuna varılmıştır. Bu kapsamda, Silifke istasyonu için MGM kayıtlarının 65 yıllık zaman dilimi içerisinde olması ve veri sayısı Mut istasyonununa göre daha detaylı olması sebebiyle, aynı zamanda iklim özellikleri bakımından Mut ve civarının yağışla beraber karlı iklim özelliği göstermesi sebebiyle zamansal olabilirlik çalışmasında Silifke istasyonu için 4 günlük yağış verileri dikkate alınmış ve zamansal olabilirlik parametresi için tekrarlanma periyodu ve olasılık değeri hesaplamalarda kullanılmıştır.

Çizelge 4.13. K-S uygunluk analizine göre en uygun olasılık yoğunluk fonksiyonları.

1 Günlük Mak.	Mut İ.	Gumbel Max
	Silifke İ.	Burr
2 Günlük Mak.	Mut İ.	Frechet (3P)
	Silifke İ.	Burr
3 Günlük Mak.	Mut İ.	Gen. Extreme Value
	Silifke İ.	Burr
4 Günlük Mak.	Mut İ.	Gen. Extreme Value
	Silifke İ.	Burr
5 Günlük Mak.	Mut İ.	Gen. Extreme Value
	Silifke İ.	Pearson 5
10 Günlük Mak.	Mut İ.	Gen. Gamma (4P)
	Silifke İ.	Gen. Gamma (4P)
15 Günlük Mak.	Mut İ.	Gen. Logistic
	Silifke İ.	Gen. Logistic
30 Günlük Mak.	Mut İ.	Burr (4P)
	Silifke İ.	Burr

Silifke istasyonu verilerine göre elde en uygun dağılım 4 günlük yağışlar için Burr dağılımı olmuş ve Şekil 4.72'de olasılık yoğunluk fonksiyonunun detayları verilmiştir.



Şekil 4.72. Uzun dönem Silifke Meteoroloji istasyonu 4 günlük yağışlara ait Olasılık yoğunluk fonksiyonu.

Bu veriler kullanılarak bölgede 200 mm'nin üzerinde gelişmesi muhtemel yağış olasılığı 0.05286, tekrarlanma periyodu ise 18 yıl olarak hesaplatılmıştır. Daha sonra Poisson dağılımına göre bulunan tekrarlanma periyoduna göre heyelan olayının 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda en az bir defa oluşması için aşılma olasılıkları hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Poisson dağılımına göre 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda heyelanların aşılma olasılıkları.

Yıl	Tr	P	1-P
1	18	0.95	0.05
5	18	0.76	0.24
10	18	0.57	0.43
25	18	0.25	0.75
50	18	0.06	0.94
100	18	0.00	1.00

4.6. Alansal Olabilirlik

Çalışma alanı kayma türü heyelan envanter haritasında 559 adet heyelan bulunmaktadır. Heyelan alanlarına ait istatistiksel veriler çizelge 4.15'de görülmektedir. En düşük değer 0.01 km² olup en büyük heyelan alanı 11.54 km²'dir. Heyelan alanları sıralandığında alansal orta değer olan Medyan değeri 0.21 olarak hesaplanmıştır. Heyelan alanları küçükten büyüğe doğru sıralandığında mod değeri 0.04 olarak hesaplanmıştır. Alansal büyüklük değerlerin aritmetik ortalaması ise 0.53. En büyük ve en küçük heyelan alanı arasındaki fark 11.53 km² dir. Standart sapmanın ortalamaya göre yüzde değeri olan değişim katsayısı 1.99 olarak bulunmuştur. Çarpıklık değeri (Kurtosis) dağılımın simetrik olmayışının ölçütüdür. Göksu Nehri havzası heyelan alanları eğrinin sol tarafında yoğunluk göstermektedir. İstatistik değeri 37.58 olup sağa basıktır.

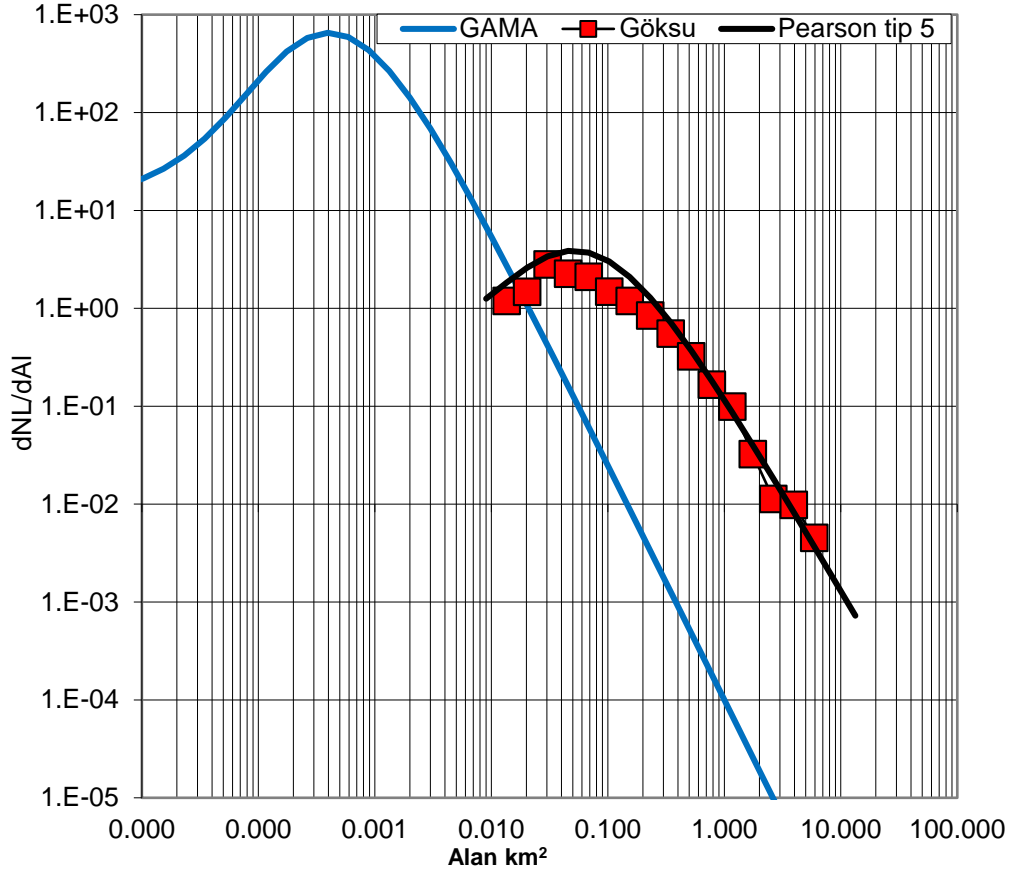
Çizelge 4.15. Kayma türü heyelanların alansal istatistik verileri.

İstatistik	Değer
Standart Sapma	1.07
Veri sayısı	559
Mod	0.04
Mod frekansı	28.00
% 5	0.0239
% 10	0.0376
% 25(Q1)	0.0755
% 50 (Medyan)	0.20546
% 75 (Q3)	0.51337
%90	1.1309
%95	2.0799
Aritmetik ortalama	0.53
Geometrik ortalama	0.21
Harmonik ortalama	0.09
Standart Sapmanın varyansı	1.15
Popülasyonun standart sapması	1.07
Popülasyonun standart sapmanın varyansı	1.14
Sayıların ortalamadan farkların kareleri toplamı	639.17
Standart hata	0.05
Ranj	11.53
Değişim katsayısı	199.72
En küçük değer	0.01
En büyük değer	11.54
Toplam alan (km ²)	299.56
Değişim katsayısı	1.997
Çarpıklık	5.2441
Basıklık	37.584

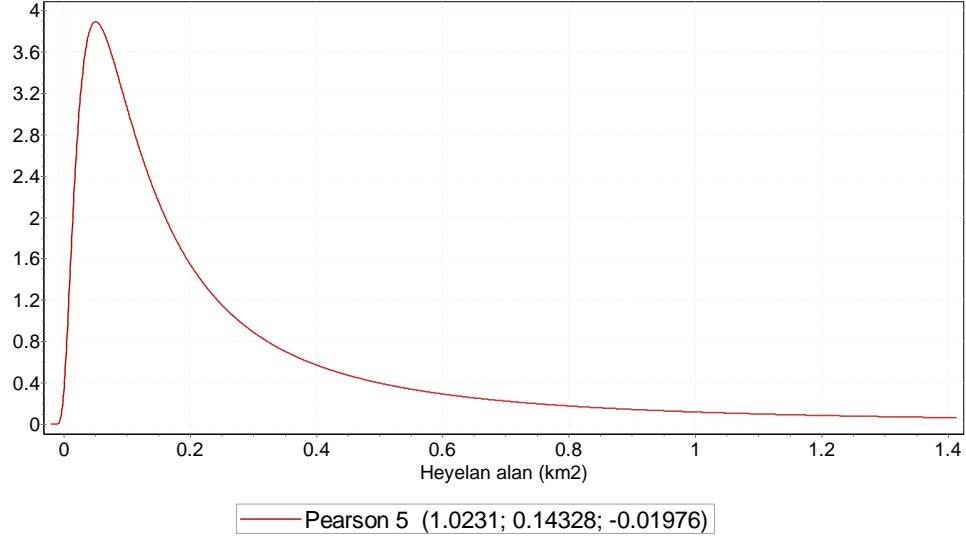
Heyelan envanter haritası kullanılarak Eşitlik 4.5 kullanılarak sırasıyla heyelan alansal büyüklüğü ile olasılık yoğunluk değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.73). Daha sonra Eşitlik 4.6 kullanılarak olasılık yoğunluğuna uygun Pearson tip 5 veya üç parametrelili ters gama dağılımı olarak bilinen olasılık yoğunluk fonksiyonu hesaplanmıştır. Elde edilen olasılık yoğunluk değerleri Eşitlik 4.5’de verilen üç parametrelili ters gama olasılık yoğunluk fonksiyonuna uyumlu hale getirilmiştir. Uygun gama eğrisinin parametreleri çalışma alanı için $\alpha = 1.0231 \text{ km}^2$, $\sigma = 0.01976 \text{ km}^2$ $\rho = 0,95$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.74). Elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak çalışma alanında belirli bir büyüklükten daha büyük bir heyelanın oluşması için aşılma olasılıkları değerleri hesaplanarak, sırasıyla 0.05 km^2 , 0.20 km^2 , 0.50 km^2 ’den büyük bir heyelanının gerçekleşme olasılığı 0.86 , 0.46 , 0.23 olarak bulunmuştur (Şekil 4.75).

$$p(A_L) = \frac{1}{N_{LT}} \frac{\delta N_{CL}}{\delta A_L} \quad (4.5)$$

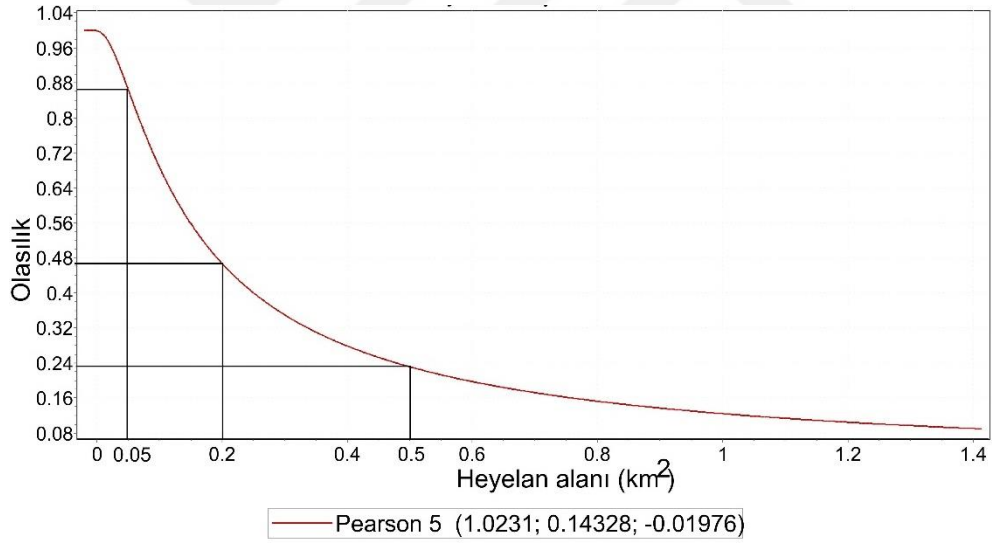
$$P(A_L; \rho, a, s) = \frac{1}{a\Gamma(\rho)} \left(\frac{a}{A_L - s} \right)^{\rho+1} \exp\left(-\frac{a}{A_L - s} \right) \quad (4.6)$$



Şekil 4.73. Çalışma alanına ait heyelan envanter haritasına göre heyelanların olasılık yoğunluğu (kırmızı kareler) ve buna uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 4.74. Çalışma alanındaki heyelan envanterine uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu.

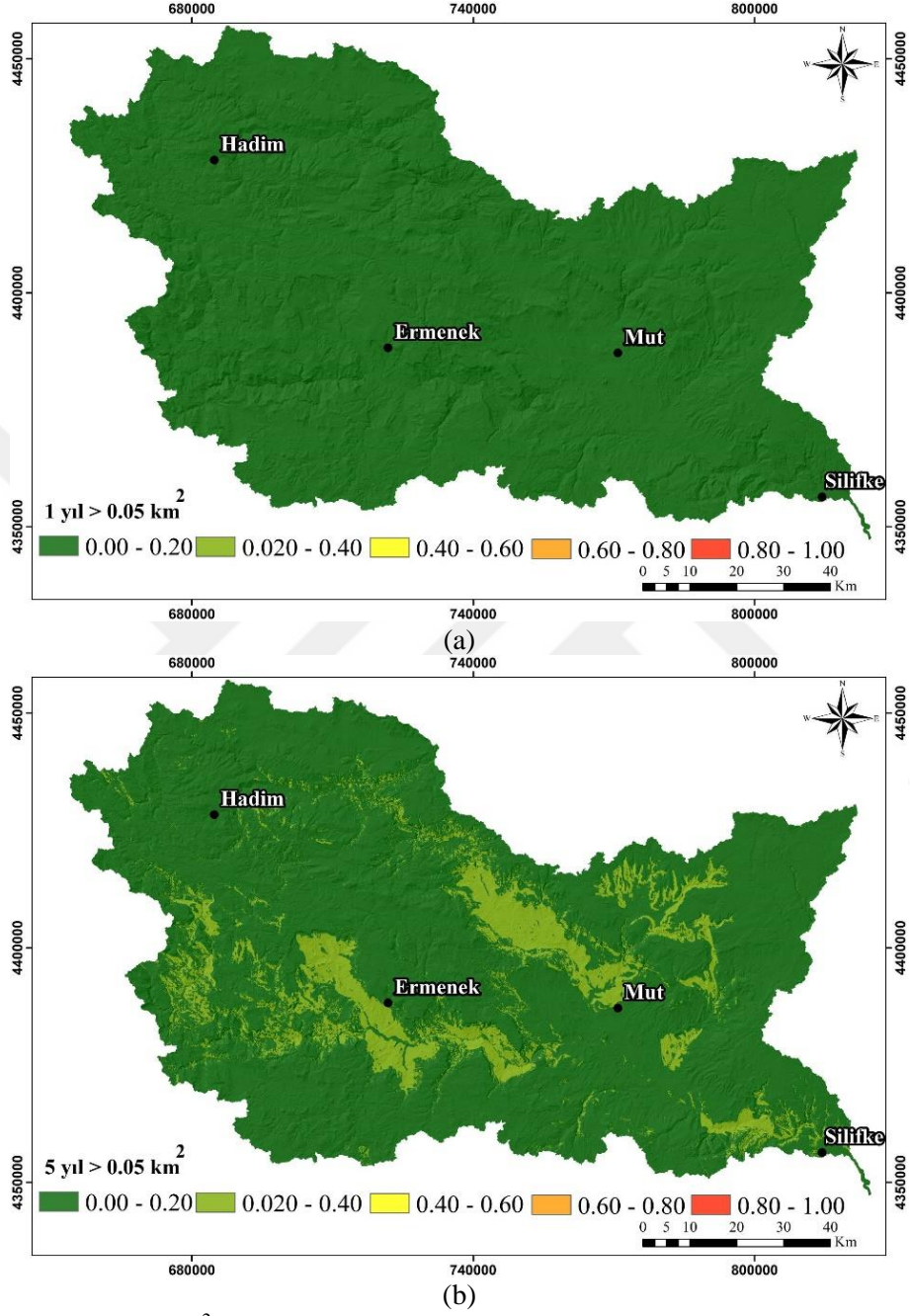


Şekil 4.75. Heyelan yoğunluk fonksiyonuna göre alansal olarak 0.05, 0.20, 0.50 km²'den büyük heyelanların aşılma olasılıkları.

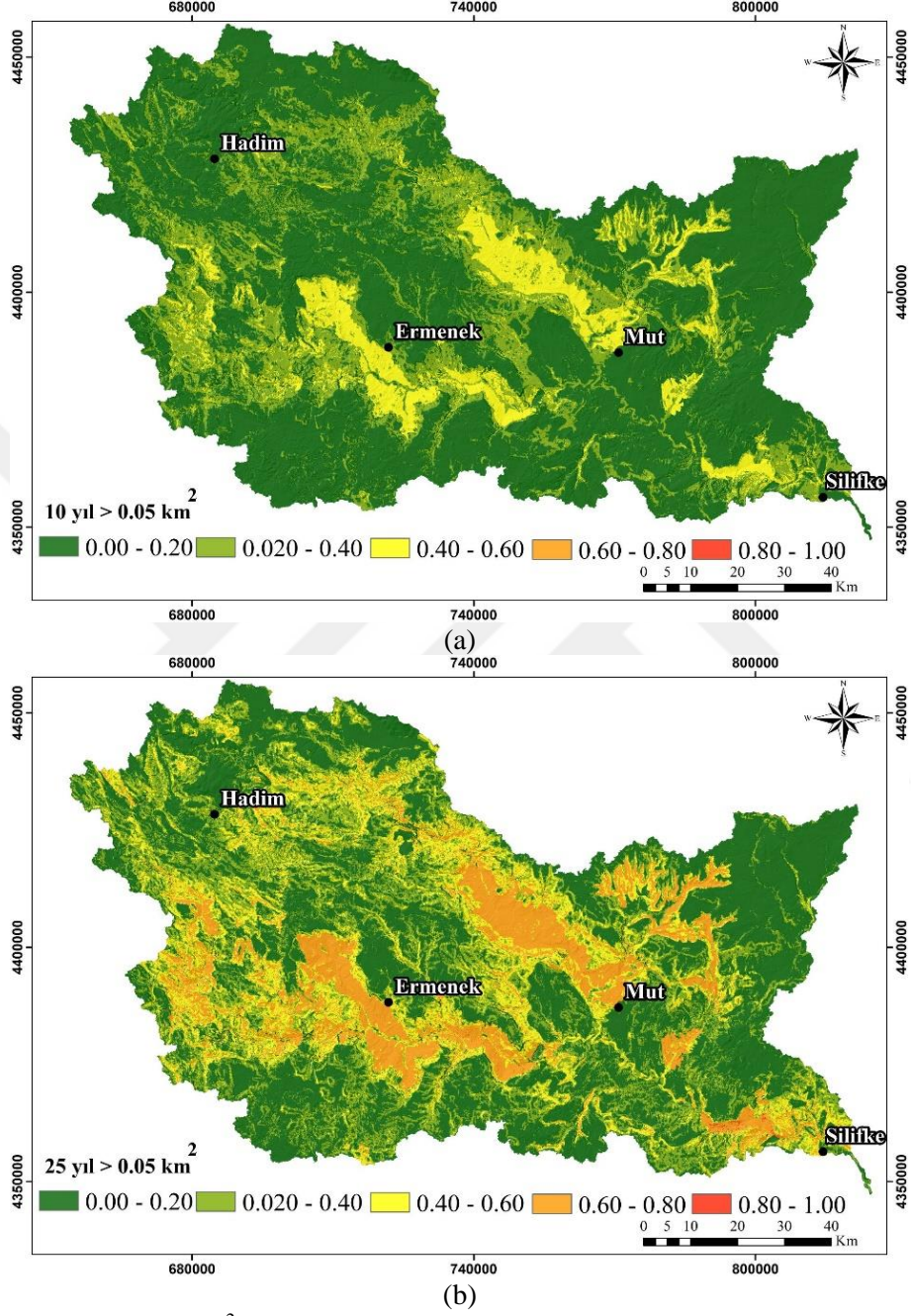
4.7. Olası Tehlike Haritaları

Heyelan olası tehlike haritaları yukarıda elde edilen mekansal olabirlik, zamansal olabirlik ve alansal büyüklük olabirliklerinin çarpılması sonucu, hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Karar Ağaç, Yapay Sınır Ağları ve Mantıksal regresyon yöntemleri ile yapılan duyarlılık değerlendirmelerinde, kullanılan her bir değişkenin duyarlılık haritasında olan etki değerinin elde edilmesi, heyelan envanter haritasında test, analiz verisetlerinin tamamen uzman denetimde seçilmesi gibi avantajlarından dolayı, Göksu havzasına ait duyarlılık haritalarından Mantıksal regresyon analizlerinden Veriseti-1'e ait harita, olası tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılmıştır. 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık zaman aralıklarında heyelan olma olasılıkları ve farklı alansal büyüklüklere (0.05 km², 0.20 km² ve 0.50 km²) sahip heyelanların olma olasılığını gösteren heyelan tehlike haritaları üretilmiştir (Şekil 4.76 - 4.84). Heyelan olası tehlike haritalarından görüleceği üzere zaman aralığı arttıkça heyelan olma olasılıkları da artmaktadır. Bu göreceli artış küçük ölçekli heyelanlar için daha büyük, büyük ölçekli heyelanlar için ise görece daha azdır.

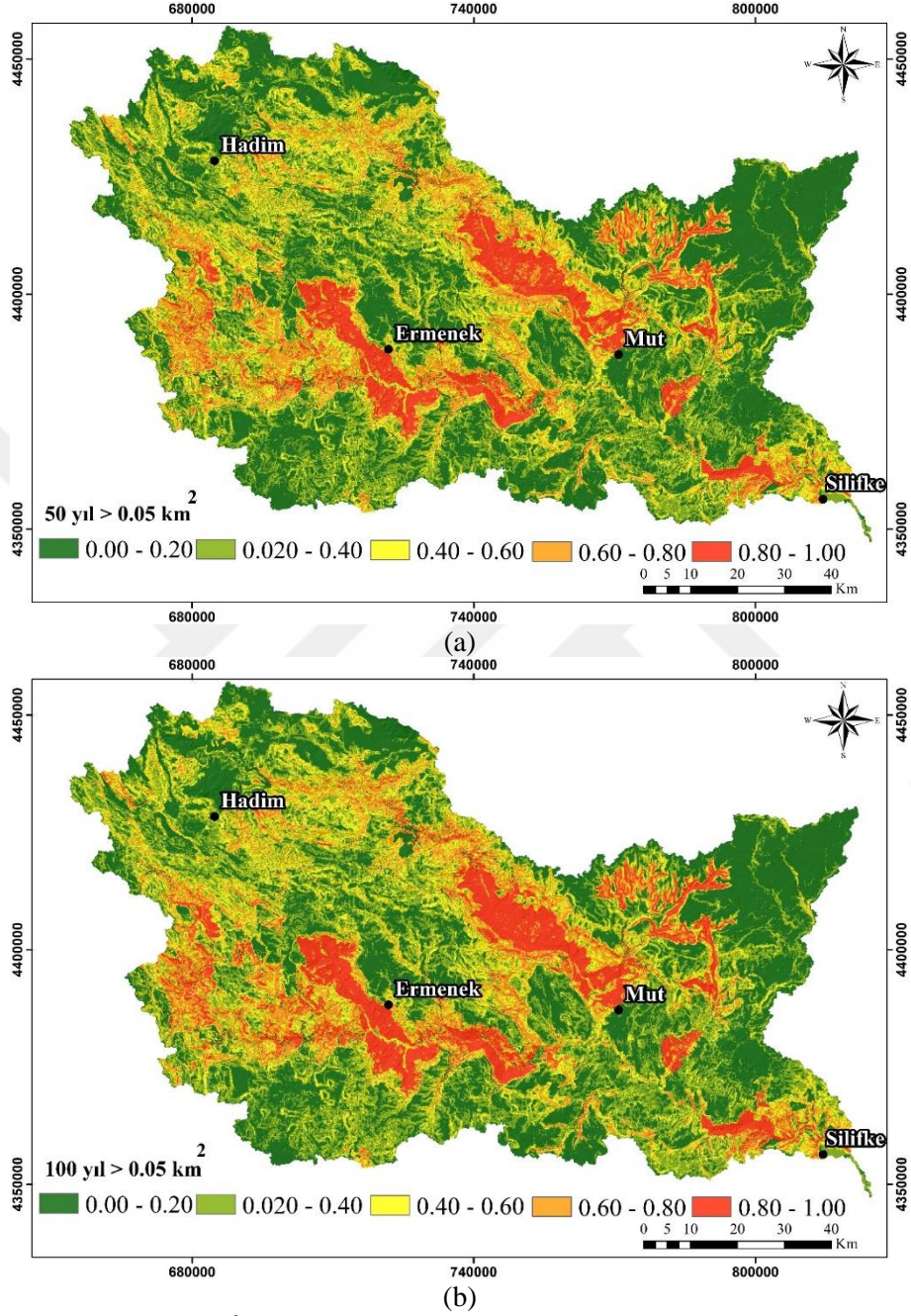
Çalışma alanına ait belirli zamanlarda belli bir tetikleyici faktör etkisi altında meydana gelen heyelanların haritalanması ile elde edilen olay heyelan envanter haritaları bulunmamaktadır. Bununla birlikte heyelan arşiv katıtları 1950 yıllardan itibaren tutulmaya başlanmıştır. Havzadaki bazı büyük ölçekli heyelanların tam olarak ne zaman oluştuğu bilinmemektedir. Dolayısıyla elde edilen olası tehlike haritalarının özellikle zamansal ve alansal olabirlik açısından mevcut girdi parametrelerine göre hesaplanan sonuçları yansıtmaktadır. 2009 yılından sonra bölgeye yerleştirilen meteoroloji istasyonları ile ileride meydana gelecek bölgesel heyelan olaylarının yağış şiddet süre ilişkileri daha sağlıklı değerlendirilebilecektir. Heyelan olası tehlike haritalarının hazırlanması ve risk değerlendirmesi çalışmalarında etkin olarak kullanılabilmesi için heyelan neden sonuç ilişkilerinin belirli bir standartta ve sürekliliğini sağlanarak kayıt altına alınması gerekmektedir.



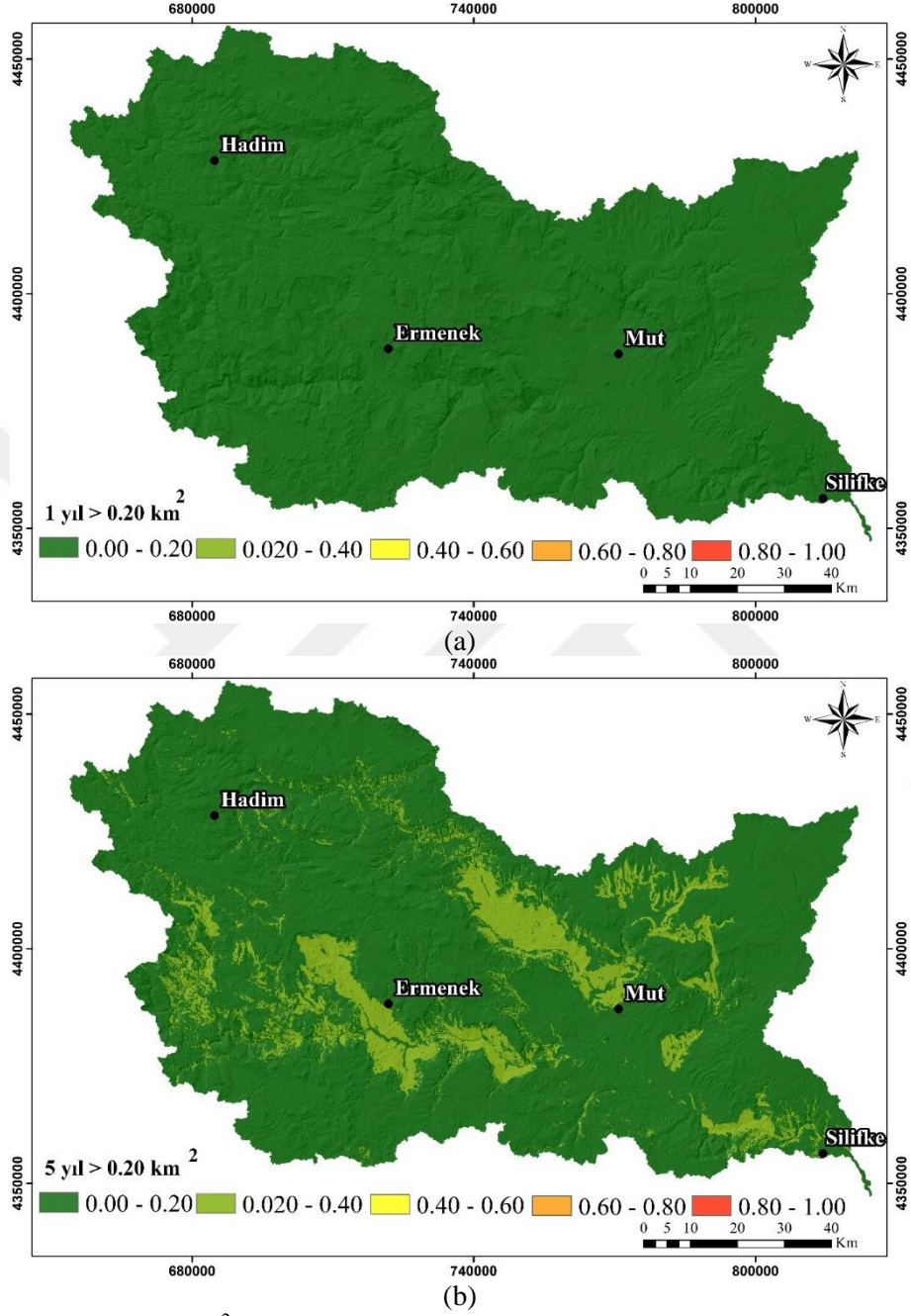
Şekil 4.76. 0.05 km²'den büyük ve 1 (a), 5(b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



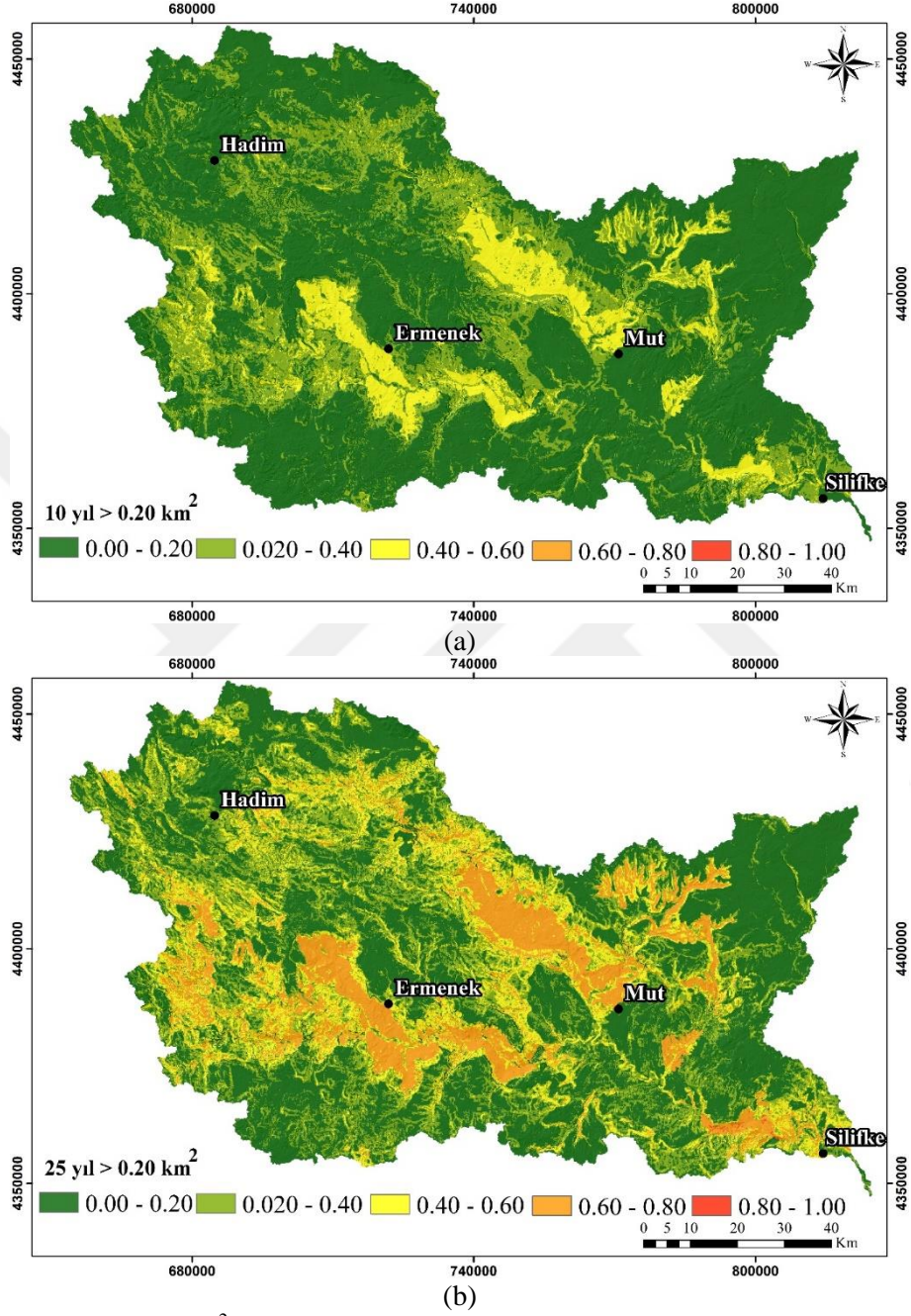
Şekil 4.77. 0.05 km²'den büyük, 10 (c) ve 25 (d) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



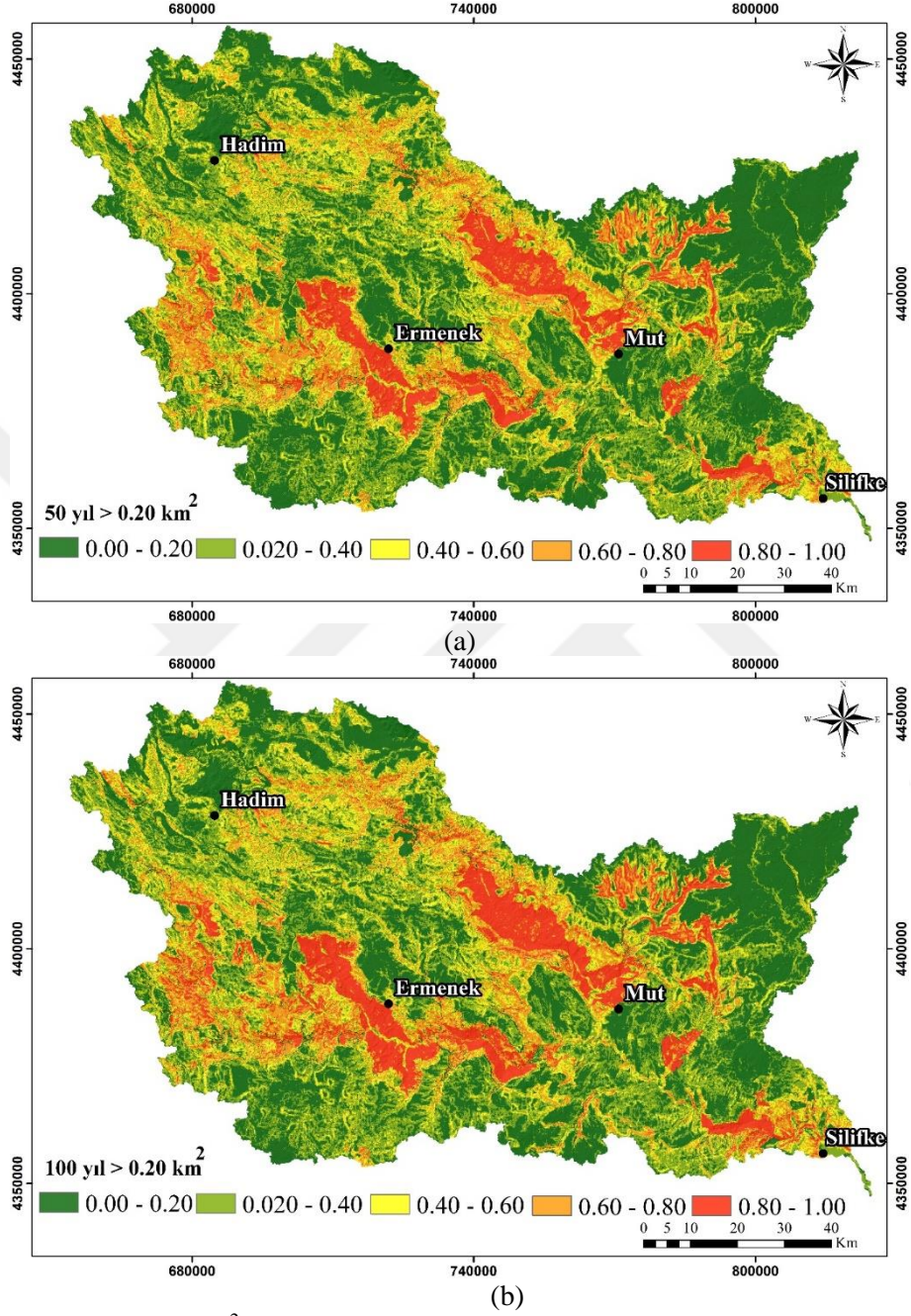
Şekil 4.78. 0.05 km²'den büyük ve 50 (a), 100 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



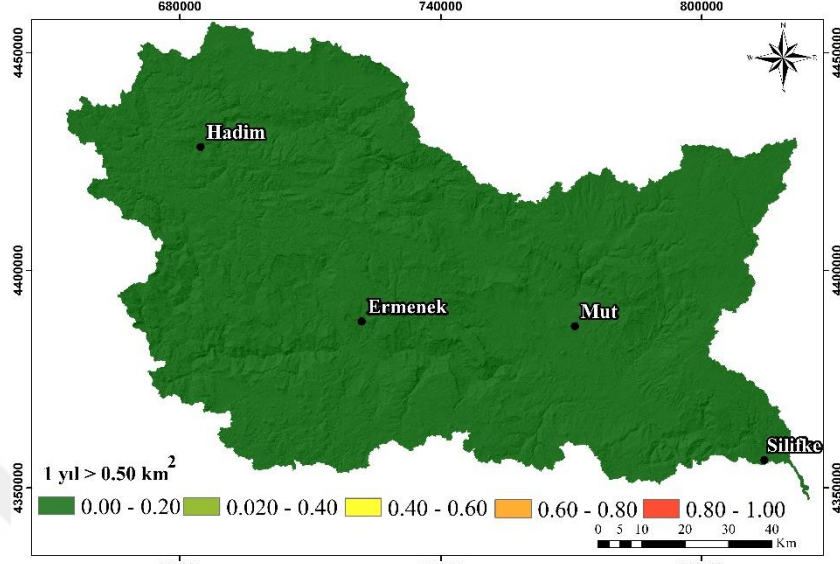
Şekil 4.79. 0.20 km²'den büyük ve 1 (a), 5 (b), yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



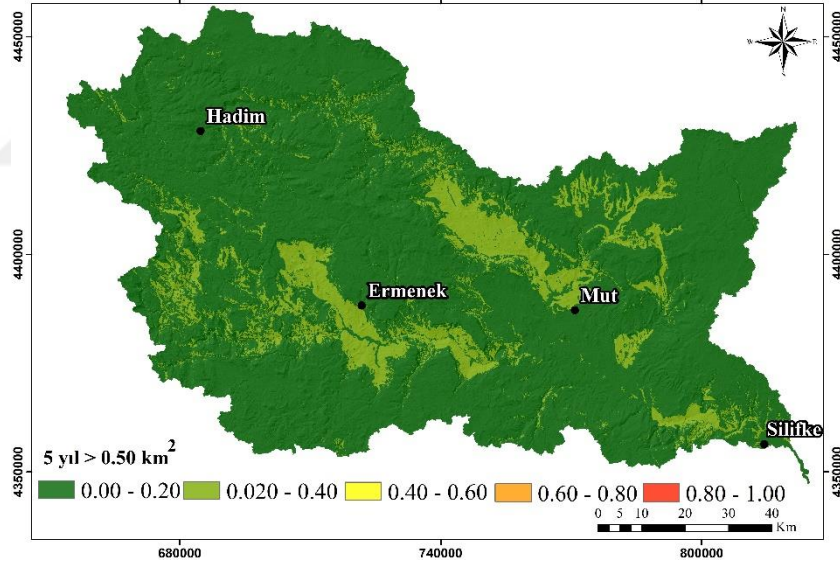
Şekil 4.80. 0.20 km²'den büyük ve 10 (a), 25 (b), yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



Şekil 4.81. 0.20 km²'den büyük ve 50 (a) ve 100(b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.

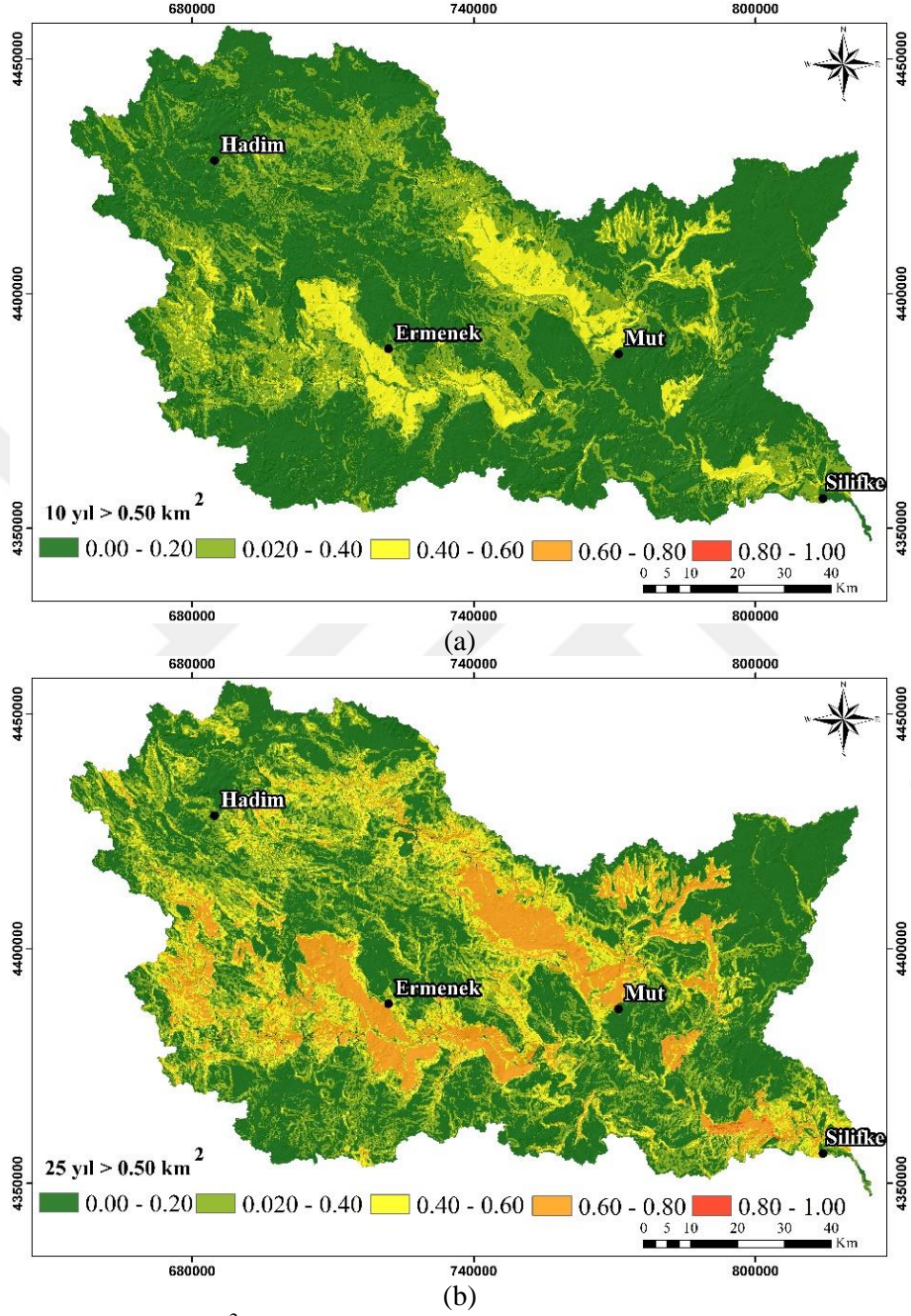


(a)

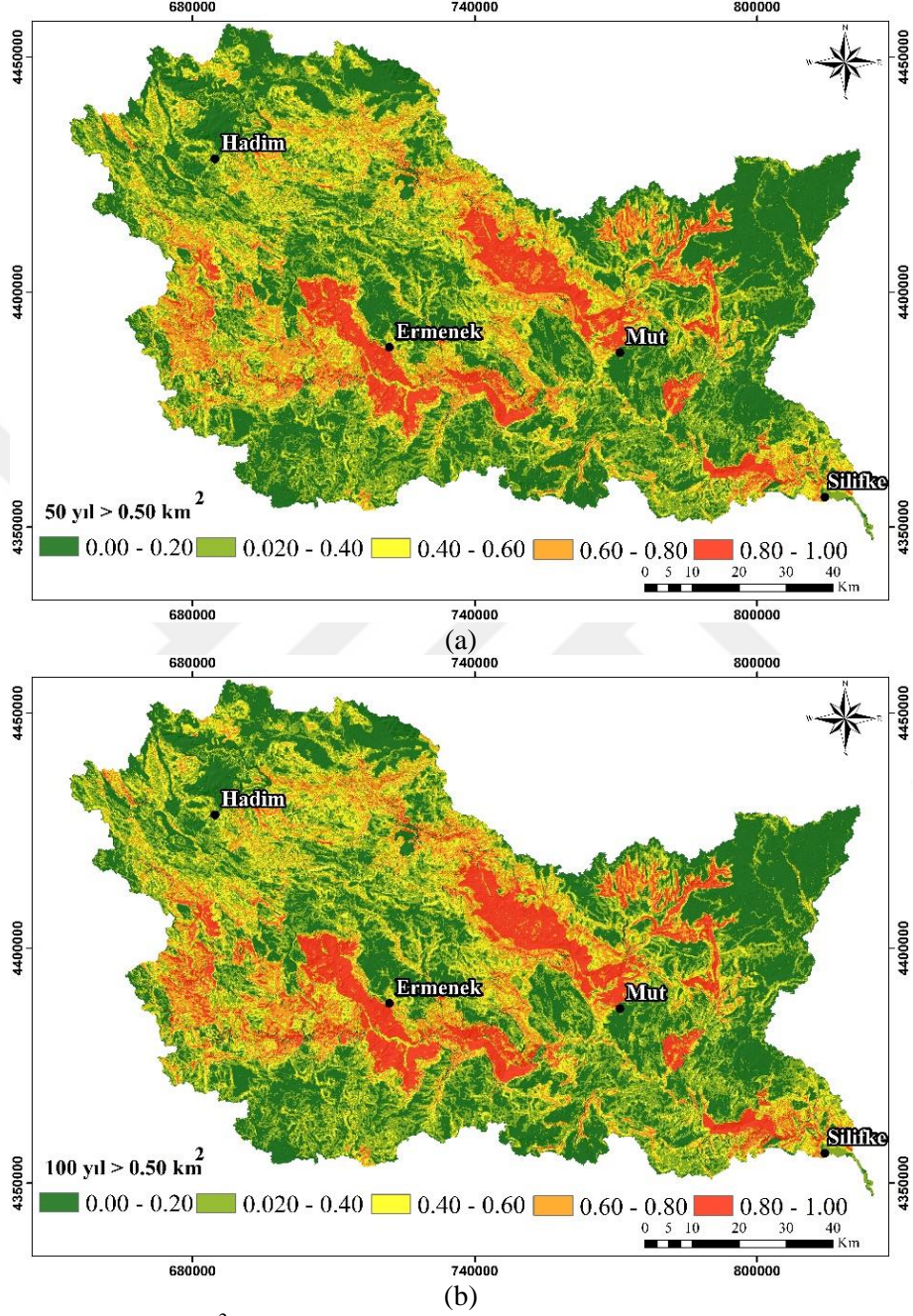


(b)

Şekil 4.82. 0.50 km²'den büyük ve 1 (a) ve 5 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



Şekil 4.83. 0.50 km²'den büyük ve 10 (a) ve 25 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



Şekil 4.84. 0.50 km²'den büyük ve 50 (a) ve 100 (b) yıllık aşılma olasılık değerlerine göre heyelan olası tehlike haritaları.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizin 25 ana havzasından birini oluşturan Doğu Akdeniz havzasının, 11.213 km² ile yarısına karşılık gelen ve en büyük alt havzası olan, Göksu Nehri Havzasının jeomorfometrik ve heyelan olası tehlike değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Göksu Havzası için jeomorfometrik değerlendirmeler çizgisel, alansal ve yüzey morfometrik özellikleri göz önünde tutularak gerçekleştirilmiştir. Göksu nehri havzası, çizgisel morfometrik parametre sonuçlarına göre iri dokulu dentritik drenaj ağına sahip olduğu bulunmuştur. Ermenek ve Gökçay yan kolları ile birlikte Göksu ana kolunun yüksek nehir dizinine ve hidrolojik açıdan çok yüksek yüzeysel akış potansiyeline sahip olduğu, 1.97 ortalama çatallanma oranı ile yüksek taşkın riskine sahip olduğu anlaşılmıştır. Alansal morfometrik parametrelere göre, genel olarak, havzanın orta ve alt kesimlerinde yüzeyleyen Orta Miyosen yaşlı Köşerli Formasyonunun yüksek sızma kapasite özelliği göstermektedir. Bununla birlikte Orta Miyosen yaşlı Mut formasyonunda ise neritik kireçtaşlarından oluşması sebebiyle düşük drenaj yoğunluk değerleri göstermektedir. Yüzey morfometrik değerlendirmesinde hipsometrik analizler ile havzanın % 54'lük kısmının erozyonal süreçler ile aşındığını göstermektedir. Hipsometrik eğriye göre, havzanın üst kesimlerinde yer alan temel birimlerde erozyonal süreçler yavaş olup, Miyosen örtü birimlerinin yüzeylendiği bölgelerde yükseklik farkı 1000m'nin üzerinde, hızlı aşınmaya bağlı "V" tipi, derin vadi yarılımları gözlenmektedir. Bu durumla uyumlu olarak, havzanın orta-alt kesimlerinde büyük ölçekli derin kayma türü heyelanların yoğunluğunda artış olduğu gözlenmiştir.

Akarsu boyuna profil analizleri ile havza akarsu sistemlerindeki rejim değişikliği değerlendirilmiştir. Buna göre Göksu havzasında normalize edilmiş akarsu diklik indeksinin (Ksn) havza içlerinde Mut formasyonu ile Köşerli fromasyonlarının litolojik özelliklerine bağlı olarak, sınır bölgelerinde yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir.

Heyelanların yol açtığı kayıplara karşı etkili mücadele belirli bir bölgede heyelanları hazırlayıcı ve tetikleyici çevresel değişkenlerin sağlıklı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Arazi çalışmaları ile yapılan güncellemeler ile birlikte çalışma alanında toplam alanı 299 km² olan farklı dönemlere ait 559 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanlar hareket mekanizma açısından genel olarak dairesel türde kayma türü heyelanlardan oluşmaktadır. Kaya düşme türü heyelan envanteri, Google Earth görüntüleri ve arazi çalışmaları ile hazırlanmıştır. 240 farklı bölgede de kaya düşmesi envanter haritası haritalanmıştır. Heyelanlar mekansal olarak genelde havza aşağısı ve havza yukarısı olmak üzere iki bölgede yoğunluk göstermektedir. Heyelanlı alanlar yükseklik değerlerine bağlı olarak genelde deniz seviyesinden 750 m yüksekliğe kadar ve ortalama 450 - 560 m civarında yoğunlaşmaktadır. Heyelanlar 30 derecenin altındaki yamaçlarda yoğunluk göstermektedir. Jeolojik açıdan ise heyelanların % 69.85'i Miyosen yaşlı Derinçay, Mut ve Köselirli formasyonları içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Heyelan arşiv kayıtlarına göre 1955-2008 yılları arasında Göksu havzasında raporlanan 133 adet heyelan olayı sonucunda toplam 998 konutta etkili nakil yapıldığı belirlenmiştir.

Heyelanların duyarlılık değerlendirmeleri, kayma türü heyelanlarda, yapay sinir ağları, karar ağaç ve mantıksal regresyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaya düşme heyelan duyarlılık değerlendirmesi ise Maksimum Entropi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak çalışma alanının jeolojisi başta olmak üzere arazinin sayısal yükseklik modelinden üretilen yamaç eğimi, eğim durumu parametreleri (TRASP, SIN ve COS), ortalama yamaç eğimi, eğimin ikinci türevi, düzlem, kesit, teget yamaç eğrisellikleri, pürüzlülük indeksi, sıcaklık indeksi, yamaç yönelimi, arazi sınıflaması, arazi kullanımı, topoğrafik nemlilik indeksi, nehir aşındırma gücü indeksi gibi haritalar göz önünde bulundurulmuştur.

Yapay sinir ağları yönteminde 29 değişken kullanılmış olup çalışma alanı % 75 analiz, % 15 test ve % 15 doğrulama verisetine ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Gizli katman sayısı 30 olarak analizler yapılmıştır. Çalışma alanının % 19.38'i,

heyelanların ise % 81.50'si yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır. Alıcı işletim karakteristik eğrisi ile elde edilen eğri altında kalan değeri analiz, test, doğrulama heyelanlarında ve tüm çalışma alanında sırasıyla 0.88, 0.89, 0.90 ve 0.87 olarak hesaplatılmıştır. Karar ağaç yöntemiyle yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmesinde, CHAID algoritması kullanılmıştır. Çalışma alanının % 24.24'ü heyelanların ise % 72'si yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunmaktadır. Alıcı işletim karakteristik eğri altında kalan alan değeri 0.821 olarak bulunmuştur. Mantıksal regresyon yöntemi ile yapılan analizlerde heyelanlar % 80 analiz ve % 20'si test heyelanları olmak üzere 3 farklı rastgele seçim yöntemiyle 3 farklı veri setleri hazırlanmıştır. Genel doğruluk yüzdelere bakıldığında Veriseti-1'de en yüksek doğruluk elde edilmiştir. Buna göre veriseti-1'e göre çalışma alanının, % 32.06'sı çok düşük. % 27.10'u düşük. % 17.32'si orta. % 12.91'i yüksek ve % 10.62'si çok yüksek, analiz heyelanlarının % 1.87'si çok düşük. % 7.96'sı düşük. % 15.89'u orta. % 26.33'ü yüksek ve % 47.93'ü çok yüksek ve test heyelanlarının %4.26'sı çok düşük. 5.31'i düşük. % 14.22'si orta. % 38.39'u yüksek ve % 37.80'i çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır. Yapılan analizlerde duyarlılık değerlendirmelerinin performanslarının oldukça yüksek olduğu görülmüş ve göz önünde bulundurulmuş parametrelerin heyelanların mekansal dağılımını tahmininde yeterli düzeyde tanımlayıcı değişkenler olduğu sonucu elde edilmiştir.

Heyelanların alansal ve zamansal olabilirlik parametreleri ise kesikli ve sürekli olasılık yoğunluk fonksiyonları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde aşırı yağışlar sonucu heyelan olaylarının tetiklendiği heyelan arşiv ve meteorolojik veriler korele edilerek belirlenmiştir. Buna göre, heyelanların 4 günlük kümülatif yağış değerlerinin 200 mm'ye ulaştığında, oluşmaya başladığı belirlenmiştir. Yağış frekans analizleri 4 günlük kümülatif yağış değerleri ile gerçekleştirilmiş ve en iyi uyum iyiliği, genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımından tekrarlar aralığı 18 yıl olarak belirlenmiştir. Buradan Poisson dağılımı ile 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık aşılma

olasılıkları hesaplanmıştır. Heyelanların alansal olabilirlikleri, büyüklük – sıklık ilişkisi göz önünde bulundurularak 0.05, 0.20 ve 0.50 km²'lik alandan daha büyük heyelanın olma olasılıkları Power-Law dağılımına ait Üç Parametrelili Ters Gamma dağılımları kullanılarak sırası ile 0.86, 0.46 ve 0.23 olarak bulunmuştur. Elde edilen mekansal, zamansal ve alansal olabilirlik parametrelerinin bir arada değerlendirilmesiyle, belirli bir bölgede, 0.05, 0.20 ve 0.50 km²'den büyük heyelanların, 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık zaman aralıklarında aşılma olasılıklarını bir arada gösteren heyelan olası tehlike haritaları üretilmiştir.

Heyelan tehlike değerlendirmeleri, içerisinde mekansal, zamansal ve alansal olabilirlik gibi çok sayıda parametreyi barındırmaktadır. Günümüzde henüz heyelan tehlike ve sonrasında hazırlanabilecek risk haritalamaları için standart yöntemler bulunmamaktadır. Bunun başlıca nedeni heyelan mekanizmalarının ve heyelanlara neden olan faktörlerin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. İleriye yönelik olarak heyelan tehlike ve risk tahminlerinin yapılmasında geçmişte meydana gelen heyelan olayları ve etkilerinin ayrıntılı ve sistematik bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Doğa olaylarının aynı bölgede belli aralıklarla tekrarlandığı düşünüldüğünde, etkin bir şekilde tehlike değerlendirme ve risk azaltma çalışmalarının yapılabilmesi için tüm verilerin içerik, kalite ve ayrıntı açısından doğru ve güvenilir olması gerekmektedir.

Ülkemizde, genel hayatı etkileyen afetler dolayısıyla alınacak önlemlerle, yapılacak yardımlara ilişkin ilk kanun, 7269 kanun sayısı ile 25.05.1959 yılında yürürlüğe girmiştir. Kanun, doğal afetlerden etkilenen veya etkilenme olasılığı bulunan bölgelerde doğal afet risklerinin azaltılması veya önlenmesine yönelik olarak hazırlanmasına rağmen, günümüze kadar ki uygulamalar daha çok afet sonrası müdahale ve yardımlar şeklinde yürütülmektedir. Ülkemizde heyelan olayları ile ilgili afet iyileştirme politikalarına bakıldığında afet bölgesi ilan edilen yerde, yerleşim biriminin tamamen naklini öngören, yani toplam riski tamamen ortadan kaldırmaya yönelik yaklaşımların benimsendiği gözlenmektedir.

Tez kapsamında Göksu Nehri havzası için üretilen heyelan tehlike haritaları, değişik zaman aralıklarında, belirli bir büyüklükte heyelan olası tehlikesinin gerçekleşmesini göstermektedir. Çalışmanın doğruluğu bundan sonra bölgede meydana gelecek heyelan olayları ile test edilebilecektir. Mevcut veri tabanının sürekli olarak güncellenmesi ile yeterli verilerin sağlanması durumunda bölgesel ölçekte etkili olan heyelanların yerleşim birimleri, tarım arazileri ve ormanlık alanların ayrıntılı hasar görülebilirlik parametreleri belirlenerek, güvenilirliği yüksek heyelan risk değerlendirmeleri yapılabilecektir. Diğer taraftan havza içerisinde farklı standartlardaki karayollarının yarma ve dolgu şevlerinde de heyelanlar gelişmektedir. Tez kapsamında kullanılan sayısal yükseklik modeli 1:25000 ölçekli sayısal yükseklik eğrilerinden elde edilmiştir. Karayolları boyunca meydana gelen heyelanların envanter, olası tehlike ve risk değerlendirmelerinin yapılabilmesi için mevcut arazi yapısını, belirli genişlikte bir kuşak boyunca yansıtan, büyük ölçekli detay harita ve yüksek çözünürlükte sayısal arazi modeli gerekmektedir.

Çalışma alanında en uzun süreli yağış verilerine sahip meteoroloji istasyonları Silifke ve Mut'ta bulunmaktadır. Bu nedenle yağış frekans analizleri bu iki istasyon verisi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Havza geneline yayılan ve 2009 yılından sonra kurulan meteoroloji istasyon verileri ile alt bölgeler içerisinde ileriki zamanlarda elde edilecek heyelan yağış-şiddet-süre ilişkileri ile daha detaylı değerlendirmeler yapılabilecektir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçların karar vericiler ve uygulayıcılar tarafından dikkate alınarak yapılacak planlama çalışmalarının, bölgede heyelan olayları sonucu meydana gelebilecek olası kayıpların azaltılmasına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Ada, M., and San, B. T. 2018. Comparison of machine-learning techniques for landslide susceptibility mapping using two-level random sampling (2LRS) in Alakir catchment area, Antalya, Turkey. *Natural Hazards*, 90(1), 237-263, doi:10.1007/s11069-017-3043-8.
- Aghda, S., M. F., and Bagheri, V., 2015. Evaluation of earthquake-induced landslides hazard zonation methods: a case study of Sarein, Iran, earthquake 1997. *Arabian Journal of Geosciences* 8, 7207-7227.
- Akarsu, İ., 1960. Mut Bölgesinin Jeolojisi. *MTA Dergisi*. S:54, s:36-45, Ankara.
- Akgün, A., and Bulut, F. 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51(8), 1377-1387, doi:10.1007/s00254-006-0435-6.
- Akgün, A., Dag, S., and Bulut, F. 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54(6), 1127-1143, doi:10.1007/s00254-007-0882-8.
- Akgün, A., and Turk, N. 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61(3), 595-611, doi:10.1007/s12665-009-0373-1.
- Akgün, A. 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at Izmir, Turkey. *Landslides*, 9(1), 93-106, doi:10.1007/s10346-011-0283-7.
- Akgün, A., Sezer, E. A., Nefeslioglu, H. A., Gökçeoglu, C., and Pradhan, B. 2012b. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers and Geosciences*, 38(1), 23-34, doi:10.1016/j.cageo.2011.04.012.

- Akgün, A., and Erkan, O. 2016. Landslide susceptibility mapping by geographical information system-based multivariate statistical and deterministic models: in an artificial reservoir area at Northern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), doi:ARTN 16510.1007/s12517-015-2142-7.
- Akyol, M., ve Gürbüz, A., 2002, “Üç Yönlü Tablolarda χ^2 İstatistiğinin Kullanılması,” *İstatistik Araştırma Dergisi*, DİE Yayınları, Cilt 1, No: 1, 23-27.
- Alan, İ., Balcı, V., Şahin, Ş., Böke, N., Esirtgen, T., 2011. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Silifke-O32 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 194. 19s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Alan, İ., Balcı, ve V., Elibol, H., 2014a. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Silifke-P30 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 221. 36s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Alan, İ., Balcı, ve V., Elibol, H., 2014b. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Silifke-P31-32 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 222. 36s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Aleotti, P., and Chowdury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bull, Eng, Geol, Environ.* 21-44.
- Alkhasawneh, M.S., Ngah, U.K., Tay, L.T., Isa, N.A.M.I., and Batah, M.S., 2014. Modeling and Testing Landslide Hazard Using Decision Tree, *Journal of Applied Mathematics*, DOI: 10.1155/2014/929768.
- Allasia, P., Manconi, A., Giordan, D., Baldo, M., and Lollino, G., 2013. ADVICE: A New Approach for Near-Real-Time Monitoring of Surface Displacements in Landslide Hazard Scenarios. *Sensors* 13, 8285-8302.
- Alparslan, E. 2011. Landslide Susceptibility Mapping in Yalova, Turkey, by Remote Sensing and GIS. *Environmental and Engineering Geoscience*, 17(3), 255-265.

- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H. J., and Lee, J. H. 2014. A novel ensemble decision tree-based CHi-squared Automatic Interaction Detection (CHAID) and multivariate logistic regression models in landslide susceptibility mapping. *Landslides* 11, 1063-1078.
- Alvioli, M., Melillo, M., Guzzetti, F., Rossi, M., Palazzi, E., von Hardenberg, J., Brunetti, M. T., and Peruccacci, S. 2018, Implications of climate change on landslide hazard in Central Italy, *Sci. Total Environ.*, 630, 1528–1543, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.315>.
- Arca, D., Citiroglu, H. K., and Tasoglu, I.K. 2019. A comparison of GIS-based landslide susceptibility assessment of the Satuk village (Yenice, NW Turkey) by frequency ratio and multi-criteria decision methods. *Environmental Earth Sciences*, 78(3), doi:ARTN 81 10.1007/s12665-019-8094-6.
- Arca, D., Kutoglu, H. S., and Becek, K. 2018. Landslide susceptibility mapping in an area of underground mining using the multicriteria decision analysis method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(12), doi:ARTN 725 10.1007/s10661-018-7085-5.
- Atalay, İ., 2005. Kuvaterner'deki İklim Değişmelerinin Türkiye Doğal Ortamı Üzerindeki Etkileri, *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, TURQUA-V*, SS:121-128.
- Atkinson, P.M. and Massari, R. 1998. Mapping Susceptibility to Landsliding in the Central Apennines, Italy. *Computers and Geosciences*, 24, 373-385. [http://dx.doi.org/10.1016/S0098-3004\(97\)00117-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0098-3004(97)00117-9).
- Atkinson P., M., Massari R., 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the central apennines, Italy, *Geomorphology*.doi:10.1016/j.geomorph.2 011.02.001.
- Avcı, V. 2016. The Landslide Susceptibility Analysis of the Gokdere Basin and its Surrounding Region (The Southwest of Bingol) According to the Frequency Ratio Method. *Marmara Geographical Review*(34), 160-177.

- Avşın, N., 2014. Göksu Nehri Vadisinin Flüvyal Jeomorfoloji (Mut-Silifke Arası) Fluvial Geomorphology of the Göksu River Valley (Between Mut And Silifke) Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, (The Journal of International Social Research), Cilt: 7 Sayı: 34 Volume: 7 Issue: 34 www.sosyalarastirmalar.com Issn: 1307-9581.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65, 15-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>.
- Aydın, A., and Eker, R. 2016. Fuzzy rule-based landslide susceptibility mapping in Yigilca Forest District (Northwest of Turkey). *Journal of the Faculty of Forestry-Istanbul University*, 66(2), 559-571, doi:10.17099/jffiu.48480.
- Baeza, C., and Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1251–1263.
- Barling, R.D., 1992. Saturation zones and ephemeral gullies on arable land in southeastern Australia. Unpublished PhD Dissertation, University of Melbourne.
- Basheer, I. A., and Hajmeer, M. 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of Microbiological Methods* 43, 3-31.
- Bednarik, M., and Paudit, P., 2010. Different ways of landslide geometry interpretation in a process of statistical landslide susceptibility and hazard assessment: Horna SA (0)a (western Slovakia) case study. *Environmental Earth Sciences* 61, 733-739.
- Bednarik, M., Yılmaz, I., and Marschalko, M., 2012. Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec-Sered' landslide area in south-west Slovakia. *Natural Hazards* 64, 547-575.

- 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 1979.
- Bilgiç, T., 2009. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Karaman N31 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 129. 25s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Elibol, E., Güner, E., ve Gedik, i., 1994. Mut-Silifke-Gülnar yöresinin (İçel ili) jeolojisi: MTA. Rap. No. 9715 (yayımlanmamış), Ankara.
- Blumenthal, M., 1951. Recherces Geologiques Dans Le Taurus Occidentales Dans L'arriere-Pays s'Alanya, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Serie D., No:5, Ankara, 133p.
- Borgomeo, E., Hebditch, K. V., Whittaker, A. C., and Lonergan, L., 2014. Characterising the spatial distribution, frequency and geomorphic controls on landslide occurrence, Molise, Italy, *Geomorphology*, vol., 226, pages: 148-161. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.08.004.
- Bozzano, F., Mazzanti, P., Prestininzi, A., and Mugnozza, G. S., 2010. Research and development of advanced technologies for landslide hazard analysis in Italy. *Landslides* 7, 381-385.
- Brambilla, D., Longoni, L., and Papini, M., 2010. Regional methods for shallow landslide hazard evaluation: a comparison between Italy and Central America. *Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows* Iii, 185-196.
- Bricker, J. D., Schwanghart, W., Adhikari, B. R., Moriguchi, S., Roeber, V., and Giri, S., 2017. Performance of Models for Flash Flood Warning and Hazard Assessment: The 2015 Kali Gandaki Landslide Dam Breach in Nepal. *Mountain Research and Development* 37, 5-15.

- Buckley, Stephen M. 2010, Nonpositive curvature and complex analysis. In: Five lectures in complex analysis: second Winter School on Complex Analysis and Operator Theory, February 5-9, 2008, University of Sevilla, Sevilla, Spain. Contemporary mathematics (525). American Mathematical Society, Providence, R.I., pp. 43-83. ISBN 9780821848098
- Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., and Dick, O. B., 2013. Regional prediction of landslide hazard using probability analysis of intense rainfall in the Hoa Binh province, Vietnam. *Natural Hazards* 66, 707-730.
- Buldur, A.D., Pınar, A., Başaran, A., 2004. 05-07 Mart 2004 Tarihli Gökso Nehri Taşkını Ve Silifke'ye Etkisi.
- Can, A., Dagdelenler, G., Ercanoglu, M., and Sonmez, H. 2019. Landslide susceptibility mapping at Ovacık-Karabuk (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(1), 89-102, doi:10.1007/s10064-017-1034-3.
- Cantarino, I., Torrijo, F. J., Palencia, S., and Gielen, E., 2014. Assessing residential building values in Spain for risk analyses - application to the landslide hazard in the Autonomous Community of Valencia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14, 3015-3030.
- 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)).
- Carrara, A., 1983. Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation I, *Mathematical Geology*, Vol. 15, No. 3, 1983
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995. GIS based techniques for mapping landslide hazard. ([http:// deis158.deis.unibo.it](http://deis158.deis.unibo.it)).
- Cevik, E., and Topal, T. 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44(8), 949-962, doi:10.1007/s00254-003-0838-6.

- Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R. 2006. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(4), 341-411, doi:10.1007/s10064-006-0064-z.
- Chau, K.T., Sze, Y.L., Fung, M.K., Wong, W.Y., Fong, E.L., Chan, L.C.P., 2004. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS, *Computers & Geosciences* 30, 429–443.
- Chen, W., Pourghasemi, H. R., and Naghibi, S., A., 2017. A comparative study of landslide susceptibility maps produced using support vector machine with different kernel functions and entropy data mining models in China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 77, 647-664.
- Chorley, R. J. 1972. Climate and Morphometry. *The Journal of Geology*, 65(6), 627–638.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. and Vescovi, P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48, 349-364.
- Chung, C., and Fabbri, A., 2008. Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping *Natural Hazards* 30: 451–472.
- Colkesen, I., Sahin, E. K., and Kavzoglu, T. 2016. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. *Journal of African Earth Sciences*, 118, 53-64, doi:10.1016/j.jafrearsci.2016.02.019.
- Colkesen, I., Sahin, E. K., and Kavzoglu, T. 2016. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. *Journal of African Earth Sciences*, 118, 53-64, doi:10.1016/j.jafrearsci.2016.02.019.
- CORINE, 2006. (Coordination of Information on the Environment), <http://www.corine.itu.edu.tr/typography.html>.

- Corominas, J., and Moya, J. 2010. Contribution of dendrochronology to the determination of magnitude-frequency relationships for landslides. *Geomorphology* 124, 137-149.
- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S., 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 209-263, doi:10.1007/s10064-013-0538-8.
- Crozier, M.J. and Glade, T., 2005. *Landslide Hazard and Risk: Issue, Concepts and Approach*. Landslide Hazard and Risk. Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (eds.) John Wiley & Sons, 1-40.
- Crosta, G. B., Imposimato, S., Roddeman, D. G., 2003. Numerical modelling of large landslides stability and runout, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, VOL:3 pages 523-538, DOI 10.5194/nhess-3-523-2003
- Crovelli, A. R. 2000. *Probability Models for Estimation of Number and Costs of Landslides*, USGS
- Cruden, D. M., Thomson, S., and Hoffman, B. A., 1991. Observation of Graben Geometry in Landslides, *Slope Stability Engineering*, pages: 33-35.
- Cruden, D.M. and Varnes, D.J., 1996. *Landslide Types and Processes*. Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247. In Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.), 36-75.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H, A., Gökçeoğlu, C. Sönmez, H. and 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., Duman, T. Y., Çil, E. ve Mazman, T., 2009. Mersin Merkez ve Erdemli İlçeleri Kuzeyinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Envanter, duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirmesi, TÜBİTAK-ÇAYDAG:107Y138, Adana.

- Çan, T., Çil, E. Mazman, T., Duman, T.Y., Küçükönder, M., 2012. Mersin-Erdemli Bölgesi Niceliksel Heyelan Risk Değerlendirmesi, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri,232-233, Ankara, 02-06 Nisan 2012.
- Çan T., Duman T.Y., Olgun Ş., Çörekçioğlu Ş., Karakaya Gülmez F., Elmacı H., Hamzaçebi, S., Emre, Ö., 2013. Türkiye Heyelan Veri Tabanı, Tmmob Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013, Ankara, Türkiye.
- Çan T., ve Duman T.Y., 2016. "Heyelan Risk Değerlendirmelerinde Gerekli Bilgi Alt Yapısı", Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 27-29 Nisan 2016, ss.5-6.
- Çan T., ve Tekin S., 2016a. İl Sınırları Bazında Heyelan Duyarlılık Haritaları: Mersin, Adana, Osmaniye Ve Hatay Örnekleri, Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 27-29 Nisan 2016, Ss.183-184.
- Çan, T., Bulut, İ. Tekin, S. Özcan A.K., 2017. Gülyalı (Ordu) - Bulancak (Giresun) arası kıyı kuşağı havzalarının heyelan olası tehlike haritaları, 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 184-185, Ankara, 10-14 Nisan 2017
- Çiçek, İ., Gürgen, G., Tunçel, H. and Doğu, A.F., 2003, Glacial morphology of Eastern Blacksea Mountains (Turkey). *Caucasian Geographical*.
- Çil, E., 2009. Erdemli (Mersin) yöresinin coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan olası tehlike değerlendirme, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 142, Adana.
- Dagdelenler, G., Nefeslioglu, H. A., and Gökçeoglu, C. 2016. Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(2), 575-590, doi:10.1007/s10064-015-0759-0.
- Dai, F. C., Lee, C. F., Ngai, Y. Y. 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64(1), 65-87, doi:Pii S0013-7952(01)00093-X Doi 10.1016/S0013-7952(01)00093-X.

- Dalkılıç, H., ve Balcı, V., 2009. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Silifke 0-30 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 130. 25s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Das, H. O., Sonmez, H., Gökçeoglu, C., and Nefeslioglu, H. A. 2013. Influence of seismic acceleration on landslide susceptibility maps: a case study from NE Turkey (the Kelkit Valley). *Landslides*, 10(4), 433-454, doi:10.1007/s10346-012-0342-8.
- Das, I., Stein, A., Kerle, N., and Dadhwal, V. K. 2011. Probabilistic landslide hazard assessment using homogeneous susceptible units (HSU) along a national highway corridor in the northern Himalayas, India. *Landslides* 8, 293-308.
- Del Gaudio, V, Pierri, P., Calcagnile G., 2012 Analysis of seismic hazard in landslide-prone regions: criteria and example for an area of Daunia (southern Italy). *Nat Hazards* 61:203–215. doi:10.1007/s11069-011- 9886-5
- Demir, G. 2018. Landslide susceptibility mapping by using statistical analysis in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) on the northern part of SuAYehri Town, Turkey. *Natural Hazards*, 92(1), 133-154, doi:10.1007/s11069-018-3195-1.
- Demir, G., Aytakin, M., Akgün, A., İkizler, S. B., and Tatar, O. 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods. *Natural Hazards*, 65(3), 1481-1506, doi:10.1007/s11069-012-0418-8.
- Demir, G., Aytakin, M., and Akgün, A. 2015. Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar-Resadiye (Tokat, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 8(3), 1801-1812, doi:10.1007/s12517-014-1332-z.
- Demirtaşlı, E., 1983. Geology of the Teke Taurus. Field Guidebook, 20 pp.

- Disperati, L., and Virdis, S. G. P. 2015. Assessment of land-use and land-cover changes from 1965 to 2014 in Tam Giang-Cau Hai Lagoon, central Vietnam. *Applied Geography* 58, 48-64.
- 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.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kecer, M., Doğan, A., Ateş, S., ve 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., Çan, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H, A., and Sönmez, H., 2006a. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, 51, 241-256.
- Duman, T. Y., Nefeslioğlu, A. H. Çan, T. Ateş, Ş. Durmaz, S. Olgun, Ş. Hamzaçebi, 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. Hamzaçebi, 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. Hamzaçebi, S. Nefeslioğlu, A. H., 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., Hamzaçebi, 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., Hamzaçebi, S. Durmaz, S. ve Çörekçioğlu, Ş. 2009a. 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., Hamzaçebi, S. Durmaz, S. ve Çörekçioğlu, Ş. 2009b. 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., Hamzaçebi, S., Durmaz, S., ve Çörekçioğlu, 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., Hamzaçebi, S. Elmaci H. Durmaz, S. ve Çörekçioğlu, 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., Hamzaçebi, S. Elmaci, H. Veve Çörekçioğlu, 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., Hamzaçebi, S. Elmaci, H., Durmaz, S. ve Çörekçioğlu, 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. Hamzaçebi, S. Elmaci, H. Ve Çörekçioğlu, 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., Hamzaçebi, S. Elmaci, H. Durmaz, S. Ve Çörekçioğlu, 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., Hamzaçebi S. Elmaci, H. Durmaz, S. Ve Çörekçioğlu, Ş. 2009I. 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., Hamzaçebi, 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., Hamzaçebi, 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. Hamzaçebi, 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., Hamzaçebi, S. Durmaz, S. Elmaci, H., Ve Çörekçioğlu, Ş. 2009m. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Kars Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara.
- Efe, R., 2015. Ermenek Havzasının Jeomorfolojik Özellikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Prof. Dr. İbrahim ATALAY'ın 45. Meslek Yılına Armağan, Editör, Prof. Dr. Recep Efe, SS 53-73. ISBN : 978-975-441-447-9.

- Eker, A. M., Dikmen, M., Cambazoglu, S., Duzgun, S. H. S. B., and Akgün, H. 2012. Application of Artificial Neural Network and Logistic Regression Methods to Landslide Susceptibility Mapping and Comparison of the Results for the Ulus District, Bartın. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1), 163-173.
- Eker, R., and Aydin, A. 2014. Assessment of forest road conditions in terms of landslide susceptibility: a case study in Yigilca Forest Directorate (Turkey). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2), 281-290, doi:10.3906/tar-1303-12.
- Eker, A. M., Dikmen, M., Cambazoglu, S., Duzgun, S. H. B., and Akgün, H. 2015. Evaluation and comparison of landslide susceptibility mapping methods: a case study for the Ulus district, Bartın, northern Turkey. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(1), 132-158, doi:10.1080/13658816.2014.953164.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M. S., and Zimmermann, N. E., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- EMDAT, 2019. OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- Ercanoğlu, M. and Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca

- Güneyi - Yenice Kuzeyi)" Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 203 s. (yayınlanmamış).
- Ercanoglu, M., Gökçeoglu, C., and Van Asch, T. W. J. 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32(1), 1-23, DOI 10.1023/B:NHAZ.0000026786.85589.4a.
- Ercanoglu, M., and Gökçeoglu, C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3-4), 229-250, doi:10.1016/j.enggeo.2004.06.001.
- Ercanoglu, M. 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(6), 979-992, DOI 10.5194/nhess-5-979-2005.
- Ercanoglu, M., Kasmer, O., and Temiz, N. 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(4), 565-578, doi:10.1007/s10064-008-0170-1.
- Ercanoglu, M., and Temiz, F. A. 2011. Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 949-964, doi:10.1007/s12665-011-0912-4.
- Ercanoglu, M., Dagdelenler, G., Ozsayin, E., Alkeveli, T., Sonmez, H., Ozyurt, N. N., et al. 2016. Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabük, Turkey) region. *Journal of Mountain Science*, 13(11), 1923-1940, doi:10.1007/s11629-016-3880-z.
- Erener, A., and Duzgun, H. S. B. 2012. Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method? *Environmental Earth Sciences*, 66(3), 859-877, doi:10.1007/s12665-011-1297-0.

- Erener, A., Sivas, A. A., Selcuk-Kestel, A. S., and Duzgun, H. S. 2017. Analysis of training sample selection strategies for regression-based quantitative landslide susceptibility mapping methods. *Computers and Geosciences*, 104, 62-74, doi:10.1016/j.cageo.2017.03.022.
- 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
- Erol, O., 1990. Batı Toros Dağları'nın Messiniyen Paleojeomorfolojisi ve Neotektoniği. *Türkiye 8. Petrol Kong. 16-20 Nisan 1990* s:371-386, Ankara.
- Fan, L. F., Lehmann, P., McArdeell, B., and Or, D., 2017. Linking rainfall-induced landslides with debris flows runoff patterns towards catchment scale hazard assessment. *Geomorphology* 280, 1-15.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. Z., et al. 2008a. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk-zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85-98, doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.022.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. Z., et al. 2008b. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning Commentary. *Engineering Geology*, 102(3-4), 99-111, doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.014.
- Flint, J.J., 1974. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. *Water resources research*, october, 1974, vol:10 issue:5, <https://doi.org/10.1029/WR010i005p00969>
- Gallant, J.C., and Wilson, J.P. 2000. Digital Terrain Analysis. In: Wilson, J.P. and Gallant, J.C., Eds., *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York, 1-27.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268-289.

- Galve, J.P., Piacentini, D., Troiani, F. and Della Seta, M., 2014. Stream Length-Gradient Index Mapping as a Tool for Landslides Identification. *Mathematics of Planet Earth*, 343-346, doi: Doi 10.1007/978-3-642-32408-6_76.
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H., ve Yoldaş, R., 1979. Mut Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları: Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 27, 7-26.
- Goetz, J. N. Guthrie R. H., and Brenning A., 2015. Forest harvesting is associated with increased landslide activity during an extreme rainstorm on Vancouver Island, Canada. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1311–1330, 2015.
- Golovko, D., Roessner, S., Behling, R., Wetzel, H. U., Kleinschmit, B., Alvioli, G., 2018. Evaluation of Remote-Sensing-Based Landslide Inventories for Hazard Assessment in Southern Kyrgyzstan, *Remote Sensing*, volume:9 issue:9, DOI:Artn 94310.3390/Rs9090943
- Gomez, H. and Kavzoglu, T., 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78, 11-27.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gökçeoglu, C., and Nefeslioglu, H. A. 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards*, 46(3), 323-351, doi:10.1007/s11069-007-9190-6.
- Gökçe O. Özden, Ş. ve Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatistiksel Dağılımı, Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 118.
- Gökçeoğlu, C. and 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.

- Gökçeoğlu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., and Can, T. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81(1), 65-83, doi:10.1016/j.enggeo.2005.07.011.
- Gökçeoğlu, and Sezer, E., 2009. A statistical assessment on international landslide literature (1945-2008). *Landslides*. 6. 345-351. 10.1007/s10346-009-0166-3.
- Gökçeoğlu, C. 2012. Discussion on "Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS". *Engineering Geology*, 129, 104-105, doi:10.1016/j.enggeo.2012.01.008.
- Gökdeniz S., 1981. *Recherches Geogogiques Dans Les Taurides Occidentales Entre Karaman et Ermenek (Turquie)*, Le titre de docteur 3 eme cycle, Univesite de Paris-Sud Centre D'Orsay, 202 P.
- Gravelius, H., 1914. *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German)*. Goschen, Berlin.
- Güner, E.D., Tekin, S, Seçkin, G., 2018. An Assessment of Shallow Groundwater Wells in An Agricultural and Coastal Area In Göksu Delta, Turkey. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2 (1), 9-16. DOI: 10.30516/bilgesci.369068
- Guoliang, D., Zhang, Y., Iqbal, J., Zhi-H, Y and Yao, X., 2017. Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China. *Journal of Mountain Science*. 14. 10.1007/s11629-016-4126-9.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216.

- Guzzetti, F. 2000. Landslide fatalities and evaluation of landslide risk in Italy, *Engineering Geology*, 58, 89–107, 2000.
- Guzzetti, F., Cardinalli, 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., Ardizzone F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geophys J Roy Astron Soc.* 2005B; 2:272–299.
- Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., 2006. Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 115-131.
- Guzzetti, F., Alessandro, M., Mauro, C., Federica, F., Michele, S., Kang, C., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*. 112. 42-66.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., and Chang, K. T. 2012, Landslide inventory maps: New tools for an old problem, *Earth-Sci. Rev.*, 112, 42–66, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>.
- Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis. In *Slope Instability* (D. Brunsten and D. B. Prior, Eds.), John Wiley and Sons, Newyork, 23-35.

- Hansen, J., W. Rossow, B. Carlson, A. Lacis, L. Travis, A. Del Genio, I. Fung, B. Cairns, M. Mishchenko, and M. Sato, 1995. Low-cost long-term monitoring of global climate forcings and feedbacks. *Climatic Change*, 31, 247-271, doi:10.1007/BF01095149.
- Hasekiogullari, G. D., and Ercanoglu, M. 2012. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards*, 63(2), 1157-1179, doi:10.1007/s11069-012-0218-1.
- Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L., Albert, D.L., 2006. The Effect of Sample Size and Species Characteristics on Performance of Different Species Distribution Modeling Methods. *Ecography*, 29(5), 773-785.
- Horton, R. E. 1932. Drainage basin characteristics. *American Geophysical Union*, 13(1), 350–361.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of The Geological Society of America*, 56, 275–330.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., and Sturdivant, R. X. 2013. Applied logistic regression (Third edition / ed., Wiley series in probability and statistics). Hoboken, New Jersey: Wiley
- Howard, A.D., William, E.D., Seid, M.A., 1994. Modeling Fluvial Erosion on Regional to Continental Scale. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, No. B7, Pages 13,971-13,986, July 10, 1994
- Huabin, W., Gangjun, L., Weiya, X., 2005. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. In: *Progress in Physical Geography*, 29,4, S. 548-567.
- Huggett, R., and Cheesman, J., 2002. *Topography and the environment*. Pearson Education Limited, Harlow, United Kingdom.
- Hungr, O. 2016. A review of landslide hazard and risk assessment methodology. In S. Aversa et al. (Eds) *Landslides and engineered slopes. Experience, theory and practice*, (pp. 3–27).

- Ildır, B., 1995. Turkiyede heyelanların dagilimi ve afetler yasasi ile ilgili uygulamalar, In: Proc. Of 2nd National Landslide Symposium of Turkey, Sakarya University, 1-9.
- Ilgar, A., Esirtgen, T., Demirkaya, S., 2016. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Silifke-O31 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 233 27s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Jade, S. and Sarkar, S., 1993. Statistical models for slope instability classification. *Engineering Geology*, 36, 91-98.
- Jaiswal, P., van Westen, C. J., and Jetten, V., 2011. Quantitative assessment of landslide hazard along transportation lines using historical records. *Landslides* 8, 279-291.
- Jenson, S. and Domingue, J., 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, 1593-1600.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J.M., Hortal, J., 2008. Not as Good As They Seem: The Importance of Concepts in Species Distribution Modelling. *Diversity and Distributions*, 14(6), 885-890.
- Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C., 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE* 118, 475-493.
- Juteau, T. 1980. Ophiolites of Turkey. *Ofioliti*. 2. 199-237.
- Karakoç, A.; Karabulut, M., 2010. Göksu Deltası Kıyı Çizgisinde Meydana Gelen Değişimlerin CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile İncelenmesi, Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, Afyon.
- Kanungo, D., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., 2009. Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping – A Review. *Journal of South Asia Disaster Studies*. 2. 81-105.
- Karsoliya, S., 2012. Approximating Number of Hidden layer neurons in Multiple Hidden Layer BPNN Architecture, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, V.3(6) pp.714-717.

- Kartal, M. 1998, Bilimsel Araştırmalarda Hipotez Testleri: Parametrik ve Non-Parametrik Teknikler, 2.Baskı, Şafak Yayınevi, Erzurum.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., and Colkesen, I. 2014. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11(3), 425-439, doi:10.1007/s10346-013-0391-7.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., and Colkesen, I. 2015. An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district. *Natural Hazards*, 76(1), 471-496, doi:10.1007/s11069-014-1506-8.
- Keçer, M., Duman, T., 2007. Yapay Etkinliklerin Göksu Deltası Gelişimine Etkisi, Mersin-Türkiye, MTA Dergisi, 134, 17-26.
- Keller, E. A., and Pinter, N. 1996. Active tectonics: Earthquakes, uplift and landscape. London, UK: Pearson.
- Keskin, H., Altun, İ.E., Alan, İ., Saçlı, L., Şahin, Ş., Arman, S., 2018. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Alanya-O29 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 265 36s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Keskin, I., 2018. Evaluation of rock falls in an urban area: the case of Bogazici (Erzincan/Turkey). *Environmental Earth Science*, 70-4, 1619-1628.
- Khodashahi, M., Rahimi, E., Bagheri, V., 2018. Earthquake-Induced Landslides Hazard Zonation of Rudbar-Manjil Using Camel Model, *Geotechnical And Geological Engineering*, Volume: 36 Issue:2 Pages-1319-1340, Doi:10.1007/S10706-017-0395-5
- Kıncal, C., Akgün, A., Koca, M.Y., 2009. Landslide susceptibility assessment in the İzmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method. *Environ Earth Sci*, 59: 745–756.

- Kirby, E., Whipple, K. X., Tang, W., and Chen, Z., 2003. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: inferences from bedrock river profiles, *J. Geophys. Res.*, 108, 2217–2240, doi:10.1029/2001JB000861.
- Kirschaum, R.L., Coe, J.A., Godt, J.W., Harp, E.L., Reld, M.E., Savage, W. Z., Schulz, W.H., Brlen, D.L., Chleborad, A.F., McKenna, J.P., and Michael, J.A., 2005. Regional landslide-hazard assessment for Seattle, Washington, USA. *Landslides*, 2, 266-279.
- Koçyiğit, A., 1977, Karaman-Ermenek (Konya) arasındaki bölgenin tektoniği; *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*,201, 1-8.
- Krishnamurthy, J., Srinivas, G., Jayaram, V., and Chandrasekhar, M.G., 1996. Influence of rock types and influence in development of drainage network in typical hardrock terrain. *ITC*. 3 (4): 252-259.
- Lee, S., Ryu, J.H., Min, K., and Won, J.S., 2003. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surf., Processes Landf.*, 28, 1361-1376.
- Lee, S., Choi, J., Min, K., 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *Int. J. Remote Sensing*, 25(11): 2037-2052.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S., and Park, H.J., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Eng. Geol.*, 71, 289-302.
- Lee, S., Won, J. S., Jeon, S. W., Park, I., and Lee, M. J., 2015. Spatial Landslide Hazard Prediction Using Rainfall Probability and a Logistic Regression Model. *Mathematical Geosciences* 47, 565-589.
- Malamud, B., D., ve Turcotte, D. L., 1999. Self-Organized Criticality Applied to Natural Hazards, *Natural Hazards*, 20:2 93-116.
- Malamud B., D., 2003a. A universal probability distribution for landslide events. *Geophys. Res Abstr* 5:04399.

- Malamud, B., Turcotte, L.D, Guzzetti, F., Reichenbach, P. 2003b. A Universal Landslide Distribution and an Associated Landslide-Event Magnitude Scale. AGU Fall Meeting Abstracts.
- Malamud B.D, Turcotte D.L., Guzzetti F., Reichenbach P., 2004a. Landslide Inventories and Their Statistical Properties. Earth Surf. Proc Land 29(6):687-711.
- Malamud, BD, Turcotte, D.L., Guzzetti F., and Reichenbach, P., 2004b. Landslides, Earthquakes, and Erosion. Earth Planet Sci Lett 229(1-2):45-59.
- Mater B., Turoğlu H., 2002. Gökusu Deltasındaki Jeomorfolojik Değişimler, Sebep ve Sonuçları", Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, Ankara, Türkiye, 5-8 Kasım 2002.
- Mazman, T. ve Çan, T. 2013. Heyelan Duyarlılık Haritaları ve Doğruluğu, 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri 310-311 Ankara, 2-6 Nisan 2013.
- McCune, B., and Dylan, K., 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load index. Journal of Vegetation Science. 13:603-606.
- Metin, S., 1984, "Doğu Toroslarda Derebaşı (Develi), Armutalan ve Gedikli (Saimbeyli) Köyleri Arasının Jeolojisi", A.Ü. Müh. Mim. Fak. Yerbilimleri Dergisi, Vol., 4, No: 1-2, p. 45-66.
- Montgomery, R. Dietrich, D.R. 1994. A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. Water Resources Research - WATER RESOUR RES. 30. 1153-1172. 10.1029/93WR02979.
- Montgomery, D.R., Abbe, T.B., Buffington, J.M., Peterson, N.P., Schmidt, K.M., Stock, J.D., 1996. Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins. Nature 381, 587 – 589.
- Moore, P.A., Reddy, Jr., K.R and Graetz., D.A. 1991. Phosphorus geochemistry in the sediment–water column of a hypereutrophic lake. J. Environ. Qual. 20:869–875.
- Muller, J.E., 1968. An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes, Annals of the Association of American Geographers banner.

- Nakasuji, A., 2011. Landslide hazard mapping during a large-scale earthquake. *Journal of Mountain Science* 8, 223-227.
- Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., and Durmaz, S. 2008a. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94(3-4), 401-418, doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.036.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., and Durmaz, S., 2008a. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), *Geomorphology*, 94(3-4), 401-418.
- Nefeslioglu, H. A., Gökçeoglu, C., and Sonmez, H. 2008b. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97(3-4), 171-191, doi:10.1016/j.enggeo.2008.01.004.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E., Gökçeoglu, C., Bozkir, A. S., and Duman, T. Y. 2010. Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, doi:Artn 901095 10.1155/2010/901095.
- Nefeslioglu, H. A., Gökçeoglu, C., Sonmez, H., and Gorum, T., 2011. Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides* 8, 459-483.
- Nefeslioglu, H. A., San, B. T., Gökçeoglu, C., and Duman, T. Y. 2012. An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14(1), 40-60, doi:10.1016/j.jag.2011.08.005.
- Niehoff W., 1960. Mut 126/1 Numaralı Harita Paftasının Revizyon Neticeleri Hakkında Rapor, MTA Derleme Rap. No.3390, Ankara.

- Niemann, J.D., Gasparini, N.M., Tucker, G.E., and Bras, R.L., 2001. A quantitative evaluation of Playfair's law and its use in testing long-term stream erosion models: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p. 1317–1332, <https://doi.org/10.1002/esp.272>.
- Nino, M., Jaimes, M. A., and Reinoso, E., 2014. Seismic-event-based methodology to obtain earthquake-induced translational landslide regional hazard maps. *Natural Hazards* 73, 1697-1713.
- Öner, E., Uncu, L., ve Hocaoğlu, B., 2002. Türkiye'nin doğu Akdeniz kıyılarında deniz seviyesi ve kıyı çizgisi değişimleri. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı, Ankara, 1237-1247.
- Oсна, T., Sezer, E. A., and Akgün, A. 2014. GeoFIS: An integrated tool for the assessment of landslide susceptibility. *Computers and Geosciences*, 66, 20-30, doi:10.1016/j.cageo.2013.12.016.
- Othman, A.A., and Gloaguen, R., 2013. River Courses Affected by Landslides and Implications for Hazard Assessment: A High-Resolution Remote Sensing Case Study in NE Iraq-W Iran. *Remote Sensing*, 5, 1024-1044, doi: 10.3390/rs5031024.
- Ouimet W, Whipple K, Royden L, Sun Z, and Chen Z. 2007. The influence of large landslides on river incision in a transient landscape: Eastern Margin of the Tibetan Plateau (Sichuan, China). *Geological Society of America Bulletin* 119(11): 1462–1476. DOI: 10.1130/B26136.1.
- Ozdemir, H., and Turoglu, H. 2007. Landslide susceptibility assessment using GIS and RS in the Havran river basin (Balıkesir-Turkey). *Proceedings of the Iamg '07: Geomathematics and GIS Analysis of Resources, Environment and Hazards*, 185.
- Ozdemir, A. 2009. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS. *Environmental Geology*, 57(7), 1675-1686, doi:10.1007/s00254-008-1449-z.

- Ozdemir, A. 2011. Landslide susceptibility mapping using Bayesian approach in the Sultan Mountains (AkAYehir, Turkey). *Natural Hazards*, 59(3), 1573-1607, doi:10.1007/s11069-011-9853-1.
- Ozdemir, A., and Altural, T. 2013. A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197, doi: 10.1016/j.jseaes.2012.12.014.
- Özdoğan, M., 2004. Çevrimsel Dizilime Bir Örnek: Mut havzasının Miyosen Stratigrafisi, Adana Havzası ile İlişkisi ve Paleocoğrafik Gelişimi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 29: 77-95.
- Özgül, N., 1971, Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerin önemi: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 14,75-87.
- Özgül, N., 1973, Orta Toroslar'da Alt Paleozoyik yaşta Çaltepe kireçtaşı ve Seydişehir formasyonunun stratigrafisi ve Konodont faunası hakkında yeni bilgiler: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.* 16, 2, 39-53. ,
- Özgül, N., 1976, Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.* 19, 1, s. 65-77
- Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Eng. Geol.* 32, 81–100.
- Pachauri, A. K., Gupta, P. V., and Chander, R. 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental Geology*, 36, 325-334. <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050348>
- Pardeshi, S. D., Autade, S. E., and Pardeshi, S. S., 2013. Landslide hazard assessment: recent trends and techniques. *Springerplus* 2.
- Patton, P. C., and Baker, V. R. 1976. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resources Research*, 12(5), 941–952.

- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Pidwirny, M., 2006. The drainage basin concept. *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition.
- Pike, S. 2002. Destination image analysis: A review of 142 papers from 1973-2000. *Tourism Management*. 23(5): 541-549.
- Pike, R., Evans, I., and Hengl, T. 2009. Geomorphometry: A brief guide. In T. Hengl and H. I. Reuter (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, software, applications* (pp. 3–30). New York, NY: Elsevier.
- Polykretis, C., Ferentinou, M., and Chalkias, C. 2015. A comparative study of landslide susceptibility mapping using landslide susceptibility index and artificial neural networks in the Krios River and Krathis River catchments (northern Peloponnesus, Greece). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 74, 27-45.
- Pradhan, B., Lee, S., 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling and Software*. 747-759. 10.1016/j.envsoft.2009.10.016.
- Pradhan, B., and Youssef, A. M., 2010. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences* 3, 319-326.
- Raja, N. B., Cicek, I., Turkoglu, N., Aydin, O., and Kawasaki, A. 2017. Landslide susceptibility mapping of the Sera River Basin using logistic regression model. *Natural Hazards*, 85(3), 1323-1346, doi:10.1007/s11069-016-2591-7.

- Raja, N. B., Cicek, I., Turkoglu, N., Aydin, O., and Kawasaki, A. 2018. Landslide susceptibility mapping of the Sera River Basin using logistic regression model (vol 85, pg 1323, 2017). *Natural Hazards*, 91(3), 1423-1423, doi:10.1007/s11069-017-3145-3.
- Ramli, M. F., Yusof, N., Yusoff, M. K., Juahir, H., and Shafri, H. Z. M., 2010. Lineament mapping and its application in landslide hazard assessment: a review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 69, 215-233.
- Razifard, M., Shoaie, G., and Zare, M., 2019. Application of fuzzy logic in the preparation of hazard maps of landslides triggered by the twin Ahar-Varzeghan earthquakes. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 78, 223-245.
- Reichenbach, P., Galli, M., Cardinali, M., Guzzetti, F., and Ardizzone, F. 2005. Geomorphologic mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the Umbria Region of central Italy, in: *Landslide risk assessment*, edited by: Glade, T., Anderson, M. G., and Crozier, M. J., John Wiley, 429–468.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., and Guzzetti, F. 2018. A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60-91, doi:10.1016/j.earscirev.2018.03.001.
- Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nisanci, R., Bayrak, T., Erduran, M., et al. 2012. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66(7), 2063-2073, doi:10.1007/s12665-011-1432-y.
- Rigon, R., Bertoldi, G., and Over, T. M. 2006. GEOtop: A distributed hydrological model with coupled water and energy budgets. *Journal of Hydrometeorology* 7, 371-388.
- Ritter, D.F., Kochel, R.C., and Miller, J.R. 1995. *Process geomorphology*. Dubuque, IA: William C. Brown.

- Ritter, D., Kochel, R., Miller, J., 2002. *Process Geomorphology*. Mc Graw-Hill, New York.
- Rosenbloom, N.A. and Anderson, R.S., 1994. Hillslope and channel evolution in a marine terraced landscape, Santa Cruz, California.
- Rossi, M., and P. Reichenbach, 2016. LAND-SE: a software for statistically based landslide susceptibility zonation, version 1.0: *Geoscientific Model Development*, 9, 3533-3543.
- Sahin, E. K., Ipbuker, C., and Kavzoglu, T. 2015. A Comparison of Feature and Expert-Based Weighting Algorithms in Landslide Susceptibility Mapping. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, Wmss 2015*, 15, 462-467, doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.043.
- Sahin, E. K., C. Ipbuker, and T. Kavzoglu. 2017. "Investigation of Automatic Feature Weighting Methods (Fisher, Chi-Square and Relief-F) for Landslide Susceptibility Mapping." *Geocarto International* 32 (9): 956–977. doi:10.1080/10106049.2016.1170892.
- San, B. T. 2014. An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya, Turkey). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 399-412, doi: 10.1016/j.jag.2013.09.010.
- Sarangi, Y.; Menz, M.; Jiang, C.-X.; Wright, R.J.; Yakir, D. And Paterson, A.H. 2001. Genomic dissection of genotype x environment interactions conferring adaptation of cotton to arid conditions. *Genome Research*, vol. 11, no. 12, p. 1988-1995.
- Sassa, K., Guzzetti, F., Yamagishi, H., Arbanas, Z., Casagli, N., McSaveney, M., Dang, K., 2018. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools, Fundamentals, Mapping, Monitoring, Vol-1*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_3.

- Schildgen, T., Cosentino, D., Cipollari, P., Faranda, C., Gliozzi, E., Hudackova, N., Lucifora, S., and Strecker, M., 2012. Late Miocene surface uplift of the southern margin of the Central Anatolian Plateau, Central Taurides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*. 124. 133-145. 10.1130/B30466.1.
- Schildgen, T.F., Yıldırım, C., Cosentino, D., Strecker, M.R., 2014. Linking slab break-off, Hellenic trench retreat, and uplift of the Central and Eastern Anatolian plateaus, *Earth-Science Reviews* 128 147–168.
- Schumm, S. A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *GSA Bulletin*, 67, 597–646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).
- Schuster, R.L. and Turner, A.K., 1996. Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, Washington D.C, 673p.
- Şenel, M., ve Metin, Y. 2016. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Silifke-N28 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 231. 52s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., Bedi, Y., Çörekçiöğlü, E., 2016a. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Alanya 028 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 232. 54 s., Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., Bedi, Y., ve Usta, M., 2016b. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Alanya P28 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 223. 29s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Sezer, E. A., Nefeslioglu, H. A., and Osna, T. 2017. An expert-based landslide susceptibility mapping (LSM) module developed for Netcad Architect Software. *Computers and Geosciences*, 98, 26-37, doi:10.1016/j.cageo.2016.10.001.

- Shirzadi, A., Soliamani, K., Habibnejhad, M., Kavian, A., Chapi, K., Shahabi, H., Chen, W., Khosravi, K., Pham, T., Pradhan, B., Ahmad, A., Bin Ahmad, B., and Bui, T., 2018. Novel GIS Based Machine Learning Algorithms for Shallow Landslide Susceptibility Mapping. *Sensors* 18.
- Simoni S, Zanotti F, Bertoldi G, Rigon R. 2008. Modelling the probability of occurrence of shallow landslides and channelized debris flows, using GEOFOTOPFS. *Hydrological Processes* 22:532545. <https://doi.org/10.1002/hyp.6886>.
- Singh, 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 2008, 1545-1560.
- Snyder, E., Johnson, N., Spyropolou, J., Crosby, K., Wobus, C., X Whipple, K., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B., Sheehan, D., 2006. Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. *Geological Society of America Special Paper*. 398. 55-742398. 10.1130/2006.2398(04).
- 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.
- Stage, A. R. 1976. An Expression of the Effects of Aspect, Slope, and Habitat Type on Tree Growth. *Forest Science* Vol 22, No 3, 457-460.
- Stark, C. P. and Hovius, N., 2001. The characterization of landslide size distributions, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1091–1094.
- Strahler, A. N., 1952. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transamer Geophys Union*, 38, 913–920.
- Strahler, A. N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T. (ed.), *Handbook of applied hydrology* (pp. 439-476). New York, NY: McGraw Hill.

- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004a. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004b. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate, *Environmental Geology*, 45, 665-679.
- Suzen, M. L., and Kaya, B. S. 2012. Evaluation of environmental parameters in logistic regression models for landslide susceptibility mapping. *International Journal of Digital Earth*, 5(4), 338-355, doi:10.1080/17538947.2011.586443.
- Tağa, H., Zorlu, K. ve Akgöz, M., 2009. Ermenek İlçesi Yerleşim Yeri (Karaman) Kuzey-Kuzey Doğusundaki Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi. TÜBİTAK Rapor No:107Y071 (Yayımlanmamış).
- Taga, H., ve Zorlu, K., 2017. Dik Yamaçlardaki Kaya Düşme Tehlikesinin Değerlendirilmesi: Ermenek (Karaman, Türkiye), Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Cilt: 38, Sayı: 2. *Yerbilimleri*, 2017, 38 (2), 161-178.
- Tanar, Ü., Gökçen, N., 1990. Mut-Ermenek Tersiyer İstifinin Stratigrafisi ve Mikropaleontolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Derg.* S: 110, s: 175-180, Ankara.
- Tarboton, D. G., 1997. A New Method for The Determination Of Flow Directions And Upslope Areas İn Grid Digital Elevation Models., *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 2, Pages 309-319, February 1997.
- Tekin, S., ve Çan, T., 2013. Kadirli İlçesi (Osmaniye) Dolayının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, 66, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri 314-315 Ankara, 2-6 Nisan 2013.

- Tekin, S., 2014. Kadirli-Aslantaş (Osmaniye) Dolaylarının Cbs Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı. 93 Sayfa, Adana
- Tekin S., ve Çan T., 2015. Bulanık Mantık Ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 6-10 Nisan 2015, ss.112-113.
- Tekin, S., Çan, T., Mazman, T., ve Duman, T.Y., 2015a. Doğu Akdeniz Bölgesinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 3-5 Eylül 2015. Trabzon, S. 137-145.
- Tekin S., ve Çan, T., 2016a. Heyelanlı Örneklem Seçimindeki Farklı Yaklaşımların Heyelan Duyarlılık Haritalarının Başarı Tahmin Davranışları Üzerine Etkisi. 6. Uzaktan Algılama – Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Tekin, S., ve Çan, T., 2017a. "Gökçay Havzasının Karar Ağaç Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi", MÜHJEO-2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi - Jeoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, ss.119-127, 12-14 Ekim 2017, Adana.
- Tekin S., and Çan T., 2017b. Landslide susceptibility assessment of the Ermenek river watershed using decision tree technique with Chi-squared automatic interaction detection algorithm", International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences (ISGGG) Conference, p.131, Çanakkale-Turkey, 18-21 October 2017.
- Tekin S., ve Çan T., 2018a. Maksimum Entropi Yöntemi ile Mut (Mersin) - Taşkent (Konya) Arası Kaya Düşme Kaynak Alanlarının Belirlenmesi, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 23-27 Nisan 2018, ss.1003-1004.

- Tekin, S., and Çan, T. 2018b. Effects of Landslide Sampling Strategies on the Prediction Skill of Landslide Susceptibility Modelings. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(8), 1273-1283, doi:10.1007/s12524-018-0800-4.
- Tekin, S., ve Çan T., 2019a. Göksu Nehri Havza'sının Jeomorfometrik Analizler ile Değerlendirilmesi (Evaluation of Göksu River Catchment by Geomorphometric Analyses.), *Uluslararası Katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, SS. 1096-1101 Ankara.
- Tekin, S, ve Çan, T., 2019b. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Ermenek Havzasının (Karaman) Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3(1): 21-28. DOI: 10.30516/bilgesci.525438
- Temiz, A. 2008. Gis Based Landslide Susceptibility Mapping: Karabuk Province Case In Turkey. *Proceedings of the 1st Wseas International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (Eg'08)*, 43-51.
- Tinkler, K., Wohl, E., 1998. A primer on bedrock channels. In: Tinkler, K.J., Wohl, E.E. (Eds.), *Rivers Over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels. Geophysical Monograph*, vol. 107. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 1 – 18.
- Topal, T., Akin, M. and Ozden, U.A., 2007. Assesment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey. *Environ. Geol*, 52, 191-200.
- Trigila, A., Iadanza, C. and Spizzichino, D. 2010. Quality assessment of the Italian Landslide Inventory using GIS processing. *Landslides*, 7, 455-470.
- Tsangaratos, P., and Ilia, I., 2016. Comparison of a logistic regression and Naive Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: The influence of models complexity and training dataset size. *Catena* 145, 164-179.
- Türkeş, M. 2014. İklim Değişikliğinin Tarımsal Gıda Güvenliğine Etkileri, *Geleneksel Bilgi ve Agroekoloji. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2(2): 71-85.

- Uğuz, M.F. Metin, S., Bilgin, A.Z., Kar, H., Elibol, E., 1994. Karaman-Hadım Dolayının Jeolojisi. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9722, Ankara (Yayınlanmamış).
- Ulu, Ü., Balcı, V., 2009. Türkiye Jeoloji Haritaları 1:100000 ölçekli Karaman N-30 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 128. 28s. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Van Asch, Th. W.J., Malet, J.P., Van B.,L, Amitrano, D., 2007. Techniques, advances, problems and issues in numerical modelling of landslide hazard. 178.
- Van Den Eeckhaut, M. and Hervás, J., 2012., State of the art of national ´ landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk, *Geomorphology*, 139– 140, 545–558.
- Van Den Eeckhaut, M., and Hervás, j., (2012). Landslide inventories in Europe and policy recommendations for their interoperability and harmonization, Report EUR 25666 EN., JRC Scientific and policy reports.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E. and Kuriakose, S.L. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102, 112-131, doi: 10.1016/j.enggeo.2008.03.010.
- Van Westen, C.J., Renger, N., Soeters, R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30, 399-419.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M., Soeters, R. 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau*. 86. 404-414. 10.1007/s005310050149.
- Varnes D.J., 1974. The logic of geological maps, with reference to their interpretation and use for engineering purposes. Geological Survey Professional Papers, 837. USGS, Washington, 48 pp.
- Varnes, D. J., 1978, Slope movement types and processes: In: *Landslide Analysis and Control*: In Schuster, R. L., Krizak, eds. *Transportation Research* 212

- Board Special Report No. 176, National Academy of Sciences, Washington, D. C., P. 11-33.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. In *Natural Hazards*, Vol. 3, UNESCO, 63 pp, Paris.
- Wachal, D.J. and Hudak, P.F., 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal.*, 51, 245-253.
- Walsh, L.S., Martin, A.J., Ojha, T.P. and Fedenczuk, T., 2012. Correlations of fluvial knickzones with landslide dams, lithologic contacts, and faults in the southwestern Annapurna Range, central Nepalese Himalaya. *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*, 117, doi: 10.1029/2011jf001984.
- Wang, H. B., Liu, G. J., Xu, W. Y., & Wang, G. H. 2005. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography*, 29(4), 548-567, doi:10.1191/0309133305pp462ra
- Weiss, A., 2001. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.
- Westen, C.J.. 2013. Guidelines for the generation of 1:50.000 scale landslide inventory, susceptibility maps, and qualitative risk maps, illustrated with case studies of the provinces Thanh Hoa and Nghe An. 10.13140/RG.2.2.34315.90407.
- Whipple, K. X., 2001. Fluvial landscape response time: How plausible is steady-state denudation?, *Am. J. Sci.*, 301, 313 – 325.
- Whipple, K.X., and Tucker, G.E., 1999. Dynamics of the stream-power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs: *Journal of Geophysical Research*, v.104, no. B8, p. 17,661–17,674, <https://doi.org/10.1029/1999JB900120>.
- Whipple, X. K., Tucker, G., 2002. Implication of sediment-flux-dependent river incision models for landscape evolution. 107. -. 10.1029/2000JB000044.

- Whipple, K.X., 2004. Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 32, 151-185.
- Wilson, J. P. and Gallant, J. C., 2000. *Terrain analysis: principles and applications*. John Wiley and Sons: New York.
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers. Distrib.* 14: 763-773.
- Wobus, C.W., Hodges, K.V., and Whipple, K.X, 2003, Has focused denudation sustained active thrusting at the Himalayan topographic front?: *Geology*, v. 31, p. 861–864, doi: 10.1130/G19730.1.
- Wobus, C., Whipple, K. X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B., and Sheehan, D.:2006. Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls, in: *Tectonics, climate, and landscape evolution*, edited by: Willett, S. D., Hovius, N., Brandon, M. T., and Fisher, D. M., GSA Special Paper, 398, Penrose Conference Series, 55–74, doi:10.1130/2006.2398(04), 2006.
- Worldclim (<http://www.worldclim.org/version1>).
- WP/WLI, 1990. A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 41, 5-12.
- WP/WLI, 1991. A suggested method for a landslide summary. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 43, 101-110.
- WP/WLI, 1993. *Multilingual Landslide Glossary*, Bitech, Richmond, British Columbia, 59p.
- WP/WLI, 1994. A suggested method for describing the causes of a landslide, *Bulletin International Association of Engineering Geology*, 50: 71–74.
- 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.

- WP/WLI, 2001. A suggested method. for describing the rate of movement of a landslide remedial measure. International Geotechnical Societies Unesco Working Party on World Landslide Inventory. Bull Eng Geol Environ 60:69-74.
- Wu, C. Y., and Chen, S. C., 2013. Integrating spatial, temporal, and size probabilities for the annual landslide hazard maps in the Shihmen watershed, Taiwan. Natural Hazards and Earth System Sciences 13, 2353-2367.
- Yalçın, A., and Bulut, F. 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey). Natural Hazards, 41(1), 201-226, doi:10.1007/s11069-006-9030-0.
- Yalçın, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. Catena, 72(1), 1-12, doi:10.1016/j.catena.2007.01.003.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., and Yomralioglu, T. 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Catena, 85(3), 274-287, doi: 10.1016/j.catena.2011.01.014.
- Yeşilnacar, E. and Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). Engineering Geology, 79, 251-266.
- Yeşiloğlu-Gültekin, N., Gökçeoğlu, C. and Sonmez, H., 2012. “Geohazard reconnaissance mapping for a settlement area”. Environmental Earth Science, 66, 1653-1666.
- Yılmaz, I., and Yıldırım, M. 2006. Structural and geomorphological aspects of the Kat landslides (Tokat-Turkey) and susceptibility mapping by means of GIS. Environmental Geology, 50(4), 461-472, doi:10.1007/s00254-005-0107-y.

- Yılmaz, I. 2009a. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 297-306, doi:10.1007/s10064-009-0185-2.
- Yılmaz, I. 2009b. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*, 35(6), 1125-1138, doi:10.1016/j.cageo.2008.08.007.
- Yılmaz, I. 2010a. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine. *Environmental Earth Sciences*, 61(4), 821-836, doi:10.1007/s12665-009-0394-9.
- Yılmaz, I. 2010b. The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping by conditional probability and artificial neural networks. *Environmental Earth Sciences*, 60(3), 505-519, doi:10.1007/s12665-009-0191-5.
- Yılmaz, I., and Keskin, I. 2009. GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(4), 459-471, doi:10.1007/s10064-009-0188-z.
- Yılmaz, C., Topal, T., Suzen, M. L., 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey), *Environmental Earth Sciences*, V.65/7, doi: 10.1007/s12665-011-1196-4, P:2161-2178
- Youssef, A., Pourghasemi, H., El-Haddad, B., and Dhahry, B., 2016. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75, 63-87.

- Yüksel, A., and Avcı, V. 2017. Landslide susceptibility analysis of Yamac Basin in Bingol through the index method. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(2), 307-324, doi:10.17475/kastorman.309474.
- Zaruba, Q. and Mencl, A., 1961. *Landslides and their control*, 2nd rev. Ed., Elsevier Scient. Publ. Company, Amsterdam, 323 p..





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. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamlayıp, aynı yıl Doktora eğitimine başladı. AFAD-UDAP işbirliği ile gerçekleştirilen (UDAP-Ç-13-06 kodlu) “Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi” Projesi’nde Araştırmacı olarak 2013-2015 yılları arasında görev aldı. Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP-2023) kapsamında, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve 2017 yılında tamamlanan “Türkiye Sismotektonik Haritası Projesi’inde araştırmacı olarak çalışmalar gerçekleştirdi. Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP-2023) kapsamında, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen, “Türkiye Paleosismoloji Araştırmaları” projesi’nde 2017 - 2018 tarihinde Proje Bazlı Sözleşmeli Mühendis olarak çalışmıştır.