

HEYELAN RİSK HARİTALAMASI ÜZERİNE YARI SAYISAL BİR DEĞERLENDİRME

A SEMI-QUANTITATIVE EVALUATION OF LANDSLIDE RISK MAPPING

Çiğdem TETİK BİÇER

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı İçin Öngördüğü

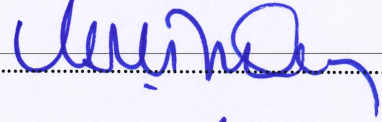
DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2017

ÇİĞDEM TETİK BİÇER'in hazırladığı “**Heyelan Risk Haritalaması Üzerine Yarı Sayısal Bir Değerlendirme**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Işık YILMAZ

Başkan



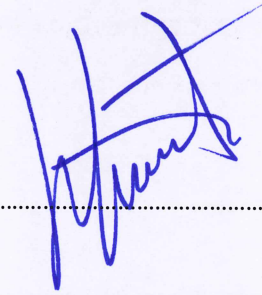
Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

Danışman



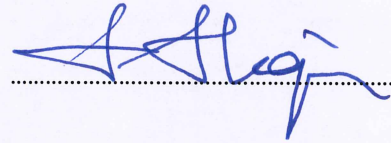
Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

Üye



Doç. Dr. Aykut AKGÜN

Üye



Doç. Dr. Dilek TÜRER

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenikle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun **Analık-2018** tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

20 / 03 / 2017



(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Ciğdem TETİK BİÇER

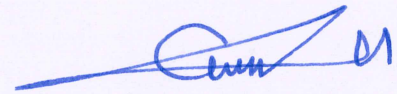
ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içinde bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim

11/03/2017



ÇİĞDEM TETİK BİÇER

ÖZET

HEYELAN RİSK HARİTALAMASI ÜZERİNE YARI SAYISAL BİR DEĞERLENDİRME

Çiğdem TETİK BİÇER

Doktora, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

Mart 2017, 328 sayfa

Heyelanlar, depremlerden sonra ülkemizde en fazla can ve mal kaybına sebep olan afet türü olup, olumsuz sonuçları bakımından sürdürülebilir kalkınmanın önünde önemli bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Heyelanların olumsuz etkileriyle en etkin mücadele, heyelan konusunda güvenilir ve sağlıklı veri tabanı oluşturulmuş heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının yaygınlaştırılması ile sağlanabilir.

Tez çalışmasında Kahramanmaraş ilinin Merkez ilçesinin heyelan risk değerlendirmesinin yapılması amaçlanmış olup, kullanılan parametreler ve yöntemler, bilimsel heyelan literatürüne dayandırılarak seçilmiştir. Buna göre, 1990 - 2016 yılları arasında yapılan çalışmalarda en çok kullanılan parametrelerin yamaç eğimi, litoloji, bakı, topoğrafik yükseklik, drenaj özelliği, arazi kullanımı, eğrisellik, tektonik unsura uzaklık ve NDVI olduğu, 2015 – 2016 yılları arasında incelenen en güncel 106 çalışmada ise en çok kullanılan analiz yöntemlerinin LR (Lojistik Regresyon), FR (Frekans Oranı) ve AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemleri olduğu tespit edilmiştir. 9 hazırlayıcı parametre ve 3 farklı analiz yöntemi ile öncelikle çalışma alanı olarak seçilen Kahramanmaraş Merkez ilçesinin heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen haritaların performans değerlendirmesi için ROC yöntemi kullanılmış olup, yöntemlerin AUC değerleri sırasıyla LR için 0.828, FR için 0.862 ve AHP için de 0.793 olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanına ait heyelan tehlike haritasının üretilmesi aşamasında, FR yöntemi ile üretilen duyarlılık haritası kullanılmıştır. Tehlike değerlendirmesinde, tetikleyici parametre olarak yağış parametresi kullanılmış olup, veriler Gumbel dağılımı ile analiz edilmiştir. İnceleme alanında, haritalanan toplam 214 adet heyelandan, 22 tanesinin oluşma tarihleri belirlenmiş ve geriye dönük birikimli yağış verileri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, gerek yağış analizlerinde, gerekse de hasar

görebilirlik hesaplamalarında, yeni yaklaşımlar ortaya konulmuş olup, çalışmanın özgün değeri olarak nitelendirilmektedir. Bunlardan, yeni bir yaklaşım şeklinde, yağış aralık değerlerinin, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içinde, bu yağış aralığı değerlerinin oluşma olasılıkları belirlenmiştir. Hasar görebilirlik analizleri için de göreceli bir değerlendirme yapılarak analizlere dahil edilmiştir. Tüm veriler son aşamada birleştirilerek, çalışma alanının heyelan risk hesaplamasına gidilmiştir. Hesaplanan risk değeri özgül risk değeri olup, kent merkezinin önemli bir bölümünün heyelan riski içerdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, üretilen haritaların özellikle karar vericiler ve yerel yönetimler açısından dikkate alınması ve gelecekte yapılması olası çalışmalarda kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, heyelan duyarlılığı, heyelan tehlikesi, heyelan riski.

ABSTRACT

A SEMI - QUANTITATIVE EVALUATION OF LANDSLIDE RISK MAPPING

Çiğdem TETİK BİÇER

Doctor of Philosophy, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

March 2017, 328 pages

Following the earthquakes, landslides, which correspond serious obstacle to sustainable development with the negative consequences, are the second destructive type of disaster causing the highest loss of lives and properties in Turkey. The most effective work struggling with the negative effects of landslides can be achieved by the dissemination of landslide inventory, susceptibility, hazard and risk studies created by reliable and healthy database on landslides.

In this study, it was aimed at assessing the landslide risk at the cenral Kahramanmaraş, and the parameters and methodologies were selected on the scientific landslide literature basis. According to the landslide literature between 1990 and 2016, the most commonly used parameters considered in these studies were appeared as slope, lithology, aspect, topographical elevation, drainage characteristics, land use, curvature, distance to tectonic structures and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), while the most frequently used analyses methods were determined as LR (Logistic Regression), FR (Frequency Ratio) and AHP (Analythical Hierarchy Process) based on the most actual literature including the period between 2015 and 2016. Firstly, landslide susceptibility maps were produced by 9 preparatory parameters and 3 different analysis methods for the Central Kahramanmaraş. Performances of the so produced maps were evaluated by ROC (Relative Operating Characteristics) method, and the AUC (Area Under Curve) values were calculated 0.828 for LR, 0.862 for FR and 0.793 for AHP, respectively. In the process of producing the landslide hazard map for the study area, the susceptibility map produced by the FR method was used. Rainfall data were used as the triggering parameter during the hazard assessment, and were analyzed by Gumbel distribution. Of the 214 mapped landslides in the study area, 22 landslides were exactly dated and their cumulative rainfall values were calculated. In this study, some new approaches

related to the rainfall analysis and vulnerability assessments have been put forward, and can give rise to increase its originality. Of these, as a new approach, based on these calculated values, considering the rainfall intervals, the probability of the rainfall occurrences were determined for 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years. For the vulnerability analysis, a relative evaluation was performed for risk assessments. All the findings were combined at the final stage to calculate the landslide risk of the study area. The calculated risk value corresponds to the specific risk, and it was determined that most of the centrum had landslide risk. For this reason, it is suggested that the produced maps should be taken into consideration by decision makers and local administrations, and should be used in possible future works.

Key words: Landslide, landslide susceptibility, landslide hazard, landslide risk.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının başından sonuna kadar, gerek bilgi, öneri ve tecrübelerini paylaşarak yol gösteren, gerekse özellikle tezin sonuçlanması ve yazım aşamasında bilimsel katkısını esirgemeyerek katkı sağlayan Danışmanım Sayın Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU'na,

Çalışma süresince yapıcı yorum ve önerileri ile tezin şekillenmesini sağlayan, Tez İzleme Komitesi Üyeleri, Sayın Prof. Dr. Harun SÖNMEZ ve Sayın Prof. Dr. Işık YILMAZ'a,

Değerli yorum ve eleştirileri ile tezin son halini alması aşamasında katkıda bulunan jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Dilek TÜNER ve Sayın Doç. Dr. Aykut AKGÜN'e,

Kahramanmaraş ilinde yapılan tüm arazi çalışmalarında büyük özveri ile çalışan AFAD Kahramanmaraş İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü teknik ekibine, AFAD Planlama ve Zarar Azaltma Daire Başkanlığının, Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubunun tüm personeline, sürecin başından beri birlikte çalıştığımız değerli arkadaşlarım Araş. Gör. Dr. Gülseren DAĞDELENLER'e,

Tez çalışması boyunca maddi ve manevi desteklerini, sabır ve şefkatlerini esirgemeyen, sevgili annem Seba TETİK ve babam Ali İhsan TETİK'e,

Hayatımın ve tez çalışmamın son 3 yılında varlığı ile hayatıma renk katan, mutluluk veren sevgili eşim Murat BİÇER'e ve dört gözle hayatımıza katılmasını beklediğimiz kızımız **Zeynep'e**

İçten teşekkürlerimi sunarım.

Çiğdem TETİK BİÇER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kahramanmaraş İlindeki Afet Olaylarının Genel Değerlendirmesi.....	9
1.2. Kahramanmaraş İli Afet Olaylarının Zarar Durumları ve İyileştirme Çalışmaları	12
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI VE AFETSELLİK DURUMU	13
2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi	18
2.2. Çalışma Alanının Tektonik Özellikleri ve Depremsemiği.....	23
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	29
3.1. Heyelan Envanteri Hakkında Literatür Çalışmaları	30
3.2. Heyelan Duyarlılığı Hakkında Literatür Çalışmaları	38
3.3. Heyelan Tehlikesi Hakkında Literatür Çalışmaları	81
3.4. Heyelan Riski Hakkında Literatür Çalışması	91
4. HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE GENEL KAVRAMLAR.....	101
4.1. Heyelan Duyarlılık Haritalamalarında Kullanılan Ölçekler	102
4.2. Heyelan Duyarlılık Haritalamalarında Kullanılan Yöntemler	105
4.2.1. Lojistik Regresyon (LR Yöntemi).....	111
4.2.2. Frekans Oranı (FR Yöntemi)	114
4.2.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP Yöntemi).....	116
4.2.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performans Değerlendirmesi	122
4.3. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler	123
4.4. Heyelan Tehlikesi	133
4.5. Heyelan Riski	145
5. VERİ ÜRETİMİ VE KAHRAMANMARAŞ (MERKEZ) HEYELAN ENVANTER, DUYARLILIK, TEHLİKE VE RİSK ANALİZLERİ	169
5.1. Arazi Çalışmaları ve Heyelan Envanter Haritası.....	169
5.2. Çalışma Alanına İlişkin Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Parametreler.....	178
5.2.1. Yamaç Eğimi	181
5.2.2. Litoloji	183
5.2.3. Bakı	188
5.2.4. Topoğrafik Yükseklik	190

5.2.5. Akarsuya Yakınlık.....	191
5.2.6. Arazi Kullanımı	194
5.2.7 Eğrisellik	201
5.2.8 Tektonik unsura yakınlık.....	203
5.2.9. Bitki örtüsü - NDVI.....	205
5.3. Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Analizleri.....	207
5.3.1. LR Yöntemi İle Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	208
5.3.2. FR yöntemi ile çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretimi	210
5.3.3. AHP Yöntemi İle Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi	219
5.3.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performans Değerlendirmesi	221
5.4. Heyelan Tehlike Haritasının Oluşturulması	222
5.4.1. Gumbel dağılımı	227
5.4.2. Yağış analizleri	228
5.5. Heyelan Risk Haritasının Oluşturulması	246
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	265
7. KAYNAKLAR.....	271
EKLER	297
EK - 1	298
EK - 2	303
EK - 3	307
ÖZGEÇMİŞ	327

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1. 1. a. Afet türlerinin meydana gelen olay sayısına göre dağılımı. 1b. Afet türlerine göre etkilenen kişi sayısı.	2
Şekil 1. 2. Heyelan olayının meydana geldiği yerleşim birimlerinin mekânsal dağılımı.	3
Şekil 1. 3. Türkiye’de 1950 - 2008 yılları arasında meydana gelen heyelan olay sayılarının illere göre dağılımı.	4
Şekil 1. 4. 13 Temmuz 1995 Isparta Senirkent heyelanı	5
Şekil 1. 5. Sivas İli Koyulhisar İlçesi Sugözü köyü heyelanı.	6
Şekil 1. 6. 26 Ağustos 2010 Rize Gündoğdu heyelanları	7
Şekil 1. 7.16 Temmuz 2015 Zonguldak Devrek heyelanı	7
Şekil 1. 8. 04 - 08 Ağustos 2016 Ordu heyelanları.	8
Şekil 1. 9. Kahramanmaraş ilinde meydana gelen afetlerin mekânsal dağılım haritası.	10
Şekil 2. 1. a) Kahramanmaraş ilinin konumu, b) çalışma alanı olarak seçilen il merkezinin konumu.	14
Şekil 2. 2. Kahramanmaraş İlinin heyelan potansiyeli, çalışma alanı sınırları ve pafta indeksi	17
Şekil 2. 3. Kahramanmaraş ilinin senozoik yaşlı birimlere ait genelleştirilmiş kesit	21
Şekil 2. 4. Kahramanmaraş ilinin mesozoyik yaşlı birimlerine ait genelleştirilmiş kesit.....	22
Şekil 2. 5. Kahramanmaraş ilinin paleozoyik ve prekambriyen yaşlı birimlere ait genelleştirilmiş kesit	23
Şekil 2. 6. Kahramanmaraş ve çevresinde meydana gelen büyük depremler ve fay segmentlerindeki yeri	24
Şekil 2. 7. Kahramanmaraş ve çevresinde meydana gelen 4’den büyük depremler	25
Şekil 2. 8. Kahramanmaraş ilinde meydana gelecek 7.5 büyüklüğündeki bir depreme ait AFAD - RED uygulamasının genel sonuçları.....	28
Şekil 4. 1. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler. ...	106

Şekil 4. 2. Heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan yöntemlerin kullanıcı referanslı şematik gösterimi.....	107
Şekil 4. 3. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri.....	107
Şekil 4. 4. 2015 - 2016 yılları arasında değerlendirilen çalışmalarda uygulanan yöntemlerin dağılımı.	111
Şekil 4. 5. FR yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası işlem adımları	116
Şekil 4. 6. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler	124
Şekil 4. 7. 1990 - 1994 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	126
Şekil 4. 8. 1995 - 1999 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	127
Şekil 4. 9. 2000 - 2004 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	127
Şekil 4. 10. 2005 - 2009 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	128
Şekil 4. 11. 2010 - 2014 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	128
Şekil 4. 12. 2015 - 2016 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	129
Şekil 4. 13. 1990 - 2016 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.....	132
Şekil 4. 14. Heyelan tehlike ve risk değerlendirmesi ve analizinin genel çerçevesi	134
Şekil 4. 15. Yağış verisi dikkate alınarak nicel heyelan tehlike haritası hazırlama aşamaları.....	140
Şekil 4. 16. Fell vd. tarafından hazırlanan entegre risk yönetim süreçlerini gösteren şema	147
Şekil 4. 17. Risk tahmini, analizi ve değerlendirmesinin risk yönetimi ve kontrolündeki rolünü gösteren şematik gösterim	147
Şekil 4. 18. Risk analizinin bileşenleri.....	148
Şekil 4. 19. Akgün vd. tarafından yapılan heyelan risk değerlendirmesi çalışmasının iş akış diyagramı.	158
Şekil 4. 20. Erener ve Düzgün risk değerlendirme çalışmasının şeması	160

Şekil 4. 21. Kumluca su toplama havzasının risk değerlendirme çalışmasının genel mantığını gösteren iş akış şeması.....	160
Şekil 4. 22. 3 boyutlu zarar görebilirlik çerçeve modeli.....	162
Şekil 5. 1. Kahramanmaraş iline için AFAD ve MTA heyelan envanterlerinin ortaklaştırılmış hali.	170
Şekil 5. 2. 27.07.2015 tarihinde arazi çalışmalarında Döngele Köyü için heyelan değerlendirmesi esnasında çekilen fotoğraf ve kullanılan pafta.	174
Şekil 5. 3. 27.07.2015 tarihinde arazi çalışmalarında Döngele Köyü için heyelan değerlendirmesi esnasında kullanılan arazi formu.	175
Şekil 5. 4. 29.07.2015 tarihinde Kahramanmaraş ili Süleymanlı Köyü heyelan değerlendirmesi esnasında çekilen fotoğraf ve kullanılan pafta.	176
Şekil 5. 5. 29.07.2015 tarihinde Kahramanmaraş ili Süleymanlı Köyü Güneydoğusundaki heyelan değerlendirmesi esnasında kullanılan arazi formu.	177
Şekil 5. 6. Çalışma alanına ait güncel heyelan envanter haritası.	178
Şekil 5. 7. Çalışma alanının yamaç eğim haritası.....	182
Şekil 5. 8. Çalışma alanının yamaç eğimi heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.	183
Şekil 5. 9. Çalışma alanının litoloji haritası.	184
Şekil 5. 10. Çalışma alanının litolojik birimleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	187
Şekil 5. 11. Çalışma alanının bakı haritası.	188
Şekil 5. 12. Çalışma alanının bakı ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	189
Şekil 5. 13. Çalışma alanının topoğrafik yükseklik haritası.....	190
Şekil 5. 14. Çalışma alanının topoğrafik yükseklik ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	191
Şekil 5. 15. Çalışma alanının akarsuya yakınlık haritası.	192
Şekil 5. 16. Çalışma alanının akarsuya yakınlık ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	193
Şekil 5. 17. Çalışma alanının arazi kullanım haritası.	195
Şekil 5. 18. Çalışma alanının arazi kullanımı ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	200
Şekil 5. 19. Çalışma alanının eğrisellik haritası.	202

Şekil 5. 20. Çalışma alanının eğrisellik ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.	203
Şekil 5. 21. Çalışma alanının tektonik unsura yakınlık haritası.	204
Şekil 5. 22. Çalışma alanının tektonik unsura yakınlık ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.	205
Şekil 5. 23. Çalışma alanının NDVI haritası.	206
Şekil 5. 24. Çalışma alanının NDVI değerleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.	207
Şekil 5. 25. Çalışma alanının LR yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası	209
Şekil 5. 26. Çalışma alanının FR yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası.	212
Şekil 5. 27. Çalışma alanının AHP yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası.	220
Şekil 5. 28. FR, LR ve AHP yöntemleri için hesaplanan AUC değerleri.	222
Şekil 5. 29. 1960-2014 yılları arasında, Kahramanmaraş ili aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri	226
Şekil 5.30a 0 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	232
Şekil 5.30b 5 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi	232
Şekil 5.30c 10 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	232
Şekil 5.30d 15 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	232
Şekil 5.30e 20 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	233
Şekil 5.30f 25 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	233
Şekil 5.30g 28 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	233
Şekil 5.30h 30 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	233
Şekil 5.31a Çalışma alanının 2 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.	240

Şekil 5.31b Çalışma alanının 2 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.	241
Şekil 5.31c Çalışma alanının 10 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.	242
Şekil 5.31d Çalışma alanının 25 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.	243
Şekil 5.31e Çalışma alanının 50 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.	244
Şekil 5.31f Çalışma alanının 100 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.	245
Şekil 5.32 Çalışma alanının risk altındaki elemanlar haritası.....	248
Şekil 5.33 Çalışma alanındaki kanal yoğunluk haritası.....	250
Şekil 5.34 Çalışma alanındaki içme suyu hattı yoğunluk haritası	251
Şekil 5.35 Çalışma alanındaki elektrik hattı yoğunluk haritası	252
Şekil 5.36 Çalışma alanındaki karayolu yoğunluk haritası.....	253
Şekil 5.37 Çalışma alanındaki demiryolu yoğunluk haritası.....	254
Şekil 5.38 Çalışma alanındaki doğalgaz boru hattı yoğunluk haritası.....	255
Şekil 5.39 Arazi kullanımı alt gruplarının hasar görülebilirlik puanlandırmaları. ...	257
Şekil 5.40 Çalışma alanının AHP yöntemiyle oluşturulan hasar görülebilirlik haritası.	258
Şekil 5.41a Çalışma alanının 2 yıl için heyelan risk haritası.	259
Şekil 5.41b Çalışma alanının 5 yıl için heyelan risk haritası.	260
Şekil 5.41c Çalışma alanının 10 yıl için heyelan risk haritası.	261
Şekil 5.41d Çalışma alanının 25 yıl için heyelan risk haritası.	262
Şekil 5.41e Çalışma alanının 50 yıl için heyelan risk haritası.	263
Şekil 5.41f Çalışma alanının 100 yıl için heyelan risk haritası.	264

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1. 1. Afet türü, olay sayısı ve afetzede sayısı ilişkisi.....	2
Çizelge 1. 2. Afet türü ile etkilediği yerleşim birimi sayısı ilişkisi.....	3
Çizelge 1. 3. AFAD arşivine göre 1950 - 2016 yılları arasında Kahramanmaraş ilinde meydana gelen afet olaylarının sayısı ve ilçe bazında dağılımı.....	11
Çizelge 1. 4. Kahramanmaraş ilinde afetler sonrasında zarar gören konut ve işyeri sayıları ile zarar görme oranları.....	12
Çizelge 2. 1. 1950 – 2015 yılları içinde gerçekleşen ortalama meteorolojik değerler.....	15
Çizelge 4. 1. IAEG, Cascini ve Guzzetti vd. tarafından önerilen ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler.....	102
Çizelge 4. 2 Tavsiye edilen zonlama türü, ölçeği ve heyelan zonlama çalışmalarındaki temel amaç.....	104
Çizelge 4. 3. Bilgi temelli heyelanlara duyarlılık değerlendirmesi için önerilen yöntemler.....	108
Çizelge 4. 4 Veri tabanlı heyelan duyarlılık yöntemleri.....	109
Çizelge 4. 5. Fiziksel tabanlı heyelan duyarlılık yaklaşımları.....	110
Çizelge 4. 6. AHP yönteminde faktörlerin önem dereceleri ve açıklamaları.....	119
Çizelge 4. 7. Rastgelelik göstergesi değerleri.....	121
Çizelge 4. 8. AUC değerleri ile ROC Modelinin doğruluk değerlendirmesi.....	123
Çizelge 4. 9. 2015 - 2016 yılları arasında incelenen 105 yayında kullanılan parametrelerin genel dağılımı.....	130
Çizelge 4. 10. 1990 – 2016 yılları arasında araştırmacıların kullandıkları parametrelerin kullanım oranları.....	131
Çizelge 4. 11. Literatürdeki mevcut tehlike haritalama yaklaşımlarında kullanılan matematiksel modeller.....	143
Çizelge 4. 12. Heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin temel veri kümelerini gösteren ölçek ve yöntem bilgileri.....	150
Çizelge 4. 13. Literatürdeki mevcut risk değerlendirme ve risk analizi yaklaşımlarında kullanılan matematiksel modeller.....	154

Çizelge 4. 14.Orta ölçekte CBS tabanlı heyelan risk alt yapısı için tehlike yaklaşımlarının spesifik kombinasyonunun ve risk yaklaşımlarının kullanım.....	165
Çizelge 5. 1. Analizlerde dikkate alınan parametreler ve genel değerlendirmesi.....	180
Çizelge 5. 2. Çalışma alanında yamaç eğimi alt sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.....	183
Çizelge 5. 3. Çalışma alanında litoloji sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.....	185
Çizelge 5. 4. Çalışma alanında bakı sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri....	189
Çizelge 5. 5. Çalışma alanında yükseklik sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.	191
Çizelge 5. 6. Çalışma alanında akarsuya yakınlık sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.	193
Çizelge 5. 7. Çalışma alanının arazi kullanımı ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	199
Çizelge 5. 8. Çalışma alanının eğrisellik sınıfları ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	202
Çizelge 5. 9. Çalışma alanının tektonik unsura yakınlık değerleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	205
Çizelge 5. 10. Çalışma alanının NDVI değerleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.....	207
Çizelge 5. 11. LR yönteminin istatistiksel sonuçları.....	210
Çizelge 5. 12. Parametre alt grupları için hesaplanmış FR ve NFR değerleri. ...	213
Çizelge 5. 13. AHP yönteminde dikkate alınan parametrik etkileşim matrisi.	219
Çizelge 5. 14. Çalışma alanında oluşma tarihi belirlenebilen heyelanlara ilişkin tarih ve yağış miktarı özellikleri.....	225
Çizelge 5. 15. Yıllara göre maksimum birikimli yağış değerleri.....	231
Çizelge 5. 16. ± 1 SD değerleri için zaman-olasılık ilişkileri.....	234
Çizelge 5. 17. ± 2 SD değerleri için zaman-olasılık ilişkileri.....	236
Çizelge 5. 18. ± 3 SD değerleri için zaman-olasılık ilişkileri.....	238
Çizelge 5. 19. Arazi kullanımı elemanlarının hasar görebilirlik analizlerindeki puanlamaları.....	256
Çizelge 5. 20. Hasar görebilirlik değerlendirmelerinde kullanılan AHP ilişki matrisi.	256

SİMGELER VE KISALTMALAR

χ^2	Ki-Kare
ACC	Accountability Index
ADT	Alternating Decision Tree
AFAD	Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	Analytical Hierarchy Process
AİGM	Afet İşleri Genel Müdürlüğü
ANFIS	Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System
ANN	Artificial Neural Network
ARM	Association Rule Mining
ARM	Antecedent Rainfall
AUC	Area Under Curve
BLR	Binary Logistic Regression
BRT	Boosted Regression Tree
BS	Bivariate Statistics
CART	Classification and Regression Tree
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CF	Certainty Factor
Corine	Coordination of Internation on the Environment
CPI	Conditional Probability Index
CR	Consistency Ratio
DAF	Doğu Anadolu Fay Zonu
DDA	Distance Distribution Analysis
DS	Dempster Shaffer
DT	Decision Tree
EBF	Evidential Belief Function
FOSM	First Order Second Moment Method
FP	False Positive
FR	Frekans Ratio
F-SVM	Fuzzy-Support Vector Machine
FT	Functional Trees
GLM	General Linearization Method

GPR	Kernel-Based Gaussian Process Regression
IAEG	International Association of Engineering Geology
ID3	Iterative Dichotomiser 3
IoE	Index-Of-Entropy
JTC	The Joint International Societies Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes
KLR	Kernel Logistic Regression
KYH	Kuvvetli Yer Hareketi
LaMI	Landslide Model Indicator Index
LHM	Landslide Hazard Mapping
LIDAR	Light Detection and Ranging
LR	Logistic Regression
LRM	Likelihood Ratio Model
LSI	Landslide Susceptibility Index
MARS / MARSpline	Multivariate Adaptive Regression Splines
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis
MEP	Point Estimation Method
MGRP	Morphological (M), geological (G), river distance (R), precipitation (P) factor correlation
MGRP+E+F	Morphological (M), geological (G), river distance (R), precipitation (P), earthquake (E) and fault (F) distance factors
ML	Maximum Likelihood
MLP	Multilayer Perceptron Neural Networks
MLR	Multivariate Logistic Regression
mLRF	Modified Landslide Relative Frequencies
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NB	Naive Bayes
NBU	Unknown Naive Bayes
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NFR	Normalized Frekans Ratio
OWA	Ordered Weighted Average
ÖDF	Ölü Deniz Fay Zonu

PSI	Persisted Scatterers Interferometry
RBF	Radial Basis Function
RF	Random Forest
RI	Randomness Index
RLB	Reliability Index
ROC	Relative Operating Characteristics
SCI	Science Citation Index
SD	Standard Deviation
SHALSTAB	Shallow Landslide Stability
SI	Statistical Index
SINMAP	Stability Index Mapping
SMCE	Spatial Multi-Criteria Evaluation
SPI	Stream Power Index
SU	Settlement Unit
SVM	Support Vector Machine
SWARA	Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TN	True Negative
TP	True Positive
TWI	Topographical Wetness Index
UCU	The Unique Condition Units
UN - ISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
USGS	United States Geological Survey
Wf	Weighting Factor
Wi	Weight Statistical Index
WLC	Weighted Linear Combination
WoE	Weight of Evidence
YC	Yule Constant
ZHY	Zayıf Yer Hareketi

1. GİRİŞ

Ülkemiz, sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel yapısı nedeniyle dünya ölçeğinde doğal afetlerden en fazla etkilenen ülkeler arasındadır. Yıkıcı etkileri açısından değerlendirildiğinde, ilk sırayı alan depremlerden sonra, heyelan, taşkın, kaya düşmesi ve çığ afetleri ülkemizde sıklıkla yaşanan afetlerden başlıcalarıdır [1]. Son 60 yıllık afet kayıtlarına bakıldığında; doğal afetlerin ülkemizde neden olduğu doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıpların, Gayri Safi Milli Hasılamızın % 3'ü kadar olduğu görülmektedir [2].

Afetlerin oluşturduğu zararların en az düzeye indirgenebilmesi için ilk aşamada yapılması gereken çalışma; ülke, bölge ve il bazında afet tehlike ve risk haritalarının oluşturulması aşamasıdır. Bu amaçla hazırlanacak haritalar, tehlikelerin belirlenmesi, bölgesel ve çevre düzeni planlarının hazırlanması için plancılara gerekli olabilecek afet ile ilgili bilgilerin düzenlenmesi, karar verici ve uygulayıcı mekanizmaya, doğru, hızlı, güvenilir ve güncel sonuçları aktarmak, pratik uygulamayı sağlamak açısından önemlidir. Bu tür haritalardan faydalanmak, gerek karar vericiler, gerekse yerel yönetimler gibi otoritelerin daha sağlıklı planlamalar yapmasını sağlayacağı gibi, doğru yer seçimi konularında da önemli katkılar sağlamaktadır.

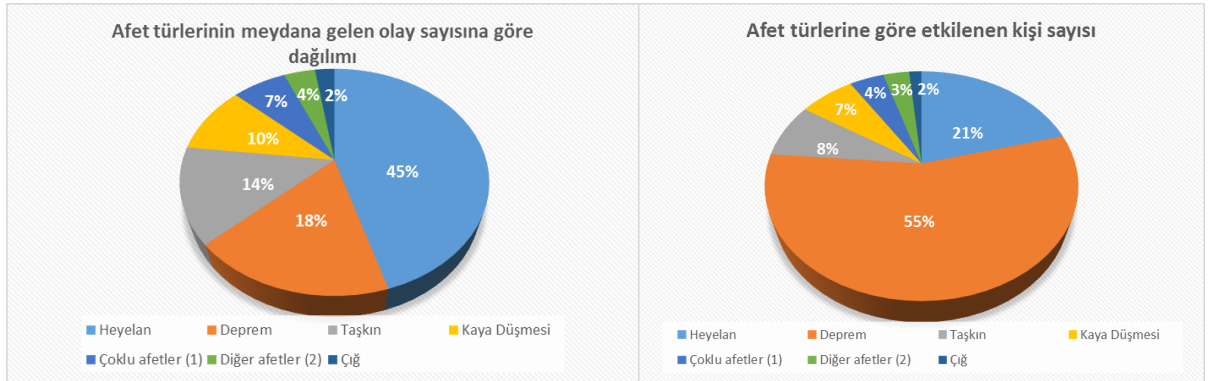
Ülkemizde meydana gelen afetlerin; afet olayı ve etkilenen afetzede sayıları baz alınarak yapılan değerlendirmede olay bazında en fazla yaşanan afet türü heyelan, en çok afetzedeyi etkileyen afet olayı olarak da deprem afetleri ön plana çıkmaktadır (Çizelge 1.1). 1950 - 2008 yıllarına ait heyelan kayıtlarına bakıldığında, 59.345 kişinin heyelan nedeniyle etkilendiği ortaya çıkmaktadır [1]. Deprem afetinin olay sayısı heyelana göre daha az olmasına rağmen etki alanının oldukça geniş alanları kapsamı bakımından etkilenen afetzede sayısı heyelan afetinden etkilenen afetzedelerin sayısının neredeyse 3 katı kadardır (158.241). Heyelan, kaya düşmesi, çığ gibi afetler tekil olaylar olup, genel olarak çok geniş etki alanı olmayan afetlerdir.

1950 - 2008 yılları arasında meydana gelen 29.765 adet afet vakasının meydana gelen afet türlerine göre dağılımları incelendiğinde; % 45 ile ilk sırada yer alan heyelanlar, 284.996 afetzededen % 21'ini etkilemesi nedeniyle, ülkemiz için son derece büyük bir öneme sahiptir (Şekil 1.1).

Çizelge 1. 1. Afet türü, olay sayısı ve afetzede sayısı ilişkisi [1].

Afet Türü	Olay Sayısı	Afetzede Sayısı
Heyelan	13.494	59.345
Deprem	5.318	158.241
Taşkın	4.067	22.157
Kaya Düşmesi	2.956	19.422
Çoklu afetler ⁽¹⁾	2.024	12.210
Diğer afetler ⁽²⁾	1.175	9.237
Çığ	731	4.384
TOPLAM	29.765	284.996

(1) Çoklu afetler aynı alanda birden fazla afetin aynı anda meydana gelmesi durumunu ifade etmektedir. Örneğin; ani yağışlar sonrasında meydana gelen taşkın ve heyelanın gelişmesi. (2) Diğer afetler; yangın, tasman çökmesi, jeomedikal problemler, yeraltısuyu yükselmesi, obruk çökmesi, hortum vb. afetleri ifade etmektedir.



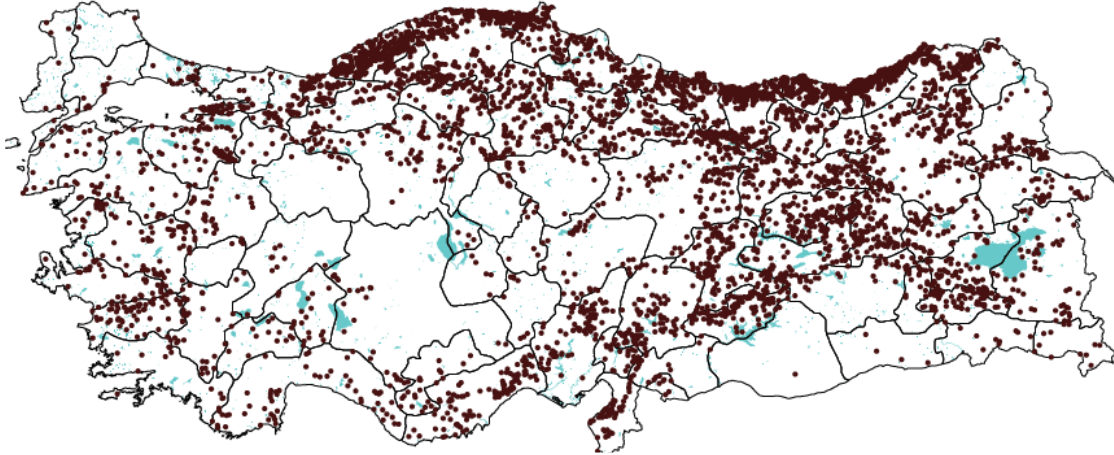
Şekil 1. 1. a. Afet türlerinin meydana gelen olay sayısına göre dağılımı. 1b. Afet türlerine göre etkilenen kişi sayısı [1].

Heyelanın meydana geldiği yerleşim birimlerindeki dağılımına bakıldığında; ülkemizde 35.741 yerleşim biriminden (il, ilçe merkezleri, belde, belediye, köy) 5.472 tanesi, diğer bir deyişle tüm yerleşim birimlerinin % 15.31'inde heyelan olayı gözlenmiştir. Tüm yerleşim birimlerinden % 43.75'i 1950 - 2008 afet kayıtlarına göre en az bir afet olayına maruz kalmış görülmektedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1. 2. Afet türü ile etkilediği yerleşim birimi sayısı ilişkisi.

Afet Türü	Afet yaşanan yerleşim birimi	Toplam yerleşim birimi sayısına göre oranı
Heyelan	5472	15.31
Deprem	3942	11.03
Taşkın	2924	8.18
Kaya Düşmesi	1703	4.76
Diğer afetler	992	2.78
Çığ	605	1.69

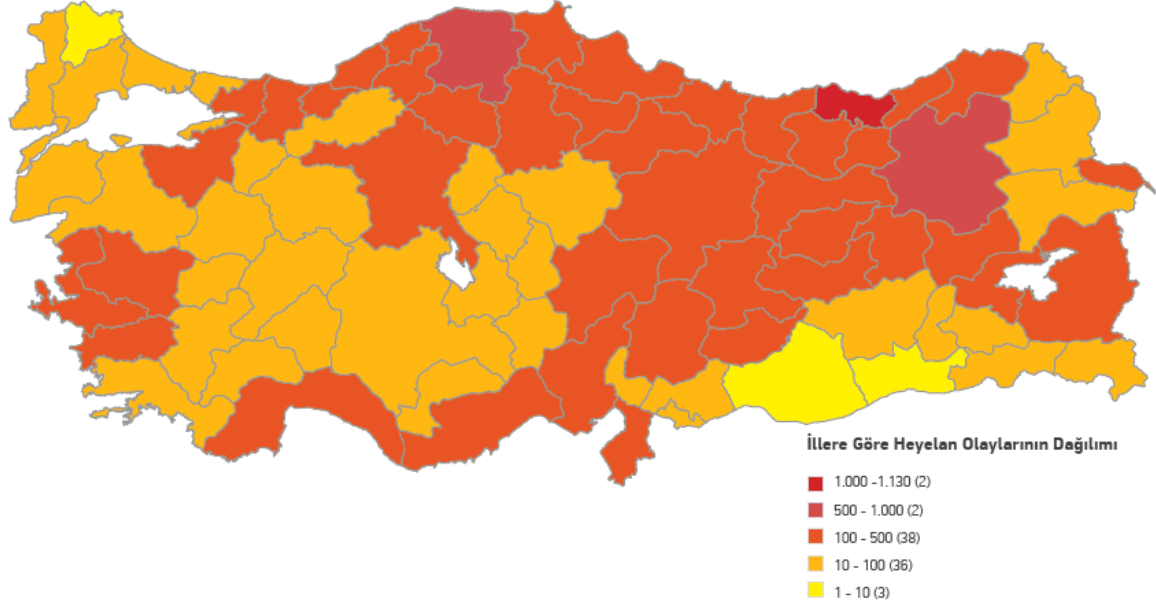
1950 - 2008 yılları arasında meydana gelen 5.472 heyelanın mekânsal olarak dağılımlarının yer aldığı Şekil 1.2'de tüm illerin heyelandan belirli derecelerde etkilendiği görülmektedir. İl bazında bakıldığında; en çok heyelan olayı gözlenen iller sırasıyla; Trabzon (1.123 olay), Rize (1.049 olay), Kastamonu (613 olay), Erzurum (573 olay) ve Artvin (471 olay)'dir. En az heyelan olayı gözlenen iller ise Kırklareli (3 olay), Mardin (4 olay) ve Şanlıurfa (6 olay)'dir. Heyelandan etkilenen afetlerde sayıları incelendiğinde, ise Trabzon 4.106 afetlerde ile heyelanlardan en fazla hasar gören ildir. Olmuş / muhtemel heyelan olaylarından etkilenen / etkilenebilecek durumdaki toplam yapı sayısı 59.345'dir. Trabzon 4.106 yapı ile heyelanlardan en çok zarar gören ilimizdir. Heyelanlar yüzünden en fazla hasar ve yıkıma uğrayan ilçemiz ise Karabük - Yenice (1.388)'dir (Şekil 1.3).



Şekil 1. 2. Heyelan olayının meydana geldiği yerleşim birimlerinin mekânsal dağılımı [1].

Heyelanlı yerleşim birimlerinin mekânsal dağılımında; özellikle Doğu Karadeniz (Trabzon ve Rize illeri civarı), Orta ve Batı Karadeniz'de (Karabük, Bartın,

Zonguldak ve Kastamonu illeri civarında) yoğun olarak yaşandığı, fay zonlarına yakın sayılabilecek kesimlerde de bir yoğunlaşma olduğu söylenebilir [1].



Şekil 1. 3. Türkiye’de 1950 - 2008 yılları arasında meydana gelen heyelan olay sayılarının illere göre dağılımı [1].

Ülkemizde bugüne kadar yaşanan büyük çaplı etki alanına sahip ve yakın geçmişte meydana gelmiş olan heyelanlardan bazıları hakkında genel bir değerlendirme tarihsel sıralamayla aşağıda sunulmuştur.

Isparta Senirkent’te 13 Temmuz 1995’de meydana gelen moloz akması türündeki heyelan hareketine bağlı olarak 74 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 180 ev tamamen yıkılmış, 212 ev ağır hasar görmüş, alt yapı ve yollar kullanılamaz hale gelmiştir. Kapıdağ üzerinde ani ve şiddetli sağanak yağış ile derelerde bir hareketlilik meydana gelmiş, bitki örtüsünden yoksun gevşek malzeme yamaç aşağı kalın bir çamur seli halinde, iri blokları da sürükleyerek 5 ayrı koldan şehir merkezine doğru akmıştır. Mülga Bayındırlık ve İskân Bakanlığı’na bağlı Afet İşleri Genel Müdürlüğü’nün (AİGM) arazide gerçekleştirdiği etüt çalışmalarına göre yerleşim alanının yanlış seçilmesi bu felakete zemin hazırlamıştır (Şekil 1.4).

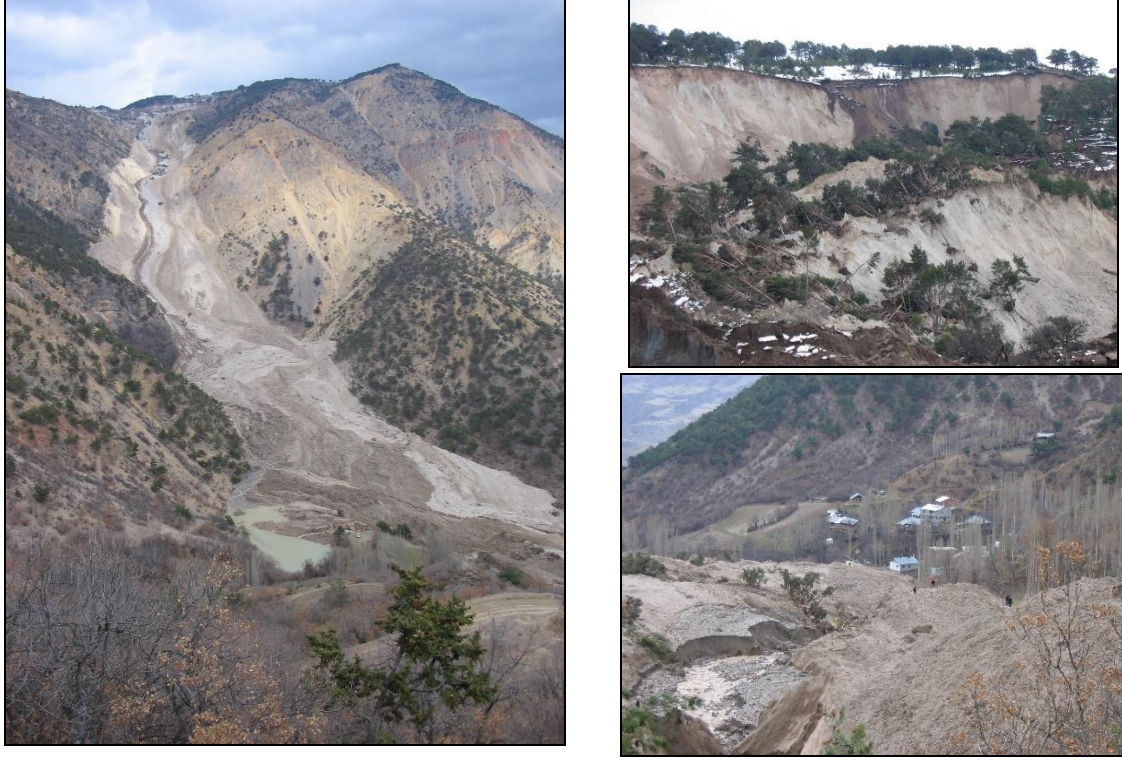


Şekil 1. 4. 13 Temmuz 1995 Isparta Senirkent heyelanı (AFAD arşivi)

17.03.2005 günü Sivas ili, Koyulhisar ilçesi, Sugözü Köyü'nün Kuzulu Mahallesi'nin üst kotlarında büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelan sonucunda 15 kişi toprak altında kalarak hayatını kaybetmiştir. Heyelan sırasında can kayıplarının yanı sıra, köy camisi ile 21 ev toprak altında kalarak tamamen tahrip olmuş ve 375 adet hayvan da telef olmuştur. Heyelan sırasında hareket eden malzemenin hacmi yaklaşık olarak 12.5 milyon m³ olarak hesaplanmış olup aşırı hızlı heyelan sınıfında yer alan Kuzulu heyelanının yer aldığı alanın bir paleo-heyelan bölgesi olduğu saptanmıştır (Şekil 1.5).

Çoğu zaman heyelan zararları, heyelanı tetikleyen en önemli faktörlerden olan deprem ve aşırı yağış süreçleri içerisinde değerlendirilmekte ve bunun sonucu olarak, heyelan zararlarının boyutları olduğundan daha düşük tahmin edilmektedir. Ancak, heyelanlar zaman zaman depremler veya aşırı yağışlar gibi doğal tetikleyici unsurlar olmaksızın da meydana gelebilmektedir. AİGM kayıtlarına göre; Sugözü heyelanı aşırı yağış ve deprem gibi belirgin bir tetikleyici faktör olmaksızın

meydana gelmiştir. Bu gözlemi doğrulayan ikinci heyelan, aynı alanda sadece 7 gün sonra 24.03.2005 günü meydana gelmiş ve yaklaşık 5 milyon metreküp malzeme daha kayarak Kuzulu mahallesinde 13 evin daha tamamen toprak altında kalmasına neden olmuştur.



Şekil 1. 5. Sivas İli Koyulhisar İlçesi Sugözü köyü heyelanı (AFAD arşivi).

26.08.2010 yılında Rize ili Gündoğdu Beldesi ve civar köylerinde meydana gelen aşırı yağışlara bağlı olarak su baskını ve çok sayıda heyelan olayı meydana gelmiştir. Söz konusu afet olayları sonucu, 13 vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve büyük miktarda maddi hasara da sebebiyet vermiştir. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD) kayıtlarına göre 160 konut, 8 işyerinin nakli önerilmiş, 83 konutun ise alınabilecek önlemlerle afet tehlikesinden korunabileceği tespit edilmiştir (Şekil 1.6).

Zonguldak ili Devrek İlçesi Karşıyaka Mahallesiinde 16.07.2015 tarihinde meydana gelen heyelan nedeniyle, 86 bina, 242 konut, 6 kamu binası etkilenerek tahliye edilmiş, tahliye edilen konutlarda ikamet eden 376 vatandaşımız da olaydan direk

etkilenmiştir. Arazide yapılan incelemeler ve AFAD kayıtlarına göre aşırı yağış ve yol yapımı çalışmalarına bağlı olarak alandaki ilk heyelan kaydı 17.03.2015 tarihinde alınmıştır. Geçen sürede hem yağışın hem de yol yapım inşasının devam etmesiyle 16.07.2015 tarihinde bu büyük olay meydana gelmiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1. 6. 26 Ağustos 2010 Rize Gündoğdu heyelanları (AFAD arşivi).



Şekil 1. 7.16 Temmuz 2015 Zonguldak Devrek heyelanı (AFAD arşivi).

Ordu ilinde, 04 – 08 / 07 / 2016 tarihleri arasındaki şiddetli ve ani yağışlara bağlı olarak meydana gelen, taşkın, heyelan ve kaya düşmesi afet olayları sonucunda, 3 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 2 vatandaşımız taşkın sularına kapılarak kaybolmuş, 11 vatandaşımız yaralanmış, büyük ve küçükbaş hayvan telefleri olmuş, konut, işyeri, ahır ve samanlıklarda hasarlar meydana gelmiştir. Ayrıca, kamu tesislerinde (yol, kanalizasyon, içme suyu, menfez, istinat duvarı vb.) kullanılmayacak derecede hasarlar oluşturan bu çoklu afette; Altınordu, Çamaş, Çatalpınar, Fatsa, Gökçöy, Gürgentepe, Korgan, Perşembe ve Ulubey ilçeleri ile bu ilçelere bağlı 86 mahallede irili ufaklı birçok afet olayı meydana gelmiştir (Şekil 1.8).



Şekil 1. 8. 04 - 08 Ağustos 2016 Ordu heyelanları (AFAD arşivi).

Yukarıdaki paragraflarda da açıklandığı üzere, heyelanlar ve olumsuz etkileri ülkemizde oldukça sık olarak gözlenmektedir. Heyelanların neden olduğu can ve mal kayıplarının başlıca gerekçeleri hızlı artan nüfusa bağlı plansız yerleşimler, arazi kullanımında potansiyel risklerin önceden belirlenerek son kullanıcının

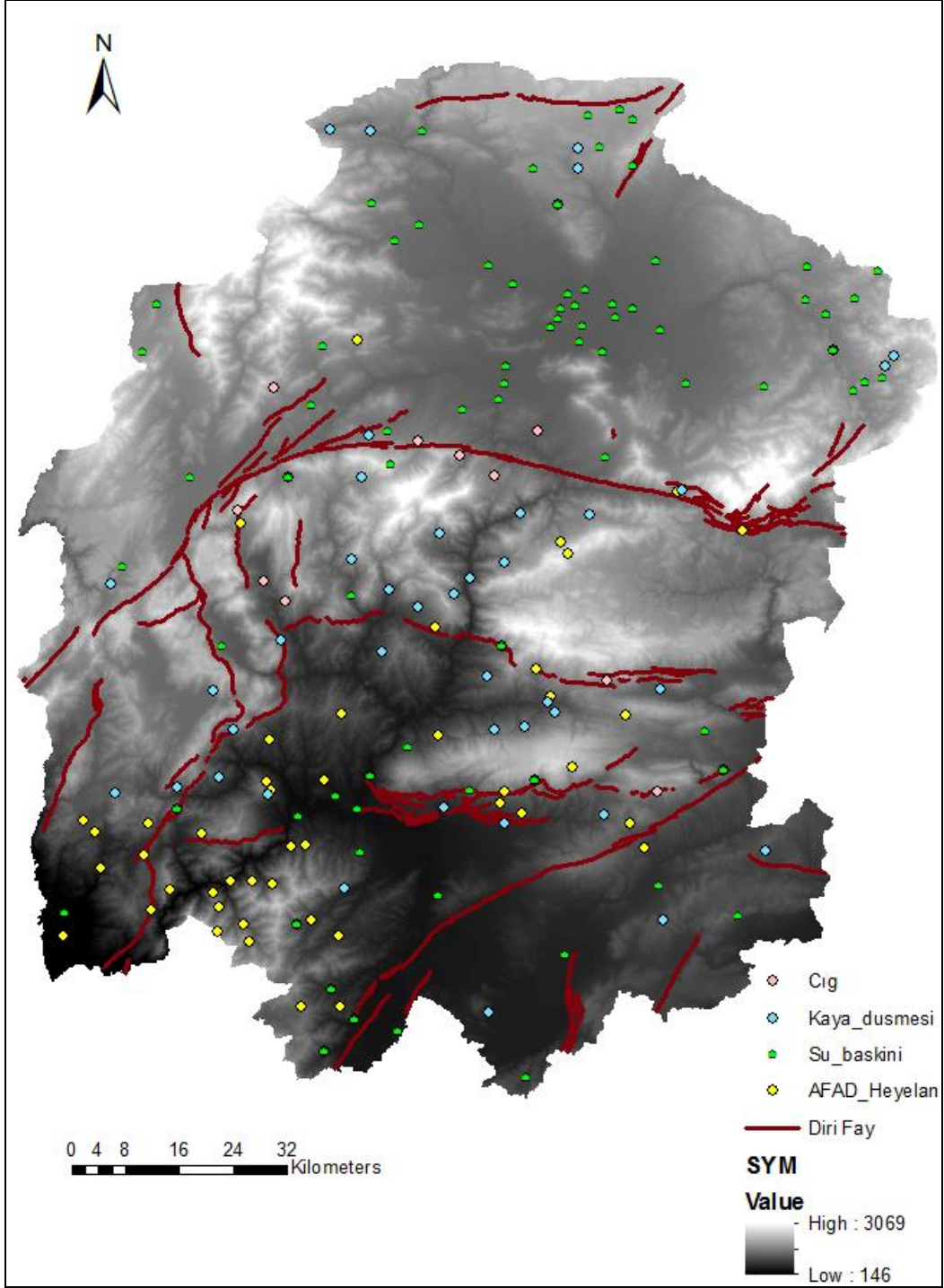
hizmetine sunulmamış olmasıdır. Daha güvenli yerleşim alanlarının seçimi ve bu alanların yerleşime açılması için her türlü doğal afete karşı tehlike ve risk analizlerinin önceden yapılması ve analizler doğrultusunda yapılaşmanın sağlanması ile can ve mal kayıplarının önüne geçilecektir. Özellikle ülkemiz gibi kırsal yerleşimin yoğun olduğu, afetselliğin yüksek olduğu ülkelerde tehlike ve risk analizleri ile yukarıdaki paragraflarda anlatılan pek çok afet zararının önüne geçilebilecektir.

Bu bağlamda; özellikle yerleşim birimlerinde, geçmişte yaşanmış afetlerin arşiv kayıtlarının olması, bu kayıtlar ve güncel durum göz önünde bulundurularak duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının hazırlanması karar vericiler ve yerel halk için oldukça büyük önem arz etmektedir. Ancak; dünyada ve ülkemizde özellikle tehlike ve risk konusunda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır ve bu çalışmalarda standart bir yaklaşım da bulunmamaktadır. Bu gerekçeler doğrultusunda tüm yerleşim alanlarında risk değerlendirmesinin aynı anda yapılması mümkün olmasa da, özellikle afet kayıtları dikkate alınarak afetselliğin en yüksek olduğu bölgelerdeki iller, illerdeki öncelikli alanlar için tehlike ve risk çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Tez çalışması kapsamında, inceleme alanı olarak seçilen Kahramanmaraş ili kent merkezinin heyelan afeti için risk değerlendirmesinin yapılması amaçlanmaktadır. Söz konusu alan, afetselliği son derece yüksek bir alan olup, nüfusun yoğun olduğu kent merkezini de içerecek şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalara izleyen bölümlerde değinilmiştir.

1.1. Kahramanmaraş İlindeki Afet Olaylarının Genel Değerlendirmesi

AFAD arşivlerine göre; 1950 - 2016 yılları arasında meydana gelen afetlerden etkilenen yerleşim birimi sayısı açısından, Kahramanmaraş ili 26. sıradadır. Kahramanmaraş'ın toplam 682 yerleşim birimi bulunmakta olup, bunlardan 221 tanesi afet olayından etkilenmiştir (Şekil 1.9).



Şekil 1. 9. Kahramanmaraş ilinde meydana gelen afetlerin mekânsal dağılım haritası.

Başka bir deyişle; afet olaylarından yerleşim birimi etkilenme oranı % 32.4 olarak belirlenmiştir. İlin, 1950 - 2016 yılları arasındaki afet bilgi envanteri incelendiğinde; il genelinde en çok, heyelan meydana geldiği (273 olay), heyelandan sonra

sırasıyla su baskını (189) ve kaya düşmesi (124) olaylarının yaşandığı tespit edilmiştir (Çizelge 1.3).

Çizelge 1. 3. AFAD arşivine göre 1950 - 2016 yılları arasında Kahramanmaraş ilinde meydana gelen afet olaylarının sayısı ve ilçe bazında dağılımı.

İlçe	Heyelan	Su baskını	Kaya düşmesi	Çığ	Deprem
Afşin	13	19	15	0	0
Andırın	22	4	11	1	0
Çağlayancerit	12	2	2	3	0
Dulkadiroğlu	42	8	20	0	0
Ekinözü	12	4	4	3	0
Elbistan	9	87	12	0	5
Göksun	20	23	6	9	0
Nurhak	1	0	0	0	0
Onikişubat	108	23	42	7	1
Pazarcık	19	9	12	1	1
Türkoğlu	15	10	0	0	0
TOPLAM	273	189	124	24	7

- ✓ Kahramanmaraş ilinde heyelanların sırasıyla; Onikişubat, Dulkadiroğlu, Andırın ve Göksun ilçelerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.
- ✓ İldeki su baskını olaylarını yoğunluk oranlarına göre sıraladığımızda; ilk sırayı Elbistan ilçesi alır, daha sonra sırasıyla Onikişubat ve Afşin ilçeleri su baskını olayından en çok etkilenen ilçeler arasındadır.
- ✓ Kahramanmaraş ilindeki kaya düşmesi afeti, Onikişubat, Dulkadiroğlu ve Afşin ilçelerinde yoğun olarak yaşanmıştır.
- ✓ İlçe bazında incelediğimizde çığ afeti en fazla Göksun ve Onikişubat ilçelerinde gözlenmektedir.

1.2. Kahramanmaraş İli Afet Olaylarının Zarar Durumları ve İyileştirme Çalışmaları

AFAD'ın afet olayı yaşandıktan sonra hazırladığı hasar tespit arşivlerine göre; meydana gelen afet olayları sonucunda zarar gören yapıların ilçelere göre dağılımları Çizelge 1.4'de verilmiştir. Afet olaylarından zarar gören konut ve iş yeri sayısı en fazla Elbistan ilçesine aittir. Ayrıca, Kahramanmaraş ilinde, afet olaylarından zarar görme oranının en fazla olduğu ilçe de Elbistan'dır.

Çizelge 1. 4. Kahramanmaraş ilinde afetler sonrasında zarar gören konut ve işyeri sayıları ile zarar görme oranları.

İlçe	Zarar gören konut ve işyeri sayısı (Ki)	Toplam yapı sayısı (TÜİK-2015)	Zarar Görme Oranı [(Ki/TÜİK)*1000]
Afşin	308	45.690	6.74
Andırın	138	27.410	5.03
Çağlayancerit	72	13.966	5.16
Dulkadiroğlu	242	98.655	2.45
Ekinözü	81	7.375	10.98
Elbistan	1.094	70.051	15.62
Göksun	267	35.465	7.53
Nurhak	0	8.542	0.00
Onikişubat	713	164.507	4.33
Pazarcık	188	34.015	5.53
Türkoğlu	361	30.228	11.94
TOPLAM	3.464	535.904	6.46

Genel bir değerlendirme yapıldığında; il genelinde 1950 – 2016 yılları arasında afetler (deprem hariç) nedeniyle 3.464 konut ve işyeri etkilenmiştir. Bu yapıların her birinin ekonomik değeri, bu yapılarda oturan ve çalışan insanların yaşam kalitelerinin olumsuz etkilenmesi, oluşan can ve mal kayıpları ile genel sosyal, ekonomik ve fiziksel etkiler göz önünde bulundurulduğunda afetler öncesi yapılacak tehlike ve risk analizleri ile afet sonrası yapılan iyileştirme çalışmalarından, daha etkin sonuçlar üretilecektir.

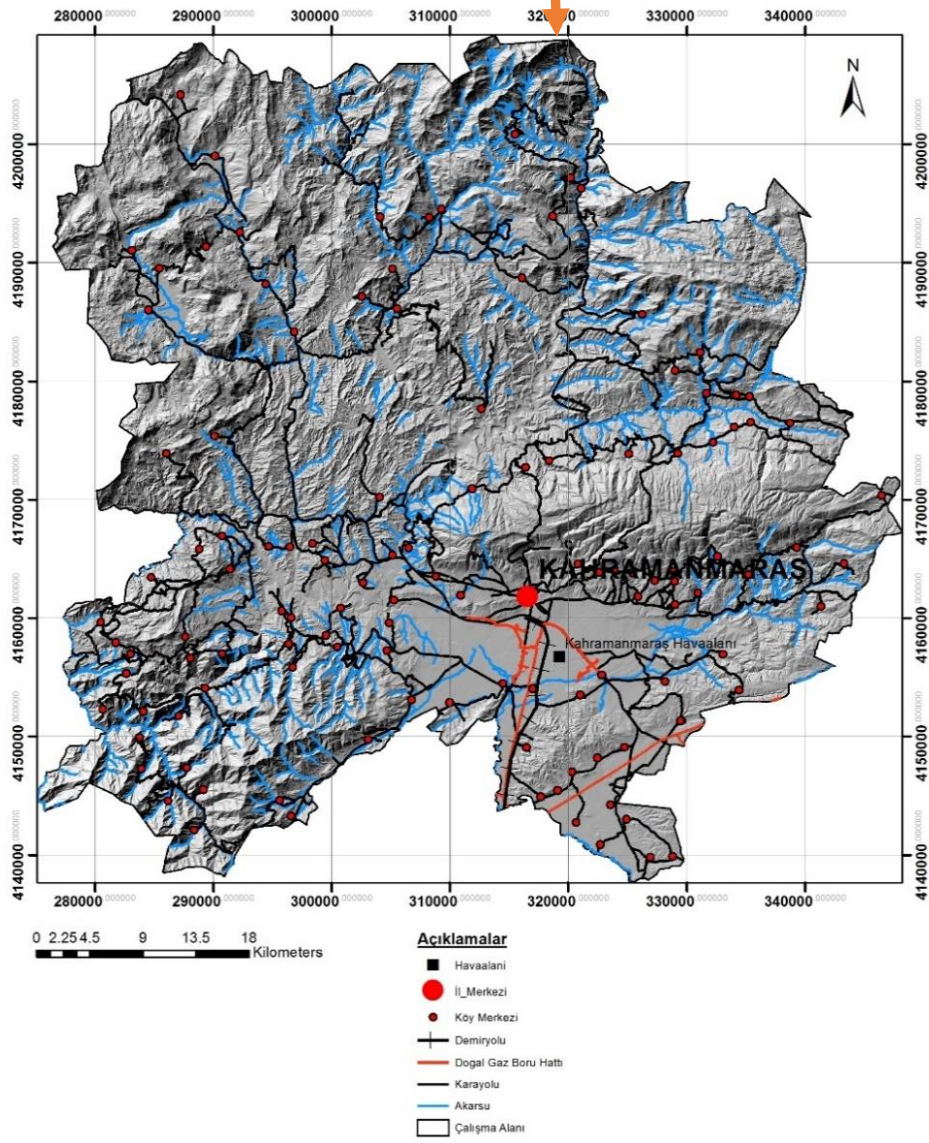
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI VE AFETSELLİK DURUMU

Kahramanmaraş ili 14.346 km²'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin 11. büyük ili durumundadır. 37 - 38 kuzey paralelleri ile 36 - 37 doğu meridyenleri arasında, Akdeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin birleştiği yerde bulunmaktadır (Şekil 2.1). İl merkezi, deniz seviyesinden 568 m yükseklikte olup, ilin kuzey kesimleri oldukça dağlıktır. Yeryüzü şekilleri genellikle Güneydoğu Torosların uzantıları olan dağlarla bunlar arasında kalan çöküntü alanlarından oluşmaktadır. Arazi yüksekliği 124 m'den 3.081 m'ye kadar çıkan ilde geniş ovalar vardır. Bunlar; Gâvur, Maraş, Göksun, Aşağı Göksun, Afşin, Elbistan, Andırın, Mizmilli, Narlı ve İneklı Ovalarıdır [3].

İlin toprakların % 59.7'sini dağlar, % 24'ünü platolar ve % 16.3'ünü de ovalar teşkil eder. İl kapsamı içinde belli başlı dağlık alanlar genellikle Güneydoğu Torosların uzantılarıdır. Bunlar Engizek dağı, Ahırdağı, Amonos (Nur) dağları, Nurhak dağları, Kandil dağları, Sarımsak dağı, Düldül dağı ve Binboğa dağlarıdır [4].

31 Aralık 2015 tarihi itibarıyla Türkiye nüfusu 78.741.053 kişi olup, Kahramanmaraş 1.096.610 kişilik nüfus ile toplam nüfus bakımından 18. sıradadır [5].

Kahramanmaraş, coğrafi konumunun etkisi ile üç farklı iklim tipi arasında, Bozulmuş Akdeniz İklimine daha yakın bir iklim özelliği gösterir. Kahramanmaraş merkezde görülen iklimin aksine kuzeye doğru gidildikçe yükseltiye bağlı olarak tamamen karasal iklim özellikleri görülür. Kahramanmaraş ve ilçelerinin son 65 yıllık meteorolojik verileri Çizelge 2.1'de belirtildiği şekilde ölçülmüş olup, ilde ortalama en düşük sıcaklık Ocak ayında yaşanmış iken, en yüksek sıcaklık ise Ağustos ayında ölçülmüştür [6].



Şekil 2. 1. a) Kahramanmaraş ilinin konumu [7], b) çalışma alanı olarak seçilen il merkezinin konumu.

Çizelge 2. 1. Kahramanmaraş İline ait 1950 – 2015 yılları içinde gerçekleşen ortalama meteorolojik değerler [6].

KAHRAMANMARAS	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.9	6.4	10.6	15.4	20.3	25.2	28.3	28.5	25.2	19.0	11.7	6.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.2	10.9	15.8	21.1	26.7	31.8	35.5	35.9	32.4	25.9	17.6	11.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.3	2.2	5.7	9.8	14.1	18.8	22.1	22.1	18.3	12.8	6.9	3.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.1	5.3	6.4	8.3	10.2	10.5	10.1	9.0	6.5	4.4	3.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.7	11.8	10.9	7.9	2.3	0.5	0.4	1.9	6.4	8.3	11.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ort. (kg/m²)	129.1	114.4	98.2	74.4	41.1	6.6	1.1	0.9	8.9	47.5	83.5	126.4
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.7	22.4	29.2	36.0	38.0	42.0	45.2	44.4	41.3	37.2	28.9	24.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-9.0	-9.6	-7.6	-1.8	5.0	10.3	15.6	15.7	8.6	0.0	-5.6	-7.6

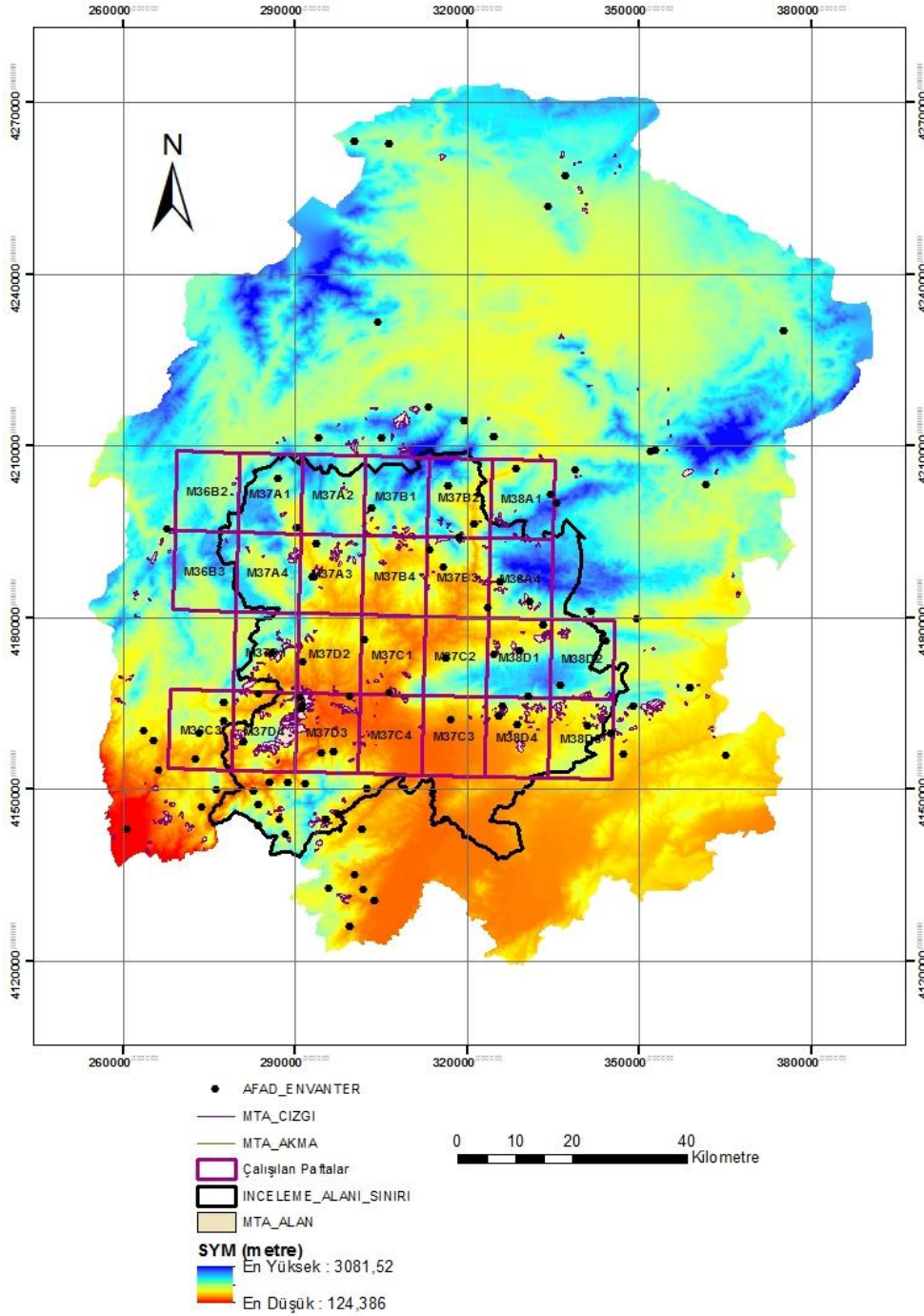
Kahramanmaraş'ta yükseltiye bağlı olarak bitki örtüsü de değişmektedir. Çalı formasyonu, Orman formasyonu ve Alpin formasyonu olarak üç çeşit bitki formasyonu görülmektedir. Bunlardan çalı formasyonu 500 - 1200 m arasında yer almaktadır. Karışık çalılardan meydana gelen bu bitki örtüsüne maki formasyonu denir. Maki formasyonu içinde, kermes meşesi, mazi meşesi, laden, sandal, zeytin, diş budak, sumak, akça, kesme, karaçalı, erguvan gibi bitki türlerine rastlanır. Kızılçam ormanlarının tahripleri sonucunda ortaya çıkan kermes meşeleri daha çok plato alanlarında görülen maki formasyonunun önemli bir üyesidir. 900 - 2000 m kadar olan kısımlarda kuru ve yarı nemli olarak ayırtlanabilecek Orman Formasyonu vardır. Burada iğne yapraklı ağaçlardan kızılçamlar bol miktarda bulunmaktadır. Kızılçamların arasında kışın yaprağını döken ağaçlara da rastlanmaktadır. 1400 - 2000 m arasında karaçam, göknar, sedir, ardıç türleri meşe türleri, kızılçamların arasında karışık halde bulunmaktadır. 2000 m üzerinde ise alpin ot formasyonu görülebilmektedir. Geven, burçak, menekşe, gelincik, yumak, çoban yastığı gibi türlerin hakim olduğu bu formasyon Ahır ve Çimen dağının yüksek kısımlarında görülür [8].

Yukarıda değinilen özellikler dikkate alındığında, Kahramanmaraş ili hem nüfus, hem de risk faktörü oluşturacak sanayi tesisleri ile doğal afet oluşumu açısından elverişli jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel özelliklere sahiptir. Bu nedenle, heyelan duyarlılığı, tehlike ve risk analizleri açısından değerlendirildiğinde, sözü edilen özelliklerin önemi, gelecekte karar vericiler ve uygulayıcılar tarafından hem kentsel hem de kırsal yerleşim yeri planlamasında bir yol gösterici olacaktır.

Tez çalışması kapsamında heyelan risk değerlendirmesi yapılacağı için öncelikle Kahramanmaraş ilinin tamamındaki heyelan potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 2015 yılı içerisinde farklı tarihlerde arazi gözlemleri yapılmıştır. Bu gözlemlerde gerek MTA'nın gerekse, AFAD'ın heyelan envanterleri AFAD teknik ekibi ile yerinde incelenmiştir.

Şekil 2.2'de görüldüğü üzere il genelindeki heyelanların büyük bir çoğunluğu il merkezinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca risk değerlendirmesi yapabilmek adına gerek

nüfusun gerekse konut stokunun yoğun olduğu alanda çalışma yapmak için inceleme alanı olarak Kahramanmaraş Merkez sınırları belirlenmiştir (Şekil 2.2). Arazide merkezi kapsayan 25 adet HGK ve MTA'dan temin edilmiş 1 / 25.000'lik haritalar ile detay çalışmaları yürütülmüş olup, çalışmalar 3.515,63 km²'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 2. Kahramanmaraş ilinin heyelan potansiyeli, çalışma alanı sınırları ve pafta indeksi

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Stratigrafik açıdan Kahramanmaraş ili ve civarında genel olarak, Toros Orojenik Kuşağı, Güneydoğu Anadolu Otoktonu ve örtü kayalarına ait birimler yüzeylenmektedir [3]. Kahramanmaraş, jeolojik gelişimi ve yapısal özellikleri bakımından oldukça karmaşık olan ve farklı tektonik birliklerin bir araya geldiği bir bölgede yer almaktadır. Rigo De Righi ve Cortesini [9] çalışmalarında Kahramanmaraş ilinin Orojenik Kuşak ile Kenar Kıvrımları Kuşağı'nda yer aldığını belirtmişlerdir. Orojenik Kuşak; kuzeyde, Toros Levhasına ait kıtasal kabuk ile okyanusal kabuğun tektonikle karıştığı ve içinde Tersiyer yaşlı birimleri barındıran, allokton konumlu birliklerden oluşmaktadır. Kenar Kıvrımları Kuşağı ise, güneyde Arap levhası üzerinde, Paleozoyik'ten Miyosen sonuna kadar çökelen, otokton kaya toplulukları ile temsil edilmektedir [3].

Aşağıdaki paragraflarda, çalışma alanı olarak seçilen Kahramanmaraş merkez sınırları içerisindeki kayaçlar stratigrafik olarak (yaşlıdan gence doğru);

- Paleozoyik yaşlı; Malatya metamorfileri,
- Triyas – Kretase yaşlı; Binboğa metamorfileri,
- Üst Jura – Alt Kretase yaşlı; Koçali karmaşığı,
- Alt – Orta Eosen yaşlı; Midyat grubu,
- Orta Eosen yaşlı; Maden Karmaşığı,
- Üst Miyosen yaşlı; Yavuzeli bazaltları, Ahmetcik formasyonları olmak üzere sıralanmıştır [8] .

Malatya Metamorfileri; ilk kez, Sungurlu [10] tarafından Malatya çevresinde yüzeyleyen paleozoyik ve mesozoyik yaşlı, metamorfik kırıntılı ve karbonatlar Malatya metamorfileri olarak adlandırılmıştır. Malatya metamorfileri, allokton konumlu permien ve öncesi yaşlı Nergile formasyonu (Pn), Ortaoymak Amfibolit üyesi (Pno), Tut formasyonu (Ot), Berke formasyonu (Sb), Kengerdere formasyonu (Dk), Yoncayolu formasyonu (Pzy), Çayderesi formasyonu (Pç), triyas yaşlı Yılanova formasyonu (Trmy), Karabayır formasyonu (Trmk), Dedeardıçgediği

formasyonu (Trd) ve jura yaşlı Engizek formasyonu (Je)'na ait kaya türlerinden oluşmaktadır [10].

Binboğa Metamorfikleri (Mzb); Binboğa Dağları'nın kuzeyinde yaygın olarak yüzeylenen, allokton konumlu kırıntılı kireçtaşı, Perinçek ve Kozlu [11] tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, kırıntılı kireçtaşı, orta-ince tabakalı türbiditik kireçtaşı ile kumtaşı, kiltası, şeyl ve çörtlü kireçtaşı arakatkılarından oluşmaktadır.

Koçali Karmaşığı (JKk); ultrabazik kayalar, volkanitler, serpantinit, radyolarit, çörtlü kireçtaşı ve farklı yaşlarda kireçtaşı bloklarından oluşan birim, düzensiz bir içyapı gösterir, ilk kez Sungurlu [12] tarafından adlandırılmıştır. Egemen kaya türü ultrabazikler ve serpantinitlerdir. Bunlar, koyu kahve- koyu yeşil renkli oldukça parçalanmış, parlak yüzeyli, genellikle serpantinleşmişlerdir. Ayrıca, koyu kahve - boz renkli aglomera ve lav akıntılar, kırmızı renkli, oldukça kıvrımlı, yer yer manganezli radyolarit ve silisli şeyller, kırmızı renkli, ince tabakalı çörtlü kireçtaşları az oranda izlenmektedir. Bu kaya türleri tektonik bir dokanakla birbirleriyle yan yana gelmiş karmaşık bir yapı sunarlar. Karmaşık içerisinde irili ufaklı bej- gri, yer yer kırmızı renkli, çok kalın tabakalı veya masif kristalize kireçtaşı blokları yer almaktadır.

Midyat Grubu; Eosen ve miyosen yaşlı kireçtaşlarını, ilk kez Gossage [13] tarafından adlandırılmıştır. Midyat grubu; Ahırdağı, Kandil Dağı, Öksüz Dağı, Daz Tepe, Yenice kale civarı ile Kuzey Amanosların kuzey yamaçlarında yüzeylenmektedir. Genel olarak karasal kaba kırıntılılar, bentik foraminiferli kireçtaşları ve pelajik fosilli kalsitürbiditlerden oluşur. İnceleme alanında, bu kaya türleri, Ahırdağı, Toklu, Gercüş, Hoya, Gaziantep ve Fırat formasyonu adı verilerek tanıtılmıştır.

Maden Karmaşığı (Tem); Eosen yaşlı, yer yer bloklı volkanitlerden oluşan bu formasyon, ilk kez Ketin [14] tarafından "Maden Serisi" adı verilerek tanıtılmıştır. Formasyon genel olarak epiklastik-piroklastik kayalar ve yer yer üst kretase-

paleosen yaşı kireçtaşı blokları kapsayan olistostromal kaya türlerinden oluşmaktadır.

Yavuzeli Bazaltı (Tmy); Üst Miyosen yaşı bazaltlar, Yoldemir [15] tarafından adlandırılmıştır. Bazaltlar; kırmızımsı, koyu kahve, koyu gri ve siyahımsı renkli, tabakasız, yer yer çok kalın tabakalı ve gözenekli olup, gözenekleri 15 – 20 cm'ye varan kalsit bademcikli ve kalsit dolguludur. Lavlar, bazen tüf katkıları içerir ve breşik görünümlüdür. Olivin bazalt ve amigdaloidal olivin bazalt olarak izlenen birim, faylara bağlı olarak gelişen kırıklardan yüzeye çıkan lavlardan oluşmuştur.

Ahmetcik Formasyonu; ilk kez Baydar [16] tarafından adlandırılmıştır. Çoğunlukla akarsu çökellerinden oluşan formasyon, alttan üste doğru açık gri renkli, tabakasız andezit, gabro, kireçtaşı çakıllı ve bloklu çakıltaşı, gri-kızıl renkli, orta tabakalı çakıltaşı, kumtaşı ardalanması ile tabakalı kiltası ve kumtaşı, çok iri kireçtaşı bloklu, çakıllı, kaba elemanlı, kötü boylanmalı, kalın-çok kalın tabakalı, bazen yığılımlar şeklinde çakıltaşı, kırmızı renkli kiltası ile killi kumtaşı, çakıltaşı ve kumtaşından oluşan bir istiflenme sunar.

Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de gençten yaşlıya doğru genelleştirilmiş stratigrafik kesitler verilmiştir. Söz konusu kesitler için, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu Türkiye Jeoloji Haritaları Raporları (Gaziantep M36 - 37 paftaları ve Elbistan İ23 - H23 - K24 - K36 paftaları) temel kaynak olarak kullanılmıştır.

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	
SENOZOYİK	KUVATERN		ALÜVYON	Qal		
			ESKİ ELÜVYON	Qe		
			YAMAÇ MOLOZU	Qym		
	TERSİYER	PLİOSEN		ADATEPE VOLKANİTLERİ	Ta	
				GÖLBAŞI FORMASYONU	Tplg	
		MİYOSEN		AHMETÇİK FORMASYONU	Tma	
				ALİ KAYASI ÜYESİ	Tka	
				DÖNGELE KUMTAŞI ÜYESİ	Tmyd	
				GÜREDİN FORMASYONU	Tg	
				KARATAŞ FORMASYONU	Tkk	
				KİLİSECİK FORMASYONU	Tk	
				PARPIYAYLA KİREÇTAŞI ÜYESİ	Tmyp	
				SARIÇUKUR BAZALT ÜYESİ	Tmzs	
				TEKİR FORMASYONU	Tkt	
				YASSIPINAR KONGLOMERA ÜYESİ	Tmzy	
				YAVUZELİ BAZALTI	Ty	
				ŞELMO FORMASYONU	Tş	
			OLİGOSEN		FIRAT FORMASYONU	Tomf
				GAZİANTEP FORMASYONU	Tmga	
				TOKLU FORMASYONU	Tmt	
		EOSEN		HOYA FORMASYONU	Tmh	
				GERCÜŞ FORMASYONU	Tmg	
				DEMİROLUK FORMASYONU	Td	
				AKDERE FORMASYONU	Kta	
				BALLIKISIK FORMASYONU	Tb	
				TOMBAK İNTRUSİF KAYALARI	Tt	
				MADEN VOLKANİTLERİ	Tm	
		PALEOSEN		SEKSE FORMASYONU	Ts	
				GERMAV FORMASYONU	Ktsg	
				HAYDARLI FORMASYONU	Ktsh	

Şekil 2. 3. Kahramanmaraş ilinin senozoik yaşlı birimlere ait genelleştirilmiş kesit [17].

ZAMAN	DEVİR	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ
MESOZOYİK	KRATESE	ANDIRIN KİREÇTAŞI	Mza	
		KATMANLI GABRO	Mzbg	
		LEVHA DAYK KARMAŞIĞI	Mzbd	
		KALETEPE FORMASYONU	Jkk	
		BİNBOĞA FORMASYONU	Mzb	
		BESNİ FORMASYONU	Kbe	
		BERİT METAOFIYOLİTİ	Kbe	
		DAĞLICA KARIŞIĞI	Kd	
		DERDERE FORMASYONU	Kmd	
		ESENCE GRANİTOİDLERİ	Mze	
		HARAMİ FORMASYONU	Kh	
		KARADUT KARMAŞIĞI	Kka	
	KEMALİYE FORMASYONU	Kk		
	JURA	KOÇALI KARMAŞIĞI	Kk	
	TRİYAS	ENGİZEK FORMASYONU	Je	
DEDEARDIÇGEDİĞİ FORM.		Ptrd		
YILANOVA FORMASYONU		Trmy		

Şekil 2. 4. Kahramanmaraş ilinin mesozoyik yaşlı birimlerine ait genelleştirilmiş kesit [17].

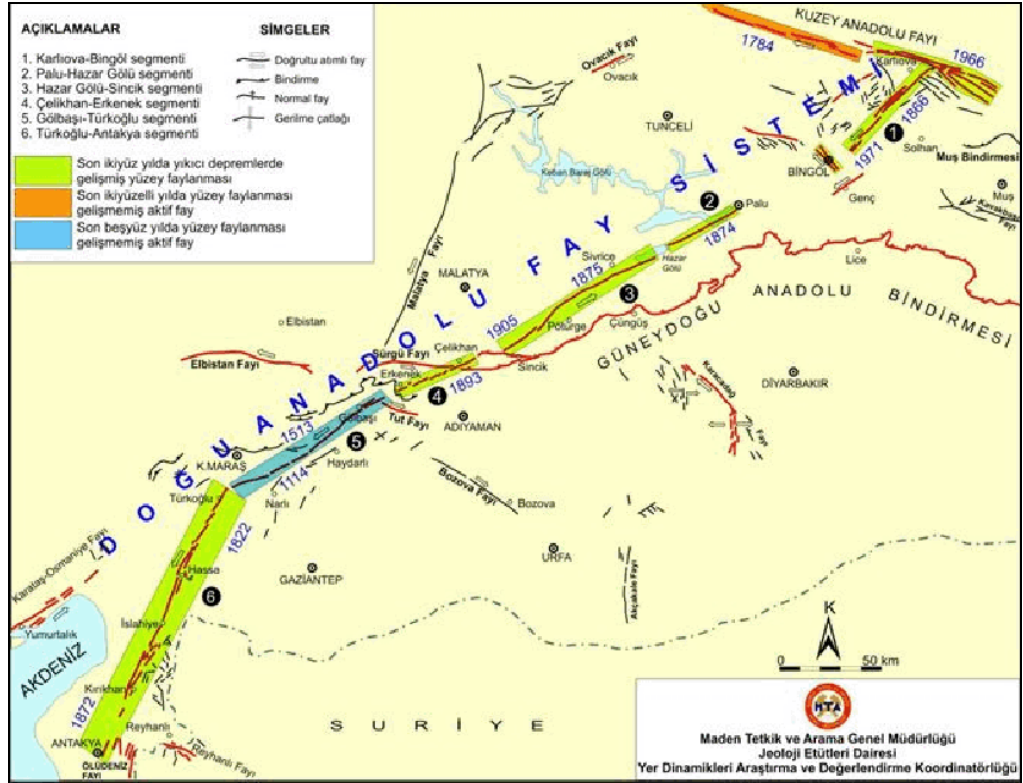
ZAMAN	DEVİR	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ
PALEOZOİK	PERMİYEN KARBONİFER	ÇAYDERESİ FORMASYONU	Pç	
		YONCAYOLU FORMASYONU	Pzy	
	DEVONİYEN	KENGERDERE FORMASYONU	Dk	
		İREHANCİ KİREÇTAŞI ÜYESİ	Dsi	
	SİLÜRİYEN	BERKE FORMASYONU	Sb	
	KAMBRİYEN	TUT FORMASYONU	Σt	
	PREKAMBRIYEN		NERGİLE FORMASYONU	Pfn
		ORTAOYMAK AMFİBOLİT ÜYESİ	Pfino	

Şekil 2. 5. Kahramanmaraş ilinin paleozoyik ve prekambriyen yaşlı birimlere ait genelleştirilmiş kesit [17].

2.2. Çalışma Alanının Tektonik Özellikleri ve Depremselliği

Arabistan / Anadolu, Afrika / Anadolu, Arabistan / Afrika levhaları arasındaki göreceli hareketler sonucunda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF), Kıbrıs Yayı ve Ölü Deniz Fayı (ÖDF) gibi deformasyon bölgeleri gelişmiş, çeşitli araştırmacılar tarafından da tüm bu fayların kesiştiği ve levhaların birleştiği yerin, Kahramanmaraş ve Gölbaşı arasında kalan bölge olduğu ileri sürülmüştür [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. K.Maraş üçlü eklemi, Arabistan levhasının kuzeybatı köşesini ve Afrika ve Avrasya levhalarını kapsamakta olup, bir kıtasal çarpışma zonunda görülebilecek bütün karakteristik özellikleri içerir [35]. Bu nedenle bölge gerek tarihsel, gerekse de aletsel dönemde büyük depremlere sahne olmuştur [26]. Bölgesel anlamda DAF geçtiği alanlardaki yerleşim birimlerinin tamamında önemli bir deprem riski bulunmasına rağmen, diğer yerleşim birimlerine oranla bu riskin Kahramanmaraş'ta daha fazla olduğu

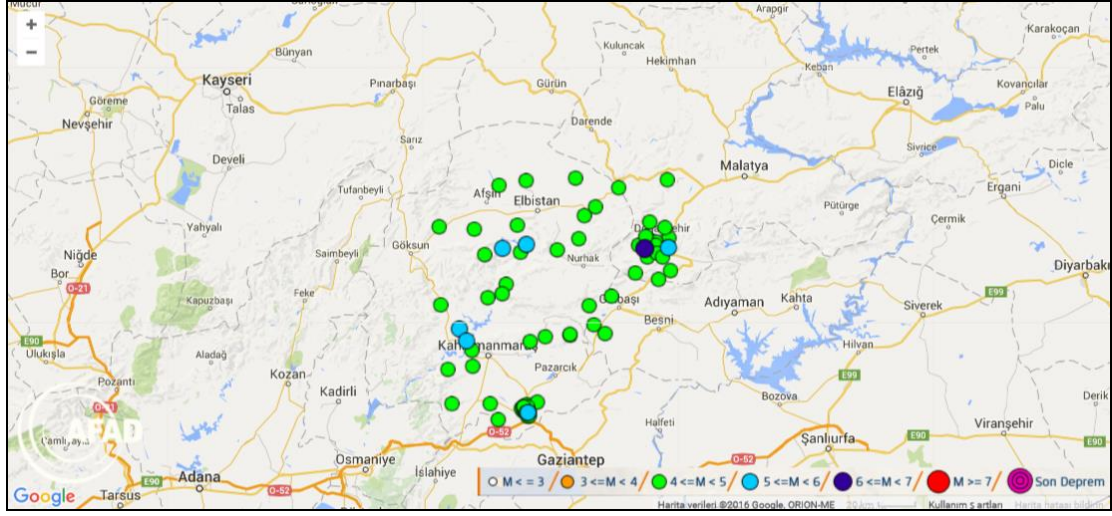
söylenbilir. DAF'ın Türkoğlu - Antakya (ÖDF'nin Karasu Segmenti) Segmenti'nde en son 1822 yılında $M = 7.5$ büyüklüğünde, daha kuzeyde ise DAF üzerinde Çelikhan yöresinde 1893 yılında $M = 7.1$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. 1822 depremi DAF'ın Türkoğlu - Antakya, 1893 depremi ise DAF'ın Çelikhan - Erkenek segmenti ile ilişkilidir (Şekil 2.6). Kahramanmaraş'ın doğusu ve yakın güneyinden geçen 91 km uzunluğundaki Gölbaşı - Türkoğlu Segmenti üzerinde ise, en son büyük deprem 1513 yılında gerçekleşmiştir. Buna göre DAF'ın 1822 ve 1893 depremleri ile kırılan iki bölümü arasında kalan Gölbaşı - Türkoğlu Segmenti üzerinde çok uzun süredir devam eden bir suskunluğun olduğu ve Gölbaşı - Türkoğlu Segmenti'nde oluşacak bir kırılmanın, bölgede 7 veya üzerindeki büyüklüklere ulaşabilecek depremlere neden olacağı söylenbilir [8].



Şekil 2. 6. Kahramanmaraş ve çevresinde meydana gelen büyük depremler ve fay segmentlerindeki yeri [17].

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından 1900'den günümüze kadar geçen süre içerisinde ilin çevresinde 4'den büyük depremlerin lokasyonları Şekil 2.7'de

gösterilmiştir. Söz konusu 74 adet depremden 6 tanesi 5’den büyük depremlerdir (EK - 1).



Şekil 2. 7. Kahramanmaraş ve çevresinde meydana gelen 4’den büyük depremler [27].

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı elinde bulunan tüm tarihsel veriler ve bölgede kurulan sismik gözlem istasyonları sayesinde ilin tüm sismik aktivitesini 7 / 24 izlemekte olup, olası yıkıcı bir depremden sonra meydana gelebilecek hasar ve can kaybının boyutunu önceden tahmin edebilmek, bölgeye hızlı kurtarma ve müdahale çalışmalarında bulunmak adına AFAD - RED adı verilen “deprem ön hasar tahmin programını” kullanarak bölgede hasar ve kayıp tahmini yapmaktadır.

AFAD - RED yıkıcı bir depremden meydana gelebilecek hasar ve can kaybı tahmini analizi yapan, otomatik ve manuel olarak çözüm yapabilme yeteneğinde tasarlanmış bir programdır. Otomatik çözümde “zayıf yer hareketi (ZHY)” istasyonlarından alınan deprem parametreleri ile çalışmaya başlayan ve yaklaşık 30 sn. içinde ilksel çözüm üreten program daha sonra “kuvvetli yer hareketi (KYH)” istasyonlarından gelen verileri ve varsa odak mekanizması çözümlerini de hesaba katarak ikincil bir sonuç oluşturur.

Program veri üretirken magnitüd dönüşüm formülü, magnitüd – fay uzunluğu formülü, azalım bağıntıları, hasar görülebilirlik eğrilerini kullanmaktadır. Programın

kalibrasyon çalışmalarında ülkemizde geçmişte yaşanmış hasar yapıcı depremlere ait veriler kullanılmaktadır.

Sistemin Genel Özellikleri:

- Sistem tahmini yapısal hasar, can kaybı ve geçici barınma hizmeti ihtiyacı olan nüfusu vermektedir.
- Sistem otomatik ve manuel olarak çözüm yapabilme yeteneğinde tasarlanmıştır.
- Sistem otomatik çözümden ZYH istasyonlarından alınan deprem parametreleri ile çalışmaya başlıyor 30 sn. içinde ilksel hesaplamaları yapıyor.
- Sistem ilksel hesaplamadan sonra KYH gelen verileri hesaba katarak çözümlerini geliştiriyor.
- Sistem manuel olarak senaryo deprem yaratma ve müdahale etme özelliğine sahiptir.
- Sistem esnek yapıda olup sürekli geliştirilebilir özelliktedir.

Sistemin Girdileri:

- İdari bölümlenme veri tabanı (ülke, il, ilçe, mahalle sınırları) kullanılan tüm veriler mekânsal verilerdir.
- Nüfus veri tabanı (ülke, il, ilçe, mahalle bazında),
- Konut veri tabanı (ülke, il, ilçe, mahalle bazında olup konuttaki toplam nüfus bilgisi de mevcuttur),
- Yer bilimsel veri tabanı (MTA diri fay haritası, USGS Vs₃₀ hız haritası, AFAD Vs₃₀ hız haritası, KYH istasyon bilgileri).

Temel Formüller:

- Magnitüd dönüşüm formülü,
- Magnitüd fay uzunluğu formülü,
- Azalım bağıntıları,
- Hasar görülebilirlik eğrileri,

Sistemin Çıktıları:

- Sismik şiddet haritaları,
- Tahmini PGA ve PGV haritaları,
- Tahmini hasar sonuçları (hafif, orta, ağır hasar ve yıkık),
- Tahmini geçici barınma ihtiyacı olan kişi sayısı,
- Tahmini kayıp sonuçları (ayakta tedavi, hafif yaralı, ağır yaralı ve can kaybı).

AFAD – RED'e göre bölgede yaşanabilecek en büyük deprem olarak 7.5 büyüklüğündeki bir depremin meydana getireceği olası sonuçlar EK – 2'de sunulmuştur (Şekil 2.8). 7.5 büyüklüğündeki depremden sonra Kahramanmaraş ve civar illerindeki 1 milyondan fazla binadan 38.961'i yıkılacak, 80.610'u ise ağır hasar görecektir. En büyük hasar 28.526 yıkık bina ve 40.800 ağır hasar ile Kahramanmaraş'ta yaşanacaktır. EK - 2'de de belirtildiği gibi etkilenmesi düşünülen 11 ildeki toplam nüfus 5.772.475 olup 7.334 can kaybı ve 13.700 ağır yaralı olacağı tahmin edilmiştir. AFAD - RED uygulaması ve sonuçları tez çalışması kapsamında deprem afetine bağlı olarak gelişecek tehlike ve risk değerlendirmesinde yol gösterici özelliktedir.



T.C. Başbakanlık
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı
Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemi Sonuçları

Yer : Kahramanmaraş Senaryo Depremi
Tarih : 03/08/2016
Saat : 10:00:00
Büyüklik : 7.5 Mw
Koordinat : 37.59 K - 37.33 D
Derinlik : 12.0 km
Maximum Şiddet : XII

Tahmini Sismik Şiddet Haritası



T.C. Başbakanlık
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
Deprem Dairesi Başkanlığı



03/08/2016

Kahramanmaraş Senaryo Depremi (Mw): 7.5

— MTA Diri Faylar (2011)

- I Hissedilmez
- II Zayıf
- III Hafif
- IV Orta
- V Oldukça Güçlü
- VI Güçlü
- VII Çok Güçlü
- VIII Yıkıcı
- IX Şiddetli
- X Yoğun
- XI Aşırı
- XII Tam Yıkım

Kahramanmaraş Senaryo Depremi (Mw): 7.5 Depremi Tahmini Hasar ve Can Kaybı İstatistikleri

Can Kaybı : 7334 Ağır Yaralı : 13700 Hafif Yaralı : 22468 Etkilenen Toplam Nüfus : 5772475 Toplam Hasarlı Bina : 345438

Şekil 2. 8. Kahramanmaraş ilinde meydana gelecek 7.5 büyüklüğündeki bir depreme ait AFAD - RED uygulamasının genel sonuçları.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda; heyelanların verdiği zararlar gerek toplum, gerekse yerel yönetimler tarafından anlaşılmış olup, özellikle kentsel gelişim sonrasında oluşabilecek heyelanların çevre üzerindeki etkisinin, artarak devam edeceği belirtilmektedir [2]. Ülkemiz dahil birçok ülke için önemli bir doğal afet türü olan heyelanların değerlendirilmesi konusu, teknolojik gelişmelerle birlikte yaygınlaşmış olup, bilimsel çalışmaların sayısında son yıllarda büyük bir artış gözlenmektedir.

Literatür taramasında; 1990 ve sonrasında özellikle heyelan envanter çalışmalarında ciddi bir artış ve konu üzerinde farkındalık geliştiği görülmektedir. 2000'li yıllara gelindiğinde ise heyelan duyarlılık, tehlike ve risk konularında yapılan çalışmalarda bir artış gözlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk konularında geçmiş yıllarda yapılmış çalışmalar detaylıca incelenmiş olup, bu çalışmalar içerisinde Nefeslioğlu [28], Hasekioğulları [29] ve AFAD teknik kılavuzunda [30] yer alan çalışmalar değerlendirilmiş, bu çalışmaların 1990 - 2014 yılları arasında kapsadığı tespit edilmiştir.

Nefeslioğlu, çalışmasında 1990 – 2008 yıllarını kapsayan 94 adet heyelan tehlike ve risk çalışmalarının % 80'ine yakının duyarlılık seviyesinde yapılan çalışmalardan oluştuğunu ifade etmektedir [28].

Hasekioğulları'nın heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi sürecinde kullanılan parametrelerin önemini açıkladığı çalışmasında, 2000 – 2010 yılları arasındaki 114 adet yayın incelenerek, duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin analizleri yapılmıştır [29].

Heyelan konusunda yapılan en kapsamlı araştırmalardan biri olan; AFAD tarafından hazırlanmış olan Bütünleşik Afet Tehlike Haritalarının Hazırlanması

konusunda teknik bilgilerin aktarıldığı temel kılavuzda ise 2004 - 2014 yılları arasındaki 117 adet yayının incelenerek heyelan duyarlılık, tehlike ve risk analizlerinde kullanılan parametreler incelenmiştir.

Yukarıda ifade edilen tüm bilgiler doğrultusunda, son 24 yılı kapsayan (1990 - 2014) geniş bir arşiv çalışmasının araştırmacılar tarafından farklı zamanlarda yapıldığı tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında; geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların genel bir değerlendirmesi yapılmış olup, özellikle 2014'e kadar yapılan çalışmaların devamlılığının sağlanması açısından 2015 – 2016 yıllarını kapsayan son 2 yıla dair en güncel analiz yöntemleri ve değerlendirmelerin bulunduğu literatür dikkate alınmıştır. Böylece; 1990'dan 2016'ya kadar 26 yılı kapsayan tüm çalışmalar derlenmiş olup önceki çalışmalar bölümü; heyelan envanter çalışmaları, heyelan duyarlılık çalışmaları, heyelan tehlike ve risk çalışmaları olmak üzere dört grup altında değerlendirilmiştir.

3.1. Heyelan Envanteri Hakkında Literatür Çalışmaları

Heyelanlara ilişkin ayrıntılı bir heyelan envanterinin ve haritalamasının hayata geçirilmesi, heyelanlarla ilgili yapılacak her türlü çalışmanın ilk aşaması olarak dikkate alınması gereken bir konudur [31], [32], [33], [34].

Heyelan envanter haritaları, uygulama açısından ele alındığında karar vericiler, planlamacılar ve yerel yönetimler için son derece önemli bilgiler içermektedir. Bu nedenle, dünyanın bir çok farklı bölgesinde ulusal ölçekten, büyük ölçeklere değişen farklı ölçek türlerinde, farklı yöntemler kullanılarak heyelan envanter haritaları oluşturulmakta, heyelanlara ilişkin özellikler veri tabanlarında saklanmaktadır. Bununla birlikte, heyelan envanter haritalarının ancak % 25'i uygulamalarda doğrudan ve etkin olarak kullanılmakta [35]; sistematik olarak

değerlendirildiğinde ise, heyelanların mekânsal dağılımı, türü ve boyut bilgileri, ancak % 1 oranında toplanmaktadır [34].

Ülkemizde, özellikle son 10 - 15 yıl içinde, heyelan envanter haritalarının kullanılmasının önemi anlaşılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında, heyelan yeri, türü, boyutları, aktivitesi ve etkileri ile oluşma zamanı ve varsa, tetikleyici parametreler gibi özelliklerin belirtilmesi gerekmektedir [32], [33], [34]. Heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında literatürde kabul görmüş birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında sıklıkla kullanılanlar aşağıda özetlenmiştir [31], [32], [36], [37], [38], [39], [33], [40], [41], [34].

- I. Topoğrafik harita ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) analizleri,
- II. Hava fotoğrafı yorumlamaları,
- III. Saha çalışmaları,
- IV. Basılı veya sayısal harita arşivleri,
- V. LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamaları,
- VI. Uydu görüntülerinin kullanılmasıdır.

Heyelan envanteri konusunda son 2 yılda yapılan güncel çalışmalar kronolojik olarak aşağıda açıklanmıştır.

Komac ve Hribernik [42] çalışmalarında; Slovenya'nın ulusal ölçekte heyelan veri tabanının oluşturulması ve ülkenin heyelan afeti potansiyelinin belirlemesi için yapılan istatistikî analizleri ele almışlardır. Heyelan nedeniyle 1994 - 2013 yılları arasında 110 milyon € mali hasarı olan ülkede heyelan duyarlılık, tehlike ve risk analizlerinin yapılabilmesi, bu analizler çerçevesinde zarar azaltma çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi ve arazi kullanım planlarına esas planlamaların oluşturulabilmesi için en önemli işlemin, sağlıklı bir heyelan veri tabanı olduğu ifade edilmiştir. Ülkede tahmini olarak farklı formatlarda ve farklı kaynaklarda 10.000 heyelan verisi toplanmıştır. Bu verilerin bazıları nokta, bazıları da poligon türündedir. Söz konusu veriler CBS ortamında saklanarak, heyelanların bazı

tanımlayıcı özellikleri (adı, konumu, oluşma tarihi, lokasyonu vb.) ile yağış ve tetikleyici diğer parametreler, zarar - maliyet analizleri, jeolojik, morfolojik, hidrojeolojik, hidrolojik, jeoteknik özellikler vb. veriler de oluşturulan veri tabanında saklanmıştır. Tüm veriler ortaklaştırılıp, aynı veri tabanında toplanmıştır. Bu tür bir veri tabanının oluşturulması heyelan bilgi sisteminin temelini oluşturmuş olup, çeşitli analizlere tabi tutulan veriler, erken uyarı sistemleri, farklı istatistiksel analizler ile de birleştirilerek ülke genelinde heyelan yoğunluk haritası ulusal ölçekte oluşturulmuştur. Ayrıca, mevcut heyelanların verileri kullanılarak heyelan boyut analizleri, hacim-alan ilişkisi, alan-sıklık, hacim-hız vb. analizler de yapılmıştır. Heyelanın jeolojik birimlerle ilişkisine bağlı olarak; jeolojik birimlerin heyelan potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmada belirtildiği üzere heyelan veri tabanı oluşturulmasının sadece heyelanların mekânsal dağılımını göstermekle kalmayan, özellikle tehlike ve risk analizleri için hazırlanması gereken en öncelikli işlem olduğu vurgulanmıştır.

Leshchinsky vd. [43], çalışmalarında Kontur Bağlantı Modeli (contour connection model) ile heyelanların tanımlanması, sınıflanması, depolama alanlarının tespiti ve hatta envanter haritalarının üretilmesi konusunda kullanımını açıklamışlardır. Araştırmaya göre kontur bağlantı modelinin en önemli veri girdisi LİDAR görüntüleri ve sayısal arazi modeli olup, heyelanların tanımlanmasında ileri bir bilgisayar teknolojisinden yararlanarak oldukça kısa sürede sonuç alınabildiği ifade edilmiştir.

Ma vd. [44] tarafından, Çin'in Zhejiang bölgesinde özellikle yağışların tetiklediği heyelanların incelendiği çalışmada, yoğunluk - süreç grafikleri çizilerek yağışın heyelan oluşumuna etkisi incelenmiştir. 1995 - 2011 yılları arasında Çin'de 16.000 insan heyelanlar nedeniyle hayatını kaybetmiştir. İnceleme alanı için, 1990 - 2013 yılları arasına ait detaylı anlık yağış istasyonlarından ve 2.457 adet yağış-ölçerden alınan yağış verilerini analizinin yapılarak, 1.569 sığ heyelan incelenmiştir. İnceleme alanı, hem muson yağmurlarının hem de ani tayfunların etkisinde olup, yıllık yağış ortalaması oldukça yüksektir. Bu yağışların neden olduğu heyelanların % 72'si sığ heyelanlar, % 9'u moloz akması türü heyelanlar, % 19'u ise kaya düşmesi şeklinde olup, bölgede jeolojik olarak toprak türü malzemenin olduğu ve

eğimin 30° - 40° aralığında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışma alanında özellikle; eğimin ve malzemenin türünün yağış ile birleşimiyle heyelanların oluşmasında önemli bir etken olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, malzemenin zemin parametreleri de incelenmiş birim hacim ağırlık, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve gözeneklilik değerleri de belirlenmiştir. Ancak, çalışmada eğim ve toprak türü parametrelerine göre genel değerlendirme yapılmış olmasına rağmen, diğer zemin parametreleri ile ilişki kurulmamıştır.

Martha vd. [45], 18 Eylül 2011 yılında Hindistan'da 6.9 büyüklüğündeki Sikkim depremi sonrasında meydana gelen heyelanların yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile tespiti konusunda çalışmışlardır. Söz konusu yüksek çözünürlüklü görüntüler sırasıyla; Cartosat - 1, Geoeye - 1, Quickbird - 2, Wordwide - 2, Wordwide - 1, Resourcesat - 2, LANDSAT - 5TM, LANDSAT - 7ETM olup, görüntülerin depremden önce ve sonraki halleri kıyaslanarak daha kısa sürede depremin tetiklediği heyelanların lokasyonları, tarım alanı, yol, bina stoğu ve baraj gibi büyük yapılara verdiği zararların tespit edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, söz konusu heyelanların depreme neden olan fay düzlemi ile olan yakınlığı da incelenmiştir. Toplam 123 farklı çözünürlüklü uydu görüntüsünden 1.196 adet heyelanı 9 gün gibi kısa sürede tespit etmişlerdir. Geçmişte İran'daki Bam, Hindistan ve Pakistan'daki Kashmir ve Çin deki Wenchuan depremlerinin de benzer şekilde çok sayıda heyelana neden olduğunu ve makalede açıklandığı gibi, sadece uydu görüntüleri kullanılarak kısa sürede heyelan envanter çalışmasının yapılabileceği de vurgulanmaktadır.

Pennington vd. [46] tarafından, Büyük Britanya'da heyelan veri tabanının sosyal medya aracılığıyla yaygınlaştırılmasının konu alındığı çalışmada, 17.000 heyelan verisinin CBS ortamında sosyal medyadan yayınlandığı ve böylece gelecek için arazi kullanım planlamasında halk için ciddi bir farkındalık yaratıldığını belirtmişlerdir. Bu verilerden, 8.000 heyelan verisi nokta, 9.000 ise poligon verisi olup, farklı kurumların verilerinin toplamını 2 sınıfa ayırarak gruplandırmışlardır. Bu sınıflamaya göre aktif/güncel heyelanlar ile pasif/aktif olmayan heyelanlar olarak sınıflandırma yapılmıştır. Tüm veriler web sayfası üzerinden serbest erişimli olup, ayrıca yeni gelişen heyelanlar ile ilgili standart bir form düzenlenmiş ve yeni vakalarda bu formun da doldurulmasıyla envanterin güncelliği sağlanmıştır. Ayrıca,

elde edilen envanter verileri dikkate alınarak hazırlanan ulusal ölçekli heyelan tehlike haritası da sayısal ortamda kullanıcılara açılmıştır. Günlük yağış verileri de dikkate alınarak hazırlanan senaryolar doğrultusunda, heyelan potansiyelinin tahmini de kullanıcılarla paylaşılmaktadır. Tüm bu paylaşımlar ve serbest erişimin kişilerin heyelan konusunda farkındalığını artırdığı vurgulanmaktadır.

Samodra vd. [47] tarafından, Endonezya'da Yogyakarta'nın Purwosari bölgesinde meydana gelen heyelanları baz alarak genel heyelan envanter çalışmasının temel özelliklerinin ne olması gerektiğini tartışılmıştır. Araştırmacılara göre; heyelan envanter haritaları ile ilgili uluslararası kabul gören bir standart olmamakla birlikte, ülkelerin ellerindeki veriler ve bu verilerin kalitesine bağlı olarak çalışmaların yapıldığı tespit edilmiştir. Örneğin; genel anlamda heyelan envanter çalışmalarında uydu görüntüleri oldukça faydalı bir kaynak olmakla birlikte, Endonezya için bu durum ülke genelinde bir heyelan arşivlemesinde ve envanter çalışması yapımında kullanılamamıştır. Çünkü, uydu görüntüsü temini yüksek maliyeti ve her yıl, ya da düzenli aralıklarla temin edilememesi nedeniyle uygulanabilir değildir. Endonezya'da dünyada da yaygın olarak kullanılan Desinventer veri tabanı afet verilerinin toplandığı platform olarak kullanılmakta olup, söz konusu veri tabanında afetin oluş zamanı, lokasyonu ve neden olduğu mali kayıplar tutulmaktadır. Bu kayıtlara göre 1978 - 2011 tarihleri arasında 33 yılda 472 heyelan kaydı ve bu heyelanlara bağlı olarak yaklaşık 1,8 milyon IDR (Endonezya para birimi) mali kaybın yaşandığı tespit edilmiştir. Bu değerlere göre ortalama her yıl yaklaşık 14 heyelanın yaşandığı ve yaklaşık 55.000 IDR mali kayıp meydana geldiğini anlaşılmaktadır. Ülkede Desinventer veri tabanı haricinde; heyelan envanter çalışmaları için CBS tabanlı analizler ile yerinde gözlem içeren çalışmalar yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında 472 geçmiş heyelan kaydından 182'si yerinde görülebilmiş, 267 vakanın heyelan kayıt raporunun olmadığı, 23 heyelanın da gerçekte heyelan olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda envanter çalışmalarında 182 heyelan dikkate alınmıştır. Söz konusu 182 heyelan SYM üzerine işlenmiş ve Spot - 5 uydu görüntüleri yardımıyla analizi yapılmıştır. Heyelanların alansal ve hacimsel değerleri dikkate alınarak heyelanın büyüklük değerleri hesaplanmış, sıklık - büyüklük analizleri yapılmıştır. Araştırmacılara göre; heyelan envanter haritasında heyelan lokasyonu başta olmak üzere, heyelanın türü, jeolojik parametreleri, risk altındaki elemanlara olan etkisi gibi bilgileri

barındırması gerektiğini, bu bilgilerin tehlike - risk analizi ve arazi kullanım planlamasında gerekli olduğunu ifade etmişlerdir.

Xu [48]; Depremlerin tetiklediği heyelanların uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak heyelan envanter haritalarının üretilmesindeki temel prensipleri tartışmıştır. Araştırmacıya göre; depremin tetiklediği heyelanları analiz etmenin temelinde heyelan envanter haritasını oluşturmak yatmaktadır. Bu temel aşama ile ilgili olarak en önemli sorun, literatürde herhangi bir standart metodolojinin olmamasıdır. Heyelan envanter haritası oluşturmak için belli başlı 5 yöntem yer almaktadır. Bunlardan birincisi arazi gözlemlerine dayalı envanter haritası oluşturmak olup, bu yöntem araştırmacılar tarafından özellikle gelişmiş CBS ve uzaktan algılama teknolojilerinden önce en çok kullanılan yöntem olarak bilinmektedir. Ancak, arazi gözlemlerine dayalı heyelan envanter haritası oluşturmanın da kendi içinde bazı çıkmazları bulunmaktadır. Envanter haritası oluşturmakta kullanılan ikinci yöntem ise hava fotoğraflarının görsel yorumlanması olup, özellikle büyük alanlarda heyelan envanterinin kısa bir sürede oluşturulmasında önemli faydalar sağlamaktadır. Bununla birlikte, hava fotoğrafı yorumlamaları önemli oranda uzmanlık gerektirmektedir. Üçüncü yöntem basılı heyelan envanter haritalarının sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılmasıdır. CBS tabanlı sayısallaştırma işlemi ile dağılım, tehlike, temel tetikleyici parametrelerin etkileri gibi sorgulama işlemleri kolaylıkla yapılabildiği için, bu yöntem oldukça avantajlıdır. Dördüncü yöntem olarak; yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerinin CBS tabanlı yorumlanması olup, temelinde SYM'den yararlanılarak oluşturulması ile tüm analizlerde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Son yöntem ise uzaktan algılama görüntüleri ile otomatik çıkarımlar ve analizlerde bulunmak olup, bu aşamada daha çok matematiksel ve istatistiksel analizler ön plana çıkmaktadır. Xu [48] çalışmasında her yöntemin bir diğerine göre üstünlükleri olduğu gibi çıkmazlarının da olduğunu belirtmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda; inceleme alanlarındaki tüm heyelanların haritalanması büyük bir önem arz etmektedir. Bu durumda en düşük heyelan boyutu 1 – 5 m arasında olmalıdır. Ancak, Xu [48]'ya göre bu koşulun sağlanabilmesi için ya arazide oldukça detaylı çalışılması ya da küçük heyelanların göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Ayrıca; eğer uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları ile çalışma gerçekleştirilecek ise çözünürlük değerlerinin oldukça küçük değerlerde olması

gerekmektedir. Bu görüntüler dikkate alınarak oluşturulacak envanter haritasında, tüm heyelanların sınırlarının ayrı ayrı çizilmesi ve analizlerde dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bazı envanter haritası oluşturma çalışmalarında; büyük heyelanların analizlerde birden fazla küçük heyelanın aynı alanda bir büyük kütle hareketi olarak düşünülüp, tek bir heyelan kütleleri olarak çizilip, tek bir heyelan olarak değerlendirildiği görülmektedir. Ayrıca, detaylı yapılamayan çalışmalarda, küçük heyelan sınırlarının da net olmadığı, bu nedenle hacim, alan vb. değerlendirmelerin de net olmayarak, analiz aşamasında sorun yaşandığı belirtilmiştir. Bazı araştırmacılar envanter haritalarında heyelanları nokta, bazıları alan, bazıları heyelan merkezine nokta, bazıları ise en üstüne nokta olarak değerlendirip analizler yapmaktadır. Bu durumda analizlerde farklı sonuçlar üretilmektedir. Xu [48] çalışmasında envanter haritası üretme aşamasında uygulanan yöntem ve analizler kadar üretilen haritanın doğruluğu ve bu doğruluğunun kontrol edilebilir olması gerektiğini de belirtmiştir. Özellikle yağış, deprem gibi tetikleyici parametrelerin neden olduğu heyelanların oluşmasından önce ve sonrasında uydu görüntüsü, hava fotoğrafı gibi sayısal görüntüler mevcut ise kıyaslamasının yapılarak, envanterin doğruluğunun onaylanması önem arz etmektedir. Literatür çalışmaları göstermektedir ki; özellikle büyük depremler sonrasında çok sayıda heyelanın olduğu alanlarda bir çok araştırmacı benzer çalışmalar yapmış olmasına rağmen, araştırmacıların heyelan envanter haritası oluşturma yöntemine bağlı olarak sonuçlar farklılık göstermektedir. Sonuç olarak Xu [48] çalışmasında heyelan envanter haritası oluşturulması gerektiğini, bunun için de, ortak prensiplerin belirlenmesinin tüm araştırmacılar için büyük faydası olacağını belirtmiştir.

Xu vd. [49], 20 Nisan 2013'de 6,6 büyüklüğünde, Çin'in Lushan eyaletinde meydana gelen depremin tetiklediği heyelanların uydu görüntüleri ile tespiti konusunda çalışmışlardır. Bölgede; depremden sonra meydana gelen 14.580 adet heyelana ait bilgiler uydu görüntüleri ve Google Earth yazılımı ile tespit edilmiştir. Heyelanların topoğrafik, jeolojik ve tektonik olarak da oluşum mekanizmasının çalışıldığı ve meydana geliş nedenlerinin araştırıldığı çalışmada, depremden önceki Spot - 5, Spot - 4, Pleiades, Landsat - 5 ve Google Earth görüntüleri kullanılmıştır. Depremden sonra ise 10 m çözünürlükte Aster, Lidar ve SYM görüntüleri ile analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda depremden sonra 27.259

heyelan verisi elde edilmiş, ancak bunlardan 4.731 tanesinin bu depreme bağlı oluşmadığı, 22.528 depremin bu depreme bağlı oluştuğu, bu heyelanlardan da çoğunun da sığ heyelanlar olduğu tespit edilmiştir. Analiz aşamasında topoğrafik faktör olarak; yükseklik, eğim, bakı ve drenaja uzaklık kullanılmıştır. Aynı analizlerde jeolojik faktör olarak ise; litoloji ve faya uzaklık verileri kullanılmıştır. Son olarak sismik faktör olarak da PGA değeri, sismik yoğunluk, odak uzaklığı, olası sismojenik faylara uzaklık değerleri ile analizler yapılmıştır.

Zieher vd. [50] çalışmalarında Avusturya'da iki büyük vadide meydana gelen sığ heyelanların envanter çalışmaları sonucunda heyelan duyarlılık haritasının nasıl oluşturulacağı açıklanmıştır. Söz konusu vadilere ait farklı tarihlerde uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları ile çalışmalar gerçekleştirilmiş olup, aynı alan için 1950 - 2012 yılları arasında farklı tarihlerdeki ortofoto görüntülerinin karşılaştırılması ile envanter çalışması yapılmıştır. Vadilerin en önemli özelliklerinden biri yoğun yağış almaları ve özellikle 1999 ve 2005 tarihlerinde aşırı yağışlara bağlı olarak birçok heyelanın meydana gelmesidir. Araştırmacılar ortofoto görüntüleri ile yağış verilerini analiz ederek 1999 ve 2005 yıllarındaki aşırı yağışlardan sonra meydana gelen sığ heyelanlara odaklanmışlardır. Çalışmada heyelanların analizi esnasında heyelanın taç noktasının orta noktasını, birikme zonunun orta noktasını kullanmışlardır. Aslında çalışmada duyarlılık analizi değil, daha çok geniş bir aralıkta ortofoto kullanılarak envanter çalışması yapılmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde; bir heyelan envanter haritasının kalitesi, güvenilirliği ve bütünlüğü, tamamıyla heyelan envanter haritasındaki bilgilerin (heyelan yeri, konumu, büyüklüğü vb.) doğruluğu ve kesinliği ile orantılıdır. Bununla birlikte, bir heyelan envanter haritasının sözü edilen bu özelliklerinin ortaya konulması, son derece güç bir süreç olup, herhangi bir standardı da bulunmamaktadır [33]. Envanterlerin doğruluğu haritaların bütünsel olarak içerdiği bilgilerle coğrafi ve tematik olarak kapsadığı içerikle ve bunların güvenilirliği ile ifade edilebilmektedir.

3.2. Heyelan Duyarlılığı Hakkında Literatür Çalışmaları

Heyelan duyarlılık çalışmasının; heyelanların gelecekte nerede, hangi türde ve hangi koşullar altında oluşacağı sorularına yanıt verir nitelikte olması gerekmektedir [35]. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yapılan tüm analizlerin dayandığı iki temel varsayım mevcuttur. Bunlar, “geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır (geçmişte ve bugün heyelana maruz kalmış alanlar, gelecekte de heyelana maruz kalabilirler)”, diğeri ise “geçmişte ve bugün, heyelanların oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametreler (jeolojik, topoğrafik, çevresel), gelecekte de benzer koşullarda heyelan oluşumuna neden olabilirler”dir [51], [31], [32], [35], [52], [40].

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri birbirinden farklı birçok yöntemle yapılabilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, kullanılan yöntemler, niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere iki grupta incelenmektedir [51], [53], [54], [55]. Niteliksel yöntemler, araştırmacıların doğrudan saha gözlemlerine ve tecrübelerine dayanan yöntemleri içermektedirken, niceliksel yöntemler, çoğunlukla CBS tabanlı veri grupları kullanılarak bilgisayar destekli ve veriye dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, üzerinde fikir birliği sağlanarak kabul edilen bir heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemi de bulunmamaktadır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde güncelliği sağlayabilmek adına yaklaşık son 11 yılı kapsayan (2005 - 2016) literatür incelenmiş ve geçmişten günümüze değin araştırmacıların kullandıkları yöntem ve parametrelere ilişkin genel değerlendirme ve güncel eğilimlere kronolojik olarak, izleyen paragraflarda değinilmiştir.

Ayalew ve Yamagishi [52] tarafından, Kakuda - Yahiko Dağları'nda heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla yapılan çalışmada, LR (Logistic Regression) yöntemi kullanılarak çok değişkenli istatistiksel analizlerin gerektirdiği kesin varsayımları yumuşatmak ve iki değişkenli istatistiksel analizlerle birleştirilerek belirlenen modellerin daha basit bir şekilde yorumlanmasını sağlamak

hedeflemişlerdir. Araştırmacıların 10 x 10 m çözünürlükte 87 adet heyelanı içeren envanter haritası kullanılarak bağımlı değişkenler oluşturulmuş ve heyelanlı alanlara “1” heyelan olmayan alanlara “0” değeri atanmıştır. Çalışmada; litoloji, anakaya / yamaç ilişkisi, eğim, bakı, topoğrafik yükseklik, çizgisellikler ve yol ağı parametrelerini dikkate alınarak ve her bir parametrenin heyelan oluşumu üzerindeki etkisi, LR yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışma alanını heyelan duyarlılık açısından aşırı derecede düşük, çok düşük, düşük, orta ve yüksek olarak 5 sınıfa ayırmışlardır.

Çan vd. [56] çalışmalarında, heyelana eğilimli jeolojik birimlerin mevcut olduğu Agustu, Egerçi ve Kelemen havzalarının heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Bu haritaları üretmek için LR yöntemini ve toprak akmlarını 1 / 25.000 ölçekli topoğrafik haritada gösterebilmek için UCU kavramını kullanmışlardır. LR yönteminin analiz sonuçlarının bazı topoğrafik parametreler (yükseklik, bakı, yüzey oranı, eğim aralığı vb.) ve arazi kullanım parametreleri (bitki örtüsü vb.) ile oldukça anlamlı sonuçlar verdiğini vurgulayarak, Agustu havzasının % 15'i, Egerçi havzasının % 8'i ve Kelemen havzasının % 7'sinin çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çan vd. [56] yaptıkları heyelan duyarlılık değerlendirmesinde, mevcut heyelanların büyük bölümünün yüksek olasılık sınıfları içerisinde yakalanması gerektiğini, ancak bu yüksek olasılık sınıflarının saha içerisinde muhtemel en küçük alansal yayılıma sahip olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Ercanoğlu [57] çalışmalarında, Kumluca - Ulus (Bartın) bölgesinde, bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak, alanının heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Heyelan özelliklerini her iki yöntem için ayrı ayrı bilgisayar destekli olarak belirlemişler ve iki farklı veri kümesi oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, eğim, bakı, yükseklik, yamaç şekli / yamaç türü, topoğrafik nemlilik indeksi ve bitki örtüsü yoğunluğu girdi parametrelerini dikkate alarak çakıştırma, faktör analizi, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve NF (neuro - fuzzy) yöntemlerini kullanmışlardır. Üretilen haritaların performanslarını, alansal yoğunluk, benzerlik ilişki değeri (rij) ve hata matris oranı ile değerlendiren araştırmacılar, NF

yönteminin en yüksek performansa sahip olduğunu belirterek, bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri ile oluşturulan haritaların da, klasik yöntemlerle oluşturulan haritalara göre, daha yüksek performans sergilediğini vurgulamışlardır.

Ermini vd. [58] tarafından, yapay sinir ağları yönteminin iki farklı türünü (MLP, Multi-Layered Perceptron ve PNN, Probabilistic Neural Network) kullanılarak heyelan duyarlılık tahmini yapılmıştır. İtalya'daki Riomaggiore havzasını çalışma alanı olarak seçen araştırmacılar, analizlerinde litoloji, şev açısını, eğrisellik, arazi kullanımını ve yamaç yukarı alan parametrelerini hazırlayıcı faktör olarak dikkate almışlardır. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında ANN yönteminin performans doğrulaması, tahmin edilen duraysız alanların heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmasıyla yapılabilmektedir. Bu yaklaşımda yola çıkarak araştırmacılar, MLP'nin nispeten daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişler ve bu yapay sinir ağı yönteminin Riomaggiore havzasını etkileyen heyelanların şeklini tanımlayan ve yeniden üreten bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Gomez ve Kavzoğlu [59], Venezuela Antları'ndaki Jabonosa Nehri havzasında yaptıkları çalışmada ANN yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Heyelan oluşumunda etkili olan parametrelerden; litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi, çizgisellik, toprak türü ve bitki örtüsünü dikkate almışlardır. ANN ile oluşturdukları heyelan duyarlılık haritasının % 90 güvenilirlikte olduğunu belirten araştırmacılar, çalışmanın doğruluk değerlendirmesinde yapay sinir ağlarının son derece iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlar ve çalışma alanının tümünü daha iyi yansıttığını belirtmişlerdir.

Yeşilnacar ve Topal [60], Hendek yöresi civarında bulunan doğal gaz boru hattı üzerinde (60 - 83 km) yaklaşık 290 km²'lik bir alanda yapmış oldukları heyelan duyarlılık haritalarını, istatistiksel modellerden LR ve ANN yöntemleri ile analiz etmişler ve her iki yöntemi de kullanarak, heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Duyarlılık haritasını oluştururken 19 tematik harita kullanmış, oluşan duyarlılık haritasını çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek şeklinde olmak üzere dört duyarlılık sınıfına ayırmışlardır. Yöntemlerin güvenilirliğini

karşılaştırmak amacıyla alandaki mevcut heyelanları, oluşturulan heyelanlarla karşılaştıran araştırmacılar, çalışma alanındaki mevcut heyelanların ANN yöntemi ile yaptıkları duyarlılık haritasında daha büyük bir yüzde ile yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara denk geldiğini görmüşlerdir. LR yöntemi kullanılarak yapılan duyarlılık haritasında, mevcut heyelanların yaklaşık % 48'inin çok yüksek, % 42'sinin ise yüksek heyelan duyarlılığında yer aldığını; yapay sinir ağı yöntemiyle oluşturulan haritada ise mevcut heyelanların % 77'sinin çok yüksek ve % 19'unun yüksek duyarlılık sınıfında yer aldığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, ANN yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının LR yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Clerici vd. [61] yaptıkları çalışmada geliştirmiş oldukları CBS tabanlı Koşullu Analiz Yöntemi'ni, İtalya'da Baganza vadisindeki heyelanların duyarlılık analizi için uygulamışlardır. Yöntemde kullandıkları algoritmanın karmaşıklığından dolayı GRASS GIS adını verdikleri bir kod geliştirmişler ve bu kodu kullanarak 5 farklı duyarlılık sınıflarını içeren heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Bu yöntemi ile 1.137 heyelan için litoloji, eğim, bakı, yükseklik ve yamaç / tabakalanma ilişkileri olmak üzere toplamda 5 parametre kullanılarak yaklaşık 167 km²'lik alanın analizi yapılmıştır. Gelecekteki kaymaların tahmini için sonuç haritasının güvenilirliği varlık (1) bilgisine ilişkin örneklemenin nereden yapılacağına bağlı olduğunu ve heyelanın taç kısmından veya ona yakın yerlerden yapılan örneklemlerin heyelan öncesi koşulları daha iyi yansıtacağını vurgulamışlardır.

Görüm vd. [62] tarafından, Melen Boğazı ve çevresinde heyelan duyarlılığının belirlenmesinde yeniden oluşturulmuş morfometrik ve jeomorfolojik birimleri etkin parametre olarak dikkate almışlar ve iki farklı veri seti oluşturmuşlardır. Araştırmacılar yenilme öncesi topoğrafyanın tahmini için yapılan yeniden oluşturma süreci boyunca Ağırlıklandırılmış Ters Mesafe Ara Değerleme Tekniği (IDW), Kriging, Komşuluk tekniği ve üçgenlere ayırma gibi farklı teknikleri kullanmışlardır. IDW ve Kriging ara değerlendirme tekniklerinin benzer sonuçlar verdiği, fakat yamaç ve kontur yönelimleri göz önüne alındığında, IDW'nin daha iyi sonuçlar sunduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar heyelan duyarlılık

haritalamasında LR yöntemini kullanmışlar ve sonuç duyarlılık haritalarını her iki veri seti için oluşturmuşlardır. Sonuç haritalarının doğruluğuna bakıldığında, yeniden oluşturulan morfometrik parametrelerin kullanıldığı veri kümesi ile yapılan analizlerin daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Nefeslioğlu vd. [63], farklı örneklem stratejileri (kök hücre ve tüm heyelan kütlesi) kullanılarak oluşturdukları duyarlılık modelleri arasındaki farklılıkları değerlendirmek için, İspir ve çevresindeki bölgeyi çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Bu amaçla, LR ve ANN yöntemlerini kullanmışlar, üretilen modellerin performansını değerlendirmek için ROC eğrilerini çizerek, AUC değerlerini belirlemişlerdir. Heyelan kütlesinde yapılan örneklemeler kullanılarak oluşturulan ANN yönteminin AUC değerlerinin 0.949 ile 0.915 arasında, LR yöntemi için ise AUC değerlerinin ise 0.886 ile 0.884 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Aynı şekilde kök hücreden alınan örneklemelerle ANN modeline ait AUC değerlerinin 0.944 ile 0.938 arasında, LR modeli AUC değerlerinin ise 0.869 ile 0.862 arasında değişmekte olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçta; ANN yönteminin tahmin kapasitesinin LR yöntemine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Kawabata ve Bandidas [64] tarafından, ANN yöntemi ve ASTER uydu görüntülerini kullanarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası için, doğru ve yeterli veri üretiminin geliştirilmesini amaçlayan çalışmalarında, önerdikleri yöntemin 2 ana evresi olduğunu, ilk evrenin veri entegrasyonu ve analizlerini, ikinci evrenin ise ANN eğitme (training) ve haritalama olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, veri entegrasyonu ve analizi evresi için; eğim, bakı, jeoloji, sınırlara olan uzaklık gibi jeomorfolojik ve jeolojik parametrelerin heyelan oluşumu ile olan ilişkisi ile ilgili; ikinci evrenin ise ilk evrede belirtilen parametrelerin ANN ile analiz sonucu belirlenen heyelan duyarlılık indeksi ile olan ilişkisi ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre ANN modeliyle ürettikleri heyelan duyarlılık haritasının çalışma alanındaki heyelan olma olasılığını % 90'dan daha yüksek doğrulukta tahmin ettiğini vurgulamışlardır.

Saito vd. [65] çalışmalarında, Japonya'nın Akaishi Dağları'nda geniş bir alan için heyelan duyarlılık haritalaması için istatistiksel karar ağacı (Decision Tree – DT) modelini kullanmışlardır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılığı ve mevcut heyelanları birbirleriyle karşılaştırarak uyguladıkları DT modelinin doğruluğunu belirlemek ve heyelan oluşumu, topoğrafya ve jeolojinin birbiriyle olan ilişkisini ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. DT modelini kullanarak ürettikleri duyarlılık haritasının gelecekteki heyelanları tahmin etmede yeterli doğruluğa sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Bai vd. [66] çalışmalarında, Çin'in Zhongxian - Shizhu segmentinde, heyelanlı alanda 25 x 25 m çözünürlükteki uzaktan algılama araçlarını, tematik, jeolojik ve topoğrafik haritaları veri kaynağı olarak kullanarak, LR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Oluşturdukları haritaya göre, çalışma alanının % 2.8'inin yüksek duyarlı ve sırasıyla % 18.2, % 36.2, % 26.7 ve % 16.1 çok düşük, düşük, orta ve çok yüksek duyarlı alanlar olmak üzere 5 sınıfa ayrıldığını belirtmişlerdir.

Dewitte vd. [67], Belçika'nın batısındaki toplam 13 heyelanın haritalandığı çalışma alanına ait 2 m çözünürlükte heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada olabilirlik oranı yaklaşımını kullanmışlardır. Heyelan duyarlılık modellemesinde heyelanın tepe noktasının yeniden aktive olmuş zonları bağımlı değişken, topoğrafya, arazi kullanım ve litolojiyi de bağımsız değişken olarak seçen araştırmacılar, modelde olabilirlik oranı yaklaşımını her bağımsız değişken için kullanmışlardır. Araştırmacılar iki ampirik dağılım fonksiyonu arasında sırasıyla yeniden aktif olabilen, ya da olmayan alanların karşılaştırılmasını temel alan bu yaklaşımı, bulanık yaklaşımın Gamma operatörü ile birleştirerek çalışmalarında kullanmışlardır. Araştırmacılar, tarafından 5 farklı veri kombinasyonu test edilmiş, çapraz doğrulama ile tahmini oran eğrileri (prediction rate curves) analiz edilerek, birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Pradhan ve Lee [68], Malezya'daki Klang vadisi'nde yaptıkları heyelan duyarlılık çalışmasında ANN yöntemini kullanarak 398 adet heyelan verisinin % 80'ini eğitim,

% 20'sini ise sına ma verisi olarak kullanıp, analizler yapmışlardır. Araştırmacılar oluşturdukları duyarlılık haritaları ile heyelanlı alanlardaki mevcut heyelan verilerinin performans (doğrulama) sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. ANN yöntemini kullanarak türetilen heyelana duyarlı alanların dağılımlarının, FR (Frekans Ratio) ve LR yöntemleri kullanıldığında da benzer eğilimler gösterdiğini vurgulayan araştırmacılar, ANN yönteminin bu yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini de belirtmişlerdir.

Yeon vd. [69] tarafından, yapılan çalışmada, veri madenciliği yöntemlerinden biri olan DT yönteminin Quinlan algoritmasını kullanılarak Güney Kore heyelanlarının duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar toplam 600 adet heyelana ait eğrisellik, eğim, sırtlara olan uzaklık, bakı, toprak dokusu, drenaj gibi heyelanla ilişkili faktörleri topoğrafik haritalar yardımıyla ortaya çıkartmışlar ve heyelan duyarlılık haritalamasını yapmışlardır. Yöntemin performansını değerlendirmek için çapraz doğrulama tekniğini uygulamışlar ve çalışma alanındaki heyelanları tahminde % 86.08 doğruluk yüzdesi belirlemişlerdir. Bu çalışma DT yönteminin mekânsal tahmin problemleri için etkili bir şekilde kullanılabileceğini gösterdiğini vurgulayan araştırmacılar, bu yöntemin heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılacağını belirtmişlerdir.

Yılmaz [70], Şebinkarahisar (Giresun)'daki heyelan duyarlılık çalışmasında Conditional Probability (CP) ve ANN yöntemlerini kullanarak her iki yöntem için de örneklem stratejilerinin heyelan duyarlılık haritalamasındaki etkilerini karşılaştırmıştır. Çalışmada, Süzen ve Doyuran'ın [71] önerdiği kök hücreleri yaklaşımını kullanarak, bir de heyelanın kopma zonundan noktasal olarak yapılan örnekleme olmak üzere 3 farklı örneklem stratejisinin kullanıldığı 3 farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Modellerin performansının değerlendirmesi için AUC değerlerini belirlenmiş ve bu değerlere göre taç kısmından örnekleme yapılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritalamasında uygulanan iki modelden, ANN modelinin CP modeline göre daha yüksek performans gösterdiği vurgulanmıştır.

Yılmaz [72], Sivas'ın Koyulhisar ilçesinde heyelan duyarlılık haritalaması ile ilgili yaptığı çalışmada, haritalama yöntemlerinden CP, LR, ANN ve Support Vector Machine (SVM) yöntemlerini kullanmıştır. Araştırmacı analizlerinde; jeoloji, faylar, drenaj sistemi, yükseklik, eğim, bakı, TWI, SPI, NDVI, yerleşimlere ve yollara olan uzaklık gibi heyelanla ilişkili parametrelerini kullanmıştır. Çalışmasının son aşamasında ise, çalışma alanı için ANN, CP, LR ve SVM yöntemlerini kullanarak ürettiği heyelan duyarlılık haritalarını doğruluk sıralamalarına göre birbirleriyle karşılaştırmıştır. Yöntemlerin performanslarını analiz etmek için ROC eğrilerini çizerek, eğri altında kalan alan değerler her yöntem için belirlenmiş ve ANN ile oluşturulan haritanın diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Araştırmacı, CP yönteminin duyarlılık haritalama çalışmalarında basit bir yöntem olduğunu ve CBS çalışma araçları ile son derece uyumlu olduğunu vurgulamıştır.

Marjanović vd. [73], yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık değerlendirmesinde karşılaşılan mekânsal modelleme sorunlarını çözüm olarak otomatik öğrenme yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışma alanı olarak Sırbistan'daki Fruška Gora bölgesini seçen araştırmacılar, literatürde mevcut 3 farklı otomatik öğrenme yöntemlerinden olan SVM, ANN ve LR yöntemlerini kullanarak 3 farklı heyelan duyarlılık haritası üretmişler ve bunları birbiriyle karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarında SVM yönteminin diğer önerilen yöntemlere göre performansının daha iyi olduğunu belirtmişler ve bu yöntemin haritasının AHP ile oluşturulan modellerle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, hesapladıkları farklı doğrulama indekslerinden yola çıkarak, SVM'nin AHP yöntemine göre daha geride bir performans sergilediğini vurgulamışlardır.

Oh ve Pradhan [74] yaptıkları çalışmada Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS) yöntemini kullanarak CBS ortamında Malezya'daki Cameron Highlands yerleşim alanının heyelana duyarlılığını analiz etmişler ve duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılık haritalaması için ANFIS yöntemini kullanarak çeşitli üyelik fonksiyonlarını modele uygulamışlar ve elde ettikleri sonuçları mevcut belirli heyelan konumları ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, ürettikleri duyarlılık

haritalarının doğruluğunu analiz etmek için her duyarlılık haritasının ROC eğrilerini çizerek, AUC değerlerini hesaplamışlardır. Modelin çıktılarını heyelan test lokasyon verileriyle doğrulamasını yapan araştırmacılar, ANFIS modelinin % 84.39 doğruluk göstererek, heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bui vd. [75] çalışmalarında, Vietnam'ın Hoa Binh bölgesini çalışma alanı olarak seçmişler ve ANFIS yöntemini bu alandaki toplam 118 adet heyelana uygulamışlardır. Araştırmacılar heyelanların %70'ini eğitim, % 30'unu sınama verisi olarak belirleyip analizlerini yapmışlardır. Duyarlılık analizlerde eğim, bakı, eğrisellik, litoloji, arazi kullanımı, toprak türü, yağış, yollara, akarsulara ve faylara olan uzaklık olmak üzere 10 adet parametre kullanılmış ve heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için hibrit öğrenme algoritmasını ve onun 6 farklı üyelik fonksiyonundan (Gaussmf, Gauss2mf, Gbellmf, Sigmf, Dsigmf, Psigmf) yararlanılmıştır. 6 farklı ANFIS modeline göre üretilen heyelan duyarlılık haritalarının AUC değerlerinin 0.739 ile 0.848 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Elde etikleri sonuçlara göre, modelin tahmin kapasitesinin ANFIS modelinde kullanılan üyelik fonksiyonlarına bağlı olduğunu ve Sigmf (0.848) ve Gaussmf (0.825) fonksiyonu ile yapılan modellerin daha yüksek kestirim kapasitesine sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Mohammady vd. [76] tarafından, yapılan çalışmada Golestan bölgesinin güneyine ait heyelan duyarlılık haritalamasını gerçekleştirmek için FR, Dempster Shafer (DS) ve Weights of Evidence (WoE) olmak üzere 3 farklı istatistiksel yöntem kullanılmıştır. Araştırmacılar hava fotoğrafları ve arazi gözlemleri yardımıyla toplam 392 adet heyelanı CBS ortamında haritalamışlar ve 275 heyelan lokasyonun modeli oluşturmak için; 118'ini ise modelin doğrulaması için seçmişlerdir. Model doğrulaması için elde edilen sonuçları modeli oluşturmak için kullanılmayan heyelanlarla karşılaştıran araştırmacılar, oluşturdukları 3 farklı heyelan duyarlılık haritasının AUC değerlerini belirlemişlerdir. FR, DS ve WoE yöntemlerinin sırasıyla AUC değerleri 0.801, 0.783 ve 0.746 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre FR yönteminin, diğer iki yönteme göre daha yüksek

AUC değerine sahip olduğunu belirterek, genel olarak her 3 yöntemin de kabul edilebilir doğruluğa sahip haritalar ürettiğini vurgulamışlardır.

Song vd. [77] 2008 Çin'deki Wenchuan depremiyle tetiklenen heyelanların duyarlılık değerlendirmesini amaçladıkları çalışmalarında hibrit yöntemlerden biri olan Bayesian iletişim ağı yöntemini önermişlerdir. Önerdikleri Bayesian ağı modeli için 8 adet heyelana neden olan faktörü bağımsız değişken olarak seçmişler ve model sonuçlarına göre çalışma alanında heyelanlardan en çok etkilenen değişkenlerin litoloji ve Arias şiddetinin olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları analizlerde önerdikleri Bayesian modeli için sonuç doğruluğunun % 93 olduğunu hesaplamışlardır.

Xu vd. [78] çalışmalarında özellikle son yıllarda kullanımı oldukça yaygın olan SVM yönteminin istatistiksel öğrenme tekniklerinden biri olduğunu vurgulayarak, Çin'in Jianjing Nehri su toplama havzasında depremin tetiklediği heyelanların duyarlılık haritalamasında SVM modelinin performansının değerlendirilmesini yapmışlardır. Hava fotoğrafları ve geniş çaplı arazi çalışmaları sonucunda 3.147 adet heyelandan oluşan detaylı heyelan envanter haritasını oluşturan araştırmacılar, yükseklik, eğim, bakı, sismojenik faylara olan uzaklık, drenajlara olan uzaklık ve litolojiyi, heyelanları kontrol eden parametreler olarak kullanmışlardır. Modelleme için pozitif ve negatif alıştırma örneklerinden oluşan 3 grup örnekleme dört farklı kernel fonksiyonu ile uyum içinde kullanarak toplamda 12 farklı durum için heyelan duyarlılığı haritalanmıştır. Heyelan duyarlılık olasılığının karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre, hem polinom, hem de radyal temel fonksiyonlarının sigmoid kernel fonksiyonuna göre daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

Özdemir ve Altural [79], çalışmalarında FR, WoE ve LR yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlar ve yöntemlere ait haritaları birbiriyle karşılaştırmışlardır. Çalışma alanı olarak Türkiye'deki Sultan dağları ve çevresini seçen araştırmacılar, çalışmalarında jeoloji, rölatif permeabilite, arazi kullanımı, yağış, yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, plan ve profil eğriselliği, nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi (SPI), sediman taşıma gücü indeksi, drenaja olan

uzaklık, faya olan uzaklık, drenaj yoğunluğu, fay yoğunluğu ve kaynak yoğunluğu parametrelerini kullanmışlardır. FR, LR ve WoE yöntemlerinin sırasıyla AUC değerleri 0.976, 0.952 ve 0.937 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda seçilen çalışma alanı için, her üç modelin de tahmin kapasitesinin oldukça iyi olduğunu vurgulanmıştır.

Pradhan [80] yaptığı çalışmada Penang bölgesinin (Malezya) heyelan duyarlılık haritalaması için DT, SVM ve ANN olmak üzere 3 farklı yaklaşımın tahmin performansını karşılaştırmıştır. İlk olarak 113 adet heyelan lokasyonunu haritaya işleyen araştırmacılar, çalışma alanına ait her üç yaklaşım modeli tabanlı heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlar ve bu sonuç haritayı da heyelan lokasyonlarını kullanarak doğrulamışlardır. Modellerin AUC değerlerinin 0.820 ile 0.942 arasında değiştiği; başarı oran değerlerinin ise 0.758 ile 0.830 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar sonuçlarından yola çıkarak DT yaklaşımının, diğer iki yöntemle göre daha yüksek sonuçlar (0.830) verdiğini belirtmişlerdir.

Althuwaynee vd. [81] çalışmalarında i) Evidential Belief Function (EBF) tabanlı Dempster-Shafer modeli (Model 1), ii) tüm mevcut etken değişkenleri kullanarak ikili karşılaştırma modeli olarak AHP entegrasyonu (Model 2), iii) heyelan oluşumunda EBF'nin AHP'ye entegrasyonu (Model 3), iv) LR içerisinde etkisi yüksek olan değişken ağırlıkları kullanılarak, çok değişkenli model olarak EBF'nin entegrasyonu (Model 4) olmak üzere 4 farklı model kullanarak ürettikleri heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmışlardır. Çalışma alanı olarak Güney Kore'deki Pohang ve Gyeongju şehirlerini seçen araştırmacılar, 296 tane heyelan için envanter haritası üretmişlerdir. CBS ortamında toplam 15 adet parametre (eğim, bakı, eğrisellik, yükseklik, drenaja olan uzaklık, SPI, TWI, ağaç kalınlığı, yaşı, türü, toprak kalınlığı, dokusu ve toprak drenajı) kullanarak, dört model için de heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Analiz sonuçlarına göre Model 1 ve Model 3'ün AUC değerlerini sırasıyla % 82.3 ve % 80.0 olarak hesaplayan araştırmacılar, bu iki modelin LR yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Conforti vd. [82] çalışmalarında Güney İtalya'daki Turbolo Nehri sulama havzasının heyelan duyarlılık haritasını üretmek için ANN yöntemini uygulamışlardır. Analizlerde; litoloji, faylar, arazi kullanımı, drenaj ağı, yükseklik, eğim, bakı, plan eğrisellik, TWI ve SPI olmak üzere, heyelan oluşumunda etkili 10 adet parametre kullanılmıştır. Hesaplanan AUC = 0.90 değerinin duyarlılık model performansının oldukça iyi olduğunu ve ANN ile üretilen haritanın güvenilir ve metodolojinin de uygulamada yüksek performanslar sergilediğini vurgulamışlardır.

San [83] Antalya'nın batısında Çandır su toplama havzasında yaptığı çalışmada belirli bir bölgeye ait heyelan duyarlılık haritasını üretmek için tüm girdi parametrelerini kullanan poligon tabanlı rastgele örnekleme olarak adlandırdığı yeni bir örneklem stratejisi önermiş ve bu örneklem stratejisini uygulamak için de SVM sınıflandırma algoritmasını kullanmıştır. Araştırmacı çalışmasında A ve B olmak üzere 2 farklı örneklem seti geliştirmiş ve bunları birbiriyle karşılaştırmıştır. Örneklem seti A, jeoloji haritalarından üretilen litolojik birimlerden oluşmakta; örneklem seti B ise, dört mineral indisinden oluşan ASTER bantlarını içermektedir. Araştırmacı çalışmasında her örneklem seti için önerdiği örneklem stratejisini kullanarak duyarlılık modelini kurmuştur. Her iki örneklem seti için üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performansını değerlendirmek için AUC değerleri belirlenmiş ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. AUC değerleri karşılaştırma sonuçlarına göre örneklem seti B'nin, heyelan duyarlılık haritalamasında kabul edilebilir mekânsal performansa sahip olduğunu belirtilmiştir.

Shahabi vd. [84] LR, AHP ve FR yöntemlerini kullanarak oluşturdukları modellerin heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, çalışma alanı olarak Batı Azerbaycan'ın Zab havzasını seçmişlerdir. Landsat ETM ve SPOT 5 uydu görüntülerinden yararlanarak heyelan envanter ve arazi kullanım haritasını hazırlamışlardır. Üç modelin performansı, bağıl heyelan yoğunluk indeksi (R - indeks) değerleri ve ROC eğrilerini kullanarak değerlendirmişlerdir. AUC değerleri LR, AHP ve FR modelleri için sırasıyla 0.894, 0.811 ve 0.863 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda LR ve FR modellerinin çalışma

alanının heyelan duyarlılığını daha iyi tahmin ettiğini vurgulayan araştırmacılar, her üç modelin de oldukça doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Ahmed [85] tarafından, Bangladeş'te Chittagong metropolitan alanında heyelanları kentsel gelişimi olumsuz yönde etkileyen bir afet olarak değerlendirilmektedir. Alanda her yıl birçok heyelan meydana gelmekte olup, can ve mal kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada zarar azaltma stratejisi belirleyebilmek için metropolitan alanını kapsayan heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. AHP (Analytical Hierarchy Process), WLC (Weighted Linear Combination) ve OWA (Ordered Weighted Average) yöntemleri ile 7 farklı senaryo gözetilmiş, drenaja uzaklık, yükseklik, arazi kullanımı, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), yağış, yola uzaklık, eğim, geçirgenlik, akarsuya uzaklık parametreleri kullanılarak, heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. AHP, WLC_1, WLC_2, WLC_3, OWA_1, OWA_2 ve OWA_3 yöntemlerinin AUC değerleri sırasıyla; % 89.80, % 83.90, % 91.10, % 88.50, % 90.40, % 95.10 ve % 87.10 olarak bulunmuştur. Sonuçlar ile bölgede geçmişte meydana gelen 20 heyelan üzerinde doğruluk sınaması yapılmış olup, elde edilen tüm sonuçların tatmin edici olduğu ifade edilmiştir.

Ahmed [86]; Bangladeş'te Cox's Bazar bölgesinde muson yağışları esnasında oldukça fazla heyelan olayı meydana geldiğini, heyelanların can ve mal kayıplarına neden olduğunu belirtmiştir. Bu heyelanların en önemli gelişim nedeni eğimin çok yüksek olması, eğimli alanlarda kazı çalışmalarının yoğun olarak yapılması ve alandaki ani yağışlar olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada amaç 74 heyelan için; heyelan duyarlılık haritası oluşturarak sonuçları itibariyle heyelan riskini belirlemek ve azaltmaktır. Araştırmacılar jeolojik verilerden yararlanılarak, CBS tabanlı analizler ile eğim, arazi kullanımı, NDVI, jeoloji, jeomorfoloji, toprak nemliliği, yağış, yola uzaklık, drenaj, akarsu ve yapısal unsurlar parametrelerini dikkate alınarak; AHP, WLC, LR ve MLR (Multivariate Logistic Regression) modelleri ile duyarlılık haritası üretilmiştir. Söz konusu modellerin AUC değerlerine bakıldığında AHP, WLC, LR ve MLR için sırasıyla % 88.00, % 85.90, % 74.90 ve % 90.40 olduğu görülmektedir.

Aristiza'bal vd. [87] tarafından, 21 Eylül 1990 yılında Colombian Andes tropik ve dağlık alanında 3 saat gibi kısa sürede 208 mm'lik yağış düşmesi sonucunda 800 heyelanın tetiklendiğini belirterek bu heyelanların duyarlılık analizlerini SHALSTAB modeli ile değerlendirmişlerdir. Modelle elde edilen heyelan dağılımı ile mevcutta yağışa bağlı meydana gelen heyelanların, sahada kıyaslaması yapıldığında özellikle yüksek kotlarda uyumluluk gösterdiği tespit edilmiştir. Bu uyumluluk SHALSTAB modelinin benzer tropikal ve dağlık arazilerde; yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli ve bazı zemin parametrelerini de kullanılarak analiz yapılmasının uygun olduğu yönünde yorumlanmıştır.

Bortoloti vd. [88] tarafından, Brezilya'da Vio'ria alanında meydana gelen heyelanların bulanık mantık modeli ile duyarlılık analizini yapılmıştır. Modelde yollar, arazi kullanımı, jeoteknik bilgiler girdi parametresi olarak kullanılmış olup; yükseklik, eğim, profil eğrisellik, plan eğrisellik, bakı, akarsuya olan uzaklık, yola uzaklık parametreleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar AHP ile üretilen harita ile kıyaslanmış olup, bulanık mantık metodunun jeolojik-jeoteknik tabanlı risk haritası üretmek için en iyi seçenek olduğu, ancak yöntemin uzman kullanıcılar tarafından yorumlanarak, daha doğru sonuçlar vereceği ifade edilmiştir.

Capecchi vd. [89], yağışla tetiklenen sığ heyelanların tahmini ve modellemesi için statik ve nümerik tahmin araçlarını kullanmayı amaçlamışlardır. Tahmin değişkenlerini bir arada analiz etmek için genelleştirilmiş doğrusal model ve Breiman karar ağacı yöntemi olmak üzere iki farklı istatistiksel yöntem kullanılmıştır. Araştırmacılar, çalışmada kullanılan bu iki yöntemle oluşturulan modelleri Toskana bölgesinde 2011 ve 2013 yılları arasında meydana gelen iki büyük yağış vakasında değerlendirmişlerdir. Modelleme sonuçlarını arazi verileri ile karşılaştırılarak, performansların değerlendirmesinde kullanmışlardır. 2011 yılında meydana gelen yağışa bağlı gelişen heyelanlar üzerinde karar ağacı yönteminin genelleştirilmiş doğrusal yöntemle göre daha iyi sonuç verdiği, ancak 2013 yılında meydana gelen yağış sonucunda her iki modelin de belirlenen AUC değerlerinin yaklaşık 0.7, olduğunu yöntemlerin birbirlerine göre çok fazla üstünlüklerinin olmadığı ifade edilmektedir.

Conoscenti vd. [90] tarafından, Belice Nehri (Sicilya, İtalya) havzasında meydana gelen toprak akması hareketlerinin LR ve MARS/MARSpline (Multivariate Adaptive Regression Splines) ile duyarlılık haritaları üretilmiştir. Araştırmacılar 1.376 adet sığ toprak akmasını dikkate alarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bölgede öncelikle 10 x 10 m çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) zemin akması ve heyelanlar incelenmiştir. Ardından, ortofolar ve LİDAR görüntüleri de kullanılarak, 2 x 2 m'lik SYM ile detay çalışılmıştır. Litoloji, bakı, depolanma alanının bakısı, yükseklik, eğim açısı, profil eğrisellik, plan eğrisellik, toplam eğrisellik, kümelenme indeksi, topoğrafik pozisyon indeksi, kanal ağına karadan akış mesafesi, kanal ağına dikey mesafe, SPI, TWI, uzunluk-eğim faktörü parametreleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, hem LR hem de MARS analiz yöntemleri ile 2 farklı zemin akması duyarlılık haritası üretilmiştir. MARS yönteminin LR'ye göre daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Dehnavi vd. [91] tarafından, İran'ın ülke ölçeğinde heyelan duyarlılık haritasını hazırlamışlardır. Haritayı; SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) ve ANFIS modelleri ile ayrı ayrı sınımış ve ardından bu iki modelin hibrit hali olan SWARA - ANFIS modelini üretmişlerdir. İran tektonik açıdan oldukça aktif bir ülke olmakla birlikte, ülkede depremler ve heyelanlar etkin olan iki afet türüdür. Özellikle; 2007 yılında meydana gelen büyük heyelanların yarattığı, ekonomik zararlar ülkenin kalkınmasını olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir. Ülkede depremlerden sonra meydana gelen heyelan kayıtları da oldukça fazla olup, depremin yarattığı PGA (Peak Ground Accelaration) malzemenin dayanımını düşürdüğü, gözenek suyu basıncını yükselterek malzemeyi dayanımsız hale getirerek kütle hareketlerine neden olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca; 1955 - 2005 yıllarına ait meteorolojik yağış verileri göstermektedir ki, aşırı yağışlar heyelanların temel tetikleyici unsurudur. Aynı yıllara ait heyelan verileri, yağış verileri ile kıyaslanınca bu sonuç ortaya çıkmaktadır. Çalışmada; toplam 3.892 adet heyelan verisi ile ülke ölçeğinde analizler yapılmıştır. % 70 - % 30 eğitim - sınamaya verisi ve 90 m'lik çözünürlükte SYM üzerinden analizler yapılmıştır. Ülke ölçeğinde çalışıldığı için SYM çözünürlüğünün de büyük alındığı çalışmada; litoloji, eğim, bakı, plan eğrisellik, profil eğrisellik, akarsuya uzaklık, faya uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı parametreleri ile deprem ve yağış gibi tetikleyici parametreler

kullanılmıştır. İnan için 5 sınıfta (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Sonuç olarak çalışmada, yeni geliştirilen SWARA - ANFIS hibrit modeli ile en iyi performansı gösteren heyelan duyarlılık haritası oluşturulduğu belirtilmektedir.

Guo vd. [92], Çin'in Tibet platosunda Xianshuihe (XSF) fay zonu boyunca meydana gelen heyelanların kantitatif yöntemlerle duyarlılık haritasının oluşturulması konusunda çalışmışlardır. XSF fay zonu Tibet platosundaki en aktif fay zonlarından biri olup, meydana gelen heyelanlar yolların kapanması suretiyle insan hayatını ciddi anlamda etkilemektedir. Bölge topoğrafik olarak çok yüksek olduğu için arazi gözlemleri ile detaylı çalışılması çok mümkün olmadığından, çalışmalar hava fotoğrafları ile desteklenmiştir. 2005 - 2014 yılları arasında meydana gelen 415 heyelan 1 / 50.000 ölçekli envanter haritasına, 10 x 10 m çözünürlükteki SYM üzerine yerleştirilerek, CBS platformunda FR (Frekans Ratio) ve WoE (Weight of Evidence) yöntemleri kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan parametreler sırasıyla, NDVI, yola uzaklık, eğim, bakı, yükseklik, plan eğrisellik, topoğrafik nemlilik indeksi, faya mesafe, litoloji, yağış ve akarsuya uzaklık olup, FR ve WoE modellerinde 11, 8 ve 6 parametre kullanılarak haritalar üretilmiştir. Sonuç itibarıyla, aktif faya yakın olan çalışma alanında FR modeli ile eğim, bakı, yükseklik, faya uzaklık, litoloji, yağış ve akarsuya uzaklıktan oluşan 6 parametre ile üretilen duyarlılık haritalarının en doğru sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar; aktif tektonik alanlardaki dağlık bölgelerde FR oranı ve söz konusu 6 parametrenin kullanımı konusunda tavsiyede bulunmuşlardır.

Havenith vd. [93], araştırmaları sonucunda heyelan envanter haritası, aktif fay haritası, jeolojik ve jeomorfolojik parametreler ile Tien Shan bölgesine ilişkin veri tabanını kullanarak, heyelan faktör modeli yardımıyla heyelan duyarlılık haritasını hazırlamışlardır. Heyelan faktör modelinde MGRP (Morphological (M), geological (G), river distance (R), precipitation (P) factor correlation) kombinasyonu ile MGRP + E + F (Morphological (M), geological (G), river distance (R), precipitation (P), earthquake (E) and fault (F) distance factors) kombinasyonunun hangisinin daha doğru sonuçlar verdiği kıyaslanmış, MGRP + E + F kombinasyonunun en iyi

kombinasyon olduğu tespit edilmiştir. 100 m çözünürlüklü SYM üzerinde 3.462 adet heyelan değerlendirilmiş olup, bölgenin 1 / 500.000 ölçekli jeoloji haritası, USGS'in 6'dan büyük depremlerinin olduğu haritalar ve yıllık ortalama yağış verileri birbirlerine entegre edilerek bölgesel ölçekli bir harita meydana getirilmiştir. Çalışmada duyarlılık analizinde; eğim, bakı, eğrisellik, yüksek, yağış, jeoloji, yola uzaklık ve nehre uzaklık parametreleri kullanılmıştır.

Havenith vd. [94], çalışmalarında Tien Shan jeolojik tehlikeler veri bankasında yer alan verilerden deprem ve heyelan verilerinin nasıl toplandığı ve söz konusu verilerin içeriğinden bahsetmişlerdir. Oldukça geniş bir veri bankası olan bu bankada Tien Shan bölgesi olarak bilinen bölge Özbekistan, Kırgızistan, Tacikistan ve Kazakistan verilerinden oluşmaktadır. Bu ülkelerin aletsel dönem deprem kayıtları ve deprem katalogları birleştirilmiştir. Bu geniş alanda en büyüğü 8.2 en küçüğü 5.5 olan büyük hasara neden olan depremler ve hasar kayıtları CBS tabanlı çalışmalarla haritalanmıştır. Aynı alanda 100 x 100 m çözünürlüklü SYM üzerinde, Landsat ve Google Earth görüntüleri kullanılarak 3.462 adet heyelan haritalanmıştır. Ayrıca, fay ile heyelan dağılım haritasının karşılaştırmasından heyelanların faylarla ilişkisi aynı harita üzerinde birleştirilerek değerlendirilmiştir. Uydu görüntüleri yardımıyla heyelanların boyutları-sıklığı korelasyonu da yapılmış olup, alanın hem depremselliği, hem topoğrafik özellikleri nedeniyle heyelan potansiyelinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Henriques vd. [95] tarafından, Kuzey Lizbon'da pilot alan olarak belirledikleri bir alanda yapılan çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritası oluşturmada temel girdi parametrelerinden biri olan litoloji özelliğinin önemine değinilmiştir. Genelde duyarlılık çalışmalarında litoloji parametresi yaygın olarak kullanılmakla birlikte, çalışılan bölgeye ait büyük ölçekli veya detay içermeyen genel jeolojik birimleri tanımlayan; 1 / 25.000 – 1 / 50.000 ölçekli haritalardan yararlanılmaktadır. Gelişen CBS teknolojisi, hava fotoğrafları ve stereografik görüntülerin yorumlanması, detaylı arazi çalışmaları ile üretilen litoloji haritalarının kullanılması ile daha sağlıklı duyarlılık haritası üretilmesini sağlamaktadır. Söz konusu detay litoloji haritaları 1 / 10.000 ve daha büyük ölçekli olup, araştırmacıların çalışmalarında 5 x 5 m'lik SYM ile desteklenince, tüm detayların daha net görüldüğü, özellikle litolojik sınırların hava fotoğrafları ve bindirmeli stereografik görüntüler ve arazi gözlemleriyle

desteklenmesiyle 1 / 25.000 – 1 / 50.000 ölçekli haritalarda gözlenen heyelanların büyük çoğunluğunun aslında daha farklı litolojik birimlerde gerçekleştiği ve detayları gözden kaçan heyelanların daha net gözlenerek, daha anlamlı duyarlılık haritaları üretilebildiği ifade edilmiştir.

Hung vd. [96] tarafından, Vietnam'daki Lo nehri su toplama alanındaki heyelanların duyarlılık analizlerini AHP ve WLC metotları kullanılarak hazırlanmıştır. 216 adet heyelan, 2010 - 2011 yılları arasında arazi gözlemleri ile tespit edilmiş ve 6 heyelan faktörü (yükseklik, eğim, drenaj yoğunluğu, fay yoğunluğu, bozunma türü ve arazi kullanımı) dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritaları mevcut heyelanların lokasyonları ile kıyaslanarak doğruluk sınaması yapılmıştır. Bu durumda, mevcut heyelanların % 47.69'unun heyelan duyarlılık haritasında çok yüksek ve yüksek zonunda yer aldığı, bunun da toplam çalışma alanının % 40.96'sına karşılık geldiği tespit edilmiştir. AHP ve WLC yöntemlerinin, geniş dağlık alanlarda orta ölçekli haritalama çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilir yöntemler olduğu ortaya koyulmuştur.

Kavzoglu vd. [97] tarafından, Trabzon ili Maçka ilçesinde seçilen inceleme alanı için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Söz konusu haritanın üretilmesinde altlık olarak 1 / 25.000 ölçekli topoğrafik harita, aynı ölçekli MTA heyelan envanter haritası ve Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Diğer taraftan çalışmada; GAs (Genetic Algoritim Process) ile tüm parametre kombinasyonları denenerek, optimal parametreler bulunmuş, bulunan parametreler için LR yöntemiyle heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş, haritaların doğruluk değerlendirmesi GA modeli ile tespit edilmiştir. Çalışmada 30 x 30 m çözünürlüklü hücreler, % 70 - % 30 eğitim - sınama verisi kullanım oranıyla yapılan analizlerde, toplam 16 parametre dikkate alınmıştır. GAs modelinde en önemli işlem, parametrelerin seçimi ve birbirleriyle kombinasyonudur. Bu bağlamda; 16 parametrenin GAs yönteminde 4'den 15'e kadar farklı kombinasyonları üretilmiştir. 4, 5, 6, 7 gibi artan sayıda parametre ile tüm kombinasyonları için lojistik regresyon yöntemi ile haritalar üretilmiştir. Bu kombinasyonlardan en yüksek doğruluk derecesini 8 ve üstü parametrelili kombinasyonlarda sağlanmıştır ve bu kombinasyonların doğruluk değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Sonuç haritalarının doğruluğu McNemar testi ile

sınanmıştır. Çalışma alanında heyelan gelişiminde eğim, litoloji ve drenaja uzaklık parametrelerinin en etkili parametreler iken, toprak derinliği, yamaç uzunluğu ve profil eğriselliğinin ise, en az etkisi olan parametreler olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar GAs yönteminin çok sayıda parametre ile çalışılacak alanlar için, oldukça kullanışlı bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Kayastha [98] çalışmasında, heyelan duyarlılığının, heyelanların mekânsal dağılımını ifade etmesi bakımından oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Heyelan envanter çalışmalarının geçmiş arşiv bilgileri, tarihi kayıtlar, yayınlanmış raporlar, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, yerel halk ile yapılan görüşmeler sayesinde toplanan veriler ışığında hazırlanması gerektiği vurgulanırken, heyelan duyarlılık analizlerinin temeli olan bu çalışmaların, duyarlılık analizleri esnasında arazi gözlemleri ile yerinde yapılan çalışmalarla desteklendiğinde, en güvenilir sonucu vereceği belirtilmiştir. Çalışmada Doğu Nepal'de Garuwa alt havzasındaki mevcut tüm veriler dikkate alınarak frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. Eğim, bakı, yamaç şekli, göreceli yükseklik, jeoloji, faya uzaklık, arazi kullanımı, drenaja uzaklık ve ortalama yağış verileri ile 4 farklı duyarlılık haritası oluşturulmuştur. 1. haritada topoğrafik ve jeolojik parametreler, 2. haritada topoğrafik, jeolojik ve arazi kullanımı parametreleri, 3. haritada topoğrafik, jeolojik, arazi kullanımı ve drenaj parametreleri ve 4. haritada ise bahse konu 9 parametrenin tamamı kullanılarak haritalama yapılmıştır. Geçmiş heyelanların arazi deneştirmesi ile uyumuna bakıldığında, 4. haritalama ile üretilen duyarlılık haritasının % 81.19 ile en yüksek ve en doğru sonuç verdiği görülmektedir. Sonuç haritasının Ki-kare (χ^2) testi ile sinaması yapılmış olup, hesaplanan χ^2 değeri standart χ^2 değerinden daha büyük olduğundan, sonucun istatistiksel açıdan doğru olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, heyelana duyarlı alanlar ile mevcut arazi deneştirmesi de oldukça uyumludur.

Kumar ve Anbalagan [99] araştırmalarında, Hindistan'ın Tehri baraj alanında, baraj yapımı sırasında açılan şevlerin, yamacın üst kesiminde yer alan köylere ve tarım alanlarına olumsuz etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar bölgenin heyelan envanterini ve heyelana neden olan faktörleri (eğim, bakı, profil eğrisellik,

topoğrafik nemlilik indeksi ve nehir gücü taşıma indeksi) belirledikten sonra, heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Oluşturulan heyelan duyarlılık indeks haritasında düşükten yükseğe doğru beş sınıf tanımlamış olup, duyarlılık haritasının performansı kümülatif yüzdellik eğrisi altında kalan alan değeri belirlenerek değerlendirilmiştir. ASTER uydu görüntüleri, 25 x 25 m'lik gridlerle oluşturulan SYM ve diğer parametrelerle, FR ve Bulanık Mantık yöntemleri ile analizler yapılmıştır. Bulanık mantık yönteminde ayrıca; OR ve alfa işlemcisi analizleri de yapılmıştır. Fuzzy - alfa işlemcisi ile üretilen haritalar, Fuzzy - OR işlemcisi ile birleştirilip, duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışma alanında bulanık mantık ile üretilen haritanın performansının oldukça yüksek olduğu, aynı şekilde bu değerlerin frekans oranı ile üretilenle de oldukça yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Meinhardt vd. [100] çalışmalarında, Vietnam'da seçili bir alanda meydana gelen heyelanları farklı yöntemler ve farklı sayıda parametre kullanarak, heyelan duyarlılık haritasını hazırlamıştır. Tropikal muson yağışlarının etkili olduğu alanda heyelanların genel dağılımları incelenerek; yükseklerde doğal olarak yoğun yağış ve yoğun bitki örtüsü, orta kesimlerde gerek eğrisellik farkları, gerekse sık ormanlık alanlar nedeniyle, düşük kotlarda ise gerek dere/nehirlere yakınlık, gerekse yollar ile kesilmesi nedeniyle yüksek heyelan potansiyelinin olduğu belirtilmiştir. 1 / 50.000 ölçekli haritalarda 30 m'lik çözünürlükte uydu görüntüleri, arazi gözlemleri ve Google Earth görüntüleri kullanılarak, 848 adet heyelan % 80 - % 20 oranında eğitim - sınav verisi ile çalışılmıştır. Çalışmada 13 parametre dikkate alınmış olup bunlar sırasıyla; eğim, bakı, vadi derinliği, plan eğrisellik, profil eğrisellik, TWI, SPI (nehir gücü indeksi), yola uzaklık, su taşıma alanlarına uzaklık, arazi kullanımı, toprak türü, litoloji ve yağıştır. Yola uzaklık parametresi kullanılırken yola 30 m – 60 m – 90 m'lik tampon bölgeler atılarak, en yoğun heyelanların hangi mesafede geliştiği de incelenmiştir. Yola mesafenin en yakın olduğu alanlarda heyelanların daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Su toplama havzalarına mesafe için de 60 m – 120 m – 180 m – 240 m'lik tampon alanlarda heyelan yoğunlukları da incelenmiştir. Su toplama havzasından uzaklaştıkça, heyelan yoğunluğunun azaldığı sonucuna varılmıştır. Arazi kullanımında ise Landsat uydu görüntüleri kullanılmış olup, toprak türleri ve litoloji de dikkate alınmıştır. Araştırmacılara göre, yağışın artışı bölgedeki toprak zeminde önemli

oranda kütle hareketlerini tetiklemiştir. Heyelan duyarlılık haritaları; SI (Statistical Index), Weighting Factor ve Omit ErrOR yöntemleri ile yukarıda belirtilen öncelikle 13 parametre ve daha sonra da bunların arasından seçilen en etkin 9 parametre kullanılarak oluşturulmuştur. TWI - SPI - plan eğrisellik ve şev eğimi parametreleri değerlendirilmeden dışında tutulmuştur. 9 parametre için yapılan duyarlılık haritalarının 13 parametre ile üretilenlerden daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür. 9 parametrelili ihmal edilebilir hata metodunun en yüksek AUC değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Meng vd. [101] çalışmalarında; heyelanların Wolong Pandalarının doğal yaşam alanlarını tehdit eden önemli bir afet türü olduğu, bu alan için heyelan duyarlılık zonlama haritasının yapılmasının, gerek karar vericiler, gerekse hükümet temsilcileri için gelecek planlamaları açısından önem arz ettiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada LR, AHP, bulanık ve F - SVM (Fuzzy - Support Vector Machine) yöntemleri ile 1.773 adet heyelan % 70 - % 30 eğitim - sınav verisi şeklinde; topoğrafik, jeolojik ve hidrojeolojik veriler toplanarak analiz edilmiştir. Eğim, bakı, yükseklik, profil eğrisellik, jeoloji - litoloji, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, yola uzaklık ve NDVI olmak üzere 9 parametre kullanılarak üretilen haritalarda F - SVM metodunun % 85.73 ile en yüksek performansı gösterdiği, AHP'nin % 78.84 ve LR'nin ise % 84.55 AUC değerleri verdiği tespit edilmiştir.

Nugrahaa vd. [102] araştırmalarında, Endonezya'nın, Yogyakarta bölgesinde, Menoreh Dağındaki, Tinalah su toplama havzasındaki heyelanların jeomorfolojik özelliklerini çalışmışlardır. Özellikle, dağlık alanlarda yaşayan insanlar için heyelanların nüfus artışı ve küresel ısınma nedeniyle artmasıyla, önemli bir afet haline dönüştüğünü, heyelanların olumsuz etkileri ve onlardan korunmak için farkındalığın önemine değinmişlerdir. Çalışılan havzada çok sayıda heyelanın olmasının nedeni jeomorfolojik, jeolojik, jeomorfometrik özellikler, insan faaliyetleri, deprem, aşırı ve ani yağışlar olup, 2006 - 2010 yılları arasında meydana gelen heyelanlar CBS tabanlı analizlerle incelenmiştir. 1 / 25.000'lik haritada ArcGIS yazılımı kullanılarak 2 x 2 m'lik SYM üzerinden yükseklik, eğim, bakı, profil eğrisellik, plan eğrisellik ve genel eğrisellik parametreleri kullanılarak heyelanların jeomorfolojisi hakkında genel bir kanıya varılmıştır. SYM'nin çözünürlük değerinin büyük olmasının nedeni, alanda çok sayıda heyelanın bulunması ve hepsinin

analize katılarak daha detaylı çalışılmasıdır. Alandaki 138 adet heyelan; çoğunlukla 400 m yüksekliklerde, 20° eğim açısına sahip, doğu-batı eğim yönünde, düz eğrisellikte meydana gelmektedir. CBS tabanlı analizler ile heyelanların genel morfolojisi ortaya çıkarılmış olup, yerel insanlar ve karar vericilerle bu bilgilerin paylaşılması ile heyelan konusunda farkındalık ve heyelanlardan korunma yönünde tedbirlerin alınması açısından başarılı olunabileceğini ifade edilmiştir. Sonuç itibariyle, heyelan konusunda sadece; basit analizler ve basit açıklamalar ile bile büyük kayıpların önüne geçilebileceği belirtilmiştir.

Opiso vd. [103] çalışmalarında, Filipinler'de Mindanao'da Cayagan De Oro (CDO) - Bukidnon - Davao City (Buda) yolunun heyelan açısından yüksek riskli bir yol olduğunu, hem motorlu taşıtlar, hem de yolcular için potansiyel tehlike oluşturduğunu belirtmişlerdir. Yolun heyelandan etkilenmesi ve ulaşımın kesilmesi hem bölge ekonomisini hem de insan hayatını olumsuz yönde etkilemekte olup, yolun heyelanlı kesimlerinin tespit edilerek önlem çalışmalarının başlatılması önem arz etmektedir. Çalışmada; heyelanın gelişmesinde girdi parametreleri olarak eğim, yükseklik, toprak türü, jeoloji, arazi kullanımı ve yağış parametrelerinden, yağışın en etkin parametre olduğu, çalışma alanındaki tüm parametrelerin CBS ortamında FR yöntemi ile analiz edildiği ifade edilmiştir. GPS ile 78 adet heyelanın lokasyonu hassas olarak tespit edilerek analizlere dahil edilmiştir. Sonuç heyelan duyarlılık haritası düşük, orta düşük, orta, orta yüksek, yüksek olmak üzere 5 sınıfa ayrılarak üretilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki; yağışın tetiklediği alanlarda zemin türü ve eğim, heyelan oluşumunda etken rol oynamaktadır. AUC değeri % 76.4 olup, oluşturulan harita gelecekte arazi kullanımında, mevcut heyelanlı alanların tespitinde ve heyelana maruz kalabilecek lokasyonlarda gerekli zarar azaltma çalışmalarının yapılmasında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Palamakumbure vd. [104] tarafından, Avustralya Sidney havzasında 777 adet heyelan için optimum karar ağacı modeli ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Söz konusu haritayı üretirken en uygun çözünürlüklü SYM'nin hangisi olabileceğine karar vermek için aynı alanın 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m ve 40 m piksel boyutunda SYM'lerini üretmiştir. Çalışmada eğim, bakı, arazi kullanımı, eğrisellik, profil eğrisellik, plan eğrisellik, akma birikimi, nemlilik indeksi,

bitki örtüsü ve litoloji parametreleri kullanılmıştır. 10 m'lik çözünürlükle üretilen SYM üzerinde yapılan karar ağacı mekanizmasıyla üretilen heyelan duyarlılık haritasının diğerlerine göre daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Pham vd. [105] çalışmalarında, FT (Functional Trees), MLP Neural Nets ve NB (Naive Bayes) yöntemlerini kullanarak Hindistan'daki Uttarakhand Bölgesi'ndeki 430 adet heyelana ilişkin heyelan duyarlılık haritasını üreterek, en iyi performansı veren tekniğin hangisi olduğunu belirtmektedirler. 430 adet heyelan % 70 - % 30 eğitim – sınav verisi halinde kullanılarak 11 parametre ile (eğim, baki, yükseklik, eğrisellik, litoloji, zemin, arazi kullanımı, yola uzaklık, çizgiselliğe uzaklık, akarsuya uzaklık ve yağış verileri) heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Modellerin AUC değerleri kıyaslandığında, MLP 0.850 ile en iyi performansı vermiş iken, FT 0.849 ile ikinci iyi ve NB ise 0.838 ile diğer modellere yaklaşık sonuç ile başarılı bir teknik olduğunu göstermektedir. Söz konusu tekniklerin mühendisler ve planlamacılar tarafından haritalamada rahatlıkla kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Piacentini vd. [106] çalışmalarında, PSI (Persistent Scatterers Interferometry) yönteminin heyelanların geniş alanlara yayıldığı durumlarda izleme ve tespit aşamasında yaygın kullanılan bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Fakat yöntemin gerek fiziksel uygulamasında, gerekse teknolojik altyapısının uygulanması, arazide bazı kısıtlamalar getirmektedir. Bu makalede PSI yöntemiyle toplanan verilerin istatistiksel modellerle deneştirmesi yapılarak, heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen Malta'nın kuzey batısındaki sahil bölgesinde, oldukça yavaş gelişen ve geniş alanları etkileyen heyelanlar incelenmiştir. Alanın genelinde kütle hareketleri kireçtaşı malzemedeki gelişmekte olup, bu alanda doğal radar reflektörleri ile PSI yöntemi uygulanmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışma sonuçlarının arazi gözlemleri ve uydu görüntü analizleri ile sınanarak, PSI yöntemiyle elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Posner vd. [107] El Salvador ve Orta Amerika'nın heyelan bakımından yüksek potansiyele sahip alanlarıdır. Kasım 1998'de meydana gelen Mitch kasırgasından etkilenen bu alanlarda 240 kişi yaşamını yitirmiş, 85.000 insan ise yer değiştirmek zorunda kalmıştır. Bu kasırga 600 milyon dolarlık ekonomik kayba neden olmakla

birlikte, bu ekonomik kaybın % 60'ı heyelan nedeniyle yolların etkilenmesi sonucu oluşmuştur. Bu çalışmada normalleştirilmiş Landslide Index yöntemi ve AHP ile eğim, bakı, profil eğrisellik, tanjant eğrisellik, litoloji ve arazi kullanımı parametreleri kullanılarak duyarlılık haritaları üretilip, sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuçta düşük eğimli alanlarda yüksek heyelan duyarlılığı görülmüş olup, ayrıca heyelan duyarlılık çalışmalarında normalleştirilmiş Landslide Index yöntemi gibi BS (Bivariate Statistic) modellerin daha yüksek performanslı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Saponaro vd. [108] çalışmalarında, heyelan afetinin Kırgızistan'da sık görüldüğü, deprem ve heyelanların ülkenin afetselliğini oluşturduğunu belirtmişlerdir. Araştırmada; eğim, bakı, jeoloji, eğrisellik, faya uzaklık, sismik yoğunluk ve güncel heyelan lokasyon haritası kullanılarak WoE yöntemi ile % 50 -% 50 eğitim - sınama verisi halinde 1.347 adet heyelan verisi ile Jalal - Abad inceleme alanı için LSI üretilmiştir. Sonuçlar χ^2 testine göre heyelana neden olan parametreler dikkate alınarak 5 model belirlenmiş ve bu modeller için duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Model A; eğim, bakı, profil eğrisellik, jeoloji, faya uzaklık parametrelerinden, Model B; bakı, profil eğrisellik, jeoloji ve faya uzaklık parametrelerinden; Model C - profil eğrisellik, jeoloji ve faya uzaklıktan, Profil D- bakı, profil eğrisellik ve sismik yoğunluktan, Model E ise; eğim, bakı, profil eğrisellik, jeoloji, faya uzaklık, ve sismik yoğunluk parametrelerinden oluşmuştur. Eğitim verilerinin modeller için AUC değerleri sırasıyla; 0.794, 0.734, 0.723, 0.686, 0.805 iken sınama verilerinin AUC değerleri sırasıyla; 0.788, 0.733, 0.715, 0.691, 0.801 olarak elde edilmiştir.

Shou ve Yang [109] tarafından, Tayvan'ın iklimsel değişimlerin en sık rastlandığı ülkelerden biri olduğu, ani iklimsel değişimlerin de heyelanların gelişmesinde önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada 2 büyük tayfun olayından sonra meydana gelen heyelanlar için LR ile duyarlılık analizi yapılmış, yağış verileri dikkate alarak da, ileriye dönük yağış senaryosu tabanlı heyelan duyarlılığı yeniden değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler başta yağış olmak üzere; eğim, bakı, yükseklik, eğimli yamaç indeksi (Ids), yola uzaklık, akarsuya uzaklık, faya uzaklık ve heyelan - yağış indeksi (Id) dir. Çalışma alanı 2001'de

Toraji ve 2004'de ise Mindulle isimli iki büyük tayfun olayına maruz kalmış olup, bu tayfunların öncesine ve sonrasın ait SPOT uydu görüntüleri yardımıyla, 5 x 5 m çözünürlüklü SYM'lerden itibaren bölgenin öncesi ve sonrasına ait NDVI haritası, sonrasına dair de heyelan envanter haritası hazırlanmıştır. Alandaki yağış potansiyeli bölgedeki 13 yağış istasyonu verileri dikkate alınarak 24 saatlik toplam yağış verileri ışığında 20, 50 ve 100 yıllık tekrarlanma periyodu ve maksimum yağış yoğunluğu yağış haritası oluşturulmuştur. Elde edilen haritalar ve 2001 - 2004 yıllarındaki tayfunların yağış verileri de kıyaslanarak 2015 - 2039, 2075 - 2099 yılları için yağış yoğunluk haritası oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık haritaları, 18 yağış senaryosuna göre (24 - 48 - 72 saat için 5 - 10 - 20 - 50 - 100 - 200 yıllık) tekrarlanma periyodu haritaları yapılmıştır.

Tang vd. [110] çalışmalarında, 2008'de meydana gelen Wenchuan depreminden 5 yıl sonra aynı fay düzlemi üzerinde 20 Nisan 2013'de 7 büyüklüğündeki Lushan depreminin tetiklediği heyelanları incelemişlerdir. Lushan depremi sonrasında da tıpkı Wenchuan depreminde olduğu gibi binlerce heyelan meydana gelmiştir. Lushan depreminde 217 kişi hayatını kaybetmiş, 13.484 kişi de yaralanmış olup, depremin ekonomik zararı 50 milyar RMB'dir. Depremin tetiklediği heyelanlara co-sismik heyelanlar denilmekte olup, 3.810 heyelanın ön incelemesi depremden sonra 22 - 28 Nisan tarihlerinde alınan uydu görüntüleri yardımıyla yapılmış ve olası hasarlar hakkında genel bilgiler edinilmiştir. Çalışmadaki, 25 m çözünürlükte hazırlanan SYM üzerinde heyelanların dağılımı göstermektedir ki; heyelanların fay zonuna 5 km mesafeden sonra yoğunlukları azalmaktadır. Heyelanların yoğunlukları çok sistematik azalmasa dahi 5 - 10 km mesafeden sonra gözlenmemektedir. Ayrıca, kütle hareketlerinin çoğunun kaya düşmesi ve sığ heyelan türünde olduğu, özellikle alana dair daha detaylı çalışma 10 m çözünürlükte SPOT - 4 uydu görüntüsü yardımıyla belirlenmiştir. Alanda heyelanların oluşumunu en çok etkileyen parametreler; eğim, litoloji ve sismik faktörler olarak belirlenmiştir. Heyelanlar; yoğun olarak 45⁰ - 50⁰ eğim açılarında; kumtaşı, çamurtaşı dolomit litolojik birimlerinde meydana gelmiştir. Genellikle diğer araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir parametre olan bakının, o bölgede bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Bölgedeki co-sismik heyelanların özellikle yollara ve su toplama havzalarına ciddi hasarlar verdiği de belirtilmiştir. Heyelanların fayın tavan ve taban bloğunda yoğunlaşması hususu da incelenmiş

olup, dağılımın özellikle yoğunlaştığı bir blok olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca; alanda yoğun yağışların depremden sonra olmasa da, zaman içinde heyelanları zamanla tetikleme etkisinin olduğundan söz edilmektedir.

Trigila vd. [111] tarafından, kuzeybatı Sicilya'da 1 Ekim 2009 tarihinde 7 saatlik sürede 225 mm'lik yağışın tetiklediği heyelanları incelenmiştir. Yağışın sonunda birçok kasaba 1.000'den fazla heyelan vakası nedeniyle hasar görmüş, 31 kişi hayatını kaybetmiş, 6 kişi kaybolmuştur. İtalya 500.000'den fazla heyelan kaydı ile Avrupa'nın heyelan oluşumunun en sık yaşandığı ülkedir. Ekim 2009'daki ani yağışlardan sonra oldukça büyük ölçekli heyelan çalışmaları yapılmış olup 1 / 5.000 ölçeğinde 1 x 1 m çözünürlüklü yüksek kaliteli SYM kullanılarak, 1.490 heyelan kaynak alanı haritalanmıştır. Çalışmada; yağış heyelanı tetikleyen parametre olarak değerlendirilirken, heyelan oluşumunu kontrol altında tutan parametreler sırasıyla eğim, bakı, toplam eğrisellik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, akan malzemenin birikim miktarı, topoğrafik nemlilik indeksi, SPI, akarsuya uzaklık, litoloji, arazi kullanımı, tarımsal teraslama ve kontrol edilemeyen yangınlardır. Çalışmada farklı çözünürlükteki 1 x 1 m, 2 x 2 m, 4 x 4 m, 8 x 8 m ve 20 x 20 m'lik 5 farklı SYM üzerinde analizler yapılmıştır. FR, LR ve RF yöntemleriyle duyarlılık analizleri yapılmıştır. Sonuçların doğruluk değerlerine bakıldığında birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak, en yüksek değer 4 x 4 m'lik çözünürlüklü SYM'den RF analizinin verdiği tespit edilmiştir.

Tsangaratos ve Ilia [112] çalışmalarında, Yunanistan'ın Xanthi bölgesindeki heyelanları 3 farklı yöntemle analiz edilerek heyelan duyarlılık sonuçlarını kıyaslamışlardır. 1 / 25.000 ölçekli haritada; 163 adet heyelan CBS ortamında litoloji, yükseklik, eğim, bakı, tektonik unsura uzaklık, hidrografik ağa olan uzaklık, jeolojik sınırlara olan uzaklık, yol ağlarına olan uzaklık olmak üzere 8 parametre kullanılarak % 80 - % 20 eğitim - sınav verisi ile analizler yapılmıştır. Söz konusu parametreler için karar ağacı yönteminin farklı algoritmaları ile duyarlılık haritaları üretilmiştir. Karar ağacı modelinin; CF, ID3 (Iterative Dichotomize 3), değiştirilmiş Iterative Dichotomizer 3 modeli ve J 48 algoritmaları ile 4 farklı duyarlılık haritası elde edilmiş olup, bu haritaların AUC değerleri 0.793 ile 0.839 arasında değişim göstermektedir. Sonuçlar ID3 modelinin diğerlerine göre biraz daha yüksek

değerde olduğunu (0.839) göstermektedir. Bu çalışmada standart karar ağacı yönteminin farklı algoritmalarla modifiye edilmesiyle üretilen yeni modellerin de heyelan duyarlılık analizlerinde başarılı sonuçlar ürettiği belirtilmektedir.

Yusof vd. [113]; çalışmalarında yüksek dağlık alanlarda ve tropikal iklimin yoğun yaşandığı bölgelerde heyelan potansiyelinin daha yüksek olduğu, bu özelliklere sahip Malezya'nın en önemli yollarından olan Kuzey - Güney Express yolunun Jelepang Corridor kesiminde heyelanların yoğun olarak görüldüğü, alanın heyelan tehlikesinin ve heyelanların alansal dağılımının bilinmesinin, büyük önem arz ettiğini ifade etmişlerdir. Bölgedeki heyelanlar yüksek ekonomik kayba neden oldukları için de önemli olup söz konusu alanın heyelan duyarlılık modeli LR ve EBF yöntemleri ile üretilmiştir. 26 heyelan ile yapılan çalışmada % 70 - % 30 eğitim-sınama verisi olarak kullanılmış olup, yükseklik, eğim, baki, eğrisellik, SPI, topoğrafik nemlilik indeksi, pürüzlülük indeksi ve akarsuya uzaklık parametreleri kullanılarak üretilen haritalarda LR modelinin AUC değerinin hem eğitim verisi hem de sınama verisi değerleri için EBF'ye göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek zonlar olarak 5 sınıfta üretilen duyarlılık haritalarının LR metodu eğitim-sınama verisinin AUC değerleri % 90.12 - % 88.78 iken, EBF modeli için bulunan değerler % 53.95 - % 50.96'dır.

Youssef vd. [114] çalışmalarında, Suudi Arabistan'ın kuzey batısındaki Jizan bölgesinin heyelan duyarlılık haritası iki değişkenli istatistiksel yaklaşımlardan; FR ve WoE ile üretilmiş ve yöntemlerin kıyaslamasını yapmışlardır. Heyelanların tespiti aşamasında yüksek çözünürlüklü GeoEye ve Qickbird gibi uydu görüntülerinden, 1 / 10.000 ölçekli topoğrafik haritalardan, tarihi kayıtlardan ve güncel heyelan gözlemlerinden yararlanılmıştır. 106 adet heyelan % 75 - % 25 eğitim - sınama verisi mantığıyla analiz edilmiştir. Yükseklik, eğim, eğrisellik, baki, litoloji, topoğrafik nemlilik indeksi, NDVI, çizgiselliğe uzaklık, yola uzaklık, akarsuya uzaklık olmak üzere 10 parametre analizlerde kullanılmış olup, elde edilen heyelan duyarlılık haritaları çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Eğitim ve sınama verilerinin yüksek ve çok yüksek zonalardaki değerleri frekans oranı yöntemi için % 90.02 ve % 76.03 iken, WoE için hesaplanan değerleri % 88.33 ve % 79.3 dür. Sonuçların hem birbirine yakın, hem de arazi uygulaması ile deneştirildiğinde oldukça makul olduğu görülmüştür. Her

iki yöntemle de üretilen haritaların kentsel planlamada, altyapı ve bina stoku değerlendirmelerinde, yol yapımlarında kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Youssef vd. [115] çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritası üretebilmek için farklı verilerin kullanıldığını, söz konusu verilerin ise veri madenciliğine benzer tekniklerle seçildiğini ifade etmişlerdir. RF, BRT, CART (Classification and Regression Tree) ve GLM (General Linear) yöntemleri ile Suudi Arabistan'da Asir Bölgesinde, Wadi Tayyah havzasındaki heyelanlar için duyarlılık haritası yapılmıştır. Çalışmada başlıca; yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, topoğrafik haritalar, tarihi kayıtlar ve güncel arazi verileri kullanılmış olup, 125 adet heyelan lokasyonu ArcGIS programı yardımıyla haritalanmış, % 75 - % 25 eğitim - sınav verisi şeklinde kullanılarak, eğim, bakı, yükseklik, faya uzaklık, litoloji, plan eğrisellik, profil eğrisellik, yağış, akarsuya olan mesafe, yola uzaklık ve arazi kullanımı olmak üzere 11 heyelan parametresi yardımıyla analizler yapılmıştır. AUC değerleri RF, BRT, CART ve GLM modelleri için sırasıyla 0.783, 0.958, 0.816 ve 0.821 elde edilmiştir. Sonuçlar birbirlerine oldukça yakın çıkmış olup, heyelan duyarlılık haritasının düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 4 sınıfa ayrılarak değerlendirildiği çalışmada üretilen haritaların hepsinin genel olarak, yeni yerleşim alanı seçiminde ve arazi planlamasında kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Wang vd. [116] tarafından, Japonya'daki Mizunami şehrindeki heyelanlı alanların duyarlılık haritaları LR, BS ve MARSplines yöntemleri kullanılarak hazırlanmış olup, bu üç yöntemin birbirlerine göre üstünlükleri kıyaslanmıştır. Alandaki 222 heyelan, envanter haritasının tabanını oluşturmaktadır. 10 x 10 m'lik grid hücreleri ile SYM üretilerek ve % 50 - % 50 eğitim - sınav verisi kullanımı mantığı ile LIDAR verileri de kullanılarak analizler yapılmıştır. Alanda 2 büyük otoyolun olması nedeniyle heyelanlı alanların yollara uzaklığı önem arz etmektedir. Araştırmacılar; LR modelinin son yıllarda en çok talep gören model olduğu ifade etmiştir. BS modeli ise en kolay matematiksel model olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada analiz aşamasında; ArcGIS yazılımı kullanılmış olup haritalar bu program aracılığıyla üretilmiştir. MARSplines yeni bir yöntem olup, çalışmada en

yüksek doğruluk değerini vermiştir. Ardından BS ve LR modeline göre üretilen haritaların doğruluk değerleri sıralanmıştır.

Zhuang vd. [117] tarafından, Çin'de Xi'an bölgesindeki heyelanları FR, lojistik analizler ve CBS tabanlı analizlerin kombinasyonu; topoğrafya, eğim, TWI, yükseklik farkı, profil eğrisellik ve bakı parametreleri kullanılarak heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır. LR modelinin AUC değerlerinin kabul edilebilir düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

Aghdam vd. tarafından [118], İran'ın Albroz dağlarındaki inceleme alanında yeni bir hibrit yöntem ile heyelan duyarlılık haritasının (LSM) üretilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle son yüzyılda İran'da çalışma bölgesinde büyük heyelanlar meydana gelmiş olup, bu heyelanların bazılarının deprem nedeniyle, bazılarının da yağış ile tetiklendiği belirtilerek, topoğrafik ve jeolojik koşulların da heyelan oluşumunda büyük öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. İran'ın en büyük şehri olan Tahran bu dağlık alanda olup, bölgede birçok önemli ve büyük yapılar ile gelişmiş alt yapılar ve yollar bulunmaktadır. Ayrıca nüfus yoğunluğu da bölgede oldukça yüksektir. Bu bağlamda, heyelanların dağılımı ve gelecekte meydana gelebilecek heyelanların kritik tesislere etkisinin önceden bilinmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla LSM üretebilmek için; Wi (Hybrid Model of Statistical Index yöntemi) ve ANFIS (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System) yöntemi ile CBS ortamında % 70 - % 30 eğitim - sınav verisi mantığıyla 12 heyelan parametresi kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Parametreler; yükseklik, eğim, bakı, yola uzaklık, akarsuya uzaklık, faya uzaklık, yağış, plan eğrisellik, profil eğrisellik, litoloji, arazi kullanımı ve sismisite olup, Wi ve ANFIS modelin genel uyumuyla oluşturulan hibrit modelin başarı ve tahmin değerleri sırasıyla 0.90 ve 0.89 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, sonuçların tatmin edici düzeyde olduğunu, ürettikleri heyelan duyarlılık haritalarının arazi kullanımı ve planlaması ile yer seçimlerinde kullanılabilir nitelikte olduğunu belirtmektedir.

Akgun ve Erkan [119], araştırmalarında heyelan afetinin Türkiye'de en önemli doğal afetlerinden biri olduğunu vurgulayarak, heyelana bağlı bir çok yapı ve insan hayatının etkilendiğini, can kayıpları ve yaralanmalar yaşandığını belirtmişlerdir. Özellikle birçok baraj rezervuarı alanının heyelan tehdidi altında olduğunu belirten

araştırmacılar, buna örnek olarak Gümüşhane ilindeki Kürtün Barajı rezervuar alanını, çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Alanda alışmalar CBS tabanlı istatistiksel ve deterministik analizlerle yapılmıştır. Bu amaçla; LR ve SINMAP (Stability Index Mapping) metotları kullanılmıştır. Yükseklik, litoloji, Şev eğimi, bakı, akarsuya uzaklık, çizgiselliğe uzaklık, SPI, topoğrafik nemlilik indeksi parametreleri kullanılarak LR ve SINMAP modelleri için iki ayrı duyarlılık haritası üretilmiştir. AUC değerleri LR için 0.75 iken SINMAP için de 0.65'dir. Orta yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında toplam değerin % 89.5 performans gösterdiği tespit edilmiş ve sonuçların tatminkar düzeyde olduğu vurgulanmıştır.

Basharat vd. [120], heyelan duyarlılık kavramının mühendisler, jeologlar, Şehir plancılar, zarar azaltma ve önlem çalışması yürütecek karar vericiler için olduğa önemli bir kavram olduğunu, Pakistan'ın Kuzey Batı Himalayalar'daki, Balakot bölgesi için de bu tür değerlendirmelerin olduğa önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada topoğrafik, jeolojik ve uzaktan algılama verileri toplanarak CBS ortamında heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. 9 heyelan parametresi (eğim, bakı, eğrisellik, yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, faylar, yol ağları ve hidroloji) ağırlıklı bindirme tekniğinden de faydalanılarak AHP Modelinin Pairwise Comparison Metodu ile analiz edilerek, çok yüksek, yüksek, orta, ve düşük olmak üzere 4 farklı sınıftan oluşan heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. AUC değerinin % 79 olduğu çalışmanın heyelan tehlike, zarar azaltma ve arazi kullanımı planlamasında gelecekte kullanılmasının son derece yararlı olacağı savunulmuştur.

Bui vd. [121] tarafından, heyelan risk değerlendirmesinin en önemli aşamasının duyarlılık haritası hazırlanması aşaması olduğunu, söz konusu duyarlılık haritalarının üretilmesinin ise arazi kullanımı planlamasında büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir. Bu alışmada; Vietnam'da The Son La akarsu havzasındaki heyelanların duyarlılığı, SVM (Support Vector Machine), MLP (Multilayer Perceptron Neural Networks), RBF Neural Nets (Radial Basis Function Neural Networks), KLR (Kernel Logistic Regression) ve LMT (Logistic Model Tree) yöntemleri kullanılarak 20 x 20 m znrlkte SYM haritasından faydalanılarak, 1 / 50.000 ölçeğinde 11 parametre (eğim, bakı, yükseklik, TWI, SPI, sediman taşıma gücü indeksi, litoloji, fay yoğunluğu, bozunma, arazi kullanımı, yağış) için

ve % 70 - % 30 eğitim - sınamaya verisi halinde seçilerek üretilmiştir. Modellerin sonuçlarının doğruluğu, ROC eğrisi, Kappa İndeksi ve Friedman - Wilcoxon testi gibi istatistiksel analizlerle sınamıştır. Sonuç olarak; MLP Neural Nets modelinin % 90.2 ile en yüksek sonucu verdiği ardından sırasıyla; SVM modeli (% 88.7) , KLR modeli (% 87.9), RBF Neural Nets modeli (% 87.1) ve LMT modelinin (% 86.1) geldiği, performans değerlendirmesi olarak sunulmuştur.

Cardenas ve Mera [122], Ekvator'daki Pinhiancha ve Santo Domingo de los Tsachilas bölgelerinden geçen E - 20 kara yolundaki heyelanların duyarlılık analizinin yapıldığı çalışmada; heyelanların mekânsal dağılımı ve heyelana neden olan parametrelerin tespiti ve karayolunun heyelan oluşumu üzerinde etkisini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada envanter haritası, jeoloji haritası, erozyon haritası, arazi kullanımı, SYM, farklı tarihlerdeki hava fotoğrafları yardımıyla hazırlanmıştır. Yükseklik, eğim, eğrisellik, bakı, arazi kullanımı, erozyon, litoloji ve yağış parametreleri kullanılarak kantitatif istatistiksel analizlerle duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Erozyon, litoloji ve yağış parametreleri, en etkin parametreler olarak ortaya çıkmıştır. İstatistiksel analizlerde YC (Yule Constant) ve DDA (Distance Distribution Analysis) kullanılmıştır. Üretilen haritalarda heyelanların dağılımı ile her parametre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılık haritası ise önemsiz, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 6 sınıfta değerlendirilerek, genel bölgesel heyelanların özellikleri yorumlanmıştır.

Chen vd. [123] çalışmalarında; Çin'in Baoji şehri için CBS tabanlı AHP ve CF (Certainty Factor) modelleri kullanılarak bölgede heyelan duyarlılık haritası oluşturulmasını amaçlamışlardır. Öncelikle hava fotoğrafları ve arazi gözlemleri yardımıyla heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Toplamda 79 heyelanın % 70'i (55) eğitim, % 30'u (24) sınamaya verisi olarak kullanılmıştır. Çalışmada; eğim, bakı, plan eğrisellik, yükseklik, jeomorfoloji, litoloji, faya uzaklık, nehirlere uzaklık ve yağış parametreleri kullanılarak, AHP ve CF modelleri için haritalar üretilmiştir. AUC değeri CF modeli için % 81.43 iken AHP modeli için ise % 77.80 olarak elde edilmiştir. Araştırmacılar, bu sonuca göre CF'nin daha yüksek performans

gösterdiği ve bu modelin heyelanlı alanlarda arazi kullanımı ve zarar azaltma çalışmalarında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Chen vd. [124] tarafından, CBS tabanlı heyelan duyarlılık haritası üretiminde SVM modelinin performansını Çin'in Shaanxi Bölgesindeki, Baoji Şehrindeki, Qinanyang alanında denenmiştir. Alandaki 81 heyelanın 56 adedi (% 70) eğitim, 25 tanesi de (% 30) sınaama verisi olarak ayrılmıştır. Daha sonra 15 parametre (eğim, baki, yükseklik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, NDVI, STI, SPI, TWI, jeomorfoloji, yağış ve litoloji) kullanılarak, duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu haritanın doğruluğu 4 tip Kernel fonksiyonu kullanılarak sınaanmıştır. RBF - SVM % 83.15 ile en iyi performansı verirken, diğer sonuçlar ise PL - SVM % 82.72, LN - SVM % 81.77 ve SIG - SVM % 79.99 değerleri olarak elde edilmiştir.

Colkesen vd. [125] tarafından, Trabzon ili Tonya ilçesinde seçilen inceleme alanı için heyelan duyarlılık haritasının oluşturulduğu çalışmada 2 farklı yöntemin duyarlılık haritası oluşturma aşamasındaki sonuçların, birbirlerine göre üstünlükleri araştırılmıştır. Araştırmacılar; 30 x 30 m'lik hücrelerle, MTA heyelan envanterini altlık olarak kullanarak, 39 heyelan için % 70 - % 30 eğitim - sınaama verisi şeklinde duyarlılık analizleri yapmışlardır. Çalışmada kullanılan birinci yöntem Kernel tabanlı Gaussian regresyon yöntemidir. İkinci yöntem SVM olup, bu iki yöntemin kıyaslaması ise LR metodu ile yapılmıştır. Kullanılan parametreler sırasıyla eğim, baki, yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, NDVI, eğrisellik ve TWI olup sonuç duyarlılık haritasında heyelanlar çok düşük-çok yüksek arasında 5 sınıfa ayrılmıştır. Litoloji parametresinin en etkin parametre olduğu çalışmada, GPR (Kernel - Based Gaussian Process Regression) (% 90.46) ve SVM (% 90.37) yöntemlerinin ROC değerlerinin hem yüksek hem de birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği, LR metodunun ise her iki yöntemden de yaklaşık % 18 daha düşük sonuç verdiği (% 72.26) tespit edilmiştir.

Dağdelenler vd. [126] araştırmalarında, heyelan duyarlılık haritası üretilirken, farklı örnekleme stratejileri uygulandığını belirtmişlerdir. Çoğu heyelan örnekleme stratejisi heyelanın oluşumundan önceki koşullara dair bilgileri içermektedir. Bu

çalışmada da araştırmacılar kök hücre örnekleme (seed cell) stratejisi ile çalışmalarını yürütmüşlerdir ve sonuçları heyelan alanını içeren örnekleme stratejisinin sonuçları ile kıyaslamışlardır. Gelibolu'nun (Çanakkale) doğusundaki çalışma alanında iki örnekleme yöntemi kullanılmış olup, kök hücre yönteminde farklı tampon mesafeleri (25 m, 50 m, 75 m, 100 m) ve farklı mekânsal çözünürlükle (10 m, 12.5 m, 25 m) örnekleme yapılmıştır. 1 / 25.000 ölçekli haritalarda; yükseklik, eğim, plan eğrisellik, profil eğrisellik, TWI, SPI, sediman taşıma kapasitesi indeksi parametrelerini kullanılmış olup, her iki örnekleme yöntemiyle üretilen haritaların, ROC yöntemiyle AUC değerleri kıyaslanmıştır. Farklı örnekleme ve farklı mekânsal çözünürlüklerde elde edilen AUC sonuçları; orta ölçekte kök hücre yöntemi ile heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesi için; uygun tampon mesafesinin yaklaşık 50 m olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Erener vd. [127] çalışmalarında, Artvin ili Şavşat ilçesinde seçilen alanda heyelan duyarlılık haritasını LR, MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis) ve ARM (Association rule mining) yöntemleri ile değerlendirerek, söz konusu yöntemlerin performans karşılaştırmasını yapmışlardır. Yöntemlerin özelliklerinin açıklandığı ve üstünlüklerinin kıyaslandığı çalışmada, 1 / 25.000 ölçekli MTA heyelan envanter haritası temel alınmış olup; litoloji, tektonik unsura uzaklık, yükseklik, eğim, bakı, drenaj özellikleri, arazi kullanımı, yollara uzaklık, zemin türü, toprak kalınlığı ve erozyon olmak üzere 11 parametre kullanılmıştır. Çalışma alanındaki; 238 heyelan 30 m çözünürlüklü piksellerle çalışılmış, tüm veriler raster formata çevrilerek işlemler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; LR metodu ile ARM'nin daha iyi sonuçlar verdiğini en düşük sonucun MCDA yöntemine ait olduğu belirlenmiştir. Ancak, ARM'nin çok fazla çalışmada denenmediği, yeni bir yaklaşım olduğu, bu nedenle farklı yerlerde de uygulanarak sınanması gerekliliği ifade edilmektedir.

Gorsevski vd. [128] tarafından Kuzeydoğu Ohio'nun Cuyahoga Vadisi Doğal Koruma Parkı'ndaki sığ heyelanların LİDAR ve yüksek çözünürlüklü SYM ile ANN (Artificial Neural Network) yaklaşımıyla duyarlılık analizleri yapılmıştır. Eğim, plan eğrisellik, profil eğrisellik, drenaj yapısı, yıllık güneş radyasyonu, TWI kullanılarak analizler yapılmış, heyelanlar yüksek ve düşük duyarlılık olarak 2 sınıfta

incelenmiştir. Alandaki toplam heyelanların; % 42,6'sinin çok yüksek duyarlılık sınıfına girdiği, toplam alanın % 82.68 ini kapsayan alanda da düşük heyelan duyarlılığı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada heyelanlı alanlar genel çalışma alanına göre daha küçük bir alanı kaplarken, oluşturulan haritanın park yetkililerine etkin yönetim ve planlama için yeterli olduğu ifade edilmiştir.

Hong vd. [129] çalışmalarında, Çin'in Lianhua ilinde yaşanan heyelanların 4 farklı yöntem ile duyarlılık haritası üretilerek en iyi performansın hangi yöntem ile üretildiğini açıklamışlardır. Bölgede yaşanan 163 heyelan vakasına dair çalışmalar % 70 - % 30 eğitim - sınav verisi mantığıyla çalışılmıştır. Çin'de yaşanan bazı heyelanların büyük depremlerden sonra meydana geldiği tespit edilmiş olup, çalışılan alanda daha çok yağış parametresinin heyelanları tetiklediği belirtilmiştir. Çalışmada 12 parametre için 25 x 25 m piksel aralığıyla üretilen haritalar, ArcGIS 10.0 yazılımı ile üretilmiştir. Ayrıca, çalışmada uydu görüntüleri de kullanılmış olup, en önemli verilerden birinin de, yıllık yağış verileri olduğu belirtilmektedir. Son 52 yılın yağış verileri dikkate alınarak, söz konusu parametreler ile EBF (Evidential Belief Function), FR, LR ve RF (Random Forest) Modellerinin kıyaslaması yapılmıştır. Sonuç olarak; FR ve EBF yönteminin en iyi performansı verdiği ifade edilmiştir. Çalışmada kullanılan eğim, yükseklik, bakı, topoğrafik nemlilik indeksi, eğrisellik, nehre uzaklık, faya uzaklık, yollara uzaklık, yıllık yağış, arazi kullanımı, NDVI ve litoloji parametrelerinin heyelan oluşumundaki en önemli parametreler olduğu ve bu temel parametrelerin duyarlılık analizlerinde kullanılmasının ve bunların kullanıldığı haritaların da, planlamada ve karar verme aşamasında kullanılmasının sağlıklı sonuçlar vereceği ifade edilmiştir.

Hong vd. [130] tarafından, Çin'in Jiangxi Bölgesinin batısındaki, Yuan Shyi nehrinin üst kotlarındaki Luxi alanı için heyelan duyarlılık analizlerini SVM modeli ile belirlenmiştir. Çalışmada, SVM modeli 4 farklı Kernel fonksiyonu ile ayrı ayrı haritalanmıştır. Kernel modelleri sırasıyla RBF (Radial Basis Function), PL (Polinomial), SIG (Sigmoid) ve LN (Linear)'dir. Bölgedeki 282 heyelan % 70 - % 30 eğitim - sınav verisi şeklinde, 15 faktör (yükseklik, eğim, bakı, SPI, topoğrafik nemlilik indeksi, sediman taşıma gücü indeksi, plan eğrisellik, profil eğrisellik, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, faya uzaklık, litoloji, arazi kullanımı, NDVI ve yağış) dikkate alınarak analiz edilmiştir. SVM metodu ile Kernel'in dört farklı

fonksiyonuyla ArcGIS yazılımı ile 4 heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 zondan oluşan duyarlılık haritalarının ROC değerleri kıyaslandığında SVM - PL (% 83)'nin diğerlerinden daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür. SVM - RBF (% 82) ikinci sırada yer almakta iken, SVM - LN % 70 ve SVM - SIG % 45 değerleri hesaplanmıştır.

Kumar ve Anbalagan [131]; heyelan duyarlılık haritası üretebilmek için; AHP kullanılarak Tehri Rezervuar alanında çalışmalarında; uzaktan algılama verileri ve heyelana neden olan hazırlayıcı parametreler kullanarak analizler yapmışlardır. Çalışmada jeoloji haritaları, toprak haritaları, topoğrafik haritalar yardımcı öge olarak kullanılmıştır. Arazide ise mevcut heyelanların tespiti yapılmıştır. Analizlerde kullanılan jeoloji, toprak türü, arazi kullanımı, bakı, eğim, yükseklik, drenaj ağlarına uzaklık, çizgiselliğe uzaklık, yola uzaklık, rezervuar alanına uzaklık, eğrisellik, topoğrafik nemlilik indeksi ve SPI parametrelerinden TWI ve SPI değerlerinin etkin parametreler olduğu belirtilmiştir. Heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıfta üretilmiştir. AHP yönteminin, % 78.7 oranında AUC değeri verdiği ve yöntemin başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Lorentz vd. [132] tarafından, nüfusun ve kentleşmenin yoğun olarak yaşandığı alanlarda, zemin hareketleri, erozyon, heyelan ve zeminin duyarlılık kavramının önemli olduğunu ve bu hareketler içerisinde heyelanların en çok can ve mal kaybına neden olan, kentsel genişlemeyi en çok etkileyen doğa olayı olarak değerlendirildiği belirtilmiştir. Araştırmacılar; Brezilya'da Rio De Janerio'da Ocak 2011'de dağlık alanda meydana gelen heyelana ait verileri CBS ortamında çok değişkenli analiz yöntemi ile değerlendirerek erozyon duyarlılığı, kentsel genişleme senaryosu, yer çekimine bağlı kütle hareketi oluşma potansiyeli, kentsel genişleme - heyelan ilişkilerinin ortak gösterim verilerini üretmiştir. Söz konusu verilerden itibaren üretilen haritalar; jeoloji, pedoloji, jeomorfoloji, eğim, arazi kullanımı, yağış, bitki örtüsü, yol ağları, hidrografi parametrelerini içermektedir.

Mousavi [133] çalışmasında, Kuzey İran'da Alborz Dağları'nda heyelan afetinin en çok yaşandığı bölgelerden biri olduğunu belirtmiştir. Bu bölgedeki volkanik malzemenin yamaç duraylılığı değerlendirmesi; sonlu elemanlar ve sonlu farklar

yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yamaç duraylılığı hesaplamasında limit denge analizi de gerçekleştirilmiştir. Yapılan tüm analizler sonucunda doğuya bakan yamaçlarda önemli duraylılık sorunu olduğu tespit edilmiştir.

Myronidis vd. [134] çalışmalarında, heyelanın insan hayatını, ekonomiyi ve doğanın dengesini olumsuz yönde etkileyen en önemli afetlerden biri olduğunu ve bu bağlamda Kıbrıs'da heyelanlı bir alanda AHP ve FR yöntemlerini birlikte kullanarak heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Başlangıçta 10 girdi parametresi ve bunların mLRF (Modified Landslide Relative Frequencies) değerleri belirlenmiştir. Parametrelerden en çok arazi kullanımının etkin parametre olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanının % 64.1'i yüksek duyarlılık sınıflamasındadır. Duyarlılık analizini doğruluğunu yapmak için etkin 6 parametre ve etkin 8 parametre ile LaMI (Landslide Model Indicator Index) ile yeniden analizler yapılmıştır. LaMI genellikle farklı duyarlılık zonlarında heyelan modellerinin performansını ölçmek için kullanılmaktadır. LaMI'ya göre başlangıçtaki 10 parametre, sonradan seçilen 8 ve 6 parametrelilik haritaların AUC kıyaslamasında 8 parametre ile yapılan analizlerin % 73.9 değeri ile en yüksek ve doğru sonucu verdiği tespit edilmiştir. Sonuç haritaları, LaMI ile bulunan en yüksek 8 parametre ile AHP ve mLRF'nin kombinasyonu şeklinde üretilmiştir.

Okalp ve Akgun [135]; çalışmalarında son yıllarda teknolojinin gelişmesine bağlı olarak heyelan tabanlı çalışmaların özellikle CBS analizleri kullanılarak daha kolay yapılabildiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada; henüz ülke ölçeğinde bir heyelan duyarlılık haritasının üretilmediği Türkiye'de 1 / 200.000 ölçekte 500 x 500 m çözünürlüklü SYM ile eğim, litoloji, yerel yükselti, yağış, arazi kullanımı ve sismisite parametreleri ile LSI (Landslide Susceptibility Index) yöntemi kullanılarak üst ölçek bir duyarlılık haritası oluşturulması amaçlanmıştır. Her bir parametrenin ağırlıklı değeri hesaplanarak haritalar ayrı ayrı üretilmiş olup, sonuç heyelan duyarlılık haritası heyelan yok, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıf için hazırlanmıştır. Buna göre Türkiye'nin % 36.4'ü düşük, % 8.3'ü orta, % 47.5'i yüksek ve % 3.6'sı çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Özellikle ülkenin batı ve orta Karadeniz bölgesinin heyelan potansiyenin en yüksek bölge olduğu görülmektedir.

Pathak [136] çalışmasında, dağlık alanlarda en çok görülen afet türü olan heyelanların Himalayalar'da gelişmekte olan alanlar için büyük risk oluşturduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada Hindistan'ın Chamoli - Joshimath bölgesi için heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bölgenin önemli özelliği Tibet'in önemli Hindu tapınağına giden yolun bu bölgeden geçiyor olmasıdır. Alanda metamorfik kayalar, kireçtaşı gibi karbonat kayaları yoğun olarak bulunmaktadır. Ayrıca, heyelanlar yol ve nehir kenarlarında ve aktif faya yakın alanlarda gelişmektedir. Main Central aktif fayı bölgenin jeomorfolojisini en çok etkileyen fay olup, fay boyunca birçok aktif ve paleo heyelan bulunmaktadır. Jeoformoloji, litoloji, eğim, çizgisellik yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, moloz kalınlığı ve faya yakınlık parametreleri dikkate alınarak ve her bir parametrenin ağırlık değeri ile üretilen duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Alanın % 43.24'ü düşük, % 39.21'i orta, % 8.99'u çok düşük, % 8.19'u yüksek ve % 0.38'i ise çok yüksek duyarlılık değerine sahiptir. Tarihsel heyelanlar ile mevcut sonucun karşılaştırmasında ise bir uyum olduğu, heyelana neden olan faktörlerin ve verilerin daha iyi anlaşılıp gerekli verilerin yeniden analiz edilmesi durumunda sonuçların daha iyi olabileceği ifade edilmiştir.

Patriche vd. [137] çalışmalarında, Romanya'nın doğusunda Moldovian platosu olarak bilinen alanda heyelan duyarlılık analizini BLR (Binary Logistic Regression) ve AHP yöntemleri ile yaparak en iyi sonucu hangi yöntemin verdiğini araştırmışlardır. Çalışma alanı 130 km² olup, öncelikle alanın büyük ölçekli (1 / 5.000) envanter haritası hazırlanmıştır. Söz konusu haritanın hassasiyeti, arazi gözlemleri ve alana ait orto-fotoların yorumlamalarıyla artırılmıştır. Çalışmada 86 adet heyelan 23'ü aktif ve 56'sı aktif olmayan olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir. CBS analizlerinde kullanılan tüm parametreler sırasıyla eğim, yükseklik, bakı, eğrisellik, plan eğriselliği, profil eğriselliği, drenaj ağlarına uzaklık, arazi kullanımı ve yüzey litolojisidir. Analizlerde % 50 - % 50 eğitim - sınav verisi kullanılmıştır. BLR haritasında heyelan duyarlılığı için 4 sınıf (düşük, orta, yüksek, çok yüksek), AHP ile üretilen duyarlılık haritasında ise 5 sınıf (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) bulunmaktadır. Araştırmalar sonucunda, BLR modelinin % 82.8'lik oran ile AHP modeline göre üstün olduğu görülmüştür. Ancak, araştırmacılar farklı alanlarda yapılan diğer çalışmalarda BLR - AHP kıyaslamasında AHP'nin de yüksek performanslı sonuçlar verdiğini de belirtmiş

olup, bu çalışmada elde ettikleri sonuçların çalışma bölgeleri ve kullanılan 5 temel parametreyi (yükseklik, bakı, yamaç eğimi, yüzey litolojisi, arazi kullanımı) dikkate alındığında elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca; çalışma alanı için heyelan oluşumunu destekleyen en etkin parametrelerin eğim ve arazi kullanımı olduğu, bölgenin coğrafi ve jeomorfolojik karakterinin bir sonucu olarak bu kaniya varıldığını ifade etmişlerdir.

Pineda vd. [138] çalışmalarında, dağlık alanlarda heyelan duyarlılığını etkileyen en önemli parametrelerin yükseklik ve zemin türü olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Kuzey Amerika'da Venezuela'nın kuzey kısmındaki dağlık alanda jeomorfolojik koşulları, farklı jeolojik birimlerde meydana gelen heyelanların farklı tarihlerde toplanmış heyelan envanter verilerini dikkate alarak, LR yöntemi yardımıyla 1 / 25.000 ölçekli, 20 m çözünürlüklü SYM yardımıyla, farklı uydu görüntüleri de kullanılarak duyarlılık analizleri yapmışlardır. Çalışma alanındaki jeomorfometrik parametrelerin ve bitki örtüsünün heyelan oluşumu için en etken parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Pourghasemi ve Kerle [139] tarafından, İran'da 1933 - 2007 yılları arasında 4.900 adet büyük heyelan meydana geldiği, ancak, bu sürede heyelan duyarlılık haritası üretme aşamasında çok ciddi yol alınmadığını belirtilmiştir. Bu çalışmada, RF yönteminin EBF yaklaşımıyla İran'ın kuzeyindeki Mazandaran Bölgesindeki heyelanların duyarlılık haritalaması yapılmıştır. Bölgedeki önceki heyelanlar hava fotoğrafları yardımıyla tespit edilmiş olup, güncel olanlar ise arazi gözlemleriyle doğrulanmıştır. Heyelanların % 70 - % 30 eğitim - sınav verisi şeklinde değerlendirilerek, 11 parametrenin (eğim, bakı, yükseklik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, TWI, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, faya uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı) kullanıldığı RF metodunda AUC değeri % 85.2 bulunmuştur. 11 parametreden en etken olanları ise; litoloji, yükseklik, yola uzaklık olarak belirlenmiştir. RF ve EBF yaklaşımının bölgesel ölçekteki heyelan duyarlılık çalışmalarında basit ve doğru sonuç veren bir yöntem olduğu çalışmada vurgulanmaktadır.

Pradhan ve Kim [140] çalışmalarında, Kore'de 2006 yılında yaşanan ani yağışlar nedeniyle meydana gelen heyelanların duyarlılık haritasının üretilmesini

amaçlamışlardır. Benzer çalışmalarda olduğu gibi 2 farklı yöntem ile duyarlılık haritası üretilmiş olup, bu iki modelin kombinasyonu yapılarak bir başka duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışmada; % 90 - % 10 eğitim-sınama verisi olarak kullanılan 748 heyelan çalışılmıştır. Bu heyelanların altısından örselenmiş, üçünden de örselenmemiş toprak örnekleri alınarak zemin parametre deneyleri (nemlilik, birim hacim ağırlık, yoğunluk, kuru birim hacim ağırlığı, boşluk oranı, gözeneklilik boşluğu, tane boyu dağılımı) ile örselenmemiş örneğin makaslama dayanımı deneyleri (içsel sürtünme açısı, kohezyon) yapılarak zemin parametreleri ve dayanımı tanımlanmıştır. Çalışmada heyelan duyarlılık analizi için uygulanan ilk model SMCE (Spatial Multi-Criteria Evaluation) olup, bu modelin temelini AHP mantığı oluşturmaktadır. Bu modelde 15 parametre kullanılmış olup söz konusu parametreler kendi içinde alt sınıflara ayrılmıştır. Bu alt sınıflardan;

- a. Topoğrafik faktörler; SYM oluşturularak LIDAR görüntüleri kullanılarak; eğim, bakı, yükseklik ve eğriseliktir.
- b. Hidrolojik faktörler; drenaja uzaklık, drenaj yoğunluğu, SPI, sediman taşıma gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi ve zemin drenajıdır.
- c. Zemin faktörleri; zemin türü ve zemin derinliğidir.
- d. Orman faktörleri; orman türü ve kesilmiş kerestelik ağaç türüdür.
- e. Jeolojik faktörler; jeolojik harita ve yüzeylenen granitlerdir.

Çalışmada uygulanan ikinci yöntem SHALSTAB (Shallow Landslide Stability)'da, SMCE metodunda kullanılan aynı 15 parametre ile çalışılmıştır. Sonuç olarak SMCE ve SHALSTAB modelleri FR yöntemiyle birbirlerine kombine edilerek ortaklaştırılmış bir heyelan duyarlılık haritası üretilmiş olup, haritanın AUC değeri % 79.5 olarak hesaplanmıştır.

Rabonza vd. [141] tarafından, tayfunun tetiklediği sığ heyelanların duyarlılık analizi çalışılmıştır. 8 Kasım 2013'de bu güne kadar kayıt altına alınan en güçlü tayfun olarak adlandırılan Haiyan tayfunu Filipinleri etkisi altına almış ve 2 milyar dolardan fazla hasara neden olmuştur. Tayfunun ülkede en çok etkilediği alan Leyte olup, burada aşırı rüzgâr, ani taşkın, heyelana bağlı olarak ciddi mali hasar oluşmuştur. Yöneticiler tarafından; Leyte için taşkın tehlike haritası, detaylı heyelan duyarlılık haritası yapılmış olsa ve bu haritalar kentsel gelişmede

kullanılmış olsa, hasarın bu kadar büyük olmayacağı ifade edilmiştir. Bu çalışmada yağışa bağlı bölgede meydana gelen sığ heyelanlar SINMAP yazılımı kullanılarak, 5 m çözünürlüklü Radar görüntüleri ve SYM'den yararlanılarak haritalanmıştır. Çalışmada öncelikle, 2002 - 2014 yılları arasındaki yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanıldığı SINMAP (Stability Index Mapping) yazılımında heyelan lokasyonları % 97.5 oranında tespit edilerek heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Daha sonra envanter haritası baz alınarak sığ heyelanlar için duyarlılık haritası üretilmiştir. SINMAP'e göre Leyte % 2.5 duyarlı, % 11.8 düşük, % 66.1 orta ve % 19.6 yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir.

Romer ve Ferentinou [142] araştırmalarında, Güney Afrika'da kuvaterner yaşlı KwaZulu - Natal su toplama havzasındaki 125 sığ heyelanın 4 farklı yöntem ile heyelan duyarlılık haritasını 13 parametreyi dikkate alarak hazırlamışlar ve en yüksek doğruluk oranının hangi yöntem olduğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Bölgedeki 125 adet heyelan % 86 - % 14 eğitim – sınav verisi ile analize tabi tutulmuş, AUC 0.827, 0.809, 0.748 ve 0.736 değerleri ile LR, ANN, LSI (Landslide Susceptibility Index) ve FR yöntemlerinin doğruluk derecesine göre sıralandığını tespit etmişlerdir. Çalışmada; litoloji, yükseklik, eğim, bakı, profil eğrisellik, plan eğrisellik, TWI, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, dolomitik silt ve dayka uzaklık, arazi kullanımı, yola uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Araştırmacılar ilk başta bölgenin genel özelliklerine göre seçip, kullandıkları bu 13 parametreyi daha sonra "heyelana en çok neden olan hangi parametrelerdir?" şeklinde ikinci değerlendirmeye tabi tutmuşlar ve sonucunda bu bölge için yükseklik, arazi kullanımı ve litolojinin diğer parametrelerden daha etkin olduğunu tespit etmişlerdir.

Shafique vd. [143] çalışmalarında depremin tetiklediği heyelanları 2005 Kashmir depremi özelinde açıklamışlardır. 2005'de yaşanan Kashmir depremi sonrasında oldukça fazla sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlarda ciddi bir ekonomik kayıp ve 1000 kişiden fazla can kaybı meydana gelmiştir. Araştırmacılar depremin tetiklediği bu heyelanları uzaktan algılama teknikleri ve hava fotoğraflarının yardımıyla analiz etmiş ve heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Kayıtlara bakıldığında depremin tetiklediği heyelanlara dair en eski kayıt 1789'da Çin ve 373'de Yunanistan'da meydana geldiği yönündedir.

Yakın tarihimizde ise 1999 Chi Chi, 2005 Kaşmir, 2008 Wenchuan, 2010 Haiti depremi örnek verilmektedir. Özellikle Wenchuan depremi sonrasında heyelanlar nedeniyle Kashmir depreminden daha fazla can kaybı yaşanmıştır (20.000'den fazla). Kaşmir depremi dünyanın en aktif plakalarından birinin üzerinde oluşmuştur. Plakanın yıllık hızı 34 mm/yıl olup, depremden sonra meydana gelen heyelanların çoğu Varnes sınıflamasına göre kaya düşmesi (% 71), moloz akması (% 18.8) ve akma türü hareketler halindedir. Araştırmacılar, envanter oluşturmak için uydu görüntülerinin kullanımının avantajı ve dezavantajlarını yorumlamışlardır. Çalışmada; ASTER, SPOT, Qickbird, IKONOS ve Worldview gibi uydu görüntüleri kullanmayı öngörmüşlerdir. Ancak, görüntülerdeki en önemli sorun her birinin çözünürlük değerlerinin farklı olması, temin ücretlerinin yüksek olması ve özellikle depremden sonra meydana gelen bazı heyelanların oldukça küçük olması nedeniyle bazen uydu görüntülerinde dahi ayırt edilememesidir. Diğer taraftan, uydu görüntülerinin avantajı olarak da, depremden sonra taze yüzeylerin ve bitkilerin yok olduğu taze alanların iyi analiz edilmesi halinde arazi gözlemleri ile desteklenerek daha kolay analizler yapılabilmesidir. Çalışma alanının uzun zaman boyunca defalarca farklı araştırmacılar tarafından çalışılması bir avantaj olup, bu avantajla alanın heyelan envanteri kolay bir şekilde oluşturulmuştur. Heyelan envanter çalışması; arazi gözlemleri, uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları yorumlamalarıyla desteklenmiştir. Çalışmada bölgede depremin tetiklediği en büyük kütle hareketi olarak Hattian Bala heyelanı tespit edilmiş olup 1.000'den fazla kayıp bu alanda meydana gelmiştir. Bölgede heyelana neden olan faktörler tektonik, litoloji, jeomorfoloji, topoğrafya, yağış ve antropojenik faktörler (insanların neden olduğu) şeklinde tanımlanmıştır. Topoğrafik incelemelerde yükseklik değerine dair analizler ASTER görüntülerinden yapılmıştır. Genel olarak heyelanlı alanların eğimi 25° - 40° , bazılarının ise 40° - 60° arasında meydana geldiği görülmüştür. Bakı değeri incelendiğinde heyelanların genelde güney - güneybatı yönünde geliştiği, alanların % 45'inin sık ormanlar, % 42'sinin ise çalılık niteliğindeki ağaçlarla kaplı olduğu, insanların sonradan yaptığı aktivitelerden özellikle yol yapmak amacıyla açtıkları kazıların heyelanları ciddi derecede tetiklediği, heyelanların büyük kısmının yola 50 m'lik tamponun içinde olduğu görülmüştür. Ayrıca, bölgede etkili olan muson yağmurlarının da tetikleyici etkisi de göz ardı edilmemiştir. Heyelan duyarlılık haritası oluşturulması sürecinde litoloji,

tektonizma, topoğrafya, antropojenik etkiler, yola yakınlık, derelere yakınlık, deprem ve yağış değerleri kullanılmıştır.

Son vd. [144] çalışmalarında, istatistiksel analiz modeli ve CBS ortamında etki yarıçapı kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. İstatistiksel analizlerde; eğim, baki, eğrisellik, topoğrafya, arazi kullanımı, orman yaşı, orman çapı, orman türü, zemin drenajı, zemin türü, zemin dokusu, zemin kalınlığı parametreleri dikkate alınmıştır. Etki yarıçapı kullanarak heyelan oluşma olasılığının tahmini için ve bir LSI üretmek için, FR yöntemi kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritası 0'dan 300 m'ye her 30 metrelik artış ile her etki yarıçapı oranı için üretilmiştir. 12 parametre için; 0 m, 30 m, 60 m, 90 m, 120 m, 150 m, 180 m, 210 m, 240 m, 270 m ve 300 m etki yarıçaplı 11 modelin, 240 m için olan modeldeki AUC değerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Youssef vd. [145] tarafından, Suudi Arabistan'ın güneybatısındaki Asir Bölgesinin, Wadi Itwad yerleşim alanındaki heyelanların duyarlılık analizleri FR, WoE, lofE (Index of Entropy) ve DS (Demspster Shafer) modelleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki 326 heyelanın tarihi kayıtları, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve arazi gözlem verileri ArcGIS ortamında sayısallaştırılarak analizlere başlanmıştır. Heyelanlar % 75 - % 25 eğitim - sına verisi halinde sınıflandırılarak yükseklik, eğim, yamaç uzunluğu, TWI, eğrisellik, baki, çizgiselliğe olan mesafe, yola uzaklık, akarsuya uzaklık, litoloji, yağış ve NDVI olmak üzere 12 parametre ile bahsedilen modeller kullanarak, heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. AUC değerleri FR, WofE, lofE ve DS için sırasıyla 0.813 – 0.815 – 0.800 ve 0.777 olup, haritalar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Her dört modelin hem eğitim, hem de sına verilerinin analiz sonuçları birbirlerine çok yakın çıkmış olmakla birlikte, araştırmacılar bu modellerin gelecek için arazi planlamasında ve çevresel projelerinin üretilmesinde rahatlıkla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Wang vd. [146] çalışmalarında, ANN ve WoE yöntemlerini kullanarak Çin'in Gongliu şehrinde heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Geçmiş raporlar, hava fotoları ve arazi gözlemleri sonucunda 233 adet heyelan tespit edip, bunlardan 163'ünü % 70 eğitim, % 30 ise sına verisi olarak kullanıp, eğim, baki, genel

eğrisellik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, yükseklik, akarsuya mesafe, yola uzaklık, litoloji, yağış, NDVI ve sediman taşıma indeksi parametreleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Sonuç çıktıları kıyaslandığında AUC değerleri; ANN tekniğinde % 82.51 iken, WoE tekniğinde % 77.31'dir. Sonuçları yakın olarak değerlendiren araştırmacılar, her iki modelin de heyelan duyarlılık haritalamasında başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

Wu vd. [147] tarafından, CBS teknolojisinden yararlanılarak FR, SI ve CF modellerini kullanılarak Çin'in Gansu Bölgesindeki heyelanların duyarlılık haritası üretilmiştir. Literatürden bulunan 328 tane heyelan, hava fotoğrafları ve arazi gözlemleri yardımıyla heyelan envanter haritasına işaretlenmiştir. Rastgele seçilen 230 (% 70) heyelan eğitim, 98 (% 30) heyelan ise sınama verisi olarak seçilerek 12 parametre ile heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Parametreler sırasıyla; eğim, bakı, plan eğrisellik, profil eğrisellik, yükseklik, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, NDVI, arazi kullanımı, yağış ve litoloji olup, 3 model için de duyarlılık haritası üretilip AUC eğri skorları kıyaslanmıştır. FR % 75.62, SI % 75.71 ve CF % 75.56 sonucu vermiş olup, birbirine çok yakın olan bu sonuçlara göre en iyi skoru SI modeli vermektedir. Çalışma alanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere 5 farklı sınıfta değerlendirilerek duyarlılık haritası oluşturulmuş olup, bu haritanın yer seçimi ve heyelan zararlarını azaltma konusunda karar vericilere faydalı olacağı ifade edilmiştir.

Xu vd. [148] çalışmalarında, Çin'in Gansu Bölgesindeki, Minxian-Zhangxian şehrinde 2013 yılında 5.9 büyüklüğünde meydana gelen depremden sonra oluşan 2.330 adet co-sismik heyelanın SVM ve ANN modelleri ile duyarlılık haritalamasını yapmıştır. Yükseklik, göreceli yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, yamaç pozisyonu, litoloji, PGA, muhtemel sismojenik faya uzaklık ve fay boyunca uzaklık olmak üzere 10 parametre analizlerde kullanılmış olup duyarlılık haritaları üretilmiştir. Sonuç itibarıyla SVM modelinin ANN modeline göre daha doğru sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

3.3. Heyelan Tehlikesi Hakkında Literatür Çalışmaları

Soeters ve Van Westen'e [31] göre güvenilir bir heyelan tehlike haritalamasında, heyelanlarla ilgili ayrıntılı bir heyelan envanter çalışması, hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin ayrıntılı analizi ve bunların alansal yayılımının gösterilmesi gerekmektedir. Güvenilir bir heyelan tehlike haritalaması temelde güç bir işlem olup, bu durumun temel nedenleri ise heyelan oluşma olasılıklarının büyük alanlarda ifade edilmesinde temsil edici veriye ulaşmanın son derece güç ve yüksek maliyetli olmasıdır [31]. Ayrıca, deprem ve yağış gibi tetikleyici parametreler ile heyelan oluşum zamanı arasında güvenilir ve yeterli bir veri tabanının bulunması en temel unsurlardır.

Heyelan tehlike haritalarının üretilmesi için, öncelikle heyelan envanter haritası ve hazırlayıcı parametreler kullanılarak modellenmiş ve heyelan duyarlılığının sayısal olarak ifade edildiği heyelan duyarlılık haritalamalarına gereksinim duyulmaktadır. Heyelan duyarlılığından, heyelan tehlikesine geçiş yapılırken, çalışılan alandaki heyelanların konumsal, zamansal ve boyutsal olasılıklarının tahmin edilmesi gerekmektedir [51], [149], [53], [150], [40].

Heyelan duyarlılığı ile heyelan tehlikesi arasındaki temel fark, tehlike kavramının içinde konumsal, zamansal ve boyutsal olasılıkların içerilmesidir. Heyelan tehlike haritalamalarında önemli olan bir diğer husus da, heyelanların oluşum zamanlarının (tarihlerinin) bilinmesi gerekliliğidir ki bu ülkemiz dahil pek çok ülke için koşullar göz önünde bulundurulduğunda güç bir durumdur. Heyelan oluşum zamanlarına ilişkin sağlıklı ve güvenilir verilerin az sayıda bulunuyor olması, heyelan tehlike haritalarının üretilirliğini kısıtlayıcı bir etken olarak ortaya çıkartmaktadır.

Heyelan tehlikesi ile ilgili genel değerlendirmelerden sonra yakın geçmişte bu konu ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar incelenerek 2005 – 2016 yıllarını kapsayan çalışmalar kronolojik olarak aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Guzzetti vd. [151] tarafından, 275 km²'lik alansal yayılımı olan Staffora Havzası'nda (Kuzey İtalya), 1955 ve 1999 yılları arasında çekilen hava fotoğrafı yorumlamalarından 2.390 adet heyelan için oluşturulan envanter haritalarını temel alarak, olasılık modeline dayalı bir heyelan tehlike değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada 2.243 adet alt bölgeye (haritalama birimi) ayrılan alanda, diskriminant analizi yardımıyla morfolojik, litolojik, yapısal ve arazi kullanım parametrelerini içeren tematik değişkenler oluşturularak, heyelan oluşum olasılığı elde edilmiştir. Her harita birimi, araştırma dönemindeki zaman aralıklarına göre alt birimlere ayrılarak, toplam heyelan olaylarına bölünüp, heyelan tekrarlanması olasılığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, heyelan tekrarlanmasının gelecekte de aynı olacağını varsayarak, heyelan olma olasılığını her bir harita birimi için, farklı periyotlarda Poisson olasılık modeline uyarlamışlardır.

Davis vd. [152] çalışmalarında, ABD'nin Kansas eyaletinde yer alan Missouri Nehri'ne ait bölgenin heyelan tehlike değerlendirmesini SYM ve litoloji verilerini kullanarak, LR ve ampirik benzerlik oranı (frekans dağılımlarına göre) olmak üzere iki farklı yöntem ile karşılaştırmışlardır. İki yöntemde farklı varsayımlar kullanılmasına rağmen, olasılık oranına dayanmaktadır. Bu yöntemlerden itibaren üretilen heyelan tehlike haritalarından, kısmen benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Fourniadis vd. [153] tarafından Çin'in Yangtze Nehri boyunca uzanan Wushan-Badong bölgesinin, bölgesel ölçekte uzaktan algılama verileri yardımıyla heyelan tehlike değerlendirmesinin yapıldığı çalışmada, tehlike haritaları ASTER uydu görüntülerinden üretilen parametreler ile jeolojik ve morfolojik tematik haritalar ile birleştirilerek değerlendirilmiştir. Çalışmada parametre olarak litoloji, eğim, drenaj ağına olan uzaklık, tektonik hatlarla olan uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Tehlike bölgelerini sınıflandırmada geometrik ortalamaya dayalı çoklu parametre çıkarım ve tanımlama modeli dikkate alınmıştır. Sonuçlar yüksek tehlike bölgesiyle arazi içerisinde yer alan yamaç yenilmelerinin eşleştiğini ve ASTER uydu görüntülerinin geniş ölçekte kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir. Heyelan değerlendirmesinde yer kontrolleri ve farklı heyelan tiplerine ait jeomorfolojik koşulların belirlenmesine etki eden veriler dikkate alınarak, heyelan lokasyonları ile

sınıflandırılmış yüksek tehlike bölgeleri arasında, son derece iyi bir korelasyon olduğunu belirlemişlerdir.

Neaupane ve Piantanakulchai [154] Himalayalar ve doğu Nepal içerisindeki Siwalik Tepeleri üzerinde yaptıkları çalışmada litoloji, yamaç eğimi, yamaç doğrultusu, arazi kullanımı gibi parametreler arasındaki karmaşık ilişkiyi göz önüne alarak, çok değişkenli karar verme tekniklerinden biri olan analitik ağ sürecini (ANP), heyelan tehlike zonlaması için kullanmışlardır. Himalayalar'ın bir kısmının içerisinde yer aldığı çalışma alanının potansiyel duraysızlık haritasının hazırlanmasında öncelikle ağırlıklar modelden belirlenerek, heyelan tehlike analizinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Araştırmada, çalışılacak alana dair geçmiş dönemlere ait heyelan kayıtları mevcut değilse, uzman görüşüne dayalı bir sistemin (puanlamanın) güvenilir sonuçlar verebileceği vurgulanmıştır.

Claessens vd. [155] Uganda ve Kenya sınırında yer alan Manjiya bölgesindeki 81 adet sığ heyelan özelliklerini dikkate alarak, LAPSUS - LS heyelan modeli ile heyelan tehlikesini değerlendirmişlerdir. İstatistiksel analizlerde dik konkav yamaçlar, yüksek yağış, toprak özelliklerinin yanı sıra insan etkisi heyelanları tetikleyen ana faktörler olarak dikkate alınmıştır. Heyelan tehlike haritaları oluşturulurken, kritik yağış değerleri LAPSUS - LS ve SYM ile birlikte değerlendirilmiştir. LAPSUS - LS modeli sonsuz şev modelini dikkate alan ve deterministik temelli bir yöntem olup, heyelan tehlike haritaları hazırlanırken, farklı koşullara dayalı senaryolar oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki nüfus yoğunluğu, yer kısıtlılığı ve yüksek heyelan duyarlılığı nedeniyle, bölgenin heyelan oluşumu açısından bu sorunu yaşamaya devam edeceği belirtilmiştir.

Katz ve Crouvi [156] çalışmalarında, İsrail'in kuzeyinde yer alan Zefat şehrinde gerçekleşen deprem nedeniyle tetiklenen heyelanlar için CBS tabanlı bölgesel Newmark yöntemini kullanarak, bölgenin tehlike analizini yapmışlardır. Tarihsel dönemdeki depremlerin de dikkate alındığı çalışmada, geçmiş depremlerden kaynaklı yamaç duraysızlıkları kayıtları ve haritaları ile hesaplanan düzeltilmiş

Newmark yerdeğiştirmesi ile heyelan tehlikesi analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda $M_w = 5, 6$ ve 7 büyüklüğündeki depremlerin $10, 50$ ve 100 km'den fazla uzaklıklardaki etkilerinin, heyelanları tetikleyebileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca, insan kaynaklı nedenlerin de bölgedeki heyelanların gerçekleşmesinde etkin olduğu anlaşılmıştır.

Pradhan ve Lee [157] Malezya'da yer alan Selangor bölgesi için heyelan tehlike analizini yapay sinir ağlarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bölgede yapılan tehlike analizi için eğim, bakı, drenaja olan uzaklık, litoloji ve çizgiselliğe olan uzaklık, uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü, arazi kullanımı ve yağış parametreleri ile uzaktan algılama ve CBS tabanlı diğer veriler ile bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı uygulamasıyla parametreler arasındaki önem ilişkisi ve ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Bölgede tehlike haritaları hazırlanması sürecinde eğimin, diğer faktörlerden iki kat daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar sonuçların bölgesel planlama ve değerlendirme niteliğinde kullanılabilir olduğu, ancak, daha küçük ölçekli jeolojik ve coğrafi olarak heterojen alanlarda daha az kullanışlı olacağına dikkat çekmişlerdir.

Zolfaghari ve Heath [158] çalışmalarında büyük alanlarda heyelan tehlike değerlendirilmesi için CBS temelli bir yöntem uygulamışlardır. Çalışma alanlarındaki doğal yamaçların heyelan tehlike değerlendirmesi için toprak özellikleri, yeraltısuyu seviyesi, deprem ve dış yükler göz önüne alınarak doğrusal olmayan yenilme zarfı ile yamaçların güvenlik katsayısı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Tüm bu hesaplamalar olasılığa dayalı yaklaşım (Monte Carlo simülasyon tekniği) kullanılarak, farklı senaryolar altında, yamaçların değişen parametrik koşullarda nasıl bir davranış göstereceği irdelenmiştir. Araştırmacılar, bölgenin çok düşük sismik etkinlik göstermesine rağmen, depremin bölgede etkin olabileceğini ve yeraltısuyu seviyesindeki değişmelerin, heyelan tehlikesini arttıracadıını belirlemişlerdir. Sonuç itibariyle, kullanılan yöntemin muhtemel heyelanların, yeri ve büyüklüğünü belirlemede, zaman açısından önemli bir kazanım sağladığı da vurgulanmaktadır.

Budetta vd. [159] tarafından, Cilento (İtalya) bölgesinde yer alan ve yaklaşık 118 km'lik bir kıyı hattı boyunca uzanan kayalıkların ve kıyısız yamaçların heyelan tehlike zonlamasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışma alanlarında çoğunlukla kaya düşmesi ve kaymaların geliştiği, dalgaların kıyılardaki etkileri nedeniyle, kıyı boyunca bazı heyelanların tetiklendiğini vurgulayan araştırmacılar, 154 adet yamacın analizini, jeomorfolojik, jeolojik ve yapısal özellikleri ile analiz ederek, Kaya Mühendislik Sistemi (RES) yöntemine dayalı bir tehlike değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada uygulanan yöntemin, bölgedeki heyelan ve deniz fırtınalarına karşı korunma ve bölgesel planlamalarda, hızlı ve kullanışlı sonuçlar verdiğini ifade eden araştırmacılar, jeoteknik ve jeomekanik verilerin elde edilmesiyle, yöntemin çok daha faydalı olacağı ifade etmişlerdir.

Corominas ve Moya [150] çalışmalarında, heyelan tehlike analizleri değerlendirmesinin heyelan riskinin hesaplanmasında ana faktörlerden biri olduğunu ifade ederek, bu konuda temelde iki yaklaşımın mevcut olduğunu belirtmektedirler. Bunlardan ilki, bir şevin yenilme olasılığının veya yeniden aktivite kazanmasına dayanan yöntemdir. Diğer yöntem ise, geçmişte meydana gelen heyelan frekanslarının istatistiksel olarak değerlendirmesini temel alan yaklaşımdır. Heyelan tehlikesinin sayısal olarak hesaplanmasında, çalışma alanına ilişkin güvenilir heyelan envanterlerine gereksinim duyulduğunu belirten araştırmacılar, heyelan tehlike zonlamasında, ikinci değinilen yaklaşımın daha güvenilir sonuçlar verdiğini ifade etmektedirler. Frekans hesaplamasına dayalı bu yaklaşımın, tekrar eden tetikleyici etkisiyle dikkate alınarak, heyelan tehlike analizleri yapılabilir. Büyüklük – frekans ilişkisine dayalı bu yaklaşımda, hem tehlike, hem de riskin kantitatif değerlendirmesi için temel oluşturulmaktadır. Kantitatif heyelan tehlike analizi, geçmiş heyelanların büyüklük - frekans ilişkisine dayanmakta olup, bu yaklaşımın en büyük avantajı, potansiyel heyelan kaynağının duraylılık koşullarının değerlendirilmesine gerek kalmadan, tehlike analizlerinin yapılabilmesidir. Araştırmacılar, heyelan frekansına dayalı tehlike değerlendirmelerinin, konumsal olarak değerlendirilebileceği, bunun ya heyelan lokasyonlarıyla, ya da tetikleyici etkenin analiziyle yapılabilmesiyle belirtmişlerdir.

Dahal vd. [160] yağışlar tarafından tetiklenen heyelanların tehlike tahmin modellemesi için, Nepal'de yer alan Lesser Himalaya Kathmandu Vadisi'nde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. CBS temelli bir modelleme yapılan çalışmada, yamaç eğimi, bakı, drenaj ağlarına uzaklık gibi parametrelere ait tematik haritalar hazırlanarak, olağandışı yağış olayları ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada, diğer yaklaşımların aksine zamana yönelik heyelan verileri bağımsız olarak modellenerek kullanılmış ve % 80 oranında başarılı tahmin oranı elde edilmiştir. Çalışmada heyelan tehlikesi için hazırlanmış sonuç haritasında yeni ve daha eski heyelanların tehlike oranları birleştirilerek, çalışma alanı için % 88.4 başarı oranıyla heyelan oluşumları tahmin edilmiştir.

Harp vd. [161] çalışmalarında, Honduras ve Mikronezya bölgelerinde yağışın tetiklediği heyelanların tehlike analizlerinde veri eksikliği olmasına karşın, olay temelli heyelan tehlike haritaları üretmişlerdir. Güvenilir tehlike haritalaması yapılabilmesi için doğru haritalanmış heyelan envanter haritalarının, yamaç eğim haritalarının ve yamaçların malzeme dayanım özelliklerine gereksinim duyulduğunu belirten araştırmacılar, herhangi bir tetikleyici etmeden ötürü meydana gelen heyelanlar haritalanabilirse, tehlike analizinin yapılmasının son derece kolay bir işlem olduğunu vurgulamaktadırlar. Alanda, farklı hidrolojik senaryolar dikkate alınarak, yamaç duraylılığı analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gelecekte meydana gelmesi muhtemel aşırı yağışlar sonucunda karşılaşılabilecek etkilerin, tahmin edilebileceği ve daha fazla veriye ulaşılması sonucunda, daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir.

Pradhan [162] çalışmasında, CBS ve Uzaktan Algılama verilerini kullanarak, Malezya'da yer alan Penang, Cameron ve Selangor bölgelerinde, çok değişkenli lojistik regresyon yönteminin çapraz doğrulama yöntemi ile heyelan tehlike analizini gerçekleştirmiştir. Tetikleyici parametre olarak yağışın kullanıldığı çalışmada hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Heyelan duyarlılığı için eğim, doğrultu, drenaja uzaklık, çizgiselliklere olan uzaklık, toprak tipi, yer örtüsü, yağış verileri gibi parametreler kullanılarak lojistik regresyon yöntemi ile heyelan tehlike değerlendirmesi yapılmıştır. Modelin güvenilirliğinin

ölçülmesi için, üretilen haritalar, heyelan lokasyonları ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Hadji vd. [163] kuzeydoğu Cezayir'de yer alan Souk Ahras bölgesindeki çalışmalarında; jeolojik, topoğrafik ve iklimsel faktörleri esas alarak, heyelan tehlike değerlendirmesinde LR yöntemini kullanmışlardır. Tetikleyici parametre olarak yağışa ait 1981 - 2011 yılları arasındaki değerler dikkate alınarak, heyelan oluşumları ile yağış arasında ilişkinin varlığı ortaya konulmuştur. Heyelan lokasyonları; saha çalışmaları ve hava fotoğraflarından belirlenmiş olup, bölgede gerçekleştiği bilinen heyelanlar ile aylık yağış verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada yükseklik, yamaç eğimi, bakı, litoloji, yollar, nehir ve ormanlık alanlar ile plüviyometre ölçümlerinden yağış veri setleri kullanılmıştır. Özelliklerine göre her parametrenin ilgili oranlamaları yapılarak, CBS formatında her bir veri katmanı hazırlanmıştır. LR yöntemi uygulanarak heyelan oluşumu değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının güvenilirliğinin anlaşılması için heyelan lokasyon haritalarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda jeoteknik özelliklerin ve yer altı suyu koşullarının parametrelere eklenmesiyle daha geniş çaplı bir araştırmanın yapılması gerekliliği belirtilmiştir.

Martha vd. [164] Hindistan Himalayalarında bulunan, Nilgiris, Ranchi Plateau, Ghats bölgeleri için uzaktan algılama verilerinin yarı otomatik heyelan envanter çıkarımında kullanıldığı çalışmalarında, heyelan tehlike ve kısmen de risk çalışması yapmışlardır. Tehlike değerlendirmesi, 13 yıla (1997 - 2009) ilişkin farklı uzaktan algılama verileri kullanılarak oluşturulan zamansal heyelan envanterlerini, IRS - 1D, Cartosat - 1 ve Resourcesat - 1 uydu görüntüleri kullanarak oluşturulmuştur. Tehlike analizleri için yağış verilerini dikkate alınarak, Gumbel frekans dağılımlarının analizini gerçekleştiren araştırmacılar, piksel tabanlı bir çalışma yapmak yerine, alt havzaların kullanımı bu tür çalışmalarda daha uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, öncelikle bölgeye ilişkin heyelan duyarlılık haritasını yüksek, orta ve düşük sınıflara ayırarak üretmişlerdir. Her bir yıl için mevcut envanter haritasındaki heyelanların alansal yayılımını, duyarlılık alt grup alanına oranlayarak konumsal olasılığı hesaplamışlardır. Son olarak; 50, 100,

150 ve 200 mm yağışa bağlı senaryolar üreterek, Poisson dağılımına bağlı tehlike hesaplaması yapmışlardır. Çalışmanın sonunda, nüfus ve önemli yapılar da dikkate alınarak, risk hesaplaması da dikkate alınmıştır.

Rajabi vd. [165] tarafından Newmark yönteminin temel alındığı çalışmada, İran'ın Alborz Dağı bölgesinde yer alan sismik aktivite ile tetiklenen heyelanların tehlike analizi yapılmıştır. Sismik aktivite sonucunda tetiklenen heyelanların tehlike analizlerinin yapılmasının, can ve mal kayıplarının azaltılması konularında önemli yararları olacağını vurgulayan araştırmacılar bölgesel heyelan tehlike analizlerinde, Arias Şiddetini (I_a) hesaplanmasına dayalı yöntemi uygulamışlardır. Bu çalışmalarda vurgulanan, hesaplanan I_a değerlerinin 0.11 m/s ve 0.32 m/s'yi geçtiği durumlarda, sırasıyla kaya düşmesi, kaya çığları gibi heyelan grupları ile dairesel yenilme, blok kaymaları ve toprak akmaları gibi heyelan gruplarının tetiklenebileceğini belirtilmektedirler. Çalışma sonucunda yöntemin kısıtlamaları olarak; jeoteknik parametrelerine ait verilerin yetersizliği, düşük eğimli yamaçlarda Newmark modelinde tetikleyici mekanizmaların yeterli temsil edilmeyişi, alanın genişledikçe hata oranının yükseldiği vurgulanmıştır. Çalışmanın öncül olduğu belirtilip, daha fazla parametre ve veriyle, daha küçük alanlara odaklanılarak çalışılması gerektiği önerilmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar, bölgesel tehlike değerlendirmelerinde yöntemin rahatlıkla kullanılabilmesi de belirtilmektedir.

Luca vd. [166] çalışmalarında, İtalya'nın Sorrento bölgesine ait heyelan tehlike haritaları oluşturulması için jeomorfolojik, jeolojik özellikleri ile istatistiksel ve nümerik simülasyonları birleştirerek, moloz akmaları için tehlike değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada uygulanan yaklaşımın, en önemli avantajının, kantitatif heyelan tahmini sağlaması, farklı istatistiksel hipotezler ve koşulları göz ederek, farklı heyelan tehlike senaryolarının haritalanmasına elverişli olmasıdır. Bölgedeki piroklastik örtünün kalınlığı geçmiş heyelanların sıklığı ile ilişkilendirilerek, heyelan büyüklüğünün gerçekleşme olasılığı istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Araştırmacılar, tehlike analizlerinde tarihsel verilerin göz ardı edilmemesi gerektiğini ve elde edilen yeni verilerle hesaplanmanın tekrarlanması önemini vurgulamışlardır.

Raghuvanshi vd. [167] Etiyopya'nın kuzeyindeki, The Wurguessa bölgesinde heyelan tehlike analizi yaptıkları çalışmalarında, tamamıyla öznel, fakat hemen hemen heyelan tehlike değerlendirmelerinde dikkate alınabilecek tüm parametreleri dikkate alarak bir değerlendirme yapmışlardır. Tehlike analizinde dikkate aldıkları parametreleri, hazırlayıcı (şevin geometrisi, malzeme özellikleri, süreksizlikler, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve yeraltısuyu) ve tetikleyici parametreler (sismisite, yağış ve insan etkisi) olarak göz önünde bulundurmuşlardır. Yamaç duraysızlığına etki eden hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerin sayısal derecelendirilmesi için, uzman görüşü temelli puanlama sistemi temel alınmıştır. Yöntemde en yüksek derecelendirmeyi duraysızlığa en çok etki eden faktör almıştır. Oluşturulan heyelan tehlike haritaları ile gerçek aktif heyelan verileri karşılaştırılmış, bölgedeki aktif heyelanların 14'ünden 6'sının çok yüksek heyelan tehlike bölgesinde, aktif heyelanların ise yüksek tehlike bölgesinde yer aldığı belirlenmiştir. Araştırmacıların kullandıkları yöntemin bölgedeki heyelan tehlikesini iyi bir şekilde yansıttığı ve uygulanabilir özellikte olduğu belirtilmektedir.

Wu vd. [168] çalışmalarında, Güneydoğu Çin'de yer alan Zhejiang bölgesinde heyelan tehlike değerlendirmesi yapmışlardır. Hazırlanan heyelan duyarlılık haritaları için MAPGIS adını verdikleri bir sistem kullanarak, IME (Information Matter Element) modeli ile litoloji, yapısal jeoloji, yamaç eğimi, yeraltısuyu gibi parametreleri bu sistemde derlemişlerdir. Yağış verisi, yağış miktarı ve yağış yoğunluğu değerleri, efektif yağış modeliyle hesaplanarak, efektif yağış ile geçmiş heyelan kayıtları birleştirilerek, yağış eşiği haritaları elde edilmiştir. Çalışmada, Ağustos 2004'te gerçekleşen Yunna tayfunu ile elde edilen tehlike haritalarının karşılaştırılmasıyla uygulanan yöntemin tatmin edici sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bu çalışmanın en önemli unsuru, bir "erken uyarı" haritasının oluşturulmuş olmasıdır. 5 farklı uyarı seviyesinden oluşan harita, heyelan tehlike haritası ile yağış eşik haritalarının çarpımından elde edilmiştir. Çalışmada uygulanan etkin yağış modeli, bölgesel değerlendirmeler için son derece kullanışlı bir model olarak ortaya çıkmaktadır.

Hong vd. [169] araştırmalarında, Çin'de Yihuang bölgesinde yeni bir metodoloji sayılan iki sınıflı KLR, ADT (Alternating Decision Tree) ve SVM yöntemlerini kullanarak heyelan tehlikesinin mekânsal dağılımını tespit etmişlerdir. Söz konusu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlüklerinin çalışıldığı çalışmada, 187 heyelan analiz edilmiş olup, bunlardan % 70 - % 30 eğitim - sınamaya verisi olarak kullanılmıştır. Analizlerde; eğim, bakı, yükseklik, topoğrafik nemlilik indeksi, SPI, sediman taşıma gücü indeksi, plan eğrisellik, arazi kullanımı, NDVI, litoloji, yola uzaklık, faya uzaklık, akarsulara uzaklık ve yağış parametreleri kullanılmıştır. İnceleme bölgesi sub-tropik iklimin hakim olduğu, heyelanların topoğrafik özellikler nedeniyle meydana geldiği, herhangi bir tektonik unsurun tetikleyici olmadığı bir alan olup, alanda tarihi kayıtlara göre 2.421 kişi günümüze kadar heyelandan etkilenmiş, heyelanlar nedeniyle 3 milyon dolar mali hasar meydana gelmiştir. Çalışmada; 1 / 50.000'lik haritadan 25 x 25 m çözünürlüklü SYM üretilerek, 131 eğitim, 56 sınamaya verisi olan heyelanlarla yapılan analizlere göre, ADT modeli diğerlerine göre daha doğru sonuçlar üretmiştir.

Lee vd. [170] çalışmalarının amacı, tetikleyici faktör olarak yağış olasılığını göz önünde bulundurarak heyelan tehlikesinin lojistik regresyon modeli ile değerlendirilmesidir. Çalışma alanı olarak Güney Kore'de Inje'nin Deokeokri ve Karisanri bölgesi seçilmiştir. Çalışma alanındaki yağış değişimlerinin kantitatif tahmini için yağış olasılığı Gumbel dağılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Daha sonra, heyelanların günlük 202 mm veya 3 günlük 449 mm kümülatif yağışlar tarafından tetiklendiği varsayılarak çalışma alanındaki heyelanların gelecek 1, 3, 10, 50 ve 100 yıllık periyotlar için 15 parametre kullanılarak gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır. Her iki bölgenin de heyelan tehlike haritası üretilmiş ve bir bölge için belirlenen lojistik regresyon katsayıları diğer bölgeye uygulanarak yöntemin doğrulaması yapılmıştır. Araştırmacılar, Karisanri bölgesindeki kayıt altındaki heyelanları model doğrulaması için kullanmış ve doğrulama sonuçları Karisanri'de 202 mm günlük yağış eşik değeri için doğrulama sonuçları % 79.14 ortalama kesinlik gösterirken, 449 mm 3 günlük kümülatif yağış eşik değeri için ise % 81.31 ortalama kesinlik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yi-min vd. [171] çalışmalarında, Çin'in, Shaanxi Bölgesindeki Yan'an şehrinde Loess Platosunda afet yönetimini daha sağlıklı yapabilmek için heyelan tehlike haritası üretilmesine ihtiyaç duyulduğunu ifade etmişlerdir. Heyelanın gelişimine neden olduğu düşünülen yükseklik, eğim, bakı, morfoloji, kaya/zemin malzemenin yapısı ve NDVI olmak üzere 6 parametre için 25 x 25 m'lik çözünürlükte SYM ile SPOT - 5 uydu görüntüleri de kullanılarak, NB sınıflama yöntemi ve NBU (Unknown Naive Bayes) sınıflama yöntemi ile heyelan tehlike haritası oluşturulmuştur. İnceleme alanındaki 293 adet heyelandan 196'sının eğitim, 97'sinin ise sınaama verisi olarak analize sokulduğu heyelan tehlike haritası çalışmasında AUC değerleri; NBU metodu için % 87.29 iken NB için % 82.47'dir.

Bourenane vd. [172] çalışmalarında, Cezayir'in Constantine kentinde heyelanların sıkça görüldüğünü belirtmişlerdir. Şehrin gelişimi ve kentsel planlamanın sağlıklı yapılabilmesi için heyelan potansiyelli alanların tespiti ve heyelan tehlike haritalarının yapılmasının (LHM) etkin afet yönetimi için oldukça önem arz eden bir konu olduğu ifade edilmiştir. Heyelan tehlike haritası oluştururken FR, Wf, LR, WoE ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. Şehrin 1 / 10.000 ölçekli heyelan envanter haritası; hava fotoğraflarından, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden, arazi gözlemleri ve literatür taramalarından yararlanılarak oluşturulmuştur. 8 heyelan parametresi dikkate alınarak (eğim, bakı, litoloji, yağış, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, yola uzaklık ve faya uzaklık) FR, Wf, LR, WoE ve AHP modelleri için CBS tabanlı LHM oluşturulmuş ve AUC eğrisi ile bu yöntemlerin birbirlerine göre performans kıyaslaması yapılmıştır. FR yöntemi % 86.59 ile en yüksek ROC değerine sahipken, WoE % 82.38, AHP % 77.86, Wf % 77.58 ve LR % 70.45 değerlerini vermiştir.

3.4. Heyelan Riski Hakkında Literatür Çalışması

Heyelan, risk analizlerinde kullanılan verilere ulaşmak ve bunların güvenilirliğini değerlendirmek de son derece güç bir işlemdir. Bu nedenle, literatürde risk değerlendirmelerine yönelik uygulamalara daha az rastlanmaktadır [173]. Risk çalışmalarının dayanağı, heyelan envanteri olup buradan heyelan tehlike

senaryoları ile hasar görebilirlik ve risk altındaki elemanlar dikkate alınarak risk analizinin yapılması gerekmektedir.

Aşağıdaki paragraflarda 2000 – 2016 yılları arasında heyelan risk değerlendirmesi konusunda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmaya ait kronolojik olarak yapılan değerlendirmeler sunulmaktadır.

Guzzetti [174], 1279 ve 1999 yılları arasında İtalya’da meydana gelmiş, can ve mal kaybına yol açan tarihsel ve mevcut heyelanları, farklı veri kaynakları kullanarak derlemiş ve tüm İtalya’nın heyelan veri tabanının oluşturulmasında önemli katkılar sağlamıştır. Derlenen arşiv verilerine göre, 840 adet heyelanın sonucunda 10.000 civarında kişinin hayatını kaybettiğini belirten araştırmacı, özellikle Alp’lere yakın olan Kuzey İtalya bölgesinde, heyelanların daha fazla can kaybına yol açtığını belirtmiştir. Kanada, Japonya, Çin ve Hong Kong verileri ile İtalya verilerini karşılaştıran araştırmacı, İtalya’da heyelanların sonbahar aylarında daha fazla geliştiğini istatistiksel olarak ortaya koymuştur. Özellikle hızlı hareket mekanizmasına sahip kaya düşmesi, kaya kayması ve moloz akması türündeki heyelanların, can ve mal kayıplarında daha etkin olduğunu ifade etmiştir. Risk açısından temel kavramlar üzerine bir derleme çalışması yapan Guzzetti, heyelan - sonuç ilişkilerini yukarıda değinilen diğer ülke verileriyle karşılaştırmış, İtalya’daki durumun Kanada ve Hong Kong’dan kötü olduğu, Japonya ve Çin’den ise daha iyi olduğunu, yine istatistiksel olarak ortaya koymuştur. Diğer afet türleriyle heyelanların sonuçlarını da karşılaştıran araştırmacı, İtalya’nın heyelan riski açısından Avrupa’nın en yüksek heyelan riskine sahip ülkesi olduğu sonucuna varmıştır.

Rautela ve Lakhera [175] çalışmalarında, Himachal Himalaya’larındaki (Hindistan) Giri ve Tons nehirleri arasında kalan alanın heyelan riskini; saha çalışmaları, uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarından yararlanarak, heyelanların bölgede yaşayan insanlara olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, 1991 yılına ilişkin nüfus sayımı sonuçlarını kullanarak, heyelanların bölgede yaşayan insanlara olan etkilerini ortaya koyulmuştur. Hasar görebilirlik konusunda sadece nüfus

yoğunluğunu dikkate alan araştırmacılar, yamaç eğimi, bakı, litoloji, tektonik unsurlar, drenaj ağı ve arazi kullanım parametrelerini kullanarak heyelan tehlikesini hesaplamışlardır. İstatistiksel indeks yöntemi ile duyarlılık / tehlike haritası üretilmiş, risk altındaki elemanlar olarak nüfus yoğunluğu, ekonomik etki ve emlak değerlerini dikkate alarak, bölgenin risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Vaunat ve Leroueil [176] tarafından; hareket türü, malzeme türü, yenilme zamanı (öncesi, yenilme anı, yenilme sonrası ve yeniden aktivite kazanması) parametreleri dikkate alınarak üç boyutlu bir matris çözümlemesi yaklaşımıyla risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada özellikle yenilme sonrası aşaması üzerinde durularak, jeolojik özellikler ile ilişkilendirilen bir matris çözümlemesi önerilmektedir. Araştırmacılar, karmaşık matematiksel işlemlerin önerdikleri yöntemin önemli bir kısıtlaması olduğunu vurgulayarak, envanter çalışmaları, tehlike tahmini, tehlike değerlendirmesi ve riskin ortaya konulmasına yönelik aşamaları ayrıntılandırarak, enerji dengesi ve mobilite indeksi kavramlarını tanımlamışlardır. İlgili indeksler matematiksel çözümlerle açıklanmış olsa da, bu çalışmanın literatürde yaygın olarak dikkate alınmadığı görülmüştür.

Leiba vd. [177], Avustalya'nın Cairns bölgesindeki yaptıkları çalışmalarında, acil afet yönetimi için heyelan risk değerlendirmesi yapmışlardır. Büyüklük - tekrarlama ilişkisinden faydalanarak, heyelan tehlikesini sayısal olarak hesaplayan araştırmacılar, temel ve toplam risk adı altında olmak üzere, iki farklı risk hesaplaması yapmışlardır. Bölgede gereken önlemlerin alınmadığı takdirde, çalıştıkları alan için her ne kadar risk değeri güncel olarak düşük olsa da, riskin zamanla artış eğiliminde olduğunu ifade etmişlerdir. Bölgedeki taşkın potansiyelinin de yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Alınması gereken önlemlerin taşkın olasılığını da dikkate alarak gerçekleştirilmesini öneren araştırmacılar, öncelikle heyelan haritalama ve envanter çalışmalarına değinerek, daha sonra tür, zaman ve büyüklük değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. Alt yapı ve üst yapı elemanları ile nüfus parametrelerini kullanarak, çalıştıkları alana ilişkin risk değerlendirmesini sunmuşlardır.

Sassa vd. [178] tarafından, Tokyo (Japonya) yakınlarındaki iki büyük metropol olan Tama ve Nikawa'da gerçekleştirilen çalışmada, hızlı gelişen ve yayılma zonu uzun olan moloz akması türündeki heyelanların, iki kentteki yerleşimler için son derece büyük tehlike arz ettiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, depremler tarafından tetiklenen heyelanlara ilişkin heyelan risk değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Dünyada nüfus yoğunluğunun fazla olduğu birçok bölgenin, Japonya'da olduğu gibi heyelan riski ile karşı karşıya kaldığını belirten araştırmacılar, sözü edilen iki büyük metropolün deprem ve sivilaşma afetlerinden etkilendiğini, aynı zamanda deprem tarafından tetiklenen heyelanlar sonucunda da önemli zararların ortaya çıktığını vurgulamışlardır. Risk değerlendirmesini yerleşimlere ilişkin gerçekleştiren araştırmacılar, cadde / sokak bazında risk hesaplamalarını Rapid / LS yazılımı ile gerçekleştirmiş olup, farklı senaryolar ve sonuçlarını bu yazılımla modellemişlerdir.

Lateltin vd. [179] tarafından, İsviçre'nin alansal olarak % 6'lık bir kesiminin, şev duraysızlıklarına maruz kaldığını ifade edilerek, federal yönetimlerce yasal bir zorunluluk haline getirilen heyelan zonlama haritaları ile bunlara bağlı olarak ulusal düzeyde bir risk yönetimi planı hazırlanması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, ülkedeki çığ afeti için de kullanılan yöntemle benzer şekilde, kırmızı, mavi ve sarı ile zonlandığı ve heyelan tehlikesinin farklı derecelere ifade edildiği bu zonlamada, ülkedeki 26 kanton için çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu zonlamaya göre, kırmızı zonda hiç bir şekilde yapılaşmaya izin verilmediği, mavi zonda önlem yapıları ile yapılaşma olabileceği, sarı zonda ise herhangi bir önlem gerekmediğine vurgu yapılarak, bu tür haritaların üretilmesinin bir zorunluluk olduğunun altı çizilmiştir. Çalışmada, yerel halkın heyelan zonlama konusunda mutlaka bilinçlendirilmesinin, risk yönetimi açısından oldukça önemli olduğunu ifade etmektedirler.

Shou ve Chen [180], Li-Shan (Tayvan) heyelanının mekânsal risk analizini limit denge analizi ve Monte Carlo simülasyonu ile çözümledikleri çalışmalarında, risk değerini, şevlerin yenilme olasılığı olarak dikkate almışlardır. CBS'nin, yüzey topoğrafyası, yeraltı malzeme (litoloji) dağılımı ve yeraltısuyu seviyesi gibi

parametrelerin mekânsal dağılımı modellemesinde yardımcı olduğunu ifade eden araştırmacılar, limit denge analizleri ile yenilme olasılığı hesaplamasını, ortamsal belirsizlikleri de dikkate alarak gerçekleştirmişlerdir. Monte Carlo simülasyonu ile güvenlik katsayısı değerinin değişimini dikkate alarak, çalıştıkları alan için olasılık temelli bir heyelan risk haritası üretmişlerdir. Bölgenin yağışlardan etkilendiğini ve yağışlar nedeniyle heyelanların tetiklenebileceğini ve bu olasılığın da son derece yüksek olduğunu belirten araştırmacılar, bölgede jeoteknik açıdan alınabilecek bazı heyelan önlem çalışmalarına da değinmişlerdir.

Chung [181], heyelan tehlike analizlerinin en önemli aşamasının meydana gelecek olan heyelanların tahmin edilmesi aşaması olduğunu vurgulamıştır. Araştırmada, tahmin işleminin iki aşamalı olarak yapılmasını, öncelikle, göreceli heyelan tehlike haritalamasının, daha sonra da ampirik olasılık dağılım modellemesinin yapılmasının gerekliliği açıklanmıştır. Ayrıca, heyelan tehlike ve risk çalışmalarında veri kalitesi ve güvenilirliğinin son derece büyük öneme sahip olduğu belirtilerek, 50 km²'lik bir alansal yayılımı olan La Baie (Quebec, Kanada) bölgesinin heyelan riskini modellemiştir. Ölçek etkisinin de bu tür haritalama çalışmalarında önemli olduğunu vurgulayan araştırmacı, gelecekte farklı yöntemlerle bu tür çalışmaların sayısının artacağını ifade etmiştir.

Kunlang vd. [182] çalışmalarında, Çin'in Yongjia bölgesinde heyelan tehlike ve risk modellemesi gerçekleştirmişlerdir. MapGIS platformu kullanarak heyelan tehlike bilgi sistemi ile entegreli çalışan bir gerçek zamanlı uyarı sisteminin dikkate alındığı çalışmada, heyelan tehlike tahmininin yanı sıra, hasar görülebilirlik ve ekonomik risk de değerlendirilmiştir. Çalışmada, heyelan literatürü dikkate alındığında, önemli teknolojik ve bilimsel gelişmelerin kaydedildiğini, ancak erken uyarı sistemleri için aynı durumun geçerli olmadığı vurgulanmaktadır. Araştırmacılar bu durumun, tetikleyici unsurlar olan yağış ve deprem verilerindeki eksiklikler, kaliteli veri olmaması ve yöntemsel bazı eksikliklerden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Saldivar-Sali ve Einstein [183], Filipinler'in Baguio bölgesinde heyelan risk puanlamasına yönelik bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmalarının, nüfus ve sanayileşmenin geliştiği bölgelerde kullanılabilir bir yöntem olduğunu belirten araştırmacılar, heyelan tehlikesini jeoloji, eğitim ve bitki örtüsü ile derecelendirerek sınıflandırmışlardır. Riski ise, nüfus ve arazi kullanımı dikkate analiz etmişlerdir. Çalışmada, kullanılan öznel puanlama sisteminin diğer alanlara özgü koşulların uzmanlar tarafından yorumlanmasından sonra uygulanabilir olduğu ifade edilmektedir.

Fell vd. [53], [54] Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk zonlamasının arazi kullanımı veya bölgesel gelişme planlamalarında ne şekilde kullanılması gerektiği üzerine konuyla ilgili temel kaynak sayılabilecek bir çalışmaya imza atmışlardır. JTC -1 (The Joint International Societies Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes) tarafından standartlaştırılan heyelan duyarlılık, tehlike ve risk modellemelerini ayrıntılı olarak irdeleyen Fell vd. [53], [54], mevcut yöntemleri, kullanılan parametreleri ve yaklaşımları derlemişlerdir. Heyelan literatürü için kullanılan terminoloji ve kavramları güncelleyerek, çalışmalarını konuyla ilgili bir kılavuz haline getirmişlerdir. Heyelan envanter haritalamalarından başlayarak, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının ne şekilde ve hangi ölçütler dikkate alınarak yapılması gerektiğini irdeleyen araştırmacılar, konuyla ilgili en önemli hususun, sağlıklı ve güvenilir heyelan envanter haritaları ile bunlara bağlı özelliklerin yansıtıldığı veri tabanlarının oluşturulması olduğunu vurgulamışlardır.

Remondo vd. [184] tarafından, Bajo Deba (İspanya) bölgesinde sayısal risk değerlendirme çalışmalarında, tehlike, hasar görülebilirlik ve risk altındaki elemanlar dikkate alınmıştır. 50 yıllık bir süreçte heyelan meydana gelme olasılığını hesaplayan araştırmacılar, risk değerini € / piksel / yıl olarak doğrudan belirlemişlerdir. Bu şekilde uygulanan bir yaklaşımla, Bajo Deba bölgesinin 50 yıllık süreçte heyelanlar nedeniyle yaklaşık 2.4 milyon €'luk bir kayba uğrayacağı tahmin edilmiştir.

Zezeze vd. [185], Lisbon (Portekiz) bölgesinde seçilen 20 km²lik bir alanda olasılıklı heyelan risk analizini gerçekleştirerek, yollar ve binalara yönelik bir değerlendirme yapmışlardır. Analizlerde temel bileşenler; heyelan tehlike haritası, risk altındaki elemanlar ve hasar görülebilirlik kavramlarıdır. Heyelan tehlikesi olasılık temelli olarak, sığ, düzlemsel ve dairesel heyelanlar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bölgedeki heyelanların yağışlar tarafından tetiklendiği belirtilen araştırmacılar, yağış tekrarlama periyotları bilindiği takdirde, sağlıklı bir tehlike değerlendirmesinin yapılabileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada, risk altındaki eleman olarak, bölgedeki yollar ve binaları dikkate almışlardır. Portekiz Sigorta Enstitüsü'nden çalışılan alandaki risk altındaki elemanlara ilişkin mali değerleri alan araştırmacılar, sonuç risk haritalarının özellikle yerel yönetimler ve karar vericiler için son derece önemli olduğunu ve risk yönetim çalışmalarının, ancak bu tür haritaların üretimi ile mümkün olabileceğini vurgulamışlardır.

Lee ve Chen [186], Tayvan'da yağışlar tarafından tetiklenen heyelanların risk modellemesi üzerine yaptıkları çalışmada, ülkede heyelanların ve doğurduğu sonuçların önemli sorunlar yarattığını ifade etmişlerdir. Heyelan risk değerlendirmelerinin, temelde son derece güç bir işlem olduğunu ve tamamıyla veri kalitesinden etkilendiğini belirten araştırmacılar, çalıştıkları alan için üç farklı aşamadan oluşan risk değerlendirme yöntemi uygulamışlardır. Bu aşamalar sırasıyla, heyelanların farklı senaryolar için koşullu olasılık değerlerinin (duyarlılık / tehlike) hesaplanmasını, heyelanlar sonucunda ortaya çıkan kayıpların belirlenmesini ve toplam heyelan riskinin hesaplanmasını içermektedir. Yapılan çalışmanın bölgesel özellikleri son derece iyi bir şekilde yansıttığını savunan araştırmacılar, limit denge analizlerinden ürettikleri ve yeraltısu seviyesine göre sınıflandırdıkları alansal özellikleri dikkate alarak, heyelan tehlikesini hesaplamışlardır. Daha sonra, bölgedeki binalar, ekili alanlar ve yollar için maddi kayıp hesaplaması yaparak, çalışma alanına ilişkin heyelan risk haritasını üretmişlerdir.

Mousavi vd. [187] tarafından, İran'ın Emamzadeh Ali bölgesinde depremle tetiklenen heyelanlara yönelik sayısal risk hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Yağışın

tetiklediği heyelanlara yönelik çalışmalara göre, depremlerle tetiklenen heyelanlara ilişkin çalışma sayısının daha az olduğunu vurgulayan araştırmacılar, tektonik açıdan aktif olan çalışma alanında heyelan potansiyelinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Statik ve dinamik koşullar gözetilerek, frekans - büyüklük ilişkileri olasılık yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Bölgedeki her bir yerleşim ve bina için hasar görebilirlik hesaplamaları yapılarak, en yüksek riskin çalışma alanının kuzeydoğu kesimindeki bir taş ocağında olduğu belirtilmişlerdir.

Bednarik vd. [188], Slovakya'nın Hlovec ve Sered bölgelerindeki heyelan tehlike ve riskini değerlendirdikleri çalışmalarında, heyelanların geçmişte meydana geldikleri koşulların, gelecekte de olacağı ilkesinden yola çıkararak, dikkate alınan parametrelerin türü ve kalitesinin, son derece büyük öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Risk altındaki elemanlar ve hasar görebilirlik parametreleri de dikkate alınarak, farklı risk senaryolarına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İki değerkenli istatistiksel analiz yöntemiyle duyarlılık / tehlike analizi yapan araştırmacılar, hasar görebilirlik analizinde sadece mal kayıplarını maddi olarak dikkate almışlardır. Üretilen duyarlılık haritasını, dolaylı olarak tehlike haritasına dönüştüren araştırmacılar, tehlike haritasını beş farklı grupta derecelendirerek ve hasar görebilirlik parametresi ile sayısal olarak çarparak, sonuç risk değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir.

Ali vd. [189], sığ akmalara yönelik heyelanlar için basitleştirilmiş niteliksel risk analizi ile yağışlarla tetiklenen heyelanları değerlendirmişlerdir. Sonsuz şev modelini bölgedeki heyelan değerlendirmelerine uygulayan araştırmacılar, doygun hidrolik iletkenlik ve tetiklenme mekanizmasını mekânsal olarak modellemişlerdir. Çalışmada gözenek suyu basıncının pozitif olduğu bölgelerde risk değerinin önemli artışlara sahip olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, bu tür çalışmalarda her bir heyelan oluşumu için sonuç risk değerlendirmesinin, ancak yerel gözlem ve ölçümler ile mümkün olabileceğini belirtilmişlerdir.

Promper vd. [190], arazi kullanımını değeriminin heyelan riskine olan etkisini araştırdıkları çalışmalarında, riskin zamansal ve mekânsal olarak birçok

parametreden etkilendiğini belirtilmiştir. Özellikle arazi kullanımındaki değişimlerin, en önemli parametrelerden biri olduğu vurgulanan çalışmada, geçmişte ve günümüzde meydana gelmiş değişimleri yaklaşık 85 yıl sonrasına (2100 yılı) kadar modelleyen araştırmacılar, çalışmanın en önemli sonucunun, risk altındaki elemanların zaman içinde değişimi ile heyelan riskinin önemli oranda değişim göstereceğinin ortaya konulmuş olduğunu ifade etmektedirler.

Peng vd. [191] çalışmalarında Çin'in Three Gorges alanında hayatı ve yapıları etkileyen heyelanların risk değerlendirmesini yapmıştır. Duyarlılık haritası Rough Set Theory ve SVM yöntemleri ile üretilmiştir. Geçmiş heyelanların sıklık ve büyüklük değerlerini dikkate alarak senaryo tabanlı kantitatif heyelan tehlike haritası üretilmiştir. Risk altındaki nüfus, yapı stoğu, altyapı ve arazi kullanım alanları öncelikle hava fotoğraflarından tespit edilmiş, daha sonra arazi gözlemleri de yapılarak doğruluğu test edilmiştir. Kantitatif risk haritası, risk altındaki elemanların zarar görülebilirlik ve heyelan tehlike verilerinden oluşmaktadır. Sonuç risk haritası göstermektedir ki, bölgedeki Badong şehri yüksek risk altındadır, orta dereceli riskli alanlar kırsal ve tarımsal alanlardır. Ortaya çıkan risk değerleri belirsizlikler içermekte ve gelecek kayıpların kesin tahminlerini net ifade edememekle birlikte, yine de zarar azaltıcı önlemlerin nerelerde yapılması gerektiği konusunda muhtemel alanların belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Promper vd. [192] tarafından, Avusturya, Waidhofen'de bölgesel ölçekte risk senaryosu ile heyelanlı alanların belirlenmesi çalışılmıştır. Geçmiş 138 yıllık veri ve günümüz verileri sayesinde 2030 - 2050 ve 2050 - 2100 yıllarına ait senaryolar üretilerek heyelanların nerelerde oluşabileceği modellenmiştir. Bu çalışmada mevcut alanlardaki arazi kullanımı sınıflamasında; binaların olduğu alanlar, sokakların bulunduğu alanlar ve tarım alanları olarak 3 ayrı sınıflama yapılmıştır. Analizler lojistik regresyon metodu ile yapılmış olup, heyelan tabanlı bu tehlike senaryolarının, gelecekte meydana gelebilecek yerleşim ve yer seçimi problemlerine karşı tedbir almak, farkındalık yaratmak ve yönetim stratejisi geliştirmek açısından önemli olduğuna değinilmiştir.

Ciabatta vd. [193] tarafından, İtalya'da Umbria bölgesinde yağışların tetiklediği sığ heyelanlara ait 1990 - 2013 yıllarına ait envanter verileri kullanılarak, PRESCA adlı yağış/iklim değişikliği tabanlı sistem ile aynı bölgede meydana gelebilecek heyelanların genel değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre 1990 - 2013 heyelan veri tabanı kullanılarak, modeller ve senaryolar üretilmiş; 2040 - 2069 ve 2070 - 2099 yılları için gelecekte meydana gelebilecek heyelanlar için risk analizi yapılmıştır. Bölgede yağış ve ısıölçerler vasıtasıyla sürekli gözlemler yapılmakta olup düzenli aralıklarla alınan zemin örneklerinin nem değerleri de analiz edilerek, mevcut sığ heyelanların gelişimi ve potansiyel alanların tespiti de yapılmaktadır. Alanda mevcut heyelanların envanter çalışması yapılmış olup, 235 adet heyelan 100 x 100 m çözünürlükte SYM üzerinde gösterilmiştir. Bu heyelanları dikkate alarak, gelecek için senaryolar PRESCA programı ile üretilmiştir. PRESCA 2011'de kurgulanmış bir sistem olup, toprak suyu denge modeli, 24 – 36 – 48 - 72 saatlik yağışlar sonrasında toprağın nemlilik indeksi ve CBS tabanlı 100 x 100 m çözünürlük tabanlı üretilen haritada duyarlılık ve zarar görülebilirlik tabanlı dinamik risk senaryosu modüllerinden oluşmaktadır.

4. HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE GENEL KAVRAMLAR

Heyelanların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar; heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları olmak üzere dört farklı grupta toplanabilir. Bu kavramlara dair Fell vd. [53], [54] tarafından JTC - 1 adına uluslararası platformlarca kabul edilen kılavuzlar hazırlanmıştır.

Heyelan envanteri; heyelan duyarlılık, tehlike ve risk modelleme çalışmaları için temel altlık oluşturan, bir bölgedeki heyelanların coğrafi konumu, sınırları, türü, aktivitesi, biliniyorsa oluşum zamanı ve fiziksel özellikleri gibi konulara ilişkin bilgileri içeren veri topluluğu olarak tanımlanmaktadır [53]. Heyelan envanteri ile geçmişte meydana gelmiş heyelanlar hakkında bilgi edinilmektedir. Envanter çalışmaları oldukça önemlidir çünkü gelecekte olabilecek heyelanlar, geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebilir.

Literatürde heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarında kullanılan terminolojileri kimi zaman yanlış kullanılmaktadır. Özellikle de heyelan duyarlılık teriminin, bir çok yayında heyelan tehlikesi olarak değerlendirildiği tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılığı; bir bölgede olan veya potansiyel olarak olabilecek bir heyelanın mekânsal dağılımının ve sınıflamasının nitel veya nicel değerlendirilmesidir. Genel anlamda bir bölge içerisindeki alanların; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek gibi göreceli olarak heyelan oluşumuna karşı sınıflandırılmasıdır [194].

Heyelan duyarlılık haritası; güncel ve / veya geçmişte meydana gelmiş heyelan özelliklerinin belirlenip, gelecekte meydana gelebilecek potansiyel duraysız alanların (mekânsal olabirliklerinin) ortaya konulduğu haritalardır [206]. Ulusal ve uluslararası boyutta, duyarlılık, tehlike ve risk konularında yapılan uygulamalarda haritalamalar, çoğunlukla veri yetersizlikleri nedeniyle duyarlılık düzeyinde kalmaktadır.

4.1. Heyelan Duyarlılık Haritalamalarında Kullanılan Ölçekler

Heyelan çalışmalarında kullanılan ölçek türleri ile ilgili herhangi bir standart bulunmayıp çoğunlukla çalışılan alanın büyüklüğü, verilerin ulaşılabilirliği ve çalışmanın amacına bağlı olarak ölçek seçilmektedir [195]. Literatürde kabul gören ölçek sınıflandırmalarında, üç eğilim mevcuttur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4. 1. IAEG [196] , Cascini [197] ve Guzzetti vd. [34] tarafından önerilen ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler.

ADI	ÖLÇEK DEĞERİ		
	IAEG (1976)	Cascini (2008)	Guzzetti vd. (2012)
Ulusal Ölçek	< 1 / 1.000.000	---	---
Bölgesel Ölçek	1 / 100.000 – 1 / 500.000	---	---
Küçük Ölçek	---	< 1 / 100.000	< 1 / 200.000
Orta Ölçek	1 / 25.000 – 1 / 50.000	1 / 100.000 – 1 / 25.000	1 / 25.000 – 1 / 200.000
Büyük Ölçek	1 / 5.000 – 1 / 15.000	1 / 25.000 – 1 / 5.000	>1 / 25.000
Ayrıntılı Ölçek	---	> 1 / 5.000	---

Çizelge 4.1’de belirtilen ölçekler genel olarak değerlendirildiğinde;

- I. Küçük ölçekli çalışmalar; çoğunlukla ülke bazında gerçekleştirilen ve bölgesel olarak hangi alanlarda önlem alınması, tedbirli olunması gerektiği gibi konularda karar vericilere ve yerel yönetimlere bir ön fikir sunmak için hazırlanan, afet potansiyelinin gösterildiği ve fazla ayrıntının içerilmediği haritalardır. Bu haritalar genelde ülke bazında heyelan bilgisi ve veri tabanı olan ülkelerde yaygın olarak kullanılır [198].
- II. Orta ölçekteki haritalar çoğunlukla bölgesel gelişim planları veya önemli mühendislik yapılarına yönelik önlemlerin alınması için üretilen haritalardır. Ayrıntı oranı, ulusal ölçeğe göre çok daha fazla olup, yaklaşık olarak birkaç yüz km²’lik alandan, birkaç bin km²’ye değişen alanları kapsamaktadır. Bu

tip haritalarda, kütle hareketlerinin etkilediği ve / veya etkileyebileceği alanlar ve kentsel dönüşüm / gelişim planlarına altlık teşkil edebilecek bilgilere yer verilmektedir. Günümüz uygulamalarında, her ne kadar bir standart olmasa da, araştırmacılar çoğunlukla 1 / 25. 000 – 1 / 50.000 arasındaki ölçeklerde heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları yapmaktadırlar [53].

- III. Büyük ölçekteki çalışmalar ise, ayrıntıların son derece fazla olduğu ve özellikle tasarım ve jeoteknik çalışmalara altlık oluşturmak üzere hazırlanmaktadır. Bu haritalarda çoğunlukla, güvenlik katsayısı hesaplarına dayanan deterministik yöntemler, önemli mühendislik yapıları (baraj, nükleer santral vb.) gibi araştırmalarda kullanılmak üzere, temelinde yer seçimine yönelik hazırlanmış bilgiler yer alır.

Fell vd. [53], [54] tarafından hazırlanan kılavuzlarda belirtildiği gibi duyarlılık haritalamasındaki zonlamanın hangi ölçekteki haritalarda kullanılabilir olduğu açıklanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4. 2. Tavsiye edilen zonlama türü, ölçeği ve heyelan zonlama çalışmalarındaki temel amaç (Fell vd. [53] değiştirilerek alınmıştır)

Amaç	Zonlama Türü						Zonlama Seviyesi			Uygulanabilir imar haritası ölçeği
	Envanter	Duyarlılık	Tehlike	Risk altındaki elemanlar	Sonuç	Risk	Başlangıç	Orta	İleri	
Ulusal ve Bölgesel Zonlama										
Bilgi	X	X		X			X			1 / 250.000 – 1 / 25.000
Tavsiye	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)	X	(X)		
Yasal	Önerilmez									
Yerel Zonlama										
Bilgi	X	X	X	X	(X)	(X)	X	(X)		1 / 25.000 – 1 / 5.000
Tavsiye	(X)	X	X	X	X	X	X	X	X	
Yasal		(X)	X	(X)	(X)	(X)		X	X	
Araziye Özel Zonlama										
Bilgi	Önerilmez									1 / 5.000 – 1 / 1.000
Tavsiye	Yaygın Kullanılmaz									
Yasal		(X)	X	X	X	X		X	X	
Dizayn		(X)	(X)	X	X	X		(X)	X	

X= uygulanabilir , (X) = belki uygulanabilir

4.2. Heyelan Duyarlılık Haritalamalarında Kullanılan Yöntemler

Heyelan duyarlılık çalışmalarının gerek mevcut heyelanlar, gerekse meydana gelecek muhtemel heyelanların yeri, büyüklüğü ve mekânsal dağılımını ilgilendiren “nerede?, hangi türde?, hangi koşullar altında?” gibi sorulara yanıt verebilecek nitelikte olması gerekmektedir. Duyarlılık haritalarının kalitesi ve doğruluğu; “çalışmanın hangi amaç için yapıldığı?, hangi ölçekle çalışıldığı?, verilerin varlığı ve bu verilere ulaşımın sağlanıp sağlanamayacağı, çalışmanın süresi ve mali olarak çalışmanın tutarının ne olacağı?” gibi sorulara verilen cevaplarla da ilişkilidir. Bu bağlamda envanter çalışmalarından sonraki duyarlılık aşaması hem araştırmacılar hem de sonuçları itibariyle karar vericiler açısından oldukça önemlidir. Duyarlılık konusunda yapılan pek çok çalışma mevcut olup, bu çalışmaların birbirinden yöntemsel olarak çok farklı şekillerde yapıldığı tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması için temelde 2 yaklaşım benimsenmiş olup, bu yaklaşımlar; niteliksel ve niceliksel yöntemlerdir. Niteliksel yöntemler, araştırmacının daha çok bilgi ve deneyiminin kullanılması ile saha gözlemlerine bağlı olarak gerçekleştirilir. Niceliksel yöntemler ise genel olarak, istatistiksel ve/veya matematiksel modelleme tekniklerinin kullanılarak gerçekleştirildiği yöntemlerdir.

Heyelan duyarlılık analizlerinde niceliksel yöntemler altında değerlendirilen istatistiksel analizler, genellikle heyelan gibi birden fazla nedenden ötürü meydana gelen olayların çözümlenmesinde, sıklıkla kullanılır. Niceliksel yöntemlerde geçmişte meydana gelen heyelanlara neden olduğu düşünülen parametreler, istatistiksel olarak değerlendirmelerde ve CBS platformunda sayısal olarak ifade edilir. Jeomorfolojik analizlerin tersine, veriye dayalı ve nesnel yöntemler içinde değerlendirilen istatistiksel analizler, iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel analizler olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir.

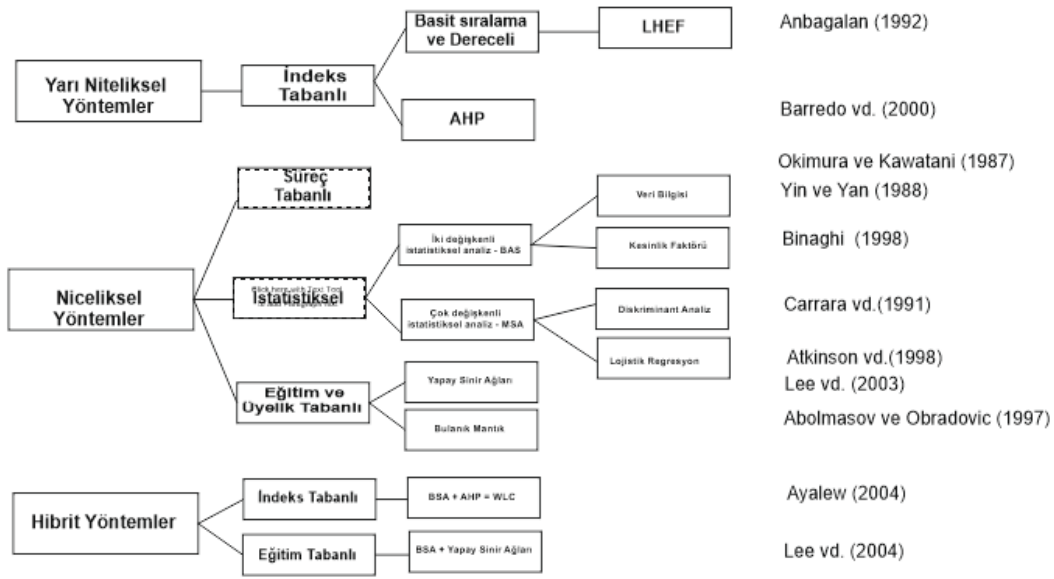
İki değişkenli istatistiksel analizde, dikkate alınan parametreler (jeolojik, topoğrafik ve çevresel) ile heyelan yerleri arasında ilişkilerin kurulması ve parametrelerin ağırlıklı

değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Analizde temel olarak, ağırlıklı parametre haritaları CBS ortamında bir araya getirilerek, heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır [199]. Analiz başarısı, heyelan duyarlılığında etkin olan parametrelerin seçilmesi ve bunların uygun alt sınıflar halinde gruplandırılmasına bağlıdır. İki değişkenli istatistiksel analizlerde en sık kullanılan yöntem frekans oranı yöntemidir. Çok değişkenli istatistiksel analizlerde hesaplamalar daha karmaşık olup, bu alanda en çok kullanılan yöntemler faktör analizi, diskriminant analizi, lojistik regresyon yöntemidir. CBS'ye dayalı duyarlılık değerlendirmelerinde grid hücreleri (pikseller) olarak topoğrafik / jeomorfolojik birimler, havza / alt havza gibi alansal birimler gibi haritalama birimleri kullanılmaktadır [64]. Bu haritalama birimleri çalışmanın amacı ve kullanılan yöntemlere göre değişir. Literatürde en çok tercih edilen haritalama birimi piksel tabanlı grid hücreleri olup, tez çalışmasında da kullanılan haritalama birimidir.

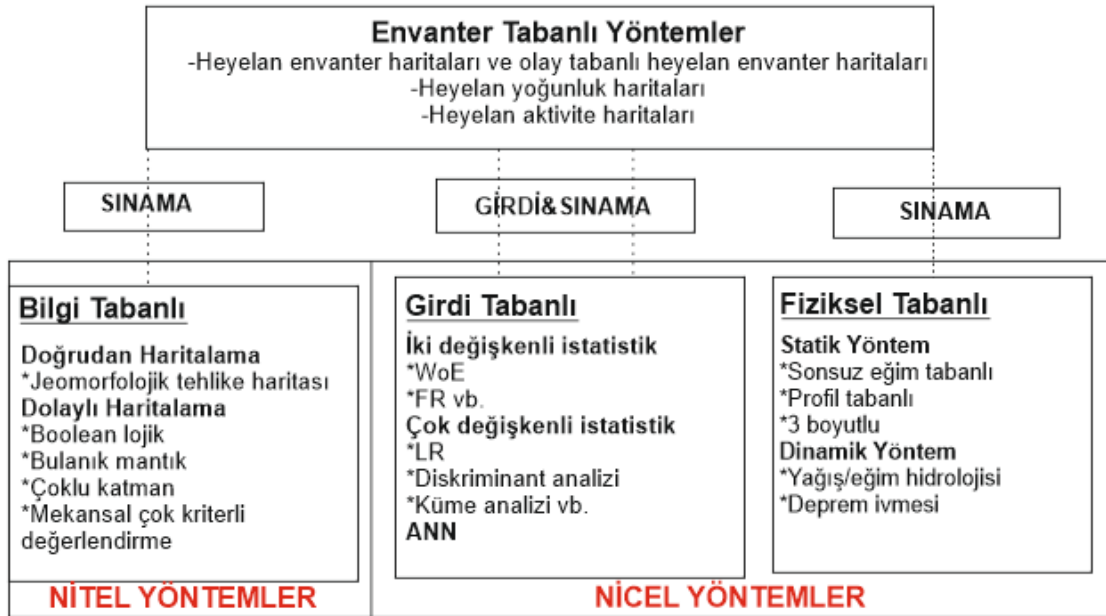
Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de görüldüğü üzere araştırmacılar farklı tarihlere heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için uygulanması gereken yöntemleri özetlemiştir. Temeli niteliksel ve niceliksel yöntemler üzerine kurulan tüm çalışmaların oldukça benzer oldukları, en önemli farkın, zamanla daha karmaşık olan istatistiksel yöntemler tavsiye edilmesi, nicel ve nitel yöntemlerin entegrasyonu ile oluşturulan hibrit yöntemlerin de artık duyarlılık analizlerinde kullanılmasıdır.



Şekil 4. 1. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler [35].



Şekil 4. 2. Heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan yöntemlerin kullanıcı referanslı şematik gösterimi [200].



Şekil 4. 3. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri [201] .

En güncel çalışma olması bakımından detaylı olarak incelendiğinde; Corominas vd. [202], çalışmalarında bilgi tabanlı olarak değerlendirdiği nitel duyarlılık haritalama yöntemi için kesinlikle uzmanlık gerektiğini ifade etmişlerdir.

Duyarlılık haritası direk arazi gözlemleri ve diğer istatistiksel yöntemlerin birlikte kullanımıyla hazırlanırken, birçok ülkede yerel ölçekli duyarlılık haritası hazırlanırken bu yaklaşım kullanılmaktadır. Araştırmacılar, envantere dayalı yöntemleri, gerek tüm heyelan duyarlılık çalışmalarına girdi oluşturduğu, gerekse sonuç haritalarının da doğrulamasında yine aynı envanter bilgilerine başvurulması nedeniyle nitel ve nicel yöntemlerin ilk adımı olarak değerlendirmişlerdir.

Şekil 4.3'de yer alan bilgi tabanlı ve/veya sezgisel yöntemlerde, uzman görüşü çok önemli olup, bu aşamada, duyarlılık haritası doğrudan arazide yapılan çalışmalarla veya jeomorfoloji haritasının bir eşleniği olarak ofis ortamında uzman görüşleri doğrultusunda üretilebilir. Bilgi tabanlı doğrudan harita üretilmesi işlemleri kesinlikle kişi / kişilerin uzmanlıklarına bağlıdır.

Bilgi tabanlı dolaylı yollardan harita üretme aşamasında devreye CBS tabanlı yaklaşımlar girmektedir. Bu aşamada da; doğrudan haritalama da olduğu gibi uzman bilgisiyile geçmiş heyelan bilgileri ve bu heyelanlara neden olan faktörlerin özel ağırlık değerleri dikkate alınarak kombinasyonlar oluşturulur ve haritalar üretilir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4. 3. Bilgi temelli heyelanlara duyarlılık değerlendirmesi için önerilen yöntemler [201].

YAKLAŞIM	REFERANSLARI
Jeomorfolojik haritalama	Kienholz (1978); Rupke vd., (1988); Seijmonsbergen (1992); Cardinali vd., (2002)
Direk haritalama	Barredo vd., (2000); van Westen vd., (2000)
Çok sınıflı ağırlıklandırma yöntemi	Malet vd., (2009); Mora ve Vahrson (1994)
Çoklu mekânsal analiz	Ayalew vd., (2005); Castellanos ve Van Westen (2007)
AHP	Yoshimatsu ve Abe (2005); Yalcin (2008)
Bulanık mantık yaklaşımı	Ercanoglu ve Gokceoglu (2002); Chung ve Fabbri(2001)

Girdi / veri tabanlı niceliksel yöntemlerle de heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapabilmek için öncelikle, kaliteli veriye ihtiyaç duyulduğunu ifade edilmiştir [202]. Bu aşamada envanter heyelan verileri geçmiş hakkında bilgi edinmek için kullanılır. Girdi tabanlı yöntemler; iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel analizler ile ANN analizinden oluşmaktadır. Veri kalitesinin ön planda tutulduğu bu yaklaşımda farklı araştırmacılar tarafından farklı yöntemler kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.4). Bu yaklaşımda geçmiş geleceğin anahtarıdır mantığı benimsenmiştir.

Son olarak araştırmacılar; fiziksel tabanlı heyelan duyarlılık yaklaşımlarını değerlendirmişlerdir (Çizelge 4.5). Bu aşamada, heyelan süreçleri fiziksel tabanlı çevre duyarlılığı modelleri oluşturularak duyarlılık değerlendirmesi yapılmaktadır.

Coraminas vd., [202]'e göre; heyelan duyarlılık değerlendirmesinin temel mantığında;

- ✓ Geçmiş, geleceğin anahtarıdır. Envanter bilgileri; geçmişte heyelan meydana gelmiş alanlarda gelecekte de heyelan oluşabileceği için oldukça önemlidir.
- ✓ Heyelanın meydana geldiği alandaki topoğrafya, zemin, jeoloji, jeomorfoloji gibi özellikler göz önünde bulundurularak, benzer çevresel özelliklere sahip alanlarda da heyelan meydana gelme olasılığı vardır.

Çizelge 4. 4. Veri tabanlı heyelan duyarlılık yöntemleri [201].

	YÖNTEM	REFERANS
İki Değişkenli İstatistiksel Analiz	Olabilirlik oranı yöntemi (Likelihood ratio model - LRM)	Lee (2005)
	Bilgi temelli yöntem	Yin ve Yan (1988)
	WoE	van Westen, 1993; Suzen ve Doyuran, 2004
	Tercih Edilebilir Fonksiyonlar	Chung ve Fabbri (1993); Luzi (1995)
Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz	Diskriminant Analiz	Carrara (1983); Gorsevski vd., (2000)
	LR	Ohlmacher ve Davis (2003); Gorsevski vd., (2006)
ANN	ANN	Lee vd., (2004); Ermini vd., (2005); Kanungo vd., (2006)

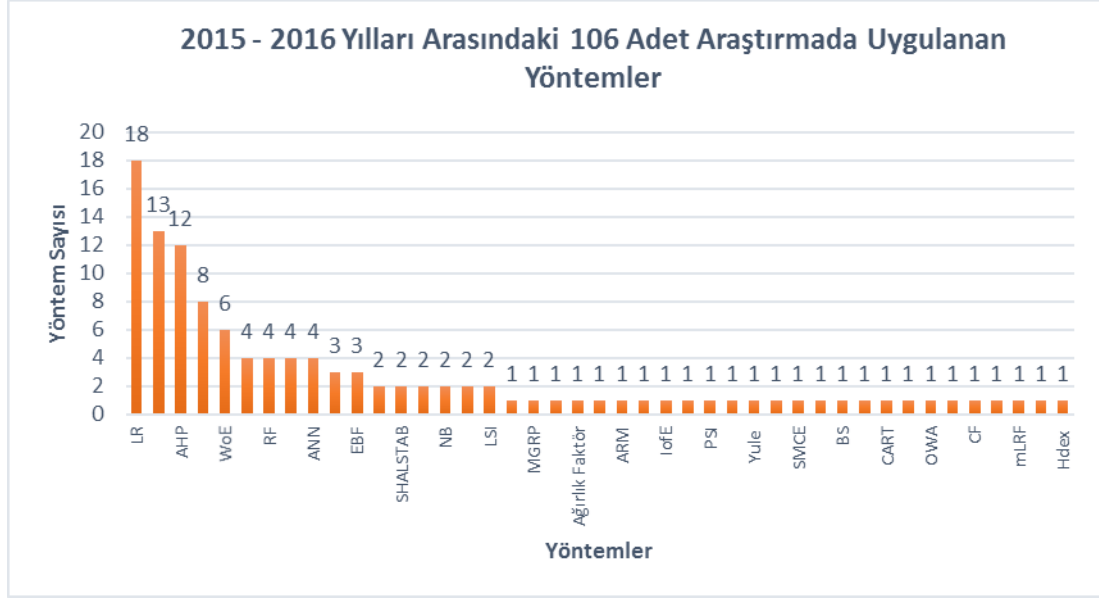
Çizelge 4. 5. Fiziksel tabanlı heyelan duyarlılık yaklaşımları [202].

Türü	Yöntem	Referanslar
CBS Tabanlı Limit Denge Analizleri	Statik Sonsuz Şev Modeli	Pack vd., (1998); Dietrich vd., (1995)
	Yağış Tetikli Dinamik Sonsuz Şev Modeli	Baum vd., (2002); Van Beek (2002); Casadei vd., (2003); Simoni vd., (2008)
	Deprem Etkili Sonsuz Eğim Modeli	Jibson vd., (1998)
Kaya İçin Kinematik Analiz	Stereonet Noktaları, CBS Tabanlı Süreksizlik Analizleri	Gunter (2002)
2 Boyutlu Limit Denge Yöntemi	Yeraltısuyu Akışı ve Gerilme Tabanlı 2D Limit Denge Analizi	GEO-Slope (2011)
3 Boyutlu Limit Denge Yöntemi	3 Boyutlu Şev Stabilité Analizi	Hungr (1992); Gilson vd., (2008)

Yapılan incelemeler göstermektedir ki; duyarlılık haritaları hazırlanırken kullanılacak parametre ve yöntemlere dair bu güne kadar geliştirilen ortak bir metodoloji bulunmamaktadır. Ayrıca, araştırmacıların çalışmalarında genellikle; aynı alanda birden fazla analiz yöntemini kullandıkları ve bu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlüklerini ve uygulanabilirliklerini kıyasladıkları tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında son yıllarda heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan yaklaşımların neler olduğunu tespit etmek için 2015 - 2016 yıllarına ait güncel 106 adet yayın incelenerek, en çok kullanılan yöntemler Şekil 4.4'de gösterildiği gibi sıralanmıştır.

Çalışmalar uygulanan yöntem bakımından incelendiğinde; en fazla uygulanan analiz yöntemleri sırasıyla;

1. Lojistik Regresyon (LR),
2. Frekans Oranı (FR),
3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP),
4. Destek Vektör Makinası (SVM)
5. Weight of Evidence (WoE) dir.



Şekil 4. 4. 2015 - 2016 yılları arasında değerlendirilen çalışmalarda uygulanan yöntemlerin dağılımı.

Bu bilgiler doğrultusunda; tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapabilmek için; lojistik regresyon, frekans oranı ve analitik hiyerarşi yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Aşağıdaki paragraflarda seçilen 3 yönteme göre heyelan duyarlılık haritası üretme aşamaları ve yöntemlerin genel mantığı açıklanmıştır.

4.2.1. Lojistik Regresyon (LR Yöntemi)

Son yıllarda heyelan duyarlılığını modellemek için lojistik regresyon yöntemi sıklıkla kullanılmıştır. Olasılıklı istatistiksel bir model ve kategorik olarak sınıflandırılmış bağımlı bir değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin açıklanmasında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan LR, diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin gerektirdiği varsayımsal kabullenmeleri dikkate almadan, diğer yöntemlerden daha az teorik varsayım gerektirir [203].

Lojistik regresyonun en önemli üstünlüğü, değişkenlerin sürekli, kesikli ya da her iki türün herhangi bir kombinasyonu olabilmesi ve değişkenlerin normal dağılıma sahip

olmalarının gerekmemesidir. Tatlıdil'e [204] göre; LR yönteminin bir diğer önemli üstünlüğü ise, bağımlı değişkenin 0, 1 gibi ikili (binary) ya da ikiden çok düzey içeren kesikli değişken olması durumunda normallik varsayım kısıtı olmaması nedeniyle kullanım rahatlığı ve elde edilen modelin matematiksel olarak esnek ve kolay yorumlanabilir olmasıdır.

LR'nun temel ilkesi, bir sorunun analizine dayanmakta olup, 0 - 1 gibi ikili değişkenlerle veya doğru - yanlış gibi ölçülen sonuç, bir veya daha fazla bağımsız faktörün analiz edilmesiyle tespit edilir. Geleneksel olarak, heyelan duyarlılığı haritalamasında lojistik regresyonun uygulanması, genellikle, bağımsız parametrelerin ve bağımlı heyelan envanter haritalarının hazırlanmasını ve heyelan verilerinin yokluğu veya varlığı göz önüne alınarak binom (veya ikili) lojistik regresyonun uygulanmasını içerir [204]. Başka bir deyişle, LR genellikle bir veya daha fazla bağımsız değişken (ler) ile ikili bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir modelin tahmininde kullanılmaktadır [205].

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

$$p = \Pr (y = 1) \text{ olur.}$$

Eşitlik 4.1

Eşitlikteki; p , 0 ile 1 arasında değişirken, açıklayıcı değişkenlerin doğrusal kombinasyonları $+\infty$ ile $-\infty$ arasında değişebilmektedir. Olasılıklar 0 ile 1 arasında değiştiği için, olasılık oranı 0 ve ∞ arasında değişir. Olasılık oranının logaritmasını alarak, lojistik regresyon modelinde $+\infty$ ile $-\infty$ arasında değişen bir dönüştürülmüş değişken elde edilmiş ve olasılık oranının doğal logaritması açıklayıcı veya bağımsız değişkenlerle doğrusal bir model ile ilişkilendirilmiştir [206].

Bağımlı değişken olasılığının 1 değerini aldığı temel varsayım (pozitif yanıt, diğer bir deyişle heyelan), lojistik eğrisini izler ve bu durum Eşitlik 4.2 ile ifade edilebilir.

$$P (y = 1/X) = (\exp (\sum BX)) / (1 + \exp (\sum BX)) \quad \text{Eşitlik 4.2}$$

Eşitlikte;

P = bağımlı değişkenin 1 olma olasılığı (örneğin heyelanlı alanlardaki piksellerin 1, heyelan olmayan alanlarda 0 olarak kabul edilmesi),

X = bağımsız değişkenler (örneğin jeolojik, topoğrafik, çevresel parametreler)

$X = X_0, X_1, X_2, \dots, X_k,$

B = parametre ağırlık katsayılarıdır ($B = b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$).

Eşitlik 4.2'yi doğrusallaştırmak ve sonsuza giden değerlerden kurtarmak için, lojistik dönüşüm adı verilen ilişkinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Eşitlik 4.3 ile bahsedilen işlem uygulanmaktadır:

$$P' = \ln (P / 1-P) = b_0 + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_k \times X_k + \text{hata} \quad \text{Eşitlik 4.3}$$

P' dönüşümünün teorik olarak $-\infty$ ile $+\infty$ arasındaki herhangi bir değeri alabileceği unutulmamalıdır. Buna ek olarak, ikili veri değişimi, regresyonun bağımlı değişkeninin sürekli olmasını ve yeni bağımlı değişkenin (olasılık logit dönüşümü) sınırsız olmasını ve tahmin edilen olasılığın 0 ile 1 aralığında sürekli olmasını sağlar [205].

Tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık analizinde Idrisi Selva yazılımının “LogisticRec” modülü ile lojistik regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu modül bağımsız parametrelerin en iyi uyum değerini (best fit) bulmak için maksimum tahmin algoritmasını (ML, Maximum Likelihood) kullanır. Bu işlem Eşitlik 4.4'de ifade edilmektedir.

$$L = \prod_{i=1}^N \mu_i^{y_i} \times (1 - \mu_i)^{(1-y_i)}$$

Eşitlik 4.4

Eşitlikteki;

L = benzerlik olasılığı,

N = numune sayısı,

μ_i = örnek i için bağımlı değişkenin tahmin edilen değeri,

y_i = örnek i için bağımlı değişkenin gözlenen değeridir.

LogisticReg modülü, girdi parametreleri girildikten sonra, sonuç haritanın yanısıra bazı istatistiksel göstergeler sunmaktadır. Bunlardan, $-2 \log (L_0)$, kesişim noktası (intercept) dışındaki tüm katsayıların 0 olması durumundaki olasılık fonksiyonunun değerini, $-2 \log (L)$ tüm modelin en iyi uyum sağladığı olasılık değerini vermektedir.

Bu iki istatistiğe dayanarak; yapay R^2 (pseudo R^2) ($1 - (\log (L) / \log(L_0))$), χ^2 (Ki-kare) ($-2 (\log (L) - \log (L_0))$) ve uyum iyiliği (goodness of fit) değerleri de, bağımlı değişkenin gözlenen ve tahmin edilen değerleri arasındaki fark LogisticReg modülü tarafından hesaplanır. R^2 (pseudo), LR modelinin veri kümesine ne şekilde uyduğunu gösterir [207]. R^2 'nin "1" değeri mükemmel bir uyumu ifade ederken, "0" değeri hiçbir ilişki olmadığını gösterir. R^2 'in değeri 0.2'den büyük olduğunda, nispeten iyi bir uyum gösterir [208].

4.2.2 Frekans Oranı (FR Yöntemi)

Son yıllarda en çok kullanılan ikinci yöntem olan FR anlaşılır ve uygulaması kolay olan bir olasılık modeline sahip olması açısından tercih edilmektedir. Lee ve Talib [209] tarafından önerilen Frekans Oranı (FR) yönteminin temeli yoğunluk analizine dayanmakta olup, temel prensibi dikkate alınacak tüm parametrelerin CBS ortamına aktarılıp, heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilerek, yoğunluk analizlerinin yapılması esasına dayanmaktadır. FR yöntemi için heyelan duyarlılık analizinde kullanılmasına karar verilen her parametre alt grubu için Eşitlik 4.5'de hesaplanan a ve b katsayıları hesaplanır.

$$FR = a / b$$

Eşitlik 4.5

Eşitlikte;

FR = frekans oranı,

a katsayısı = parametre alt grubundaki heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısına oranına;

b katsayısı = parametre alt grubunun dikkate alınan alandaki piksel sayısının, dikkate alınan alandaki toplam piksel sayısına oranına karşılık gelmektedir.

Yöntem; her bir parametre alt grubu için hesaplanan FR değerlerinin normalleştirme ve parametre haritalarına atanmasıyla oluşturulan yeni parametre haritalarının birbirleri ile toplanmasıyla heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasına dayanmaktadır (Eşitlik 4.6, Şekil 4.5). FR yönteminin heyelan uyarlamasında FR değerinin;

- > 1 değerleri, heyelan oluşumunda daha etkin olduğu,
- < 1 değerleri heyelan oluşumunda daha az etkiye sahip olduğu belirtilmektedir [209].

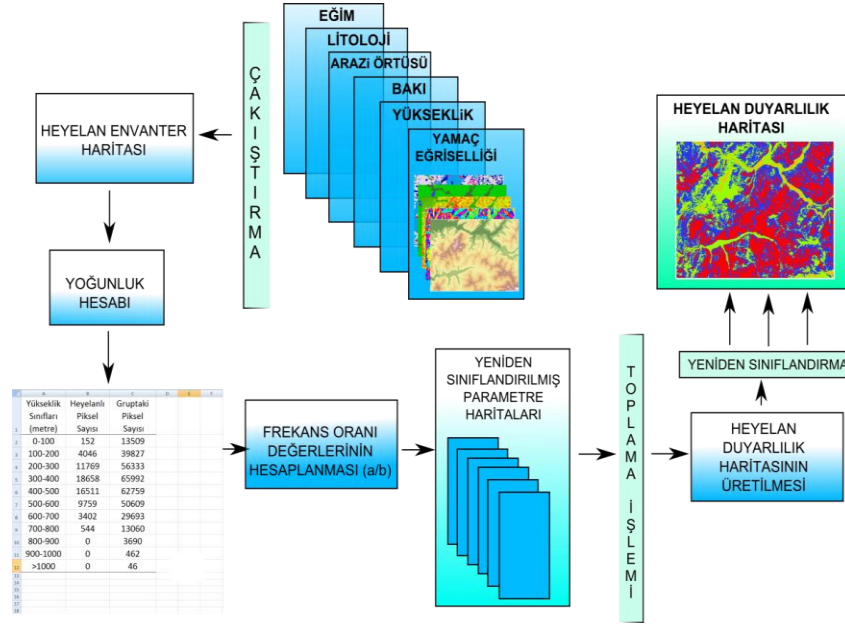
$$LS = \sum FR$$

Eşitlik 4.6

Eşitlikte;

LS = heyelan duyarlılığı,

$\sum FR$ = dikkate alınan alandaki her bir piksel için hesaplanan FR değerlerinin matematiksel toplamını ifade etmektedir.



Şekil 4. 5. FR yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası işlem adımları [210].

4.2.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP Yöntemi)

Son yıllarda heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan AHP yöntemini ilk olarak Myers and Alpert [211] geliştirilmiş, daha sonra Saaty [212] tarafından güncellenmiştir. Günümüze kadar gelen süreçte AHP yöntemi farklı meslek disiplinleri tarafından yoğun olarak kullanılan bir yöntem haline almıştır. Yöntemin üstünlüğü; birbiriyle çelişen, ölçülebilir, soyut ölçütleri göz önünde bulunduran, veri kadar bilgi ve deneyimin de dikkate alındığı, basit ve farklı koşullarda da kullanılabilmesidir [213]. AHP’de karar verici alternatifleri, bütün kriterleri göz önünde bulundurarak önem derecelerine göre ikili karşılaştırmalar yaparak belirlemektedir.

AHP’de sağlıklı karar verme süreci için;

- Problem tanımı doğru yapıлып, çözümüne yönelik veriler belirlenmelidir.
- Amaç doğrultusunda karar hiyerarşisi ve öncelikler yapılandırılmalıdır.
- Parametreler dikkate alınarak ikili matris seti oluşturulup, parametrelerin birbirleri ve kendilerinden sonraki parametreler ile ilişkisine dair hem veriler hem de uzman görüşü dikkate alınarak karşılaştırma yapılmalıdır [29]. İkili matrisin her elemanı, kendi sütun toplamına bölünerek normalleştirilmiş

karşılaştırma matrisi bulunur. Normalleştirilmiş karşılaştırma matrisinin her satırda satır ortalamaları hesaplanarak parametrelerin birbirlerine göre önem değerleri elde edilerek, tutarlılık oranı (CR - Consistency Rate) hesaplanır.

Çellek [213] çalışmasında AHP yönteminin;

- Hiyerarşi düzey sayısında bir sınırlama olmaması,
- Hiyerarşinin bir kalıp olamaması, değiştirilebilir ve geliştirilebilir olması,
- Hiyerarşiye yeni kriterler eklenip çıkarılabilir olması,
- Hiyerarşide düzey sayısının arttırılabilir olması bakımından avantajlı bir yöntem olduğunu vurgulamıştır.

Diğer taraftan araştırmacı;

- Yöntemin uzman görüşüne bağlı olmasının,
- Yöntemde kullanılan ikili karşılaştırma matrisindeki parametrelerin birbirlerine göre üstünlüklerinin karar aşamasında kesinlikle ayrıntılı arazi gözlemleri ile uyumlu olmasının sağlanmasının gerekliliği,
- Yöntemin doğruluğunun bir başka istatistiksel yöntemle kıyaslanarak onaylanmasının yararlı olacağı,
- Sorgulama sürecinde karar vericinin uzman olmaması halinde yanlış kriter ve parametre seçimine götürebilmeye müsait olması,
- Karşılaştırılan faktörler arasında önem derecesi ile ilgili çelişki olması halinde karar vericiye çok fazla sorumluluk düşmesi bakımından da yöntemin sınırlamalarını ifade etmiştir.

Ayrıca, Çellek vd. [214] literatürde 2000 - 2015 yılları arasında AHP kullanılan araştırmalardan seçtikleri 100 çalışmayı inceleyerek en fazla AHP yöntemini kullanan ilk dört ülkeyi kullanım yüzdesi sırasına göre; İran (% 28), Türkiye (% 12), Çin (% 8) ve Malezya (% 7) olarak tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, çalışmaların % 43'ünde AHP yönteminin tek başına kullanıldığını, % 15'inde FR ile, % 12'sinde ise LR yöntemi ile birlikte kullanılıp sonuçlarının kıyaslandığını vurgulamışlardır.

Yukarıdaki paragraflarda da ifade edildiği gibi literatürde heyelan duyarlılık çalışmalarında oldukça sıklıkla kullanılan AHP yönteminde, hiyerarşilerin oluşturulması yani ikili karşılaştırma matrisinin geliştirilmesinde, 1'den 9'a kadar değişen değerlere sahip bir ölçek kullanır (Çizelge 4.6). İkili karşılaştırma matrisinden, karar matrisinin oluşturulmasına kadar aşamalar Hasekioğulları'nın [29] çalışması dikkate alınarak aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

I. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4.7}$$

II. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, ilgili faktörler kendisi ile karşılaştırıldığında ($i = j$ olacağından) 1 değerini alır. Karşılaştırma matrisinin tüm elemanları için karşılaştırmalar Çizelge 4.6 dikkate alınarak yapılır. Değerlendirmeler için, Eşitlik 4.8' den yararlanılır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad \text{Eşitlik 4.8}$$

III. Karşılaştırma matrisinin, faktörlerinin sistem içindeki ağırlıklarını belirlemek için, karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılarak, Eşitlik 4.9'da gösterildiği gibi, n adet ve n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4.9}$$

Çizelge 4. 6. AHP yönteminde faktörlerin önem dereceleri ve açıklamaları [215], [216], [29], [213].

Önem Derecesi	Tanım	Açıklaması
1	Eşit Önem	İki faktörün aynı düzeyde öneme sahip olup, katkısının aynı olması
3	Orta Düzeyde Önem	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda, bir faktörün diğerinden az miktarda önemli olup, diğerine göre biraz daha fazla tercih edilebilir olması
5	Kuvvetli Düzeyde Önem	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda, bir faktörün diğerinden kuvvetli miktarda önemli olup, çok daha fazla tercih edilmesi
7	İspatlanmış Düzeyde Önem	Bir faktörün, diğeri üzerindeki üstünlüğünün, uygulamada kanıtlanmış olarak, diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilmesi
9	Aşırı Düzeyde Önem	Bir faktörün diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilmesi.
2, 4, 6, 8	Yukarıdaki Değerler Arasında Kalan Değerler	Bir faktörün değerlendirmesinde tereddütler varsa, sayısal değerlerin ortasındaki bir değer tercih edilir.

IV. Eşitlik 4.10 kullanılarak, n adet B sütun vektörü hesaplanıp, bir matris formatında bir araya getirilip, Eşitlik 4.11'deki C matrisi oluşturulur.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{Eşitlik 4.10}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & & \\ c_{n1} & c_{n2} & & c_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4.11}$$

V. C matrisi kullanılarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzdesel önem dağılımlarını elde edilebilmek için Eşitlik 4.12 kullanılarak, C matrisini oluşturan satır bileşenlerin aritmetik ortalaması alınarak "Öncelik Vektörü" olarak da adlandırılan, W sütun vektörü elde edilir (Eşitlik 4.13).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad \text{Eşitlik 4.12}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4.13}$$

VI. “Tutarlılık Oranı (CR, Consistency Ratio)” hesabı yapılır. Bunun için; faktör sayısı ile “Temel Değer (λ)” adı verilen bir katsayının karşılaştırması yapılmaktadır. λ 'nın hesaplanması için Eşitlik 4.14’de ifade edildiği gibi, A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilmelidir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4.14}$$

VII. Bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden, her bir değerlendirme faktörüne ilişkin Eşitlik 4.15 kullanılarak “E” temel değeri elde edilir. E değerinin aritmetik ortalaması Eşitlik 4.16’da ifade edildiği gibi karşılaştırmaya ilişkin Temel değeri (λ) gösterir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{Eşitlik 4.15}$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad \text{Eşitlik 4.16}$$

VIII. Eşitlik 4.17 ile Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad \text{Eşitlik 4.17}$$

IX. CI, “Rasgelelik Göstergesi (Randomness Index, RI)” olarak adlandırılan ve Çizelge 4.7’de gösterilen parametre sayısına uygun standart düzeltme

değerine bölünerek, Eşitlik 4.18’de ifade edildiği gibi, CR değeri elde edilir. CR değerinin 0.10’dan küçük olması, yöntemin doğru uygulandığını gösterir [217].

Çizelge 4. 7. Rastgelelik göstergesi değerleri [217].

N	RI	N	RI	N	RI
1	0	5	1.12	10	1.49
2	0	6	1.24	11	1.51
3	0.58	8	1.41	12	1.48
4	0.90	9	1.45	13	1.56

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Eşitlik 4.18

- X. Her bir faktör için, m karar noktasındaki yüzde önem dağılımları bulunur. Bu işlem faktör sayısı kadar (n kez) tekrarlanarak, parametrelerin karar noktalarında kullanılacak G karşılaştırma matrislerinin boyutu, m x m olacak şekilde yeniden düzenlenir. Sonuçta, m x 1 boyutlu ve değerlendirilen faktörlerin karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını Eşitlik 4.19’daki gibi gösteren, S sütun vektörleri elde edilir.

$$S_i = \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ S_{m1} \end{bmatrix}$$

Eşitlik 4.19

- XI. Eşitlik 4.20’de verildiği gibi, K karar matrisi oluşturulur. K; n tane mx1 boyutlu S sütun vektöründen meydana gelen ve m x n boyutludur.

$$K = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & & \\ S_{m1} & S_{m2} & & S_{mn} \end{bmatrix}$$

Eşitlik 4.20

XII. K matrisi, W ile çarpılarak m elemanlı L parametre ağırlık değerleri bulunur (Eşitlik 4.21). L sütun vektörü elemanlarının toplamının 1'e eşit olması gerekmektedir.

$$L = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \dots \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4.21}$$

4.2.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performans Değerlendirmesi

Farklı yöntemler kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu ve / veya kullanıcılar için uygunluğu performanslarının sınanması ile sağlanır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen duyarlılık haritalarının gerçekte heyelanlı alanları ne oranda kapsadığı o çalışmanın doğruluğunu göstermesi yanı sıra, gelecekte oluşacak heyelanlı alanların tahmini için de önemli bir referanstır. Yapılan literatür çalışmalarına göre, duyarlılık haritalarının doğruluk ve performans değerlendirmesinde en çok kullanılan modelin ROC (Relative Operating Characteristic) olduğu tespit edilmiştir. ROC haricinde Cohen's Kappa indeksi, Pabak, Cox ve Snell R^2 vb. değişik yaklaşımlar da duyarlılık haritalarının performansının değerlendirmesinde kullanılmaktadır. ROC yönteminde heyelan için yüksek uygunluğa sahip alanların "doğruluğu ne derece gerçeği yansıtmaktadır?" ve "bu alanlar gerçekte nasıl sınıflandırılmaktadır?" sorularına, AUC değerinin hesaplanması ile sayısal olarak cevap verilmektedir. ROC eğrisi temelinde, geliştirilen modelin doğru pozitif TP (True Positive) ve yanlış pozitif FP (False Positive) tahmin oranları arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

ROC yönteminde;

- X eksenini; modelin doğru negatif TN (True Negative) kapasitesi olan özgüllük değerini ifade eder. X eksenindeki artış aynı zamanda duyarlılığı ifade eden Y eksenindeki artışa karşılık gelmektedir. X ekseninin Eşitlik 4.22'e göre hesaplanır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{TP}{FN+TP}$$

Eşitlik 4.22

- Y eksenini, modelin TP tahmin kapasitesini gösteren duyarlılık değerini ifade etmektedir (Eşitlik 4.23).

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TN}{TN+FP}$$

Eşitlik 4.23

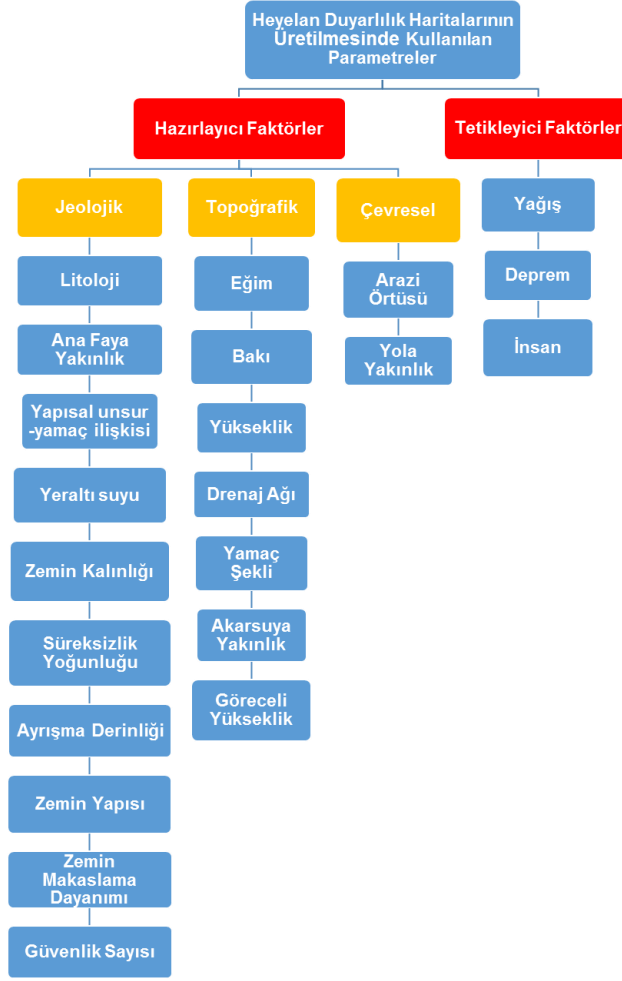
ROC modelinin doğruluğu eğrinin altında kalan alan olarak tanımlanır, AUC değerinin 1 olması tam doğruluğu ifade ederken, 0.5'in altında kalan değerler modelin kötü sonuç verdiğini gösterir [218]. İdeal bir modelde AUC değerinin 1'e yakın olması tercih edilmektedir. AUC değerinin modelin doğruluğu ile olan ilişkisi Çizelge 4.8'de gösterilmiştir [219].

Çizelge 4. 8. AUC değerleri ile ROC Modelinin doğruluk değerlendirmesi [219].

AUC	MODELİN DOĞRULUĞU
1 - 0.9	Mükemmel
0.9 - 0.8	Çok İyi
0.8 - 0.7	İyi
0.7 - 0.6	Ortalama İyi
0.6 - 0.5	Yetersiz

4.3. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

Heyelanların meydana gelmesine neden olan parametreler Gökçeoğlu ve Ercanoğlu [220] tarafından hazırlayıcı ve tetikleyici parametreler olarak iki ana sınıfta toplanmıştır (Şekil 4.6). Heyelanların gelişmesi ve değerlendirilmesinde son derece büyük önem taşıyan hazırlayıcı parametreler, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında temel girdi parametreler olarak değerlendirilmektedir [57]. Bu parametreler, bir bölgenin heyelan duyarlılığı açısından göreceli olarak sınıflandırılmasında esas alınan parametrelerdir [220]. Bunun yanı sıra, hazırlayıcı parametreler tehlike ve risk haritalaması ön değerlendirme çalışmalarında da, kullanılması zorunlu parametreler olarak kabul edilmektedir [57]. Ancak, heyelan tehlike haritalamalarında tetikleyici parametrelerin de dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 4. 6. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler [221], [220].

Parametreler, haritalama amaçlarındaki olası farklılıklardan ötürü bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilmekte ve literatürde heyelan değerlendirmelerinde hangi parametrelerin kullanılması gerektiğine dair bir standart bulunmamaktadır.

Tez çalışması kapsamında; 1990 yılından günümüze kadar heyelan duyarlılığı konusunda yapılan çalışmalar; kullanılan parametreler ve yöntemlere göre sınıflandırılarak Ek - 3'de sunulmuştur. 1990 yılından günümüze kadar CBS kullanımının yaygınlığı da dikkate alındığında analizlerde kullanılan parametrelerin arttığı ve zamanla farklılaştığı gözlenmektedir.

SCI (Science Citation Index) kapsamında taranan dergilerde yayımlanmış, çoğunlukla toprak zeminlerde meydana gelmiş heyelanlar ve bu heyelanların duyarlılık analizlerinde kullanılan parametreleri içeren makaleler dikkate alınarak, tez çalışması kapsamında kullanılacak parametrelere karar verilmesi hedeflenmiştir.

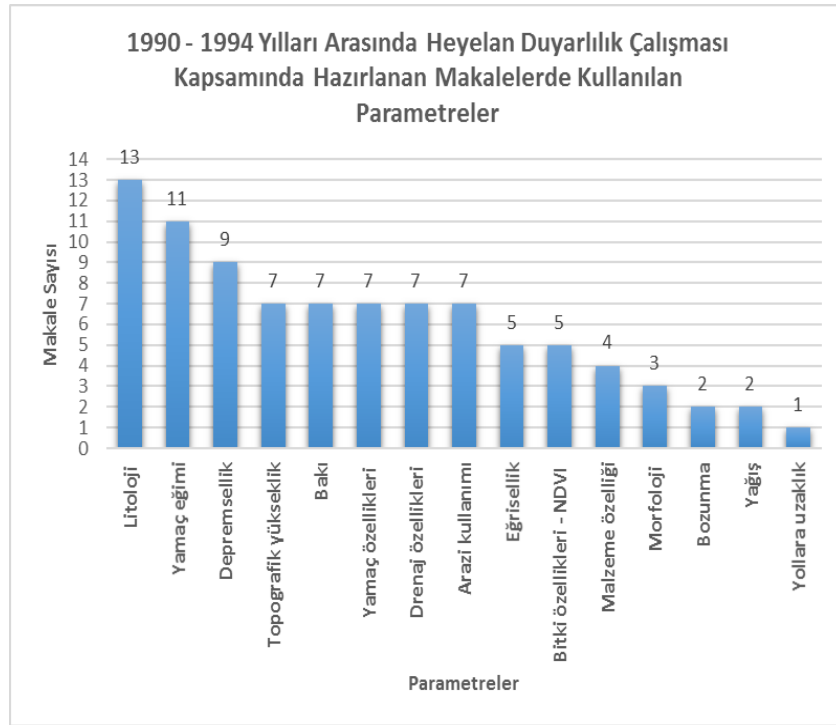
İncelenen 266 çalışma dikkate alındığında kullanılan benzer parametreler ortaklaştırılmış ve Ek – 3’de de verildiği üzere, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan hazırlayıcı parametreler de göz önünde bulundurularak, jeolojik, topoğrafik, çevresel ve morfolojik olmak üzere 4 ana başlık altında toplanmıştır. Hem kullanım, hem de gösterim açısından, sözü edilen 21 parametre de kendi aralarında gruplandırılarak Ek - 3’de gösterildiği şekilde 5 adet jeolojik; 10 adet topoğrafik, 5 adet çevresel ve 1 adet de morfolojik parametre şeklinde gruplandırılmıştır. Ayrıca, çalışmalar 5’er yıllık zaman dilimleri halinde incelenerek, parametrelerin genel kullanım trendleri ortaya koyulmuştur. Bu kapsamda;

- I. **1990 - 1994 yılları** arasında heyelan duyarlılık çalışmaları henüz yaygın olmayıp incelenen 13 duyarlılık çalışmasında en çok kullanılan parametreler sırasıyla; litoloji, yamaç eğimi, deprensellik, topoğrafik yükseklik, bakı, yamaç özellikleri, drenaj özellikleri, arazi kullanımı, eğrisellik, bitki özellikleri, malzeme özelliği, morfoloji, bozunma, yağış ve yollara uzaklıktır (Şekil 4.7).
- II. **1995 - 1999 yılları arasında** incelenen 12 çalışmada kullanılan parametrelerin kullanım yoğunluğuna göre sırası; yamaç eğimi, litoloji, deprensellik, topoğrafik yükseklik, arazi kullanımı, malzeme özelliği, eğrisellik, drenaj özellikleri, bakı, bitki özellikleri, morfoloji, yağış, sediman taşıma gücü indeksi ve yollara uzaklıktır (Şekil 4.8).
- III. **2000 - 2004 yılları arasındaki** 22 bilimsel çalışmada sırasıyla yamaç eğimi, bakı, bitki özellikleri, topoğrafik yükseklik, malzeme özelliği, eğrisellik, drenaj özellikleri, yamaç özellikleri, arazi kullanımı, litoloji, deprensellik, morfoloji,

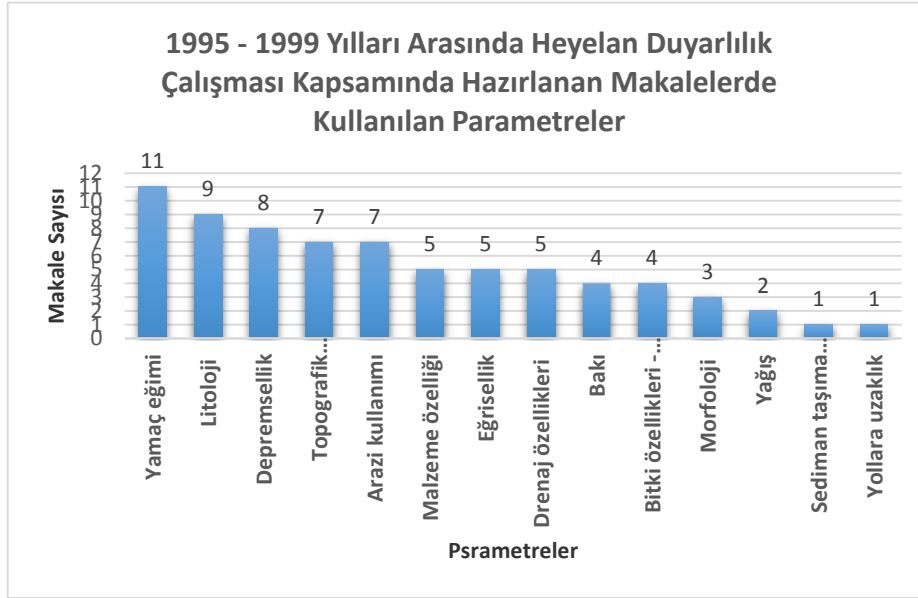
yağış, yollara uzaklık, bozunma, tektonik unsura uzaklık ve sırtlara uzaklık parametrelerinin yoğun kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.9).

IV. **2005 - 2009 yılları arasındaki** parametre trendleri 53 yayında sırasıyla; yamaç eğimi, litoloji, bakı, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, drenaj özellikleri, tektonik unsura uzaklık, eğrisellik, bitki özellikleri, topoğrafik nemlilik indeksi, malzeme özelliği, yamaç özellikleri, yollara uzaklık, SPI, sediman taşıma gücü indeksi, yağış, bozunma, sırtlara olan uzaklık ve yıllık güneş radyasyonudur (Şekil 4.10).

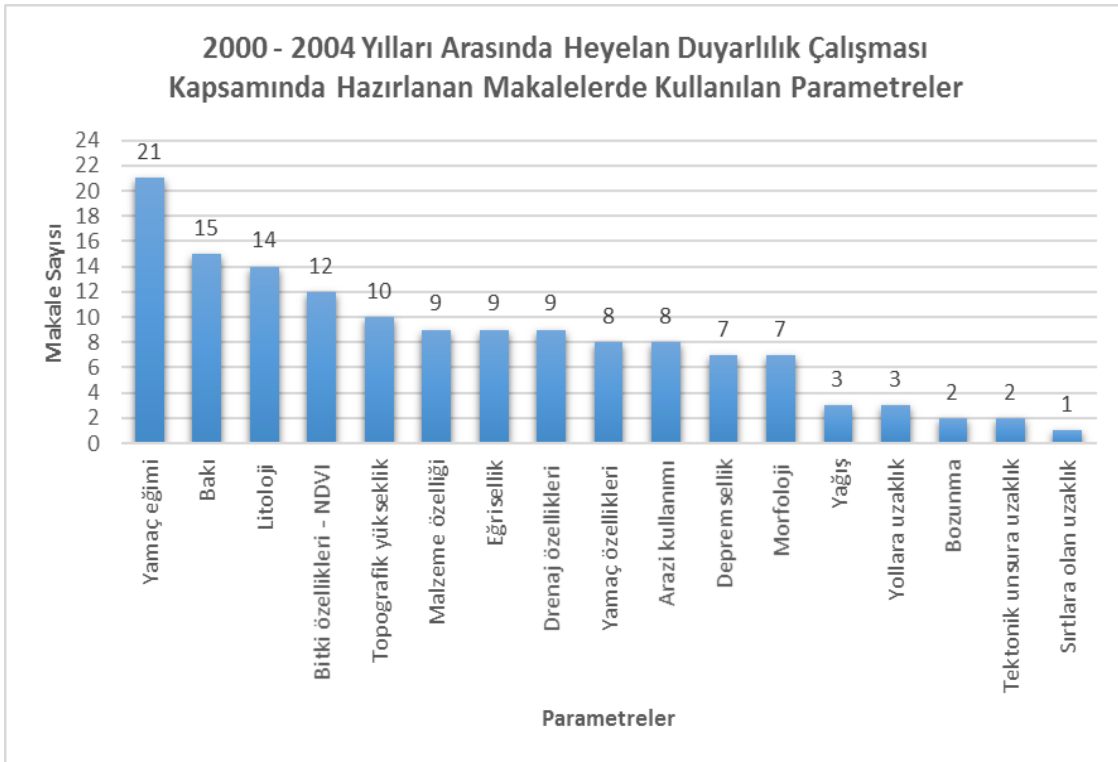
V. **2010 - 2014 yılları arasındaki** parametre trendlerinin incelendiği 61 adet yayında sırasıyla; yamaç eğimi, bakı, litoloji, topoğrafik yükseklik, drenaj özellikleri, eğrisellik, arazi kullanımı, tektonik unsura uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi, yollara uzaklık, SPI, yağış, malzeme özelliği, yamaç özellikleri, bitki özellikleri, deprensellik, sediman taşıma gücü indeksi, sırtlara olan uzaklık, yıllık güneş radyasyonu ve bozunma parametreleri kullanılmıştır (Şekil 4.11).



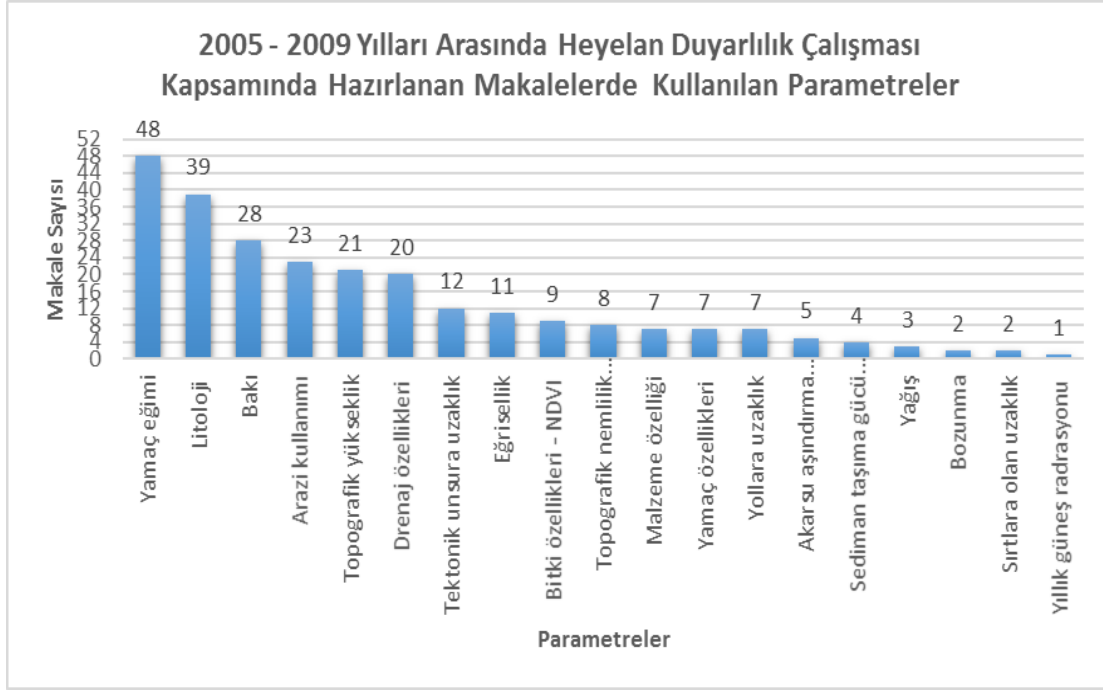
Şekil 4. 7. 1990 - 1994 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.



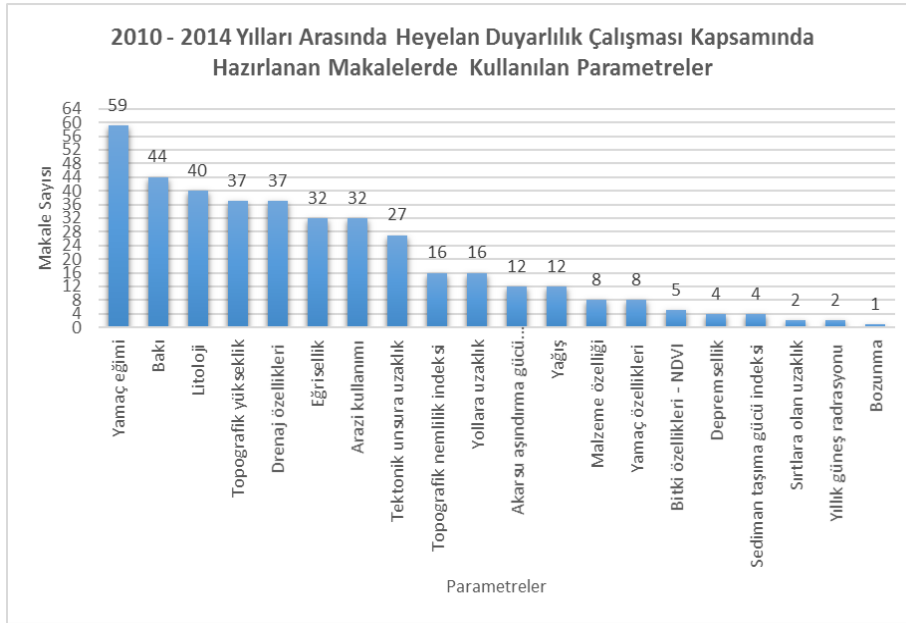
Şekil 4. 8. 1995 - 1999 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.



Şekil 4. 9. 2000 - 2004 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.

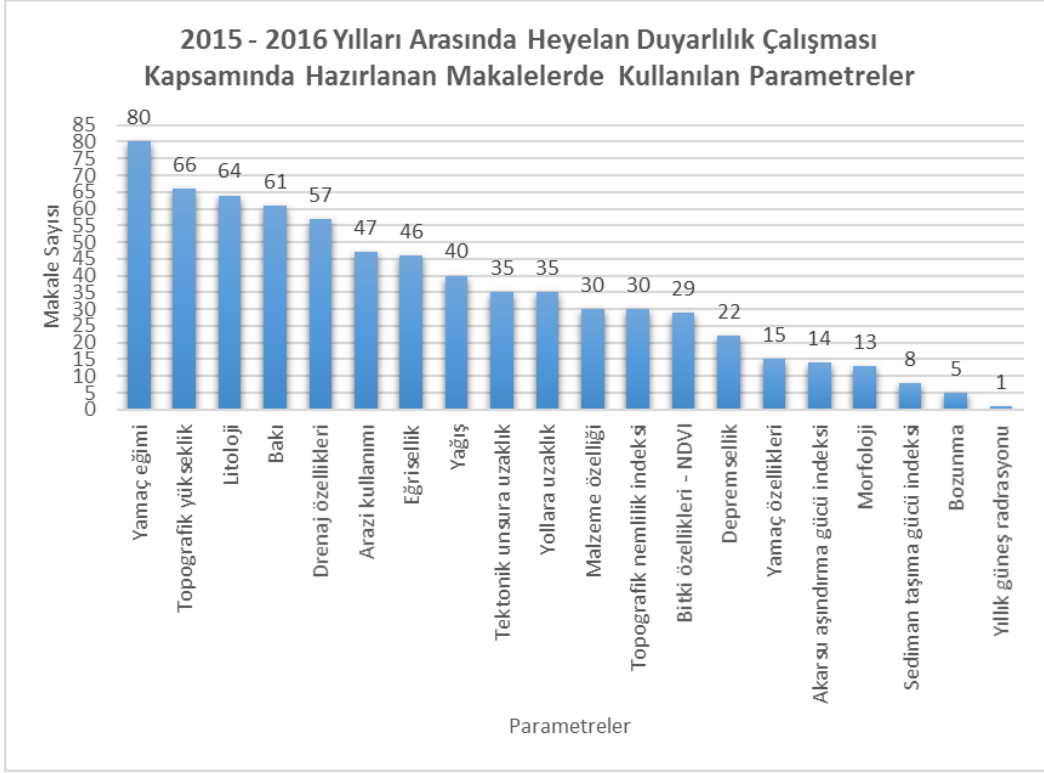


Şekil 4. 10. 2005 - 2009 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.



Şekil 4. 11. 2010 - 2014 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.

Parametre kullanım trendleri hakkında daha güncel bir yorum yapabilmek adına 2015 - 2016 yılları arasında incelenen 105 tane yayındaki dağılım da incelenerek sonuçlar Şekil 4.12 ve Çizelge 4.9'da sunulmuştur.



Şekil 4. 12. 2015 - 2016 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.

Çizelge 4. 9. 2015 - 2016 yılları arasında incelenen 105 yayında kullanılan parametrelerin genel dağılımı.

	Parametre	İncelenen Makalelerdeki Kullanım Sayısı	Kullanım oranı (%)
1	Yamaç eğimi	80	76,19
2	Yükseklik	66	62,86
3	Litoloji	64	60,95
4	Bakı	61	58,10
5	Drenaj özellikleri	57	54,29
6	Arazi kullanımı	47	44,76
7	Eğrisellik	46	43,81
8	Yağış	40	38,10
9	Tektonik unsura uzaklık	35	33,33
10	Yollara uzaklık	35	33,33
11	Malzeme özelliği	30	28,57
12	Topografik nemlilik indeksi (TWI)	30	28,57
13	Bitki özellikleri - NDVI	29	27,62
14	Depremsellik	22	20,95
15	Yamaç özellikleri	15	14,29
16	Akarsu aşındırma gücü indeksi (SPI)	14	13,33
17	Morfoloji	13	12,38
18	Sediman taşıma gücü indeksi	8	7,62
19	Bozunma	5	4,76
20	Yıllık güneş radyasyonu	1	0,95

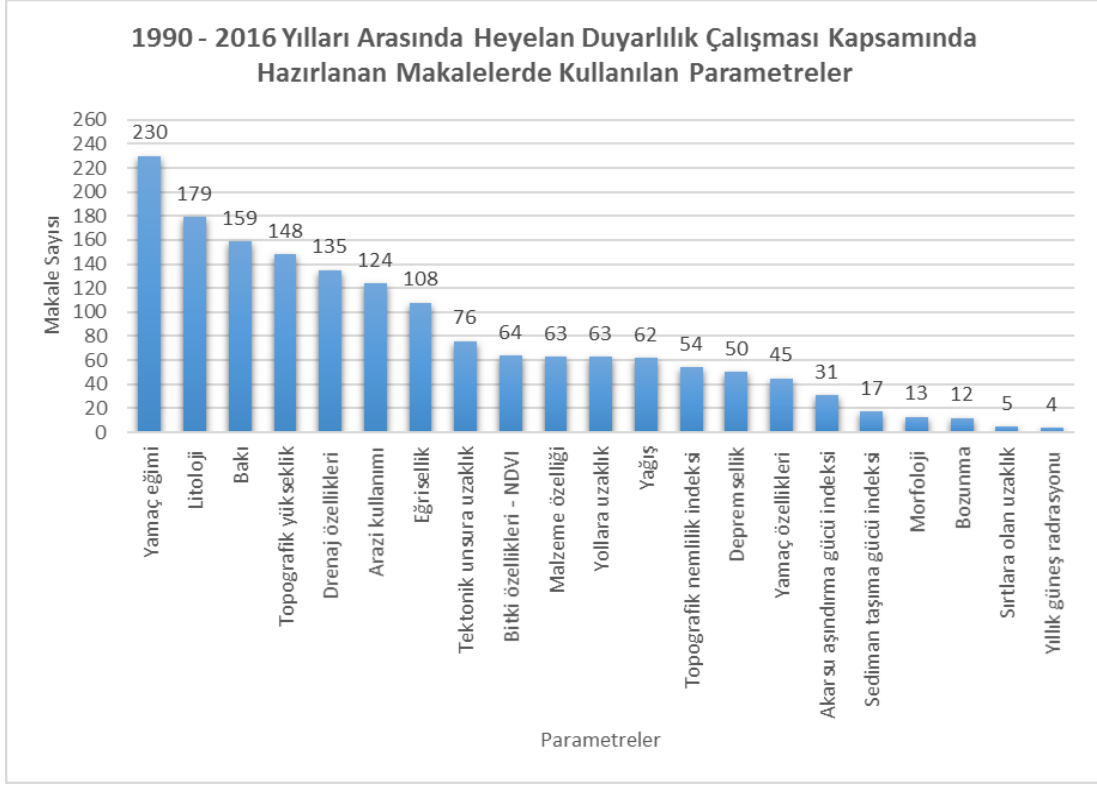
Son 26 yılda heyelan duyarlılık analizi, tehlike ve risk değerlendirmesi amacıyla yapılan 266 çalışmada en çok kullanılan parametreler değerlendirildiğinde ise ilk 9 parametre kullanım sırasına göre;

- I. yamaç eğimi,
- II. litoloji,
- III. bakı,
- IV. topoğrafik yükseklik,
- V. drenaj özellikleri,
- VI. arazi kullanımı,
- VII. eğrisellik,

- VIII. tektonik unsura uzaklık,
IX. bitki özellikleridir (Çizelge 4.10, Şekil 4.13).

Çizelge 4. 10. 1990 – 2016 yılları arasında araştırmacıların kullandıkları parametrelerin kullanım oranları.

	Parametre	İncelenen Makalelerdeki Kullanım Sayısı (266 Makale)	Kullanım oranı (%)
1	Yamaç eğimi	230	86,47
2	Litoloji	179	67,29
3	Bakı	159	59,77
4	Yükseklik	148	55,64
5	Drenaj özellikleri	135	50,75
6	Arazi kullanımı	124	46,62
7	Eğrisellik	108	40,60
8	Tektonik unsura uzaklık	76	28,57
9	Bitki özellikleri - NDVI	64	24,06
10	Malzeme özelliği	63	23,68
11	Yollara uzaklık	63	23,68
12	Yağış	62	23,31
13	Topografik nemlilik indeksi (TWI)	54	20,30
14	Depremsellik	50	18,80
15	Yamaç özellikleri	45	16,92
16	Akarsu aşındırma gücü indeksi (SPI)	31	11,65
17	Sediman taşıma gücü indeksi	17	6,39
18	Morfoloji	13	4,89
19	Bozunma	12	4,51
20	Sırtlara olan uzaklık	5	1,88
21	Yıllık güneş radyasyonu	4	1,50



Şekil 4. 13. 1990 - 2016 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler.

Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde; 1980'li yılların başından itibaren başlayan bir süreçte CBS ve bilgisayar teknolojilerindeki olağanüstü gelişimler, sayısal tabanlı heyelan değerlendirme çalışmalarına olanak sağlamış ve sayıları her geçen gün artarak, günümüzde artık vazgeçilmez bir değerlendirme ve uygulama aracı olmuştur. Bu tür çalışmalarda araştırmacılar, birbirinden kökensel olarak benzer yapıda ve türde veri kaynakları kullanarak, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri yapabilmektedirler. Heyelan değerlendirmelerinde, hangi parametrelerin kullanılması gerektiğine dair bir standart bulunmamaktadır. Bunun nedeni, aslında heyelanın nadiren tek bir parametreye bağlı olarak gelişmesi ve oluşum özelliklerinin değişiklik gösterilebilmesidir.

Parametre kullanımı arazide gözlenen heyelan gelişimine neden olan etmenler dikkate alınarak yapılmalıdır. Literatür çalışmaları göstermektedir ki tüm değerlendirmelerde arazi koşulları ile örtüşen veriler ve bunların sağlıklı

değerlendirmesi en doğru sonucu vermektedir. Arazi gözlemi yapılmadan ve veriler arazide de gözlenmeden sadece CBS ortamında yapılan değerlendirmelerin doğruluğu tartışmaya açıktır. Bu nedenle; bu çalışmada öncelikle bu güne kadar yapılan tüm çalışmalar titizlikle incelendikten sonra, çalışma alanının arazi koşulları da yerinde incelenip dikkate alındıktan sonra parametre seçimi yapılmıştır. Tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde seçilen parametreler doğrultusunda yapılan analizlere geniş yer verilmiştir.

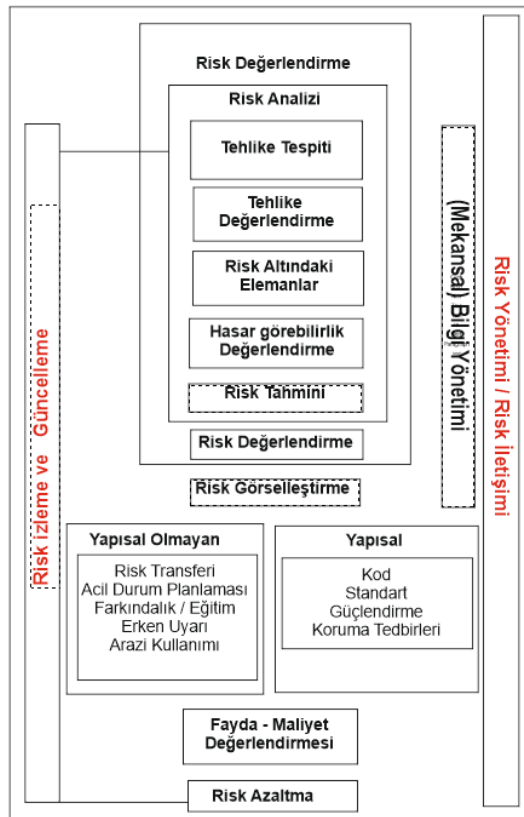
4.4. Heyelan Tehlikesi

Heyelan tehlikesi; belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içinde potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip bir heyelanın, oluşabilme olasılığı olarak tanımlanmaktadır [222]. Heyelan tehlikesinin belirlenmesinde; deprem, yağış gibi tetikleyici parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Hartlen ve Vieberg [223], ideal bir heyelan tehlike haritalama çalışmasında, heyelanın oluşma olasılığı, türü ve büyüklüğü gibi özelliklerin yansıtılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılara göre heyelanın türü, aktivitesi, mekânsal olabilirliğinin ve dağılımının da tanımlanması ve parametrik özelliklerinin de net bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.

Sooters ve Van Westen'e [31] göre heyelan tehlike haritası üretimi, ayrıntılı bir envanter çalışmasını temel almalıdır. Araştırmacılara göre; heyelana neden olan, tetikleyici ve hazırlayıcı parametre analizleri ile bunların mekânsal dağılımının haritalama aşamasında dikkate alınması gerekmektedir. Tehlike haritası oluşturabilmek için, tetikleyici etken ile heyelanın oluştuğu zamanının bilinmesi ve ikisi arasındaki ilişkinin net olarak ortaya koyulması önemlidir. Ancak, maalesef bir çok ülkede, özellikle heyelan oluşuma dair bu türde sağlıklı bir veri tabanı bulunmaması, tehlike haritası oluşturmanın önünde ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Heyelan oluşumuna dair veriler genellikle yerel basından, yerel hakla yapılan görüşmelerden, tarihi yazılı kayıtlardan elde edilmeye çalışılmaktadır. Ülkemizde de tehlike haritalarının üretilmesi aşamasında tetikleyici faktöre dair zaman mevzusunun kestiriminde sorunlar yaşanmaktadır. Bu aşamada heyelanın

oluştığı zaman aralığına karşılık gelen yağış ve deprem verileri ile kıyaslama yapılarak bir tahminde bulunulması yöntemi dikkate alınmaktadır. Son yıllarda CBS kullanımı yaygınlığı, veri kalitesinin artması gibi nedenler sonucunda heyelan tehlike haritalarının üretilmesi konusunda çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Üretilen haritalar, özellikle afet yönetimi açısından son derece önemli olup, yerel yönetimler, karar vericiler ve planlamacılar için bölgesel değerlendirmelerde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Yukarıdaki paragraflarda ifade edildiği üzere tehlike haritası oluşturulması hususunda genel kabul görmüş bir yöntem birliği olmamakla birlikte, bu konuda en yaygın olarak kullanılan kaynak, Fell vd. [53], [54] tarafından JTC -1 komitesi adına hazırlanan kılavuzlardır. Kılavuzlar, hem DRM (Uluslararası Afet Risk Yönetimi), hem de UN - ISDR (Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Zararlarını Azaltma Stratejisi) tarafından halihazırda kullanılmakta olup, içindeki temel heyelan tehlike ve risk terminolojisine dair genel çerçeve Şekil 4.14'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 14. Heyelan tehlike ve risk değerlendirmesi ve analizinin genel çerçevesi [2001].

Heyelan tehlike haritalarının üretilebilmesi için, öncelikle heyelan envanter haritası ve hazırlayıcı parametrelerin kullanıldığı heyelan duyarlılık haritasına ihtiyaç vardır. Duyarlılıktan tehlikeye geçişte, çalışılan alandaki heyelanların mekânsal, zamansal ve boyutsal (alansal) olasılıklarının tahmin edilmesi gerekmektedir [51], [149], [53], [150], [40]. Bu durum, duyarlılık ile tehlikesi arasındaki temel fark olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışmalarda heyelanın mekânsal olabilirliği genellikle duyarlılık kavramına karşılık gelmektedir. Tez çalışmasının önceki bölümlerinde açıklandığı üzere duyarlılık başlığı altında, mekânsal olabilirlik ile ilgili bir çok çalışma mevcuttur. Zamansal olabilirlik ise heyelanın yağış, deprem gibi tetikleyici parametreleri göz önünde bulundurarak tekrarlanma periyodunun belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Boyutsal olabilirlik ise heyelanın büyüklük – frekans ilişkileri göz önünde bulundurularak hesaplanabilen bir değerdir.

Heyelan tehlike haritalarının oluşturulması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde söz konusu 3 olasılığın birbirleriyle ilişkileri dikkate alınarak farklı matematiksel formüllerle tehlike değerinin elde edildiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.11).

Crovelli [224] tarafından, zamansal olabilirlik parametresinin üretimine ilişkin; Poisson ve Binom dağılımlarının heyelan olası tehlike haritası üretiminde kullanılabileceği ifade edilmiştir. Heyelanın tekrarlanma periyodunun belirlenmesi için ise çalışma bölgesindeki 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık aşılma olasılık değerlerinin hesaplanabileceği vurgulanmıştır.

Zeze vd. [225] çalışmalarında, Portekiz (Lizbon)'de kütle hareketleri için tehlike haritası üretmeyi amaçlamışlar ve bu kapsamda farklı senaryolara bağlı olarak duyarlılık ve tehlike değerlerinin tahmini değerlerinin entegrasyonunu formulize etmişlerdir. Araştırmacılar; eğim, baki, eğrisellik, jeomorfoloji, litoloji, ve arazi kullanımı parametrelerini dikkate alarak 100 adet ötelenmeli kaymayı “iki aşamalı strateji” yaklaşımı ile analiz etmişlerdir. Çalışmada duyarlılık haritası üretildikten sonra alandaki yağışın tetiklediği sığ heyelanlar için tehlike haritası oluşturmak için, 3 farklı senaryo üretilmiştir. Bu senaryoda alanın;

- 3 günde 128 mm yağış alma olasılığı (8.5 yıllık tekrarlanma aralığında),
- günde 164 mm yağış olma olasılığı (200 yıllık tekrarlanma aralığında),
- 15 günde 217 mm yağışın düşme olasılığı (4.5 yıllık tekrarlanma aralığında)

göz önünde bulundurulmuştur. Tabiki bu değerler ifade edilirken alanın uzun yıllara bağlı günlük, aylık ve yıllık yağış potansiyeli dikkate alınmıştır. Araştırmacı heyelan tehlike değerine ilişkin Çizelge 4.11'de ifade edilen matematiksel ifadeyi kullanmıştır (Eşitlik 4.24).

$$P = 1 - \left(1 - \frac{T_{affected}}{T_y} \times pred\right) \quad \text{Eşitlik 4.24}$$

Eşitlikteki;

$T_{affected}$ = ilgili senaryoya bağlı olarak heyelandan etkilenmiş toplam alan,

T_y = ilgili duyarlılık sınıfının toplam alanı,

pred = ilgili duyarlılık sınıfına ait tahmini değeri ifade etmektedir.

Araştırmacılar, gelecekte çalışmalarında bu yaklaşımı dikkate alacaklar için, farklı senaryolar dikkate alındığında, farklı duyarlılık sınıfları oluşacağını, bu duyarlılık sınıfları dikkate alınarak tahmin değerlerinin değişebileceğini ifade ederek çalışmalarda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Sonuçta üretilecek duyarlılık haritası ve tehlike haritası her alan için farklı olmakla birlikte mantıksal olarak üretimi aynı olacaktır.

Catani vd. [226] İtalya'da Arno nehri havzasında heyelan tehlike ve risk haritalaması çalışmalarında mekânsal olabilirliği tanımlamak için tek koşul birimini (UCU, Unique Condition Unit) kullanmışlardır. Litoloji, eğim, eğrisellik, bitki örtüsü, yamaç yukarı beslenme alanı parametreleri ile ANN yöntemini kullanarak duyarlılık (mekânsal olabilirlik) hesaplaması yapmışlardır. Alandaki heyelanların envanter verileri, duyarlılık değerlendirmeleri, arazi gözlemleri ve PS - InSAR radar görüntüleri

yardımla kütle hareketlerinin önceki aktivitelerini de dikkate alınarak 5 tehlike sınıfı ile 5 tekrarlanma periyodu tanımlanmıştır.

Sınıflar ve tekrarlanma periyotları;

0. sınıf için; 10.000 yıl

1. sınıf için; 1.000 yıl

2. sınıf için; 100 yıl

3. sınıf için; 10 yıl

4. sınıf için; 1 yıl olarak tanımlanmıştır.

Araştırmacılar binom dağılımını kullanarak belirledikleri 2, 5, 10, 20 ve 30 yıllık duyarlılık sınıfları için tanımlanan tekrarlanma aralığının gerçekleşmesi olasılığını Çizelge 4.11'de de verilen Eşitlik 4.25 ile ifade etmişlerdir.

$$H(N) = 1 - (1 - 1/T)^N$$

Eşitlik 4.25

Eşitlikteki;

H (N) = tanımlanan tekrarlanma aralığının belirli bir dönem içerisinde gerçekleşme olasılığı yani mutlak tehlike,

T = tekrarlanma aralığı,

N = Bu çalışma için değerlendirilen 2, 5, 10, 20 ve 30 yıllık zaman aralıklarını ifade etmektedir.

Nadim vd. [227] tarafından global ölçekli heyelan olası tehlike haritası hazırlanmıştır. Bu çalışmada yine global ölçekteki iklim, deprem, litoloji ve topoğrafya bilgileri kullanılmıştır. Çalışmada heyelan tehlikesi için kullanılan Eşitlik 4.26 aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.11).

$$H_{\text{heyelan}} = (S_r \times S_i \times S_h) \times (T_s + T_p)$$

Eşitlik 4.26

Eşitlikteki;

H_{heyelan} = göreceli heyelan tehlikesi,

S_r = eğim faktörü,

S_i = litoloji faktörü,

S_h = toprak nemi faktörü,

T_s = sismik koşullar,

T_p = yağış koşullarını ifade etmektedir.

Nefeslioğlu [28] çalışmasında, Rize'nin Çayeli ilçesindeki Büyükköy su toplama havzasında meydana gelen toprak akması türündeki kütle hareketlerinin tehlike haritasını üretmiştir. Çalışmada öncelikle tüm tarihi veriler toplanarak zamansal olarak 251 adet toprak akması için envanter haritası hazırlanmıştır. Su toplama havzasına ait tetikleyici faktörler değerlendirilerek, toprak akmaları için lojistik regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak eğim, plan eğrisellik, profil eğrisellik, yakınsaklık, yıllık güneş radyasyonu, TWI, nehir aşındırma gücü indeksi, sediman taşıma kapasitesi, drenaja uzaklık, yollara uzaklık, yol yoğunluğu, mesken yoğunluğu, NDVI parametreleri ile duyarlılık haritası oluşturularak mekânsal olasılık parametresini hesaplanmıştır. Araştırmacı, duyarlılık değerlerini, tehlike değerine dönüştürmek için su toplama havzasındaki tetikleyici parametre olarak yağışın saha içindeki zamansal dağılımı dikkate alarak Eşitlik 4.27'i önermiştir.

$$P_{H(i,t)} = P_s \times e^{-\left[\frac{a_{(i,t)} - T_i}{b_{(i,t)}} \right]}$$

Eşitlik 4.27

Eşitlikteki;

P_H = Tehlike,

P_s = Toprak akması duyarlılık değeri,

T_i = ön görülen eşik değeri,

a ve b = zaman kat sayılarını ifade etmektedir.

Nefeslioğlu [28] çalışmasında, geliştirdiği eşitliği dikkate alınarak su toplama havzası için 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıl için toprak akması tehlike haritalarını üretmiştir. Tehlike haritası üretimi aşamasında Poisson ve Binom olasılık modelleri dikkate alınmıştır.

il [219] alışmasında; Mersin İli Erdemli yöresi için heyelan tehlike değerlendirmesi yapmıştır. Çalışmada farklı tarihlere ait hava fotoğraflarının kıyaslaması ile heyelanlar tespit edilmiş ve envanter haritası oluşturulmuştur. Bu harita baz alınarak, tehlike değerlendirmesinde kullanılmak üzere mekânsal olabirliğin hesaplanması amacıyla regresyon analizleri kullanılarak duyarlılık haritası üretilmiştir. Zamansal olabirlik değer için, alandaki tetikleyici faktör olan yağışın frekans ilişkilerine dayanarak 5, 10, 25, 50, 100 yıl için heyelan oluşma olasılıkları hesaplanmıştır. Çalışmada alansal olabirlik hesaplaması için ise heyelan olay envanter haritasından elde edilen frekans dağılımları kullanılmıştır. Araştırmacı tehlike değerlendirmesi için, Guzzetti vd.'de [163] kullanılan eşitliği kullanmıştır.

$$H_L = P_{AL} \times P_{TL} \times P_L$$

Eşitlik 4.28

Eşitlikteki;

H_L = Heyelan tehlikesi,

P_{AL} = Bir yerde heyelan olma olasılığı (alansal olabirlik),

P_{TL} = t zamanında heyelan olma olasılığı (zamansal olabirlik),

$S = P_L$ = Heyelanın mekânsal oluşumu (mekânsal olabirlik) ifade etmektedir.

il [219] çalışmanın sonucunda; alana ait 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık heyelanın meydana gelmesi olasılıklarına göre 0.1 km², 0.05 km² ve 0.01 km² büyüklüğünde oluşabilecek heyelanların mekânsal ve zamansal olabirliğini ifade eden heyelan olası tehlike haritalarını oluşturmuştur.

Jaiswal vd. [228] Hindistan'ın Nigiri tepelerinde yağışlara bağlı olarak gelişen kütle hareketlerine ait heyelan tehlike haritasını üretmek için öncelikle, 1987 – 2007 yılları arasında meydana gelen kütle hareketlerinin 1 / 10.000 ölçeğinde envanter haritasını

oluşturmuşlardır. LR yöntemini kullanarak, eğim, bakı, arazi kullanımı ve regolit kalınlığı parametreleri ile duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Yağış verileri dikkate alınarak 1, 3, 5, 15, 25 ve 50 yıllık, 1.000 m³ ve 10.000 m³'ten büyük heyelanların oluşma olasılığına göre tehlike haritaları üretilmiştir. Şekil 4.15'de yağışların tetiklediği bu heyelan tehlike haritalamasının aşamaları verilmiştir. Bu çalışmada, olası tehlike haritasının üretilmesi 3 farklı parametre üretilip çarpılmıştır. Heyelan tehlike değeri Eşitlik 4.29 ile bulunmuştur.

$$H_L = P_M \times P_T \times P_S$$

Eşitlik 4.29

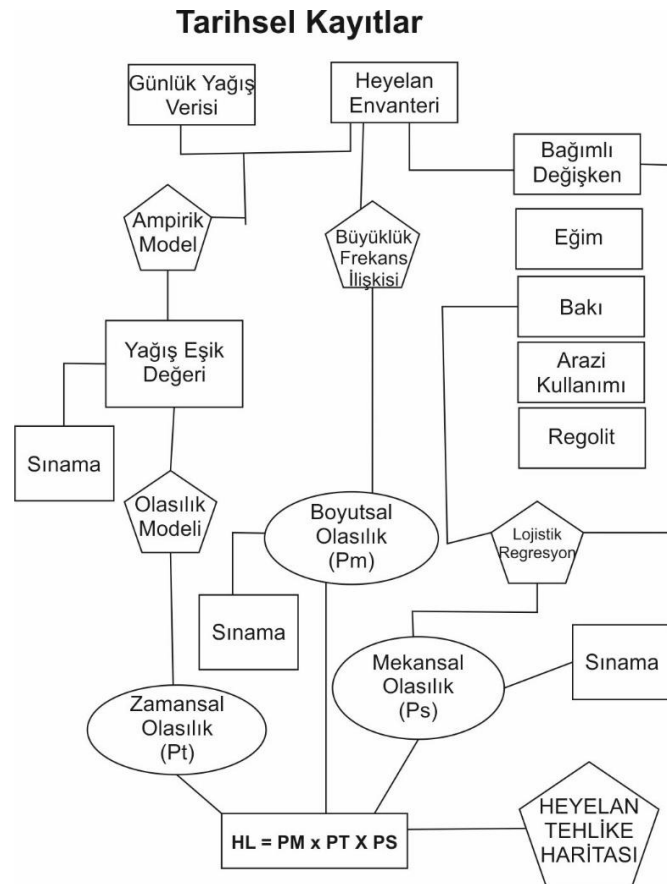
Eşitlikteki;

H_L = Heyelan tehlikesi,

P_M = Alansal /boyutsal olasılık,

P_T = Zamansal olasılık,

P_S = Mekânsal olasılığı ifade etmektedir.



Şekil 4. 15. Yağış verisi dikkate alınarak nicel heyelan tehlike haritası hazırlama aşamaları [228] .

Heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde, iki farklı yaklaşım vardır [63]. Bunlar;

1. Doğrudan heyelan envanterini dikkate alan,
 - a. Binom olasılık dağılımı kullanarak (Binom; belirli zaman aralıkları içerisinde rasgele gerçekleşen olayların var olma veya olmama olasılıklarının hesaplandığı bir kesikli zaman modeli),
 - b. Poisson olasılık dağılımı kullanarak (Poisson; doğada zaman içerisinde rastgele gerçekleşen olayların modellenmesine imkân veren sürekli zaman modeli),
 - c. Frekans analizleri kullanarak yapılan çalışmalardır.

Bu yaklaşımda farklı zamanlara dair heyelan envanter haritaları oluşturulur. Çalışma alanının haritalama birimine bağlı olarak (havza, alt havza) birim başına düşen heyelan oluşma frekansı yukarıda verilen dağılımlar kullanılarak hesaplanır.

2. Heyelan oluşum tarihine ve tetikleyici faktörlere dair sağlıklı bilginin olması halinde, tetikleyici faktöre ilişkin farklı eşik değerlerini dikkate alan çalışmalardır. Bu yaklaşımda ise genellikle Gumbel olasılık dağılım modeli kullanılmaktadır. Bu model ilk kez Gumbel [229] tarafından önerilmiş olup, tekrar eden örneklemeler içerisindeki en büyük veya en küçük değerlerin dağılımlarının modellenmesi amacıyla kullanılmaktadır [230].

Yapılan tüm bu değerlendirmeler ışığında, literatürde kabul edilen iki farklı tehlike tanımı ([222], [51]) mevcuttur. Bu iki tanım arasındaki temel farklılık, Guzzetti vd.'nin alansal olasılık hesaplamasının da tehlike değerlendirmeleri içinde yer almasıdır [230]. Yapılan literatür araştırmalarında her iki tanımlama dikkate alınarak yapılan çalışmalar mevcut olduğu ancak, Guzzetti vd.'nin tanımının dikkate alındığı çalışmalarda ortak noktanın, heyelan envanter ve tetikleyici etken verilerinin tam ve aralıksız olduğu durumlarda geçerliliğinin olduğunun vurgulanmasıdır [230]. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında, yağış verileri ve heyelan envanteri konusundaki kısıtlar nedeniyle, Varnes [222] tanımlaması dikkate alınmıştır.

Tehlike analizlerindeki bir diğer önemli husus da, tetikleyici etken analizidir. Yapılan çalışmalar sonucunda, depremin tetiklediği herhangi bir heyelan kaydı bulunmadığından, tez çalışması kapsamında yağış faktörü tetikleyici etken olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, heyelan envanterine dayalı tehlike değerlendirmesinde, farklı yıllara ilişkin kayıtlardaki istatistiksel olarak yeterli veri bulunmaması nedeniyle, tetikleyici faktör tabanlı tehlike analizlerinin yapılması uygun bulunmuştur. Bu konuda izlenen yaklaşımlar, tehlike değerlendirmesi bölümünde ayrıntılı olarak sunulacaktır.

Çizelge 4. 11. Literatürdeki mevcut tehlike haritalama yaklaşımlarında kullanılan matematiksel modeller (Erener'den [231] değiştirilerek alınmıştır).

MATEMATİK MODEL	TANIMLARI	KAYNAK
$H = M \times P$	H = Tehlike M = Büyüklük P = Heyelan oluşma olasılığı	Fell (1994)
$H = f(F, I)$ $I = f(v, s)$.	H = Heyelan tehlikesi F = Heyelan hareketlerinin sıklığı I = Heyelanın yoğunluğu	Cardinali vd., (2002) (Umbria, İtalya)
H = Heyelan duyarlılık zonlarında heyelan büyüklük ve sıklığı	H = Heyelan duyarlılık zonlarında heyelan büyüklük ve sıklığı	Coromias vd., (2003) (Andora)
Tehlike = heyelan duyarlılık haritası ve yağmur yağma olasılığı haritası kombinasyonu $P_V = \frac{\sum_{i=1}^n a(H_v - H_{si}) + Psi}{n}$	PV = Lokasyondaki yağışın ortalaması HV = Vadinin ortalama yüksekliği Hsi = Heyelanlı alanın yüksekliği a = Kesişme noktası (yağış miktarına bağlı sabit değer) Psi = Hesaplanan serideki yağış değeri n = yağmur ölçerlerin sayısı	Carrasco vd., (2003) (Jerte Vadisi, İspanya)
$P = 1 - \left(1 - \frac{T_{affected}}{T_y} \times pred\right)$	$T_{affected}$ = x senaryosuna göre heyelandan etkilenen toplam alan T_y = y duyarlılık sınıfının toplam alanı pred = Duyarlılık sınıfı y'nin tahmini değeri	Zezeze vd., (2004) (Lizbon, Portekiz)
$H_L = P_{AL} \times P_N \times S$ veya $H_L = P_{AL} \times P_{TL} \times P_L$ $P_N = (e^{-\lambda t} \lambda t^n) / n!$	H_L = Heyelan tehlikesi P_{AL} = Bir yerde heyelan olma olasılığı (alansal olabirlik) $P_N = P_{TL} = t$ zamanında heyelan olma olasılığı (zamansal olabirlik) $S = P_L =$ Heyelanın mekânsal oluşumu (mekânsal olabirlik) $\lambda = 1/\mu$ 'ye karşılık gelen heyelanların ortalama oluşma olasılığı μ = gelecekte tekrarlanma olasılığı ortalaması	Guzzetti vd., (2005) (İtalya'nın kuzeyindeki Güney Lomvardy bölgesi) ve Çil (2009) (Mersin, Türkiye)

$H(N) = 1 - (1 - 1/T)^N$	H(N) = Mutlak tehlike N = Belirtilen zaman aralığı T = Tekrarlanma aralığı (yıllık)	Catani vd., (2005) (Arno Nehir Havzası - İtalya)
$H_{\text{heyelan}} = \frac{(S_r \times S_i \times S_h)}{(T_s + T_p)} \times$	S _r = eğim faktörü S _i = litoloji faktörü S _h = toprak nemi faktörü T _s = sismik koşullar T _p = yağış koşulları	Nadim vd., (2006) Global ölçekli dünya heyelan tehlike haritası
$P_{H(i,t)} = P_S \times e^{-\left[\frac{a_{(i,t)} - T_i}{b_{(i,t)}}\right]}$	P _H = Tehlike P _S = Toprak akması duyarlılık değeri T _i = ön görülen eşik değeri a ve b = zaman kat sayıları	Nefeslioğlu (2008) (Rize, Türkiye)
$H_L = P_M \times P_T \times P_S$	H _L = Heyelan tehlikesi P _M = Alansal /boyutsal olasılık P _T = Zamansal olasılık P _S = Mekânsal olasılık	Jaiswal vd., (2011) (Nilgiri tepeleri, Hindistan)
Hazard (H) = P _S x P _T	H = Tehlike P _S = Duyarlılık haritasından elde edilen heyelanın mekânsal olasılığı P _T = Belirli bir eşiği aştığında tetiklenme olasılığı	Erener ve Düzgün (2013) (Bartın, Türkiye) ve Althuwaynee vd., 2015. (Kuala Lumpur Malezya)

4.5. Heyelan Riski

Afet riski; belirli bir zamanda, belirli bir bölgede herhangi bir afet sonucunda ortaya çıkabilecek can ve mal kaybı ile ekonomik zararın tahmin edilmesi şeklinde yorumlanmaktadır. Genel olarak ele alındığında doğal afetler açısından risk; gelecekte belirli bir zaman içerisinde, belirli bir tehlikenin, söz konusu tehlikeye maruz kalan değerlere veya tehlike altındaki unsurlara, bu unsurların hasar görebilirliklerine de bağlı olarak verebileceği zararların, tahmini miktarı olarak tanımlanmaktadır. Heyelan riski konusunda bir değerlendirme yapabilmek için öncelikle risk kavramı, heyelan riski, risk değerlendirme, risk analizi, risk altındaki elemanlar ve hasar görebilirlik gibi kavramlar hakkında net tanımları ortaya koymak gerekmektedir. Bu bağlamda UN-ISDR tarafından kabul gören ve halihazırda kullanılan tanımlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

Risk, matematiksel olarak ifade edildiğinde; tehlike ile tüm risk altındaki elemanlarda meydana gelebilecek hasar miktarının çarpımıdır [173]. Ayrıca risk kavramı, heyelan açısından değerlendirildiğinde, can ve mal kaybına yol açan veya çevreye zarar veren bir olayın (heyelanın) oluşma olasılığının bir ölçüsüdür [53].

Heyelan riski; envanter, duyarlılık ve tehlike kavramlarının tamamını içeren ve bu kavramların yanı sıra nüfus, ekonomik etkinlik gibi sosyo-ekonomik parametreleri de kapsayan bir kavramdır. Bu kavram içinde, heyelanlar sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, oluşacak hasarın tahmini ile ekonomik ve çevresel zararlar da değerlendirilmektedir. Heyelan riski; can ve mal kaybına yol açan, çevreye zarar veren bir heyelanın, oluşma olasılığının bir ölçüsü olup, belirli bir zamanda, belirli bir bölgede heyelan sonucunda ortaya çıkabilecek can ve mal kaybı ile ekonomik zararın tahmin edilen sayısal değerini ifade eder [30].

Heyelan riskinde; heyelan sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, oluşacak hasarın tahmini, ekonomik ve çevresel zararların da beraber değerlendirilmesi gerekmektedir. Heyelan riski nitel olarak (yüksek, orta düşük ve

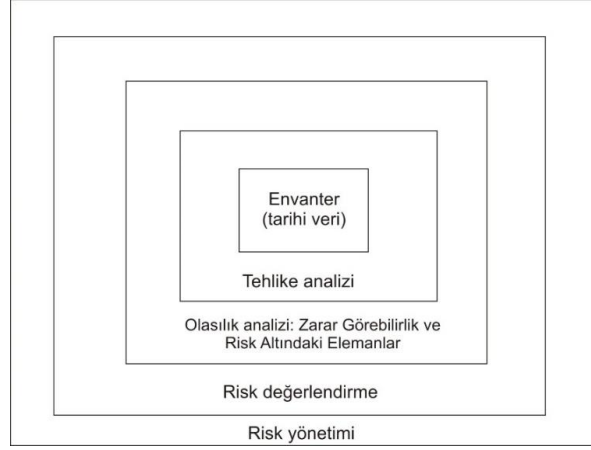
risksiz) veya nicel olarak (sayı ve ekonomik değerlerle) ifade edilebilir. Risk nicel olarak yukarıda belirtildiği gibi olasılık çarpımı sonuçlarına göre tahmin edilebilir ve şu şekilde hesaplanır;

- Yıllık bazda; yani belirli bölgedeki belirli büyüklükteki heyelanın oluşmasıyla beklenen kayıplar,
- Tekrarlanma aralığı olarak yani; belirli bir bölgedeki 100 yıllık tekrarlanma aralığında heyelanın oluşmasıyla beklenen kayıplar,
- Farklı dönüşüm periyodlarında meydana gelen heyelanlar nedeniyle belirli bir zaman aralığında meydana gelen kayıplar [201].

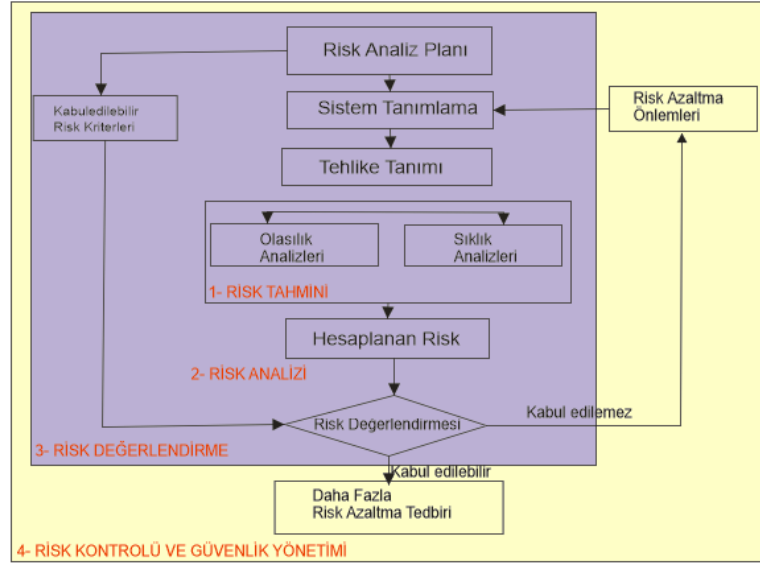
Risk altındaki elemanlar; heyelan sonucunda potansiyel olarak etkilenebilecek canlılar, binalar, yapılar, altyapı, yol gibi elemanları içeren kavramdır [30].

Risk yönetimi ise; risk analizi ve risk gelişiminin tümünü kapsayan risk değerlendirmesi ve denetiminin tüm süreçlerini ifade etmektedir. Risk değerlendirmesi, kritik kararların alınması gereken entegre bir risk yönetim sürecinin parçası olup, literatürde ve çeşitli yönerge ve uygulama kurallarında birçok risk yönetimi çerçevesi önerilmiştir. Şekil 4.16 ve 4.17 risk yönetimi için bir çerçeve örneğini vermektedir. Bütün bu çerçevelerin ortak amacı aşağıdaki soruları cevaplamaktır [232]:

- Tehlikeler ve büyüklükleri nelerdir? [Tehlike Tanıtımı]
- Belirli bir büyüklükte tehlikeler ne sıklıkta ortaya çıkabilir? [Tehlike Analizi]
- Risk altındaki unsurlar nelerdir? [Risk Altındaki Eleman Tanımları]
- Risk altındaki unsurların potansiyel hasar görülebilirlikleri nedir? [Hasar Görülebilirlik Değerlendirmesi]
- Zarar olasılığı nedir? [Risk Tahmini]
- Tahmini riskin önemi nedir? [Risk Değerlendirmesi]
- Ne yapılmalı? [Risk Yönetimi]

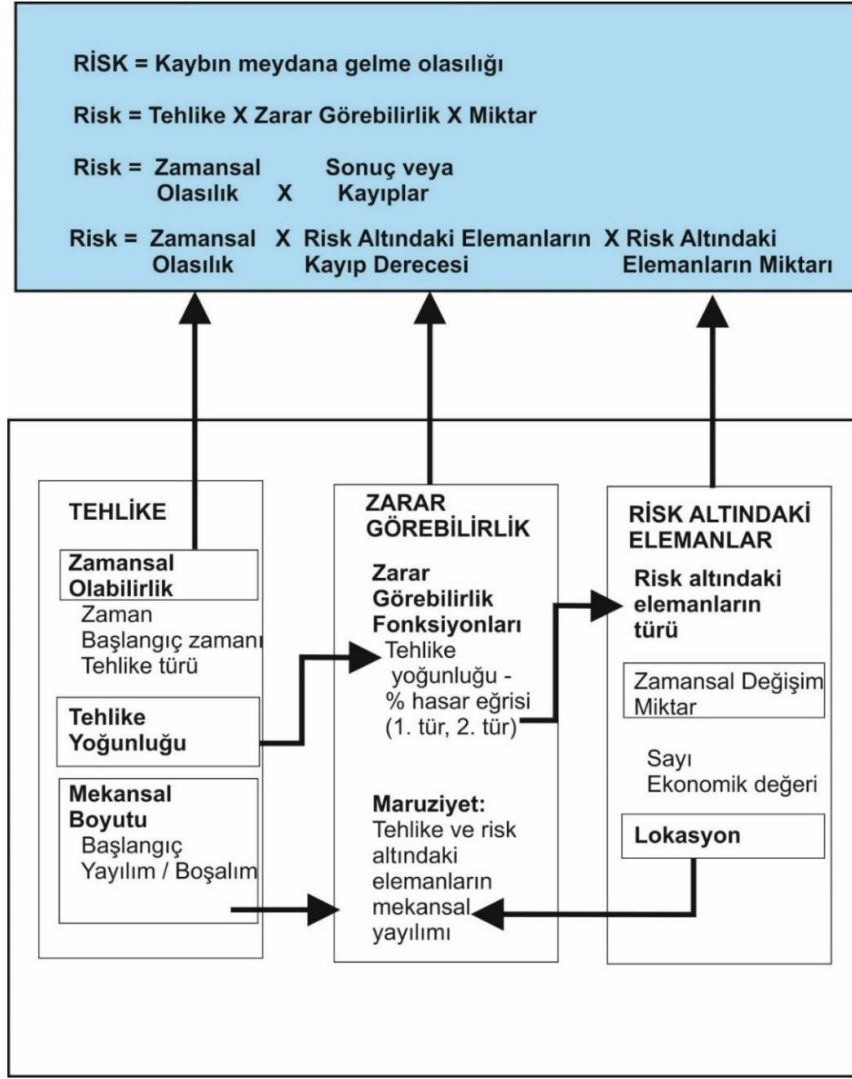


Şekil 4. 16. Fell vd. [233] tarafından hazırlanan entegre risk yönetim süreçlerini gösteren şema [201].



Şekil 4. 17. Risk tahmini, analizi ve değerlendirmesinin risk yönetimi ve kontrolündeki rolünü gösteren şematik gösterim [201].

Hasar görebilirlik; tehlikeye maruz kalması olası insan, yapı, tesis, çevre vb. unsurların, tehlikenin meydana gelmesi halinde, görebileceği; fiziksel, sosyal veya ekonomik kayıp ve zararın derecesi olarak tanımlanmaktadır [53]. Son olarak; risk analizi kavramı, çevre ve topluma ait bilgiler kullanılarak ve olası tehlikeleri dikkate alarak risklerinin tahmin edilmesidir [53]. Şekil 4.18'de yukarıda ifade edilen tüm kavramların birbirleriyle ilişkisini gösteren risk analizinin bileşenleri sunulmaktadır.



Şekil 4. 18. Risk analizinin bileşenleri [201].

Niteliksel risk analizi; potansiyel sonuçların büyüklüğünü ve bu sonuçların ortaya çıkma ihtimalini tanımlamak için tanımlayıcı veya sayısal derecelendirme ölçekleri kullanılan analizlerdir. Niceliksel risk analizi ise; olasılığın, kırılabilirliğin ve sonuçların sayısal değerlerine dayanan ve riskin sayısal olarak hesaplandığı bir analizdir [201]. Literatür sonuçlarına göre; heyelan riski konusundaki çalışmalar envanter, duyarlılık ve tehlike ile ilgili yapılan çalışmalarla sayı bakımından kıyaslandığında, oldukça azdır. Bu durumun nedeni risk çalışmalarında, farklı türde ve çok sayıda güvenilir veriye ihtiyaç olması ve ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde de bu tür verilere ulaşmakta yaşanan zorluklardır [53], [54]. Ayrıca risk çalışmaları için disiplinlerarası bir çalışmanın yürütülmesi gerekmektedir.

Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri birbirleriyle doğrudan ilişkili ancak çok değişkenli bir denklem gibi değerlendirilebilir. Çizelge 4.12'de heyelan duyarlılığı, tehlikesi ve risk değerlendirmesi için temel veri kümelerine ait şematik gösterim sunulmuştur. Çizelgede risk altındaki elemanları değerlendirirken kullanılan verilerin önem derecesi gösterilmektedir. Çizelgede;

- ✓ Veri grubu: temel veri gruplarını,
- ✓ Ölçek: Verilerin belirli ölçekte elde edilme uygunluğu ile ilgili ulusal, bölgesel, yerel ve saha inceleme ölçeğindeki öneminin göstergesini,
- ✓ Tehlike modelleri: Jeomorfolojik modeller, istatistiksel modeller, fiziksel tabanlı modeller ve olasılık modelleri için verilerin önemini,
- ✓ Risk modelleri: nitel ve nicel risk analizi için veri katmanının önemini temsil etmektedir.

Heyelan risk modellemelerinde; olası tehlike ve onun potansiyel sonuçlarıyla ilgili olarak insan yaşamını etkileyen, ekonomik etkileri olan veya çevresel değişikliklere neden olan unsurlar belirlenmektedir. Risk haritaları, özellikle kentsel planlamada karar vericiler için önemli bir altlık oluşturmaktadır. Ancak bu haritaların hazırlanması aşamasında özellikle nüfusun sürekli artması ve/veya artacağı dikkate alınmalı, nüfus artışına bağlı olarak etkilenecek yerleşim alanı, arazi, vb. değişimlere dair bu bilgilerin özenle güncellenmesi gerektiği de unutulmamalıdır.

Çellek [213] çalışmasında heyelan risk haritalarının bazı sınırlamaları olduğunu ifade etmiştir. Bu sınırlamalar;

- Harita üretilmek istenilen alana dair sürekli değişim gösteren verilerin (nüfus, ekonomik parametreler, konut stoku, sosyal değişkenler vb.) olması ve bu verilerle ilgili diğerlerine nazaran daha detay bilgiye ihtiyaç duyulması,
- Farklı meslek disiplinlerini aynı platformda bir araya getirmenin zorlukları,
- Kullanılan verilerin güncelliğinin sağlanması ve buna bağlı olarak harita da düzenli güncellemelerin yapılması,
- Heyelanların tam oluşum zamanlarına dair bilgilerin yetersiz oluşu ve tetikleyici faktör bilgilerinin de çoğunlukla net olmamasıdır.

Çizelge 4. 12. Heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin temel veri kümelerini gösteren ölçek ve yöntem bilgileri (Van Westen vd.'den [40] değiştirilerek alınmıştır).

Veri Grubu		Ölçek				Tehlike Modeli				Risk Yöntemi	
Türü	Veri Katmanı	Küçük	Orta	Büyük	Ayrıntılı	Jeomorfolojik	İstatistiksel	Deterministik	Probabilistik	Yarı Niceliksel	Niteliksel
Heyelan Envanteri	Heyelan Envanteri	K	Y	Y	Y	K	Y	Y	Y	Probabilistik tehlike analizlerinin sonuçları gerekmektedir.	Deneyimsel, istatistiksel veya deterministik tehlike analizlerinin sonuçları gereklidir.
	Heyelan Aktivitesi	O	K	K	K	Y	K	K	K		
	Heyelan İzleme	O	O	O	K	...	...	Y	Y
Jeolojik / Jeomorfolojik Faktörler	SYM	Y	K	K	K	Y	K	K	K		
	Eğim, bakı vb.	D	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Rölyef	Y	O	D	D	Y	D	...	...
	Akış özelliği	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y		
	Litoloji	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Yapısal özellik	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Fay	Y	Y	Y	Y	Y	Y	...	...
	Zemin türü	O	Y	K	K	Y	Y	K	Y		
	Zemin derinliği	...	D	K	K	...	...	K	Y
	Hidrojeolojik özellikler	...	...	K	K	...	...	K	Y
	Jeomorfolojik özellikler	K	Y	O	D	K	O	D	D		
	Ayrıntılı Jeomorfoloji	Y	Y	Y	D	Y	Y	O	D		
Arazi kullanımı	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y			
Arazi kullanımında değişiklikler	O	Y	Y	K	Y	Y	Y	K			
Tetikleyici Faktörler	Yağış	O	O	K	K	Y	Y	K	K		
	Isı/ buharlaşma	...	...	O	Y	...	...	Y	D
	Deprem kataloğu	O	O	Y	K	...	...	...	K
	Yer ivmesi	D	O	Y	Y	Y	Y	Y	D		
Risk Altındaki Elemanlar	Binalar	D	O	K	K	K	K
	Yol ağları	O	O	O	Y	O	O	O	O	Y	Y
	Yaşam alanları	...	D	D	O	D	D
	Önemli yapılar	D	O	Y	Y	Y	Y
	Nüfus	Y	Y	K	K	K	K
	Tarım verileri	D	O	Y	O	D	O
	Ekonomik veriler	D	O	Y	Y	D	O
	Ekolojik veriler	D	Y	D	D	D	O

*K: Kritik, Y: Yüksek, O: Orta, D: Düşük,: Uygun değil, SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

Yapılan literatür çalışmalarına göre, araştırmacılar tarafından heyelan riski, çoğunlukla matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır. En genel tanım Varnes [222] tarafından yapılmış olup, bu tanımda; heyelan riski belirli bir zamanda, belirli bir bölgede heyelan sonucunda ortaya çıkabilecek can ve mal kaybı ile ekonomik zararın tahmin edilmesi şeklinde yorumlanmıştır. Bu tanıma göre heyelan riski matematiksel olarak; heyelan tehlikesi ile tüm risk altındaki elemanlarda meydana gelebilecek hasar miktarının çarpımına eşittir (Eşitlik 4.30).

$$R = \sum (H \sum (VA))$$

Eşitlik 4.30

Eşitlikteki;

R = heyelan riski,

H = sayısal olarak hesaplanmış heyelan tehlikesi,

V = hasar görülebilirlik,

A = risk altındaki elemanları ifade etmektedir.

Çizelge 4.13'de literatürde araştırmacılar tarafından riskin matematiksel ifadesinde kullanılan bazı eşitliklere yer verilmektedir. Aşağıdaki paragraflarda Çizelgede yer alan bazı çalışmaların (özellikle Türk araştırmacıların ve Türkiye'de yapılan çalışmalar başta olmak üzere) detayları paylaşılmıştır. Buradaki temel amaç, tez çalışmasının temel hedefi olan heyelan riski konusuna temel oluşturacak analizler ve yöntemlerin ayrıntılandırılarak, bir yöntem bilimin ortaya konulmasıdır. Bir diğer husus da, literatürde heyelan risk çalışma sayısının az olması nedeniyle, dikkate alınan çalışmaların ayrıntılı analiz edilmesi gerekliliğidir.

Remondo vd. [184] tarafından, İspanya'nın Bajo Deba bölgesinde yapılan sayısal risk değerlendirme çalışmasında, tehlike, hasar görülebilirlik ve risk altındaki elemanlar dikkate alınmıştır. Çalışmada, 50 yıllık bir süreçte heyelan meydana gelme olasılığını hesaplayan araştırmacılar, risk değerini € / piksel / yıl olarak doğrudan belirlemişlerdir. Bu şekilde uygulanan bir yaklaşımla, Bajo Deba

bölgesinin 50 yıllık süreçte heyelanlar nedeniyle yaklaşık 2.4 milyon €'luk bir ekonomik kayba uğrayacağı tahmin edilmiştir.

Zeze vd. [185] çalışmalarında; Lisbon (Portekiz) bölgesinde seçilen 20 km²'lik bir alanda olasılıklı heyelan risk analizini gerçekleştirmiş olup bölgedeki yol ve binalara dair risk değerlendirmesi yapmışlardır. Araştırmanın temel bileşenleri; heyelan tehlike haritası, risk altındaki elemanlar ve hasar görülebilirlik değerleridir. Bölgede heyelanlar yağışla tetiklenmekte olup, tekrarlamaya periyodlarının bilinmesiyle, sağlıklı bir tehlike değerlendirmesinin yapılabileceği ifade edilmiştir. Portekiz Sigorta Enstitüsünden alandaki risk altındaki eleman olarak yol ve binalara ilişkin mali değerleri dikkate alınarak risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Nefeslioğlu vd. [234], Çataklı Havzası (Rize)'nda gerçekleştirdikleri bölgesel ölçekli heyelan risk değerlendirmesi çalışmasında, toprak akması türündeki heyelanların modellenmesini yaparak, ülkemiz literatüründe heyelan riski değerlendirme çalışmaları kapsamında ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma temelde dört aşamadan oluşmakta olup, bunlar sırasıyla hazırlayıcı parametrelerin üretilmesi, konumsal olasılık değerlerinin hesaplanması, zamansal olasılık değerlerinin hesaplanması ve risk hesaplaması aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmanın heyelan risk değerlendirmelerine yönelik en önemli katkısı, "risk kübü", "risk düzlemi", "risk vektörü" ve orta ölçekli çalışmalarda kullanılabilecek yeni bir zarar görülebilirlik eşitliğinin önerilmesidir. Çalışmada hesaplamalar, özellikle heyelanların yollara verebileceği zarar kavramı dikkate alınarak, ekonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Akgün vd. [235] tarafından, İzmir Körfezi için heyelan risk haritaları uzaktan algılama ve CBS verileri yardımıyla yapılmıştır. Araştırmacılar; 1995 - 2008 yıllarına ait veriler ve arazi gözlemlerini dikkate alarak 30 heyelanı Varnes [248] sınıflamasına göre tanımlanmışlardır. Çalışmada, duyarlılık analizlerinde litoloji, eğim, bakı, yola uzaklık, faya uzaklık, drenaj ağına uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Heyelanların % 60'ını eğitim, % 40'ını ise sınıma verisi olarak seçip,

eğim, bakı ve litoloji parametrelerini kategorik veri, diğer parametreleri de numerik veri olarak ayırıştırılarak duyarlılık analizi yapmışlardır.

LR yöntemi ile yapılan duyarlılık değerlendirmesinde yöntemin AUC değeri 0.810'dur. Çalışma alanının depremselliği dikkate alındığında, deprem birinci, yağış ise ikinci tetikleyici faktör olarak tehlike analizlerinde kullanılmıştır. Deprem aktiviteleri göz önünde bulundurularak 475 yıllık tekrarlanma periyoduna göre Radius modeli kullanılarak PGA haritası ve 1975 - 2006 yıllarına dair meteorolojik verilerle de yağış parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Çalışmada, Aster uydu görüntüleri yardımıyla alanın arazi kullanım haritası oluşturularak yerleşim alanları ve özellikle risk altındaki elamanlar tespit edilerek hasar görülebilirlik indeksi hesaplanmıştır. Çalışmanın temel mantığı Şekil 4.19'da özetlenmiştir.

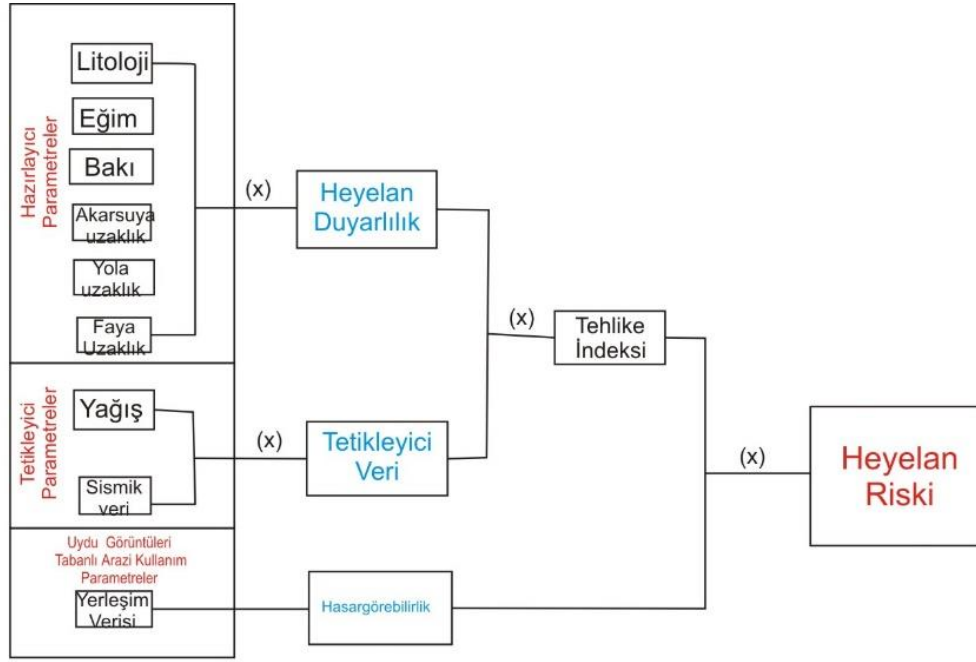
Çizelge 4. 13. Literatürdeki mevcut risk değerlendirme ve risk analizi yaklaşımlarında kullanılan matematiksel modeller (Erener'den [231], değiştirilerek alınmıştır).

YÖNTEM TÜRÜ	RİSK FORMÜLÜ	TANIM	REFERANSLAR
Genel Bakış / Tartışma	$R_s = H \times V$ $R_t = R_s \times E = (H \times V) \times E$	R_s = Özgül risk H = Tehlike V = Hasar görebilirlik R_t = Toplam risk E = Risk altındaki elemanlar	Varnes (1984)
Nicel	Risk = Tehlike x Sonuçlar	Sonuçlar = Potansiyel kayıp değeri	Einstein (1988)
Nicel	$R(DI) = P(H) \times P(S\backslash H) \times P(T\backslash S) \times V(L\backslash T)$	$R(DI)$ = Tekil/Kişisel risk $P(H)$ = Tehlike $P(S\backslash H)$ = Mekansal etki olasılığı $P(T\backslash S)$ = Zamansal etki olasılığı $P(L\backslash T)$ = Tek bir birey için hayatını kaybetme olasılığı	Morgan vd.,(1992)
Nicel	$R_t = \sum(R_s \times E) = \sum(H \times V \times E)$	R_t = Toplam risk R_s = Özgül risk V = Hasar görebilirlik E = Risk altındaki elemanlar	Fell (1994) Fell vd., (2005)
Nicel	$R = \sum(H \sum(VA))$	R = Risk (€/yıl) H = Tehlike (0-1/yıl) V = Risk (0-1) altındaki özel tip bir elemanın fiziksel zarar görebilirliği A = Risk (€) altındaki özel elemanların miktarı ya da değeri (VA) = Risk altındaki tüm elemanlar için sonuçlar	Leroi (1996); Lee ve Jones (2004)

Nitel	$R_s = f(H.V).$	$R_s = \text{Özgül risk}$ H = Heyelan tehlikesi V = Hasar görebilirlik	Cardinali vd., (2002) (Umbria, İtalya)
Nicel	$R(PD) = P(H) \times P(S\backslash H) \times V(P\backslash S) \times E$	$R(PD) = \text{Özgül risk (gayrimenkul)}$ P(H) = Tehlike P(S\H) = Gayrimenkulü etkileyen heyelan olasılığı V(P\S) = Hasar görebilirlik E = Gayrimenkulün değeri	Dai vd., (2002)
Genel Bakış ve Tartışma	$R = P \times C$	R = Potansiyel sonuçları olan bir olay riski P = Bu olayın meydana gelme olasılığı C = Verilen olayın meydana gelmesi halindeki sonuçlar	Faber ve Stewart (2003)
Nicel	$R = H \times C \times E$	R = Heyelan riski H = Tehlikeli olay veya doğal afetin olasılığı Risk altındaki elemanlar=(E) üzerindeki Sonuçları=(C)	Bell ve Glade (2004) (Bildudalur, İzlanda)
Nitel	$R(T.I)=D(I) \times H(T.I).$	D(I) = Belirli bir yoğunluktaki potansiyel kayıp değeri	Catani vd., (2005) (Arno Nehri, İtalya Merkez)
Nicel	$R(\text{prop})= P(L) \times P(T:L) \times P(S:T) \times V(\text{prop}:S) \times E$ $P(\text{LOL}) = P(L) \times P(T:L) \times P(S:T) \times V(D:T)$	P(L) = Belirli bir büyüklükteki (şiddetteki) kaya düşmesi olayı sıklığı P(T:L) = Risk altındaki elemanlara ulaşan kaya düşmesi olasılığı P(S:T) = Risk altındaki elemanların zamansal mekânsal olasılığı V(prop:S) = Risk altındaki elemanların zarar görebilirliği E = Risk altındaki elemanlar V(D:T) = Kaya düşmesi olayıyla ilgili kişinin zarar görebilirliği	Corominas vd., (2005)
Kritik – Gözden Geçirme	Bir binaya özel risk; $R_s = P(S_{PV}|T_M) \times P(S_{TV}|T_M) \times P(R_X|S_{VT}) \times P(D_B|S_{VT}) \times C_B$	$P(S_{PV}|T_M) = \text{Mekansal olasılık}$ $P(S_{TV}|T_M) = \text{Zamansal olasılık}$ $P(R_X|S_{VT}) = \text{Binanın kapanacağı X mesafedeki boşalma mesafesi koşullu olasılığı}$ $P(D_B|S_{VT}) = \text{Belirli bir yapı tipindeki binanın hasar}$	Van Westen vd., (2005)

	Binadaki kişilere özel risk; $R_s = P(S_{PV}|T_M) \times P(S_{TV}|T_M) \times P(R_X|S_{VT}) \times P(D_B|S_{VT}) \times P(I_P|D_B) \times P(P_H|S_{VT}) \times N_P$	koşullu olasılığı C_B = Bu belirli/özel binanın taşınma maliyeti $P(I_P|D_B)$ = Binada mevcut bir kişinin ölüm ya da yaralanma koşullu olasılığı $P(P_H|S_{VT})$ = Bir kişinin binada olma koşullu olasılığı N_P = Binadaki kişi sayısı	
Nicel	$R_T = R_{S_i} + R_{S_b} + R_{S_l}$	R_T = Toplam risk R_{S_i} = Doğrusal altyapılar için özel risk R_{S_b} = Binalar için özgül risk R_{S_l} = Araziler için özgül risk	Remondo vd., (2008)
Nicel	$R_z = P_{Z,Y} \times V_z \times E$	R_z = Z tipi heyelan için risk değeri $P_{Z,Y}$ = Y tehlike senaryosunda, bir pikselin Z tipi heyelandan etkilenme olasılığı (n yıllık tekrarlanma aralığında) V_z = Z tipi bir heyelana maruz kalındığında, bir pikselin hasar görülebilirlik değeri E = Risk altındaki elamanlar	Zeze vd. (2008) Portekiz (Lizbon)
Nicel	$R(P) = \sum_{i=1}^k [P(S_i) \times P(T_i) \times V_i] \times C$	$R(P)$: Ekonomik risk $P(S_i)$: Konumsal olasılık $P(T_i)$: Zamansal olasılık V_i : Hasar görülebilirlik C: Maliyet	Nefeslioğlu ve Gökçeoğlu (2011)
Nicel	$R_s = H_L \times V_L$	R_s = Özgül risk H_L = Heyelan tehlikesi V_L = Heyelan zarar görülebilirliği	Akgün vd., (2012)
Nicel	$r = h \times v$	r = Heyelan riski (10*10m'lik piksele düşen €) h = Heyelan tehlikesi v = Zarar görülebilirlik	Bednarik vd. (2012)
Nicel	$R(LOP) = P(H) \times P(SIH) \times V(PIS) \times EAR$ $R(LOL) = \sum_{i=1}^2 P(H) \times P(SIH) \times E_{pe}$	$R(LOP)$ = mülkiyetli birimler için risk $P(H)$ = heyelan olayının yıllık olasılığı $P(SIH)$ = Mekânsal etkinin olasılığı	Erener ve Düzgün (2013)

	$R(\text{LOL}) = 0.5 \times (P(H) \times P(\text{SIH}) \times E_{\text{pe}})_{\text{gündüz}} + (P(H) \times P(\text{SIH}) \times E_{\text{pe}})_{\text{gece}}$ $C = P(\text{SIH}) \times E_{\text{pe}}$	<p>V (PIS) = Mülkiyetin hasar görülebilirlik değeri EAR = risk altındaki unsurlar R(LOL) = risk (yaşamsal risk), P(H) = heyelan olayının yılda meydana gelme olasılığı, P (SIH) = heyelanın mekânsal etkisininin olasılığı, C= sonuç değeri, Epe = her binadaki insan sayısı</p>	
Yarı Nicel	$R(P) = \sum_{i=1}^K [P(L_i) \times (T : L) \times V(D_i)] \times C$	<p>R(P) = Beklenen yıllık zarar (€ / yıl), P(L_i) = Büyüklük i ile yıllık olasılık oranı, P(T:L) = Risk altındaki bir unsuru etkilemesi muhtemel heyelanın oluşma olasılığı, V(D_i) = Risk altındaki unsurun hasar görülebilirliği, C = Binanın maliyet değeri.</p>	Armaş (2014); Althuwaynee ve Pradhan (2016)



Şekil 4. 19. Akgün vd. [236] tarafından yapılan heyelan risk değerlendirmesi çalışmasının iş akış diyagramı.

Çalışmada hasar görebilirlik hesaplaması için Eşitlik 4.31 kullanılmıştır [237].

$$V_L = P [D_L \geq 0 | L], (0 \leq D_L \leq 1)$$

Eşitlik 4.31

Eşitlikteki;

V_L = Hasar görebilirlik,

D_L = L heyelanı meydana geldiğinde hasar görmesi kesin elemanın veya beklenen hasarın miktarı,

L = Meydana gelen heyelanı ifade eder.

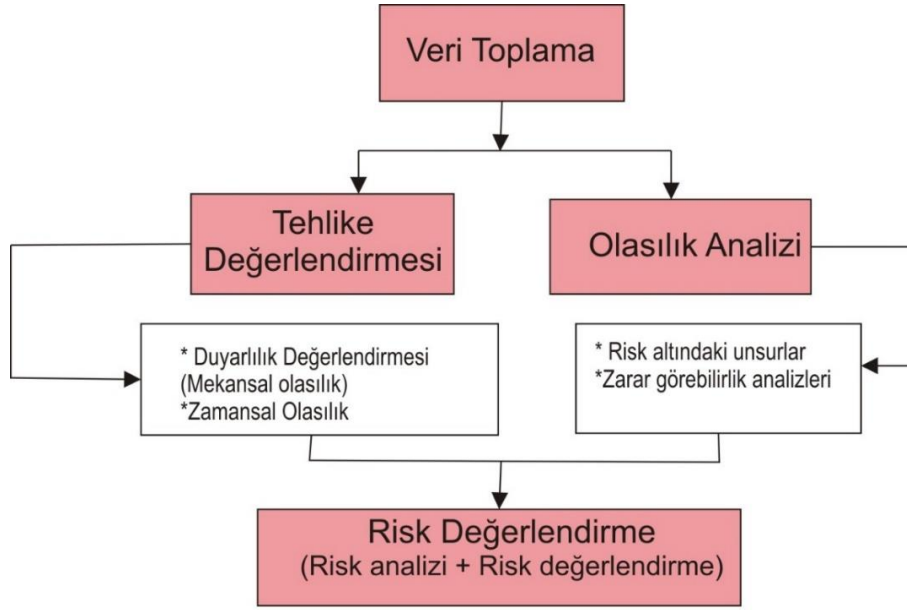
Hasar görebilirlik değeri maddi değeri olan elemanlar için hesaplanırken, niteliksel bir terim olup, risk altındaki elemanların beklenen tahmini zararı olarak ifade edilmiştir. Çalışmada hasar görebilirlik değeri 0'dan 1'e değişim göstermekte olup, 0 zararın olmadığını 1 ise tamamen hasar / yıkımı temsil etmektedir.

Bednarik vd. [188] çalışmalarında, Slovakya'nın kuzeybatısındaki Hlohovec şehrinin kuzeyi ve Sered şehrinin güneyinde kalan alandaki meydana gelen

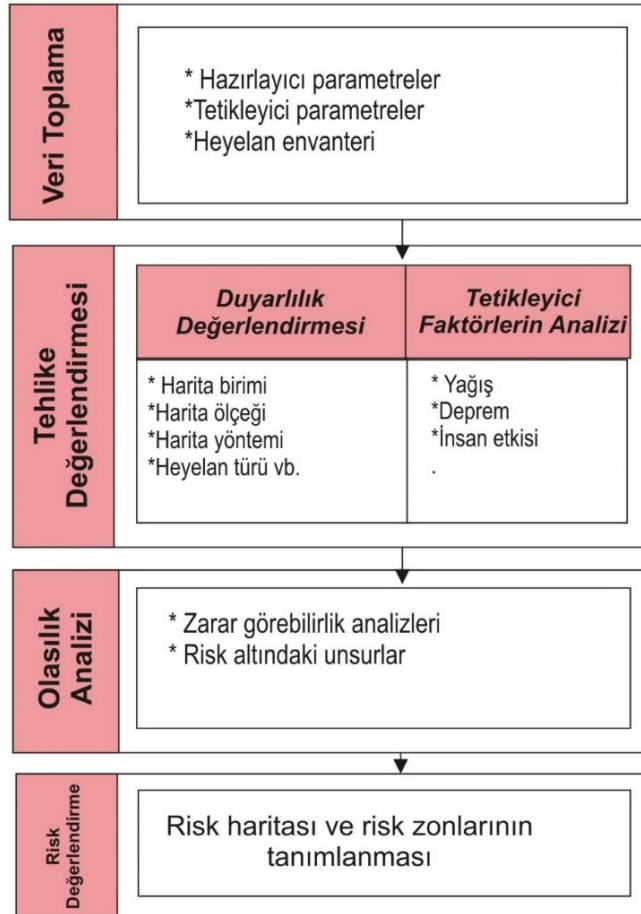
heyelanları ikili istatistiksel analiz yöntemleri ile analiz ederek heyelan tehlike değerlendirmesi yaparak, aynı alan için risk değerlendirmesinde bulunmuşlardır. Araştırmacılar tarafından heyelan tehlike değerlendirmesi konusunda oldukça fazla literatür çalışması olmasına rağmen, risk konusunda fazla çalışmanın olmaması hususu, risk değerlendirmede özellikle orta ölçekten daha büyük ölçeklere uzanan aralıkta (1/10.000 ve daha büyük ölçeklerde) henüz ortak bir metodolojinin geliştirilememesi olarak açıklanmıştır. Çalışma “heyelan tehlike ve duyarlılık değerlendirmesi” ve “hasar görülebilirlik ve risk değerlendirmesi” şeklinde 2 temel başlık altında yapılmıştır.

Araştırmacılar litoloji, yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, eğim uzunluğu, etkin alanlar ve arazi kullanımı parametrelerini kullanarak 10 x 10 m’lik grid hücreli (1/10.000 ölçekli) parametre haritaları hazırlanmıştır. Çalışmada hasar görülebilirlik hesaplaması yapabilmek için arazi kullanım haritasındaki akarsu ağları, ekilebilir alanlar, ormanlık, yerleşim alanları (bina yapılmış olan alanlar), yol ağları, karayolu ağı ve demiryolu ağı bilgileri dikkate alınmıştır. Söz konusu risk altındaki elemanların ekonomik ederini bulmak için alanlar ekilebilir alan, mera/otlak alanı, bina bulunan alanlar, ormanlık, alandaki yerleşik yaşayanlar olmak üzere alt sınıflara ayrılarak her biri için maliyet hesaplaması yapılmıştır. Çalışma alanı için risk hesaplaması hasar görülebilirlik ile tehlikenin çarpımıyla elde edilmiş olup, iki farklı senaryo için risk haritaları üretilmiştir.

Ülkemizde risk konusunda, heyelan literatürüne katkı yapılan bir diğer araştırma; Erener ve Düzgün’ün Bartın ilinde (Kumluca su toplama havzası) bölgesel ölçekte (1/25.000 ölçeğinde) nicel heyelan risk değerlendirmesi yaptığı çalışmadır. Araştırmacılar tarafından çalışmada, CBS tabanlı duyarlılık, tehlike ve risk haritaları üretilmiştir [238]. Tüm çalışma 4 temel ana başlık üzerinde şekillenmiş olup, araştırmacıların risk değerlendirme mantığı Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de özetlenmiştir.



Şekil 4. 20. Erener ve Düzgün risk değerlendirme çalışmasının şeması [238].



Şekil 4. 21. Kumluca su toplama havzasının risk değerlendirme çalışmasının genel mantığını gösteren iş akış şeması [238].

Veri toplama aşamasında; AİGM, MTA gibi kamu kurumlarının tarihi kayıtlarından, Aster uydu görüntülerinden, farklı tarihlere ait hava fotoğraflarından, arazi gözlemlerinden, araziden GPS cihazı ile alınan verilerden ve yerel halkla görüşme sonuçlarından yararlanılmıştır. AİGM'ye göre 1950 – 2008 yılları arasından Kumluca'da 184 kütle hareketi meydana gelmiş ve 537 adet konut bundan etkilenmiştir. Gerek AİGM gerekse MTA heyelan verileri araştırmacılar tarafından Varnes [239] sınıflaması dikkate alınarak türlerine göre gruplandırılmıştır. Elde edilen tüm veriler aynı veri formatına dönüştürülerek analizlere hazır hale getirilmiştir.

Araştırmacılar alandaki 134 heyelanı 18 hazırlayıcı faktörü (eğim, bakı, eğrisellik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, TWI, akarsuya uzaklık, malzeme türü, SPI, akarsu yoğunluğu, yola uzaklık, yol ağı yoğunluğu, NDVI, faya uzaklık, litoloji, erozyon, toprak kalınlığı, arazi kullanımı) dikkate alarak 20 x 20 m çözünürlüklü gridler halinde, LR yöntemi ile analiz etmişlerdir.

Bölgede tetikleyici parametre olarak yağış verileri kullanılmış ve tehlike analizi için geçmiş 30 yıllık veriler Gumbel dağılımı ile yorumlanmıştır. Geçmiş heyelan vakalarının zamanının kestirmek için arşiv verilerinin yanı sıra, yerel halkla yapılan görüşmelerden de yararlanılmıştır. Tehlike analizi için, 134 heyelandan son 31 yılda gelişen 16 adet heyelana dair oluşum zamanı tespit edilerek kullanılmıştır. Yağışa dair 5 - 10 - 50 yıllık tekrarlanma periyodları dikkate alınarak heyelanların aynı alanda yeniden oluşma olasılığı, 9 farklı senaryoya göre hesaplanmıştır. Çalışmada; yağış analizi için öncül yağışlar modeli (antecedent rainfall – ARM) kullanılmıştır. Bu modelde yağmur indeksi Eşitlik 4.32'de verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$X_n = kP_1 + k^2P_2 + \dots + k^nP_n$$

Eşitlik 4.32

Eşitlikteki;

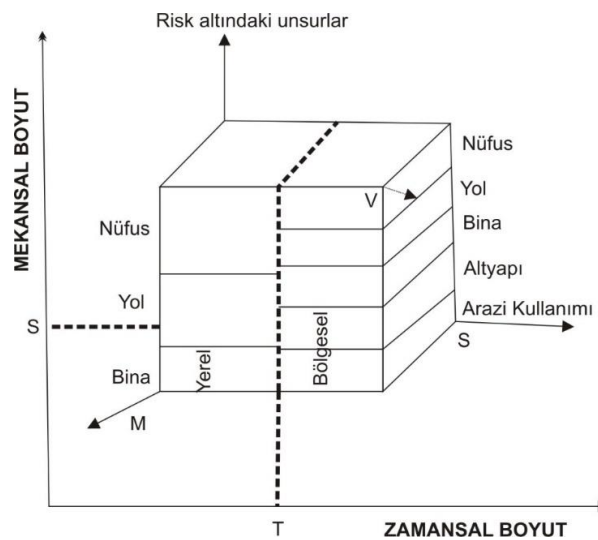
X = X günü için öncül yağış değeri,

$P_1 = X$ gününden önceki günlük yağış,

$P_n = X$ gününden önceki n.inci yağış değeri,

$k =$ sabit değer (0.9) dir.

Erener ve Düzgün [238] çalışmalarında öncül yağışlar için 5 – 10 - 20 gün öncesi verileri dikkate alarak hesaplamalar yapmışlardır. Sonuçta 5 ve 20 günlük öncül yağışların özellikle ana yollarda meydana gelen heyelanlar üzerinde önemli bir etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Araştırmacılar, öncül yağış sonuçları ve heyelan tarihleri arasındaki ilişkiyi dikkate alarak, Gumbel dağılımı ve LR modelini temel alan bir yaklaşımla, kritik eşik yağış değerini belirlemişlerdir. Çalışmanın risk hesaplaması aşaması için 3 boyutlu hasar görebilirlik çerçeve modeli kullanılmıştır. Model; tehlike haritasının üzerine arazi kullanımı, kadastral paftalardaki bina stokları, nüfus gibi faktörlerin etkileri dikkate alınarak oluşturulmuştur (Şekil 4.22). Modeldeki veri grupları 20 x 20 m'lik gridlere ayrılmış vektör veri üzerine aktarılmış ve risk altındaki bu elemanlar içinde olduğu pikselle ilişkilendirilerek maliyet analizi yapılmıştır. Aynı pikselde birden fazla risk unsurlu eleman bulunması halinde o piksel için genel toplam değeri dikkate alınmıştır. Evlerin ve yapıların birim maliyetleri ilgili kurum ve kuruluşlardan alınmış ve etkilenen nüfus için ise konutlarda yaşayan kişi sayısı ortalama 4 kişi olarak kabul edilerek hesaplar yapılmıştır.



Şekil 4. 22. 3 boyutlu zarar görebilirlik çerçeve modeli [238].

Risk hesaplaması aşamasında iki tür risk değeri dikkate alınmıştır. Bunlardan R_s özgül riski, R_t ise toplam riski ifade etmektedir. Özgül riskte; risk altındaki tüm elemanlar için ayrı bir risk hesabı yapılmıştır. Toplam riskte ise, risk altındaki elemanlara dair tüm özgül riskler toplanmıştır. Örneğin toplam riskte; kayıplar, yaralılar, hasarlı binalar vb. için hesaplanan ayrı ayrı özgül risk değerlerinin toplanması yoluna gidilmiştir. Erener ve Düzgün [238] çalışmalarında mülkiyet risk hesabı için Eşitlik 4.33 kullanılmıştır.

$$R(\text{LOP}) = P(H) \times C \quad \text{Eşitlik 4.33}$$

Eşitlikteki;

$R(\text{LOP})$ = mülkiyetli birimler için risk,

$P(H)$ = heyelan olayının yıllık olasılığını,

C = sonuç değerini ifade eder.

Eşitlikteki C değerinin hesaplanması için çalışmada Eşitlik 4.34 kullanılmıştır.

$$C = P(\text{SIH}) \times \text{WOL} \quad \text{Eşitlik 4.34}$$

Eşitlikteki;

$P(\text{SIH})$ = Mekânsal etkinin olasılığı (bir heyelanın bir mülk üzerinde etkisinin olma olasılığı),

WOL = En kötü kayıp değerini ifade eder ki WOL hesaplaması için de Catani vd. (2005) önerdiği Eşitlik 4.35 kullanılmıştır.

$$\text{WOL} = V(\text{PIS}) \times \text{EAR} \quad \text{Eşitlik 4.35}$$

Eşitlikteki;

$V(\text{PIS})$ = mülkiyetin hasar görülebilirlik değeri,

EAR = risk altındaki unsurları ifade eder. Sonuçta mülkiyetteki risk değeri;

$R(\text{LOP}) = P(H) \times P(\text{SIH}) \times V(\text{PIS}) \times \text{EAR}$ eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlik 4.36

Araştırmacılar nüfus verilerini dikkate alarak yaşam için risk değerini ise Eşitlik 4.37, 4.38 ve 4.39'da ifade edildiği gibi hesaplamışlardır.

$$R(\text{LOL}) = \sum_{i=1}^2 P(H) \times P(\text{SIH}) \times E_{pe} \quad \text{Eşitlik 4.37}$$

$$R(\text{LOL}) = 0.5 \times (P(H) \times P(\text{SIH}) \times E_{pe})_{\text{gündüz}} + (P(H) \times P(\text{SIH}) \times E_{pe})_{\text{gece}} \quad \text{Eşitlik 4.38}$$

$$C = P(\text{SIH}) \times E_{pe} \quad \text{Eşitlik 4.39}$$

Eşitliklerdeki;

$R(\text{LOL})$ = risk (yaşamsal risk),

$P(H)$ = heyelan olayının yılda meydana gelme olasılığını,

$P(\text{SIH})$ = heyelanın mekânsal etkisinin olasılığını,

C = sonuç değerini,

E_{pe} = her binadaki insan sayısını ifade eder.

Araştırmacılar; ülkemizdeki risk haritalarının sayısının az olduğunu, 1 / 25.000 ölçekli yaptıkları çalışmanın örnek bir çalışma olabileceğini belirtmişlerdir. Bu şekilde izlenen bir yaklaşımla, risk çalışması öncesi tüm verilerin kalitesinden, güvenilirliğinden, sayısal ortamdaki çözünürlüklerinin istenilen aralıklarda olduğundan emin olunarak gerekli finansal destek de sağlandıktan sonra başlanması gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca; risk hesaplamalarında kullanılan farklı disiplinlere ait farklı verilerin birbirine entegrasyonu ve analizi için de ileri derecede istatistik bilgisini gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmanın sonucunda üretilen risk haritaları; piksel başına düşen TL bazında beklenen yıllık kayıplar ve yine piksel başına düşen mülkiyet ve yaşam kayıpları dikkate alınarak üretilmiştir. Oluşturulan risk haritasında değerler 0.181 - 0.01 aralığında değişmektedir. Bartın örneğinde yıllık bazda beklenen ve tespit edilen en yüksek risk değerleri çevre yollarında ve ildeki diğer yollarda olduğu tespit edilmiştir.

Heyelan risk değerlendirmeleri konusunda yapılmış en güncel çalışmalardan biri de, Althuwaynee ve Pradhan [240] tarafından gerçekteştirilmiş olup, Malezya'da Kuala Lumpur için yarı nicel yaklaşımlarla gerçekteştirilmiştir. Çalışmada Van Westen vd.'nin [173] tehlike değerlendirmesini dört yaklaşıma göre sınıflandırdığından bahsedilmiştir (Çizelge 4.14).

1. yaklaşım; heyelan envanter tabanlı olasılık yaklaşımı,
2. yaklaşım; ağırlıklı olarak niteliksel olan uzman görüşüne dayalı (ör. doğrudan jeomorfolojik haritalama veya nitel haritaların dolaylı kombinasyonu) yarı nicel değerlendirme yöntemi,
3. yaklaşım; her tür duyarlılık ve tehlike değerlendirmeleri için tercih edilen istatistiksel yaklaşım (iki değişkenli veya çok değişkenli istatistik temelli yöntem),
4. yaklaşım; niceliksel temelli bir metot olan deterministik yaklaşımıdır [241].

Çizelge 4. 14. Orta ölçekte CBS tabanlı heyelan risk alt yapısı için tehlike yaklaşımlarının spesifik kombinasyonunun ve risk yaklaşımlarının kullanım çizelgesi.

	RİSK YAKLAŞIMI		
	NİTEL	YARI NİCEL	NİCEL
Envanter tabanlı probabilistik yaklaşım	2	2	2
Uzman görüşüne dayalı/ jeomorfolojik / direk haritalama / uzman tabanlı yaklaşım	3	3	0
İstatistiksel yaklaşım (ikili ve çoklu değişkenli)	3	2	2
Deterministik ve dinamik modellenmiş yaklaşım	0	1	3

*Kombinasyonlar, 0'dan (faydalı değil) 3'e (en yararlı) kadar bir sayı ile gösterilir (van Westen vd [185]).

Althuwaynee ve Pradhan [240] çalışmalarında; arazi kullanımı, yol ağları ve nüfusun dikkate alınarak yapıldığı hasar görülebilirlik hesaplamalarından faydalanılarak risk değerlendirmesi yapılması hedeflenmiştir. Ancak Kuala Lumpur'un sosyo-ekonomik verilerine ulaşmak ve/veya risk değerlendirmede kullanılmak üzere veri üretmek oldukça zordur. Çalışmada kullanılan verilerin altlığı şehrin 2013 master planındaki yerleşim ve 2010 nüfus yoğunluğu verilerine dayanmaktadır. Araştırmacılar, 250 x 250 m'lik balık ağı şeklindeki grid hücreleri ile analizleri yapmışlardır. Her bir hücre, arazi kullanım haritasındaki bir yerleşim birimine (SU–Settlement Unit) karşılık gelmekte ve içerisinde yerleşim birimleri bulunmaktadır. Bu birimler içerisindeki yerleşimler kendi aralarında konut, endüstriyel tesisler, bungalow tipi yapı, çift katlı bina, çok katlı bina vb. olmak üzere alt gruplara ayrılarak dikkate alınmıştır. Araştırmacılar duyarlılık analizinde;

eğim, bakı, eğrisellik, yükseklik, yüzey pürüzlülüğü, faya uzaklık, NDVI, arazi örtüsü, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, SPI, zemin türü ve yağış parametrelerini kullanarak, Dempster – Shafer tabanlı EBF yöntemi ile 5 sınıflı (çok düşükten, çok yükseğe değişen) duyarlılık zonlamasına sahip harita üretmişlerdir. Söz konusu analiz sonuçları tehlike çalışmalarında mekânsal olasılık olarak kullanılmıştır. Yılda 2 defa muson yağmurlarının etkisini gösterdiği şehirde heyelanların oluşumunu tetikleyen ayrıca heyelan tehlike değerlendirmesinde kullanılacak olan birincil faktör yağıştır. Çalışmada tehlike değerlendirmesinde Eşitlik 4.40 kullanılmıştır.

$$\text{Tehlike (H)} = P_S \times P_T$$

Eşitlik 4.40

Eşitlikteki;

H = Tehlike,

P_S = Duyarlılık haritasından elde edilen heyelanın mekânsal olasılığı,

P_T = Belirli bir eşiği aştığında tetiklenme olasılığını ifade eder.

Tehlike analizindeki zamansal olasılık için 2000 - 2012 yılları arasındaki yağış parametreleri Poisson dağılımı ile analiz edilerek, günlük yağış değerlerinden heyelanları tetikleyen 4 farklı zaman dilimindeki öncül yağışlar tespit edilmiştir. Kuala Lumpur için 5 zonlu (tehlike yok, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) 1 / 25.000 ölçekli heyelan tehlike haritası oluşturulmuştur. Araştırmacılar risk değerlendirmesi için öncelikle yüksek çözünürlüklü ve güncel arazi kullanım verileri kullanılarak her bir grid içindeki yaşam alanlarını ve binaları tanımlanmıştır. Sırasıyla;

- 250 x 250 m'lik balık ağı şeklindeki grid hücreler ile oluşturulup, tehlike ve heyelan yoğunluk haritaları üretilmiştir.
- Her bir grid birimi içindeki objeler tanımlanmıştır.
- 5 zonlu tehlike haritası, arazi kullanım haritası ile entegre edilmiştir.
- Her bir grid hücresindeki risk altındaki elemanlar (L_{su}) Eşitlik 4.41'de ifade edildiği gibi hesaplanmıştır.

$$L_{SU} = C_{\text{CellAffSU}} \times P_{\text{CellOcc}}$$

Eşitlik 4.41

Eşitlikteki;

$C_{\text{CellAffSU}}$ = Tehlike değerine katkıda bulunan yerleşim birimindeki belirli bir sınıfın öge değeri,

P_{CellOcc} = Hücrelerin risk altındaki unsurlar tarafından işgal edilme olasılığını ifade etmektedir. Çalışmada;

- Hasar görülebilirlik için risk altındaki elemanlar 1 olarak alınmıştır.
- Risk haritası risk altındaki her eleman için Eşitlik 4.41 dikkate alınarak hesaplandıktan sonra, Armaş tarafından 2014'de kullanılan aşağıdaki eşitlik dikkate alınarak hesaplanmıştır [242].

$$R(P) = \sum_{i=1}^K [P(L_i) \times P(T:L) \times V(D_i)] \times C$$

Eşitlik 4.42

Eşitlikteki;

$R(P)$ = Beklenen yıllık zarar (€ / yıl),

$P(L_i)$ = Büyüklük i ile yıllık olasılık oranı,

$P(T:L)$ = Risk altındaki bir unsuru etkilemesi muhtemel heyelanın oluşma olasılığı,

$V(D_i)$ = Risk altındaki unsurun hasar görülebilirliği,

C = Binanın maliyet değerini ifade etmektedir.

Çalışmanın sonucunda arazi kullanımı ve nüfus için beklenen risk hesaplanmış, 5 farklı tehlike zonundaki nüfusun ne tür yaşam alanlarında yaşadığı, bu alanların mekânsal dağılımı, bu alanlarda yaşayan kişi sayısı dikkate alınarak toplam kayıp ve kayıpların yüzdesi hesaplanmıştır.

Yukarıdaki paragraflardan da anlaşılacağı üzere risk değerlendirmesi, risk analizi, risk yönetimi ve risk azaltma kavramları literatürde, sağlıklı veriler olması

koşulunda uygulamaya geçirilebilen kavramlardır. Ülkemiz için de bu kavramların özel olarak heyelan risk değerlendirmesi konusuna odaklanmış olan çalışma sayısı, sınırlı sayıda kalmaktadır. Yalnızca Türkiye’de değil, dünyada bu konu üzerinde çalışmaların sayısı fazla değildir. Diğer taraftan, yapılan çalışmalar gerek ortak dil kullanımı, gerekse sonuçlarının son kullanıcılar tarafından anlaşılabilir olarak pratikte uygulanması açısından değerlendirildiğinde, maalesef heyelan risk değerlendirmesi konusunda hem ortak bir dilin ve metodolojinin olmadığı, hem de sonuçlarının son kullanıcılar tarafından yeterince anlaşılıp doğrudan uygulamaya alınmadığı da bilinen bir gerçektir.

5. VERİ ÜRETİMİ VE KAHRAMANMARAŞ (MERKEZ) HEYELAN ENVANTER, DUYARLILIK, TEHLİKE VE RİSK ANALİZLERİ

Tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmesi yapmak için ofis ve arazi ortamında olmak üzere 2 aşamalı çalışmalar yürütülmüştür. Öncelikle, çalışma alanına ilişkin tüm tarihi raporlar, tezler, bilimsel yayınlar, imar planları, AFAD heyelan envanter bilgileri, MTA heyelan envanter haritası vb. toplanarak genel bir değerlendirme yapılmıştır. İkinci aşamada detaylı bir arazi çalışması için arazi planlaması yapılmıştır. Son olarak, gerek arazi gözlemlerinden, gerekse ofis ortamında derlenen veriler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

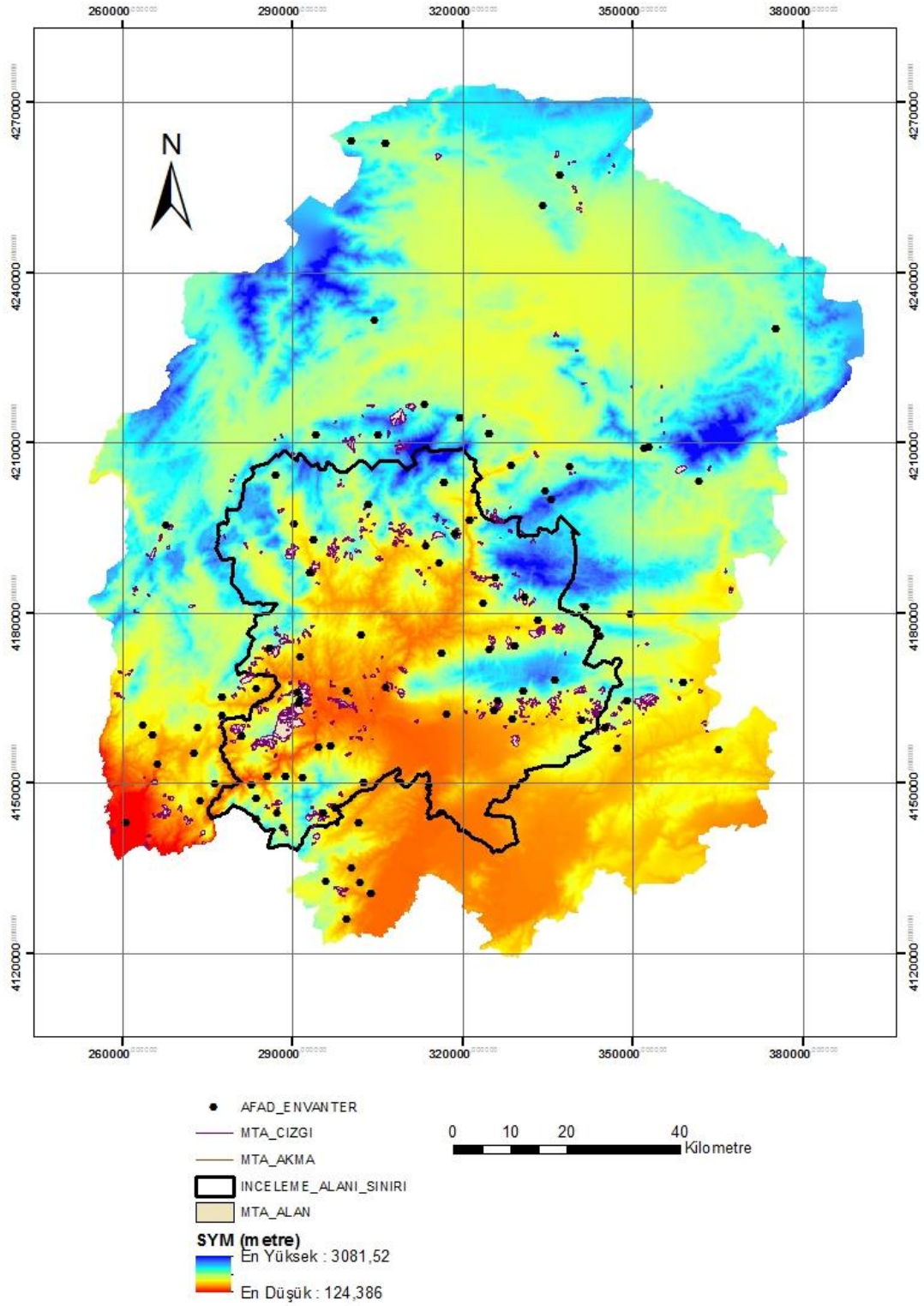
Aşağıdaki paragraflarda sırasıyla, arazi çalışması, envanter haritası oluşturma, duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmesi için veri üretimi aşamalarında yapılan çalışmalar açıklanmıştır.

5.1. Arazi Çalışmaları ve Heyelan Envanter Haritası

Ülkemizde heyelan envanteri konusunda iki farklı kuruma ait veri tabanı mevcut olup, MTA tarafından hazırlanan heyelan envanter haritası arazi gözlemleri ve CBS tabanlı çalışmaları temel alınarak oluşturulmuştur. AFAD'ın heyelan envanter bilgilerinin temeli ise, 1950 - 2016 yılları arasında heyelan afetinin yaşandığı yerleşim birimlerinde yapılan gözlemsel heyelan etütlerine dayalı raporlar dikkate alınarak hazırlanmıştır. Mevcut heyelan envanter çalışmaları arasındaki en önemli fark; MTA envanterinde heyelanlar çizgi, akma ve alan (poligon) olarak sayısal ortama aktarılmışken, AFAD envanterinde heyelan afetinin yaşandığı yerleşim biriminin (köy, mahalle, mezra) merkezi nokta olarak sayısal ortama işlenmiştir.

Büro çalışmaları esnasında Kahramanmaraş ilinin tamamını kapsayan kurumların envanter haritaları CBS ortamında aynı harita üzerinde ortaklaştırılmıştır (Şekil 5.1). Böylece, hem çalışma alanının heyelan potansiyeli hakkında genel bir bilgi

edinilmiş, hem de arazi çalışmalarında odaklanılması gereken öncelikli alanlar tespit edilmiştir.



Şekil 5. 1. Kahramanmaraş iline için AFAD ve MTA heyelan envanterlerinin ortaklaştırılmış hali.

Şekil 5.1'de görüleceği üzere, il genelinde AFAD'ın envanter havuzunda toplam 273 adet heyelan kaydı, MTA'da ise 613 adet kayıt tespit etmiştir. Söz konusu heyelanların mekânsal dağılımına bakıldığında ise Kahramanmaraş Merkez ilçe sınırlarında yoğunlaştığı görülmektedir. 12 Kasım 2012'de TBMM'de kabul edilen 6360 sayılı kanun ile Kahramanmaraş merkezi Dulkadiroğlu ve Onikişubat olmak üzere iki ilçeye bölünmüştür. Tez kapsamında ise Kahramanmaraş Merkez bölgesi, bu iki ilçenin tamamını kapsayan eski hali ile ele alınmıştır.

Envanter haritasında özellikle MTA'nın heyelan sayısının AFAD'a göre oldukça fazla olduğu dikkat çekmektedir. Ancak, detaylı bir inceleme sonucunda MTA'nın heyelan olarak belirlediği alanların oldukça küçük alanlar olduğu, bu küçük heyelanların ise her birinin ayrı bir heyelan lokasyonu olarak kayıt altına alındığı tespit edilmiştir. Özellikle mekânsal olarak birbirlerine oldukça yakın olmasına ve haritada işaretlenmesi oldukça zor olan küçük heyelanlar olmasına rağmen, bunların ortaklaştırılmayıp, daha büyük tek bir heyelanlı alan olarak CBS ortamına işlenmediğinden dolayı, sayı daha fazladır.

Tez çalışması kapsamında gerek MTA'nın gerekse AFAD'ın heyelan kayıtları dikkate alınmakla birlikte, tez çalışmasında dikkate alınan heyelanlar kütleli dönel kayma türündeki heyelanlar olması nedeniyle mevcut sayılarda azalma olmuştur. Arazide, 1 / 25.000 ölçekli MTA'nın jeoloji ve heyelan envanter haritası ile HGK'nın aynı ölçekli topoğrafik haritaları ile çalışılmıştır. Arazi öncesi büroda, aynı topoğrafik harita üzerine jeoloji, MTA envanter sınırları ve AFAD'ın nokta lokasyon bilgileri aktarılarak tüm veriler aynı paftalar üzerine toplanmıştır.

Arazide AFAD Ankara ve AFAD Kahramanmaraş teknik ekipleri ile incelemeler yapılmış olup;

- heyelanların sınırları arazi gözlemlerine uyumlu olarak güncellenmiş,
- kurumların envanter haritalarında olmasına rağmen mevcutta olmadığı tespit edilen heyelan sınırları silinmiş,
- yeni tespit edilen heyelanlar ise kayıt altına alınmıştır.

Arazide tüm bilgiler önceden hazırlanmış ortak heyelan kayıt formlarına işlenmiştir. Bu formlarda her heyelana ait;

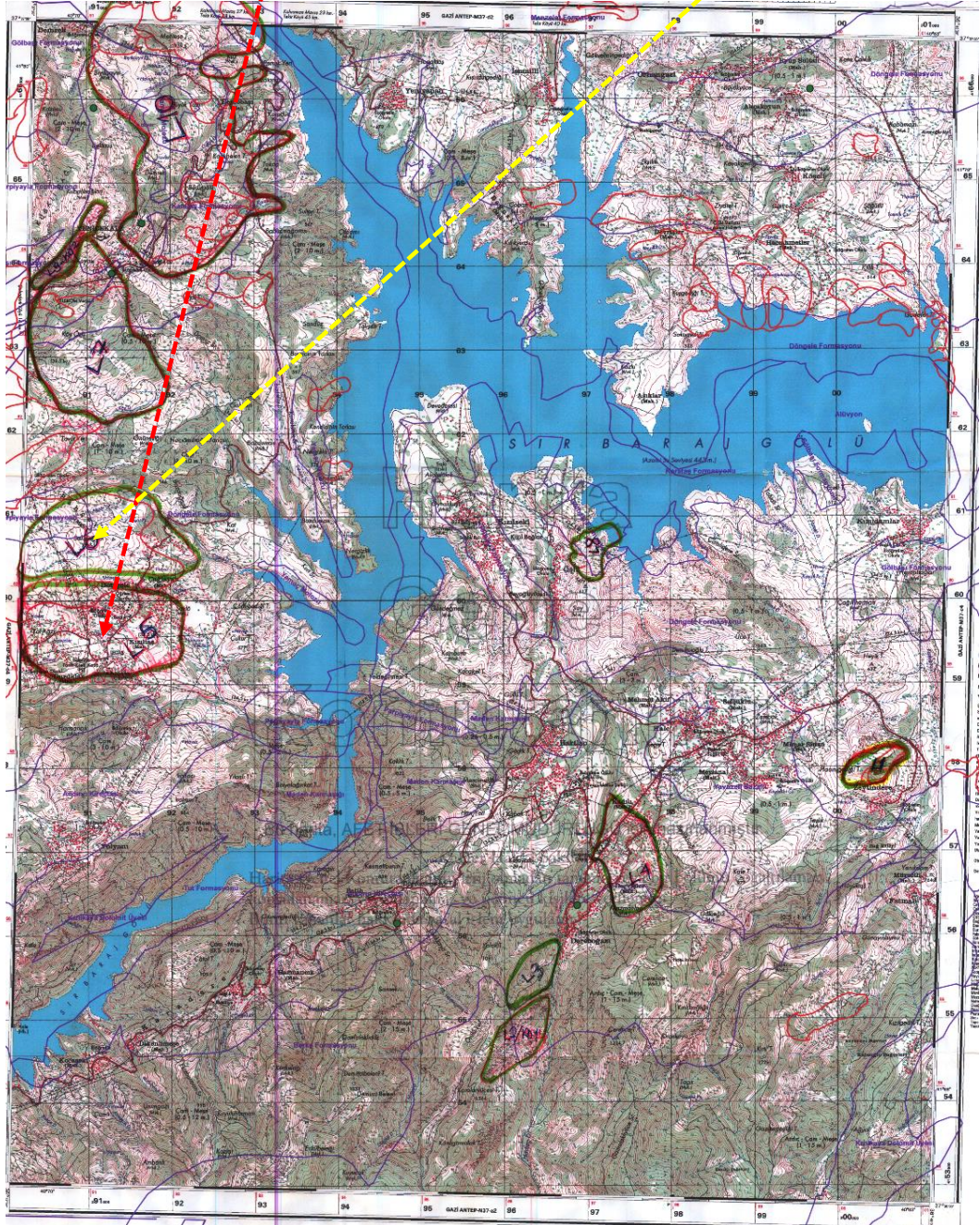
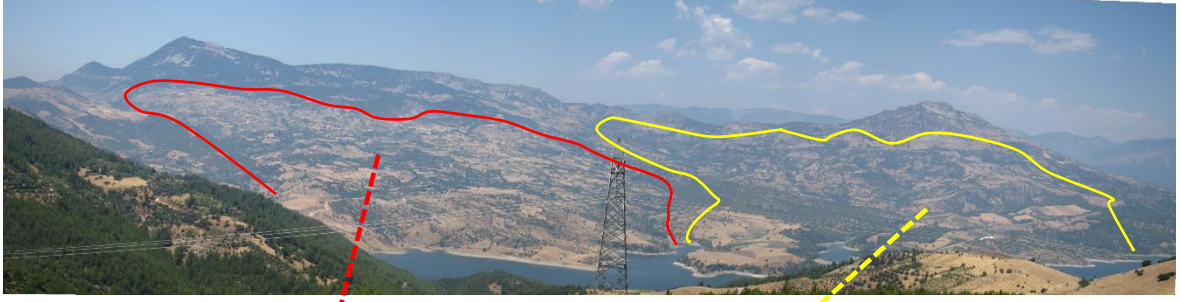
- kayıt tarihi (etüt tarihi)
- kayıt alan kişi bilgisi,
- heyelanın net görüldüğü bir veya birkaç fotoğraf ve bu fotoğrafların kayıt numarası,
- heyelan envanter numarası,
- heyelan yeri,
- alanın bulunduğu pafta,
- heyelanlı birimin litolojik tanımlaması,
- heyelan yeni meydana gelmiş ise ya da meydana geliş tarihi biliniyor ise heyelan tarihi,
- uzunluk – genişlik – derinlik bilgileri (Mevcut ise ya da ölçüm alınabildi ise)
- alandaki bitki örtüsü yoğunluğu,
- alandaki su durumu,
- heyelanın oluşumuna neden olan tetikleyici faktör biliniyor ise bu faktörün türü,
- heyelana bağlı zarar bilgisi,
- heyelanın oluştuğu yamacın genel eğimi,
- heyelanlı yamacın genel şekli,
- heyelanın aktivitesinin güncel durumu,
- heyelanın türü,
- heyelana dair ilave verilmek istenilen açıklamalar yer almaktadır.

Arazide yapılan çalışmaların genel mantığını açıklamak adına iki lokasyona ait çalışmanın detayları aşağıda sunulmuştur.

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de 27.05.2015 tarihinde Kahramanmaraş Merkez’e bağlı Döngel Köyüne ait arazi çalışmalarına ait bilgiler yer almaktadır. Öncelikle heyelan sınırlarını net bir şekilde tespit etmek amacıyla, köyün karşı yamacında hakim bir noktadan gözlemsel değerlendirme yapılmış ve alanın fotoğrafı çekilmiştir. Köyün bulunduğu Gaziantep M 37- d3 paftasına büroda işlenmiş

bilgiler doğrultusunda, AFAD'da köye ait bir heyelan kaydı bulunmadığı, MTA tarafından ise bölgedeki heyelanın oldukça geniş bir alanı etkileyen poligon olarak çizildiği tespit edilmiştir. Alandaki hakim litolojinin, altlık jeoloji haritasından Döngüle formasyonu olduğu anlaşılmıştır. Alanda, yamaç şeklinin “içbükey”, bitki örtüsü yoğunluğunun “orta derece yoğun”, yamaç eğiminin “30° - 35°” arasında değiştiği ve “karmaşık” heyelan türü olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak ise alandaki heyelanın 1 tane değil Şekil 5.2'de sınırları belirtildiği gibi 2 tane olduğu belirlenerek, arazi paftasına bu heyelanlar L5 ve L6 olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de ise 29.07.2015 tarihinde Kahramanmaraş Merkeze bağlı Süleymanlı Köyünün güneydoğusunda yapılan heyelan değerlendirmesine ait bilgiler yer almaktadır. Köyün içinde yer aldığı, Gaziantep M37 – b4 paftasında köy civarında AFAD tarafından bir heyelan kaydının olmadığı, MTA'nın ise alanda küçük bir poligon halinde heyelan alanı belirlediği görülmüştür. Kilisecik formasyonu üzerinde gelişen heyelanın sınırlarının arazi gözlemleri ile köyün konutlarını içine alacak şekilde genişletilmiş olup, heyelanın topuk sınırı dere yatağına kadar uzatılmıştır. MTA envanter haritasında, eski hali ile içinde yapılaşmanın olmadığı küçük bir heyelan olan sınırlar son hali ile konutları da kapsayan daha geniş bir alan halini almış, çalışma paftasına L31 lokasyonu olarak işlenerek, uygun heyelan kayıt formu doldurulmuştur. Yapılan arazi gözlemleri sonucunda çalışma alanında toplam 214 adet heyelan kayıt altına alınmış olup, hepsi 1 / 25.000 ölçekli haritalara işlenmiş ve analiz yapmak üzere CBS platformuna aktarılmıştır. Gerek arazi gözlemleri gerekse büro çalışmaları ofis ortamında yeniden değerlendirilerek çalışma alanı için en güncel heyelan envanter haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.6).

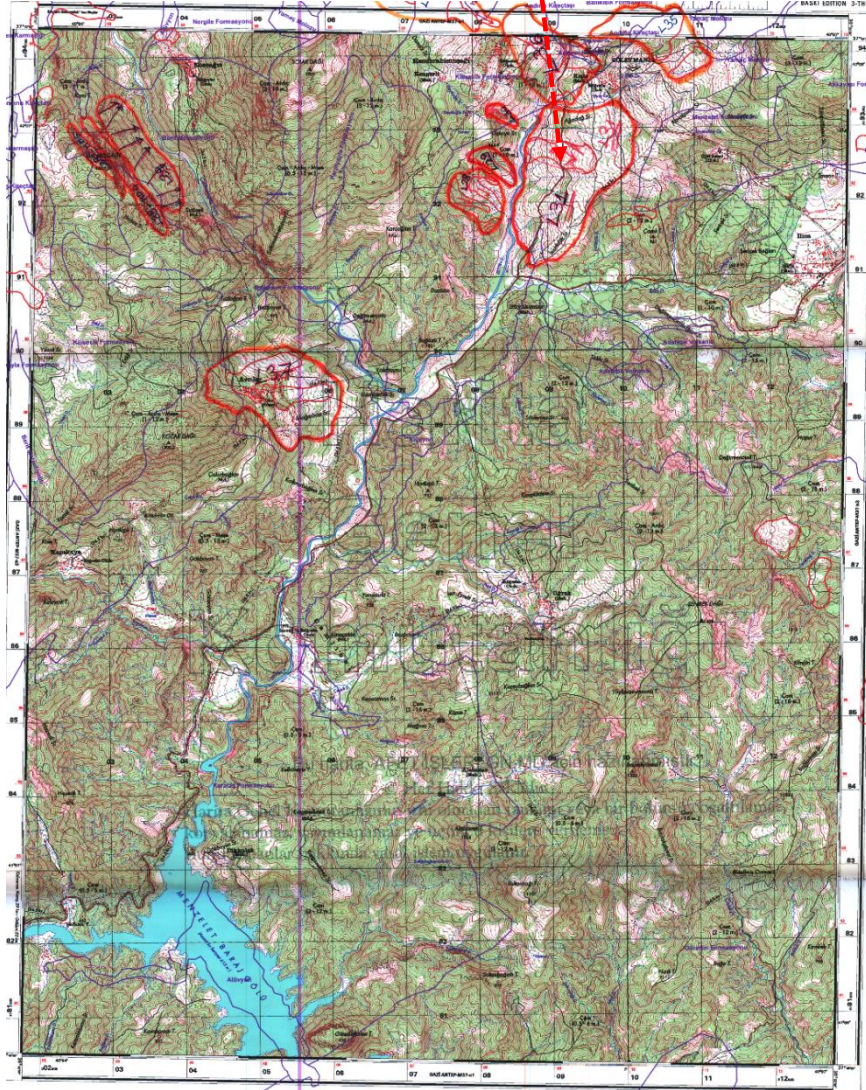
Çalışma alanındaki tüm heyelanların alansal yayılımı 81.3 km² (% 2.3) olup, alandaki en küçük boyutlu heyelan 0.0021 km², en büyüğü ise 5.2 km²'lik yayılıma sahiptir. Sözü edilen bu heyelanların, kütleli olarak gelişen ve dönel kayma türünde, genel olarak kayaçların bozunması sonucunda toprak malzemedeki geliştiği tespit edilmiştir. Heyelan kütlelerinin yerdeğiştirme zonları (zone of depletion) dikkate alınarak, veri tabanları her bir parametre için oluşturulmuş, analizlerde de bu alanlara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 5. 2. 27.07.2015 tarihinde arazi çalışmalarında Döngel Köyü için heyelan değerlendirmesi esnasında çekilen fotoğraf ve kullanılan pafta.

HEYELAN KAYIT FORMU				
Kayıt Tarihi: 27.07.2015				
Envanter No: 15-16-14				
Heyelan Yeri: Döngele Köyü ve civarı				
Pafta No: Gaziantep M.37-d3				
Litolojik Tanımlama:				
Kaydı Alan: Q.TLB		Fotoğraf No:		
Heyelan Tarihi:		Bitki Örtüsü: .Çok Yoğun .Yoğun <u>.Orta</u> .Seyrek .Yok		
Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	Su Durumu: .Kuru .Nemli .Damlama .Akış .Yok	
	15	16		
Yamaç Eğimi (°): 25 - 30 - 35		Tetikleyici Etken: .Var .Yok		
Bakı (°):		.Deprem .Yağış .İnsan		
Yamaç Şekli: <u>.İçbükey</u> .Dışbükey .Düz		Tetikleyici Etken Bilgisi: .Kayıtlardan .Kişilerden		
Süresizlik Denetimli	Evet	Hayır	Heyelan Zarar Bilgisi: .Var	
Süresizlik Konumu			<u>.Yok</u>	
Heyelan Aktivitesi (Hareket): .Aktif .Duraklamış .Yeniden aktive olmuş .Aktif olmayan .Eski .Durağan .Kalıntı				
Heyelan Aktivitesi (Tür): <u>.Karmaşık</u> .Bileşik .İlerleyen .Tekli <u>.Çoklu</u>				
Heyelan Türü: <u>Karmaşık + Çoklu/bileşik</u>				
Hareket Türü		Malzeme Türü		
		Kaya (1)	Toprak	
			İri Taneli (2)	İnce Taneli (3)
1.Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
2.Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
3.Kayma		a.Dönel	Kaya Kayması	Toprak Kayması
		b.Ötelenmeli	Kaya Kayması	Toprak Kayması
4.Yayıma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
5.Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
		Derin Krip	Krip	
6.Karmaşık		En az iki veya daha fazla sayıda heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar		
Heyelan Sınıfı:				
Açıklamalar:				

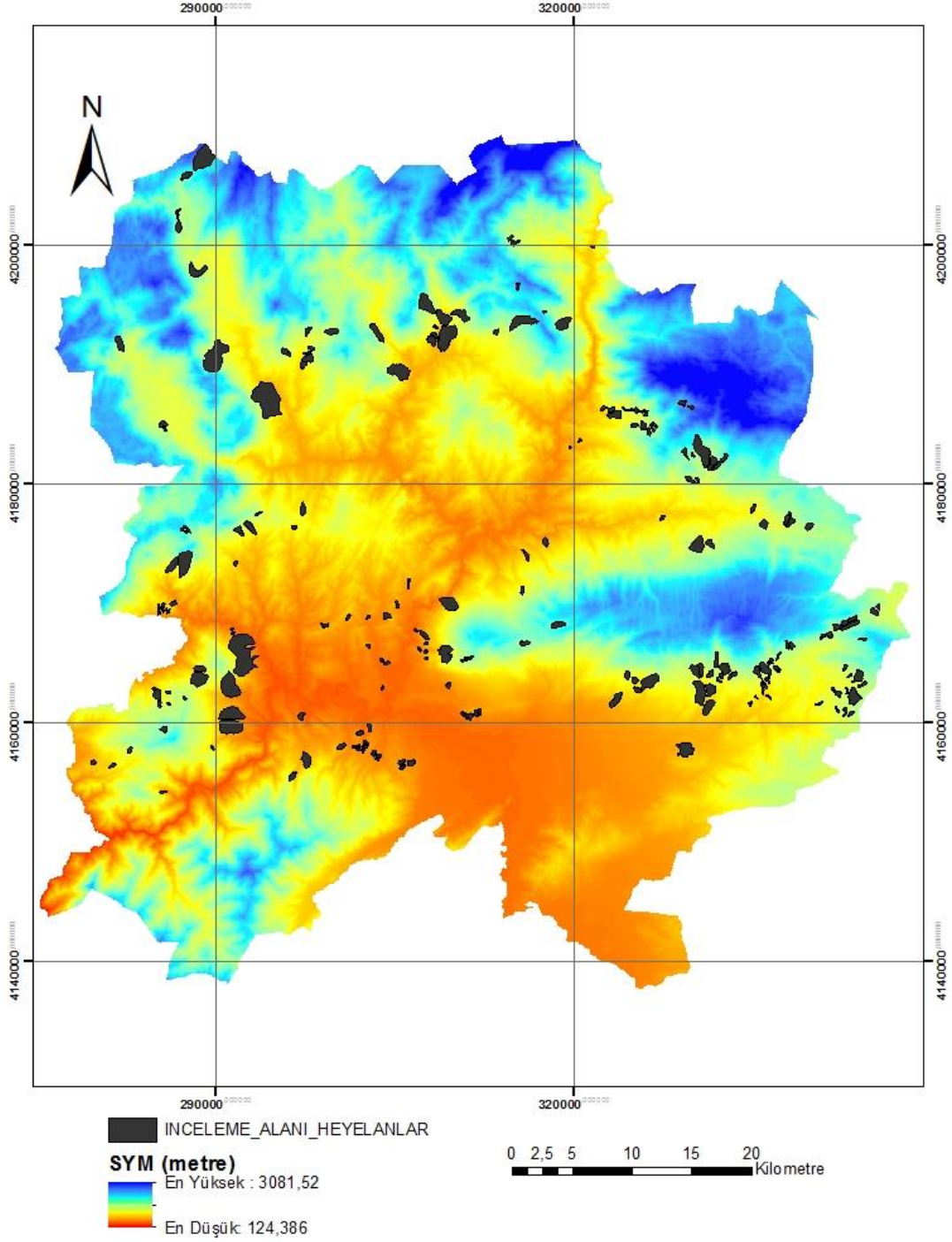
Şekil 5. 3. 27.07.2015 tarihinde arazi çalışmalarında Döngele Köyü için heyelan değerlendirmesi esnasında kullanılan arazi formu.



Şekil 5. 4. 29.07.2015 tarihinde Kahramanmaraş ili Süleymanlı Köyü heyelan değerlendirmesi esnasında çekilen fotoğraf ve kullanılan pafta.

HEYELAN KAYIT FORMU				
Kayıt Tarihi: 29.07.2015				
Envanter No: L31				
Heyelan Yeri: Süleymanlı Köyü Güneydoğusu				
Pafta No: L37-b4				
Litolojik Tanımlama: Kırzbecik Formasyonu				
Kaydı Alan: A.T.B.		Fotoğraf No: Panoramik 3 ME		
Heyelan Tarihi:		Bitki Örtüsü: .Çok Yoğun .Yoğun .Orta <u>Seyrek</u> .Yok		
Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	Su Durumu: .Kuru .Nemli .Damlama .Akış .Yok	
Yamaç Eğimi (°): 30'		Tetikleyici Etken: .Var .Yok		
Bakı (°):		.Deprem .Yağış .İnsan		
Yamaç Şekli: <u>İçbükey</u> .Dışbükey .Düz		Tetikleyici Etken Bilgisi: .Kayıtlardan .Kişilerden		
Süreksizlik Denetimli	Evet	Hayır	Heyelan Zarar Bilgisi: .Var	
Süreksizlik Konumu			<u>Yok</u>	
Heyelan Aktivitesi (Hareket): .Aktif .Duraklamış .Yeniden aktive olmuş <u>Aktif olmayan</u> .Eski .Durağan .Kalıntı				
Heyelan Aktivitesi (Tür): .Karmaşık .Bileşik .İlerleyen .Tekil <u>.Çoklu</u>				
Heyelan Türü:				
Hareket Türü		Malzeme Türü		
		Kaya (1)	Toprak	
			İri Tanıllı (2)	İnce Tanıllı (3)
1. Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
2. Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
3. Kayma	a. Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
	b. Ötelenmeli	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
4. Yayılma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
5. Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
		Derin Krip	Krip	
6. Karmaşık		En az iki veya daha fazla sayıda heyelanın bir arada gerçekleştiği heyelanlar		
Heyelan Sınıfı:				
Açıklamalar: Yola gelen heyelan, 1/1000'de comi ve konular var. MTA sadece küçük bir çom gümmü, L31 zonu derinje ba dor perizletildi. Riskte prder.				

Şekil 5. 5. 29.07.2015 tarihinde Kahramanmaraş ili Süleymanlı Köyü Güneydoğusundaki heyelan değerlendirmesi esnasında kullanılan arazi formu.



Şekil 5. 6. Çalışma alanına ait güncel heyelan envanter haritası.

5.2. Çalışma Alanına İlişkin Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Parametreler

Tez çalışması kapsamında 1990 - 2016 yılları arasında heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarını kapsayan 266 makalede kullanılan

parametreler detaylıca açıklanmış olup, “4.3. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler” başlığı altında açıklandığı üzere son 26 yıllık çalışmalarda en çok kullanılan 9 parametre tez çalışmasının analizlerinde de dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan parametreler sırasıyla;

1. yamaç eğimi,
2. litoloji,
3. bakı,
4. topoğrafik yükseklik,
5. akarsuya yakınlık,
6. arazi kullanımı,
7. eğrisellik,
8. tektonik unsura yakınlık,
9. NDVI olup, parametrelere dair analiz detayları aşağıdaki paragraflarda açıklanarak, Kahramanmaraş Merkez için bu parametrelerin genel değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışma alanının heyelan analizlerinin CBS ortamında değerlendirilebilmesi için, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametreler, mevcut koşullar dahilinde üretilmiştir. Dikkate alınan parametreler ve veri kaynakları Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Analizler, raster (hücresel) dosyalar üzerinde yapılacağından, eldeki tüm vektörel veriler, raster formatına dönüştürülmüştür. Bu işlemler yapılırken, dosya özelliklerinin aynı olmasına özen gösterilmiştir. Bu işlemlerin hepsi, herhangi bir CBS platformunda yapılabilmekte olup tez çalışması kapsamında ArcGIS (10.3) yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)’nin piksel boyutu 10 m olarak seçilmiş, dolayısıyla SYM altlığı kullanılarak üretilen tüm haritalarda 10 x 10 m’lik grid ağı kullanılmıştır.

Genel olarak grid hücreleri tecrübeye dayanan, istatistiksel, fiziksel veya benzeşim modellemesi için tercih edilmektedir. Düzenli grid hücre yapısı; arazi özelliklerinin

hesaplanabilmesine olanak vermesi, basit olması ve bir çok formattaki veri ortamları ile kolaylıkla entegre edilebilir ve sayısal ortamda rahat bir şekilde işlenebilir olması nedeniyle de kullanılmaktadır [243], [244]. Bahsedilen avantajlar dikkate alındığında, tez çalışması kapsamında sayısal yükseklik ve arazi modellerinin oluşturulmasında düzenli grid hücre yapısı tercih edilmiştir.

Çizelge 5. 1. Analizlerde dikkate alınan parametreler ve genel değerlendirmesi.

PARAMETRE	VERİ KAYNAĞI	AÇIKLAMA
Yamaç eğimi	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	SYM'den üretilmiştir.
Litoloji	MTA Jeoloji Haritası	1 / 25.000 ölçekli jeoloji haritasından üretilmiştir.
Baki	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	SYM'den türetilmiştir.
Topoğrafik yükseklik	Harita Genel Komutanlığı	1 / 25.000 ölçekli HGK vektör verisinde üretilmiştir.
Akarsuya yakınlık	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Topoğrafik Harita	SYM ve topoğrafik haritadan sayısallaştırma ile üretilmiştir
Arazi kullanımı	Orman ve Su İşleri Bakanlığı	Corine Sistemindeki verilerden yararlanılmıştır.
Eğrisellik	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	SYM'den türetilmiştir.
Tektonik unsura yakınlık	MTA Aktif Fay Haritası	Vektörel verilerden itibaren zonlama (tamponlama/buffer) yapılarak üretilmiştir.
NDVI	LANDSAT ETM+ (Haziran - 2015)	Kırmızı (Bant 3) ve Kızıl ötesi (Bant 4) görüntüler kullanılarak üretilmiştir.
Heyelan lokasyonları	AFAD – MTA Heyelan Arşivleri ve envanterleri, saha Çalışmaları	1/25.000 ölçekli haritalar altlık olarak kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan parametreler için öncelikle heyelan yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Heyelan yoğunluk yüzdesi hesaplanırken sırasıyla;

- Her parametre alt sınıflara ayrılmıştır.
- Parametrenin alansal yayılımı tespit edilmiştir (piksel sayısı – A).

- Heyelanlı alanlardaki alansal yayılım belirlenmiştir (heyelanlı piksel sayısı - B).
- Heyelanlı pikseller, aynı parametre sınıfındaki piksel sayısına bölünmüştür. Her sınıf için B / A değeri bulunmuştur. Ardından tüm B/A değerlerinin genel toplamı bulunmuştur.
- Her sınıf için hesaplanan B/A değerleri toplam B/A değerine bölünüp, 100 ile çarpılarak heyelan yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

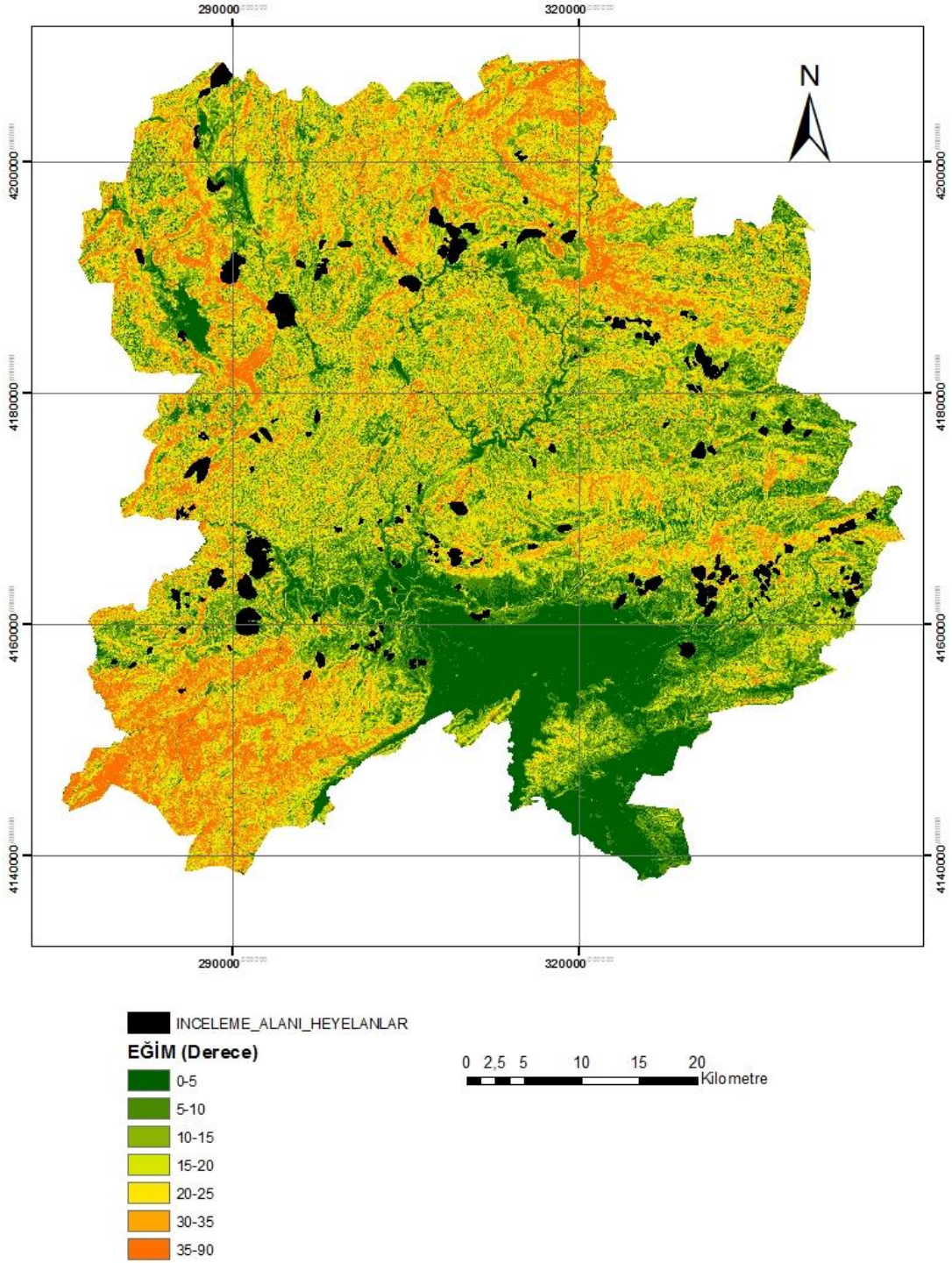
5.2.1 Yamaç Eğimi

Yamaç eğimi, heyelan duyarlılık çalışmalarından en çok kullanılan parametrelerden olup, genel görüş, eğimin artmasıyla heyelan duyarlılığının arttığı yönündedir. Ancak, Ayenew and Barbieri [245] gibi araştırmacılar, heyelanların düşük eğimli yamaçlarda da meydana geldiği görüşünü savunmaktadırlar. Nitekim bu görüşü destekler nitelikte; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu [220] çalışmalarında, toprak zeminlerde heyelan oluşabilmesi için, toprak kalınlığının en az 1 - 2 m olması gerektiğini ve eğimin yüksek olduğu yamaçlarda ise özellikle erozyon nedeniyle bu kalınlık değerlerine ulaşılamaması nedeniyle, çok yüksek eğimli yamaçlarda daima heyelan potansiyelinin yüksek olmadığını ifade etmişlerdir.

Genel olarak literatürde üretilen yamaç eğimi haritaları; hangi eğim değerlerinde heyelanların yoğunlaştığını tespit etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, yamaç eğim değerleri hususunda standart bir aralıkta eğim sınıflaması bulunmamaktadır. Her çalışmanın arazi özelliklerine göre münferit aralıklarda olabileceği bilinmektedir.

Çalışma alanına ilişkin yamaç eğimi haritası, alana ilişkin SYM kullanılarak üretilmiştir (Şekil 5.7). Alandaki en yüksek eğim değeri 69° iken ortalama eğim 20° 'dir. Eğim değerleri $0 - 5^{\circ}$, $5^{\circ} - 10^{\circ}$, $10^{\circ} - 15^{\circ}$, $15^{\circ} - 20^{\circ}$, $20^{\circ} - 25^{\circ}$, $25^{\circ} - 30^{\circ}$, $30^{\circ} - 35^{\circ}$ ve $> 35^{\circ}$ olmak üzere 8 alt sınıfa ayrılarak heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). Heyelanlı alanların en fazla sırasıyla $5^{\circ} - 10^{\circ}$ (% 24.48), $10^{\circ} - 15^{\circ}$ (% 22.99) ve $15^{\circ} - 20^{\circ}$ 'lik (% 19,18) alanlarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 5.8). Sonuç olarak heyelanların genelde düşük eğimli yamaçlarda,

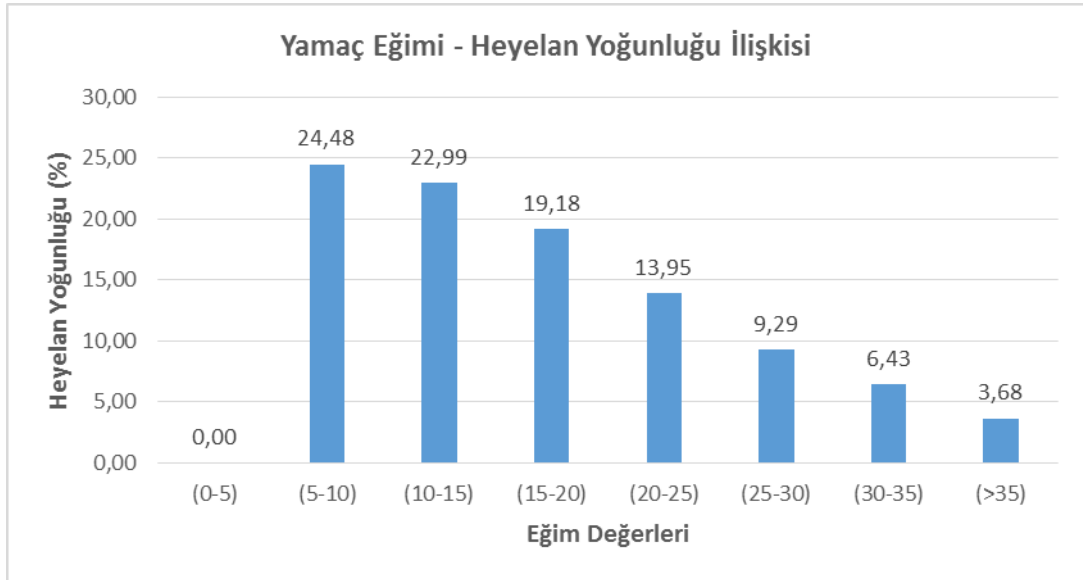
meydan geldiği gerek arazi gözlemleri, gerekse analiz sonuçları ile desteklenmiştir.



Şekil 5. 7. Çalışma alanının yamaç eğim haritası.

Çizelge 5. 2. Çalışma alanında yamaç eğimi alt sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.

	Yamaç eğimi (°)	Alansal yayılım - A	Heyelanlı alanlardaki yayılım - B	% A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
1	(0-5)	3176603	0,00	12,08	0,00	0,00	0,00
2	(5-10)	2651230	153564	10,08	19,06	1,89	24,48
3	(10-15)	3399132	184827	12,92	22,94	1,77	22,99
4	(15-20)	4051355	183798	15,40	22,81	1,48	19,18
5	(20-25)	4168157	137530	15,85	17,07	1,07	13,95
6	(25-30)	3805374	83657	14,47	10,38	0,72	9,29
7	(30-35)	2816728	42868	10,71	5,32	0,49	6,43
8	(>35)	2231421	19418	8,49	2,42	0,28	3,68
	TOPLAM	26.300.000	805.662	100	100	7,72	100

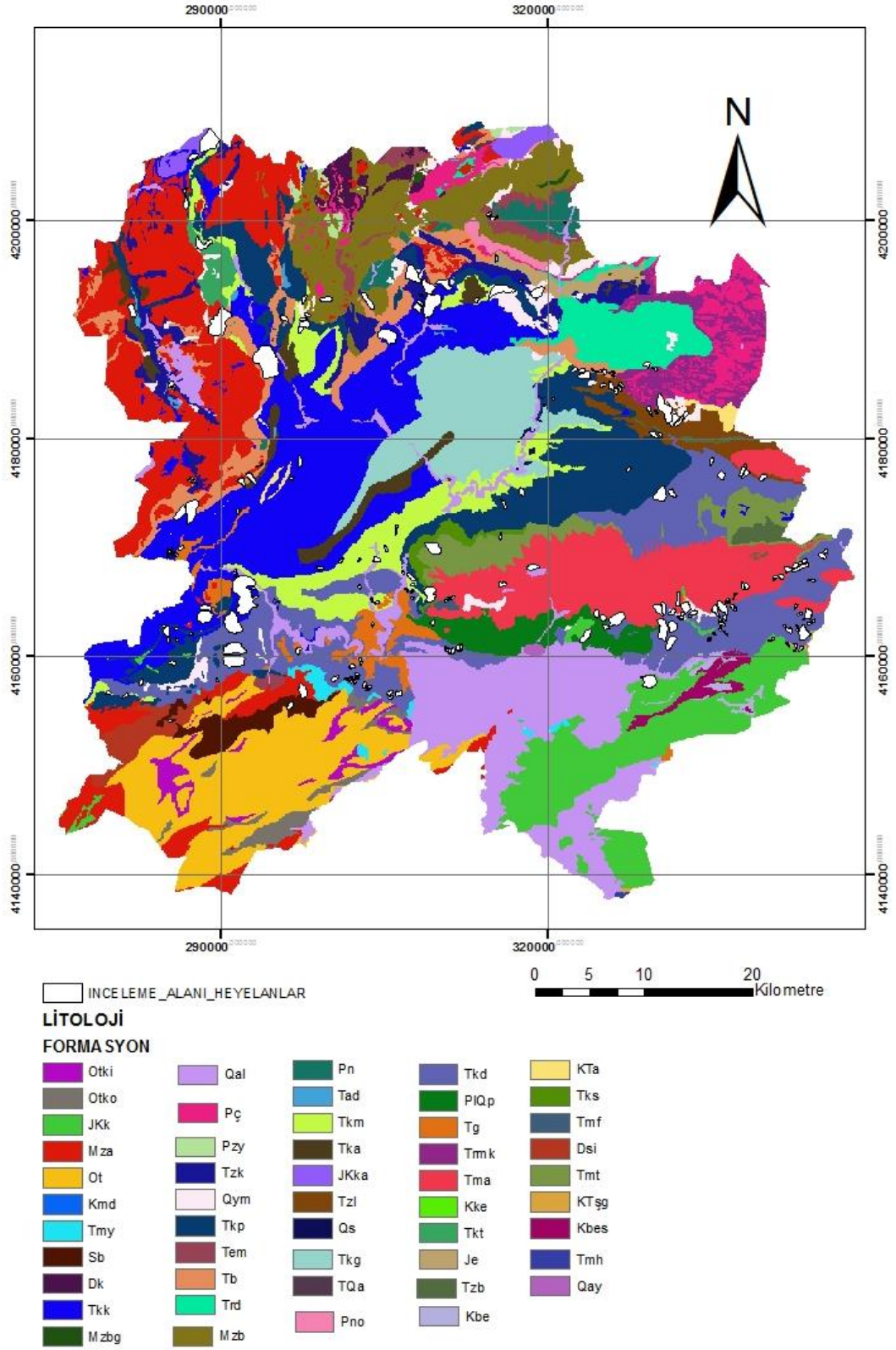


Şekil 5. 8. Çalışma alanının yamaç eğimi heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

5.2.2 Litoloji

Litoloji, yamaç duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri olup, malzemelerin dayanım, geçirimsizlik, sertlik gibi birçok özelliği ile doğrudan ilişkilidir [246]. Litoloji parametresinin analizlerde kullanımı bu parametrenin arazi çalışmalarındaki gözlemlerle entegrasyonu sağlandıktan sonra yapılmalıdır. Çalışma alanına ilişkin litoloji haritası, MTA'nin 1 / 25.000'lik jeoloji haritası kullanılarak üretilmiştir. Heyelanın hangi litolojik birimlerde daha yoğun olduğunu

tespit etmek amacıyla analizler yapılmıştır (Şekil 5.9). Litolojilere ilişkin açıklamalar, Bölüm 2.1'de sunulmuştur.



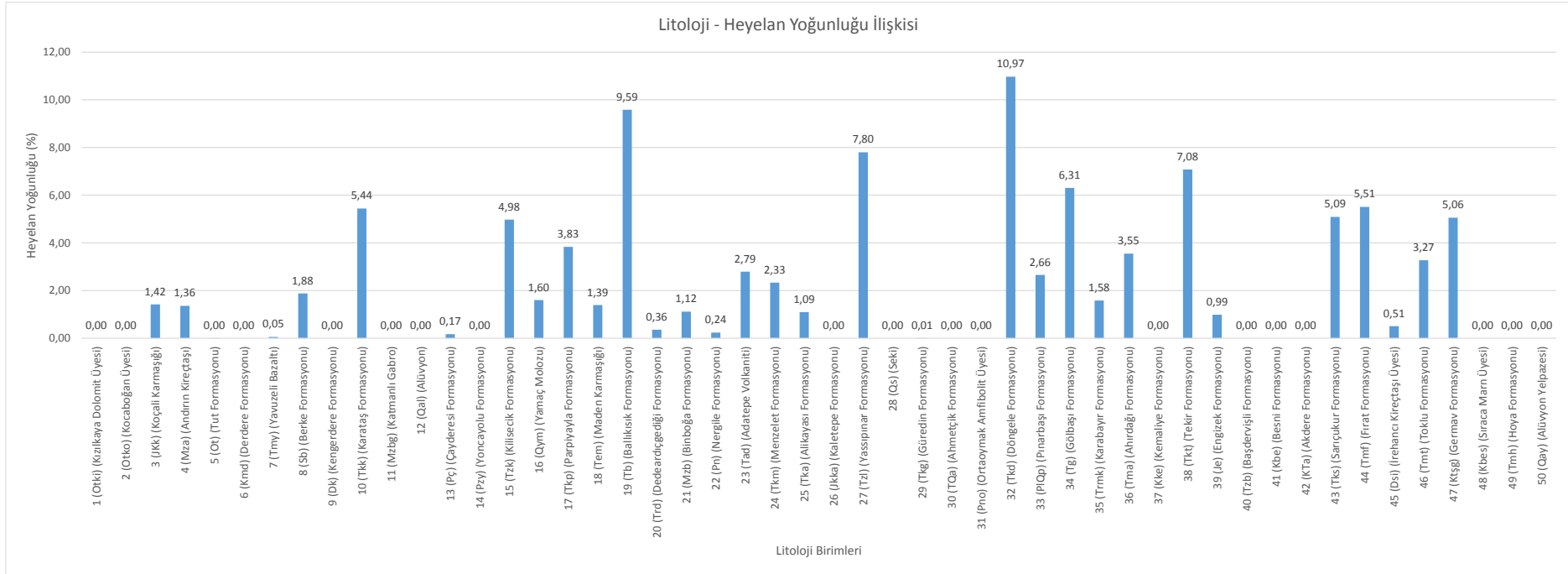
Şekil 5. 9. Çalışma alanının litoloji haritası.

Heyelanların yoğunluğu alandaki mevcut 50 litolojik birim dikkate alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.3). Alandaki heyelanların görüldüğü litolojik birimler genel olarak değerlendirildiğinde, heyelanların en yoğun olarak görüldüğü 3 formasyon sırasıyla Döngel formasyonu – Tkd (% 10.97), Ballıkısık formasyonu – Tb (% 9,59) ve Yassıpınar formasyonu - Tzl (% 7.80) olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu formasyonların heyelan yoğunluk ilişkisi Şekil 5.10'da sunulmuştur.

Çizelge 5. 3. Çalışma alanında litoloji sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.

	Litoloji	Alansal yayılım - A	Heyelanlı alanlardaki yayılım - B	% A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
1	Otki	172031	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00
2	Otko	173944	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00
3	JKk	1329095	19143	5,05	2,38	0,47	1,42
4	Mza	2552727	35197	9,71	4,37	0,45	1,36
5	Ot	1576820	13	5,99	0,00	0,00	0,00
6	Kmd	9029	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
7	Tmy	89585	48	0,34	0,01	0,02	0,05
8	Sb	223208	4260	0,85	0,53	0,62	1,88
9	Dk	140954	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00
10	Tkk	2814592	155387	10,7	19,29	1,80	5,44
11	Mzbg	27848	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
12	Qal	2211679	0,00	8,41	0,00	0,00	0,00
13	Pç	545778	949	2,07	0,12	0,06	0,17
14	Pzy	62371	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
15	Tzk	518234	26166	1,97	3,25	1,65	4,98
16	Qym	399732	6491	1,52	0,81	0,53	1,60
17	Tkp	1706134	66334	6,48	8,23	1,27	3,83
18	Tem	217809	3070	0,83	0,38	0,46	1,39
19	Tb	760527	73961	2,89	9,18	3,17	9,59
20	Trd	578491	2113	2,19	0,26	0,12	0,36
21	Mzb	1167800	13221	4,44	1,64	0,37	1,12
22	Pn	198875	479	0,75	0,06	0,08	0,24
23	Tad	37625	1065	0,14	0,13	0,92	2,79
24	Tkm	877520	20727	3,34	2,57	0,77	2,33
25	Tka	308251	3414	1,17	0,42	0,36	1,09
26	Jkka	149144	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00
27	Tzl	302848	23959	1,15	2,97	2,58	7,80
28	Qs	18299	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
29	Tkg	1076819	59	4,09	0,01	0,00	0,01
30	TQa	16052	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
31	Pno	74163	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
32	Tkd	2035269	226461	7,74	28,11	3,63	10,97

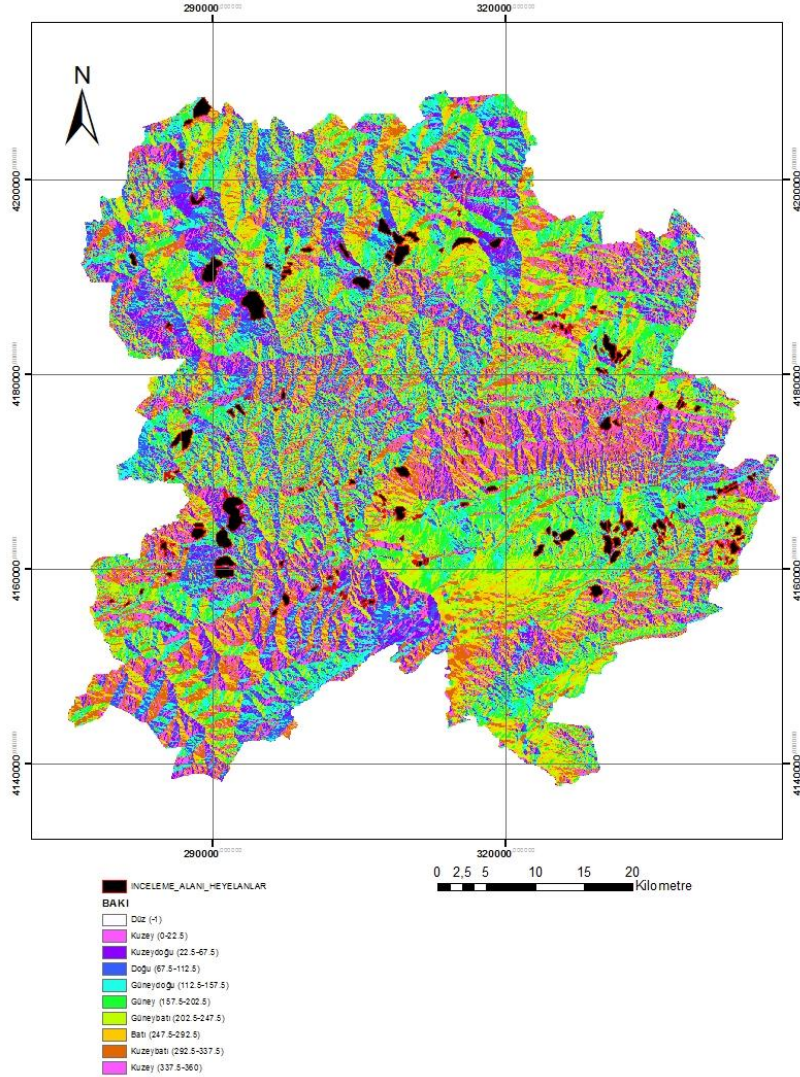
33	PIQp	377691	10175	1,44	1,26	0,88	2,66
34	Tg	293172	18761	1,11	2,33	2,09	6,31
35	Trmk	380990	6106	1,45	0,76	0,52	1,58
36	Tma	1555772	56006	5,97	6,95	1,17	3,55
37	Kke	2748	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
38	Tkt	119378	8574	0,45	1,06	2,34	7,08
39	Je	120008	1200	0,46	0,15	0,33	0,99
40	Tzb	84919	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00
41	Kbe	57726	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
42	KTa	51475	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00
43	Tks	89687	4632	0,34	0,57	1,69	5,09
44	Tmf	17743	992	0,07	0,12	1,83	5,51
45	Dsi	179990	929	0,68	0,11	0,17	0,51
46	Tmt	454624	15078	1,73	1,88	1,083	3,27
47	Ktşg	13486	692	0,05	0,09	1,68	5,06
48	Kbes	109751	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00
49	Tmh)	4342	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
50	Qay	13245	0,00	0,05	0,00	00,00	0,00
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	33,1178	100



Şekil 5. 10. Çalışma alanının litolojik birimleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

5.2.3. Bakı

0 - 360° arasında değişen ve yamaçların kuzey ile yaptığı açının azimut cinsinden ifadesi olan bakı, yamacın yönelim yönünü gösterir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması çalışmalarında sıklıkla kullanılan önemli bir parametrelerden biri olan bakı; toprak nemi, bitki örtüsü miktarı ve drenaj özellikleri gibi özellikleri ile ilişkilendirilip heyelan duyarlılığı analizlerinde kullanılmaktadır. Ancak, bakı parametresi tek başına heyelan oluşumu ile ilişkilendirilebilecek türde bir faktör olmayıp, heyelan üzerindeki etkisine yönelik net bir görüş birliği bulunmamaktadır. Çalışma alanının bakı haritası ana yönler dikkate alınarak, kuzey (K), kuzeydoğu (KD), doğu (D), güneydoğu (GD), güney (G), güneybatı (GB), batı (B), kuzeybatı (KB) ve düz olarak 9 sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 5.11).

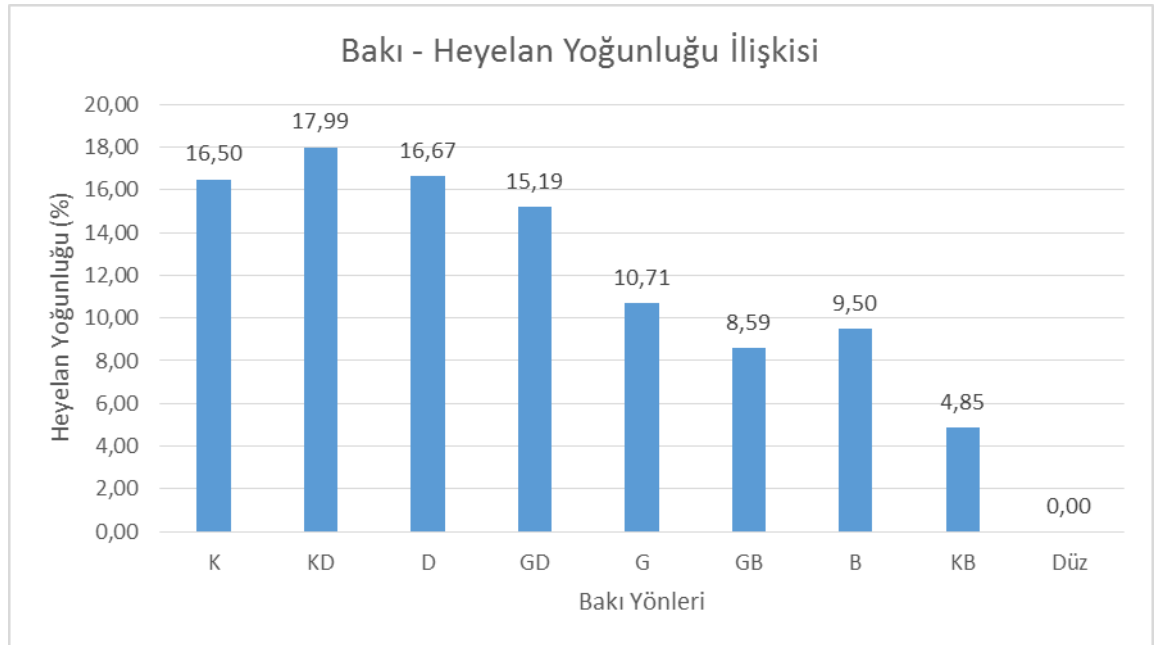


Şekil 5. 11. Çalışma alanının bakı haritası.

9 sınıf için heyelanların en yoğun olarak görüldüğü yönleri tespit etmek amacıyla heyelan yoğunluk değerleri hesaplanmış (Çizelge 5.4) ve söz konusu değerlerin genel dağılımı Şekil 5.12’de verilmiştir. Çalışma alanında heyelanların kuzeydoğuya bakan yamaçlarda, diğer yönelimlere oranla daha fazla geliştiği belirlenmiştir.

Çizelge 5. 4. Çalışma alanında bakı sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.

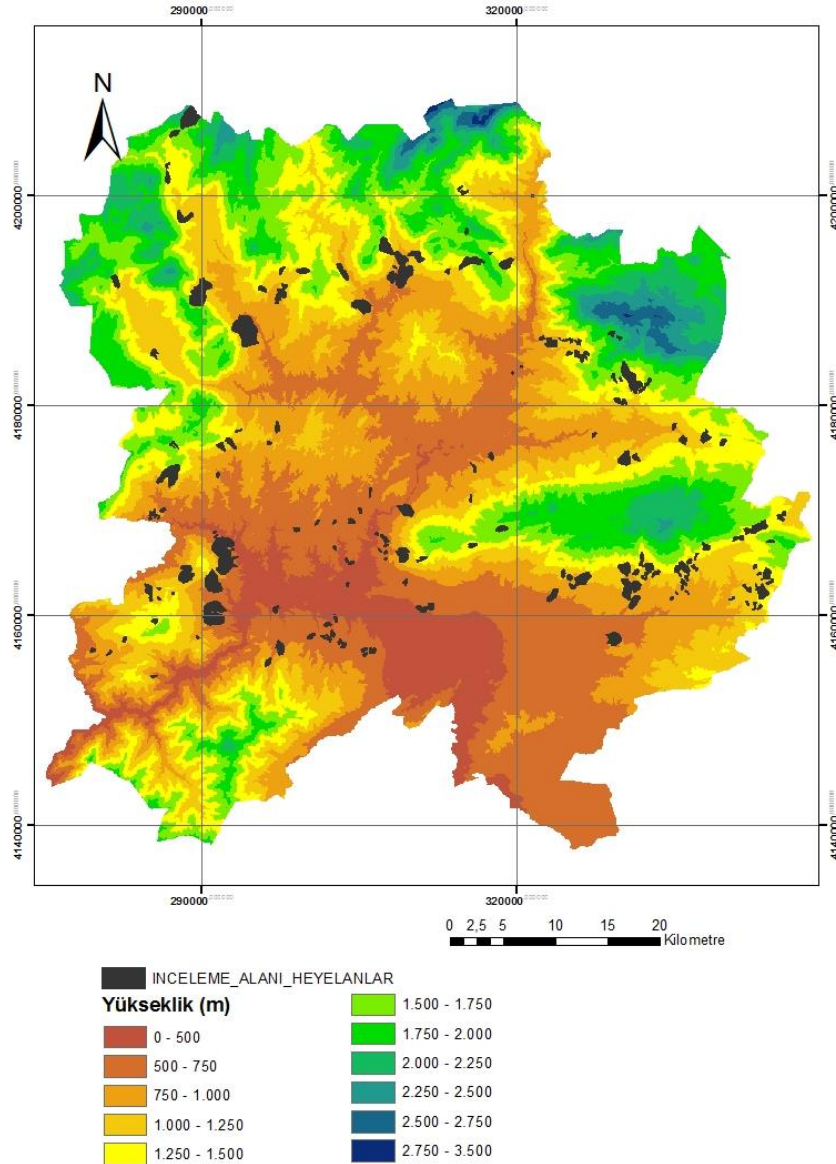
	Bakı	Alansal yayılım - A	Heyelanlı alanlardaki yayılım -B	% A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu
1	K	2315742	97036	8,81	12,04	1,37	16,50
2	KD	2736079	125042	10,40	15,52	1,49	17,99
3	D	3169091	134151	12,05	16,65	1,38	16,67
4	GD	3448359	133082	13,11	16,52	1,26	15,19
5	G	3955951	107591	15,04	13,35	0,89	10,71
6	GB	3718105	81163	14,14	10,07	0,71	8,59
7	B	3573060	86197	13,58	10,69	0,79	9,50
8	KB	3355835	41390	12,76	5,16	0,40	4,85
9	Düz	27778	0	0,11	0,00	0,00	0,00
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	8,2919	100



Şekil 5. 12. Çalışma alanının bakı ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

5.2.4. Topoğrafik Yükseklik

Heyelan değerlendirme çalışmalarında yoğun olarak kullanılan topoğrafik yükseklik, yamaçların deniz seviyesinden olan yüksekliği olarak ifade edilmektedir. Yüksekliğin heyelanla ilişkisi incelendiğinde, genel eğilim yüksek seviyelerde bulunan alanların heyelanlara karşı daha duyarlı olduğudur. Çalışma alanı için topoğrafik yükseklik haritası, HGK tarafından sağlanan 1 / 25.000 ölçekli sayısal yükseklik konturlarından itibaren oluşturulan SYM ile üretilmiştir (Şekil 5.13). Çalışma alanındaki yükseklik değerleri 203 m – 3024 m arasında değişmekte olup, ortalama yükseklik değeri 1156 m olarak belirlenmiştir.

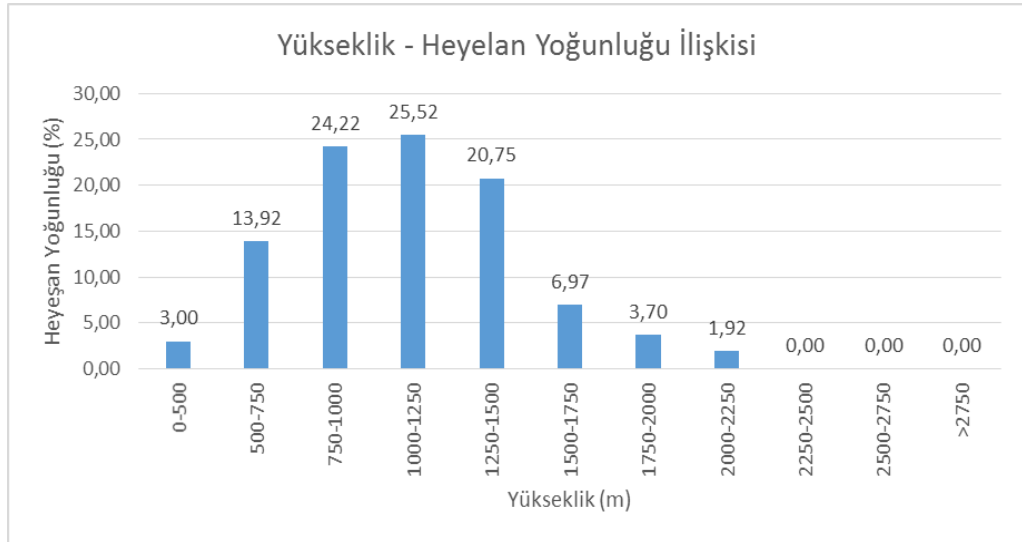


Şekil 5. 13. Çalışma alanının topoğrafik yükseklik haritası.

Çalışma alanındaki yükseklik sınıflarının heyelan yoğunlukları ile olan ilişkisi Çizelge 5.5’de sunulmuş olup, Şekil 5.14’de de verildiği gibi heyelan yoğunluğu 1000 – 1250 m arasında yoğunlaşmaktadır.

Çizelge 5. 5. Çalışma alanında yükseklik sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.

	Yükseklik (m)	Alansal yayılım – A	Heyelanlı alanlardaki yayılım – B	% A	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
1	0-500	1708583	10369	6,49	1,29	0,19	3,00
2	500-750	5347207	150590	20,33	18,69	0,92	13,92
3	750-1000	4799825	235085	18,25	29,18	1,59	24,22
4	1000-1250	3989234	205928	15,17	25,56	1,68	25,52
5	1250-1500	3340579	140199	12,70	17,40	1,37	20,75
6	1500-1750	2904217	40916	11,04	5,08	0,46	6,97
7	1750-2000	2401193	17967	9,13	2,23	0,24	3,70
8	2000-2250	1185807	4608	4,51	0,57	0,13	1,92
9	2250-2500	423439	0	1,61	0,00	0,00	0,00
10	2500-2750	182113	0	0,69	0,00	0,00	0,00
11	>2750	17803	0	0,08	0,00	0,00	0,00
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	6,60	100

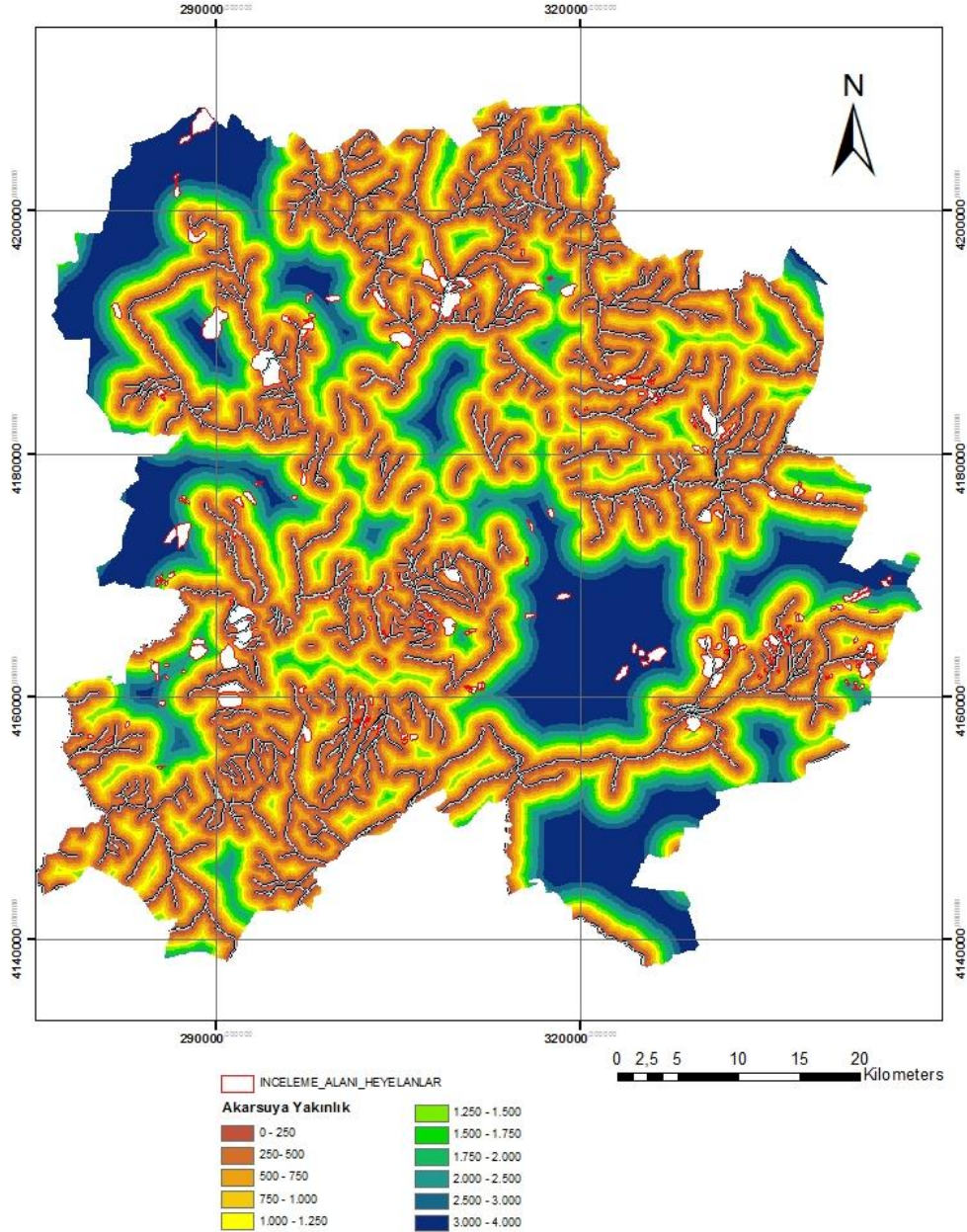


Şekil 5. 14. Çalışma alanının topoğrafik yükseklik ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

5.2.5. Akarsuya Yakınlık

Heyelan duyarlılık çalışması yapan araştırmacılar, genellikle CBS’den yararlanarak, heyelanların akarsulara uzaklığını bir parametre olarak

kullanmışlardır. Genellikle, akarsuya mesafe azaldıkça; yeraltı suyu varlığı ve aşındırma gibi etkiler nedeniyle heyelan oluşma olasılığı artmaktadır. Drenaj ağını oluşturan ana akarsu veya kollarının, heyelan oluşumu üzerindeki etkisinin belirlenmesinde, hangi uzaklık değerlerinin kullanılacağı konusunda bir standart bulunmamaktadır. Çalışma alanı için yükseklik verilerinden itibaren ArcGIS 10.3 yazılımının “ArcHydro” uzantısı ile analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.15).



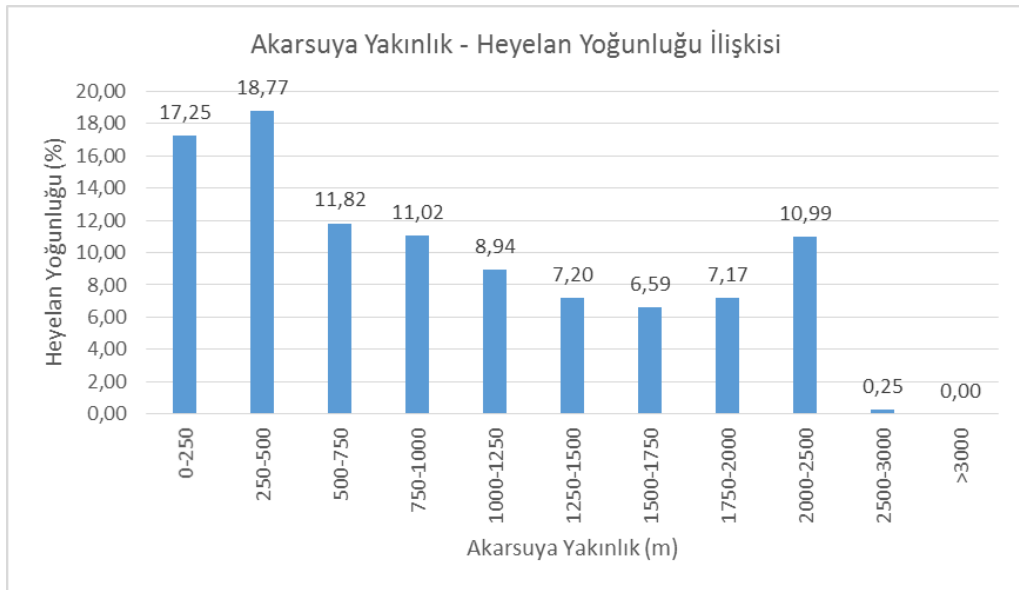
Şekil 5. 15. Çalışma alanının akarsuya yakınlık haritası.

Üretilen akarsuya yakınlık haritası 0 - 250 m, 250 - 500 m, 500 - 750 m, 750 - 1000 m, 1000 – 1250 m, 1250 - 1500 m, 1500 -1750 m, 1750 – 2000 m, 2000 -

2500 m, 2500 – 3000 m ve 3000 m'den büyük olmak üzere 11 sınıfa ayrılarak incelenmiştir (Çizelge 5.6). Alandaki, heyelanlar için incelendiğinde en fazla 250 - 500 m'lik mesafede heyelanlara rastlanmıştır (% 18.77). İkinci olarak 0 - 250 m'lik mesafede % 17.25 heyelan yoğunluğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında, drenaj ağlarına yakın mesafelerde heyelan yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5.16).

Çizelge 5. 6. Çalışma alanında akarsuya yakınlık sınıfları için heyelan yoğunluk değerleri.

	Akarsulara yakınlık (m)	Alansal yayılım – A	Heyelanlı alanlardaki yayılım – B	% A	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
1	0-250	5284976	249277	20,09	30,94	1,54	17,25
2	250-500	4275524	219445	16,26	27,24	1,67	18,77
3	500-750	3214754	103894	12,22	12,89	1,05	11,82
4	750-1000	2433983	73337	9,25	9,10	0,98	11,02
5	1000-1250	1887945	46177	7,18	5,73	0,79	8,94
6	1250-1500	1487251	29291	5,65	3,63	0,64	7,20
7	1500-1750	1149370	20729	4,37	2,57	0,59	6,59
8	1750-2000	952159	18675	3,62	2,32	0,64	7,17
9	2000-2500	1465419	44052	5,57	5,47	0,98	10,99
10	2500-3000	1163715	785	4,42	0,11	0,02	0,25
11	>3000	2984904	0	11,37	0	0	0,00
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	8,93	100



Şekil 5. 16. Çalışma alanının akarsuya yakınlık ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

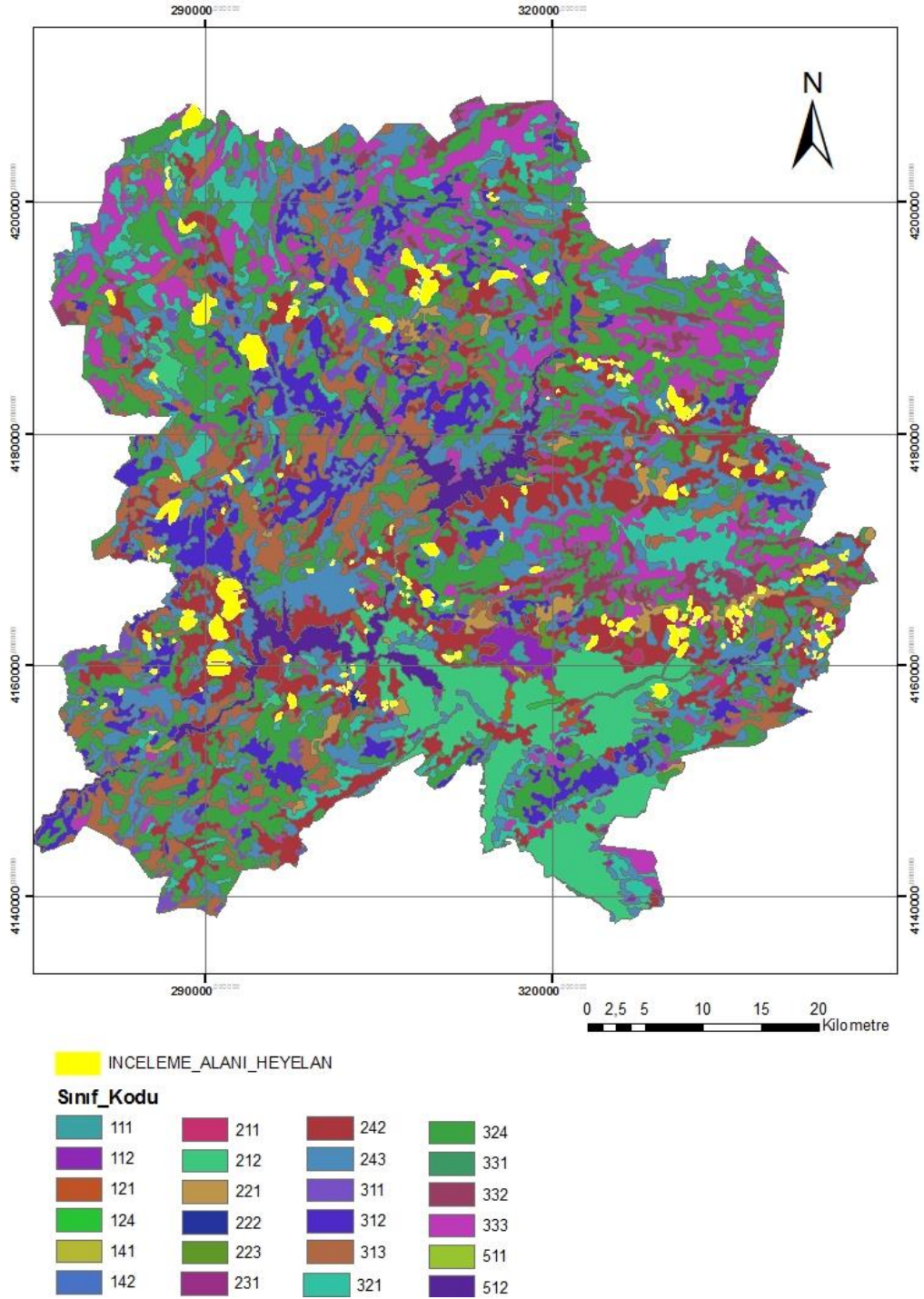
5.2.6. Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı parametresinde; yerleşim alanları, tarım alanları, ormanlık alanlar, yoğun ve seyrek bitki örtüsü içeren alanlar vb. alanların heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilmektedir. Örneğin; bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde kimi zaman olumlu ve kimi zaman da olumsuz etkileri vardır. Özellikle güçlü ve büyük kök sistemli bitkilerin yoğun olduğu alanlarda yamaç duraylılığını olumlu etkilediği kanaati yaygındır.

Bilindiği üzere bitkiler, yaprakları sayesinde suyu emmekte ve buharlaştırarak, yağışın süzülme etkisini azaltmaktadır. Diğer taraftan, bitkinin kök ve gövdeleri zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak, yüzey suyunun zemin içerisine doğrudan girmesini kolaylaştırmaktadır. Bu durumda ise yamaç duraylılığı olumsuz yönde etkilenmektedir [220].

Ormanlık alanlardaki heyelanların değerlendirildiği bir başka çalışmada Lee ve Min [247], ormanlık alanlarda yerleşim alanlarına oranla daha fazla sayıda heyelan meydana geldiği belirtilmiştir. Araştırmacılara göre yerleşim alanları düz alanlar olup, ormanlar ise daha eğimlidir ve genellikle heyelanlar eğimli arazilerde meydana gelmektedir.

Çalışma alanının arazi kullanımı haritası Orman ve Su İşleri Bakanlığından temin edilen veriler ile oluşturulmuştur (Şekil 5.17). 2006 yılında, Avrupa Çevre Ajansının, Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma Sistemi (Coordination of information on the environment - Corine) isimli çalışmasına göre, 5 adet temel, 44 adet alt arazi kullanımı sınıfı belirlenmiş ve Avrupa Birliği arazi örtüsü, bu sınıflar çerçevesinde şekillendirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde görülen 24 adet arazi sınıfı Corine'de belirtilen renk kodları ve açıklamaları; <http://corine.ormansu.gov.tr> adresindeki veriler doğrultusunda aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 5. 17. Çalışma alanının arazi kullanım haritası.

- 1) Sürekli şehir yapısı (111): Arazinin büyük bölümü ulaşırma ağları ve yapılarla kaplıdır. Toplam yüzeyin %80'inden fazlasını binalar, yollar ve yapay yüzeyler kaplar. Çıplak toprak ve lineer olmayan bitki örtüsü istisnadır. Ek olarak, toplam yüzeyin en az %80'i geçirimsiz olmalıdır, asfalt veya beton kaplıdır. Bu sınıfta; sık, yoğun ve homojen yapılaşmanın

- görüldüğü kent merkezleri ve banliyöler, kamu hizmetleri ve yerel idareler ile ticaret/endüstri amaçlı kullanılan alanlar, otopark alanları ile asfalt ve beton kaplı alanlar, ulaşım ağı, kabristanlar yer almaktadır.
- 2) Kesikli şehir yapısı (121): Arazinin büyük bölümü yapılarla kaplıdır. Binalar, yollar, yapay yüzeylerle beraber çıplak toprak ve bitki örtüsü karışımlarının dağınık olarak yer kapladığı alanlardır. Yüzeyin %30 - 80'i geçirimsiz olmalıdır. Sürekli Kentsel Yapı sınıfından ayırmak için uydu görüntüsüne bakıldığında müstakil binalardan oluşmuş (örn.bahçeli, müstakil evler) olmasına dikkat edilir. Bu sınıfta; müstakil konutlar; konut amaçlı kullanılan dağınık bloklar, otoparklar, eğlence alanları vb. yer almaktadır.
 - 3) Sanayi (121): Bitki örtüsü bulunmayan, binalardan ve/veya yeşil alanlardan oluşan yapay yüzeyli (asfalt, beton, stabilize kaplı) alanlardır. Bu sınıfta; Ar-Ge kuruluşları, güvenlik, adliyeler, itfaiyeler, ceza-infaz kurumları, yaşlı bakım evleri, yetimhaneler, sanatoryum, sergi ve fuar alanları, hastaneler, üniversiteler, okullar, barajlar, hidroelektrik santralleri Telekomünikasyon ağları yer almaktadır.
 - 4) Havaalanı (124): Havalimanı yerleşimleri, bağlantılı yollar, apron-pist ve ilişkili binaları kapsayan alanlardır.
 - 5) Yeşil şehir alanı (141): Kentsel alandaki parklar ve önemli oranda bitki örtüsü ile kaplı kabristanlar dahil yeşil bitki örtüsü ile kaplı alanlardır. Müstakil bahçeler dahildir.
 - 6) Spor eğlence alanı (142): Kamp-spor-eğlence alanları/parkları, golf sahaları, yarış sahaları benzeri alanlardır. Kentsel alan tarafından çevrelenmemiş parklar bu sınıfı oluştururlar.
 - 7) Sulanmayan tarımsal alan (211): Tahıllar, baklagiller, yem ürünleri, köklü (toprak altı) ürün tarlaları ile nadasa bırakılmış tarlalar. Çiçek, meyve ağaçları ve sebzeler (ister açık arazide ister plastik/cam serada yetiştirilsin)

dahildir. Aromatik bitkiler, ilaç sanayiinde kullanılan bitkiler ve mutfakta kullanılan bitkiler dahil ancak kalıcı meralar hariçtir.

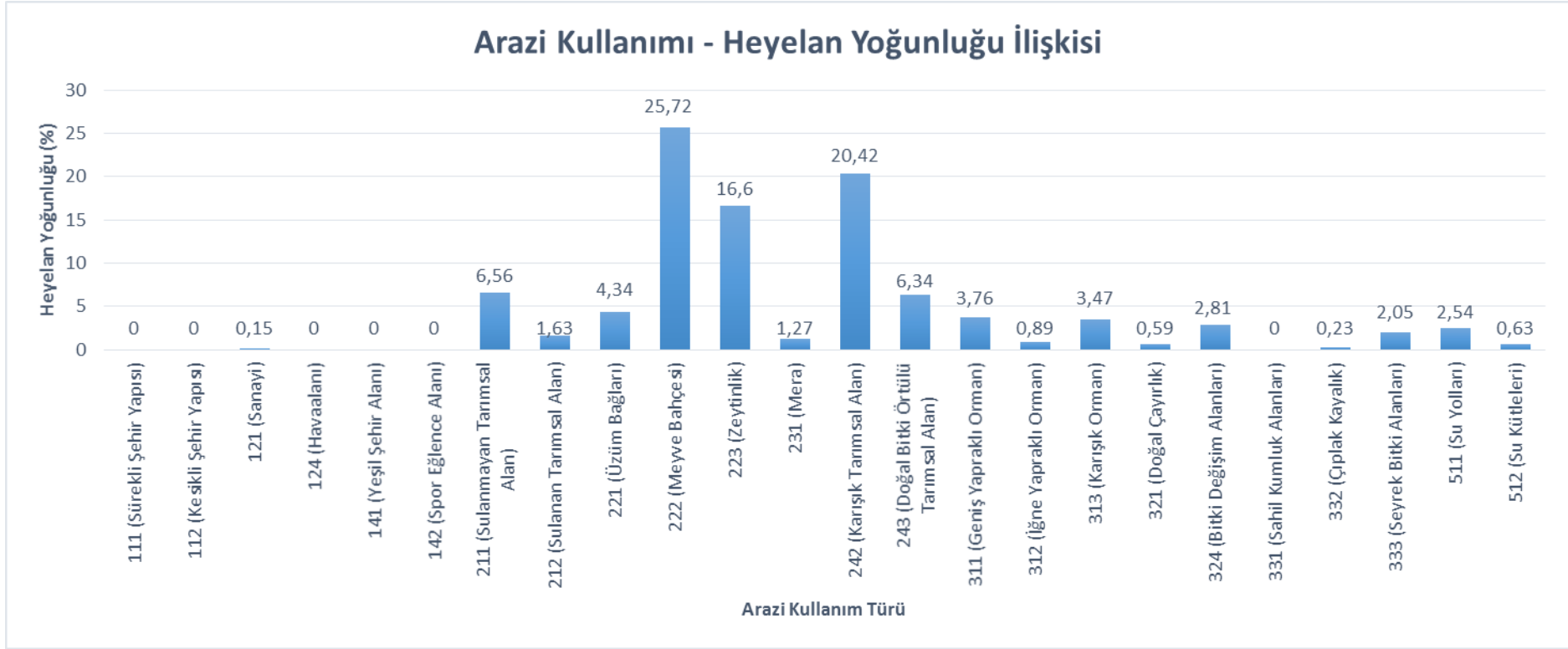
- 8) Sulanan tarımsal alan (212): Kalıcı bir altyapısı olan (sulama kanalları, drenaj ağı ve ek sulama tesisleri) ile sürekli veya periyodik olarak sulama yapılan sulu tarım ekinlerini içerir. Bu ekinlerin çoğunun tarımı su temini olmaksızın yapılamaz. Tek tük sulama yapılan sulu tarım arazileri dahil değildir.
- 9) Üzüm bağları (221): Asma ekili arazilerdir.
- 10) Meyve Bahçesi (222): Meyve ağaçları ve fundalık dikili parseller: tek veya karışık türler, sürekli çimen kaplı yüzeylerle ilişkili meyve ağaçlarını bulundurur. Kestane ve ceviz bahçeleri dahildir.
- 11) Zeytinlik (223): Zeytin ağacı ekili araziler. Aynı parselde zeytin ağacı ile asma ekili olan alanlar dahildir.
- 12) Mera (231): Sık çimen kaplı, çiçek kompozisyonu olan, buğdaygillerin yoğun olduğu, dönüşümlü bir sistemin olmadığı araziler. Temelde otlak amaçlıdır ancak saman mekanik olarak hasat edilebilir. Çit ile çevrili alanlar dahildir.
- 13) Karışık tarımsal alan (242): Kalıcı ekinlerin bulunduğu karışık parsellerdir (meyve ağaçları, taneli meyve üretimi, bağlar, zeytinlikler).
- 14) Doğal bitki örtülü tarımsal alan (243): Doğal bitki örtüsünün içinde tarım faaliyeti yapılan alanlar. Önemli doğal alanlar içine serpiştirilmiş tarla vasıflı alanlardır.
- 15) Geniş yapraklı orman (311): Bitki örtüsü kompozisyonu temel olarak ağaçlardan oluşur. Baskın olarak geniş yapraklı türlerin (%75'ten fazla) olduğu ağaçlar altındaki maki ve çalılıklar dahildir.

- 16) İğne yapraklı orman (312): Bitki örtüsü kompozisyonu temel olarak ağaçlardan oluşur. Baskın olarak iğne yapraklı türlerin (%75'ten fazla) olduğu ağaçlar altındaki maki ve çalılıklar dahildir.
- 17) Karışık orman (313): Bitki örtüsü kompozisyonu temel olarak ağaçlardan oluşur. İğne yapraklı veya geniş yapraklı türlerin herhangi birinin baskın olmadığı ağaçlar altındaki maki ve çalılıklar dahildir.
- 18) Doğal çayırılık (321): Düşük verimli çayırlardır. Sert ve engebeli yüzeylerde yer alırlar. Genellikle kayalık ve fundalık alanları kapsar. Otsu bitki örtüsü yüksekliği en çok 150 cm'dir ve yüzeyin en az %50'sini kaplar.
- 19) Bitki değişim alanları (324): Çalılıklı otsu bitkilerin yer yer ağaçlarla beraber dağıldığı alanları ve doğal orman gelişim alanlarını içerir. Orman gençleştirme veya kesim alanları dahildir.
- 20) Sahil kumluk alanları (331): Kıyı veya karasal bölgelerdeki, kum-çakıl karışımları, kumullar ve sahillerdir. Sel debisine sahip nehirlerin yatakları da bu gruba dahildir.
- 21) Çıplak kayalık (332): Dağ eteğindeki taş yığını, falez, yeryüzüne çıkmış kayaç, kayalık, yüksek su seviyesi üzerindeki kayalık alanlar.
- 22) Seyrek bitki alanları (333): Step, tundra ve verimsiz topraklı alanlardır. Yüksek rakımda, dağınık, odunsu ve yarı odunsu bitki örtüsüne sahiptirler.
- 23) Su yolları (511): Drenaj kanalları olarak kullanılan kanallar dahil doğal veya yapay su yollarıdır. Minimum genişlik 100 m olmalıdır. Kanallara ayrılmış nehirler, 25 ha'dan küçük kum veya çakıl birikintileri.
- 24) Su Kütleleri (512): Doğal veya yapay su uzantıları. Düşük debili sulardaki bitkilerden oluşan alanlar. Barajlar, göllerdeki takım adalar, tatlısu balık çiftlikleri, mevsimsel olarak kuruyan balık göletleri.

Çizelge 5.7'de verildiği üzere alandaki heyelanların en yoğun olarak görüldüğü arazi örtüsü türü sırasıyla meyve bahçesi olup (% 25.72), karışık tarımsal alan (%20.42) ve zeytinliklerdir (% 16.60) (Şekil 5.18).

Çizelge 5. 7. Çalışma alanının arazi kullanımı ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

	Arazi kullanımı	Alansal yayılım - A	Heyelanlı alanlardaki yayılım - B	% A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu
1	111	17094	0	0,07	0,00	0,00	0,00
2	112	192066	0	0,73	0,00	0,00	0,00
3	121	56790	50	0,21	0,00	0,03	0,15
4	124	10965	0	0,04	0,00	0,00	0,00
5	141	3422	0	0,01	0,00	0,00	0,00
6	142	2096	0	0,00	0,00	0,00	0,00
7	211	83709	3168	0,32	0,39	1,23	6,56
8	212	1737347	16387	6,60	2,03	0,31	1,63
9	221	359761	9016	1,36	1,12	0,82	4,34
10	222	14607	2169	0,05	0,27	4,85	25,72
11	223	61686	5909	0,23	0,73	3,13	16,60
12	231	20806	153	0,08	0,02	0,24	1,27
13	242	3500267	412563	13,31	51,21	3,85	20,42
14	243	4283610	156230	16,28	19,39	1,19	6,34
15	311	330345	7180	1,26	0,89	0,71	3,76
16	312	2067798	10655	7,86	1,32	0,17	0,89
17	313	2276898	45609	8,66	5,66	0,65	3,47
18	321	1511866	5119	5,75	0,63	0,11	0,59
19	324	6002138	97239	22,82	12,07	0,53	2,81
20	331	37465	0	0,14	0,00	0,00	0,00
21	332	449989	596	1,71	0,07	0,04	0,23
22	333	2637030	31209	10,02	3,87	0,38	2,05
23	511	5594	82	0,02	0,01	0,48	2,54
24	512	636651	2328	2,47	0,32	0,12	0,63
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	18,84	100



Şekil 5. 18. Çalışma alanının arazi kullanımı ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

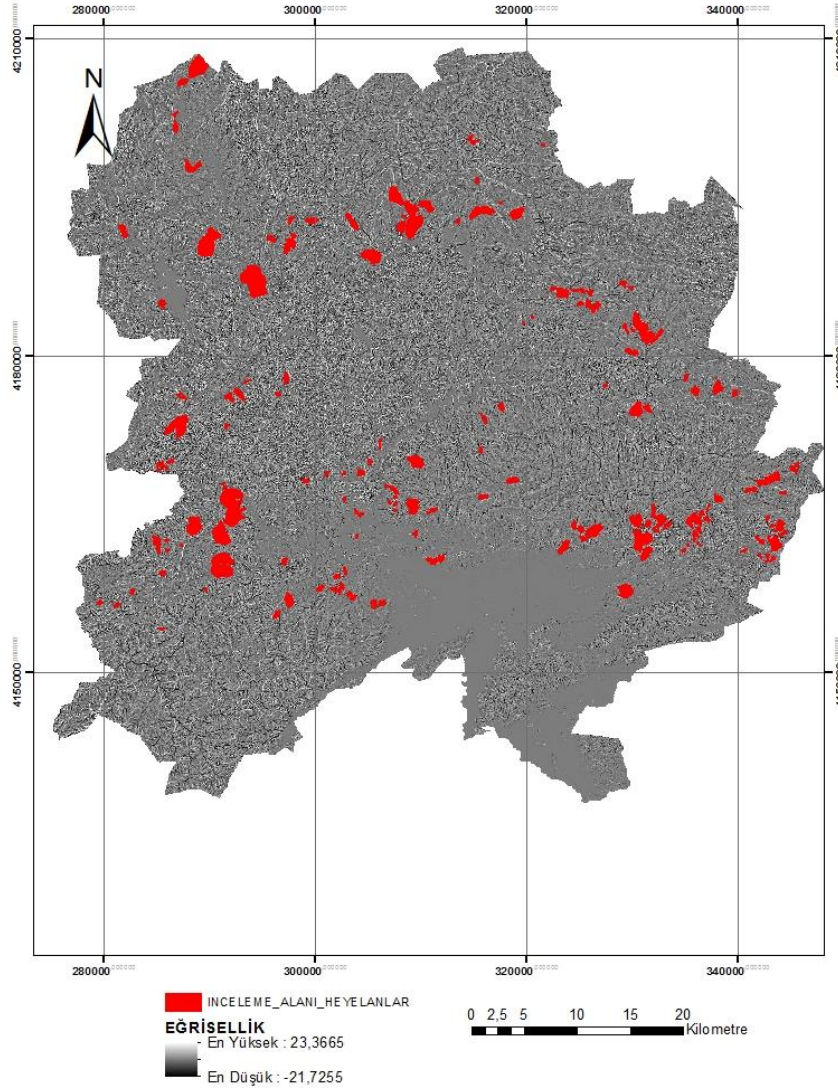
5.2.7 Eğrisellik

Eğrisellik; genellikle arazi yüzeyi ile bir düzlemin kesişiminden meydana gelen bir hattın ikinci türevinin alınmasıyla elde edilmektedir [260]. Yamaç eğriselliği açısından yamaçlar dışbükey, içbükey ve düz olmak üzere üç sınıfta incelenmektedirler.

Pozitif eğrisellik dışbükey yamacı, negatif eğrisellik içbükey yamacı, sıfır değeri ise düz yamacı ifade etmektedir. Genel kanı; iç bükey olan yamaçlarda çoğunlukla dairesel kaymaların, dış bükey yamaçlarda da akma türü heyelanların meydana geldiği yönündedir [248]. Ancak, eğrisellik parametresi konusunda araştırmacılar arasında diğer parametrelerde olduğu gibi bir görüş birliği yoktur. Eğrisellik genellikle, plan eğriselliği ve profil eğriselliği olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

Plan eğriselliği yamaç yönelimine dik olarak belirlenen eğrisellikler olarak değerlendirilirken, profil eğriselliği ise yamaç yönelimine paralel olan eğrisellikleri temsil etmektedir. Plan eğriselliğinde, negatif değerler konkav yüzeyleri, pozitif değerler konveks yüzeyleri, 0 ve 0'a yakın olan değerler ise düz alanları simgelemektedir.

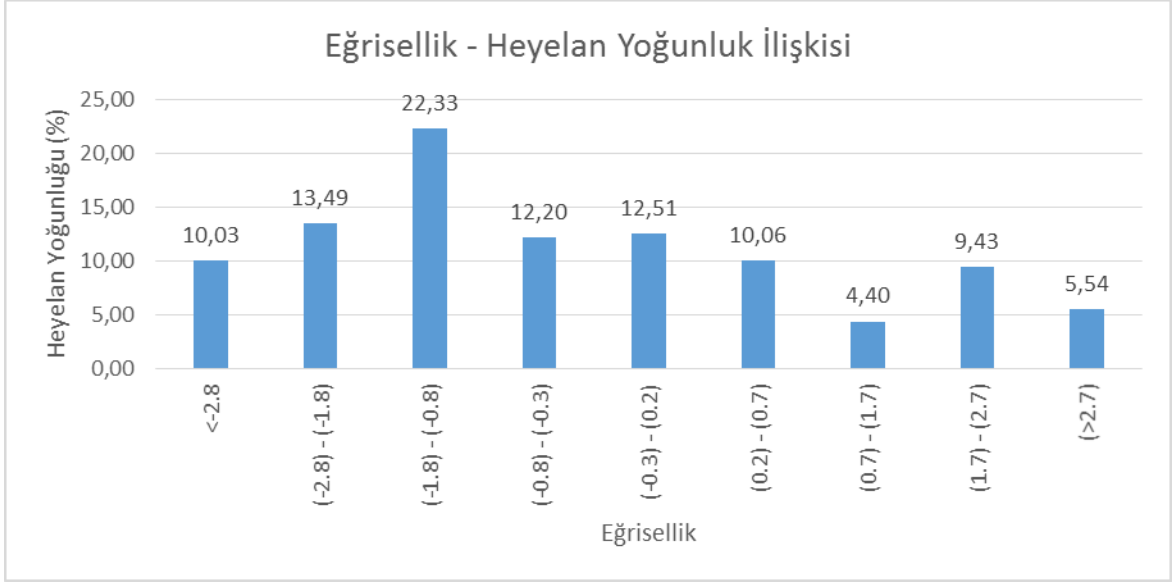
Çalışma alanı için eğrisellik değerleri -21.7255 ile 23.3665 arasında değişmekte olup (Şekil 5.19), bu aralık değerler için heyelan yoğunlukları 9 sınıfta incelenmiştir (Çizelge 5.8) Şekil 5.19'da da gösterildiği gibi, alandaki eğrisellik değeri % 22,33 heyelan yoğunluğu ile -1.8 / -0.8 arasında değişmektedir. Bu değeri %13.49 ile -2.8 / -1.8 değeri izlemektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde çalışma alanındaki iç bükey yamaçlarda heyelan yoğunluğunun daha yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 5.20).



Şekil 5. 19. Çalışma alanının eğrisellik haritası.

Çizelge 5. 8. Çalışma alanının eğrisellik sınıfları ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

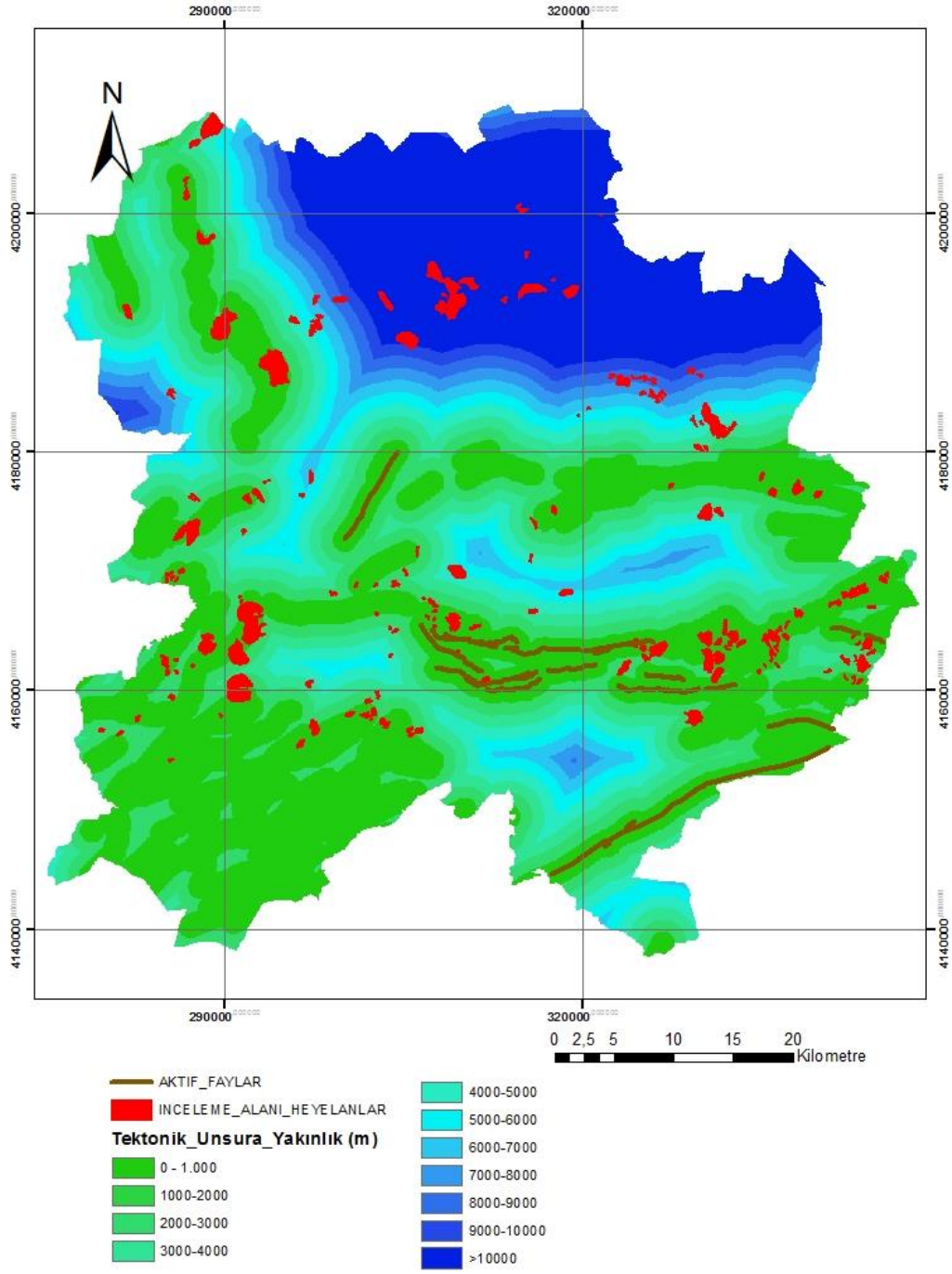
	Yamaç eğriselliği	Alansal yayılım - A	Heyelanlı alanlardaki yayılım - B	% A	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
1	<-2.8	285181	7382	1,08	0,92	0,84	10,03
2	(-2.8) - (-1.8)	985377	34314	3,75	4,26	1,14	13,49
3	(-1.8) - (-0.8)	3400784	196043	12,93	24,33	1,88	22,33
4	(-0.8) - (-0.3)	3809495	119981	14,48	14,89	1,03	12,20
5	(-0.3) - (0.2)	7856450	253717	29,87	31,49	1,05	12,51
6	(0.2) - (0.7)	4609160	119708	17,52	14,86	0,85	10,06
7	(0.7) - (1.7)	4070563	46284	15,48	5,74	0,37	4,40
8	(1.7) - (2.7)	983552	23950	3,74	2,97	0,79	9,43
9	(>2.7)	299438	4283	1,15	0,54	0,46	5,55
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	8,43	100



Şekil 5. 20. Çalışma alanının eğrisellik ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

5.2.8 Tektonik unsura yakınlık

Genel olarak, yapılan literatür araştırmalarına göre, yapısal unsurlara yakınlık ile heyelan yoğunluğu arasında ters orantılı bir ilişki olduğu konusunda görüş birliği bulunmaktadır. Bir başka ifade ile tektonik unsura yakın alanlarda daha çok heyelan vakası ile karşılaşılırken, tektonik unsurdan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğunda azalım görülmektedir. Bu durum, tektonik unsura yakın alanlarda malzemelerin daha zayıf ve bozunmaya daha açık olması ve bu nedenle duraylılığının daha az olduğu şeklinde açıklanabilir. Çalışma alanında tektonik unsur olarak aktif faylar dikkate alınmış olup, MTA'nın aktif fay haritasından alınan bilgiler doğrultusunda değerlendirilmiş ve heyelanlarla olan ilişkisi Şekil 5.21'de sunulmuştur. Alanda faya yakınlık mesafesi; 0 - 1000m, 1000 – 2000 m, 2000 – 3000 m, 3000 – 4000 m, 4000 – 5000 m, 5000 – 6000 m, 6000 – 7000 m, 7000 – 8000 m, 8000 – 9000 m, 9000 – 10.000 m ve 10.000 m üzeri olmak üzere 11 alt sınıfta incelenmiştir (Çizelge 5.9).

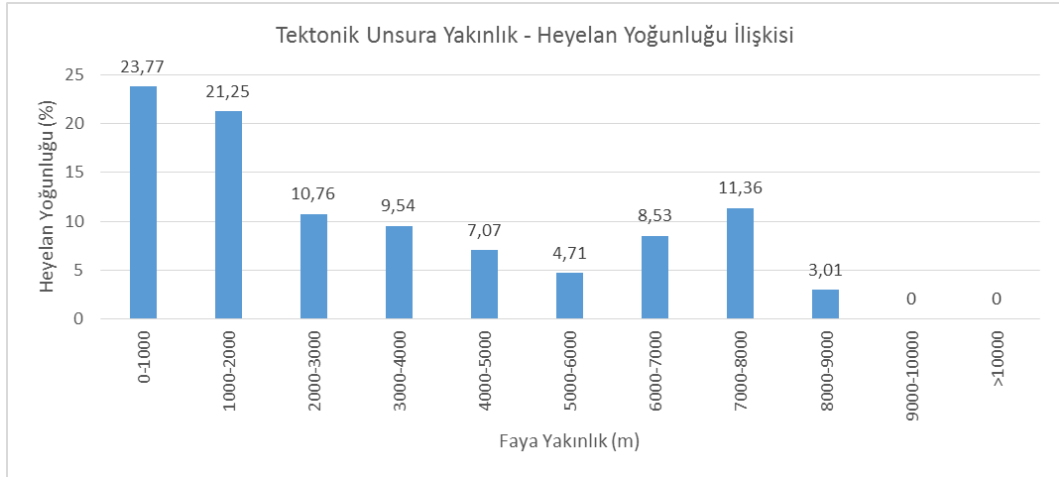


Şekil 5. 21. Çalışma alanının tektonik unsura yakınlık haritası.

Şekil 5.21’de de sunulduğu üzere faya yakınlık ile heyelan yoğunluğu ilişkisi literatür çalışmaları ile uyumlu olup, çalışma alanında heyelanlar en fazla 0 – 1000 m (% 23.77) ve 1000 – 2000 m (% 21.25) mesafelerde tespit edilmiştir (Şekil 5.22).

Çizelge 5. 9. Çalışma alanının tektonik unsura yakınlık değerleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

	Tektonik unsura yakınlık (m)	Alansal yayılım – A	Heyelanlı alanlardaki yayılım - B	% A	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
1	0-1000	8097279	420925	30,79	52,25	1,69	23,77
2	1000-2000	4344442	201967	16,52	25,07	1,52	21,25
3	2000-3000	2922922	68777	11,11	8,54	0,77	10,76
4	3000-4000	2230188	46559	8,48	5,78	0,68	9,54
5	4000-5000	1708301	26413	6,49	3,28	0,50	7,07
6	5000-6000	1057217	10884	4,02	1,35	0,34	4,71
7	6000-7000	643305	12003	2,44	1,49	0,61	8,53
8	7000-8000	583376	14497	2,22	1,79	0,81	11,36
9	8000-9000	552300	3637	2,10	0,45	0,21	3,01
10	9000-10000	546517	0	2,08	0,00	0,00	0,00
11	>10000	3614153	0	13,75	0,00	0,00	0,00
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	7,14	100



Şekil 5. 22. Çalışma alanının tektonik unsura yakınlık ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

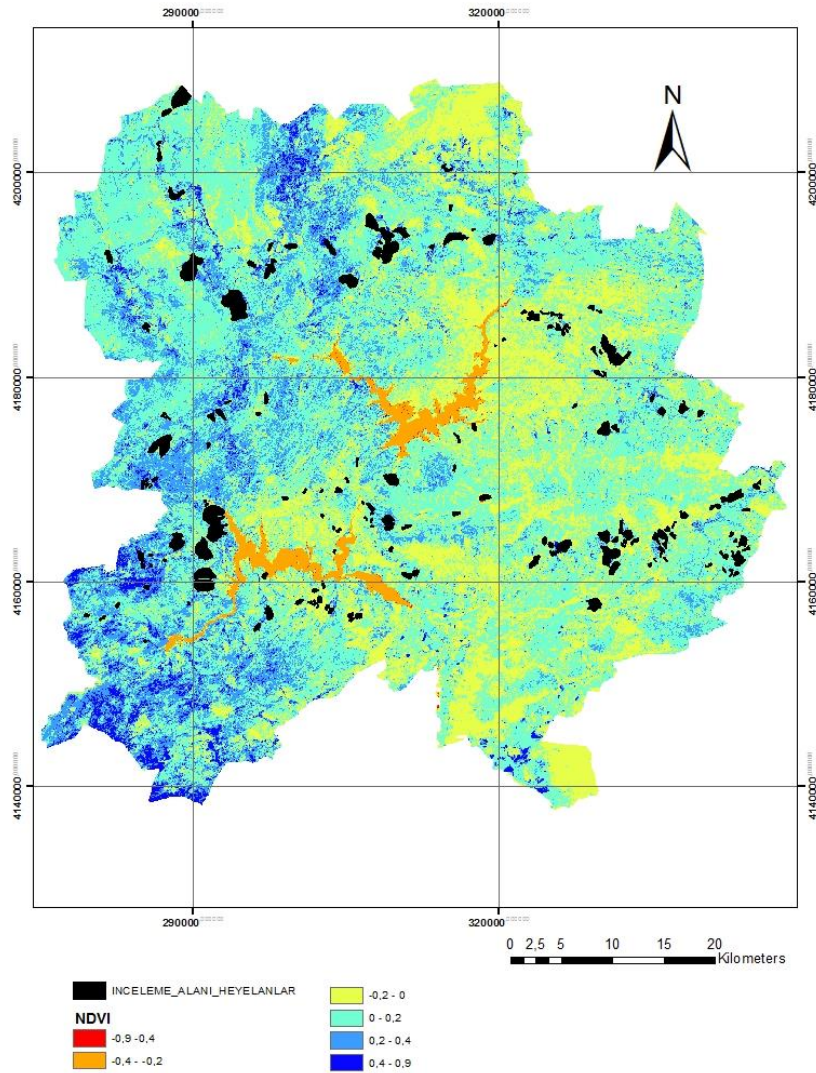
5.2.9. Bitki örtüsü - NDVI

Bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisi ile ilgili olarak araştırmacılar arasında farklı görüşler mevcut olup, genellikle; bitki örtüsünün hem olumlu, hem de olumsuz etkileri üzerinde durularak ağaç kökü, ağaç çapı, yaşı gibi özellikler dikkate alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Bitki örtüsü değerlendirmesinde, tez

çalışması kapsamında NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) haritası üretilerek değerlendirmeler yapılmıştır. NDVI değeri, -1 ile + 1 arasında değişmekte olup, negatif değerler çoğunlukla çıplak / kayalık alanları, 1'e yakın pozitif değerler ise sağlıklı bitki örtüsünü ifade etmektedir [249]. Tez çalışması kapsamında, Landsat ETM+'in 2015 (Haziran) yılındaki ilgili uydu görüntüleri kullanılmıştır. NDVI hesaplaması için Rouse vd. [249] tarafından önerildiği üzere; uydu görüntülerinin 4. bandı olan yakın kızılötesi (NIR) ve 3. bant olan kırmızı (R) arasındaki matematiksel ilişkiden yararlanılarak (Eşitlik 5.1) çalışma alanının NDVI haritası üretilmiştir (Şekil 5.23)

$$NDVI = \frac{\text{Bant 4} - \text{Bant 3}}{\text{Bant 4} + \text{Bant 3}}$$

Eşitlik 5.1

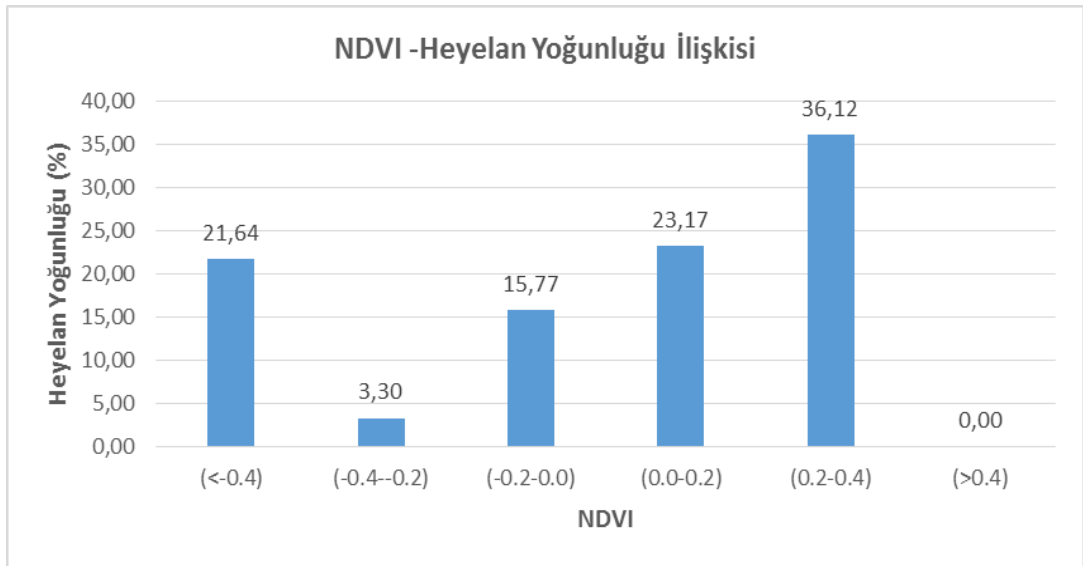


Şekil 5. 23. Çalışma alanının NDVI haritası.

NDVI değerlerinin heyelanlı alanlarla ilişkisi değerlendirilirken, -0.4'den küçük ve 0.4'den büyük değerler 6 alt sınıfa ayrılarak değerlendirme yapılmıştır (Çizelge 5.10). Buna göre heyelan yoğunluğunun % 36.12 ile 0.2 - 0.4 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.24).

Çizelge 5. 10. Çalışma alanının NDVI değerleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

	NDVI	Alansal yayılım – A	Heyelanlı alanlardaki yayılım - B	% A	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
1	(<-0.4)	19358	585	0,07	0,07	0,98	21,64
2	(-0.4--0.2)	559954	2577	2,13	0,32	0,15	3,30
3	(-0.2-0.0)	7310931	160951	27,79	19,97	0,72	15,77
4	(0.0-0.2)	13592953	439879	51,68	54,59	1,05	23,17
5	(0.2-0.4)	3997792	201670	15,20	25,05	1,64	36,12
6	(>0.4)	819012	0	3,13	0,00	0,00	0,00
	TOPLAM	26300000	805662	100	100	4,56	100



Şekil 5. 24. Çalışma alanının NDVI değerleri ile heyelan yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren tablo.

5.3. Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Analizleri

Arazi gözlemleri ile desteklenmiş güncel heyelan envanter haritası üretiminden sonraki aşamada duyarlılık haritasının üretilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda yukarıda detaylıca açıklandığı gibi heyelan oluşumunu hazırlayıcı 9

parametrenin sayısal ortamda analizleri yapılmış ve her biri için ayrı parametre haritaları üretildikten sonra, Bölüm 4’de açıklandığı gibi LR, FR ve AHP yöntemleri kullanılarak duyarlılık haritaları üretilmiş ve bu haritaların performans değerleri kıyaslanmıştır.

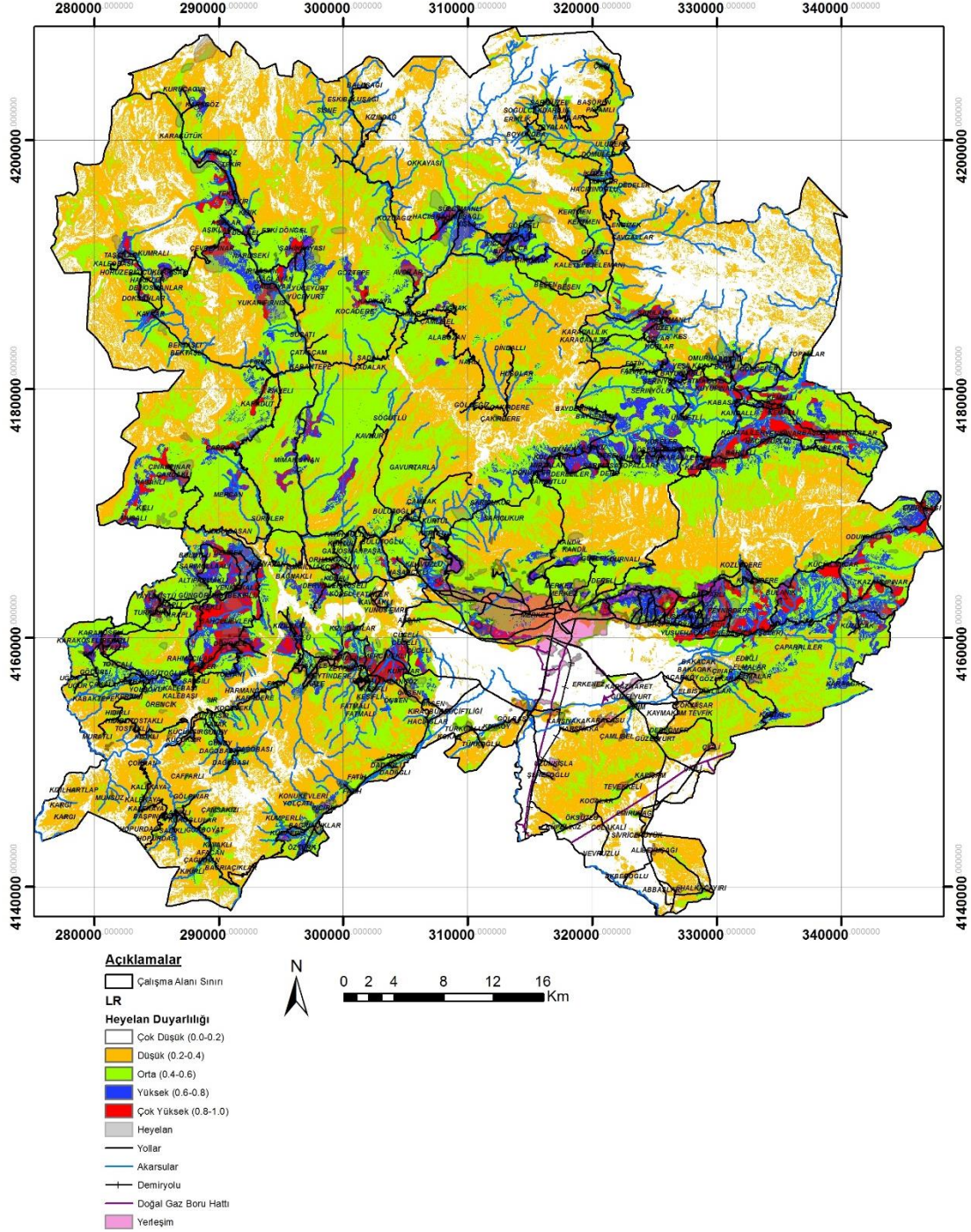
5.3.1. LR Yöntemi İle Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Çalışma alanına ilişkin heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında ilk dikkate alınan yöntem, LR yöntemidir. Özellikle son 10 yıl içinde sıklıkla kullanılan bu yöntemde, hazırlayıcı (girdi) parametrelerin (devamlı veya kesikli) heyelan lokasyonları arasındaki ilişki temel alınmakta, daha önceden de değinildiği üzere, parametrelerin normal dağılım göstermesi, belirli standart sapmalar içerisinde dağılım göstermesi gibi katı kurallar bulunmamaktadır.

LR yöntemi ile çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmasında, Idrisi Selva yazılımından yararlanılmıştır. Analizlerde, 0 ve 1’den oluşan ikili (binary) formattaki bağımlı değişken heyelan envanter haritası (%75 oranında rastgele seçilen noktalar dikkate alınarak), bağımsız değişkenler ise, daha önceden değinilen 9 adet hazırlayıcı parametre haritaları, söz konusu yazılımda girdi olarak kullanılmıştır.

LR ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, Idrisi Selva yazılımının “LogisticReg” modülü kullanılmış olup, ilgili yazılım Eşitlik 4.4.’te verilmiş olan maksimum tahmin algoritmasını kullanarak hesaplama yapmaktadır. Modülün kullanımında, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin dikkate alınmasıyla ilgili modül parametrik ağırlıkları ile bazı istatistiksel göstergeler de (örneğin χ^2 , yapay R^2 , uyumluluk değeri gibi) sunulmaktadır. Burada yapay R^2 (pseudo R^2) değerinin 0.2’den büyük olması durumunda, dikkate alınan modelleme ve parametrik girdilerin istatistiksel olarak uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.

LR yöntemi ile elde edilen harita 0 ve 1 aralığında normalize edilerek, çok düşükten - çok yükseğe değişen 5 eşit aralığa bölünmüş 5 grupta toplanarak Şekil 5.25'de verilmiştir. Dikkate alınan parametrelerin modele girilmesi sonucunda elde edilen istatistiksel göstergeler Çizelge 5.11'de sunulmaktadır.



Şekil 5. 25. Çalışma alanının LR yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası

Çizelge 5. 11. LR yönteminin istatistiksel sonuçları.

DEĞİŞKEN	KATSAYI
Kesişim	-7.47
Akarsuya yakınlık	0.09
Arazi kullanımı	2.34
Bakı	0.85
Eğrisellik	0.12
Faya yakınlık	0.18
Litoloji	1.61
NDVI	0.54
Yamaç eğimi	0.81
Topoğrafik yükseklik	1.15
-2Log (L0)	768953.772
-2Log (L)	599704.319
Yapay R ²	0.22
χ^2 (9)	169249.453

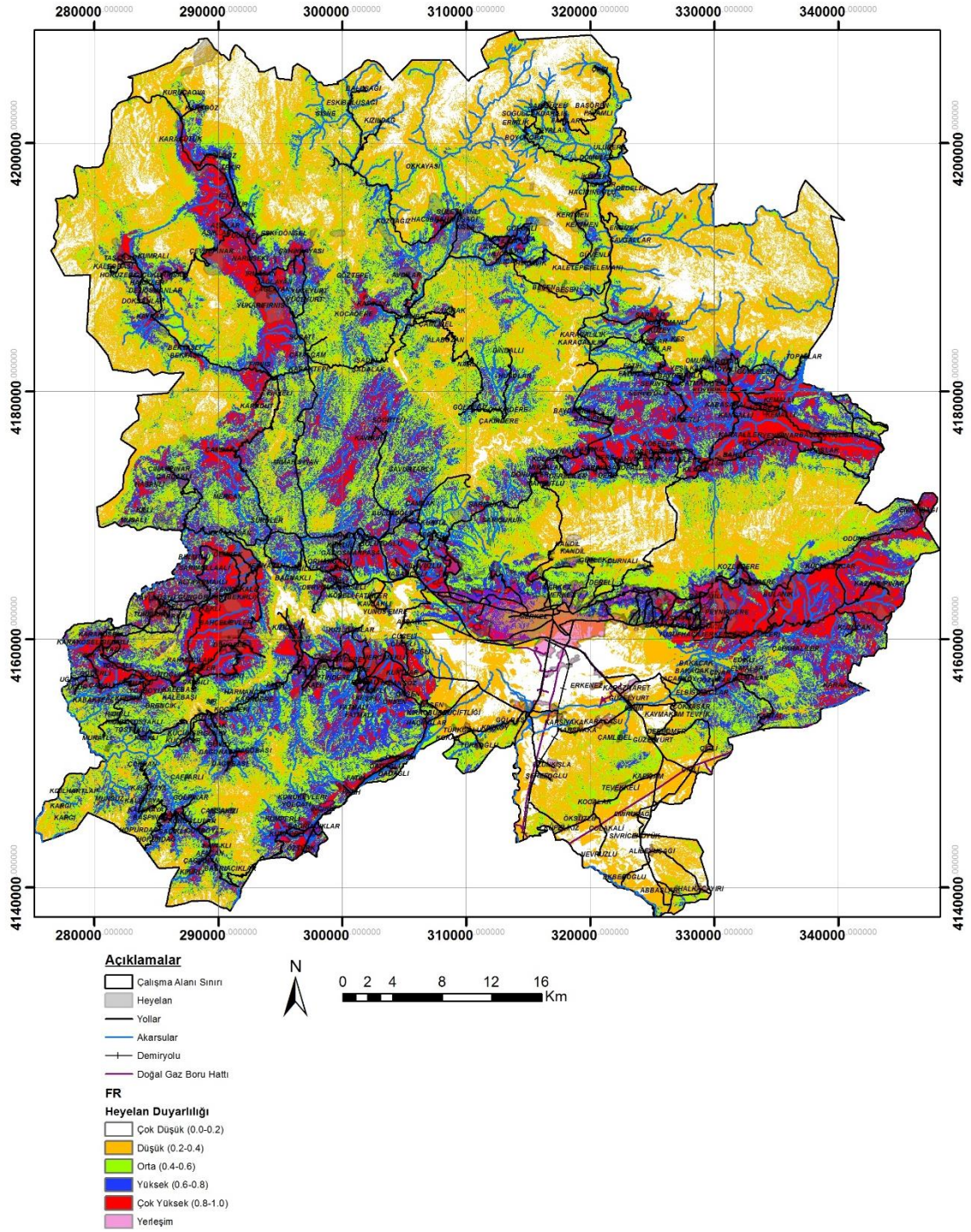
5.3.2. FR Yöntemi İle Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi

Heyelan duyarlılık analizlerinde dikkate alınan bir diğer yöntem de, FR (Frekans Oranı) yöntemidir. Bu yöntem, heyelanlı olan ve olmayan alanlarda, dikkate alınan parametreler ve alt gruplarının piksel dağılımları, yoğunlukları vb. değerlerinin hesaplanması ile elde edilen FR değerlerinin toplanması sonucunda ortaya çıkan değer, heyelan duyarlılığını ifade etmesine dayanmaktadır [209].

Yöntem temelde son derece basit ve karmaşık olmayan hesaplamalara dayandığı için, araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Zira, yapılan literatür araştırmalarında, son iki yılda araştırmacılar tarafından en çok kullanılan ikinci yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntemin temel prensipleri ve tez çalışması kapsamındaki uygulama aşamaları, aşağıda özetlenmektedir:

- Analizlerde her bir parametre ve alt grubu için FR değerleri Eş. 4.5'te verildiği üzere hesaplanmış ve [0, 1] aralığında normalleştirilerek, heyelan duyarlılığını ifade edecek şekilde, ilgili parametre alt gruplarına atanmıştır (Çizelge 5.12).

- Hesaplanan FR değerinin 1 değerinden büyük olması, dikkate alınan alt grubun, analizi yapılan olayla yüksek ilişkili olduğunu, düşük olan değerler ise göreceli olarak ilişkili olmadığı anlamına gelmektedir [209].
- CBS ortamında tüm parametre haritalarına atanan değerler kullanılarak, aritmetiksel toplamları alınmış ve değişim aralığının dağılımına göre, gruplandırılmıştır.
- Bu işlemler, çalışma alanı olarak değinilen alanda uygulanmış, dikkate alınan FR ve [0,1] aralığında normalize edilen NFR değerleri, izelge 5.12'de sunulmuştur. Çizelgede her bir parametre alt grubu için hesaplanan NFR değerlerinden en etkin değer 1.00 olup, koyu renkli yazılı değerlerdir.
- NFR kolonunda hesaplanmış olan değerler ilgili parametre alt gruplarına atanmış ve bu değerler temel alınarak, aritmetiksel toplamları elde edilerek, heyelan duyarlılığının “ok düşük” ile “ok yüksek” arasında değiştiği 5 sınıfa ayrılarak değerlendirildiği çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (şekil 5.26).



Şekil 5. 26. Çalışma alanının FR yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası.

Çizelge 5. 12. Parametre alt grupları için hesaplanmış FR ve NFR değerleri.

	AKARSULARA YAKINLIK (M)	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	0-250	5284976	249277	0,309406	0,20095	1,53972	0,92
2	250-500	4275524	219445	0,272378	0,162567	1,67548	1,00
3	500-750	3214754	103894	0,128955	0,122234	1,05498	0,63
4	750-1000	2433983	73337	0,091027	0,092547	0,98358	0,59
5	1000-1250	1887945	46177	0,057316	0,071785	0,79843	0,48
6	1250-1500	1487251	29291	0,036356	0,056549	0,64291	0,38
7	1500-1750	1149370	20729	0,025729	0,043702	0,58874	0,35
8	1750-2000	952159	18675	0,02318	0,036204	0,64026	0,38
9	2000-2500	1465419	44052	0,054678	0,055719	0,98131	0,59
10	2500-3000	1163715	785	0,000974	0,044248	0,02202	0,01
11	>3000	2984904	0	0	0,113494	0,00000	0,00
	ARAZİ KULLANIMI	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	111	17094	0	0	0,00065	0,00000	0,00
2	112	192066	0	0	0,007303	0,00000	0,00
3	121	56790	50	6,21E-05	0,002159	0,02874	0,01
4	124	10965	0	0	0,000417	0,00000	0,00
5	141	3422	0	0	0,00013	0,00000	0,00
6	142	2096	0	0	7,97E-05	0,00000	0,00
7	211	83709	3168	0,003932	0,003183	1,23542	0,25
8	212	1737347	16387	0,02034	0,066059	0,30790	0,06
9	221	359761	9016	0,011191	0,013679	0,81809	0,17
10	222	14607	2169	0,002692	0,000555	4,84732	1,00
11	223	61686	5909	0,007334	0,002345	3,12702	0,65
12	231	20806	153	0,00019	0,000791	0,24005	0,05

13	242	3500267	412563	0,51208	0,13309	3,84762	0,79
14	243	4283610	156230	0,193915	0,162875	1,19058	0,25
15	311	330345	7180	0,008912	0,012561	0,70951	0,15
16	312	2067798	10655	0,013225	0,078623	0,16821	0,03
17	313	2276898	45609	0,056611	0,086574	0,65390	0,13
18	321	1511866	5119	0,006354	0,057485	0,11053	0,02
19	324	6002138	97239	0,120695	0,228218	0,52886	0,11
20	331	37465	0	0	0,001425	0,00000	0,00
21	332	449989	596	0,00074	0,01711	0,04324	0,01
22	333	2637030	31209	0,038737	0,100267	0,38634	0,08
23	511	5594	82	0,000102	0,000213	0,47851	0,10
24	512	636651	2328	0,00289	0,024207	0,11937	0,02
	BAKI	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	K	2315742	97036	0,120443	0,088051	1,36787	0,91
2	KD	2736079	125042	0,155204	0,104033	1,49187	1,00
3	D	3169091	134151	0,16651	0,120498	1,38185	0,92
4	GD	3448359	133082	0,165183	0,131116	1,25982	0,84
5	G	3955951	107591	0,133544	0,150416	0,88783	0,59
6	GB	3718105	81163	0,100741	0,141373	0,71259	0,48
7	B	3573060	86197	0,106989	0,135858	0,78751	0,53
8	KB	3355835	41390	0,051374	0,127598	0,40262	0,27
9	Düz	27778	0	0	0,001056	0,00000	0,00
	YAMAÇ EĞRİSELLİĞİ	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	<-2.8	285181	7382	0,009163	0,010843	0,84500	0,45
2	(-2.8) - (-1.8)	985377	34314	0,042591	0,037467	1,13677	0,60
3	(-1.8) - (-0.8)	3400784	196043	0,243332	0,129307	1,88181	1,00
4	(-0.8) - (-0.3)	3809495	119981	0,148922	0,144848	1,02813	0,55

5	(-0.3) - (0.2)	7856450	253717	0,314917	0,298724	1,05421	0,56
6	(0.2) - (0.7)	4609160	119708	0,148583	0,175253	0,84782	0,45
7	(0.7) - (1.7)	4070563	46284	0,057448	0,154774	0,37118	0,20
8	(1.7) - (2.7)	983552	23950	0,029727	0,037397	0,79490	0,42
9	(>2.7)	299438	4283	0,005316	0,011385	0,46692	0,25
	FAYA YAKINLIK (m)	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	0-1000	8097279	420925	0,522459	0,307881	1,69695	1,00
2	1000-2000	4344442	201967	0,250685	0,165188	1,51757	0,89
3	2000-3000	2922922	68777	0,085367	0,111138	0,76812	0,45
4	3000-4000	2230188	46559	0,05779	0,084798	0,68150	0,40
5	4000-5000	1708301	26413	0,032784	0,064954	0,50473	0,30
6	5000-6000	1057217	10884	0,013509	0,040198	0,33607	0,20
7	6000-7000	643305	12003	0,014898	0,02446	0,60908	0,36
8	7000-8000	583376	14497	0,017994	0,022182	0,81121	0,48
9	8000-9000	552300	3637	0,004514	0,021	0,21497	0,13
10	9000-10000	546517	0	0	0,02078	0,00000	0,00
11	>10000	3614153	0	0	0,13742	0,00000	0,00
	LİTOLOJİ	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	Otki	172031	0	0	0,006541	0,00000	0,00
2	Otko	173944	0	0	0,006614	0,00000	0,00
3	JKk	1329095	19143	0,023761	0,050536	0,47017	0,13
4	Mza	2552727	35197	0,043687	0,097062	0,45009	0,12
5	Ot	1576820	13	1,61E-05	0,059955	0,00027	0,00
6	Kmd	9029	0	0	0,000343	0,00000	0,00
7	Tmy	89585	48	5,96E-05	0,003406	0,01749	0,00
8	Sb	223208	4260	0,005288	0,008487	0,62302	0,17
9	Dk	140954	0	0	0,005359	0,00000	0,00

10	Tkk	2814592	155387	0,192869	0,107019	1,80220	0,50
11	Mzbg	27848	0	0	0,001059	0,00000	0,00
12	Qal	2211679	0	0	0,084094	0,00000	0,00
13	Pç	545778	949	0,001178	0,020752	0,05676	0,02
14	Pzy	62371	0	0	0,002372	0,00000	0,00
15	Tzk	518234	26166	0,032478	0,019705	1,64822	0,45
16	Qym	399732	6491	0,008057	0,015199	0,53009	0,15
17	Tkp	1706134	66334	0,082335	0,064872	1,26919	0,35
18	Tem	217809	3070	0,003811	0,008282	0,46011	0,13
19	Tb	760527	73961	0,091802	0,028917	3,17461	0,87
20	Trd	578491	2113	0,002623	0,021996	0,11924	0,03
21	Mzb	1167800	13221	0,01641	0,044403	0,36957	0,10
22	Pn	198875	479	0,000595	0,007562	0,07862	0,02
23	Tad	37625	1065	0,001322	0,001431	0,92401	0,25
24	Tkm	877520	20727	0,025727	0,033366	0,77105	0,21
25	Tka	308251	3414	0,004238	0,011721	0,36154	0,10
26	Jkka	149144	0	0	0,005671	0,00000	0,00
27	Tzl	302848	23959	0,029738	0,011515	2,58254	0,71
28	Qs	18299	0	0	0,000696	0,00000	0,00
29	Tkg	1076819	59	7,32E-05	0,040944	0,00179	0,00
30	TQa	16052	0	0	0,00061	0,00000	0,00
31	Pno	74163	0	0	0,00282	0,00000	0,00
32	Tkd	2035269	226461	0,281087	0,077387	3,63224	1,00
33	PIQp	377691	10175	0,012629	0,014361	0,87943	0,24
34	Tg	293172	18761	0,023286	0,011147	2,08899	0,58
35	Trmk	380990	6106	0,007579	0,014486	0,52317	0,14
36	Tma	1555772	56006	0,069516	0,059155	1,17515	0,32
37	Kke	2748	0	0	0,000104	0,00000	0,00
38	Tkt	119378	8574	0,010642	0,004539	2,34456	0,65

39	Je	120008	1200	0,001489	0,004563	0,32642	0,09
40	Tzb	84919	0	0	0,003229	0,00000	0,00
41	Kbe	57726	0	0	0,002195	0,00000	0,00
42	KTa	51475	0	0	0,001957	0,00000	0,00
43	Tks	89687	4632	0,005749	0,00341	1,68594	0,46
44	Tmf	17743	992	0,001231	0,000675	1,82510	0,50
45	Dsi	179990	929	0,001153	0,006844	0,16849	0,05
46	Tmt	454624	15078	0,018715	0,017286	1,08267	0,30
47	Ktşg	13486	692	0,000859	0,000513	1,67504	0,46
48	Kbes	109751	0	0	0,004173	0,00000	0,00
49	Tmh)	4342	0	0	0,000165	0,00000	0,00
50	Qay	13245	0	0	0,000504	0,00000	0,00
	NDVI	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	(<-0.4)	19358	585	0,000726	0,000736	0,98650	0,60
2	(-0.4--0.2)	559954	2577	0,003199	0,021291	0,15023	0,09
3	(-0.2-0.0)	7310931	160951	0,199775	0,277982	0,71866	0,44
4	(0.0-0.2)	13592953	439879	0,545985	0,516842	1,05639	0,64
5	(0.2-0.4)	3997792	201670	0,250316	0,152007	1,64674	1,00
6	(>0.4)	819012	0	0	0,031141	0,00000	0,00
	YAMAÇ EĞİMİ (0)	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	(0-5)	3176603	0	0	0,120783	0,00000	0,00
2	(5-10)	2651230	153564	0,190606	0,100807	1,89080	1,00
3	(10-15)	3399132	184827	0,22941	0,129245	1,77501	0,94
4	(15-20)	4051355	183798	0,228133	0,154044	1,48096	0,78
5	(20-25)	4168157	137530	0,170704	0,158485	1,07710	0,57
6	(25-30)	3805374	83657	0,103836	0,144691	0,71764	0,38
7	(30-35)	2816728	42868	0,053208	0,1071	0,49681	0,26

8	(>35)	2231421	19418	0,024102	0,084845	0,28407	0,15
	YÜKSEKLİK (m)	ALANSAL YAYILIM	HEYELANLI ALANLARDAKİ YAYILIM	a	b	FR	NFR
1	0-500	1708583	10369	0,01287	0,064965	0,19811	0,12
2	500-750	5347207	150590	0,186915	0,203316	0,91933	0,55
3	750-1000	4799825	235085	0,291791	0,182503	1,59883	0,95
4	1000-1250	3989234	205928	0,255601	0,151682	1,68511	1,00
5	1250-1500	3340579	140199	0,174017	0,127018	1,37002	0,81
6	1500-1750	2904217	40916	0,050786	0,110427	0,45990	0,27
7	1750-2000	2401193	17967	0,022301	0,0913	0,24426	0,14
8	2000-2250	1185807	4608	0,00572	0,045088	0,12685	0,08
9	2250-2500	423439	0	0	0,0161	0,00000	0,00
10	2500-2750	182113	0	0	0,006924	0,00000	0,00
11	>2750	17803	0	0	0,000677	0,00000	0,00

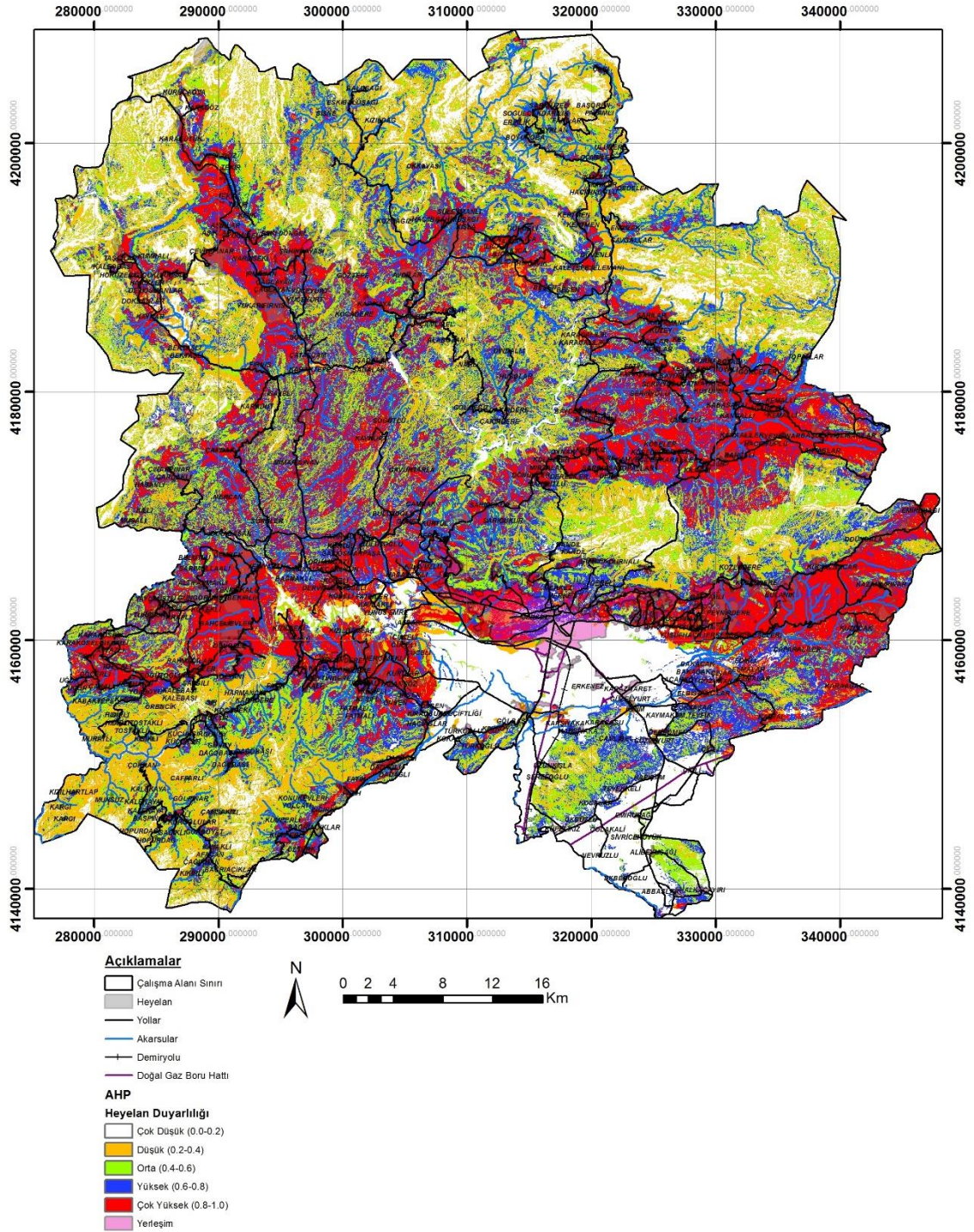
5.3.3. AHP Yöntemi Ile Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi

Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan üçüncü yöntem AHP yöntemidir. Yöntemde hazırlayıcı parametrelerin birbirlerine göre üstünlüklerini belirlemek için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Bu işlemler için Idrisi Selva yazılımındaki “Weight” modülü kullanılarak, AHP analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerin gerçekleştirilebilmesi için dikkate alınan 9 girdi parametresinin birbiriyle olan ikili ilişkileri, Bölüm 4.2.3’de ifade edildiği üzere puanlandırılmıştır. Diğer bir deyişle, parametrelerin birbirlerine göre etkileşimi saha gözlemlerine dayanan ve bölgedeki heyelan oluşumları da dikkate alınarak öznel bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sözü edilen puanlandırmalar Çizelge 5.13’de sunulmaktadır. Bu aşamada saha çalışmasını gerçekleştiren ekiplerde, sahayı ve heyelan mekanizmaları hakkında bilgi sahibi olan 5 farklı kişinin görüşlerine de başvurulmuş, Çizelge 5.13’de sunulan puanlandırmada CR değerinin en düşük olduğu 0.06 (5 uzman görüşü içerisinde en yüksek istatistiksel anlamlılığı olan değer) değeri dikkate alınarak Şekil 5.27’de sunulan AHP yöntemine göre hazırlanan heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Çizelge 5. 13. AHP yönteminde dikkate alınan parametrik etkileşim matrisi.

	Yamaç eğimi	Litoloji	Bakı	Yükseklik	Akarsuya Yakınlık	Arazi kullanımı	Eğrisellik	Tektonik unsura yakınlık	NDVI
Yamaç eğimi	1								
Litoloji	2	1							
Bakı	1/5	1/7	1						
Yükseklik	1/3	1/3	3	1					
Akarsuya Yakınlık	1/3	¼	4	1	1				
Arazi kullanımı	1/5	1/3	3	2	1/3	1			
Eğrisellik	1/9	1/7	1	1/3	1/5	1/5	1		
Tektonik unsura yakınlık	1/7	1/6	1	½	½	1/7	2	1	
NDVI	1/7	1/7	2	1/3	1/3	1/3	3	2	1
Ağırlık Değerleri	0.3095	0.1881	0.0339	0.0849	0.1195	0.1331	0.0325	0.0522	0.0463

Şekil 5.27’de duyarlılık değerlendirmesi çok düşükten – çok yükseğe değişen 5 heyelan duyarlılık sınıfına ayrılarak sunulmuştur.

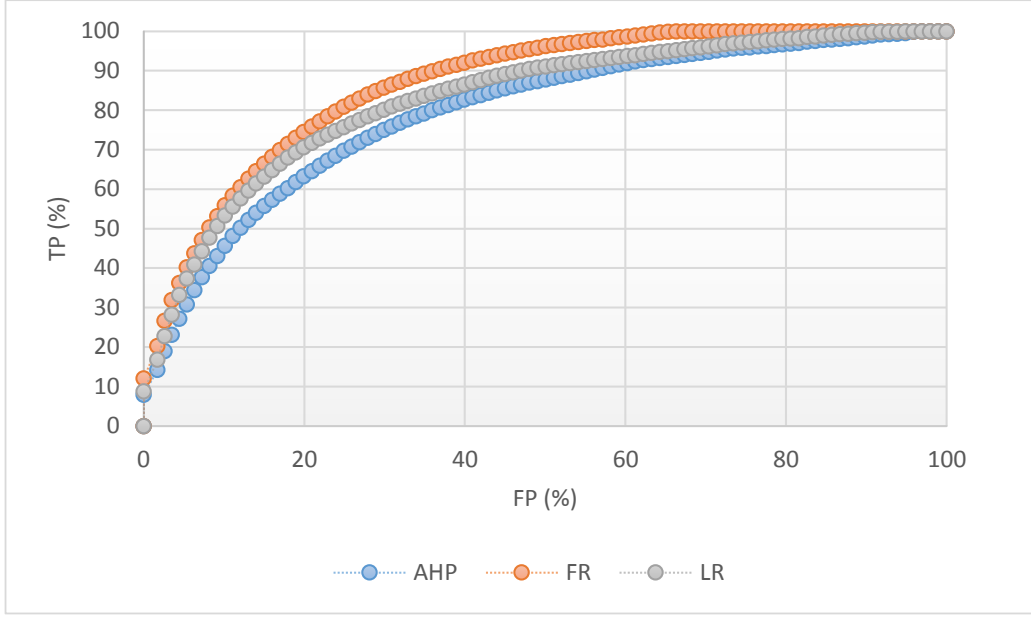


Şekil 5. 27. Çalışma alanının AHP yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası.

5.3.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performans Değerlendirmesi

Bölüm 4.2.4'de de değinildiği üzere heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde hangi yöntem(ler) kullanılırsa kullanılsın, dikkate alınan yöntem(ler)in performanslarının sınanması gerekmektedir. Buradaki temel gerekçe, üretilen haritaların uygulamalardaki ve gelecekteki performanslarının gerçeği ne derece yansıttığının sayısal olarak belirlenmesidir. Heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmelerinde araştırmacılar tarafından farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, ROC (Relative Operating Characteristics) yöntemi son yıllarda yapılan hemen hemen tüm çalışmalarda dikkate alınmaktadır. Tez çalışması kapsamında üretilen heyelan duyarlılık haritaları için de ROC yöntemi dikkate alınmış olup, Idrisi Selva yazılımının ROC modülü hesaplamalarda kullanılmıştır. Söz konusu modül AUC (Area Under Curve) hesaplamasını, TP (True Positive) ve FP (False Positive) değerlerini belirleyerek kullanıcıya sunmaktadır. AUC değerinin 1 veya 1'e yakın olması üretilen haritalarının performansının yüksek olduğunu ifade ederken, 0.5 ve altında hesaplanan değerler istatistiksel olarak anlamlı görülmemektedir.

Bu aşamada, yapılan analizlerde modelleme aşamasında eğitim veri seti (26.300.000 adet piksel) olarak kullanılan pikseller dışında kalan ve hiçbir şekilde analizlere sokulmayan 8.878.255 adet sınama verisi kullanılmıştır. Idrisi Selva yazılımının ROC modülü kullanılarak girdi (üretilen heyelan duyarlılık haritaları) ve referans görüntü dosyaları (sınama veri görüntüsü) ile FP ve TP değerleri her bir yöntem için belirlenmiştir. Buna göre yapılan performans değerlendirmelerinde sırasıyla AUC değerleri LR yöntemi için 0.828, FR yöntemi için 0.862 ve AHP yöntemi için ise 0.793 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.28). Her ne kadar performans indeksi olarak değerlendirilen AUC değerleri birbirine yakın sonuçlar üretmiş olsa da, bir sonraki bölümde değinilecek olan heyelan tehlike değerlendirmeleri için AUC değerinin en yüksek hesaplandığı FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası, tehlike analizlerinde girdi olarak kullanılmıştır.



Şekil 5. 28. FR, LR ve AHP yöntemleri için hesaplanan AUC değerleri.

5.4. Heyelan Tehlike Haritasının Oluşturulması

Heyelanlar için tehlike kavramından söz edebilmek ve tehlike modellemesi yapabilmek için, heyelan oluşumuna ilişkin bir tekrarlama özelliğine sahip bir tetikleyici faktörün, belirli bir zaman aralığında ve belirli bir büyüklükte etki etmesi gerekmektedir. Herhangi bir heyelan haritalama ve değerlendirmesi için en önemli aşama, daha önceden de değinildiği üzere, heyelan envanter haritasının ve veri tabanının oluşturulması aşamasıdır. Bu nedenle, heyelan envanter haritası ve veri tabanı oluşturulurken, gerek arşiv ve rapor incelemelerinde, gerekse de yerel halkla yapılan görüşmeler sırasında, bölgedeki heyelanların hangi koşullarda geliştiği hakkında sağlıklı bilgi edinilmesi yoluna gidilmiştir. Tez çalışma alanında heyelan tehlike analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için ilk yapılan işlem, bölgedeki heyelanları, hangi faktörün hangi koşullarda tetiklendiğinin ortaya konulması olmuştur. Daha önceden Şekil 4.15’de sunulan ve bu tez çalışmasında da dikkate alınan aşamalara, aşağıda kısaca değinilmiştir.

Tez çalışmasının bu aşamasına kadar olan kesimde, “konumsal olasılık” olarak adlandırılan P_s değeri, bir önceki bölümde analizi yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmesine karşılık gelmektedir. Bu nedenle, bu bölümde daha fazla

ayrıntıya girilmeyecektir. Buna karşın, Şekil 4.15’de sunulan şekilden de görüleceği üzere, heyelan tehlikesinin hesaplanabilmesi için, Zamansal Olasılık (P_T) ve Boyutsal Olasılık (P_M) olmak üzere iki olasılık değerine daha gereksinim duyulmaktadır. Bunlardan Boyutsal Olasılık (P_M) değeri, çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Bu durumun temel gerekçeleri, yapılan literatür araştırmalarında da ortaya çıktığı üzere, araştırmacıların daha çok Varnes [222] tanımlamasını dikkate alarak analizlerini gerçekleştirmeleri ile çalışma alanına ilişkin heyelan oluşum zamanlarındaki belirsizliklerdir. Zira, Guzzetti vd.’nin [51] tanımındaki boyutsal olasılık değerinin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi, çok zamanlı güvenilir heyelan envanter haritalarının var olmasını gerektirmektedir. Zamansal olasılık (P_T) değeri ise tetikleyici faktör analizini içermekte, belirli bir zaman dilimi içinde ilgili tetikleyici faktörün değerlendirmesini kapsamaktadır. Bu nedenlerden ötürü, tez çalışması kapsamında Varnes [222] heyelan tehlike tanımlaması dikkate alınmıştır.

Heyelan tehlike analizlerinden söz edebilmek için, heyelanları tetikleyici bir unsurun olması gerekmektedir. Bu unsurlar heyelanlar için deprem, yağış ve insan faktörleri olarak karşımıza çıkmaktadır [35]. Sözü edilen bu unsurlar için, yapılan literatür araştırmalarına göre, herhangi bir standart olmamakla birlikte, çalışılması planlanan alana ilişkin özellikler belirleyici olmaktadır. Tez çalışması kapsamında, çalışılan alan için tetikleyici faktörün belirlenmesinde izlenen yol, AFAD arşivlerinin taranması ve yerel halkla yapılan görüşmeler sonucunda, heyelan oluşma tarihlerinin netleştirilmesi şeklindedir. Sadece arşiv veya yerel halk görüşmelerine dayanmadan, bu iki veri kaynağının birbirleriyle doğrulanmasının, heyelan oluşma tarihlerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesinde, en akılcı yol olacağı düşünülmüştür. Buna göre, çalışma alanında tarihi belirlenebilen tüm heyelanların, bölgede meydana gelen yağışlardan sonra gerçekleştiği, bunun dışında herhangi bir tetikleyici unsur tarafından heyelanların tetiklenmediği ortaya çıkmıştır. Diğer bir deyişle, deprem veya insan etkisi gibi bir kayıt olmadığından ötürü, tez çalışması kapsamında yağış modellemesi yapılarak tetikleyici faktör analizleri gerçekleştirilmiştir.

Heyelanların meydana gelmesinde tetikleyici unsurun ne olduğunun ortaya konulması sonucunda, heyelan oluşum tarihleri ile tetikleyici unsur arasında istatistiksel ilişkilerden ve/veya modellemelerden yararlanılarak, heyelan tehlike haritalarının oluşturulma aşamasına geçilebilmektedir. Yapılan literatür araştırmalarına göre, heyelan tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesinde temelde iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, çok zamanlı heyelan envanter kayıtları mevcutsa, diğeri de heyelan tarihleri ve tetikleyici faktör arasında net bir ilişki kurulabiliyorsa izlenen yaklaşımdır. Bunlardan ilk yaklaşımda, heyelan envanter haritalarının çok zamanlı olması ve istatistiksel açıdan sağlıklı ve anlamlı veriler içermesi gerekliliğidir. İkinci yaklaşımda ise, eğer heyelan tarihleri net olarak biliniyorsa, tetikleyici faktörün analizi ve modellenmesi ile heyelan tehlike analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Tez çalışması kapsamında ikinci yaklaşım izlenmiş olup, temel tetikleyici faktör olan yağış analizleri yapılmış, zamansal olasılık değerleri belirlenerek, konumsal olasılık değeri ile aritmetiksel olarak çarpılmış ve heyelan tehlike haritaları elde edilmiştir. Bu analizlerin gerçekleştirilebilmesi için, daha önceden açıklandığı şekilde oluşma tarihleri belirlenebilen 22 adet heyelana ilişkin özellikler derlenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Sözü edilen bu heyelanlara ilişkin özellikler Çizelge 5.14'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.14'de Gün:0, heyelanın meydana geldiği gündeki yağış değerini mm cinsinden ifade etmekteyken, diğer günler, heyelan meydana gelmeden önceki ilgili kümülatif yağış değerlerine karşılık gelmektedir. Seçilen geriye dönük gün değerleri, Nafarzadegan vd.'nin [250] önerdiği şekilde dikkate alınmış, sözü edilen araştırmacıların temel aldığı yaklaşımın revize edilmesi sonucunda oluşturulan bir yaklaşım dahilinde analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmacıların, çalışmalarında kullandıkları yağış verileri saatlik bazda ve yaklaşık 40 yıllık bir veri setinden oluşmaktadır. Aynı zamanda, 154 adet heyelan oluşma tarihi ile ilişkilendirdikleri bu yöntem, tez çalışması kapsamında veri eksikliği ve yetersizlikleri nedeniyle tam olarak uygulanabilir bulunmamış; bunun yerine, önerilen yöntem revize edilerek mevcut olanaklar dahilinde analizler gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında dikkate alınan yaklaşım, kütleli heyelanların ani yağışlar ile değil, daha geniş zamanlarda geliştiğinin, sığ heyelanların (örn.: akma türündeki heyelanların) ise ani yağışlar ile tetiklenmesinden oluşmaktadır [250]. Tez çalışma alanında,

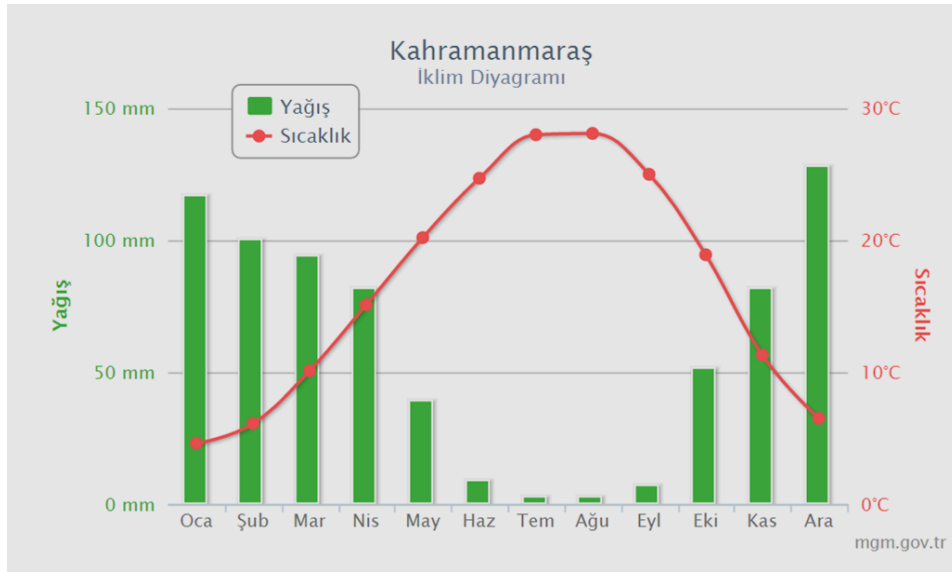
Kahramanmaraş Merkez ilçesine ilişkin yağış istasyonu verileri, yağış konusundaki tek veri kaynağı olduğundan, sözü edilen çalışmadaki yöntem (yağış eşik değerinin belirlenmesi ve modellenmesi) tam olarak dikkate alınamamıştır.

Çizelge 5.14. Çalışma alanında oluşma tarihi belirlenebilen heyelanlara ilişkin tarih ve yağış miktarı özellikleri.

Tarih	Gün:0	Gün:5	Gün:10	Gün:15	Gün:20	Gün:25	Gün:28	Gün:30
18.03.1963	0.1	9.5	23.7	46.2	49.5	152.1	155.4	177.1
15.02.1968	1.6	24.4	27.8	27.8	70.0	93.2	93.2	93.2
17.03.1968	0.0	12.5	34.2	61.2	90.2	90.2	128.4	129.0
25.08.1968	0.0	0.0	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
07.01.1970	0.0	0.0	10.0	43.0	69.5	125.9	141.7	141.7
27.03.1980	0.0	27.2	45.3	49.5	54.5	68.3	95.7	105.9
28.03.1980	53.5	80.7	86.0	101.5	108.0	121.8	143.0	155.3
08.01.1982	36.2	37.0	45.0	122.2	133.5	224.0	224.0	229.3
12.01.1987	0.0	82.6	132.9	237.6	289.4	353.1	357.5	357.5
30.01.1987	16.9	67.8	73.9	73.9	73.9	174.0	206.8	239.6
16.02.1987	0.0	0.0	5.3	18.4	59.3	94.4	94.4	94.4
20.03.1987	0.0	41.1	70.9	178.2	191.3	212.2	212.2	242.2
26.03.1987	4.1	6.2	47.1	59.4	151.2	197.5	203.6	218.4
06.01.1996	13.4	109.9	111.3	113.6	113.8	119.0	127.3	127.3
19.09.1996	0.0	0.0	0.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
14.05.2004	0.0	5.0	5.6	22.6	23.2	52.5	52.5	56.6
30.03.2005	0.0	0.0	83.4	86.0	107.4	145.1	166.1	183.8
12.04.2005	0.0	0.0	17.8	32.8	32.8	118.8	118.8	118.8
15.04.2009	28.8	28.8	37.4	39.7	74.8	149.7	152.4	152.4
19.12.2009	15.0	71.9	124.8	126.8	127.4	127.4	127.4	127.4
07.03.2010	0.0	26.5	42.5	52.4	66.4	66.4	72.4	72.4
08.03.2010	4.5	30.1	46.0	66.0	66.4	70.8	72.4	72.4
Ortalama:	7.9	30.1	49.1	72.5	90.4	126.9	135.5	142.3
St. Sapma:	14.07	31.94	38.2	54.62	61.37	73.87	74.69	79.16

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, tetikleyici faktör analizlerinin çok büyük bir kesiminin istatistiksel analizlerden yararlanılarak gerçekleştirildiği ortaya çıkmaktadır. Çok zamanlı, diğer bir deyişle, farklı yıllara ilişkin sağlıklı envanter haritalarına göre yapılan modellemelerde, kesikli (binom, poisson vb.) dağılımlar ile modellemeler yapılmaktayken, bu çalışmada olduğu gibi tetikleyici faktör analizlerine dayandırılan tehlike analizlerinde sürekli dağılım türleri (log-normal,

Gumbel, Genelleştirilmiş Uç değerler vb.) dikkate alınmaktadır [219]. Eldeki mevcut veriler ile olay tabanlı (çok zamanlı envantere dayalı) bir analiz yapılabilmesi, tez çalışması kapsamında mümkün görülmemiştir. Bunun yerine, tez çalışması kapsamında, bölgedeki heyelanların tetikleyici faktörü olarak kabul edilen yağış faktörünün sürekli olasılık dağılımları ile modellenmesi ile tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesi uygun bulunmuştur. Bu dağılımlardan da, yine literatür analizlerine dayandırılarak, yağış modellemelerinde sıklıkla kullanılan Gumbel dağılımı dikkate alınarak, yağış analizleri, sözü edilen ve heyelan oluşumundan önce geriye dönük gün sayıları (0 ile 30 gün arasında) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle, Kahramanmaraş yağış istasyonuna ilişkin 1960 - 2014 yılları arasında değişen kesintisiz yağış verisi elde edilmiştir. Bölgenin sıcaklık ve yağış değerlerini gösteren ve Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen verilere dayanan ortalama aylık sıcaklık ve yağış verileri, Şekil 5.29'da sunulmaktadır.



Şekil 5. 29. 1960-2014 yılları arasında, Kahramanmaraş ili aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri [6].

Heyelan tehlike haritasının oluşturulmasında tetikleyici etken olan yağış parametresinin modellenmesinde, Rainbow, SPSS, MS Excel gibi farklı yazılımlardan yararlanılmıştır. Tez çalışmasının yağış modellemesi kesiminin temelini oluşturan ve olasılık hesaplamaları için kullanılan Gumbel dağılımının temelini oluşturan yıllık maksimum yağış değerlerine göre, öncelikle genel yağış

rejimi değerlendirilmiş, daha sonra geriye dönük birikimli yağışlar analiz edilerek, yağış olasılık değerlerinin hesaplandığı bir yaklaşım izlenmiştir. Sözü edilen bu işlemlere ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar, izleyen paragraflarda açıklanmaktadır.

5.4.1. Gumbel dağılımı

Çalışma alanında heyelanların yağışların etkisiyle tetiklendiği tespit edilmiştir. Bu durumda yağış verilerinin analiz edilmesi ve tekrarlanma aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda, özellikle taşkınlar ve aşırı yağışlar gibi hidrolojik vakalarda tekrarlanma periyodlarının tespiti için bazı olasılıksal yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlardan literatürde en çok kullanılanları; Gumbel, Log Gumbel, normal, log-normal, genelleştirilmiş ekstrem değer, Pearson Tip 3, Log Pearson Tip 3 vb'dir [219]. Bu fonksiyonlardan, tez çalışmasında yağış verilerinin analizleri için, yapılan literatür araştırmalarına göre [251], [185], [252]; [228]; [256]; [238]; [253]; [170], [254]; [255] Gumbel dağılımı kullanılacaktır.

Gumbel [229], tekrarlanan örneklemelerdeki en küçük veya en büyük değerlerden oluşan rastgele değişkenlerin olasılık dağılımlarını dikkate alarak, Gumbel ekstrem değerler teorisini önermiştir. Gumbel teorisinde örneklemede 1 yıllık kabul edilebilecek gözlemin uç değerleri, örneklemin en büyük ve en küçük değerleri olarak kabul edilir. Yağış analizinde kullanılan Gumbel analizinde her tekrarlanan örnekleme grubundaki en büyük veya en küçük yağış verilerinin dağılımı dikkate alınır [230]. Dağılımda x büyüklüğüne eşit veya büyük bir afetin gerçekleşme olasılığı Eşitlik 5.2'de ifade edildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$p = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Eşitlik 5. 2

Eşitlikteki;

p = özel indirgenmiş bir değişkenidir. p değeri, tekrarlama periyodu T_r 'nin ve Eşitlik 5.3'ün de bir fonksiyonudur.

$$y = a (x - x_0)$$

Eşitlik 5.3

Usul'a göre [230] eşitlikteki;

a = sabit bir değer (dağılım veya ölçek parametresi) olan saçılma parametresini,

x = p olma olasılığına sahip afet değerini,

x_0 = dağılımın mod değerini ifade etmektedir.

Diğer taraftan; a değerinin 30'dan küçük olmasının ve 30'dan büyük olmasının dikkate alındığı 2 farklı yaklaşım söz konusudur [230].

$a < 30$ için;

$$a = \sigma_n / \sigma_x \quad \text{Eşitlik 5.4}$$

$$x_0 = x_{\text{ort}} - y_n \times (\sigma_n / \sigma_x) \quad \text{Eşitlik 5.5}$$

Eşitlik 5.4 ve 5.5'deki;

x_{ort} ve σ_x = örneklemelerin ortalama ve standart sapma değerlerini,

y_n ve σ_n = örneklem sayısı veya kayıt uzunluğuna bağlı sabit sayıları ifade etmektedir. Bu değerleri Gumbel dağılımının y_n ve σ_n abakları kullanılarak tespit edilmektedir.

$a > 30$ için;

$$a = 1.28255 / \sigma_x \quad \text{Eşitlik 5.6}$$

$$x_0 = x_{\text{ort}} - 0.45 \sigma_x = x_{\text{ort}} - (0.577 / a) \quad \text{Eşitlik 5.7}$$

5.4.2. Yağış analizleri

Yukarıda da değinildiği üzere, Kahramanmaraş il merkezine ilişkin ve Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen günlük yağış verileri kesintisiz olup, 1960 ve 2014 yılları arasını kapsamaktadır. Diğer bir deyişle, 54 yıllık kesintisiz bir günlük yağış verisi bulunmakta, bu durum da, yağış tetikleyicili heyelan tehlikesinin analiz edilmesi konusunda önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, heyelan meydana gelme zamanına ilişkin, çalışma alanındaki tüm heyelanlar için aynı bulgudan söz edilememektedir. Zira, çalışma alanındaki 22 adet heyelan için meydana gelme tarihi belirlenebilmiş (bkz. Çizelge 5.14), geriye kalan heyelanların çok büyük bir bölümü için net tarih belirlenememiş, çelişkili olan tarihler de dikkate alınmamıştır.

Yağış analizlerinde ilk olarak, mevcut yağış veri setindeki her bir yıla ilişkin 0, 5, 10, 15, 20, 25, 28 ve 30 günlük maksimum birikimli (kümülatif) yağış değerleri belirlenmiştir. Gumbel dağılımı, teorik olarak yıllık maksimum yağış değerlerini (tez çalışmasında dikkate alınan gün sayılarından sadece Gün:0 değerine karşılık gelmektedir) dikkate almaktadır. Bununla birlikte, Çizelge 5.14 incelendiğinde, Gün:0 kolonunda bazı heyelanların meydana geldiği gün, yağış kaydedilmediği görülmektedir. Bu durum, tez çalışmasında dikkate alınmakla birlikte, çalışma alanındaki gibi kütleli heyelanların gerçekleşmesi daha uzun süreli birikimli yağışlarla ilişkilendirilmektedir.

Bu aşamada, literatürde sıklıkla kullanılan iki yaklaşımdan ilki, yağış eşik değerinin belirlenmesi olup, diğeri de öncül yağış analizleri yapılarak ve/veya yağışların heyelan lokasyonlarında kurulan istasyonlarda yerinde ölçülerek kritik yağış değerlerinin belirlenmesidir (örn; [257], [258], [259], [251], [260]).

Tez çalışma alanı için bu tür yaklaşımların kullanılması, yağışlara ilişkin sadece günlük yağış verilerinin bulunması nedeniyle mümkün olamamıştır. Bunun yerine, tez çalışması kapsamında, Gumbel dağılımının felsefesi de dikkate alınarak, sözü edilen geriye dönük gün sayılarının bir yıl içinde oluşturdukları maksimum birikimli değerleri ile modellemeler yapılmış, daha sonra, aynı gün sayıları kullanılarak, meydana gelme tarihi bilinen heyelanlardan önceki gün sayılarında oluşan birikimli yağışların olasılık değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir.

Bu şekilde izlenen yaklaşımla, Çizelge 5.15’de sunulan ve her bir yıla ilişkin dikkate alınan geriye dönük gün sayılarında meydana gelmiş olan birikimli yağış değerleri belirlenmiştir. Bu değerler gözetilerek, Gumbel dağılımına ilişkin olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonları elde edilmiştir. Sözü edilen bu fonksiyonların grafiksel gösterimi ise, her bir geriye dönük gün sayısı için Şekil 5.30’da sunulmaktadır.

Bu aşamadan sonra ise, tez çalışmasında yeni bir yaklaşım olarak, Çizelge 5.13'de sunulan maksimum yağış değerlerinin ortalamalarının, ± 1 , ± 2 ve ± 3 SD (Standart Sapma) değerleri hesaplanarak, bu yağış değerleri aralığında, dikkate alınan geriye dönük gün sayılarına ilişkin dağılımlar gözetilmiş, bunların Gumbel dağılımı dahilinde oluşma olasılıkları hesaplanmıştır.

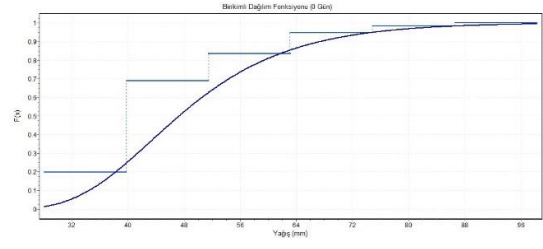
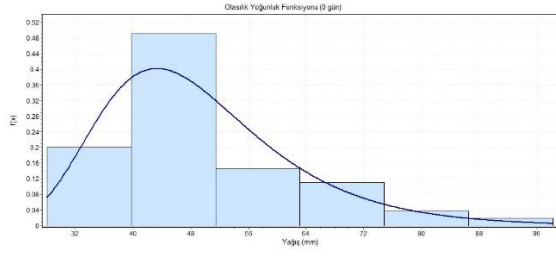
Hesaplanan bu olasılık değerleri de dikkate alınarak, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içinde, bu yağış aralığı değerlerinin en az bir defa oluşma olasılıkları belirlenmiştir (Çizelge 5.16, Çizelge 5.17, Çizelge 5.18).

Yapılan analizler sonucunda, ortalama yağış miktarından ± 1 SD, ± 2 SD ve ± 3 SD ile belirlenen yağış aralıklarının Gumbel dağılımına göre hesaplanan olasılıkları ile bu yağışların belirtilen zaman aralıklarındaki olasılıklarının özetlendiği Çizelge 5.16, Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de, kırmızı ile gölgelendirilen alanlardan da görülebileceği üzere, regresyon katsayısı en yüksek olan geriye dönük gün sayıları sırasıyla ± 1 SD için 10 gün ($r = 0.96$), ± 2 SD için 0 gün ($r = 0.86$) ve ± 3 SD için 5 gün ($r = 0.64$) olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, ± 1 SD değeri için hesaplanan regresyon katsayıları, genel olarak değerlendirildiğinde, diğer SD değerleri ile yapılan hesaplamalara göre, çok daha yüksek regresyon katsayıları sunmaktadır.

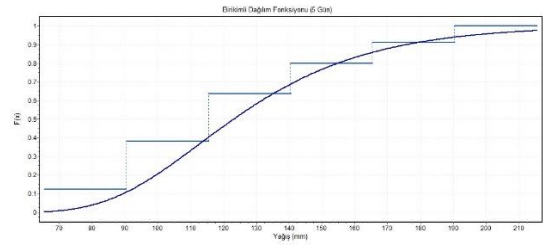
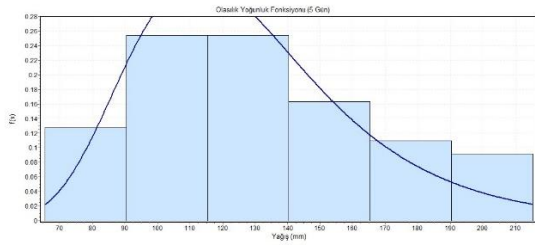
Tüm bu değerlendirmeler ışığında, tez çalışma alanının heyelan tehlike haritalarının oluşturulabilmesi için, ± 1 SD yağış aralıklı ve en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan 10 günlük geriye dönük yağış değerlerinden itibaren hesaplanan olasılık değerleri ile konumsal olasılık değerleri (FR ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası) aritmetiksel olarak çarpılmıştır.

Çizelge 5. 15. Yıllara göre maksimum birikimli yağış değerleri (değerler mm cinsindedir)

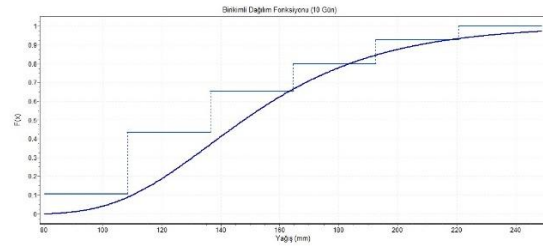
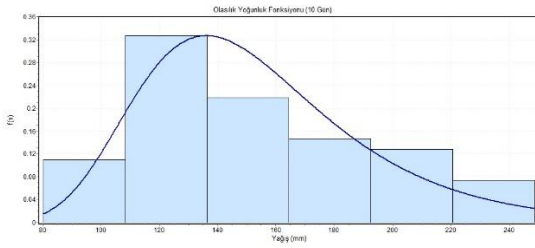
Yıl	Maks0	Maks5	Maks10	Maks15	Maks20	Maks25	Maks28	Maks30
1960	44.2	124.5	143.5	157.1	160.3	177.4	185.6	185.6
1961	35.5	75.9	121.9	142.0	156.0	160.8	161.6	173.2
1962	49.5	115.4	199.3	230.3	255.2	257.1	259.5	259.5
1963	36.3	110.7	150.2	173.6	196.4	199.4	215.1	223.4
1964	36.3	94.4	120.7	133.4	150.9	157.9	170.4	179.8
1965	83.2	129.5	143.0	209.2	211.8	234.0	234.0	234.0
1966	44.9	108.8	144.3	153.0	180.4	212.0	252.5	269.0
1967	44.6	56.3	94.5	117.0	117.9	126.8	153.7	159.0
1968	43.8	136.8	199.3	238.4	245.6	283.7	302.3	303.8
1969	49.2	83.8	116.7	138.1	159.3	187.6	210.8	214.9
1970	42.5	70.1	113.8	132.4	154.7	185.3	221.5	237.7
1971	44.1	72.7	94.3	106.3	134.5	145.9	154.5	165.8
1972	28.1	49.0	65.5	98.1	114.7	147.3	158.5	163.0
1973	35.0	74.1	87.9	120.5	122.7	143.5	150.6	155.4
1974	81.8	115.2	117.7	179.2	204.0	211.1	223.8	232.4
1975	50.0	111.3	153.7	175.8	179.8	183.9	185.7	196.6
1976	43.0	115.3	148.4	198.6	226.7	288.1	308.7	316.2
1977	66.5	80.0	100.8	135.9	153.3	153.3	154.2	165.3
1978	42.2	78.6	117.1	128.6	177.6	223.2	234.1	242.6
1979	47.9	67.7	74.0	97.8	123.1	131.7	131.7	131.7
1980	53.5	88.6	129.3	141.1	160.6	167.6	178.7	183.0
1981	41.5	90.5	124.2	179.0	187.2	224.6	225.3	233.3
1982	39.5	71.6	79.8	80.3	85.6	97.6	137.1	137.2
1983	29.1	69.4	106.7	118.4	142.3	164.1	170.5	181.6
1984	40.1	79.8	88.1	108.3	125.7	156.0	163.8	167.7
1985	43.1	96.4	120.5	132.2	159.1	174.7	184.4	184.4
1986	42.9	120.4	171.9	191.8	191.8	191.8	191.8	191.8
1987	47.2	107.3	165.7	191.3	191.5	212.2	221.0	247.5
1988	45.3	83.9	122.5	163.3	192.1	228.8	233.8	244.7
1989	98.2	176.9	176.9	248.6	279.8	296.3	318.0	381.0
1990	45.7	116.4	159.4	159.7	184.8	185.1	185.1	191.1
1991	47.2	112.9	121.4	194.2	197.6	224.8	241.2	265.7
1992	55.7	98.7	112.7	149.1	151.3	222.3	228.7	228.7
1993	43.9	77.1	101.7	129.6	137.9	143.4	148.5	148.7
1994	67.3	141.6	151.0	151.0	180.8	193.1	201.7	229.8
1995	48.9	84.6	97.1	128.3	155.2	181.9	197.1	197.1
1996	54.7	124.4	166.1	195.2	241.1	265.8	276.1	285.5
1997	46.5	84.2	89.5	103.9	133.5	168.0	168.0	193.7
1998	58.6	117.1	140.4	175.9	184.5	212.0	238.9	239.3
1999	35.6	77.6	83.5	114.4	121.6	146.3	151.0	151.4
2000	40.0	102.8	136.4	139.7	201.4	237.3	237.5	245.8
2001	35.5	79.3	90.6	148.9	172.2	202.4	232.0	258.2
2002	44.9	105.9	126.6	126.6	146.7	151.5	152.8	154.9
2003	42.2	103.3	115.3	137.7	172.5	212.2	227.8	251.5
2004	72.0	126.9	183.0	207.1	263.2	263.2	263.3	263.7
2005	36.8	86.0	96.0	127.7	158.3	186.5	186.5	189.5
2006	50.6	133.1	197.3	232.6	250.3	304.8	327.1	327.1
2007	64.0	92.3	115.9	133.5	157.1	157.1	186.4	188.0
2008	54.7	97.0	121.5	121.5	134.8	190.1	190.1	190.1
2009	59.6	158.3	215.3	218.5	244.9	247.8	249.2	249.5
2010	59.8	146.7	167.4	186.0	216.4	276.8	282.8	289.8
2011	59.5	83.5	105.5	116.8	154.6	178.2	178.2	178.2
2012	67.6	165.6	199.5	220.0	288.2	299.5	314.1	316.6
2013	36.5	56.5	99.4	124.7	129.3	148.3	165.2	174.4
2014	66.2	101.6	108.7	128.5	132.5	153.3	155.3	158.1



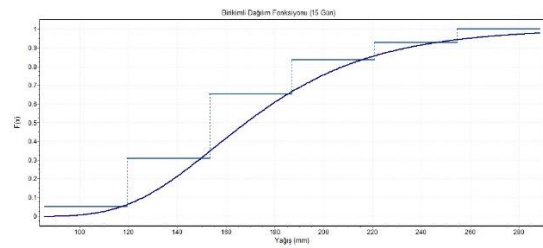
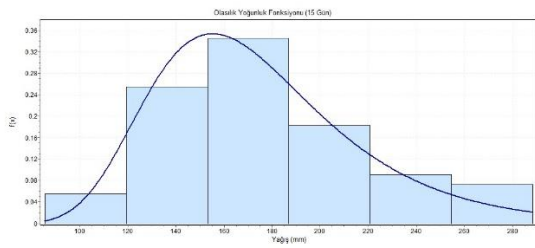
Şekil 5.30a 0 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.



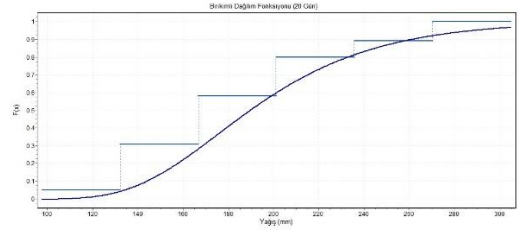
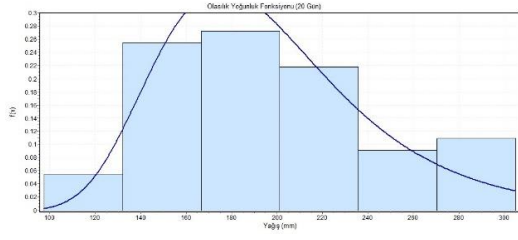
Şekil 5.30b 5 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi



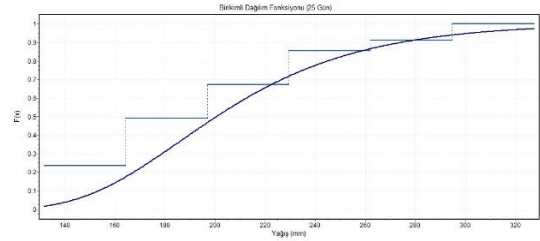
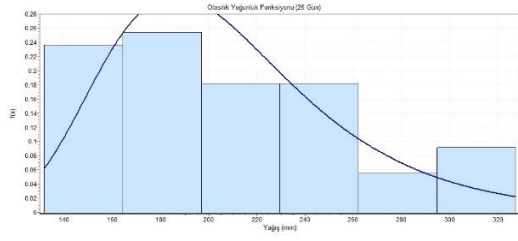
Şekil 5.30c 10 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.



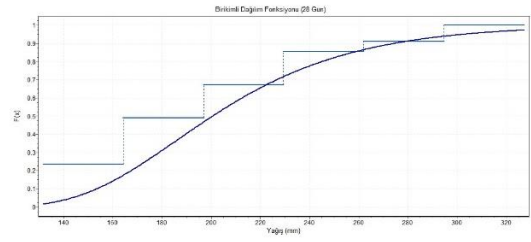
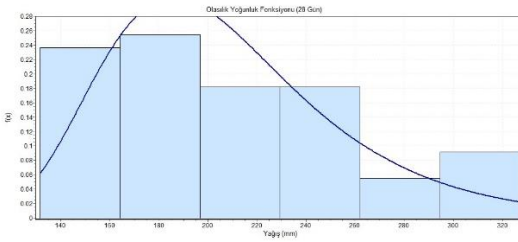
Şekil 5.30d 15 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.



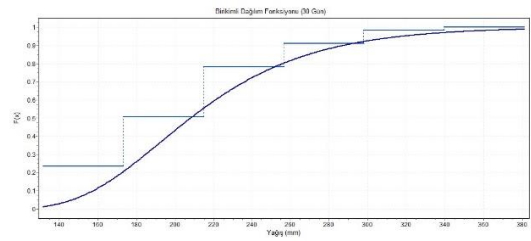
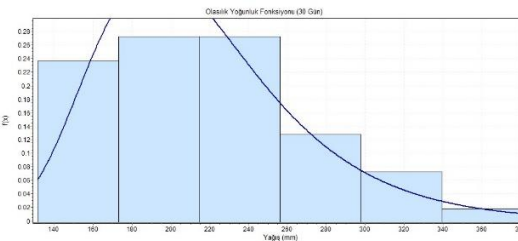
Şekil 5.30e 20 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.30f 25 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.30g 28 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.30h 30 gün için Gumbel dağılımı olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.

Çizelge 5. 16. ± 1 SD değerleri için zaman-olasılık ilişkileri.

Geriyeye Dönük Gün Sayısı	Yağış Aralığı (mm)	Olasılık	T (yıl)	Zaman-Olasılık İlişkisi (± 1 SD için)
0	0.00-21.98	6.50E-04	1538.46	<p>0 gün</p> <p>$y = 0,0418\ln(x) - 0,0803$ $R^2 = 0,6896$</p>
5	0.00-62.00	0.00221	452.49	<p>5 gün</p> <p>$y = 0,1071\ln(x) - 0,1953$ $R^2 = 0,7594$</p>
10	10.90-87.30	0.00921	108.58	<p>10 gün</p> <p>$y = 0,1915\ln(x) - 0,2712$ $R^2 = 0,9223$</p>
15	17.84-127.07	0.10821	9.24129	<p>15 gün</p> <p>$y = 0,1468\ln(x) + 0,2718$ $R^2 = 0,7932$</p>

20	28.98-151.72	0.15237	6.562972	<p>20 gün</p> <p>$y = 0,1223\ln(x) + 0,4036$ $R^2 = 0,7292$</p>
25	53.03-200.76	0.50312	1.987597	<p>25 gün</p> <p>$y = 0,0299\ln(x) + 0,8611$ $R^2 = 0,4274$</p>
28	60.79-210.7	0.58236	1.717151	<p>28 gün</p> <p>$y = 0,0205\ln(x) + 0,9054$ $R^2 = 0,3984$</p>
30	63.11-221.43	0.60417	1.655163	<p>30 gün</p> <p>$y = 0,0182\ln(x) + 0,9157$ $R^2 = 0,3921$</p>

Çizelge 5. 17. ± 2 SD değerleri için zaman-olasılık ilişkileri.

Geriyeye Dönük Gün Sayısı	Yağış Aralığı (mm)	Olasılık	T (yıl)	Zaman-Olasılık İlişkisi (± 2 SD için)
0	0.00-36.05	1.39E-01	7.18494	<p>0 gün</p> <p>$y = 0,1291\ln(x) + 0,368$ $R^2 = 0,7475$</p>
5	0.00-93.94	0.14115	7.084662	<p>5 gün</p> <p>$y = 0,128\ln(x) + 0,3735$ $R^2 = 0,7447$</p>
10	0.00-125.51	0.24673	4.053013	<p>10 gün</p> <p>$y = 0,0844\ln(x) + 0,5975$ $R^2 = 0,6134$</p>
15	0.00-181.69	0.62465	1.600897	<p>15 gün</p> <p>$y = 0,0163\ln(x) + 0,9247$ $R^2 = 0,3868$</p>

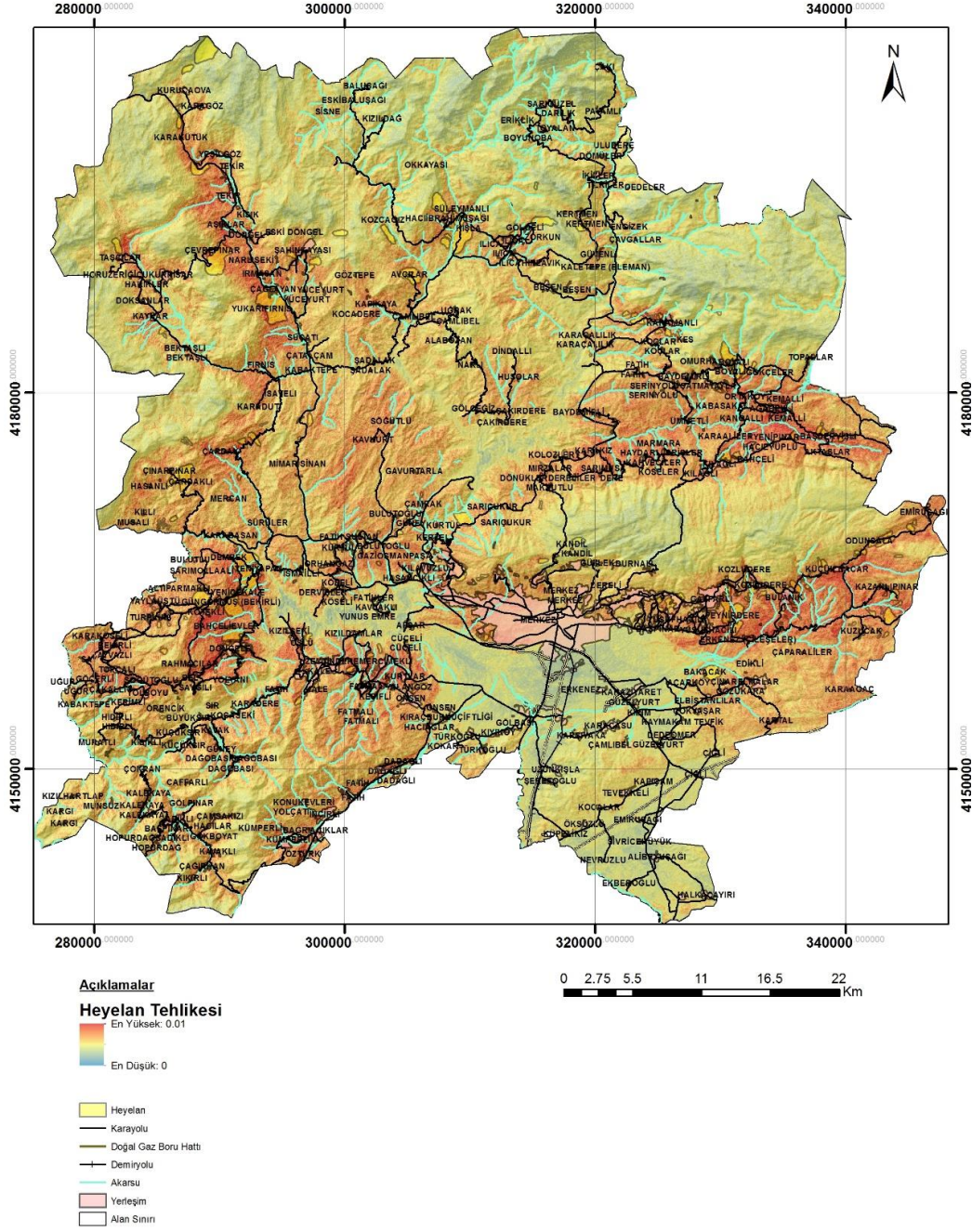
20	0.00-213.10	0.68707	1.455456	<p>20 gün</p> <p>$y = 0,0112\ln(x) + 0,9485$ $R^2 = 0,3739$</p>
25	0.00-274.63	0.90042	1.110593	<p>25 gün</p> <p>$y = 0,0011\ln(x) + 0,9949$ $R^2 = 0,3567$</p>
28	0.00-284.86	0.92233	1.084211	<p>28 gün</p> <p>$y = 0,0007\ln(x) + 0,9969$ $R^2 = 0,3564$</p>
30	0.00-300.59	0.92562	1.080357	<p>30 gün</p> <p>$y = 0,0006\ln(x) + 0,9972$ $R^2 = 0,3563$</p>

Çizelge 5. 18. ± 3 SD değerleri için zaman-olasılık ilişkileri.

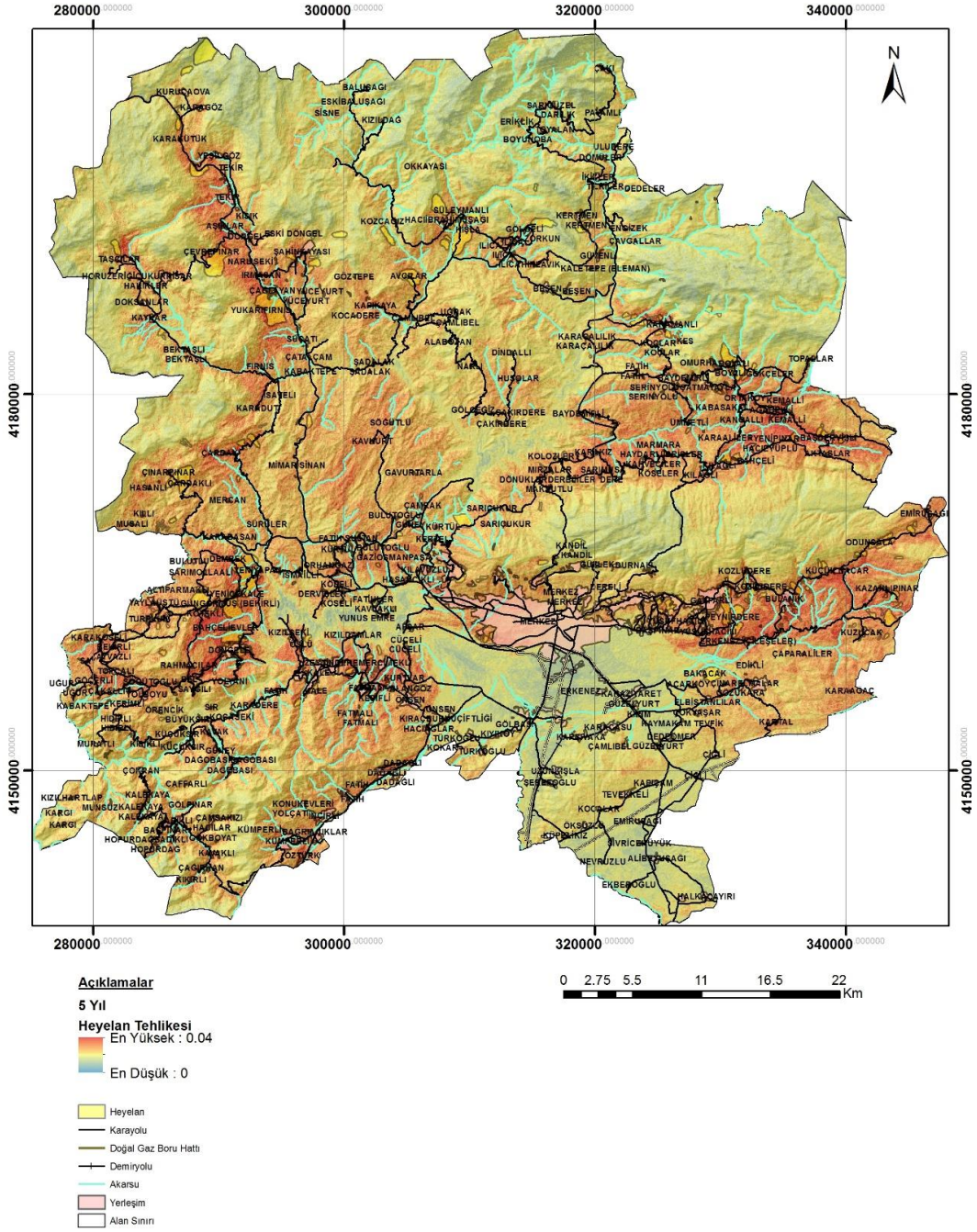
Geriyeye Dönük Gün Sayısı	Yağış Aralığı (mm)	Olasılık	T (yıl)	Zaman-Olasılık İlişkisi (± 3 SD için)
0	0.00-50.12	5.88E-01	1.699524	<p>0 gün</p> <p>$y = 0,0198\ln(x) + 0,9083$ $R^2 = 0,3966$</p>
5	0.00-125.89	0.53438	1.871328	<p>5 gün</p> <p>$y = 0.0259\ln(x) + 0.88$ $R^2 = 0.4147$</p>
10	0.00-163.71	0.65843	1.518764	<p>10 gün</p> <p>$y = 0,0134\ln(x) + 0,9382$ $R^2 = 0,3792$</p>
15	0.00-236.31	0.90675	1.10284	<p>15 gün</p> <p>$y = 0,001\ln(x) + 0,9955$ $R^2 = 0,3566$</p>

20	0.00-274.47	0.92763	1.078016	<p>20 gün</p> <p>$y = 0,0006\ln(x) + 0,9973$ $R^2 = 0,3563$</p>
25	0.00-348.50	0.98411	1.016147	<p>25 gün</p> <p>$y = 3E-05\ln(x) + 0,9999$ $R^2 = 0,3561$</p>
28	0.00-359.55	0.98798	1.012166	<p>28 gün</p> <p>$y = 2E-05\ln(x) + 0,9999$ $R^2 = 0,3561$</p>
30	0.00-379.75	0.98821	1.011931	<p>30 gün</p> <p>$y = 2E-05\ln(x) + 0,9999$ $R^2 = 0,3561$</p>

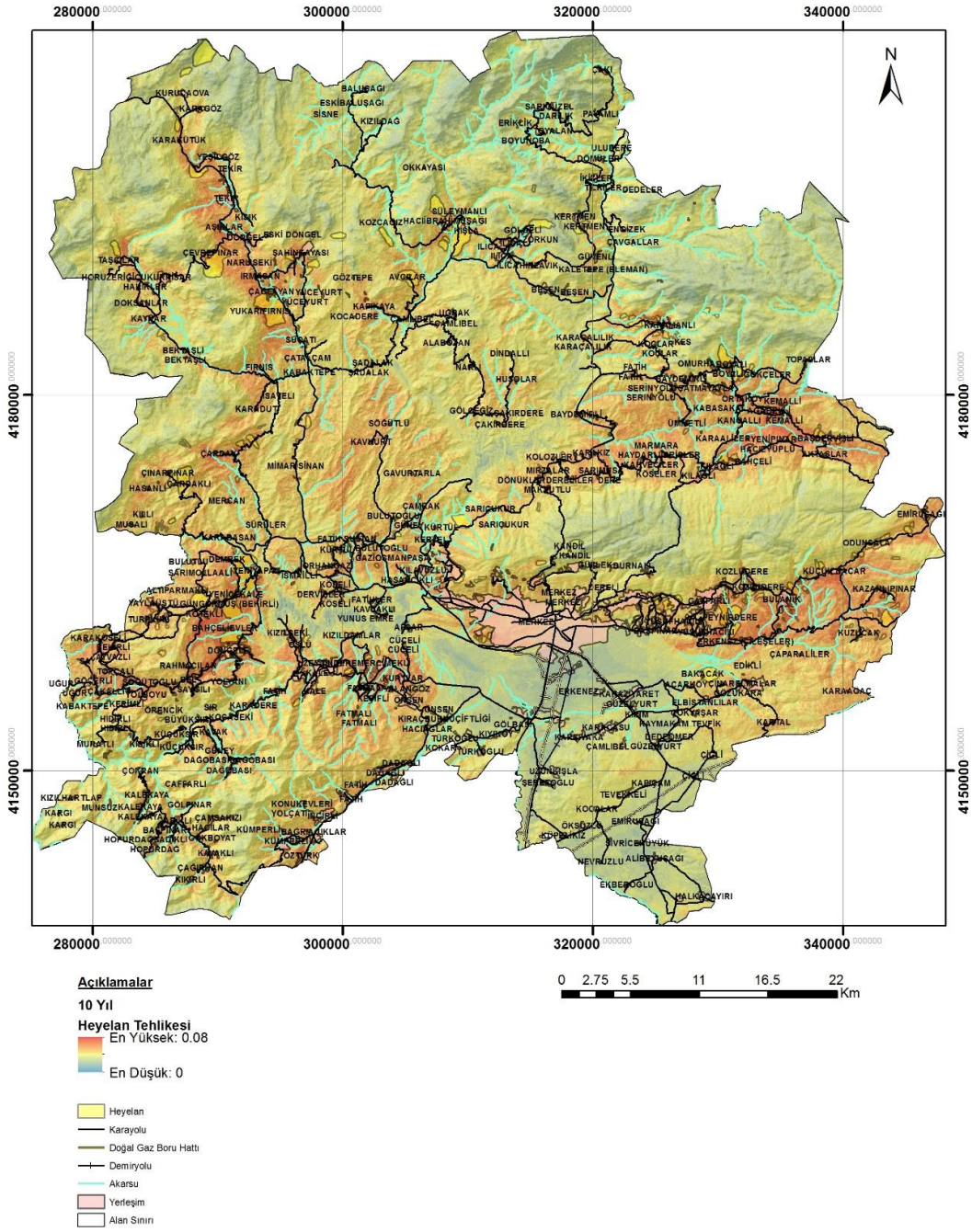
Heyelan tehlike haritaları oluşturulurken, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl içinde en az bir kere sözü edilen yağış miktar aralıklarının olasılık hesaplamaları dikkate alınmıştır. İlgili haritalar, sözü edilen zamansal aralıklar için Şekil 5.31'de sunulmuştur. Heyelan tehlike analizleri, elde edilen bu haritalar ile sonlandırılmıştır. Bir sonraki bölümde değinilecek olan heyelan riski konusunda, risk bileşenlerinden biri olarak sözü edilen haritalar kullanılacaktır.



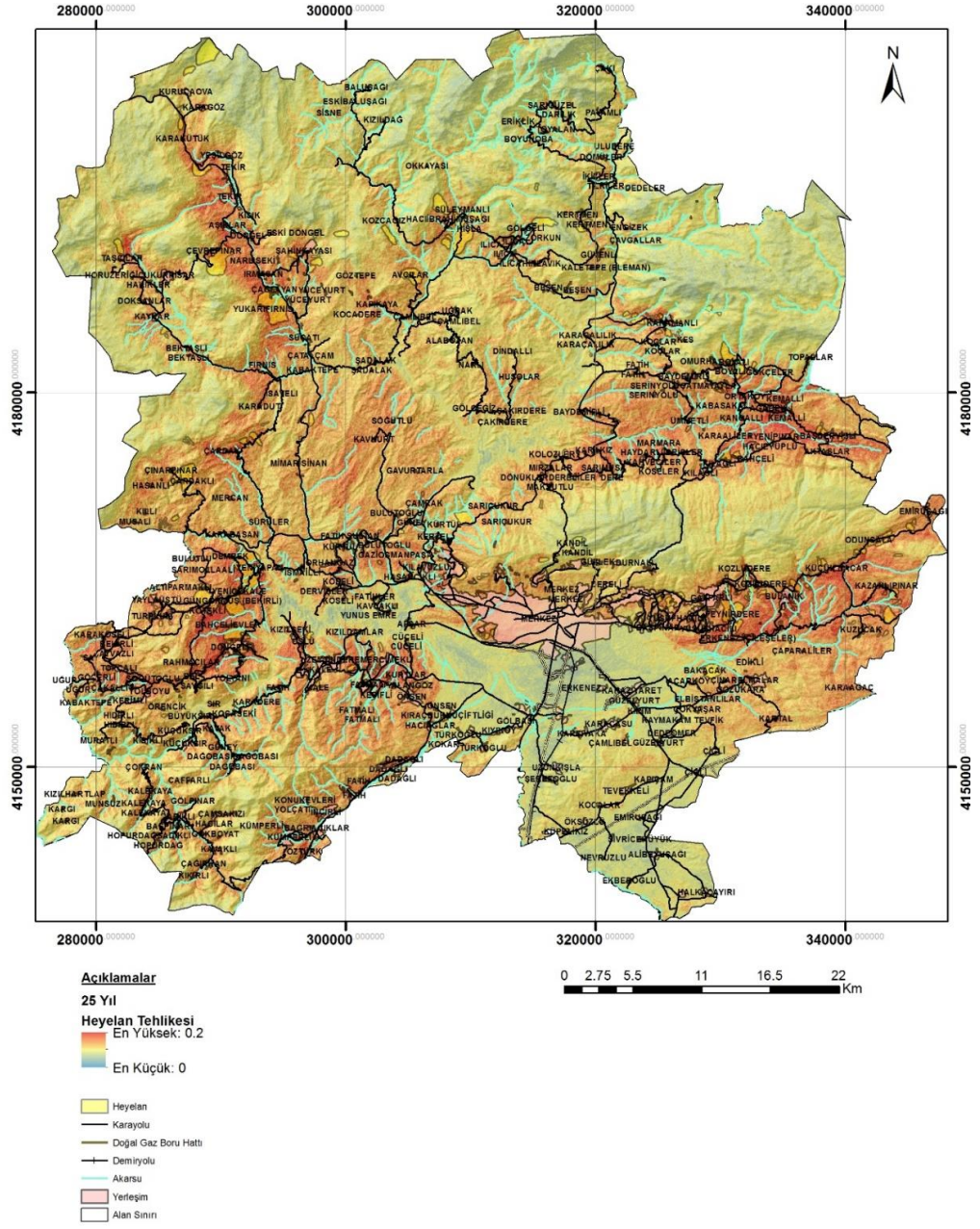
Şekil 5.31a Çalışma alanının 2 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.



Şekil 5.31b Çalışma alanının 2 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.



Şekil 5.31c Çalışma alanının 10 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.



Şekil 5.31d Çalışma alanının 25 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.



Açıklamalar

50 Yılı

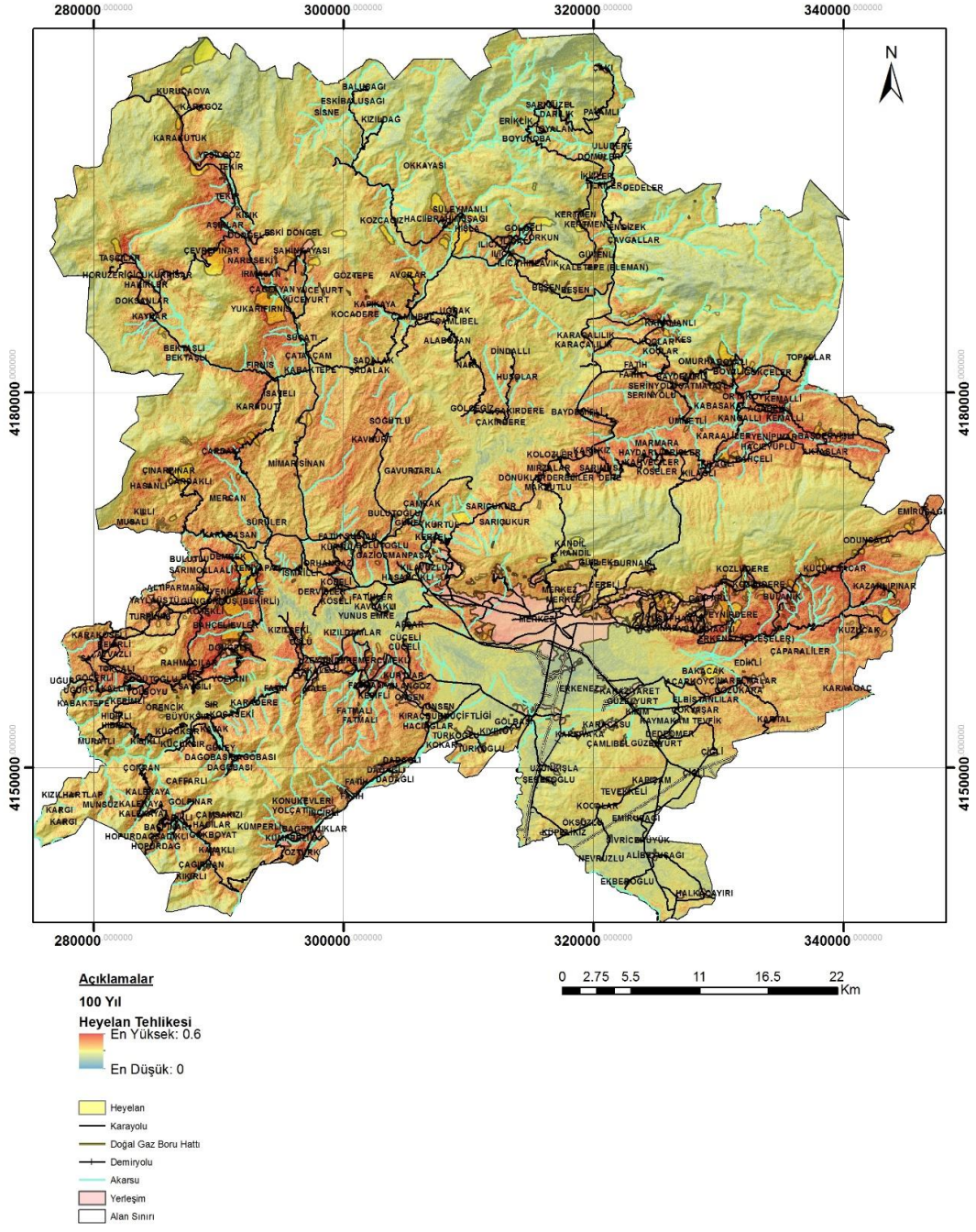
Heyelan Tehlikesi
En Yüksek: 0.37

En Düşük: 0

- Heyelan
- Karayolu
- Doğal Gaz Boru Hattı
- Demiryolu
- Akarsu
- Yerleşim
- Alan Sınırı

0 2.75 5.5 11 16.5 22 Km

Şekil 5.31e Çalışma alanının 50 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.



Şekil 5.31f Çalışma alanının 100 yıllık zaman aralığındaki heyelan tehlikesi.

5.5. Heyelan Risk Haritasının Oluşturulması

Heyelan literatürü incelendiğinde, heyelan riskine yönelik değerlendirmelerin, heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerinin sayısına göre daha az olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumun temel gerekçesi, heyelan riskine ulaşabilmek için çok sayıda ve detaylı veriye gereksinim duyulmasından kaynaklanmaktadır [53]. Bölüm 4.5'te de açıklandığı üzere, risk kavramı farklı disiplinlerde, farklı anlamlar içerebilmektedir. Heyelan riski açısından ele alındığında ise temelde heyelan riski üç ana bileşenden oluşmakta, bunlar da sırasıyla tehlike (T), hasar görülebilirlik (V) ve buna bağlı olarak da risk altındaki elemanlar (A) olarak değerlendirilmektedir (bkz. Çizelge 4.12). Heyelan riski temelde niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki farklı yaklaşımla değerlendirilmekte; ancak kimi araştırmacılar da (örn; [173], [240]) yarı nicel değerlendirmeleri dikkate almaktadırlar. Bununla birlikte, heyelan risk değerlendirmeleri için, heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerine benzer olarak, uluslararası kabul edilen standart bir yaklaşım ve/veya veri grubunun kullanımından söz edilememektedir.

Herhangi bir doğal afet nedeniyle ortaya çıkabilecek kayıplar, ekonomik, sosyal, sosyo-ekonomik veya çevresel etmenler de gözetilerek değerlendirilmelidir. Bunların içinde de doğal olarak en önemli olanı, insan yaşamı olup, ekonomik açıdan değeri olan diğer elemanların da dikkate alınması önerilmektedir [54]. Bu duruma göre, konunun bir çok farklı disiplini içerecek şekilde uzmanlar tarafından değerlendirilmesi, diğer bir deyişle, sağlıklı ve sürdürülebilir bir risk değerlendirmesi için, disiplinlerarası bir çalışma yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, konuyla ilgili çalışma yapan araştırmacılar, ölçek, alansal büyüklük, ellerindeki veri grupları, veri kalitesi ve güvenilirliği gibi faktörlere de bağlı olarak, bazı kabullenmeler ve/veya varsayımlar yapmak zorunda kalmaktadırlar. Bunun da ötesinde, risk aşamasına kadar geline ve risk değerlendirme süreçlerinde, dikkate değer oranda belirsizlik içerildiği de unutulmamalıdır [234]. Örneğin, Bednarik vd. [188] çalışmalarında, risk altındaki elemanların fiziksel hasar görülebilirlikleri konusunda, doğrudan heyelan kayıplarıyla ilişkilendirilmeleri gerekliliğini vurgulamaktadırlar. Araştırmacılar, dolaylı kayıpların (örn.: bir altyapı elemanına zaman içinde gelişebilecek bir heyelanın etkisinin

maliyetini) ekonomik etkisinin, ancak uzman bir ekonomist eşliğinde değerlendirilmesi gerektiğini ve risk modellemeleriyle ilgili gerekiyorsa diğer konulardaki uzmanlardan görüş alınmasını ifade etmektedirler.

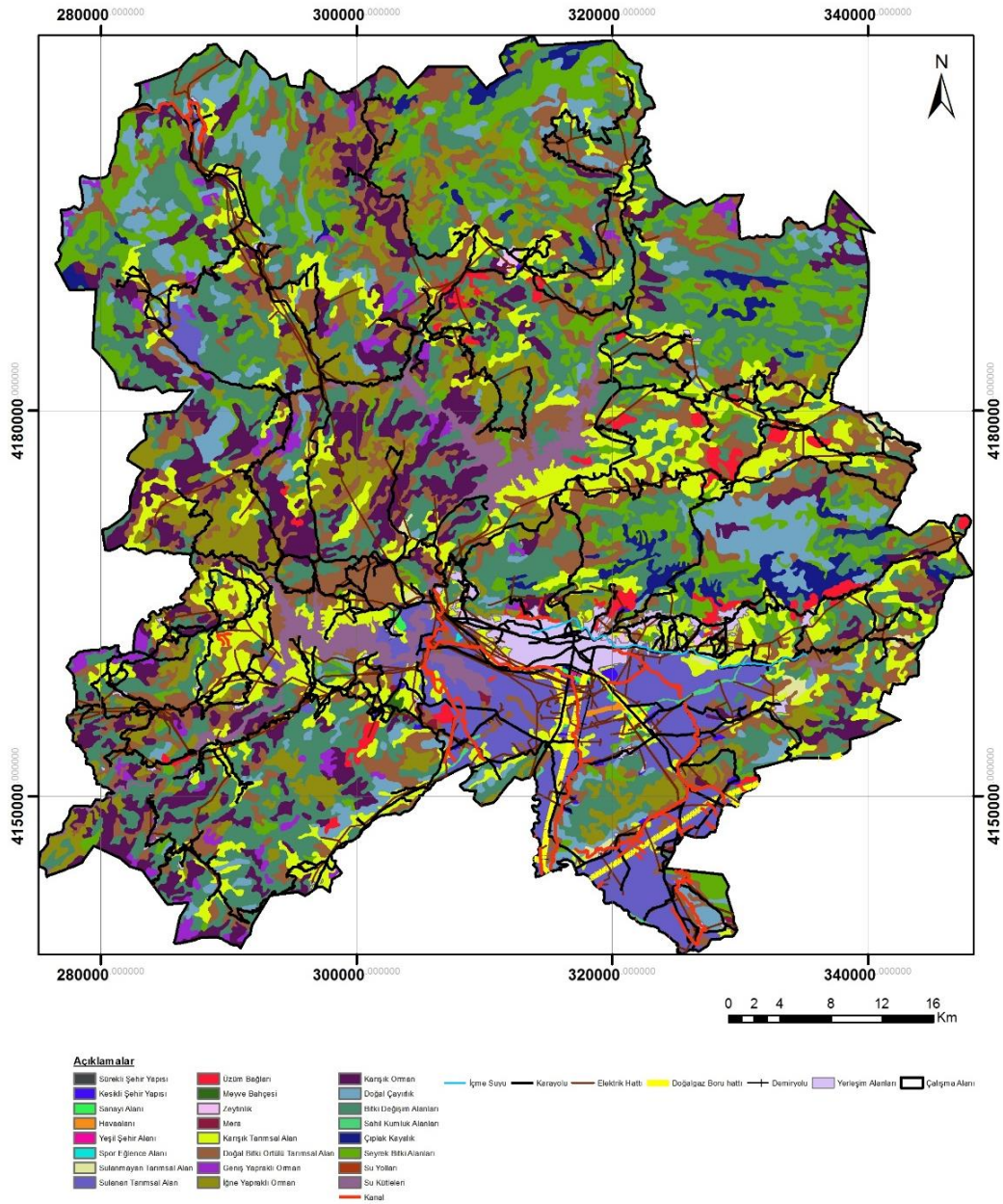
Tez çalışma alanı için heyelan riskinin değerlendirilmesinde, bu aşamaya kadar risk bileşenlerinden sadece tehlike (H) hesaplaması, farklı yağış senaryoları ve heyelan duyarlılık haritası dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra, Varnes [222] risk ve bileşenlerine ilişkin tanımlamalar dikkate alınarak analizler gerçekleştirilecektir. Tez çalışması kapsamındaki risk değerlendirmelerinde, herhangi bir ekonomik veya maliyet analizi, yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü ve konuyla ilgili çalışma alanına ilişkin sağlıklı veri bulunmaması nedenleriyle yapılmayacak olup, özgül risk (Rs) tanımından ($R_s = H \times V$; H: Tehlike, V: Hasar Görebilirlik) yola çıkılarak analizler gerçekleştirilecektir. Bu nedenle izleyen paragraflarda, özgül risk bileşenlerinden hasar görebilirlik parametresine yönelik değerlendirmeler ayrıntılandırılacaktır.

Hasar görebilirlik, temelde değişken ve/veya dinamik bir kavram olup, zamansal ve konumsal içeriğe de sahiptir. Varnes'a [222] göre hasar görebilirlik, risk altındaki eleman(lar) veya belirli bir elemanın (örn.: yollar, altyapı, yerleşim vb.), belirli büyüklükteki bir doğal olay nedeniyle meydana gelmesi olası kaybın derecesidir. Bu değer [0, 1] aralığında ifade edilmekte olup, 0 değeri kayıp olmamasına, 1 değeri ise tamamıyla kayıp anlamına gelmektedir. Hasar görebilirlik değerlendirmesi hangi amaç doğrultusunda yapılıyorsa (örn.: ekonomik, sosyal vb.), o konuya ilişkin verilerle çalışılması ve ayrıntılı bir veri tabanı oluşturulması gerekmektedir.

Hasar görebilirlik değerlendirmesi, özellikle kentsel alanlarda son derece büyük öneme sahip olup, her bir risk altındaki eleman (binalar, nüfus, altyapı vb.) için analiz edilmelidir [188]. Tez çalışma alanı gibi kentsel nüfus ve ekonomik aktivitenin yüksek olduğu alanlarda, bu tür çalışmaların yapılması hem karar vericiler, hem de bölgesel planlamalar için de büyük önem arz etmektedir. Bununla

birlikte, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerine benzer olarak, hasar görülebilirlik konusunda da uluslararası bir standarttan söz edilememektedir.

Tez çalışması kapsamında hasar görülebilirlik değerlendirmesi yapabilmek için öncelikle, eldeki mevcut veriler dahilinde, çalışma alanındaki risk altındaki elemanlar haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.32).



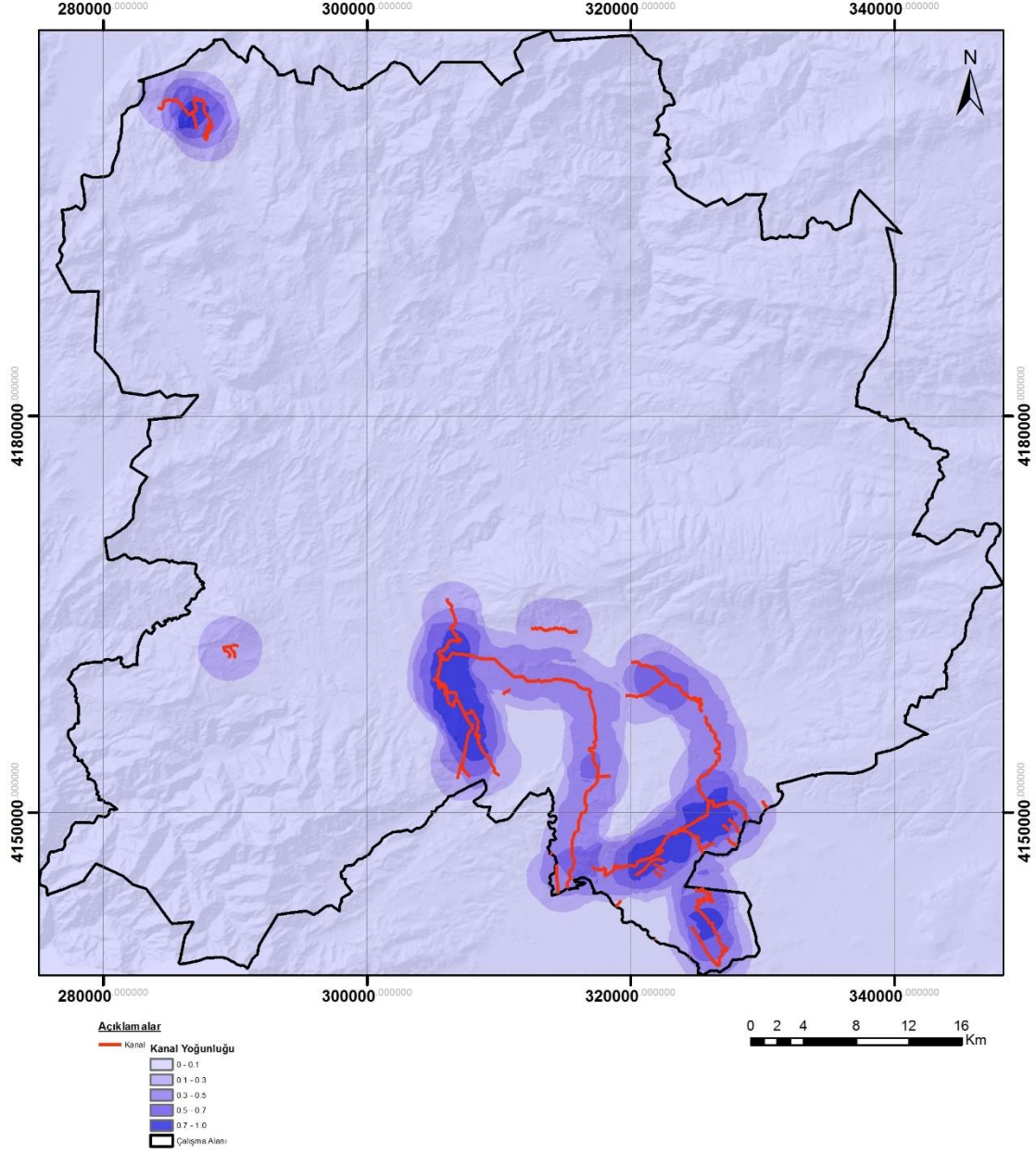
Şekil 5.32 Çalışma alanının risk altındaki elemanlar haritası.

Şekil 5.32'de sunulan haritada risk altındaki elemanlar olarak, arazi kullanımı haritası ve alt bileşenleri ile alandaki kanal, içme suyu hattı, elektrik hatları, karayolu, demiryolu ve doğalgaz boru hattı olmak üzere ekonomik değeri olan elemanlar dikkate alınmıştır. Nüfus, bina sayısı vb. verilere ilişkin bir değerlendirme, yeterli ve sağlıklı verilere ulaşamadığı için dikkate alınmamıştır. Ayrıca dikkate alınan veriler, 2015 yılı KABİS (Kahramanmaraş Bilgi Sistemi)'e ait olup, Kahramanmaraş AFAD İl Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Daha önceden de değinildiği üzere hasar görülebilirlik, dinamik bir parametre olup, zamansal ve konumsal içeriğe sahiptir. Zamansal içeriğe dair verilere ulaşamadığından ve / veya eksiklikleri bulunduğundan, bu verilerin en güncel hali olan ve Şekil 5.32'de sunulan veriler analizlerde dikkate alınmıştır.

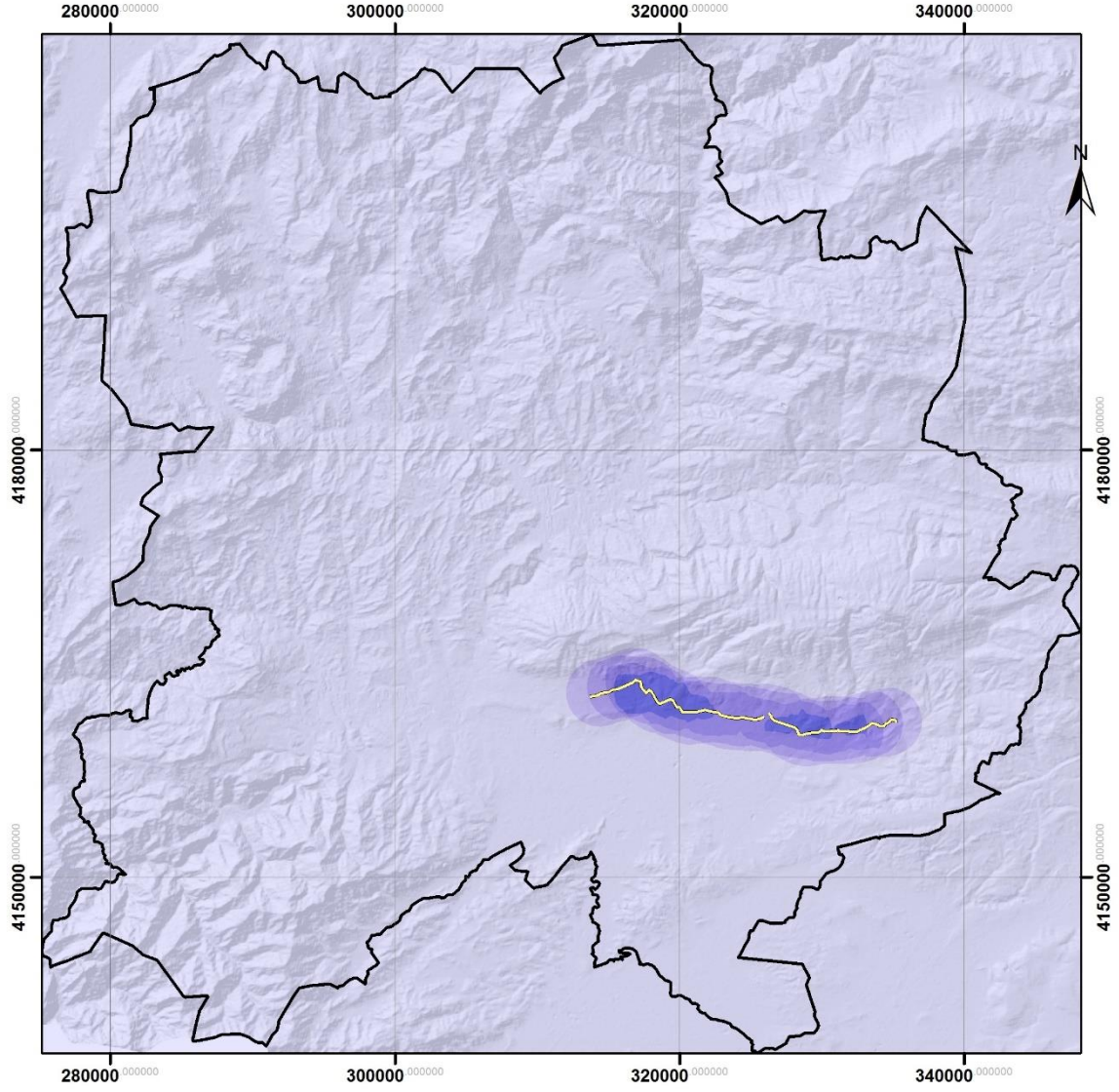
Hasar görülebilirlik değerlendirmesinin konumsal olarak belirlenebilmesi ve risk hesaplamalarında kullanılabilmesi için, teorik altyapısı Bölüm 4.2.3'de sunulan AHP yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. Bu durumun temel gerekçesi, Galli ve Guzzetti [237] tarafından da belirtildiği üzere, her bir risk altındaki elemanın veya varlığın hasar görülebilirliğine dair heyelan sonucunda meydana gelecek ekonomik kayıp, hasar oranı gibi bilgilere ulaşılmasının çoğunlukla mümkün olmamasıdır. Ayrıca, veri eksikliği bulunan durumlarda, tüm risk altındaki elemanların heyelan oluşumuna karşı hasar görülebilirliğinin eşit olarak alınması [261] da, ancak ekonomik ve/veya sağlıklı nüfus bilgilerinin olması durumunda geçerli olacaktır.

AHP yönteminin bu şartlar altındaki en önemli üstünlüğü, dikkate alınan risk altındaki elemanların birbirleriyle ve tüm çalışma alanında, heyelan oluşumuna karşı hasar görülebilirliğinin konumsal olarak ifade edilebilmesine, öznel de olsa bir yaklaşımda bulunulabilmesine olanak sağlayacak olmasıdır. Bu düşünceden yola çıkarak, risk altındaki elemanlar olarak dikkate alınan arazi kullanım bileşenleri ve çalışma alanındaki kanal, içme suyu hattı, elektrik hatları, karayolu, demiryolu ve doğalgaz boru hattı elemanlarından çizgisel formatta olanlar (kanal, içme suyu hattı, elektrik hatları, karayolu, demiryolu ve doğalgaz boru hattı) için km^2 'ye düşen

çizgisel yoğunluk analizleri ile haritalanmıştır (Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37 ve Şekil 5.38).



Şekil 5.33 Çalışma alanındaki kanal yoğunluk haritası.



Acıklamalar

Çalışma Alanı

İçme Suyu Hattı Yoğunluğu

0.0 - 0.1

0.1 - 0.3

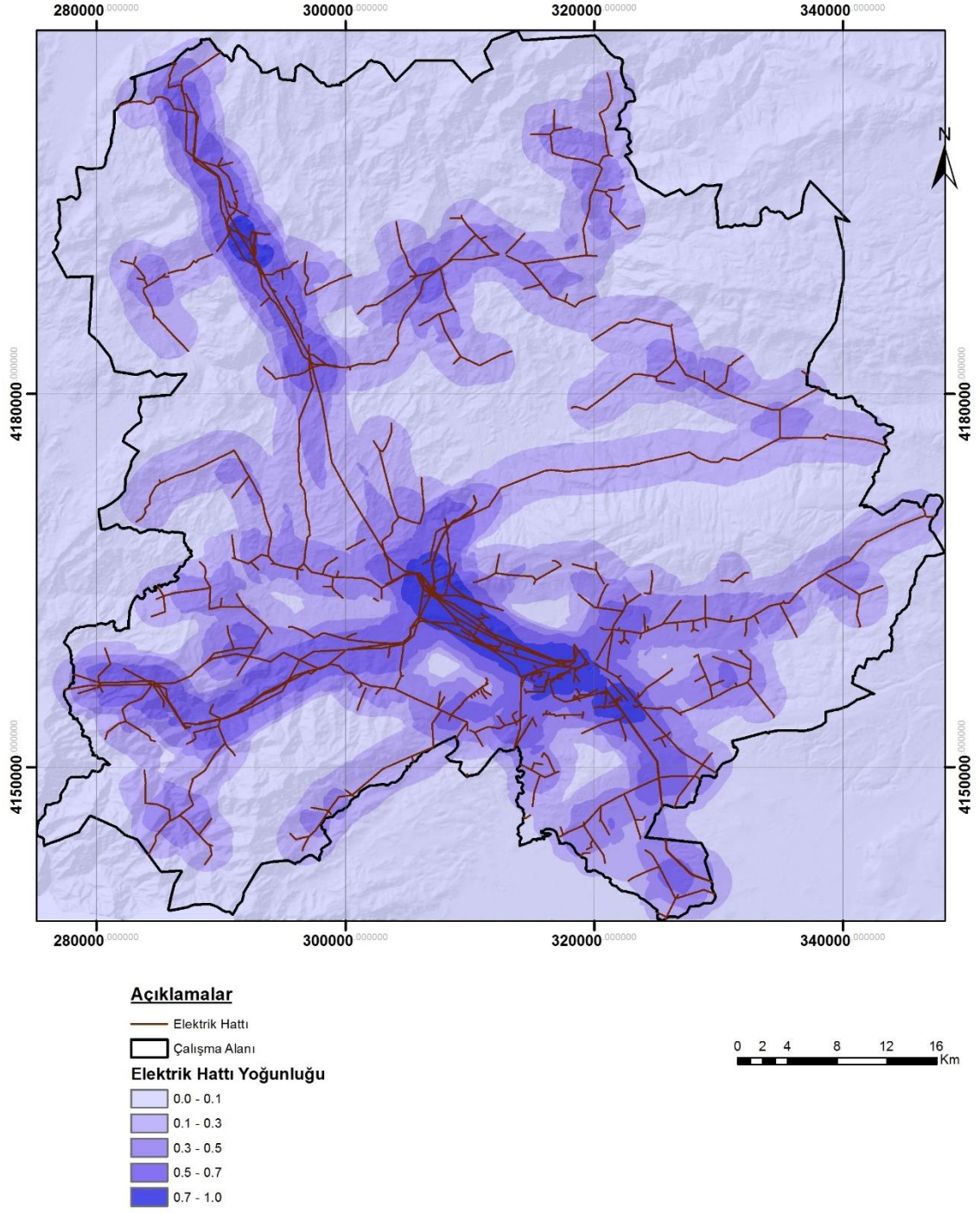
0.3 - 0.5

0.5 - 0.7

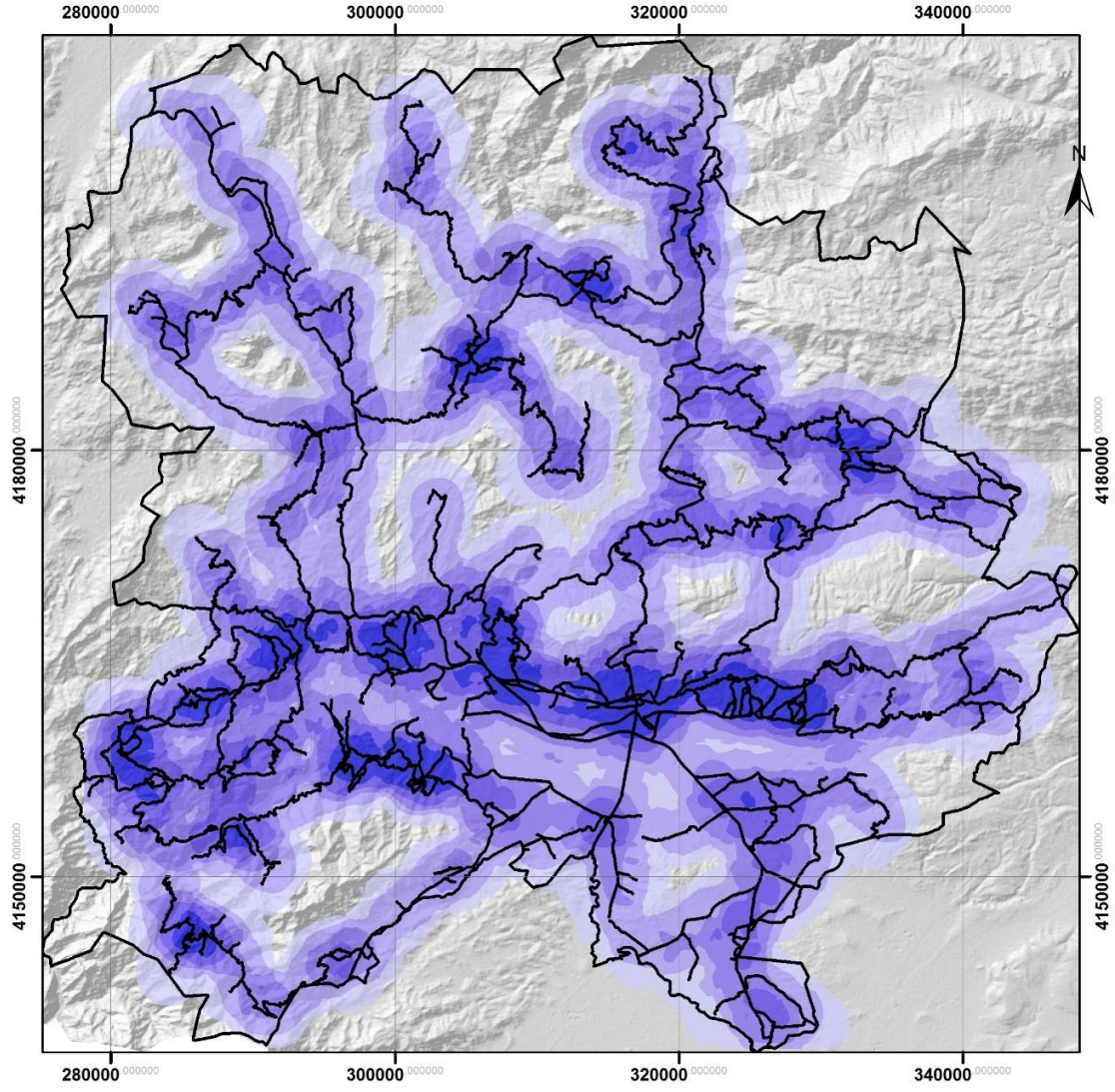
0.7 - 1.0

0 2 4 8 12 16 Km

ŞEkil 5.34 Çalışma alanındaki içme suyu hattı yoğunluk haritası



Şekil 5.35 Çalışma alanındaki elektrik hattı yoğunluk haritası.



Açıklamalar

Çalışma Alanı

Karayolu Yoğunluğu

0.0 - 0.1

0.1 - 0.3

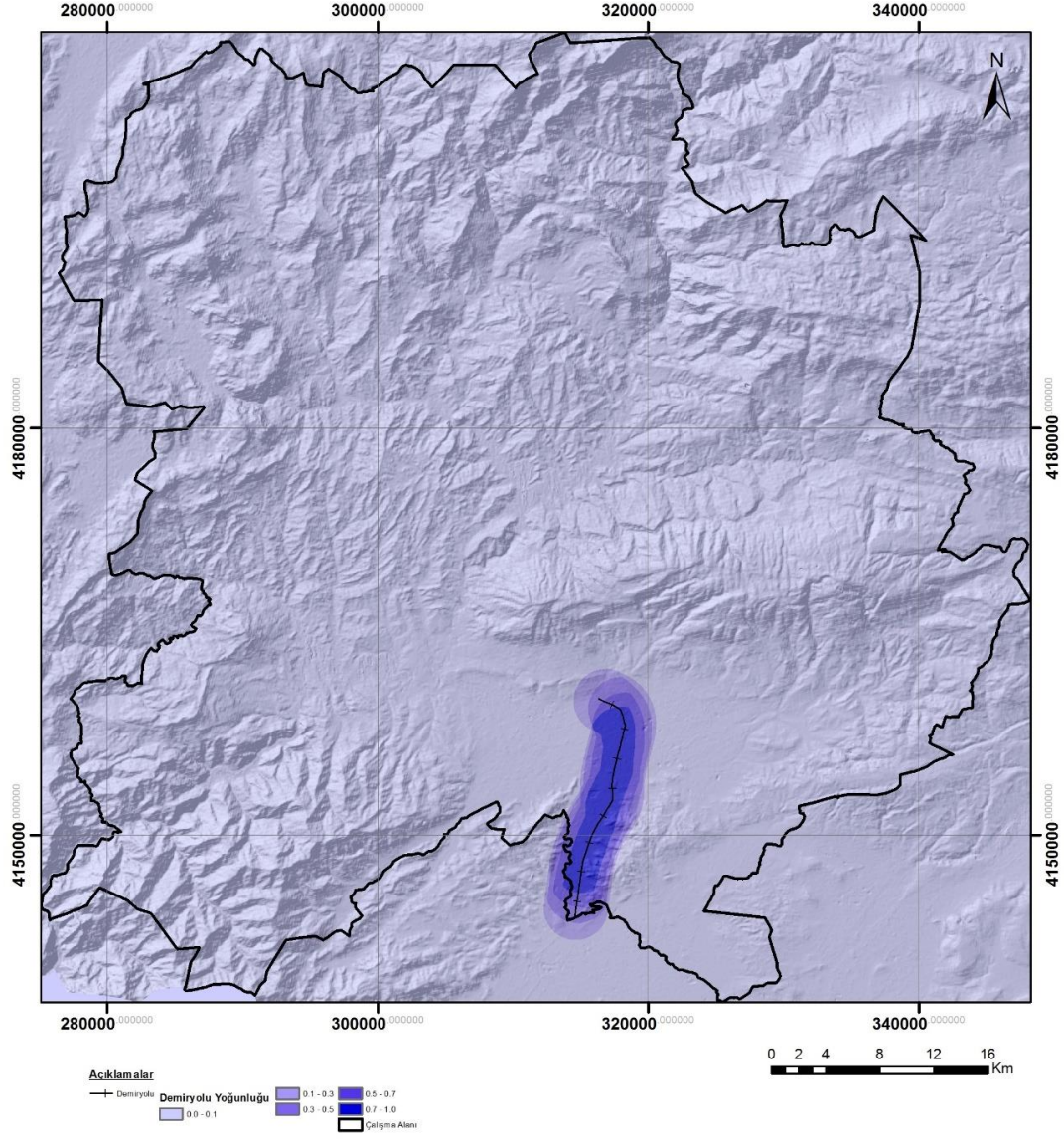
0.3 - 0.5

0.5 - 0.7

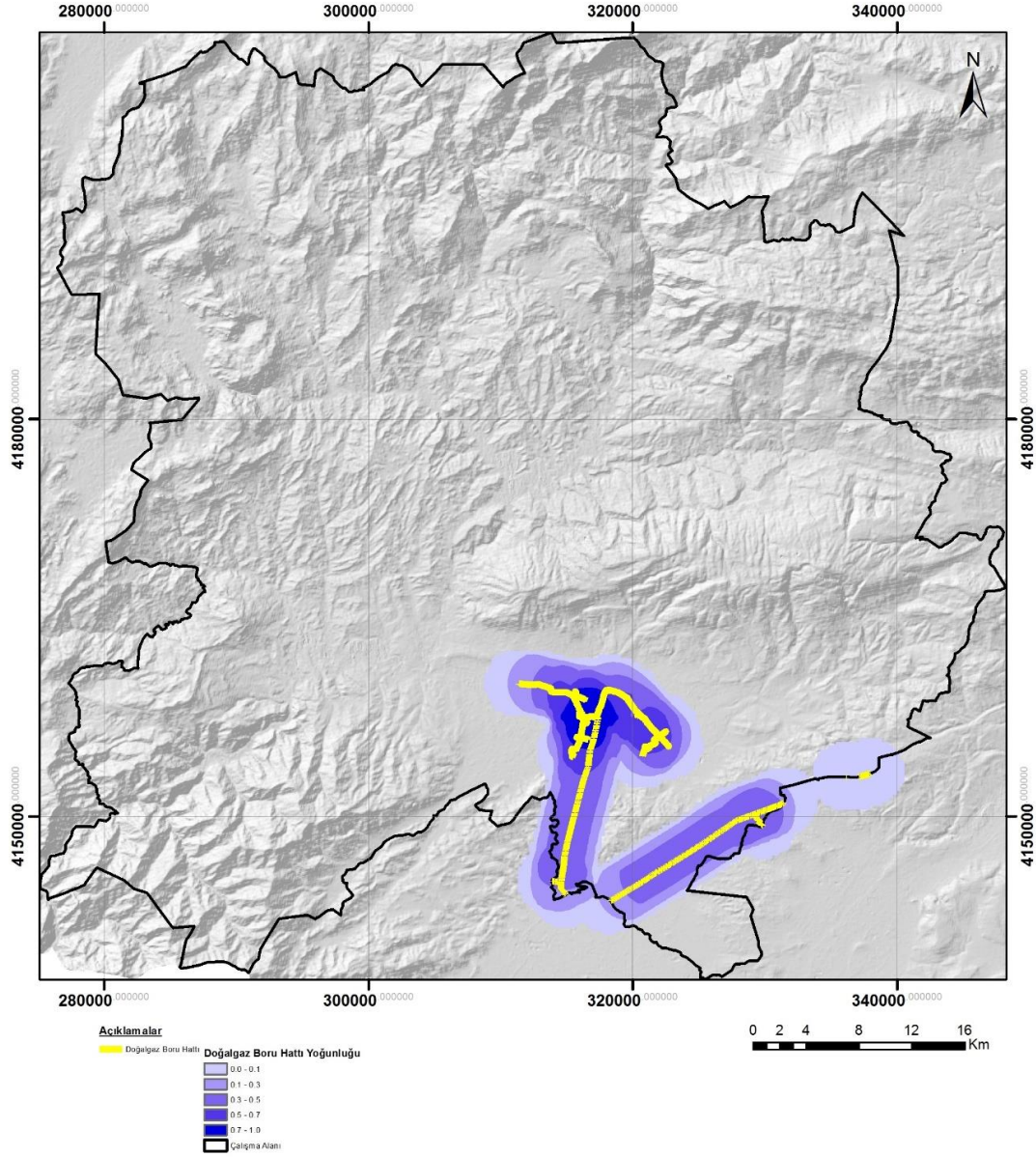
0.7 - 1.0

0 2 4 8 12 16 Km

Şekil 5.36 Çalışma alanındaki karayolu yoğunluk haritası.



Şekil 5.37 Çalışma alanındaki demiryolu yoğunluk haritası.



Şekil 5.38 Çalışma alanındaki doğalgaz boru hattı yoğunluk haritası.

Arazi kullanımına ilişkin parametrik alt gruplar ise, yine [0, 1] aralığında değişecek şekilde öznel olarak puanlandırılmıştır (Çizelge 5.19). İlgili puanlar, arazi kullanımı alt sınıflarına atanarak AHP analizlerine hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.39).

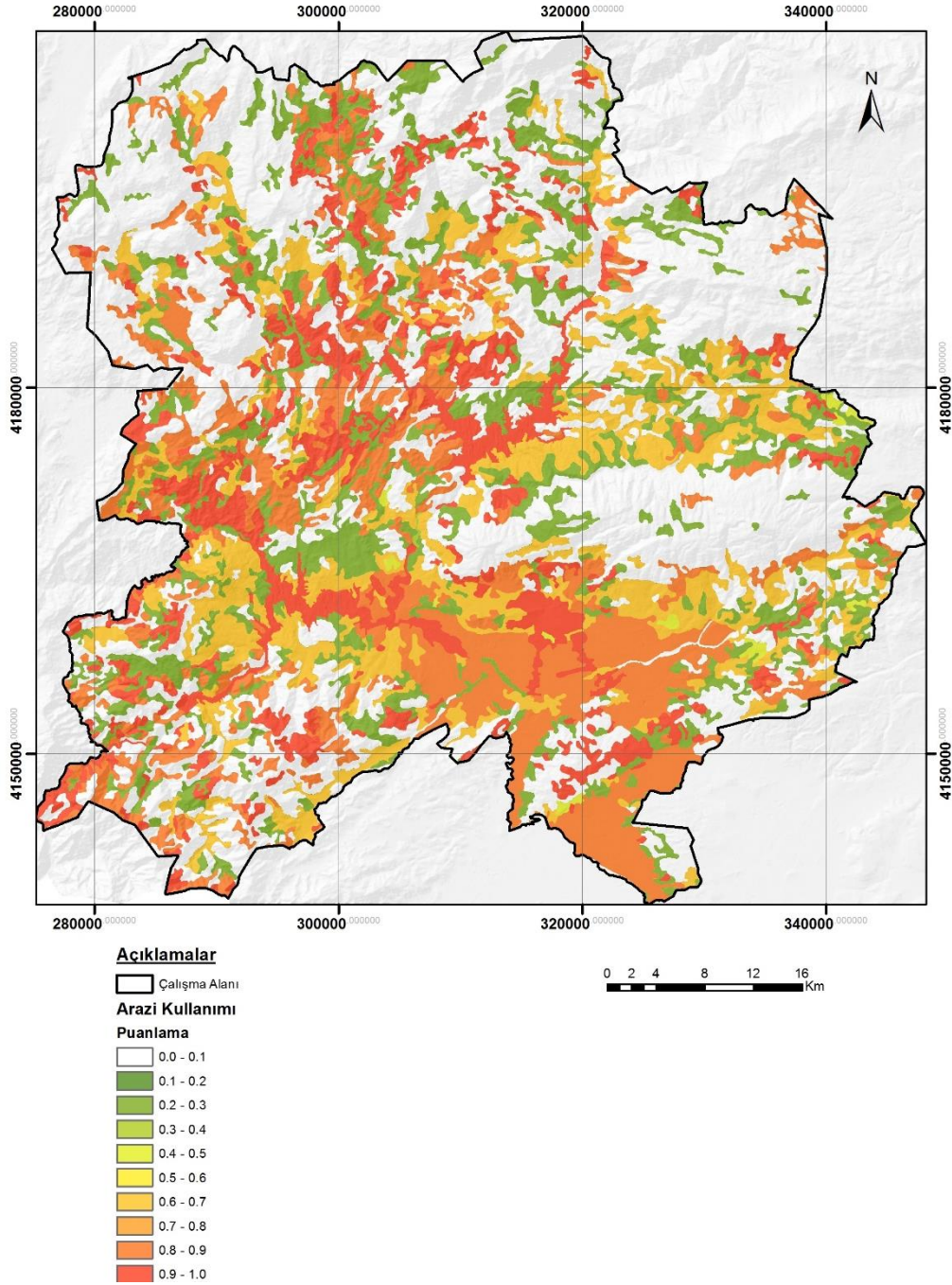
Bu aşamadan sonra, dikkate alınan risk altındaki elemanların, hasar görülebilirlikleri açısından değerlendirildiği İdrisi Selva yazılımının AHP uygulaması için, ilişki matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 5.20).

Çizelge 5. 19. Arazi kullanımı elemanlarının hasar görebilirlik analizlerindeki puanlamaları.

Kod	Alt Grup	Puan	Kod	Alt Grup	Puan
111	Sürekli Şehir Yapısı	1.0	242	Karışık Tarımsal Alan	0.6
112	Kesikli Şehir Yapısı	1.0	243	Doğal Bitki Örtülü Tarımsal Alan	0.2
121	Sanayi Alanı	1.0	311	Geniş Yapraklı Ormanlar	1.0
124	Havaalanı	1.0	312	İğne Yapraklı Ormanlar	1.0
141	Yeşil Şehir Alanı	0.4	313	Karışık Ormanlar	0.9
142	Spor ve Eğlence Alanı	0.5	321	Doğal Çayırılık	0.0
211	Sulanmayan Tarımsal Alan	0.5	324	Bitki Değişim Alanı	0.0
212	Sulanan Tarımsal Alan	0.8	331	Sahil Kumluk Alan	0.0
221	Üzüm Bağları	0.8	332	Çıplak Kayalık	0.0
222	Meyve Bahçesi	0.7	333	Seyrek Bitki Alanı	0.0
223	Zeytinlik	0.8	511	Su Yolları	0.3
231	Meralar	0.7	512	Su Kütleleri	1.0

Çizelge 5. 20. Hasar görebilirlik değerlendirmelerinde kullanılan AHP ilişki matrisi.

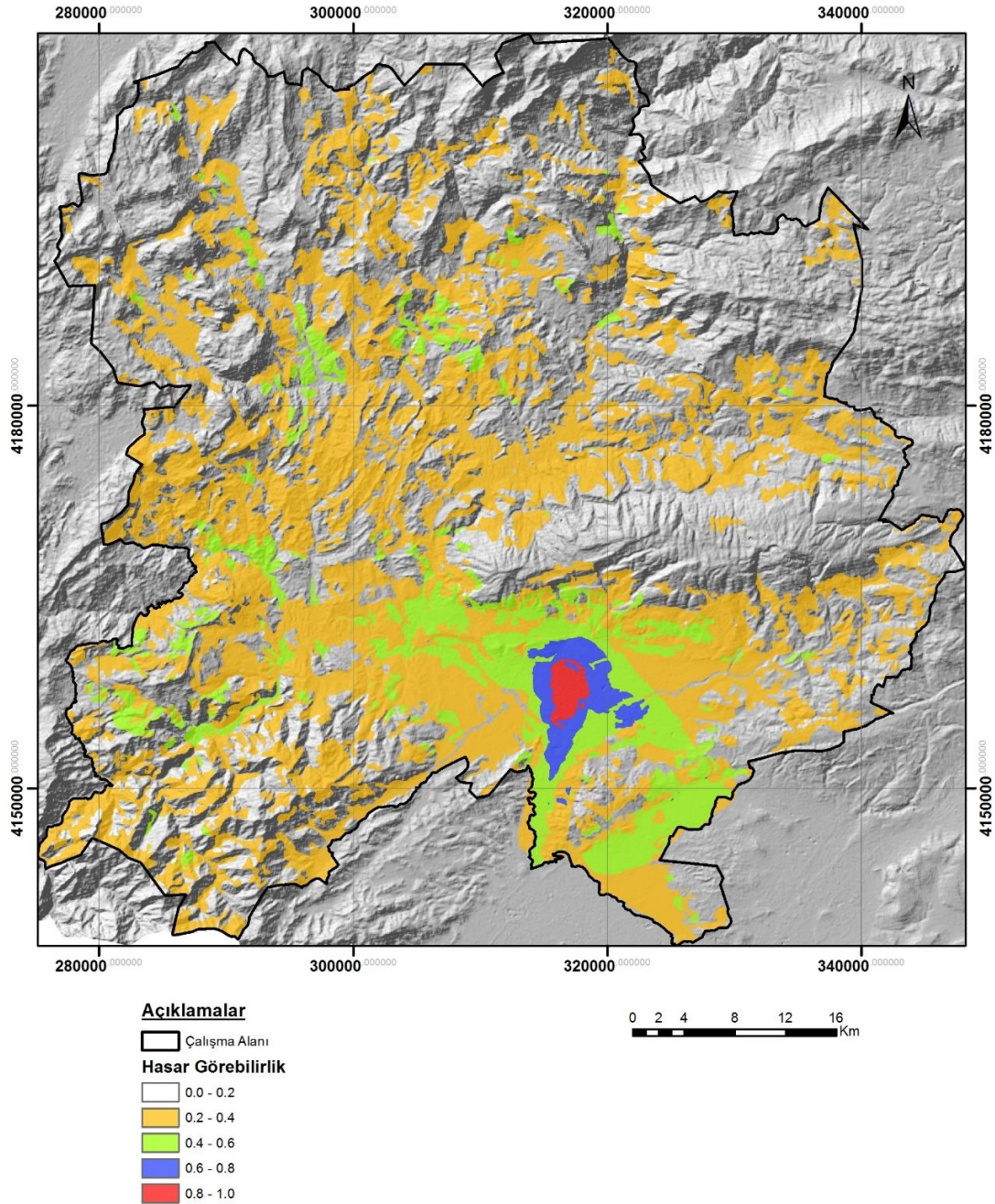
Parametre	Arazi Kullanımı	Demiryolu	Doğalgaz	Elektrik	İçme Suyu	Kanal	Karayolu
Arazi Kullanımı	1						
Demiryolu	1/3	1					
Doğalgaz	2	3	1				
Elektrik	1/5	1/2	1/5	1			
İçme Suyu	1/7	1/3	1/6	1/3	1		
Kanal	1/7	1/4	1/7	1/4	2	1	
Karayolu	1/2	2	1/3	3	4	5	1
Ağırlık Değeri	0.26	0.10	0.34	0.07	0.03	0.04	0.16



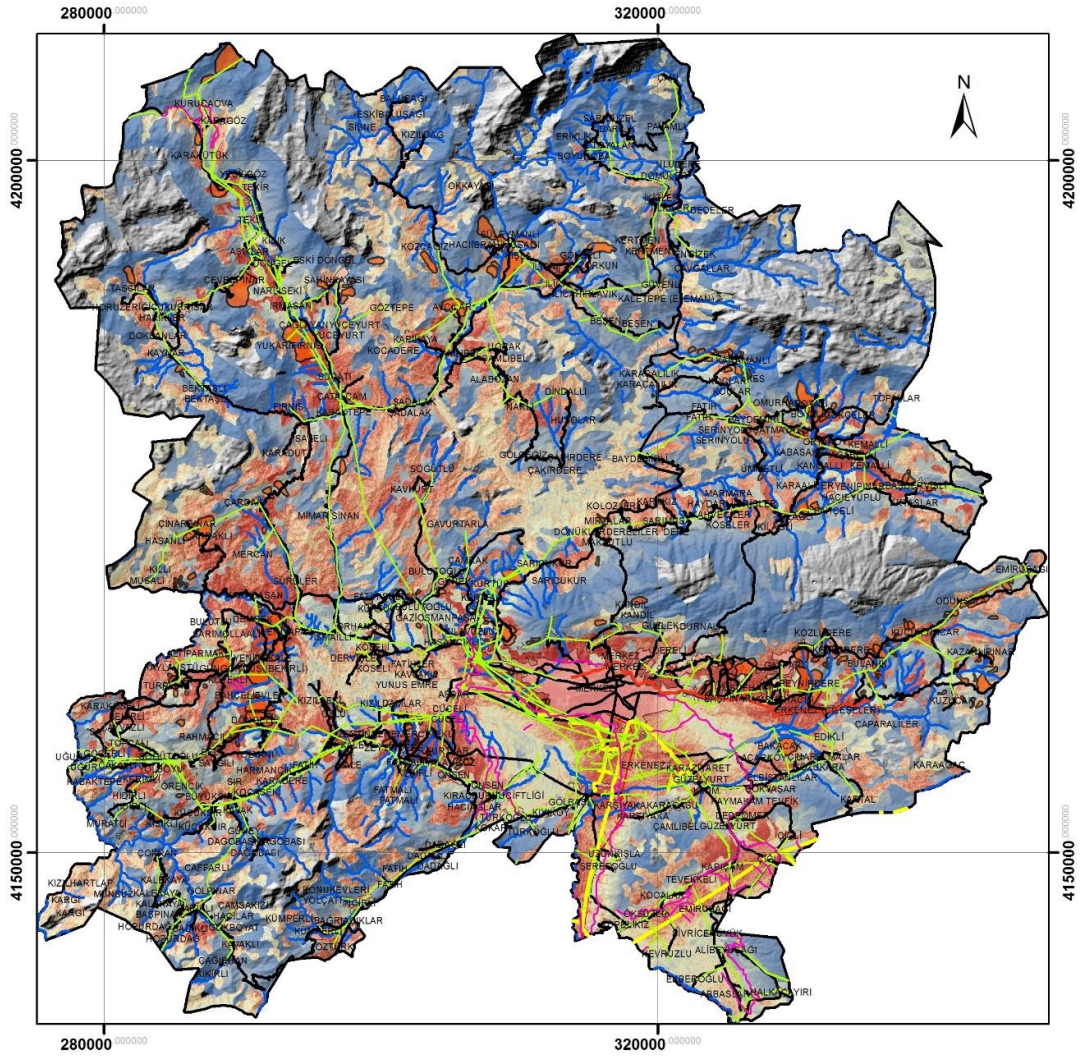
Şekil 5.39 Arazi kullanımı alt gruplarının hasar görebilirlik puanlandırmaları.

Yukarıda verilen parametrik ilişki matrisinin sonuç CR değeri 0.04 olup, kabul edilebilir düzeydedir ($CR < 0.1$). Bu değerlendirmeye göre, hasar görebilirlik açısından en etkin elemanın doğalgaz boru hattı olduğu, içme suyu ve kanalların da en az etkiye sahip olan elemanlar olduğu ortaya çıkmaktadır. Hasar görebilirlik değerlendirmeleri için son aşamada ise, hesaplanan ağırlık değerleri kullanılarak, tez çalışma alanının hasar görebilirlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 5. 40). Bu

aşamadan sonra ise, tez çalışma alanının heyelan risk haritasının oluşturulması için, daha önceden oluşturulan heyelan tehlike haritaları ile hasar görülebilirlik haritası aritmetiksel olarak çarpılarak, sonuç heyelan risk haritaları elde edilmiştir (Şekil 5.41). Risk haritalarının oluşturulmasında, bir önceki bölümde değinilen ve heyelan oluşumundan 10 gün öncesine dayanan ± 1 SD yağış aralıklı yağış değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5.40 Çalışma alanının AHP yöntemiyle oluşturulan hasar görülebilirlik haritası.



Açıklamalar

Heyelan Riski (2Yıl)

En Yüksek: 0.00488337

En Düşük: 0

Heyelanlar

Çalışma Alanı

Yerleşim

Akarsu

Karayolu

Demiryolu

Doğalgaz Boru Hattı

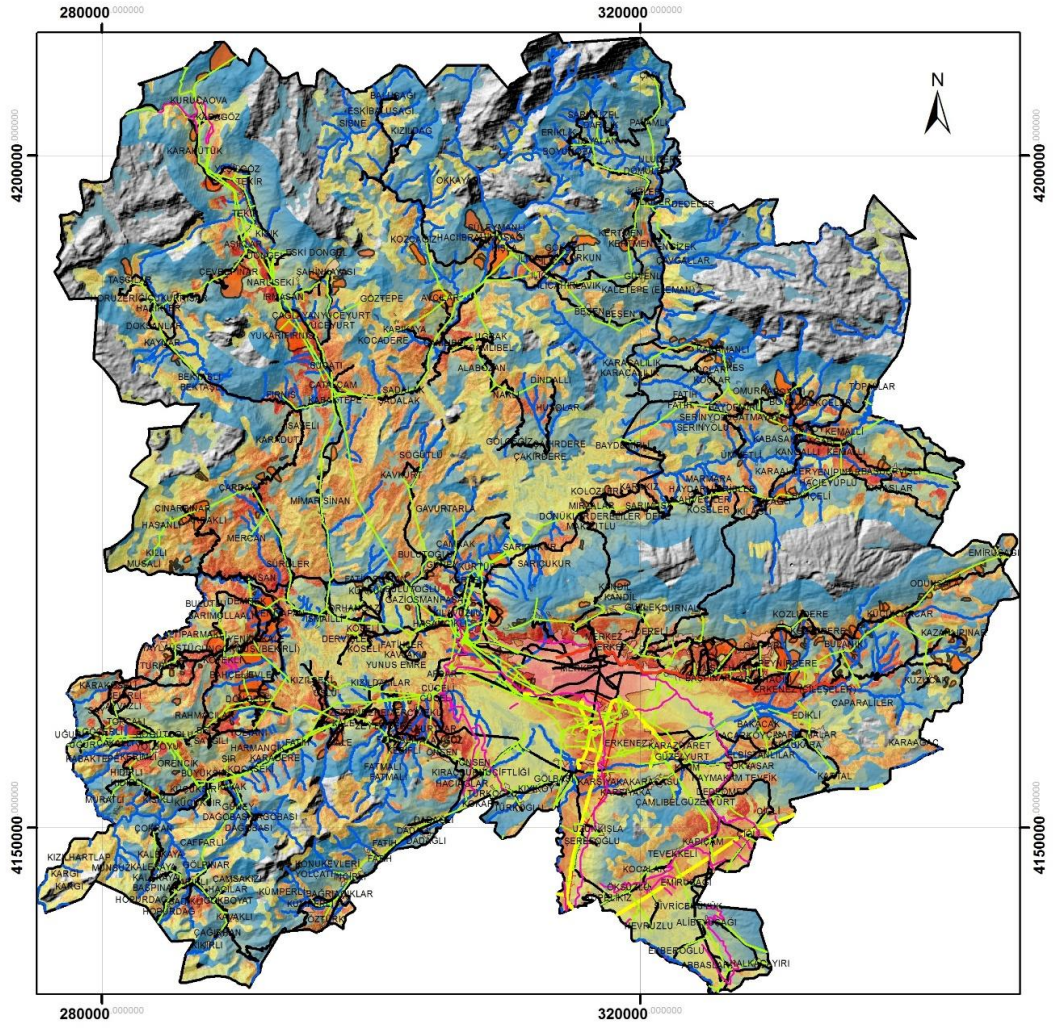
Elektrik Hattı

Kanal

İçme Suyu Hattı

0 2.25 4.5 9 13.5 18 Km

Şekil 5.41a Çalışma alanının 2 yıl için heyelan risk haritası.



Açıklamalar

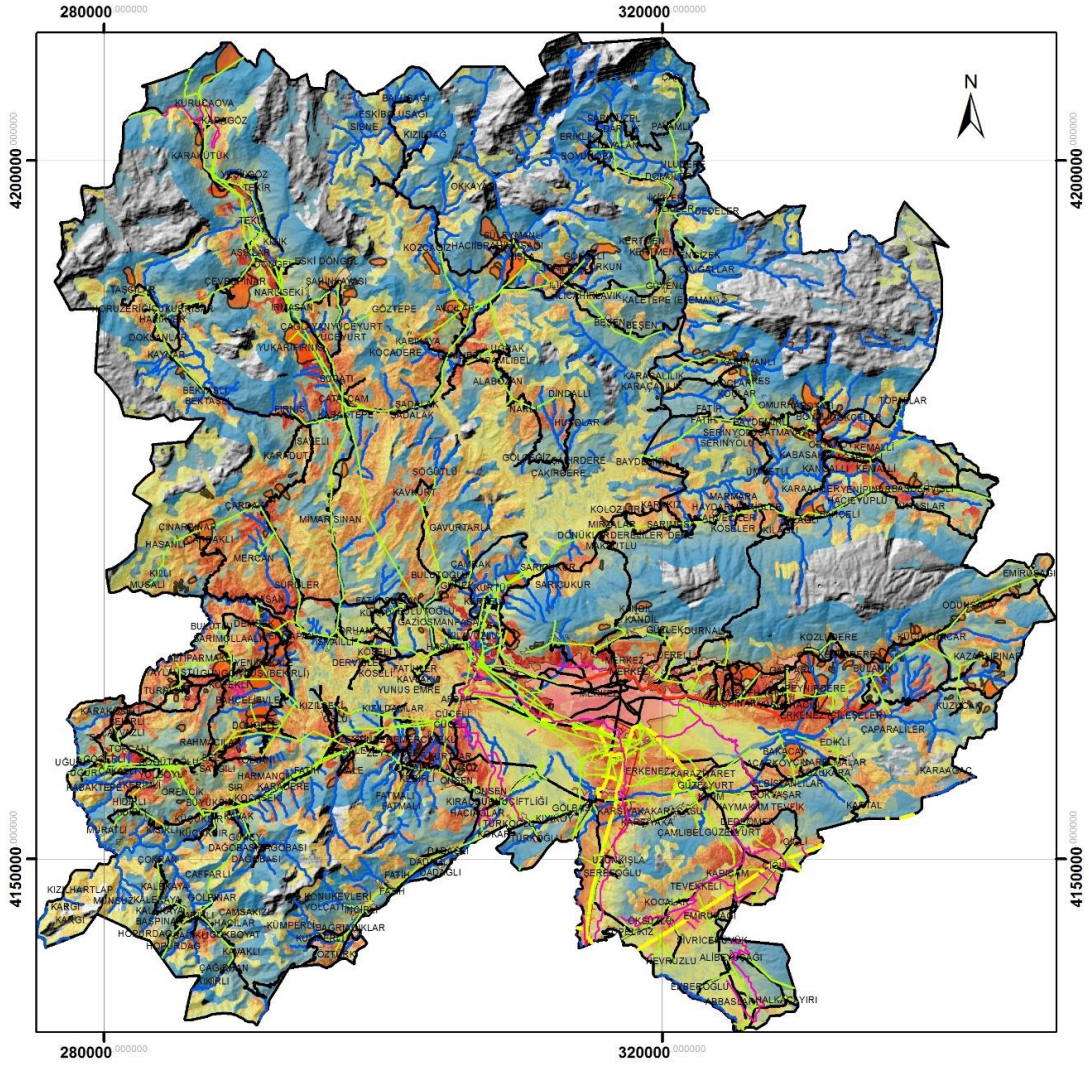
Heyelan Riski (5 Yıl)
 En Yüksek: 0.0195335
 En Düşük: 0

Heyelanlar
 Çalışma Alanı
 Yerleşim

Akarsu
 Karayolu
 Demiryolu
 Doğalgaz Boru Hattı
 Elektrik Hattı
 Kanal
 İçme Suyu Hattı

0 2,25 4,5 9 13,5 18 Km

Şekil 5.41b Çalışma alanının 5 yıl için heyelan risk haritası.



Açıklamalar

Heyelan Riski (10 Yıl)

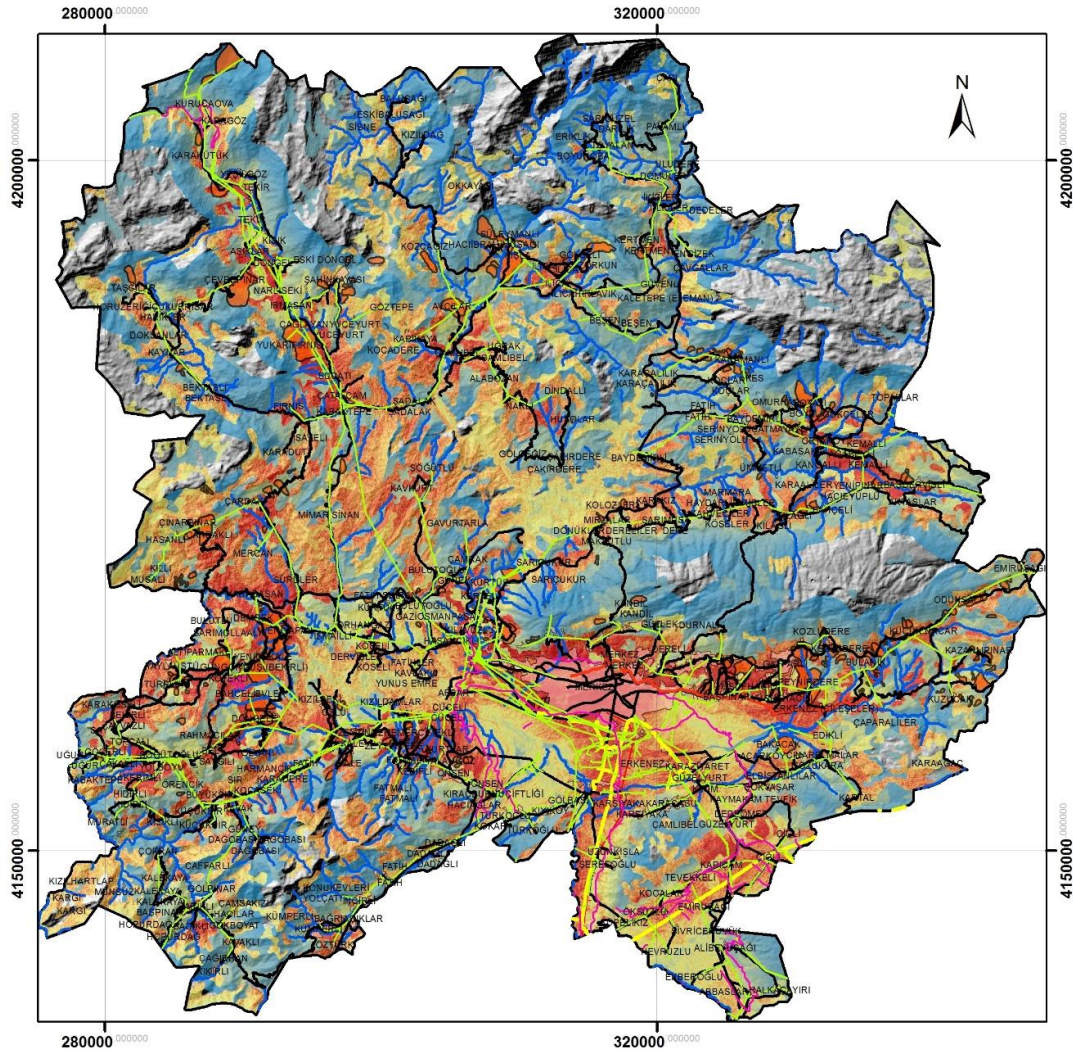
En Yüksek: 0.0390669
En Düşük: 0

Heyelanlar
Çalışma Alanı
Yerleşim

Akarsu
Karayolu
Demiryolu
Doğalgaz Boru Hattı
Elektrik Hattı
Kanal
İçme Suyu Hattı

0 2.25 4.5 9 13.5 18 Km

Şekil 5.41c Çalışma alanının 10 yıl için heyelan risk haritası.



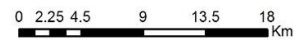
Açıklamalar

Heyelan Riski (25 Yıl)

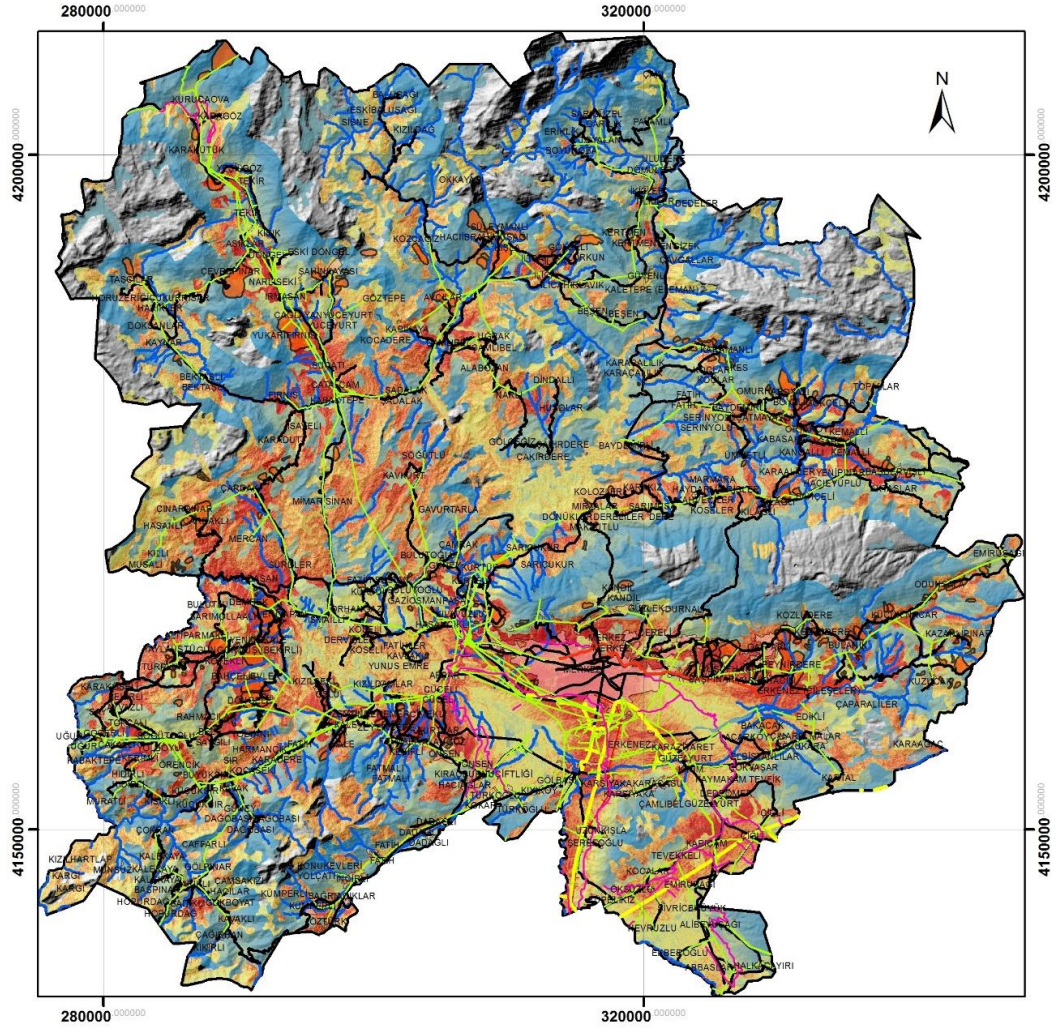
En Yüksek: 0.0976673
En Düşük: 0

- Heyelanlar
- Çalışma Alanı
- Yerleşim

- Akarsu
- Karayolu
- Demiryolu
- Doğalgaz Boru Hattı
- Elektrik Hattı
- Kanal
- İçme Suyu Hattı



Şekil 5.41d Çalışma alanının 25 yıl için heyelan risk haritası.

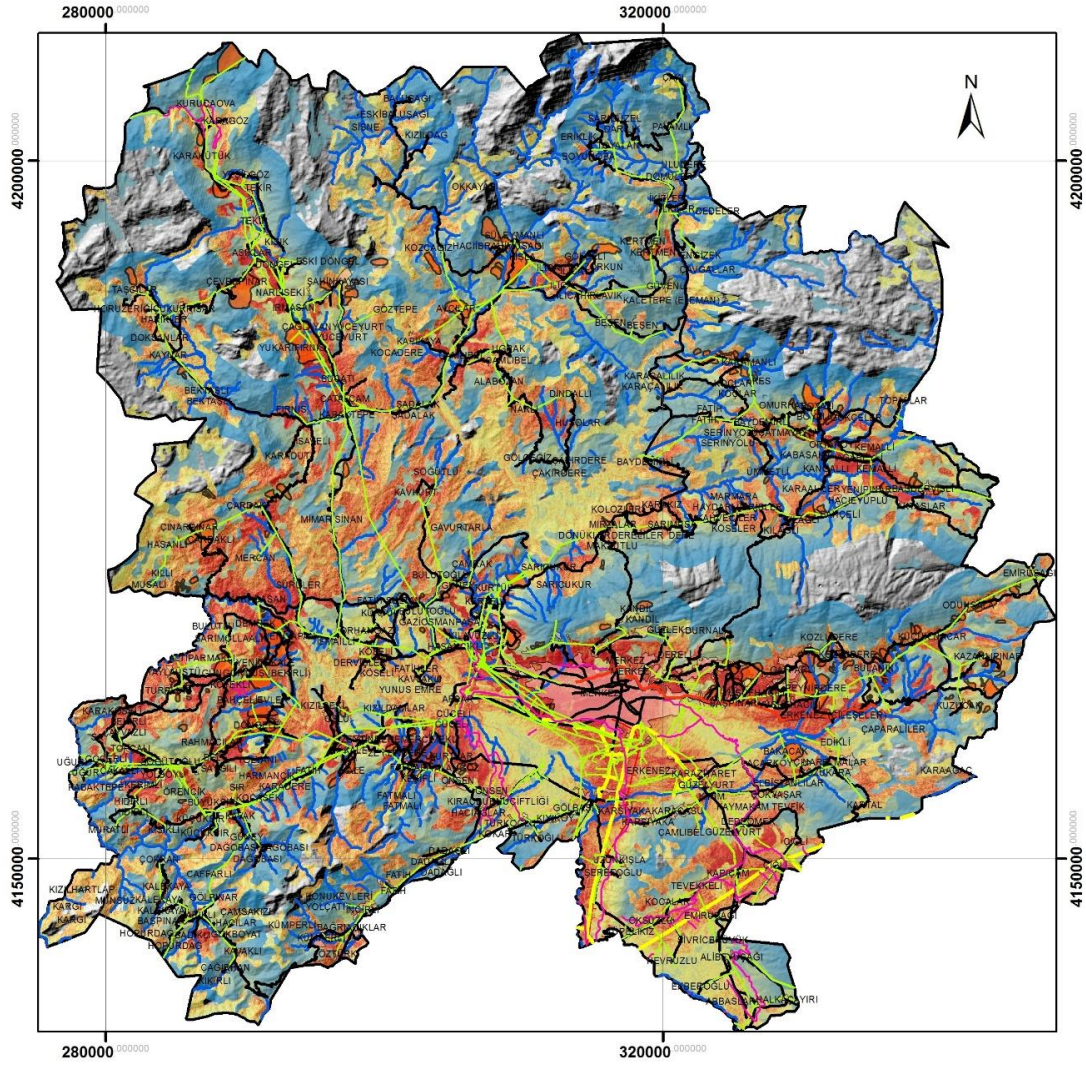


Açıklamalar

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| Heyelan Riski (50 Yıl) | — Akarsuyu |
| En Yüksek | — Karayolu |
| En Düşük: 0 | — Demiryolu |
| Heyelanlar | — Doğalgaz Boru Hattı |
| Çalışma Alanı | — Elektrik Hattı |
| Yerleşim | — Kanal |
| | — İçme Suyu Hattı |

0 2.25 4.5 9 13.5 18 Km

Şekil 5.41e Çalışma alanınının 50 yıl için heyelan risk haritası.



Şekil 5.41f Çalışma alanının 100 yıl için heyelan risk haritası.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Heyelanlar, dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli oranda can ve mal kayıplarına sebep olması bakımından “nedenleri, sonuçları ve nasıl üstesinden gelineceği?” gibi temel gerekçelerin açıklanması gereken, en önemli afet türlerinden biridir. Bu kapsamda, özellikle son 15 yıl içinde heyelan envanteri, duyarlılık, tehlike ve risk konularında yapılan çalışmaların sayısında bir artış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, yapılan literatür araştırmaları göstermektedir ki, dünyanın bir çok ülkesinde en çok zarar verici etkiye sahip afetlerden biri olan heyelanlar konusunda, özellikle heyelan tehlike ve risk çalışmalarında sınırlı sayıda araştırma yapıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sonuçları itibariyle, kent planlamasında kullanılması halinde karar vericiler açısından oldukça faydalı olan heyelan tehlike ve risk çalışmalarının, ülkemizdeki sayısı yeterli düzeyde olmayıp, bu tez çalışması ile gelecekte araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından dikkate alınarak, benzer araştırmaların yapılması, bu tür çalışmaların yaygınlaştırılarak ve pratikte kullanımının desteklenmesi de hedeflenmiştir. Bu kapsamda, tez çalışması dahilinde, elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sağlaması bakımından önem taşıyan hususlara dair öneriler, aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

1. Ülkemizin, afet potansiyeli oldukça yüksek olup, başta depremler olmak üzere heyelan, taşkın, kaya düşmesi, çığ vb. afetler sıkça yaşanmaktadır. Bu afetlerin sebep olduğu can ve mal kayıpları ise, ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasının önünde, önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin afet arşivlerinden heyelanların, depremlerden sonra en fazla yaşanan afet türü olduğu ve 60000'e yakın vatandaşımızın bu afet türünden etkilenmiş olduğu ortaya çıkmaktadır. Söz konusu kişilerin yaşadıkları çevrenin, konutlarının, varsa hayvan barınaklarının da heyelandan etkilendiği göz önünde bulundurulduğunda, yapı stokundaki hasarların da telafi edilmesi, bir başka ifade ile afet sonrası fiziki iyileştirme çalışmalarının maliyeti de oldukça yüksektir. Heyelan afetinin hem kişiler, hem de buldukları çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin yaralarını sarmak için yapılan çalışmaların yerine, bu afet yaşanmadan önce potansiyel alanlarda

heyelana yönelik başta duyarlılık olmak üzere, tehlike ve risk çalışmalarının yapılması, sonuçlarının karar vericiler ve uygulayıcılar ile paylaşılması, oluşabilecek hasarın önüne geçmenin en akılcı ve etkin çözümü olacaktır.

2. Heyelan konusunda yapılan literatür araştırmalarına göre araştırmacılar daha çok heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının üretilmesi konusunda yoğunlaşmışlardır. Bu durumun temel nedeni, ülkemizde olduğu gibi dünyada da, özellikle tehlike ve risk çalışması yapmak için gereken kaliteli verinin bulunmamasından ve/veya erişilebilir olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda, başta karar vericiler olmak üzere, konuyla ilgili kamu kurum ve kuruluşları, yerel yönetimler ve üniversitelerin, afetler konusunda kaliteli veri üretmek ve üretilen veriyi gelecek nesillere aktarmak konusunda önemli görevleri olduğu düşünülmektedir.
3. Tez çalışmasında literatür araştırmaları kapsamında irdelenen heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları, birbirini tamamlayan bir sürecin sonuç çıktıları olup, güvenilir ve sağlıklı bir heyelan veri tabanının oluşturulması, bu konularda gelecekte yapılacak çalışmalar için, en temel unsurdur. Heyelan konusunda 1990 – 2016 yılları arasında yapılmış, ulaşılabilen toplam 266 adet çalışmada (SCI'da taranan dergilerde yayımlanmış), genelde araştırmacılar inceleme alanlarının özelliklerine bağlı olarak farklı analiz modelleri ve farklı hazırlayıcı parametreler kullanmaktadırlar. Ayrıca, yayınların birçoğunda araştırmacılar, özellikle duyarlılık analizlerini birden fazla model ile yapmakta ve model sonuçlarını birbirleriyle kıyaslayarak, en etkin modelin hangisi olduğuna dair yorumlamalarda bulunmaktadır. Ancak, yapılan çalışmaların sonuçlarının inceleme alanının özelliği ve kullanılan modelin türüne göre münferit sonuçlar ifade ettiği unutulmamalıdır.
4. 1990 – 2016 yılları arasında yapılan literatür çalışmaları göstermektedir ki, bu yıllar arasında araştırmacılar tarafından en çok kullanılan hazırlayıcı parametreler sırasıyla; eğim, litoloji, bakı, topoğrafik yükseklik, drenaj özellikleri, arazi kullanımı, eğrisellik, tektonik unsura uzaklık ve NDVI'dır. Söz konusu parametrelerin çoğu, kullanılan CBS tabanlı yazılımlarda birer modül olup, araştırmacılar tarafından sıklıkla dikkate alınmıştır. Tez çalışması kapsamında da, sözü edilen 9 parametre kullanılmış olup,

parametrelerin yorumlamasına yardımcı olacak tüm veriler, arazi ve ofis ortamında oluşturulmuştur. Bu aşamada dikkat edilen en önemli husus, sözü edilen ve/veya diğer parametrelerin kullanılması haricinde, kullanılan her parametrenin arazide gözlenen heyelanlarla olan ilişkisinin ortaya çıkarılması ve sağlıklı yorumlanmasıdır.

5. 1990'dan sonra gelişen bilgisayar teknolojisi ve yaygın CBS kullanımı sonucunda, heyelan analizlerinde farklı modellerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Güncel eğilimleri daha çok dikkate almak adına, 2015 – 2016 yılları arasında yapılmış 106 adet yayında, heyelan analizlerinde en çok kullanılan 3 yöntem sırasıyla; Lojistik Regresyon (LR), Frekans Oranı (FR) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) olduğu belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde de, sözü edilen 3 model kullanılmıştır.
6. Yapılan arazi gözlemleri sonucunda çalışma alanında toplam 214 adet heyelan kayıt altına alınmıştır. Çalışma alanındaki heyelanlar, seçilen parametreler bakımından incelendiğinde genel olarak;
 - a. Düşük eğimli yamaçlarda meydana geldiği gerek arazi gözlemleri, gerekse analiz sonuçları ile desteklenmiştir.
 - b. Litolojik olarak, heyelanların en yoğun olarak görüldüğü birimlerin ortak özelliği; çoğunlukla fliš özelliği gösteren, silltaşı, çamurtaşı, kumtaşı aralanmalı, yer yer volkanik ara katkılı olan ve bu birimlerin bozunması sonucunda oluşan toprak malzemelerde gelişmesidir.
 - c. Çalışma alanında heyelanların kuzeydoğuya bakan yamaçlarda, diğer yönelimlere oranla daha fazla geliştiği belirlenmiştir.
 - d. Çalışma alanındaki yükseklik değerleri 203 m – 3024 m arasında değişmekte olup, ortalama yükseklik değeri 1156 m olarak belirlenmiştir. Heyelan yoğunluğu ise 1000 – 1250 m arasındadır.
 - e. Çalışma alanında, drenaj ağlarına yakın mesafelerde heyelan yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.

- f. Heyelanların en yoğun olarak görüldüğü arazi örtüsü türü sırasıyla; meyve bahçesi (% 25.72), karışık tarımsal alan (% 20.42) ve zeytinliklerdir (% 16.60).
- g. Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanındaki iç bükey yamaçlarda heyelan yoğunluğunun daha yüksek olduğu söylenebilir.
- h. Faya yakınlık ile heyelan yoğunluğu ilişkisi, literatür çalışmaları ile uyumlu olup, çalışma alanında heyelanlar en fazla 0 – 1000 m (% 23.77) ve 1000 – 2000 m (% 21.25) mesafelerdedir.
- i. NDVI değerlerinin heyelanlı alanlarla ilişkisi incelendiğinde, NDVI değerlerinin çoğunlukla (% 36.12) 0.2-0.4 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, arazi kullanımı parametresi ile birlikte değerlendirildiğinde, bazı uyumsuzluklara yol açabilmektedir. Bununla birlikte, NDVI parametresinin üretildiği uydu görüntü tarihi ile arazi çalışmalarının yapıldığı tarihin (2015 yılı) uyumlu olması gözetildiği için, alandaki birçok heyelanın bu tarihten daha önce meydana gelmesi nedeniyle, bu tür uyumsuzlukların olması normal karşılanmalıdır.
7. Duyarlılık analizlerinde kullanılan 3 model (LR, FR ve AHP) ile elde edilen duyarlılık haritalarının, ROC modeli ile performans analizi yapılmıştır. Performans değerlendirmelerinde sırasıyla AUC değerleri; LR yöntemi için 0.828, FR yöntemi için 0.862 ve AHP yöntemi için ise 0.793 olarak hesaplanmıştır. Model sonuçlarına göre duyarlılık analizinde en yüksek performansı gösteren FR ile üretilen duyarlılık haritası tehlike analizlerinde temel girdi bileşeni olarak kullanılmıştır.
8. Heyelan tehlikesinin hesaplanabilmesi için, Mekânsal Olasılık (P_s), Zamansal Olasılık (P_T) ve Boyutsal Olasılık (P_M) olmak üzere iki olasılık değerine daha gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda, mekânsal olasılık olarak duyarlılık analizi sonucu kullanılmıştır. Zamansal olasılık (P_T) değeri ise tetikleyici faktör analizini içermekte olup, belirli bir zaman dilimi içinde ilgili tetikleyici faktörün değerlendirmesini kapsamaktadır.
9. Boyutsal Olasılık (P_M) değeri, çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Bu durumun temel gerekçeleri, yapılan literatür araştırmalarında da ortaya çıktığı üzere, araştırmacıların daha çok Varnes'ın tehlike tanımlamasını

dikkate alarak analizlerini gerçekleştirmeleri ile çalışma alanına ilişkin heyelan oluşum zamanlarındaki belirsizliklerdir. Zira, Guzzetti vd.'nin tehlike tanımındaki, boyutsal olasılık değerinin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi için, çok zamanlı ve güvenilir heyelan envanter haritalarının var olmasını gerektirmektedir. Bu tanımın dikkate alındığı çalışmalarda ortak nokta, heyelan envanter ve tetikleyici etken verilerinin tam ve aralıksız verilerden oluştuğu durumlarda kullanılmasıdır. Tez çalışması kapsamında, yağış verileri ve heyelan envanteri konusundaki kısıtlar nedeniyle, Varnes tanımlaması dikkate alınmıştır.

- 10.** Tez çalışması kapsamındaki mevcut veriler değerlendirildiğinde, veri eksiklikleri olmasına karşın, bu tür bir çalışmanın yapılmasının önemli olduğu; ancak, mevcut veri eksiklikleri giderildiğinde, bazı güncellemeler ile yeniden değerlendirilebilecek özellikte olduğu da unutulmamalıdır. Zira, bu tür büyük alanlarda gerçekleştirilen risk çalışmalarındaki en önemli unsurlardan biri, veri güncelleme çalışmalarının yapılması olup, mevcut durumu yansıtacak özellikler ile birlikte değerlendirilmesidir.
- 11.** Tehlike analizlerindeki bir diğer önemli husus da, tetikleyici etken analizidir. Kahramanmaraş ili 1. Derece deprem bölgesi olması ve AFAD sismik kayıtlarına göre 7/24 saat gözlem altında bulunmasına rağmen, yapılan çalışmalar sonucunda, depremin tetiklediği herhangi bir heyelan kaydı bulunmamaktadır. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında, tetikleyici etken analizlerinde deprem parametre olarak dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, bölgede gelecekte yapılacak risk çalışmalarında, farklı deprem senaryoları dikkate alınarak, risk modellemelerine dahil edilmesi önerilmektedir.
- 12.** Çalışma alanındaki, heyelanların tetikleyici faktörü olarak kabul edilen yağış faktörünün analizinde Gumbel dağılımı dikkate alınarak, yağış analizleri, sözü edilen ve heyelan oluşumundan önce geriye dönük gün sayıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gumbel dağılımının felsefesi de dikkate alınarak, sözü edilen geriye dönük gün sayılarının bir yıl içinde oluşturdukları maksimum birikimli değerleri ile modellemeler yapılmış, daha sonra, aynı gün sayıları kullanılarak, meydana gelme tarihi bilinen 22 adet heyelandan önceki gün sayılarında oluşan birikimli yağışların olasılık

değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Hesaplanan bu olasılık değerleri de dikkate alınarak, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içinde, bu yağış aralığı değerlerinin en az bir defa oluşma olasılıkları belirlenmiştir. Bu tür bir yaklaşım, tez çalışmasının en önemli özgün değerlerinden biri olup, heyelan risk çalışmaları konusuna, farklı bir bakış açısı getirecek niteliktedir.

- 13.** Tez çalışma alanının, heyelan tehlike haritalarının oluşturulabilmesi için, ± 1 SD yağış aralıklı ve en yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu belirlenen, 10 günlük geriye dönük yağış değerlerinden itibaren hesaplanan olasılık değerleri ile FR ile oluşturulan mekânsal olasılık değerleri aritmetiksel olarak çarpılmıştır. Heyelan tehlike haritaları, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içinde en az bir kere sözü edilen yağış miktar aralıklarının olasılık hesaplamaları dikkate alınarak üretilmiştir.
- 14.** Heyelan risk değerlendirmesi için inceleme alanına ait hasar görülebilirlik ve risk altındaki elemanlara dair analizler yapılmıştır. Bu aşamada yapılan işlemler de, tez çalışmasının özgün değerlerinden biri olup, bu kapsamda herhangi bir ekonomik veya maliyet analizi, veri eksikliği nedeniyle yapılamamıştır.
- 15.** Hasar görülebilirlik değerlendirmesi için, eldeki mevcut veriler dahilinde, çalışma alanındaki; arazi kullanımı haritası ve alt bileşenleri ile alandaki kanal, içme suyu hattı, elektrik hatları, karayolu, demiryolu ve doğalgaz boru hattı olmak üzere ekonomik değeri olan risk altındaki elemanlar dikkate alınmıştır. Özellikle; nüfus, bina sayısı gibi verilere ilişkin yeterli ve sağlıklı verilere ulaşılamadığı için, analizlerde bu parametreler dikkate alınamamıştır.
- 16.** Risk haritası üretimi için, heyelan oluşumundan 10 gün öncesine dayanan ± 1 SD yağış aralıklı yağış değerleri dikkate alınarak hesaplanan heyelan tehlike haritaları ile hasar görülebilirlik haritası aritmetiksel olarak çarpılarak, sonuç heyelan risk haritaları elde edilmiştir. Risk haritası sonucuna göre özellikle risk altındaki elemanların en yoğun olduğu kent merkezinde, dikkate alınan tüm zaman aralıkları için risk artış göstermektedir. Heyelan risk haritalarını üretilmesinde araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken en önemli husus ise, bu haritaların düzenli periyotlarla değişen veriler ışığında güncellenmesi gerektiğidir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A., Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, **2008**.
- [2] Afet İşleri Genel Müdürlüğü Eğitim, Haber, Bilim Dergisi, Sayı 1, **2001**.
- [3] Kahramanmaraş İli 1/100000 Ölçekli İl Çevre Düzeni Planı, Plan Açıklama Raporu. Ankara: BHA & MEGAPOL, Temmuz **2011**.
- [4] Kahramanmaraş Valiliği, <http://www.kahramanmaras.gov.tr>, (Kasım, 2016).
- [5] Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr>, (Aralık, 2016).
- [6] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr>, (Aralık, 2016).
- [7] Vikipedi, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kahramanmaraş>, (Kasım, 2016).
- [8] Kahramanmaraş İli Çevre Durum Raporu, Kahramanmaraş Valiliği Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, **2011**.
- [9] Rigo de Rigni, M. and Cortesini, A., Gravity tectonics in the foothills structure belt of south-east Turkey, *Assoc. Petr. Geol. Soc. America Bull.*, v. 80, p. 1203-1230, **1964**.
- [10] Sungurlu, O., *VI. Bölge Kuzey Şaharının Jeolojisi*, Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğler, s. 85 -107, **1974**.
- [11] Perinçek, D. ve Kozlu, H., *Stratigraphic and Structural Relations of the Units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir Region (Eastern Taurus)*. In Tekeli, O., and Göncüoğlu, M.C. (Eds), *Geology of Taurus Belt*, 181-198, Ankara, **1984**.
- [12] Sungurlu, O., *VI. Bölge Gölbaşı – Gerger arasındaki sahanın jeolojisi*, TPAO Rapor No: 802., Ankara (yayımlanmamış), **1972**.
- [13] Gossage, D. W., *Stratigraphical column Kayacık (N. V. Turks Shell)*, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, No: 352, **1958**.

- [14] Ketin, İ., Tectonic units of Anotolia, *Bulletin of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey.*, pp. 23-24, **1966**.
- [15] Yoldemir, O. *Sakçagöz-Kartal-Yaylacık (Gaziantep batısı) civarının jeolojisi, yapısal durumu ve petrol olanakları*, TPAO Rap. No. 2453, 24s. (yayımlanmamış), **1987**.
- [16] Baydar. O., *Berit-Kandil Dağları (Kahramanmaraş) ve Civarının Jeolojisi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, **1989**.
- [17] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr>, (Kasım, 2016).
- [18] McKenzie D., Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 30, 109-185, **1972**.
- [19] Dewey, J. F., Pitman, III. W. C., Ryan, W. B. F. and Bonnin, J., Plate tectonics and evolution of the Alpine system, *Geological Society of America Bulletin*, 84, 3137-3180, **1973**.
- [20] Jackson, J. and McKenzie, D. P., Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysics J. R. Ast. Soc.*,77, 185-264. **1984**.
- [21] Sengör, A.M.C., Görür, N. and Saroglu, F., Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in; Biddle K.T., Christie –Blick N.(Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Soc. Econ.Paleontol. Mineral.Sp. Pub., 37,227-264, **1985**.
- [22] Gülen, L., Barka, A.A. and Toksoz, M.N., Continental Collision and related comlex deformation: Maras Triple Junction and surrounding structures, SE Turkey. *Yerbilimleri*,14,319-336, **1987**.
- [23] Karig, D. E. and Kozlu, H., Late Palaeogene- Neogene Evolution of the Triple Junction Region, Near Maraş, South Central Turkey. *Journal of the Geological Society London*, v. 147, p. 1023-1034, **1990**.
- [24] Kempler, D. and Garfunkel, Z., Northeast Mediterranean triple junction from a plate kinematics point of view, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, Special Issue 44, 425-454. **1991**.

- [25] Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J. F., Yürür, T., and Gündoğdu, N., The Maras Triple Junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation, *Journal of Geophysical Research*, 99 (B10), 20225-20242, **1994**.
- [26] Gözübol, A.M. ve Gürpınar, O., *Kahramanmaraş kuzeyinin jeolojisi ve tektonik evrimi*, Türkiye Beşinci Petrol Kongresi, **1980**.
- [27] Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Daire Başkanlığı, <http://deprem.gov.tr>, Ocak 2017.
- [28] Nefeslioğlu H.A., *Toprak Akmalarına İlişkin Tehlike Haritalarının Üretilmesi (Büyükköy Su Toplama Havzası, Çayeli, Rize)*, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, **2008**.
- [29] Hasekioğulları, G.D., *Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde parametre etkilerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, **2011**.
- [30] Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Planlama ve Zarar Azaltma Daire Başkanlığı, Bütünleşik Afet Tehlike Haritaların Hazırlanması Teknik Kılavuzu, **2014**.
- [31] Soeters, R. and Van Westen C. J., Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), Landslides, investigation and mitigation, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., pp 129-177, **1996**.
- [32] Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. and Carrara, A., Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy, *Environmental Management*, vol. 25, no. 3, 247–363, **2000**.
- [33] Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., Comparing landslide inventory maps, *Geomorphology* 94, 268-289, **2008**.
- [34] Guzzetti F., Mondini A.C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M. and Chang K.T., *Landslide inventory maps: new tools for and old problem*. *Earth-Science Reviews* 112, 42-66, **2012**.

- [35] Aleotti, P. and Chowdhury, R., Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, vol. 58, no. 1, 21–44, **1999**.
- [36] Metternicht, G., Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments, *Remote Sensing of Environment*, Volume 98, Issues 2-3, 284-303, **2005**.
- [37] Lee, S. and Lee, M.J., Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide-susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea, *Advances in Space Research*, 38, 2261-2271, **2006**.
- [38] Nichol, J.E., Shaker, A. and Wong, M.S., Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment, *Geomorphology*, Volume 76, Issues 1–2, 5, 68–75, **2006**.
- [39] Weirich, F. And Blesius, L., Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps, *Geomorphology*, 87, 352-364, **2007**.
- [40] Van Westen, C.J., Castellanos, E. and Kuriakose, S.L., Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview, *Engineering Geology*, 102: 112-132, **2008**.
- [41] Alkeveli, T. and Ercanoğlu, M., Assessment of ASTER satellite images in landslide inventory mapping: Yenice-Gökçebeý (Western Black Sea Region, Turkey), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 607-617, **2011**.
- [42] Komac, M. and Hribernik, K., Slovenian national landslide database as a basis for statistical assessment of landslide phenomena in Slovenia, *Geomorphology*, 249, 94-102, **2015**.
- [43] Leshchinsky, B. A., Olsen, M. J. and Tanyu, B. F., “Contour Connection Method for automated identification and classification of landslide deposits,” *Computers and Geoscience*, 74, 27-38, **2015**.
- [44] Ma, T., Li, C., Lu, Z. and Bao, Q., Rainfall intensity–duration thresholds for the initiation of landslides in Zhejiang Province, China, *Geomorphology*, vol. 245, pp. 193–206, **2015**.

- [45] Martha, T. R., Govindharaj, K. B. and Kumar, K. V. , Damage and geological assessment of the 18 September 2011 Mw 6.9 earthquake in Sikkim, India using very high resolution satellite data, *Geoscience Frontiers*, 6, 793-805, **2015**.
- [46] Pennington, C., Freeborough, K., Dashwood, C., Dijkstra, T. and Lawrie, K., The National Landslide Database of Great Britain: Acquisition, communication and the role of social media, *Geomorphology*, 249, 44-51, **2015**.
- [47] Samadro, K. K. G., Chen, G., and Sartohadi, J., Generating landslide inventory by participatory mapping: an example in Purwosari Area, Yogyakarta, Java, *Geomorphology*, **2015**.
- [48] Xu, C., Preparation of earthquake-triggered landslide inventory maps using remote sensing and GIS technologies: Principles and case studies,” *Geoscience Frontiers*, 6, 825-836, **2015**.
- [49] Xu, C., Xu, X. and Shyu, J. B. H., Database and spatial distribution of landslides triggered by the Lushan, China Mw 6.6 earthquake of 20 April 2013,” *Geomorphology*, vol. 248, pp. 77–92, **2015**.
- [50] Zieher, T., Perzl, F., Rössel, M., Rutzinger, M., Meißl, G., Markart, G. and Geitner, C., A multi-annual landslide inventory for the assessment of shallow landslide susceptibility - Two test cases in Vorarlberg, Austria, *Geomorphology*, 259, 40-54, **2016**.
- [51] Guzzetti, F., Carrara, A., and Cardinali, M., Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, vol. 31, pp. 181–216, **1999**.
- [52] Ayalew, L. and Yamagishi, H., The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, vol. 65, no. 1–2, 15–31, **2005**.
- [53] Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. and Savage, W.Z., Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning, *Engineering Geology*, 102, 3-4, 85-98, **2008**.
- [54] Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. and Savage, W.Z., Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 3-4, 99-111, **2008**.

- [55] Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S. and Gupta, R.P., A fuzzy set based approach for integration of thematic maps for landslide susceptibility zonation. *Georisk*, Vol. 3, Issue 1, 30-43 p., **2009**.
- [56] Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Duman, T., Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses, *Geomorphology*, vol. 72, 250–271, **2005**.
- [57] Ercanoğlu, M., Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks, *Natural Hazards Earth System Science*, vol. 5, 979–992, **2005**.
- [58] Ermini, L., Catani, F. and Casagli, N., Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment, *Geomorphology*, vol. 66, no. 1–4, 327–343, **2005**.
- [59] Gomez, H. and Kavzaoğlu, T., Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, *Engineering Geology*, vol. 78, no. 1–2, 11–27, **2005**.
- [60] Yeşilnacar, E. and Topal, T., Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey), *Engineering Geology*, vol. 79, no. 3–4, 251–266, **2005**.
- [61] Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. and Vescovi, P., A GISbased automated procedure for landslide susceptibility mapping by the Conditional Analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines), *Environmental Geology*, vol. 50, 941–961, **2006**.
- [62] Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C. and Nefeslioglu, H.A., Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: The Melen Gorge (NW Turkey), *Natural Hazards*, vol. 46, 323–351, **2008**.
- [63] Nefeslioglu, H.A., Sönmez, H. and Gökçeoğlu, C., 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*, vol. 97, no. 3–4, 171–191, **2008**.

- [64] Kawabata, D. and Bandibas, J., Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN), *Geomorphology*, vol. 113, no. 1–2, 97–109, **2009**.
- [65] Saito, E., Nakayama, D. and Matsuyama, H., Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains, Japan, *Geomorphology*, vol. 109, 108–121, **2009**.
- [66] Bai, S. B., Wang, J., Lu, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S. and Xu, S.N., GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, vol. 115, no. 1–2, 23–31, **2010**.
- [67] Dewitte, O., Chung, J.C., Cornet, Y., Daoudi, M. and Demoulin, A., Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: A likelihood ratio-based approach in W Belgium, *Geomorphology*, vol. 122, no. 1–2, 153–166, **2010**.
- [68] Pradhan, B. and Lee S., Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, *Environmental Modelling Software*, 25:747–759, **2010**.
- [69] Yeon, Y.K.A., Han, J.G. and Ryu, K.H., Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree, *Engineering Geology*, vol. 116, 274–283, **2010**.
- [70] Yılmaz, I., The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping by conditional probability and artificial neural networks, *Environmental Earth Sciences*, vol. 60, no. 3, 505–519, **2009**.
- [71] Süzen, M.L. and Doyuran, V., Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey, *Engineering Geology*, vol. 71, no. 3–4, 303–321, **2004**.
- [72] Yılmaz, I., Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine, *Environmental Earth Sciences*, vol. 61, no. 4, 821–836, **2010**.

- [73] Marjanoivic, J., Kovacevic, M., Bajat, B. and Vozenilek, V., Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, *Engineering Geology*, vol. 123, no. 3, 225–234, **2011**.
- [74] Oh, H.J. and Pradhan, B., Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Computers and Geosciences*, vol. 37, no. 9, 1264–1276, **2011**.
- [75] Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O. and Dick, O., Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh Province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, vol. 12, no. 29, 171–192, **2012**.
- [76] Mohammady, M., Pourghasemi, H.R. and Pradhan, B., Landslide susceptibility mapping at Golestan Province Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights of evidence models,” *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 61, 222–236, **2012**.
- [77] Song, Y., Gong, J., Gao, S., Wang, D., Cui, T., Li, Y. and Wei, B., Susceptibility assessment of earthquake-induced landslides using Bayesian network: A case study in Beichuan, China, *Computers and Geosciences*, 42,189-199, **2012**.
- [78] Xu, C., Dai, F., Xu, X. and Lee, Y.H., GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China, *Geomorphology*, 145-146, 70-80, **2012**.
- [79] Özdemir, A. and Altural, T., 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*, vol. 64, 180–197, **2013**.
- [80] Pradhan, B., A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS,” *Computer and Geoscience*, vol. 51, 350–365, **2013**.
- [81] Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.J. and Lee, J.H., A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping, *Catena*, **2014**.

- [82] Conforti, M., Muto, F., Rago, V. and Critelli, S., Landslide inventory map of north-eastern Calabria (South Italy), *Journal of Maps*, vol. 10, no. 1, 90–102, **2014**.
- [83] San, B.T., 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, **2014**.
- [84] Shahabi, H., Khezri, S., Bin Ahmad, B. and Hashim, M., Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, *Catena*, vol. 115, 55–70, **2014**.
- [85] Ahmed, B., Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh, *Landslides*, 12, 1077-1095, **2015**.
- [86] Ahmed, B., Landslide susceptibility modelling applying user-defined weighting and data-driven statistical techniques in Cox's Bazar Municipality, Bangladesh, *Natural Hazards*, 79, 1707-1737, **2015**.
- [87] Aristizabal, E., Garcia, E. and Martinez, C., Susceptibility assessment of shallow landslides triggered by rainfall in tropical basins and mountainous terrains," *Natural Hazards*, 78, 621-634, **2015**.
- [88] Bortoloti, F. D., Castro Junior, R. M., Araujo, L. C. and de Moraes, M. G. B., "Preliminary landslide susceptibility zonation using GIS-based fuzzy logic in Vitoria, Brazil, *Environmental Earth Science*, 74, 2125- 2141, **2015**.
- [89] Capecchi, V., Perna, M., and Crisci, A., Statistical modelling of rainfall-induced shallow landsliding using static predictors and numerical weather predictions: Preliminary results," *Natural Hazards Earth System Science*, 15, 75-95, **2015**.
- [90] Conoscenti, C., Ciaccio, M., Caraballo-Arias, N. A., Gómez-Gutiérrez, A., Rotigliano, E. and Agnesi, V., Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: A case of the Belice River basin (western Sicily, Italy), *Geomorphology*, 15, 75-95, **2015**.

- [91] Dehnavi, A., Aghdam, I. N., Pradhan, B. and Morshed Varzandeh, M. H., A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran, *Catena*, vol. 135, pp. 122–148, **2015**.
- [92] Guo, C., Montgomery, D. R., Zhang, Y., Wang, K. and Yang, Z., Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China, *Geomorphology*, vol. 248, pp. 93–110, **2015**.
- [93] Havenith, H. B., Torgoev, A., Schlögel, R., Braun, A., Torgoev, I. and Ischuk, A., Tien Shan Geohazards Database: Landslide susceptibility analysis," *Geomorphology*, 249, 32-43, **2015**.
- [94] Havenith, H. B., Strom, A., Torgoev, I., Torgoev, A., Lamair, L., Ischuk, A. and Abdrakhmatov, K., Tien Shan Geohazards Database: Earthquakes and landslides," *Geomorphology*, 249, 16-31, **2015**.
- [95] Henriques, C., Zêzere, J. L. and Marques, F., The role of the lithological setting on the landslide pattern and distribution, *Engineering Geology*, 189, 17-31, **2015**.
- [96] Hung, L. Q. , Van, N. T. H, Duc, D. M., Ha, L. T. C., Son, P. V., Khanh, N. H. and L. T. Binh, Landslide susceptibility mapping by combining the analytical hierarchy process and weighted linear combination methods: a case study in the upper Lo River catchment (Vietnam), *Landslides*, November **2015**.
- [97] Kavzoglu, T., Sahin, E. K. and Colkesen, I., Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm, *Engineering Geology*, 192, 101-112, **2015**.
- [98] Kayastha, P., Landslide susceptibility mapping and factor effect analysis using frequency ratio in a catchment scale: a case study from Garuwa sub-basin, East Nepal, *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 8601- 8613, **2015**.
- [99] Kumar, R. and Anbalagan, R. , Landslide susceptibility zonation in part of Tehri reservoir region using frequency ratio, fuzzy logic and GIS, *Journal of Earth System Science*,124, no:2, pp.431-448, **2015**.
- [100] Meinhardt, M., Fink, M. and Tünschel, H., Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: Comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics, *Geomorphology*, 234, 80-97, **2015**.

- [101] Meng, Q., Miao, F., Zhen, J., Wang, X., Wang, A., Peng, Y. and Fan, Q., GIS-based landslide susceptibility mapping with logistic regression, analytical hierarchy process, and combined fuzzy and support vector machine methods: a case study from Wolong Giant Panda Natural Reserve, China, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, September **2015**.
- [102] Nugraha, H., Wacano, D., Dipayana, G. A., Cahyadi, A., Mutaqin, B. W. and Larasati, A., Geomorphometric characteristics of landslides in the Tinalah Watershed, Menoreh Mountains, Yogyakarta, Indonesia, *Procedia Environmental Science*, vol. 28, no. 28, pp. 578–586, **2015**.
- [103] Opiso, E. M., Puno, G. R., Loui, J., Albuero, P. and Detalla, A. L., Landslide Susceptibility Mapping using GIS and FR Method along the Cagayan de Oro-Bukidnon-Davao City Route Corridor, Philippines, *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 0, no. 0, pp. 1–7, **2015**.
- [104] Palamakumbure, D., Flentje, P. and Stirling, D., Consideration of optimal pixel resolution in deriving landslide susceptibility zoning within the Sydney Basin, New South Wales, Australia, *Computer and Geoscience*, vol. 82, pp. 13–22, **2015**.
- [105] Pham, B. T., Bui, D. T., Pourghasemi, H. R., Indra, P. and Dholakia, M. B., Landslide susceptibility assessment in the Uttarakhand area (India) using GIS: a comparison study of prediction capability of naïve bayes, multilayer perceptron neural networks, and functional trees methods, *Theoretical and Applied Climatology*, December **2015**.
- [106] Piacentini, D., Devoto, S., Mantovani, M., Pasuto, A., Prampolini, M. and Soldati, M., Landslide susceptibility modeling assisted by persistent scatterers interferometry (PSI): An example from the northwestern coast of Malta, *Natural Hazards*, 78:681–697, **2015**.
- [107] Posner, A. J. and Georgakakos, K. P., Normalized Landslide Index Method for susceptibility map development in El Salvador, *Natural Hazards*, 79:1825–1845, **2015**.
- [108] Saponaro, A., Pilz, M., Wieland, M., Bindi, D., Moldobekov, B. and Parolai, S., Landslide susceptibility analysis in data-scarce regions: the case of Kyrgyzstan, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 74:1117–1136, **2015**.

- [109] Shou, K. J. and Yang, C. M., Predictive analysis of landslide susceptibility under climate change conditions - A study on the Chingshui River Watershed of Taiwan, *Engineering Geology*, 192, 46–62, **2015**.
- [110] Tang, C., Ma, G., Chang, M., Li, W., Zhang, D., Jia, T. and Zhou, Z., Landslides triggered by the 20 April 2013 Lushan earthquake, Sichuan Province, China, *Engineering Geology*, 187, 45–55, **2015**.
- [111] Trigila, A., Iadanza, C., Esposito, C. and Scarascia-Mugnozza, G., Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy), *Geomorphology*, 249, 119–136, **2015**.
- [112] Tsangaratos, P. and Iliu, I., Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map,” *Landslides*, 13, 379–397, **2016**.
- [113] Yusof, N. M., Pradhan, B., Shafri, H. Z. M., Jebur, M. N. and Yusoff, Z., Spatial landslide hazard assessment along the Jelapang Corridor of the North-South Expressway in Malaysia using high resolution airborne LiDAR data, *Arabian Journal of Geosciences*, 8:9789–9800, **2015**.
- [114] Youssef, A. M., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R. and Abdullahi, S., Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS, *Geosciences Journal*, Vol. 19, No. 3, p. 449-469, September **2015**.
- [115] Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., and Al-Katheeri M. M., Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia, *Landslides*, August, **2015** .
- [116] Wang, , Guo, M., Sawada, K., Lin, J. and Zhang, J., Landslide susceptibility mapping in Mizunami City, Japan: A comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models, *Catena*, 135, 271–282, **2015**.
- [117] Zhuang, J., Peng, J., Iqbal, J., Liu, T., Liu, N., Li, Y. and Ma, P., Identification of landslide spatial distribution and susceptibility assessment in relation to topography in the Xi’an Region, Shaanxi Province, China, *Frontiers of Earth Science Impact Factor*, 9(3): 449–462, **2015**.

- [118] Aghdam, I. N., Varzandeh, M. H. M. and Pradhan, B., Landslide susceptibility mapping using an ensemble statistical index (Wi) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model at Alborz Mountains (Iran), *Environmental Earth Sciences*, 75:553, **2016**.
- [119] Akgun A. and Erkan, O., 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*, 9:165, **2016**.
- [120] Basharat, M., Shah, H. R. and Hameed, N., Landslide susceptibility mapping using GIS and weighted overlay method: a case study from NW Himalayas, Pakistan, *Arabian Journal of Geosciences*, 9:292, **2016**.
- [121] Bui, D. T., Tuan T. A., Klempe, H., Pradhan, B. and Revhaug, I., Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree,” *Landslides*, vol. 13, pp. 361–378, **2016**.
- [122] Cárdenas, N. Y. and Mera, E. E., Landslide susceptibility analysis using remote sensing and GIS in the western Ecuadorian Andes, *Natural Hazards*, vol. 81: 1829–1859, **2016**.
- [123] Chen, W., Li, W., Chai, H., Hou, E., Li, X. and Ding, X., GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China, *Environmental Earth Science*, 75:63, **2016**.
- [124] Chen, W., Chai, H., Zhao, Z., Wang, Q. and Hong, H., Landslide susceptibility mapping based on GIS and support vector machine models for the Qianyang County, China, *Environmental Earth Science*, 75:474, **2016**.
- [125] Colkesen, I., Sahin, E. K. and Kavzoglu, T., Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression, *Journal of African Earth Sciences*, 118, 53-64, **2016**.
- [126] Dagdelenler, G., Nefeslioglu, H, A. and Gokceoglu, C., 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 Environment*, 75, 575-590, **2016**.

- [127] Erener, A., Mutlu, A. and Düzgün, H. S., A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM), *Engineering Geology*, 203, 45-55, **2016**.
- [128] Gorsevski, P. V., Brown, I. M. K., Panter, K., Onasch, C. M., Simic, A. and Snyder, J., Landslide detection and susceptibility mapping using LiDAR and an artificial neural network approach: a case study in the Cuyahoga Valley National Park, Ohio, *Landslides*, vol. 13, pp. 467–484, **2016**.
- [129] Hong, H., Pourghasemi, H. R. and Pourtaghi, Z. S., Landslide susceptibility assessment in Lianhua County (China): A comparison between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical models, *Geomorphology*, 259, 105-118, **2016**.
- [130] Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M. N., Bui, D. T., Xu, C. and Akgun, A., Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines, *Environmental Earth Science*, 75:40, **2016**.
- [131] Kumar, R. and Anbalagan, R., Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in Tehri Reservoir Rim Region, Uttarakhand, *Journal of Geological Society of India*, vol. 87, pp. 271–286, **2016**.
- [132] Lorentz, J. F., Calijuri, M. L., Marques, E. G. and Baptista, A. C., Multicriteria analysis applied to landslide susceptibility mapping, *Natural Hazard*, March **2016**.
- [133] Mousavi, S. M., “Landslide Susceptibility in Cemented Volcanic Soils, Ask Region, Iran, *Indian Geotechnical Journal*, May, **2016**.
- [134] Myronidis, D., Charalambos Papageorgiou B. and Theophanous, S., Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP), *Natural Hazards*, vol. 81, pp. 245–263, **2015**.
- [135] Okalp, K. and Akgün, H., National level landslide susceptibility assessment of Turkey utilizing public domain dataset, *Environmental Earth Science*, 75:847, **2016**.
- [136] Pathak, D., Knowledge based landslide susceptibility mapping in the Himalayas, *Geoenvironmental Disasters*, 3:8, **2016**.

- [137] Patriche, C. V., Pirnau, R., Grozavu, A. and Rosca, B., A Comparative Analysis of Binary Logistic Regression and Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Assessment in the Dobrov River Basin, Romania, *Pedosphere*, 26 (3), 335 - 350, **2016**.
- [138] Pineda, M. C., Vilorio, J. and Martinez-Casasnovas, J. A., Landslides susceptibility change over time according to terrain conditions in a mountain area of the tropic region, *Environmental Monitoring and Assessment*, 188:255, **2016**.
- [139] Pourghasemi, H. R. and Kerle, N., Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran, *Environmental Earth Sciences*, 75:185, **2016**.
- [140] Pradhan, A. M. S. and Kim, Y. T. ,Evaluation of a combined spatial multi-criteria evaluation model and deterministic model for landslide susceptibility mapping, *Catena*, 140, 125 -139, **2016**.
- [141] Rabonza, M. L., Felix, R. P. , Lagmay, A. M. F. A., Eco, R. N. C., Ortiz, I. J. G. and Aquino, D. T., Shallow landslide susceptibility mapping using high-resolution topography for areas devastated by super typhoon Haiyan, *Landslides*, 13, 201-210, **2016**.
- [142] Romer, C. and Ferentinou, M., Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment - A Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa, *Engineering Geology*, 201, 29-44, **2016**.
- [143] Shafique, M., van der Meijde, M. and Khan, M. A. , A review of the 2005 Kashmir earthquake-induced landslides; from a remote sensing prospective, *Journal of Asian Earth Sciences*, 118, 68-80, **2016**.
- [144] Son, J., Suh, J. and Park, H. D., GIS-based landslide susceptibility assessment in Seoul, South Korea, applying the radius of influence to frequency ratio analysis, *Environmental Earth Science*, 75:310, **2016**.
- [145] Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., El-Haddad, B. A. and Dhahry, B. K., 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 Environment*, **2016**.

- [146] Wang, Q., Li, W., Wu, Y., Pei, Y. and Xie, P., Application of statistical index and index of entropy methods to landslide susceptibility assessment in Gongliu (Xinjiang, China), *Environmental Earth Science*, 75:599, **2016**.
- [147] Wu, Y. , Li, W., Wang, Q., Liu, Q., Yang, D., Xing, M., Pei, Y. and Yan, S., Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China, *Arabian Journal of Geosciences*, 9:84, **2016**.
- [148] Xu, C., Shen, L. and Wang, G., Soft computing in assessment of earthquake-triggered landslide susceptibility, *Environmental Earth Science*, 75:767, **2016**.
- [149] Glade, T., Anderson, M. and Crozier, M., *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, Ltd., London, 802 pp. **2005**.
- [150] Corominas, J. and Moya, J., A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes, *Engineering Geology*, 102, 193-213, **2008**.
- [151] Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. and Ardizzone, F., Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale, *Geomorphology*, 72, 272-299, **2005**.
- [152] Davis, J. C., Chung, C. J. and Ohlmacher, G. C., Two models for evaluating landslide hazards, *Computers & Geosciences*, 32, 1120-1127, **2006**.
- [153] Fourniadis, I. G., Liu, J. G. and Mason, P. J., Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery: Wushan-Badong, *Geomorphology*, 84, 126-144, **2007**.
- [154] Neaupane, K. M. and Piantanakulchai, M., Analytic network process model for landslide hazard zonation, *Engineering Geology*, 85, 281-294, **2006**.
- [155] Claessens, L., Knapen, A., Kitutu, M. G., Poesen, J. and Deckers, J. A., Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan footslopes of Mount Elgon, *Geomorphology*, 90, 23-35, **2007**.
- [156] Katz, O. and Crouvi, O., The geotechnical effects of long human habitation (2000 years): Earthquake induced landslide hazard in the city of Zefat, northern Israel, *Engineering Geology*, 95, 57-78, **2007**.

- [157] Pradhan, B. and Lee, S., Utilization of optical remote sensing data and GIS tools for regional landslide hazard analysis using an artificial neural network model. *Earth Science Frontiers*, 14 (6), 143-152, **2007**.
- [158] Zolfaghari, A. and Heath, A. C., A GIS application for assessing landslide hazard over a large area, *Computers&Geosciences*, 35, 278-285, **2008**.
- [159] Budetta, P., Santo, A. and Vivencio, F., Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach, *Geomorphology*, 94, 340-352, **2008**.
- [160] Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S. and Paudyal, P., Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights of evidence, *Geomorphology*, 102, 496-510, **2008**.
- [161] Harp, E. L., Reid, M. E., McKenna, J. P. and Michael, J. A., Mapping of hazard from rainfall-triggered landslides in developing countries: Examples from Honduras and Micronesia, *Engineering Geology*, 104, 295-311, **2009**.
- [162] Pradhan, B., Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, *Advances in Space Research*, 45, 1244-1256, **2010**.
- [163] Hadji, R., Boumazbeur, A., Limani, Y., Baghem, M., Chouabi, A. and Demdoun, A., Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria, *Quaternary International*, 302, 224-237, **2013**.
- [164] Martha, T. R., Van Westen, C. J., Kerle, N., Jetten, N. and Kumar, K. V., Landslide hazard and risk assessment using semi-automatically created landslide inventories, *Geomorphology*, 184, 139-150, **2013**.
- [165] Rajabi, A. M., Khomehchiyan, M., MahdaviFar, M. R., Del Gaudio, V. and Capolongo, D., A time probabilistic approach to seismic landslide hazard estimates in Iran, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 48, 25-34, **2013**.
- [166] Luca, F., D'Ambrosio, D., Robustelli, G., Rongo, R. and Spatora, W., Integrating geomorphology, statistic and numerical simulations for landslide invasion hazard scenarios mapping: An example in the Sorrento Peninsula (Italy), *Computers&Geosciences*, 67, 163-172, **2014**.

- [167] Raghuvanshi, T. K., Ibrahim, J. and Ayelew, D., Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme-an approach for landslide hazard zonation, *Journal of African Earth Sciences*, in press. **2014**.
- [168] Wu, Y., Chen, L., Yin, K. and Török, A., GIS-based landslide hazard predicting system and its real-time test during a typhoon, Zhejiang Province, Southeast China, *Engineering Geology*, 175, 9-21, **2014**.
- [169] Hong, H., Pradhan, B., Xu, C. and Tien Bui, D., Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines, *Catena*, **2015**.
- [170] Lee, S., Won, J. S., Jeon, S. W., Park, I. and Lee, M. J., Spatial Landslide Hazard Prediction Using Rainfall Probability and a Logistic Regression Model, *Mathematical Geoscience*, **2015**.
- [171] Yi-Min M., M.-S. Zhang, Wang G. and Sun P. , Landslide hazards mapping using uncertain Naïve Bayesian classification method, *Journal Central South University*, vol. 22, pp. 3512–3520, **2015**.
- [172] Bourenane, H., Guettouche, M. S., Bouhadad, Y. and Braham, M., Landslide hazard mapping in the Constantine city, Northeast Algeria using frequency ratio, weighting factor, logistic regression, weights of evidence, and analytical hierarchy process methods, *Arabian Journal of Geosciences*, 9:154, 2016.
- [173] Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J. and Soeters, R., Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult?, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 65, Issue 2, pp. 167-184, **2006**.
- [174] Guzzetti, F., Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy, *Engineering Geology*, 58, 89-107, **2000**.
- [175] Rautela, P. and Lakhera, R. C., Landslide risk analysis between Giri and Tons rivers in Himachal Himalaya (India), *JAG*, Vol. 2 (3-4), 153-160, **2000**.
- [176] Vaunat, J. and Leroueil, S., Analysis of post-failure slope movements within the framework of hazard and risk analysis, *Natural Hazards*, 26, 83-109, **2002**.
- [177] Leiba, M. M., Baynes, F., Scott, G. and Granger, K., Regional landslide risk to the Cairns community, *Natural Hazards*, 30, 233-249, **2003**.

- [178] Sassa, K., Wang, G., Fukuoka, H., Wang, F., Ochiai, T., Sugiyama, M. and Sekiguchi, T., Landslide risk evaluation and hazard zoning for rapid and long-travel landslide in urban development areas, *Landslides*, 1, 221-235, **2004**.
- [179] Lateltin, O., Haemmig, C., Raetzo, H. and Bonnard, C., Landslide risk management in Switzerland, *Landslides*, 2, 313-320, **2005**.
- [180] Shou, K. J. and Chen, Y. L., Spatial risk analysis of Li-Shan landslide in Taiwan, *Engineering Geology*, 80, 199-213, **2005**.
- [181] Chung, C. J., Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment., *Computers&Geosciences*, 32, 1052-1068, **2006**.
- [182] Kunlong, Y., Lixia, C. and Zhang, G., Regional landslide hazard warning and risk assessment, *Earth Science Frontiers*, 14 (6), 85-97, **2007**.
- [183] Saldivar-Sali, A. and Einstein, H. H., A landslide risk rating system for Baguio, Philippines, *Engineering Geology*, 91, 85-99, **2007**.
- [184] Remondo, J., Bonachea, J. and Cendrero, A., Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences, *Geomorphology*, 94, 496-507, **2008**.
- [185] Zezere, J. L., Garcia, R. A. C., Oliviera, S. C. and Reis, E., Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal), *Geomorphology*, 94, 467-495, **2008**.
- [186] Lee, Y. F. and Chen, Y. Y., Rainfall-induced landslide risk in Lushan-Taiwan. *Engineering Geology*, 123, 113-121, **2011**.
- [187] Mousavi, S. M., Omidvar, B., Ghazban, F., and Feyzi, R., Quantitative risk analysis for earthquake-induced landslides—Emamzadeh Ali, Iran, *Engineering Geology*, 122, 191-203, **2011**.
- [188] Bednarik, M., Yilmaz, I. and Marschalko, M., Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec–Sered’ landslide area in south-west Slovakia, *Natural Hazards*, 64, 547-575, **2012**.

- [189] Ali, A., Huang, J., Lyamin, A. V., Sloan, S. W., Griffiths, D. V., Cassidy, M. J. and Li, J. H., Simplified quantitative risk assessment of rainfall-induced landslides modelled by infinite slopes, *Engineering Geology*, 179, 102-116, **2014**.
- [190] Promper, C., Puissant, A., Malet, J. P. and Glade, T., Analysis of land cover changes in the past and the future as contribution to landslide risk scenarios, *Applied Geography*, 53, 11-19, **2014**.
- [191] Peng, L., Xu, S., Hou, J. and Peng, J., Quantitative risk analysis for landslides: the case of the Three Gorges area, China, *Landslides*, **2015**.
- [192] Promper, C., Gassner, C. and Glade, T., Spatiotemporal patterns of landslide exposure - a step within future landslide risk analysis on a regional scale applied in Waidhofen/Ybbs Austria, *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, **2015**.
- [193] Ciabatta, L., Camici, S., Brocca, L., Ponziani, F., Stelluti, M., Berni, N. and T. Moramarco, Assessing the impact of climate-change scenarios on landslide occurrence in Umbria Region, Italy, *Journal of Hydrology*, **2016**.
- [194] UNISDR, Terminology on Disaster Risk Reduction, UNISDR-20-Geneva, **2009**.
- [195] Aleotti P., Baldelli P., and Polloni G., Landsliding and flooding event triggered by heavy rains in the Tanaro basin, Italy, Proceedings International Congress Interpraevent, Garmisch-PartenKirchen, Vol. 1, 1996, 435-446, **1996**.
- [196] International Association of Engineering Geology (IAEG), *Engineering geological map: a guide to their preparation*. UNESCO press, Paris, **1976**.
- [197] Cascini, L., Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales, *Engineering Geology*, 102, 3-4, 161-177, **2008**.
- [198] Foster, C., Pennington, C.V.L. and Culshaw, M.G., The national landslide database of Great Britain: development, evolution and applications, *Environmental Earth Science*, 66: 941-953, **2012**.
- [199] Sützen, M. L. and Doyuran, V., A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate, *Environmental Geology*, 45, 665-679, **2004**.

- [200] Ayalew L, Yamagishi H, Marui H and Kanno, T., Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications, *Engineering Geology*, 81:432–445, **2005**.
- [201] SafeLand, Living with landslide risk in Europe: Assessment, effect of global change and risk management strategies, 7th Framework Programme Cooperation Theme 6 Environment Sub-Activity 6.1.3 Natural Hazard. Deliverable / Work Package Leader: UPC, Final Report , April **2011**.
- [202] Corominas, J. , Van Westen, C., Frattini, P., Cascini L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitalakis, K., Winter, M. G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Herva´s, J. and Smith, J. T., Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, Volume 73, Number 2 , **2014**.
- [203] Ercanoğlu, M. and Temiz, F.A., Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey), *Environmental Earth Science*, 64, 949-964, **2011**.
- [204] Tatlıdil, H., *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, Akademi Matbaası, Ankara, 424 s. **1996**.
- [205] Eastman, J.R., Idrisi Taiga, Guide To GIS and Image Processing, User's Guide (Ver. 15). Clark University Press, USA, 328 pp, **2009**.
- [206] Ott, R.L. and Longnecker, M., An introduction to statistical methods and data analysis, 5th edn. Duxbury Press, USA, **2001**.
- [207] Menard, S., Applied logistic regression analysis, 2nd Edition. SAGE, USA, 111 pp, **2002**.
- [208] Clark, W.A. and Hosking, P.L., Statistical methods for geographers, Wiley, USA, **1986**.
- [209] Lee, S. and Talib, J. A., Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, *Environmental Geology*, 47:982–990, **2005**.
- [210] Barsbay A. , *Karabük ili Bütünleşik Afet Tehlike Haritlarının Hazırlanması, Örnek Çalışma*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Uzmanlık Tezi, **2015**.

- [211] Myers, J.H. and Alpert, M.I., Determinant Buying Attributes: Meaning and Measurement, *Marketing*, 32, 10, 13-20. 968, **2009**.
- [212] Saaty, T.L., That is not the Analytic Hierarchy Process: What the AHP is and What it is not, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6, 6, 324–335, **1997**.
- [213] Çellek, S., *Sinop Gebze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı , **2013**.
- [214] Çellek, S., Bulut, F. ve Ersoy, H., AHP Yönteminin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi), *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39, 2, 2015. sayfa 59-89, **2015**.
- [215] Saaty, T.L., A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 3, 234-281, **1977**.
- [216] Saaty, T.L., Decision Making with the Analytic Hierarchy Processint, *Journal of Services Sciences*, 1, 1. **2008**.
- [217] Yaralıoğlu, K., Analitik Hiyerarsi Proses (AHP) Modeli İle Genel Seçim Sonuçlarının Öngörülmesi, 4. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, Antalya, **1999**.
- [218] Fawcett, T., An Introduction to ROC Analysis, *Pattern Recognition Letters*, 27, 8, 861-874, **2006**.
- [219] Çil E., *Erdemli (Mersin) Yöresinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Olası Tehlike Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, **2009**.
- [220] Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri*, 23, 189–206, **2001**.
- [221] Dağ S., Bulut F., Alemdağ S., Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2:151-176, **2011**.

- [222] Varnes D. J., Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, *Nat. Hazards*, vol. 3, p. 61, **1984**.
- [223] Hartlen, J. and Viberg, L., General Report: Evaluation of landslide hazard. Proc. V. Int. Symp. on Landslides, Lausanna, 2, 1037-1057, **1988**.
- [224] Crovelli, R.A., Probability Models for Estimation of Number and Costs of Landslides: U.S. Geological Survey Open File Report 00-249, 23 p., available at <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-00-0249/>, **2000**.
- [225] Zezere, J.L., Reis, E., Garcia, R., Oliviera, S., Rodrigues, M.L., Vieira, G., and Ferreira, A.B., Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 133–146, **2004**.
- [226] Catani, F., Casagli, N., Ermini, L., Righini, G. and Menduni, G., Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. *Landslides*, 2, 329–342, **2005**.
- [227] Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C. and Jaedicke, C., Global landslide and avalanche hotspots, *Landslides*, 3: 159-173, **2006**.
- [228] Jaiswal, P., Van Westen, C.J. and Jetten, V.G., Quantitative estimation of landslide risk from rapid debris slides on natural slopes in the Nilgiri hills, India. In: *Natural hazards and earth system sciences (NHES)*: open access, 11, 6 pp., 1723-1743, **2011**.
- [229] Gumbel, E.J., *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York, **1958**.
- [230] Usul, N., *Engineering Hydrology*, METU Press Publishing Company, Ankara, 404 p., **2001**.
- [231] Erener, A., *An Approach For Landslide Risk Assesment By Using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS)*, Degree of Doctor of Philosophy, Middle East Technical University, Geodetic and Geographic Information Technologies Department, **2009**.
- [232] Lee, E.M., and Jones, D.K.C., *Landslide risk assessment*, Thomas Telford Publishing, London, 454 pp, **2004**.

- [233] Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S. and Leroi, E., A framework for landslide risk assessment and management. In *Landslide Risk Management*, London, 3-26, **2005**.
- [234] Nefeslioglu, H. A. and Gokceoglu C., Probabilistic Risk Assessment in Medium Scale for Rainfall-Induced Earthflows: Catakli Catchment Area (Cayeli, Rize, Turkey). *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2011, Article ID 280431, 21 pages, **2011**.
- [235] Akgun, A., Kincal, C. and Pradhan, B., Application of remote sensing data and GIS for landslide risk assessment as an environmental threat to Izmir city (west Turkey), *Environmental Monitoring and Assessment*, 184:5453 – 5470, **2012**.
- [236] Akgün, A., Dag, S. and Bulut F., Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, *Environmental Geology*, 54: 1127-1143, **2008**.
- [237] Galli, M., and Guzzetti, F., Landslide vulnerability criteria: A case study from Umbria, central Italy. *Environmental Management*, 40, 649–664, **2007**.
- [238] Erener, A. and Düzgün S., A regional scale quantitative risk assessment for landslides: case of Kumluca watershed in Bartın, Turkey, *Landslides*, 10:55–73, **2013**.
- [239] Varnes, D. J., Slope movement types and processes. In R. L. Schuster & R. J. Krizek (Eds.), *Landslides analysis and control Special report*, vol 176 (pp. 12–33). New York: Transportation Research Board, National Academy of Sciences. **1978**.
- [240] Althuwaynee, O.F. and Pradhan, B., Semi-quantitative landslide risk assessment using GIS-based exposure analysis in Kuala Lumpur City, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **2016**.
- [241] Wang, H., Gangjun, L., Weiya, X. and Gonghui, W., GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Prog Phys Geog.* 29:548–567, **2005**.
- [242] Armaş I., Diagnosis of landslide risk for individual buildings: insights from Prahova Subcarpathians, Romania, *Environmental Earth Science*, 71:4637–4646, **2014**.

- [243] Huggett, R. and Cheesman, J., *Topography and the Environment*. Prentice Hall, England, 274 p., **2002**.
- [244] Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson, A.R., Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications, *Hydrological Processes*, 5(1), 3-30, **1991**.
- [245] Ayanew, T. and Barbieri, G., Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia, *Engineering Geology*, 77, 1-15, **2005**.
- [246] Baeza, C. and Corominas, J., Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1251-1263, **2001**.
- [247] Lee, S. and Min, K., Statistical Analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea, *Environmental Geology*, 40, 1095-1113, **2001**.
- [248] Wilson, J.P. and Gallant, J.C., *Terrain analysis principles and applications*. John Wiley and Sons, Inc., Canada, 479p., **2000**.
- [249] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W., Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 301-317. Greenbelt, MD: NASA, **1974**.
- [250] Nafarzadegan, A.R., Talebi A., Malekinezhad, H. and Emami, N, Antecedent Rainfall Thresholds for the Triggering of Deep-Seated Landslides (Case study: Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran), *ECOPERSIA*, Vol. 1(1), **2013**.
- [251] Marques,R., Zezere, J.L, Trigo, R.M., Gaspar, J. and Trigo,I., Rainfall patterns and critical values associated with landslides in Povoacao County (Sao Miguel Island, Azores): relationships with the North Atlantic Oscillation. *Hydrological Process*, 22, 478-494, **2008**.
- [252] Zezere, J. L., Trigo, R.M., Fragoso, M., S. C. Oliveira and Garcia R. A. C., Rainfall-triggered landslides in the Lisbon region over 2006 and relationships with the North Atlantic Oscillation, *Natural Hazards Earth System, Sci.*, 8, 483-499, **2008**.

- [253] Lateh, H., Tay, L. T. , Khan, Y. A., Abdulbasah Kamıl, A. and Nazırh A., Prediction of landslide using Rainfall Intensity-Duration Threshold along East-West Highway, Malaysia, *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 2 (AICCE'12 & GIZ'12), pp.124-133, **2013**.
- [254] Afungang, R.N. and Bateira, C. V., Temporal probability analysis of landslides triggered by intense rainfall in the Bamenda Mountain Region, Cameroon, *Environmental Earth Science*, 75:1032, **2016**.
- [255] Palenzuela, J. A., Jime´nez-Pera´lvarez, J. D., Chaco´n, J. and Irigaray, C., Assessing critical rainfall thresholds for landslide triggering by generating additional information from a reduced database: an approach with examples from the Betic Cordillera (Spain), *Natural Hazards*, 84:185–212, **2016**.
- [256] Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Görüm, T., Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey), *Landslides*, 8, 4, 459 – 483, **2011**.
- [257] Dahal, R.K. and Hasegawa, S., Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya, *Geomorphology*, 100, 429–443, **2008**.
- [258] Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D. and Guzzetti, F., Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy, *Natural Hazards Earth System Science*, 10, 447–458, **2010**.
- [259] Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I. and Dick, Ø. B., Regional prediction of landslide hazard using probability analysis of intense rainfall in the Hoa Binh province, Vietnam, *Natural Hazards*, 66(2):707–730, **2013**.
- [260] Lainas, S., Sabatakakis, N. and Koukis, G., Rainfall thresholds for possible landslide initiation in wildfire-affected areas of western Greece, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75:883–896, **2016**.
- [261] Ghosh, S., Van Westen, C. J, Carranza, E. J. M. and Jetten, V. G., Integrating spatial, temporal, and magnitude probabilities for medium-scale landslide risk analysis in Darjeeling Himalayas, India, *Landslides*, 9:371–384, **2012**.

EKLER

EK - 1

01/01/1900 - 28/09/2016 tarihleri arasında, (37.242 - 38.598) K ve (36.170 - 37.632) D koordinat aralığında, büyüklüğü $4 \leq M < 10$ arasında olan depremler listelenmiştir.

Deprem no	Tarih (UTC)	Enlem	Boylam	Derinlik	Kaynak	Tip	Büyükük
1	26/08/2015 23:01:44	37.3283	36.9338	10.2	AFAD-DDA	Mw	4
2	16/06/2013 20:31:38	38.1072	37.0793	13.05	AFAD-DDA	MI	4.1
3	06/05/2013 18:33:18	37.3033	37.13	12.36	AFAD-DDA	MI	4.3
4	01/05/2013 06:50:51	37.298	37.114	13.26	AFAD-DDA	MI	4.4
5	01/05/2013 06:47:56	37.306	37.1017	7.89	AFAD-DDA	MI	4.2
6	25/04/2013 22:54:14	37.3105	37.1127	12.01	AFAD-DDA	MI	4.4
7	19/04/2013 20:50:00	37.3173	37.1225	8.2	AFAD-DDA	MI	4
8	04/04/2013 06:34:26	37.3193	37.121	8.95	AFAD-DDA	MI	4.1
9	08/01/2013 06:15:05	37.9108	37.9265	7.6	AFAD-DDA	Mw	4.3
10	24/12/2012 04:14:49	37.8497	37.0177	12.4	AFAD-DDA	MI	4
11	18/11/2012 19:18:45	37.3262	37.133	27.95	AFAD-DDA	MI	4
12	14/11/2012 00:03:20	37.3368	37.1902	7.1	AFAD-DDA	MI	4
13	14/11/2012 00:01:59	37.3052	37.1202	27.71	AFAD-DDA	MI	4.4
14	13/11/2012 23:55:49	37.3055	37.12	23.41	AFAD-DDA	MI	4.7
15	16/10/2012 10:25:05	37.271	37.1372	28.96	AFAD-DDA	MI	4.6
16	16/10/2012 01:16:18	37.2773	37.1484	13.3	AFAD-DDA	MI	4.6
17	20/09/2012 01:11:12	37.3151	37.1366	12.88	AFAD-DDA	MI	4
18	19/09/2012 23:15:07	37.29	37.1467	25.44	AFAD-DDA	MI	4.3
19	19/09/2012 09:17:46	37.2838	37.1398	22.35	AFAD-DDA	Mw	5
20	19/09/2012 07:19:21	37.3145	37.1168	26.02	AFAD-DDA	MI	4
21	08/09/2012 10:01:06	37.2895	37.1293	21.68	AFAD-DDA	MI	4.3
22	20/08/2008 11:01:39	37.6729	37.5022	1.7	ISC	mb	4.1
23	15/09/2007 23:28:49	37.792	36.92	10.8	EHB	mb	4.3
24	15/09/2007 05:26:53	37.809	36.996	8.5	EHB	mb	4.5
25	24/08/2007 02:53:12	38.1493	37.4507	1.2	ISC	mb	4.3
26	23/04/2006 04:00:29	37.491	36.8336	12.3	ISC	mb	4

27	02/04/2001 16:58:12	38.31	37.4	6	ISC	mb	4.1
28	02/04/2000 17:26:56	37.62	37.233	26.5	ISC	mb	4.1
29	02/04/2000 11:41:27	37.629	37.37	27.9	ISC	mb	4.4
30	15/02/1997 15:56:16	38.0909	36.8422	64.2	ISC	Md	4.1
31	02/04/1996 23:17:39	37.48	36.7	11	ISC	mb	4
32	16/01/1996 12:45:58	38.1861	37.5096	10	ISC	MI	4.1
33	23/06/1994 20:11:27	37.7576	37.4763	10	ISC	mb	4.4
34	29/05/1992 06:55:56	37.562	36.8304	6.9	ISC	mb	4.2
35	02/04/1989 18:26:50	37.76	36.66	10	ISC	mb	4
36	18/01/1988 21:41:04	37.7991	37.5984	2.7	ISC	mb	4.4
37	30/10/1987 10:28:31	37.636	37.5649	10	ISC	mb	4.7
38	02/09/1987 08:59:54	37.99	37.1	10	ISC	mb	4.1
39	08/08/1986 18:51:48	38.019	37.747	30.3	EHB	mb	4.6
40	17/06/1986 02:30:32	38.0173	37.8605	10	ISC	mb	4
41	15/06/1986 10:02:27	38.003	37.8193	28.3	ISC	mb	4.4
42	15/06/1986 09:28:54	38.0527	37.916	10	ISC	mb	4
43	15/06/1986 09:18:34	38.0422	37.8153	10	ISC	mb	4.5
44	10/06/1986 07:57:43	38.0327	37.8462	30.5	ISC	mb	4.6
45	09/06/1986 03:30:43	37.968	37.7974	10	ISC	mb	4.2
46	09/06/1986 01:59:38	37.98	36.9	10	ISC	mb	4.1
47	06/06/1986 18:15:07	38.0248	37.8168	10	ISC	mb	4.2
48	06/06/1986 12:07:55	38.0142	37.9098	10	ISC	mb	4.4
49	06/06/1986 11:29:46	38.0211	37.8394	10	ISC	mb	4.4
50	06/06/1986 10:39:50	38.005	37.912	21.9	EHB	Mw	5.8
51	07/05/1986 12:35:34	37.985	37.8483	10	ISC	mb	4.2
52	05/05/1986 11:31:21	37.97	37.88	10	ISC	mb	4
53	05/05/1986 07:01:33	38.0576	37.7875	36.4	ISC	mb	4.6
54	05/05/1986 04:09:32	38.1191	37.8115	10	ISC	mb	4.2
55	05/05/1986 03:35:39	38.001	37.783	4.1	EHB	Mw	6
56	22/06/1985 07:58:35	37.26	36.9774	33	ISC	mb	4.5
57	24/07/1981 14:54:32	38.0975	37.8935	10	ISC	mb	4.5

58	05/10/1980 21:31:41	37.6005	37.1496	63.9	ISC	mb	4
59	04/12/1978 03:12:38	38.047	37.42	26.8	EHB	MS	4.6
60	03/04/1976 09:50:00	37.9	37.73	10	ISC	mb	4
61	08/06/1975 02:30:02	38.269	37.6391	27.7	ISC	mb	4.2
62	18/01/1974 14:41:32	37.87	37.86	28	ISC	MS	4
63	19/05/1973 03:24:16	38.3047	37.9092	56.3	ISC	MS	4.1
64	29/06/1971 11:13:41	37.3295	36.7206	12.4	ISC	mb	4.5
65	13/10/1970 00:53:37	38.28	36.98	34	ISC	mb	4.6
66	26/03/1962 21:13:28	38.3	37.13	10	Alsan ve Diğ.1975	MS	4.2
67	01/06/1961 16:31:44	37.65	36.76	40	Ayhan ve Diğ.1981	MS	5
68	01/02/1922 16:52:44	38	37	10	Ayhan ve Diğ.1981	MS	5.3
69	02/11/1908 00:00:00	38	37.3	10	Ambraseys-Finkel 1987	MS	4.4
70	30/10/1908 11:30:00	37.6	36.8	10	Ayhan ve Diğ.1981	MS	5.4
71	25/02/1901 00:00:00	38.02	37.13	10	Ambraseys-Finkel 1987	MS	4.4
72	10/01/1901 00:00:00	38.02	37.13	10	Ambraseys-Finkel 1987	MS	5.5
73	25/11/1900 17:00:00	38.1	36.65	10	Ambraseys-Finkel 1987	MS	4.7
74	27/01/1900 02:30:00	37.63	37.37	10	Ambraseys-Finkel 1987	MS	4.8

Kaynak: 1900-2012 yılları arası $M \geq 4.0$ katalog verisi; UDSEP-2023 kapsamında MTA yürütücülüğünde başlatılan “**Türkiye Sismotektonik Haritası Projesi**” nin bir alt ürünüdür ve söz konusu proje kapsamında F. Tuba Kadıroğlu, Recai F. Kartal, Tuğbay Kılıç, Doğan Kalafat, Tamer Y. Duman, Selim Özalp ve Ömer Emre tarafından düzenlenmiştir.

EK - 2



T.C. Başbakanlık
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı
Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemi Sonuçları

Yer : KahramanmaraşSenaryoDepremi
Tarih : 03/08/2016
Saat : 10:00:00
Büyükük : 7.5 Mw
Koordinat : 37.59 K - 37.33 D
Derinlik : 12.0 km
Maximum Şiddet : XII

Tahmini Sismik Şiddet Haritası



AFAD
T.C. Başbakanlık
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
Deprem Dairesi Başkanlığı



03/08/2016
KahramanmaraşSenaryoDepremi (Mw): 7.5

MTA Dirli Faylar (2011)

- I Hissedilmez
- II Zayıf
- III Hafif
- IV Orta
- V Oldukça Güçlü
- VI Güçlü
- VII Çok Güçlü
- VIII Yıkıcı
- IX Şiddetli
- X Yoğun
- XI Aşırı
- XII Tam Yıkım

KahramanmaraşSenaryoDepremi (Mw): 7.5 Depremi Tahmini Hasar ve Can Kaybı İstatistikleri

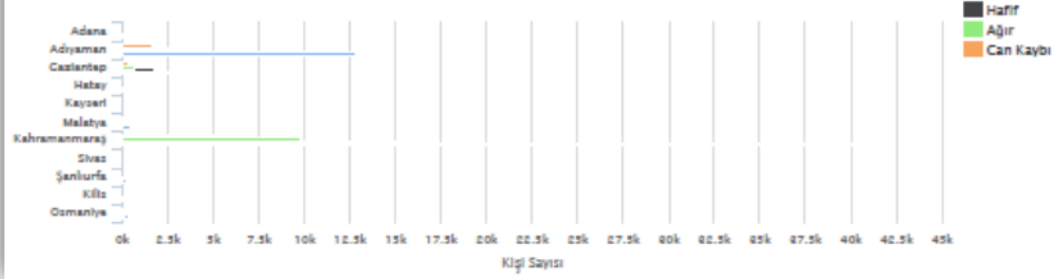
Can Kaybı : 7334 Ağır Yaralı : 13700 Hafif Yaralı : 22468 Etkilenen Toplam Nüfus : 5772475 Toplam Hasarlı Bina : 345438

21.10.2016

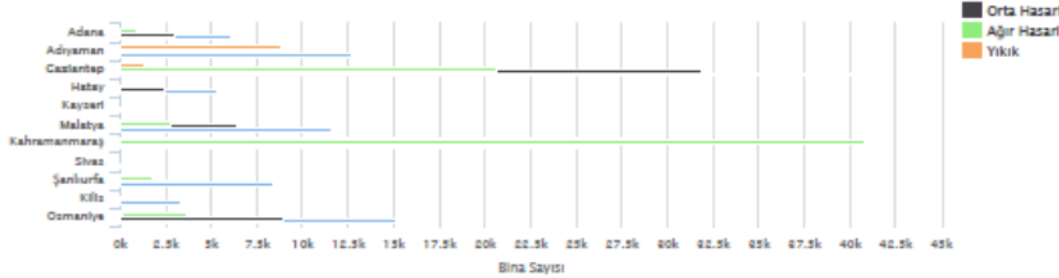
AFAD Web Uygulaması

İl	Bina Sayısı	Az Hasarlı Bina	Orta Hasarlı Bina	Ağır Hasarlı Bina	Yıkık Bina	Etkilenen Toplam Nüfus	Ayakta Tedavi	Hafif Yaralı	Ağır Yaralı	Can Kaybı	Geçici Barınma (Kişi Sayısı)
Adana	63845	6052	2942	881	14	240831	83	26	4	2	1727
Adıyaman	99581	12700	9893	8725	8758	549674	12800	4712	3065	1635	62212
Gaziantep	263096	41226	31849	20656	1361	1931468	4723	1763	682	363	83135
Hatay	58890	5342	2492	696	9	279922	80	24	4	2	1639
Kayseri	1612	126	53	13	0	1257	0	0	0	6	5
Malatya	109038	11571	6460	2774	130	684818	401	137	41	31	7438
Kahramanmaraş	212954	26167	26710	40800	28526	1087369	41931	15587	9849	5251	248076
Sivas	622	50	21	5	0	1257	0	0	0	7	6
Şanlıurfa	76998	8348	4623	1795	51	348996	196	66	17	17	4008
Kilis	29905	3329	1791	623	13	130369	64	21	4	2	1361
Osmaniye	123419	15162	8947	3642	99	516514	380	131	33	18	7988
Toplam	1008961	130083	96794	80610	38981	6772476	80658	22488	13700	7834	417698

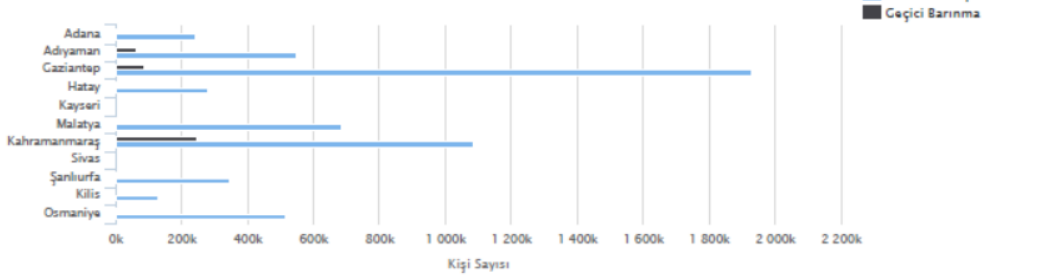
İller Genelinde Hafif/Ağır Yaralı Sayısı ve Can Kaybı Grafiği



İller Genelinde Az/Orta/Ağır Hasarlı ve Yıkık Bina Sayısı Grafiği



İller Genelinde Etkilenen Toplam Nüfus/Geçici Barınma Kişi Sayısı Grafiği



EK - 3

1990 - 2016 yılları arasında araştırmacılar tarafından heyelan potansiyeli araştırmalarında kullanılan yöntemler ve parametreler.

NO	YAZAR-YAZARLAR	YÖNTEM	HAZIRLAYICI PARAMETRELER																						
			JEOLOJİK					TOPOGRAFİK										ÇEVRESEL					MORFOLOJİK		
			J1	J2	J3	J4	J5	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	C1	C2	C3	C4	C5		M	
1	Abdolmasov ve Obradovic (1997)	Bulanık Mantık	x	x						x		x													
2	Ozdemir (2016)		x	x			X	x	x	x			x								x				
3	Aghdam vd. (2016)	Wi>ANFIS	x			x	X	x	x	x	x		x								x	x	x		
4	Ahmed (2015a)	OWA>WLC>AHP						x	x				x							x	x	x	x		
5	Ahmed (2015b)	MLR>AHP>WLC>LR							x				x							x	x	x	x	X	
6	Ahmed ve Rogers (2016)		x				X						x												
7	Akgun vd. (2012)							x	x		x					x									
8	Akgun ve Erkan (2016)	LR>SINMAP	x				x	x	x	x				x		x									
9	Akpan vd. (2015)					x																			
10	Althuwaynee vd. (2012)		x				x	x	x	x			x	x		x					x	x	x		
11	Althuwaynee vd. (2014)			x				x	x	x			x	x		x					x				

28	Bourenane vd. (2016)	FR>WoE>AHP>LR	x				X		x	x			x						x	x	x		
29	Bui vd. (2012a)		x				X		x	x	x		x						x	x			
30	Bui vd. (2012b)		x				X		x	x			x						x	x	x		
31	Bui vd. (2016a)	MLP>SVM>KLR>RBF	x		x	x		x	x	x					x	x	x		x	x			
32	Bui vd. (2016b)		x		x		X	x	x	x			x		x	x	x			x			
33	Ca´rdenas ve Mera (2016)	Yule Sabiti ve DDA	x						x	x	x	x							x	x			
34	Calvello vd. (2015)	Erken Uyarı Sistemi																	x				
35	Can vd. (2005)		x						x	x	x									x			
36	Capecchi vd. (2015)	Genelleştirilmiş Doğrusal Model ve Breinman Karar Ağacı Yöntemi		x			x	x	x		x	x	x				x	x	x	x			
37	Carrara et al. (1991)	Çok Değişkenli İstatistik	x	x				x	x	x	x	x								x			x
38	Carrara et al. (1995)	Çok Değişkenli İstatistik	x	x		x			x		x					x				x			
39	Cascini (2008)		x		x				x														
40	Castellanos Abella ve Van Westen (2008)		x				x		x			x	x										
41	Chang (1992)	Çakıştırma	x	x		x		x		x		x	x										x

42	Chang ve Wan (2015)	Distance Rough Set						x	x									x	x		x		
43	Chauhan vd. (2010)		x					x															
44	Che vd. (2012)		x					x	x	x	x									x	x	x	
45	Chen vd. (2016)	CF>AHP	x					x	x	x	x									x			x
46	Chen vd. (2016b)	SVM	x					x	x	x	x	x		x		x		x	x	x		x	x
47	Choi vd. (2012)							x		x	x	x									x		
48	Choubey and Litoria (1990)	Çakıştırma	x					x												x			
49	Choubey et al. (1992)	Çakıştırma	x					x		x										x			
50	Chowdhury and Flentje (1997)	Çakıştırma	x					x		x	x										x		
51	Chung et al. (1995)	Çok Değişkenli İstatistik	x					x			x										x	x	
52	Ciabatta vd. (2016)	PRESCA yazılımı		x																	x		
53	Ciurleo vd. (2016)	Bivariate İstatistik Analiz		x				x		x	x	x											
54	Clerici et al. (2002)	Çift Değişkenli İstatistik	x							x	x		x								x	x	
55	Coelho-Netto vd. (2007)		x							x											x		x
56	Colkesen vd. (2016)	GPR>SVM>LR	x							x	x	x	x								x	x	
57	Conforti vd. (2014)							X	x	x	x	x											

58	Conoscenti vd. (2008)		x						x							x	x						
59	Conoscenti vd. (2015)	MARS > LR						x	x	x	x		x			x						X	
60	Çevik and Topal (2003)	Çift Değişkenli İstatistik	x			x		x	x	x			x							x			
61	Dagdelenler vd. (2016)	Kök Hücre						x			x				x	x	x						
62	Dai and Lee (2003)	Çok Değişkenli İstatistik	x					x	x	x	x								x	x			
63	Dai et al. (2001)	Çok Değişkenli İstatistik	x					x	x	x			x							x			
64	Damm vd. (2010)								x	x													
65	Damm ve Klose (2015)		x						x	x	x										x		
66	Das vd. (2012)		x	x	x		x		x	x			x								x	x	
67	Deb ve El-Kadi (2009)			x				x	x								x						
68	Dehnavi vd. (2016)	SWARA-ANFİS > SWARA ve ANFİS	x			x	x	x	x	x	x		x								x	x	x
69	Demoulin vd. (2007)		x					x	x	x			x										
70	Dewitte vd. (2010)		x					x	x	x	x		x									x	
71	Domínguez-Cuesta vd. (2007)							x	x	x	x												
72	Dragicevi vd. (2015)			x				x	x	x	x		x								x	x	
73	Dymond vd. (2006)		x						x														

74	Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2004)						x	x	x	x		x	x					x			x		
75	Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2002)	Bulanık Mantık						x	x	x			x								x		
76	Erener vd. (2016)	LR ~ ARM >MCDA	x	x			x	x	x	x			x								x	x	
77	Ermini vd. (2005)		x						x												x		
78	Eskandari vd. (2016)		x						x				x								x	x	
79	Fall vd. (2006)											x											
80	Federicia vd. (2007)		x						x				x								x		
81	Fernandez et al. (1999)	Matris Analizi	x					x	x	x	x		x					x	x				X
82	García-Rodríguez vd. (2008)		x					x	x	x											x	x	
83	Ghosh vd. (2011)		x	x			X		x	x			x					x			x		
84	Godt vd. (2008)								x														
85	Goetz vd. (2011)							x	x				x					x			x	x	
86	Goetz vd. (2015)		x					x	x	x	x	x						x					
87	Gökçeoğlu vd. (2005)		x					x	x	x					x			x					
88	Gomez ve Kavzoglu (2005)								x	x								x	x	x			

105	Hong vd. (2015)	ADT>KLR>SVM	x				x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x		
106	Hong vd. (2016b)	SVM	x				x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x		
107	Hong ve Adler (2008)		x	x					x	x							x		x			
108	Hung vd. (2015)	AHP ve WLC			x	x		x	x				x							x		
109	Ilanloo (2011)		x				x	x	x	x		x	x						x	x	x	
110	Isaza-Restrepo vd. (2016)	First Order Second Moment Method/Fosm Ve Point Estimation Method /Mep																				
111	Jaafari vd. (2015)		x				X	x	x	x	x	x	x					x	x			
112	Jade and Sarkar (1993)	Çok Değişkenli İstatistik	x			x		x	x													
113	Juang et al. (1992)	Bulanık Mantık	x		X			x	x	x	x	x						x	x	x		
114	Kamp vd. (2008)							x	x	x			x							x	x	
115	Kanungo vd. (2006)		x				X		x	x			x							x		
116	Kavzoglu vd. (2015)	LR	x	x			X	x	x	x	x	x	x				x	x		x		X
117	Kawabata ve Bandibas (2009)		x						x	x	x											
118	Kayastha (2015)	FR					X	x	x	x			x	x						x	x	
119	Kayastha vd. (2013)		x				X		x	x	x		x							x	x	

120	Khezri (2011)		x				X		x	x			x						x					
121	Kim vd. (2015)			x	X			x	x			x												
122	Kirschbaum vd. (2016)	Bulanık Overlay	x			x			x											x				
123	Kojima vd. (2015)		x	x				x				x												
124	Komac (2006)		x				x		x	x	x		x							x				
125	Komac ve Hribernik (2015)		x										x							x		x		
126	Kumar ve Anbalagan (2016)	AHP	x				x	x	x	x	x		x			x	x			x	x			
127	Kumar ve Anbalagan 2015	FUZZY>FR	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x			
128	Lee vd. (2015)	LR	x	x					x	x	x				x		x	x	x			x		
129	Lee and Min (2001)	Çok Değişkenli İstatistik	x	x						x	x	x							x		x		x	
130	Lee et al. (2002a)	Çift Değişkenli İstatistik	x	x						x	x	x								x		x		x
131	Lee et al. (2002b)	Çakıştırma					x			x	x		x											
132	Lee et al. (2003a)	Yapay Sinir Ağları	x	x						x	x	x		x						x		x		x
133	Lee et al. (2003b)	Yapay Sinir Ağları		x						x		x									x			
134	Lee vd. (2004)			x						x		x		x							x			

135	Lee vd. (2008)		x						x	x	x	x														
136	Lee vd. (2013)		x				x		x	x					x		x	x			x					
137	Lee ve Lee (2006)		x	x			x		x	x	x		x					x			x					
138	Leshchinsky vd. (2015)	Kontur Bağlantı Modeli																								
139	Lin ve Lin (2015)			x																						
140	Lorentz vd. (2016)	AHP							x				x								x	x	x	x		X
141	Luzi and Pergalani (1999)	Çakıştırma	x				x		x				x													
142	Ma vd. (2015)		x	x																						
143	Maharaj (1993)	Çok Değişkenli İstatistik	x			x	x		x	x			x													
144	Marjanović vd. (2011)						x	X	x	x	x	x	x													
145	Martha vd. (2015)	Uydu Görüntüleri																								
146	Mehrotra et al. (1992)	Çakıştırma	x	x					x																	
147	Meinhardt vd. (2015)	Omit Error Method > Index Metodu Ve Ağırlık Faktör Metodu	x	x																						
148	Mejia and Wohl (1994)	Çakıştırma	x																							
149	Melchiorre vd. (2008)		x																							
150	Melchiorre vd. (2011)																									

167	Okalp ve Akgun (2016)	LSI	x			x		x	x										x	x				
168	Opiso vd. (2015)	FR	x					x	x										x	x				
169	Ozdemir ve Altural (2013)						x	x	x	x	x								x	x				
170	Pachauri and Pant (1992)	Çakıştırma	x			x		x	x										x			x		
171	Pachauri et al. (1998)	Çakıştırma	x			x		x	x													x		
172	Palamakumbure ve Stirling (2015)	Karar Ağacı	x						x	x	x								x	x		x		
173	Pareek vd. (2013)		x					x	x	x												x		
174	Parise and Jibson (2000)	Çakıştırma	x			x			x															
175	Park vd. (2013)		x	x					x															
176	Pathak (2016)	Index Overlay Method	x	x		x		x	x														x	
177	Patriche vd. (2016)	BLR > AHP	x					x	x	x	x											x		
178	Pavel vd. (2011)							x	x	x	x											x		
179	Peng vd. (2014)							x	x	x	x	x	x									x		
180	Peng vd. (2015)	SVM ve Rough Set Theory																						
181	Pennington vd. (2015)		x	x					x													x	x	
182	Pham vd. (2015)	MLP>FT>NB	x	x		x		x	x	x	x											x	x	x

215	Shahabi vd. (2014)		x				x		x	x			x					x	x	x			
216	Shou ve Yang (2015)	LR					x	x	x	x			x					x	x		x		
217	Son vd. (2016)	FR	x	x					x	x	x							x		x			x
218	Song vd. (2008)							x		x	x			x						x			
219	Song vd., (2012)		x				x		x	x	x	x	x								x		
220	Sterlacchini vd. (2011)		x				x	x	x	x	x									x			
221	Suzen ve Doyuran (2004)						x	x	x	x			x	x							x		
222	Tang vd. (2015)		x	x			x						x										
223	Tang vd. (2015)	Uydu Görüntüsü	x				x	x		x	x									x			
224	Tangestani (2009)		x	x						x	x										x		
225	Terlien et al.(1995)	Deterministik		x															x	x			
226	Thiery vd. (2007)		x							x			x								x		
227	Trigila vd. (2015)	FR > LR ~RF	x							x	x					x				x	x		
228	Tsangaratos ve Iliia (2015)	Karar Ağacı	x					x	x	x	x												x
229	Uromeihy and Mahdavifar (2000)	Bulanık Mantık	x																				
230	Vahidnia vd. (2010)		x					x		x	x	x									x		

231	Van den Eeckhaut vd. (2006)		x							x			x											
232	Van Den Eeckhaut vd. (2010)		x					x	x	x	x		x											
233	Van Den Eeckhaut ve Hervás (2012)		x						x	x		x										x		
234	Van Westen and Bonilla (1990)	Çakıştırma	x	x					x	x	x	x	x										x	
235	Van Westen et al. (2000)	Çakıştırma																					X	
236	Van Westen et al. (2003)	Çift Değişkenli İstatistik	x	x					x			x	x									x	x	X
237	Van Westen vd. (2008)		x	x				x	x	x	x		x									x	x	
238	Von Ruette vd. (2011)								x		x		x									x		
239	Wachal and Hudak (2000)	Çakıştırma	x						x													x		
240	Wan (2009)							x	x				x									x	x	
241	Wang vd. (2015)	MARSpline>BS>LR	x					x	x	x		x	x									x	x	
242	Wang vd. (2009)		x					x	x	x			x									x		
243	Wang vd. (2013)							x	x	x	x	x										x		
244	Wang vd. (2016)	ANN>WoE	x					x	x	x	x		x									x	x	x
245	Wood vd. (2015)		x	x				x	x	x														

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Çiğdem TETİK BİÇER
Doğum Yeri : Ankara
Medeni Hali : Evli
E-posta : ctetik@hacettepe.edu.tr , cigdem.tetik@afad.gov.tr
Adresi : TOKİ Yapracık Konutları, Yukarı Yurtçu Mahallesi,
Evliya Çelebi Caddesi, 12. Bölge, C 58 Blok, 49-A,
Daire No: 46, Etimesgut - ANKARA

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı (2003 – 2006)

Japonya - Uluslararası Politika Üretme Enstitüsü
(National Graduate Institute for Policy Studies
GRIPS), IISE-BRI Building Research Institute,
Master of Disaster Management and Seismology
(2010 – 2011)

Doktora : Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: Okuma – yazma – konuşma : İyi

Japonca: Konuşma : orta

İş Deneyimi

2004 - 2007 Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, Araştırma Görevlisi
2007 - 2009 Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel
Müdürlüğü, Hasar Tespit ve Etüt Dairesi, Jeoloji

2009 -

Yüksek Mühendisi

TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi
Başkanlığı – AFAD; İyileştirme Dairesi , Planlama ve
Zarar Azaltma Dairesi, Deprem Dairesi; Grup
Başkanlığı ve Mühendislik

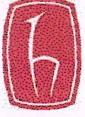
Deneyim Alanları

Uygulamalı jeoloji, jeolojik – jeoteknik etütler, afet yönetimi, afet politikaları, doğal afetler, doğal afetler risk değerlendirme ve analizi.

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçeleri

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 11/03/2017

Tez Başlığı / Konusu: HEYELAN RİSK HARİTALAMASI ÜZERİNE YARI SAYISAL BİR DEĞERLENDİRME

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarında oluşan toplam 271 sayfalık kısmına ilişkin, 11/03/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulanma Esasları'nı inceledim ve bu Uygulanma Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

11.03.2017
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Çiğdem TETİK BİÇER

Öğrenci No: A0385132

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Doktora

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

(Unvan, Ad Soyad, İmza)