

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**KELKİT ÇAYI VADİSİNDE (UMURCA-
KOYULHİSAR ARASI) HEYELAN RİSKİNİN
BELİRLENMESİ**

MEHMET EMİN CİHANGİR

2502130026

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ TOLGA GÖRÜM

İSTANBUL, 2018



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



DOKTORA
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : MEHMET EMİN CİHANGİR Numarası : 2502130026
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı : COĞRAFYA Danışmanı : DR. ÖĞR. ÜYESİ TOLGA GÖRÜM
Tez Savunma Tarihi : 25.04.2018 Saati : 10:30
Tez Başlığı : "Kelkit Çayı Vadisinde (Umurca-Koyulhisar Arası) Heyelan Riskinin Belirlenmesi"

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 50. Maddesi uyarınca yapılmış, sorular sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATI (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- PROF. DR. BARBAROS GÖNENÇGİL		KABUL
2- DOÇ. DR. HASAN ÖZDEMİR		KABUL
3- DOÇ. DR. FÜSUN BALIK ŞANLI		KABUL
4- DOÇ. DR. HAKAN AHMET NEFESLİOĞLU		KABUL
5- DR. ÖĞR. ÜYESİ TOLGA GÖRÜM		KABUL

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATI (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- DOÇ. DR. MEHMET AKİF SARIKAYA		
2- DR. ÖĞR. ÜYESİ CİHAN BAYRAKDAR		

ÖZ

KELKİT ÇAYI VADİSİNDE (UMURCA-KOYULHİSAR ARASI) HEYELAN RİSKİNİN BELİRLENMESİ

MEHMET EMİN CİHANGİR

KAF tarafından kontrol edilen Kelkit Çayı Vadisinin aşağı çığırını (Umurca-Koyulhisar arası) oluşturan çalışma sahası, keskin litolojik geçişlere, yüksek topoğrafik röliyef ve eğime sahiptir. Bu yüksek topoğrafik röliyef, eğim şartları ve litolojik özelliklerin yanı sıra sahanın sahip olduğu iklimik ve tektonik özellikler bu alanı heyelanlanmaya duyarlı hale getirmiştir.

Bu tez kapsamında söz konusu heyelanların gelişimi, buna neden faktörler ve tetikleyici mekanizmaları ele alınarak, çalışma sahasındaki heyelana bağlı tehlike ve riskler jeomorfolojik bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu bakımdan bu tez ile heyelan gelişimi bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde olan Kelkit Vadisi'nin aşağı kesimi için ileride gelişebilecek heyelana bağlı kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışma sahasında, alanı 0.004-23.2 km² arasında değişen, toplam 462 heyelan tespit edilmiş ve bunların jeolojik ve jeomorfolojik koşullara bağlı heyelan dağılım karakteristiği belirlenmiştir. Heyelan tiplerinin belirli eğim, röliyef, yükselti, litolojiye göre dağılım gösterdikleri, jeomorfolojik açıdan geliştikleri alanların rastlantısal olmadığı belirlenmiştir. Tetikleyici faktör olarak heyelanlar, vadinin kuzeyinde yamaçların üst kesimlerde düze yakın plato aklanında ve paleo-heyelan topoğrafyaları içerisinde biriken karların ani erimesiyle, güneyde ise antosedant yağışlarla tetiklendiği görülmüştür. Bu heyelanların aktivitesinin yüksek olduğu alanların kısa dönemdeki gelişimleri, morfolojik evrimleri ve mekânsal sürekliliği 1958-2016 yılları arasında çok yüksek ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden (1 m ve 5 m) yıllarına ait stereo hava fotolarından (1: 16,000-1: 35,000 ölçekli), CBS ve UA yöntemleriyle oluşturulan çok zamanlı jeomorfolojik heyelan envanteri ile belirlenmiş ve heyelan aktivitesinin zamansal ve mekânsal farklılık gösterdiği görülmüştür.

Aktivitenin yüksek olduğu beş bölge içinden risk elemanlarının bulunduğu dört bölge için uzman görüşüne dayalı jeomorfolojik yaklaşımla tehlike, zarargörebilirlik (fiziksel, sosyal, sistemik ve ekonomik) ve risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca sonuçlar M-AHP yöntemiyle kalibre edilerek, geçerliliği test edilmiştir. Bu iki yöntem sonuçlarına göre maliyet de hesaplanmıştır.

Heyelan aktivitesinin olduğu periyotlarda heyelan tehlikesinin arttığı ve aynı zamanda nüfus ve yerleşmenin yoğunlaştığı ve heyelan alanlarının tarıma açıldığı tespit edilmiştir. Koyulhisar paleo-heyelanın kuzeybatısında ve güneyindeki kaymalara, kaynak kısımlarında düşmelere, Sugözü, Gökdere ve Boyalı heyelanların ise birikim zonuna yakın yerlerde risk elemanlarının risk seviyesinin yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca Gökdere ve Boyalı heyelanlarının tekrardan aktif olmaları halinde Kelkit Çayı'nı malzemeleri ile kapatma tehlikesi oluşturacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Duyarlılık, Tehlike, Risk, Kelkit Vadisi, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama.

ABSTRACT

LANDSLIDE RISK ASSESMENT IN THE KELKIT RIVER VALLEY (BETWEEN UMURCA-KOYULHISAR)

MEHMET EMIN CIHANGIR

The study area, which is located the downstream section (between Umurca and Koyulhisar settlements) of the tectonically controlled Kelkit Creek Valley has a sharp lithological transitions, high topographic relief and hillslope gradient characteristics. This high topographic relief, slope and lithological units, as well as the climatic and tectonic features of the area have rendered this area susceptible to landslides.

Within the scope of this thesis, the occurrences of the landslides, the controlling factors and the triggering mechanisms are discussed. Furthermore, the landslide risk is evaluated based on a geomorphological approach. In this respect, it is intended reduce the life and economic of losses due to future landslide risk in the Kelkit Valley, which is above the average of Turkey in terms of landslide occurrences.

In total 462 landslides -which areal extents ranging from 0.004 to 23.2 km²- were mapped and their distribution characteristics were determined by geological and geomorphologic conditions. The distribution of the landslides was found not to be random in terms of geomorphology. The types of landslides are distributed depending on certain slope, relief, elevation and lithology. In terms of triggering factors, landslides were observed to be triggered by the sudden melting of accumulated snow in the northern slopes of valleys, upper parts of the slopes, near-flat slopes of plateau and in the paleo-landslide topographies. While in the south slope, landslides were observed to be triggered by antecedent precipitation. Short term development, morphological evolution and spatial persistency of the areas where the activity of the landslides is high were determined through a multi-temporal geomorphological landslide inventory that was established applying GIS and Remote Sensing methods to the very high and high resolution satellite images (1 m and 5 m) and stereo aerial photos (1:16,000 – 1:35,000 scaled) between 1958 and 2016. Based on the analysis, it

was found that landslide activity differ temporally and spatially. Among the five regions having high landslide activity, the four of the regions were determined to have risk components and hazard, vulnerability (physical, social, systemic and economical) and risk assessments were carried out for these regions using expertise based geomorphological approach. In addition, the results were calibrated and validated using Modified Analytic Hierarchy Process (M-AHP) method. A cost estimate was also carried based on the results of these two methods.

During the periods of landslide activity, it has been found that landslide hazard increases, meanwhile population and settlements intensify and the landslide areas are opened to agriculture. The risk level was observed to be high in the areas near to the slides and rockfalls in the northwest and south of Koyulhisar paleo-landslide, and to the accumulation zone of the Sugözü, Gökdere and Boyalı landslides. Furthermore, it has been found that if the Gokdere and Boyali landslides are reactivated again, there is a certain hazard of blocking of the Kelkit stream from the landslide material.

Key Words: Landslide, Susceptibility, Hazard, Risk, Kelkit, Geography Information Systems and Remote Sensing

ÖNSÖZ

Kelkit Çayı Vadisinde (Umurca-Koyulhisar Arası) Heyelan Riskinin Belirlenmesi adlı bu tez çalışmasında ülkemizde heyelan yoğunluğu ortalamasının en yüksek olduğu bölgelerden biri olan Kelkit Çayı Vadisinin aşağı çığırında heyelan risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu kapsamda heyelanın geçmişten günümüze gelişimi incelenmiş heyelana duyarlı alanlar, bu alanlarda heyelanın dağılım karakteristiği ve zamansal değişimi ele alınmıştır. Yamaç üzerindeki bu zamansal değişim beşeri varlıklar (yapı, nüfus, tarım vb.) ile ele alınarak risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde, nitel ve yarı nicel metotlar birlikte değerlendirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yine bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile heyelan riskinin yüksek olduğu alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Geçmişten günümüze dünyada olduğu gibi ülkemizin pek çok bölgesinde insanların heyelandan zarar görmesinden dolayı heyelan tehlike ve risk çalışmalarına ihtiyaç doğmuştur. Heyelan risk çalışmaları örneğinin dünya literatüründe az olması sebebiyle pek çok heyelan afetinden zarar gören ülkemizde, heyelan risk çalışmalarının uygulama alanı güçleşmiştir. Ülkemizde heyelan riski değerlendirmesi alanının da yapılmış olan bu doktora tezi bu tür çalışmaların artmasına kapı açacaktır.

Doktora sürecim boyunca beni her anlamda destekleyen, mesleğimin ve yaptığım çalışmamın önemini benimseten, çalışmanın hazırlanışı sırasındaki yol göstericiliği sebebiyle danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tolga GÖRÜM'e müteşekkirim. Bunun yanında tezin hazırlanması süresince pek çok kurum, kuruluş ve kişilerden destek aldığımı burada bildirmek isterim. Özellikle tez izleme komitemde bulunan değerli görüş ve önerileri ile bana yardımcı olan Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI ve Doç. Dr. Hasan ÖZDEMİR'e ve tez jürimdeki Prof. Dr. Barbaros GÖNENÇGİL'e minnettarlığımı bildirmek isterim. Tezime farklı bakış açısı getirerek, özgün değerler ortaya koymamı sağlayan, Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU'na ve istatistik konularında fikrini aldığım arkadaşım Arş. Gör Abdullah AKBAŞ'a, doktora dönemimde beni destekleyerek 2547 nolu yök kanununun 35. Maddesi ile İstanbul Üniversitesinde görevlendirilmemi sağlayan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Coğrafya Bölümü Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Mehmet TIRAŞ, Prof. Dr.

Ersin KAYA SANDAL, Prof. Dr. Murat KARABULUT, Dr. Öğr. Üyesi Nadire KARADEMİR ve Öğr. Gör. Hakkı ŞERBETÇİ'ye yine aynı bölümde bulunan bana yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Emin TOROĞLU, Dr. Öğr. Üyesi. Muhterem KÜÇÜKÖNDER ve oda arkadaşım Arş. Gör. Ömer KAYA'ya, arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan Arş. Gör. Mustafa UTLU'ya, Arş. Gör. Resul ÇÖMERT'e, mezun öğrencilerimiz Furkan ÇORAPÇI'ya bunun yanında arazi çalışmalarımızda bize kolaylık ve yardım sağlayan Koyulhisar belediye başkanlığına, AFAD verilerini temin etmemizde kolaylık sağlayan AFAD personellerinden Oktay GÖKÇE'ye ve tezimi yazarken desteğini esirgemeyen sevgili dostum Abdurrazak GÜLTEKİN'e teşekkür etmek benim için bir borçtur.

Tez hazırlama sürecinde yurt dışı burslarıyla beni destekleyerek ve heyelan tehlike ve risk konusunda uzmanlaşmamı sağlayan Cenevre Üniversitesi CERG-C (Specialization certificate for the assessment and management of geological and climate related risk) komite üyelerine ve STCSLDR (Summer Training Course for Slope Land Disaster Reduction) komite üyelerine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca CERG-C programında tanıştığım bana risk değerlendirme konusunda çok yardımcı olan takım arkadaşım Dewan Mohammad Enamul Haque'ye teşekkür ederim. Ayrıca burada ismini saymadığım arkadaşlarıma, hocalarıma ve beni destekleyen kurum ve kuruluşlara teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim

Yüksek lisansımın son döneminde TÜBİTAK'ın 2013/1 burs dönemi 2228-B Yüksek lisans öğrencileri için burs programını kazandım. Doktoram boyunca 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs kapsamında destek aldım. Bu desteği tez araştırmalarımında kullandım. TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı birimine desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tezimi 55865 numaralı proje olarak destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteklerinden dolayı Türkiye Bilimler Akademisi'ne (TÜBA) de teşekkür ederim.

Mehmet Emin CİHANGİR

Nisan, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZ	iii
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xvi
KISALTMALAR LİSTESİ	xviii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMANIN GENEL ÖZELLİKLERİ

1.1 Amaç ve Kapsam	3
1.2 Araştırmanın Önemi	5
1.3 Özgün Değer	7
1.4 Araştırma Alanının Seçilme Nedeni ve Yeri	8
1.5 Materyal ve Metot	14
1.5.1 Materyal	14
1.5.2 Metot	14
1.6 Sınırlılıklar	19
1.7 Temel Kavramlar	20
1.8 Önceki çalışmalar	23

İKİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1 Jeolojik Özellikler	47
2.1.1 Statigrafik ve Litolojik Özellikler	50
2.1.2 Tektonik	55
2.1.3 Fay	55

2.1.4 Depremsellik	57
2.2 Jeomorfolojik Özellikler	59
2.2.1 Genel Jeomorfolojik Özellikler	59
2.2.2 Morfolojik ve Morfometrik Özellikler	62
2.3 Klimatik Özellikler.....	74
2.3.1 Yağış Etkinliği	76
2.3.2 Sıcaklık.....	78
2.3.3 Rüzgâr Etkinliği.....	78
2.4 Toprak Özellikleri.....	80

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

JEOMORFOLOJİK TEHLİKE ANALİZİ

3.1 Heyelanın Dağılım Karakteristiği	83
3.1.1 Heyelan Dağılımı ve Yoğunluğunu Kontrol Eden Faktörler 91	
3.1.2 Heyelan Aktivitesinin Zamansal Dağılımı	101
3.1.3 Çok Zamanlı Heyelan Envanteri.....	102
3.2 Heyelan Aktivitesi Dağılımı.....	107
3.3 Zamana Bağlı Mekân Sürekliliği	113
3.4 Tetikleyici Faktörlere Bağlı Mekânsal Hassasiyet Değerlendirmesi.....	123
3.5 Jeomorfolojik Tehlike Değerlendirmesi	145
3.5.1 Heyelan frekansı	145
3.5.2 Heyelan yoğunluğu	146
3.5.3 Heyelan tehlike zonu	148
3.6 Jeomorfolojik Tehlike Değerlendirmesinin M-AHP ile Entegrasyonu	152

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ZARARGÖREBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

4.1	Zarargörebilirliğin M-AHP ile Değerlendirilmesi-----	160
------------	---	------------

BEŞİNCİ BÖLÜM

RİSK DEĞERLENDİRMESİ

5.1	Jeomorfolojik Yaklaşım Dayalı Risk Değerlendirmesi-----	162
------------	--	------------

5.2	M-AHP İle Risk Değerlendirmesi -----	166
------------	---	------------

ALTINCI BÖLÜM

RİSK SEVİYELERİNE GÖRE MALİYET HESAPLAMA

6.1	Jeomorfolojik Yaklaşım Risk Sonuçlarına Göre Maliyet ----	167
------------	--	------------

6.2	M-AHP Risk Sonuçlarına Göre Maliyet -----	170
------------	--	------------

	SONUÇ VE ÖNERİLER-----	173
--	-------------------------------	------------

	KAYNAKÇA -----	178
--	-----------------------	------------

	EKLER -----	231
--	--------------------	------------

	ÖZGEÇMİŞ -----	243
--	-----------------------	------------

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Yıllara göre elde edilmiş heyelan yoğunluğu (AFAD, 2008'den düzenlenmiştir).	8
Şekil 2: Yıllara göre çalışma alanında kaydedilmiş heyelan afet sayısı (AFAD, 2017).	9
Şekil 3: Çalışma alanının konumu.....	10
Şekil 4: Sugözü paleo-heyelanındaki 2005 kuzulu 2005 ve 2017 arasındaki heyelan gelişimi. Bu heyelan büyük ölçüde gerileyen bir karaktere sahiptir. 2005 ve 2017 yıllarında taç kısmının doğu kesimi 170 m gerilemiştir (bknz. büyütülmüş alanlar).	11
Şekil 5: Koyulhisar ilçe merkezinde heyelan aktivitesi sonucu gelişmiş yapısal hasarlar.	12
Şekil 6: Çalışma alanının nüfus yoğunluğu.	13
Şekil 7: Genel hatlarıyla çalışmanın aşamaları.	16
Şekil 8: Afet yönetim döngüsü (Kaynak: http://www.floodsite.net/html/cd_task17-19/flood_management_practice.html)	24
Şekil 9: Ülkelere göre (en az 20 çalışma olmak kaydıyla) heyelan duyarlılık çalışmaları.	27
Şekil 10: Ülkelere göre (en az 20 çalışma olmak kaydıyla) heyelan tehlike çalışmaları.	27
Şekil 11: Ülkelere göre (en az 20 çalışma olmak kaydıyla) heyelan risk çalışmaları.	28
Şekil 12: Çalışma alanının jeolojisi (MTA, 2011 ve Yılmaz vd., 1985'den derlenmiştir).	49
Şekil 13: İğdir ve Şıhlar formasyonu stratigrafisi (Toprak, 1989)'den düzenlenmiştir.	51
Şekil 14: Şıhlar formasyonu yanal fasiyes değişimi (Toprak, 1989)'den düzenlenmiştir.	52
Şekil 15: Aşağıkale formasyonu stratigrafisi (Toprak, 1989)'den düzenlenmiştir. ...	54
Şekil 16: 1929-2016 yılları arasında çalışma sahası ve yakın çevresinde meydana gelen depremler (KRDAE, 2017)' den derlenmiştir.....	58
Şekil 17: Jeomorfoloji haritası.	61

Şekil 18: Kelkit Çayı Vadisinin asimetrisi (Doğudan batıya bakış).	63
Şekil 19: Topoğrafik faktörler. Yükseklik (a), Eğim (b), Topoğrafik röliyef (c), Solar radyasyon (d), Bakı (e) dağılış haritası.	68
Şekil 20: Topoğrafik faktörler ve akarsu ağı. Akarsu Ağı (f), TWI (g), SPI (h), MRVBF (j) dağılış haritası.	73
Şekil 21: Koyulhisarın su bilançosu.	75
Şekil 22: Çalışma sahasının ortalama yağış dağılımı. TRMM (a) ve WorldClim (b).	76
Şekil 23: Yıllık ortalama sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısı.	77
Şekil 24: Çalışma sahasında yıllık ve mevsimlere göre rüzgâr yönü.	79
Şekil 25: Çalışma alanının toprak dağılışı.	81
Şekil 26: Varnesin (1978) ve Dikau (1999) sınıflandırması göre düzenlenmiş heyelan envanter bilgi formu.	85
Şekil 27: Heyelan envanteri uygulama adımları.	86
Şekil 28: Kernel yoğunluk ve Boyut frekans dağılımı uygulama adımları.	87
Şekil 29: Çalışma alanındaki heyelanların dağılımı.	88
Şekil 30: Çalışma alanındaki heyelan tiplerine örnekler Sugözü'ünde meydana gelen bir akma tipi heyelan (a) (Bakış yönü GB-KD). Kelkit Çayı yan yamaçlarındaki bir kayma tipinde bir heyelan (b) (Bakış yönü K-G). Umurca Köyünün kuzeydoğusundaki kaya düşmeleri (c) (Bakış yönü GD-KB).	89
Şekil 31: Noktasal (a) ve alansal (b) heyelan yoğunluk haritaları.	89
Şekil 32: Heyelan tipine göre Güç Yasasına (Power Law) göre büyüklük sıklık dağılımı.	90
Şekil 33: Heyelanın ana tiplerine göre alansal dağılımları (a) ve uzunluk genişlik oranları (b). Şekil (a)'da yer alan heyelan alanının ölçęi logaritmik olarak (Log_{10}) verilmiştir.	91
Şekil 34: Farklı heyelan tipleri için yükseklik, röliyef ve eğim değerlerinin olasılık dağılım kestirimleri. $\pm 1\sigma$ (standart sapma) değerleri toplam verinin $\sim 70\%$ 'ine karşılık gelmektedir.	92
Şekil 35: Tüm heyelanların TWI değerlerinin olasılık dağılım kestirimleri. $\pm 1\sigma$ (standart sapma) değerleri toplam verinin $\sim 70\%$ 'ine karşılık gelmektedir.	93

Şekil 36: Faydan olan uzaklıklara göre heyelan alan (a) ve sayı yoğunluğunun (b) azalımı.	96
Şekil 37: Koyulhisar meteoroloji istasyonunun yağış verisi ile Suşehri istasyonunun yağış verisinin regresyon analizi.	97
Şekil 38: Kuvvetli yağışlar, buldukları ay içerisindeki yüzdeleri ve antedant yağışlar.	98
Şekil 39: Yıllara bağlı toplam yağış dönemleri ve bu dönemlerde oluşan toplam heyelan alanı.	99
Şekil 40: Analitik çözüme bağlı 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık Gumbel olasılık dağılım modeli: Yıllık maksimum kar kalınlığı (a) ve Günlük (24 saatlik) maksimum yağış (b).....	100
Şekil 41: Mevcut tüm dönemlere ait görüntülerin sınırları.....	105
Şekil 42: Çok zamanlı heyelan envanteri.	106
Şekil 43: Aktivite dağılımı belirleme kriterleri.	109
Şekil 44: Heyelan aktivitesi yüksek beş bölgenin mevcut 1958-2016 yılları görüntülerine göre aktivite durumu.	111
Şekil 45: Heyelan aktivitesinin yüksek olduğu beş bölge için aktivite dağılımı.	112
Şekil 46: Zamansal mekân süreklilik iş akış diyagramı.	115
Şekil 47: Beş bölgeye göre uzun dönem ve kısa dönem mekânsal süreklilik çıktıları.	119
Şekil 48: Kümülatif yeni heyelan alanları (a) ve bunların kümülatif olmayan yüzdeleri (b).....	121
Şekil 49: Mekânsal hassasiyet değerlendirmesine ilişkin iş akış diyagramı.	131
Şekil 50: Karar Noktası (KN) belirlenmesi.	135
Şekil 51: Kar tutunmasına ilişkin M-AHP sonuçlarına göre karar dağılımı.....	138
Şekil 52: Sızma alanlarına ilişkin M-AHP sonuçlarının karar dağılımı.	140
Şekil 53: Akış alanlarına ilişkin M-AHP sonuçlarının karar dağılımı.	142
Şekil 54: Tutunma, sızma ve akış modellerinin kesişimi ile elde edilen mekânsal hassasiyet alanları.	144
Şekil 55: Aktivitesi yüksek beş bölgenin heyelan yoğunluğu dağılımı.	148
Şekil 56: Jeomorfolojik yaklaşıma göre heyelan tehlike zonları.	150
Şekil 57: M-AHP sonuçlarına göre tehlike zonları.	153

Şekil 58: Çalışma alanında tespit edilen yapısal hasar.	158
Şekil 59: Yapısal hasar ve tehlike seviyesine göre ikamet edebilme sınırı.	159
Şekil 60: Jeomorfolojik yaklaşıma dayalı risk değerlendirmesinin iş akış diyagramı.	163
Şekil 61: Dikey asfalt yol genişliği örneği ve asfalt yapımında kullanılan malzeme.	167
Şekil 62: Asfalt yol genişliği hesaplaması örneği.	168
Şekil 63: Koyulhisar (3. bölge (a)) ve Sugözünün (5. Bölge (b)) fiziksel zarargörebilirliğe göre yapı unsurlarının risk değerlendirmesi.	232
Şekil 64: Koyulhisarın (3. Bölge (a)) sistemik zarargörebilirliğe göre risk değerlendirmesi.	233
Şekil 65: Boyalı (1. bölge (d)) ve Gökderenin (2. Bölge (e)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.	234
Şekil 66: Koyulhisar (3. bölge (f)) ve Sugözünün (5. Bölge (g)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.	235
Şekil 67: Boyalı (1. bölge (ı)) ve Gökderenin (2. Bölge (j)) sistemik zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.	236
Şekil 68: Koyulhisar (3. bölge (k)) ve Sugözünün (5. Bölge (l)) sistemik zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.	237
Şekil 69: Gökdere (2. bölge (m)) ve Koyulhisarın (3. Bölge (n)) ekonomik zarargörebilirliğe göre risk değerlendirmesi.	238
Şekil 70: Koyulhisar (3. bölge (o)) ve Sugözünün (5. Bölge (p)) fiziksel zarargörebilirliğe göre yapı unsurlarının M-AHP risk değerlendirmesi.	239
Şekil 71: Boyalı (1. bölge (r)) ve Koyulhisarın (4. Bölge (s)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı unsurlarının M-AHP risk değerlendirmesi.	240
Şekil 72: Sugözünün (5. Bölge (t)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı unsurlarının M-AHP risk değerlendirmesi.	241
Şekil 73: Koyulhisar (3. bölge (v)) ve Gökderenin (2. Bölge (y)) ekonomik zarargörebilirliğe göre tarım alanlarının M-AHP risk değerlendirmesi.	242

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: 1990-2017 yılları arasında heyelan duyarlılık tehlike çalışmalarında kullanılan yöntem ve parametreler.	30
Tablo 2: Araştırmacılara göre KAF'ın hızı.	56
Tablo 3: Yükselti sınıflarının kapladığı alan.	64
Tablo 4: Çalışma sahasının eğim özellikleri.....	65
Tablo 5: Bakı sınıflarının çalışma alanında kapladığı alan.....	67
Tablo 6: Kelkit Çayı Vadisinin akarsu toplam dizinleri ve dizin uzunlukları....	69
Tablo 7: Thornthwaite metoduna göre Koyulhisarın su bilançosu.....	75
Tablo 8: Litolojik birimlerin heyelan tipine göre yoğunlukları.	95
Tablo 9: Hava fotolarının çizim doğruluğu ve anlamlandırma.....	104
Tablo 10: Çok zamanlı heyelan envanteri istatistiği.....	116
Tablo 11: Kısa dönem (Test-1, Test-2, Test-3) ile uzun dönem testler (Test-4, Test-5).....	118
Tablo 12: Karşılaştırma matrislerinin önem dereceleri.	125
Tablo 13: Kar tutunma, sızma ve akış modeli için belirlenen parametre ve parametre puanları.....	132
Tablo 14: Puan fark matrisi (a) ve normalize edilmiş puan fark matrisi (b)....	133
Tablo 15: Önem değerleri çizelgesi.	133
Tablo 16: A matrisi.	134
Tablo 17: Yüzdelerle önem dağılımları.	134
Tablo 18: “D” ve “E” vektörü.	134
Tablo 19: “C1” parametresi karar noktalarının belirlenmesi ve sonuç dağılımı.	136
Tablo 20: Karar noktalarındaki sonuç dağılımı (Kırmızı ile belirtilen kısım nihai karardır).	136
Tablo 21: Frekansına göre heyelan değerlendirilmesi ((M Cardinali vd., 2002)'den uyarlanmıştır).	146
Tablo 22: Heyelan yoğunluğu matrisi ((M Cardinali vd., 2002)'den uyarlanmıştır).	147

Tablo 23: Heyelan tehlike değerlendirme matrisi (F= f (sıklık, yoğunluk)) matrisi ((Cardinali vd., 2002)'den uyarlanmıştır).	149
Tablo 24: M-AHP modeli için belirlenen parametre ve aldığı puanlar.	152
Tablo 25: Risk elemanları.....	155
Tablo 26: Gece (a) ve gündüz (b) senaryosuna göre fiziksel, sosyal, sistemik ve ekonomik zarargörebilirlik matrisi.	156
Tablo 27: Tehlike yoğunluğuna göre oturulabilme sınırında bulunan risk elemanları ve özellikleri.	157
Tablo 28: Uzman görüşüne dayalı fiziksel zarargörebilirlik değerlendirmesinin M-AHP yöntemi ile entegrasyonu.	161
Tablo 29: Jeomorfolojik yaklaşıma dayalı risk değerlendirmesine göre risk seviyeleri.	164
Tablo 30: Asfalt yol için maliyet belirleme.	168
Tablo 31: Yapı unsurları için maliyet belirleme.	168
Tablo 32: Tarım alanları için maliyet belirleme.	169
Tablo 33: Düşük Yoğunluklu Bina (DYB) için maliyet belirleme.	170
Tablo 34: Yüksek Yoğunluklu Bina (YYB) için maliyet belirleme.	170
Tablo 35: Yol için maliyet belirleme.	171
Tablo 36: Tarım alanı için maliyet belirleme.	172

KISALTMALAR LİSTESİ

AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi

DRR: Disaster Risk Reduction

DSİ: Devlet Su İşleri

HÇEP: Hyogo Çerçeve Eylem Planı

IDNDR: International Decade for Natural Disaster Reduction

ISDR: International Strategy for Disaster Reduction

İng.: İngilizce

KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

M-AHP: Modifiyeli Analitik Hiyerarşi programı

TRMM: Tropical rainfall measurement mission

UNDRO: United Nations Disaster Relief Organization

Vb.: Ve benzeri

Vd.: Ve diğerleri

WorldClim: Global Climate Data

GİRİŞ

Bir yamaç eğimi boyunca kaya, moloz ve toprak gibi yamacı oluşturan malzemenin (kaya, moloz veya zemin) yer değiştirmesi heyelan olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1958a). Heyelanlar deprem, yağış gibi doğal ya da antropojenik ve yapay sarsıntılara bağlı etkenlerle oluşabilmektedir. Heyelan oluşumunu litolojik, morfolojik, yapısal vb. faktörler duyarlı kılmaktadır. Özellikle dağlık alanlar olmak üzere yeryüzünün şekillenmesinde etkili olan heyelanlar, yamaç stabilitesinin bozulmasıyla oluşmaktadır.

Yamaç stabilitesinin bozulması, yamaç profilinin şekillenmesinde rol oynayan faktörlere bağlıdır. Yamaç profilinin şekillenmesinde ise; akaçlama alanı, kanal genişliği, gradyan ve akarsu debisine bağlı olarak değişen akarsu gücünün yamacı aşındırıcı etkisi rol oynamaktadır. Bununla birlikte bitki örtüsünün kök yoğunluğunun ve derinliğinin değişimin, sıcaklığın ve yağışın etkili olduğu fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçleri de uzun dönem yamaç stabilitesinin bozulmasında etkin bir rol oynamaktadır (Hewwit vd., 2008; Huggel vd., 2012). Yamaç denge profilinde etkili olan bu süreçler yamaç üzerinde stabil olmayan koşullar oluşturmaktadır (Anderson vd., 2002; Görüm & Nefeslioğlu, 2015). Değişen yamaç morfolojisi heyelan oluşumuna neden olmasının yanı sıra mevcut heyelan malzemesinin tasfiyesinde de etkilidir. Bu tasfiye süreci yamaç sürekliliğini, heyelan aktivite durumunu ve dağılımını etkilemektedir. Tasfiye sürecinde büyük ana kaya heyelanlarının izleri, malzemelerini tüketene kadar morfolojiyi denetlemektedir. En fazla bir kaç on bin yıla kadar devam eden bu süreçte heyelanın yamaçta stabil veya yeniden aktif olması yamacı etkileyen çevresel koşullara bağlıdır.

Yamaç dengesinin değişimi ve dolayısıyla heyelan aktivitesi, bölgenin jeolojik, jeomorfolojik, bitki örtüsü ve iklimik koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Corominas & Moya, 1999; Huggel vd., 2012). Bunların en başında gelen iklim pek çok çalışmada da değinildiği gibi heyelan aktivitesini etkilemektedir (Dikau & Schrott, 1999; Flageollet vd., 1999; Nagarajan vd., 2000; Wiczorek & Glade, 2005; Korup vd., 2012). Özellikle antedant, sağanak yağışlarda ve ani kar

erimelerinde, heyelan malzemesinin tasfiye olmadığı stabil olmayan yamaçlarda heyelan yeniden aktif olmaktadır (Corominas & Moya, 1999).

Yukarıda belirtilen bitki örtüsünün ayrışmayla heyelan üzerindeki etkisinin yanında bitki örtüsü yoğunluğuyla da heyelan üzerinde etkilidir. Bitki örtüsünden yoksun sahalarda heyelan oluşumu ormanlık alana göre daha azdır. Bu alanlarda yağışa bağlı daha çok sık heyelanlar yoğunluktayken, yoğun bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerde ağaç köklerinin rüzgâra bağlı yamaca yüklediği ağırlık heyelan oluşumuna ortam hazırlamaktadır (Corominas, 2000; Crosta & Frattini, 2003; Wieczorek & Glade, 2005; Huggel vd., 2012). Bunun dışında jeolojik birimlerin yaşı litolojinin tipi ve birimlerin gözenek yapısı da heyelan aktivitesi ve tipi üzerinde etkilidir (Wieczorek, 1987; Van Asch vd., 1999; Beguería, 2006). Örneğin kırıntılı karbonattan oluşan alanların yamaç üzerinde dayanımları daha düşüktür (Cihangir & Görüm, 2016). İklim ise; heyelanın frekansını, büyüklüğünü ve hızını etkilemektedir (Crozier, 1997; Dikau & Schrott, 1999). Jeomorfolojik ve yükselti, eğim, röliyef gibi topoğrafik koşulların morfolojik değişimi ise; yamaç makaslama gerilimindeki (ing. shear stress) artış ve bu durum da heyelan aktivitesi üzerinde etkilidir (Cihangir & Görüm, 2016).

Sonuç olarak heyelan üzerinde etkili olan gerek hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler gerekse bunların farklı derecede etkileri heyelanı oluşturan birçok farklı sebebin olduğunu göstermektedir. Aynı havzada bu koşulların yamaçtan yamaca farklılık göstermesi de heyelan yoğunluğu üzerinde etkili olmaktadır. Bu durum heyelan kestirimini daha da zorlaştırmaktadır. Ayrıca yağış yoğunluğu, deprem büyüklüğü gibi tetikleyici faktörlerin belirsizliği de heyelanın zamansal olabilirliğinin kestirimini daha da zorlaştırmaktadır. Tüm bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda genel manada heyelanın mekânsal olabilirliği ve zamansal olabilirliği yönünden değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu zorluklar aynı zamanda heyelan risk değerlendirmelerini de zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada; bu etkenler göz önünde bulundurularak heyelan risk değerlendirmelerini nitel ve yarı nicel yaklaşımlar ile birlikte değerlendirip, literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMANIN GENEL ÖZELLİKLERİ

1.1 Amaç ve Kapsam

Çalışmanın temel amacı: Kelkit Çayı'nın aşağı çığırında arazi çalışmaları, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı veriler analiz ederek jeomorfolojik temelli uzman görüşüne dayalı heyelan duyarlılık, tehlike, zarargörebilirlik ve riskleri belirlemektir. Bu kapsamda uzman görüşüne dayalı nitel yaklaşım yarı nicel bir yaklaşım ile birlikte değerlendirilerek elde edilen sonuçlar bir çıktı niteliğinde olası heyelan tehlikelerine karşı zararı en az düzeye indirgenmesi için bölgesel planlamalarda ve değerlendirmelerde karar sistemlerinin desteklenmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla çalışmanın belirtilen amaca ulaşması için aşağıda ifade edilen soruların cevaplanması hedeflenmiştir.

- Heyelanların gerçekleştiği alanlar nerelerdir?
- Heyelanlar ne kadar sıklıkta ve yoğunlukta meydana gelmektedir, bunların tipleri, büyüklüğü ve olası hızları nelerdir?
- Bu heyelanlara sebep olan hazırlayıcı faktörler (litolojik, arazi kullanımı, morfolojik, vb.) nelerdir ve heyelan dağılımı üzerindeki rolleri nedir?
- Bu heyelanlar hangi faktörler (deprem, hidro-meteorolojik) tarafından tetiklenmektedir?
- Gelecekte saha içerisinde var olan heyelanların gelişim süreci nasıl olacaktır?
- Heyelanların etkileyebileceği alanlar nereler ve büyüklükleri ne olacaktır?
- Heyelandan zarar görecekt beşeri varlıkların riski nedir?
- Riskin azaltılması için alınması gereken önlemler nelerdir?

Çalışma temelde beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm uzaktan algılama, CBS verilerinin analizi ve 1958-2016 yılları arasındaki çok zamanlı heyelan aktivitesinin belirlenmesiyle uzman görüşüne dayalı tehlike değerlendirmelerinden oluşmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünü risk elemanlarının zarargörebilirlikleri oluşturmaktadır. Üçüncü bölümde uzman görüşüne dayalı risk değerlendirmeleri bulunmaktadır. Dördüncü bölümü Nefeslioğlu vd., 2013 tarafından önerilmiş yarı nicel Modifiye edilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yaklaşımının değerlendirildiği duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri kapsamaktadır. Çalışmanın beşinci ve son bölümünü ise yarı nitel jeomorfolojik uzman görüşü ve yarı nicel M-AHP modeliyle oluşturulan spesifik risk ve toplam riske bağlı risk elemanlarının maliyet hesaplamaları oluşturmaktadır.

Genel olarak çalışma havzadaki heyelan tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde nitel ve yarı nicel yaklaşıma bağlı bölgenin risk durumunun değerlendirmesini kapsamaktadır.

Bu amaç doğrultusunda oluşturulan bölümlerden ilkinin çalışmanın kavramsal yapısı, amacı, kapsamı, yöntemi, önemi, sınırlılıkları ve literatür özetini oluşturan giriş bölümü oluşturmaktadır. İkinci bölümü çalışma alanının özelliklerini içeren jeolojik, jeomorfolojik, iklimik ve toprak özelliklerinden oluşmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünü heyelan envanteri oluşturulması, heyelan dağılım karakteristiği ve yoğunluğu, heyelan aktivitesinin zamansal dağılımına bağlı çok zamanlı heyelan envanteri, zamana bağlı mekânsal süreklilik, tetikleyici faktöre bağlı mekânsal hassasiyetin değerlendirilmesi, jeomorfolojik yaklaşıma bağlı heyelan tehlike değerlendirmesi, M-AHP modeline bağlı heyelan tehlike değerlendirmesi oluşturmaktadır. Çalışmanın beşinci bölümü jeomorfolojik yaklaşım için risk elemanlarının fiziksel, sistemik ve sosyal zarargörebilirliğinin yanında M-AHP ye bağlı fiziksel zarargörebilirlik değerlendirmesi yapılmaktadır. Çalışmanın altıncı bölümünü jeomorfolojik yaklaşıma dayalı spesifik risk değerlendirmesi, M-AHP modeline göre risk değerlendirmesi ve bu iki yaklaşımına bağlı maliyet hesaplamalarından oluşmaktadır. Çalışmanın yedinci bölümünde çalışmanın genel değerlendirmesi, tartışma, sonuç ve önerilere yönelik bilgiler verilmektedir.

1.2 Araştırmanın Önemi

Dünyada ve ülkemizde pek çok can ve mal kaybına sebebiyet veren heyelan, ülkemizde afet türüne göre; afet olay sayısı bakımından %45 oranıyla ve afet gören yerleşim birimleri bakımından ise %15 oranlarıyla ilk sırada yer almaktadır (AFAD, 2008). Bunun yanı sıra ülkemizde heyelandan etkilenen afetzede sayısı bakımından depremden sonra ikinci sırada gelmektedir. Ülkemizde heyelan afeti beşeri varlıkları önemli derecede etkilemesine rağmen, heyelan konusunda tehlike ve risk çalışmaları yeteri kadar bulunmamaktadır. Gerek sivil gerekse kamu kurumlarının heyelanın oluşturabileceği afete karşı önlem alma çalışmaları da yetersiz bulunmaktadır. Dünya ölçeğinde heyelan afetine karşı izleme istasyonları, uyarı sistemleri gibi çözümler üretilirken ülkemizde bu açıdan zarar azaltma önlemleri pek fazla bulunmamaktadır. Ayrıca afet azaltımına kılavuz niteliğinde olacak risk çalışmalarının az olması da risk yönetiminin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle herhangi bir heyelan afetinin gerçekleşmesi durumunda zararları yüksek boyutlara ulaşmaktadır.

Heyelan risk çalışmaları pek çok yönden fayda sağlamaktadır. Örneğin risk çalışmalarından elde edilen sonuçlar, nazım imar planlamalarının düzenlenmesinde ve arazinin doğru kullanımını yönlendiriciliği ile afetin maddi ve manevi zarar boyutunun azaltılmasında fayda sağlamaktadır.

Yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı bu çalışma iki yönden önem kazanmaktadır. Birincisi çalışmanın heyelan tehlike ve riski kısımları farklı yaklaşımlar ile değerlendirilip, özgünlük kazandırılarak ortaya koyduğu maliyet değerlendirmesi ile literatüre katkı sağlamasıdır. İkincisi heyelan yoğunluğunun yüksek olduğu bir havza üzerinde uygulanabilirliği ve elde edilen sonuçlara göre diğer benzer alanlarda da uygulanmasına dair ilk örnekleri oluşturmasıdır.

Risk çalışmalarına önemli derecede ihtiyaç bulunmaktadır. Çünkü meteorolojik gözlemlere göre iklim koşullarının değiştiği görülmektedir. Değişen iklim koşulları, ekstrem yağışları arttırmakta ve aylık toplam yağışları birkaç gün aralığında meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu durum heyelanların tetiklenmesinde etkilidir. Bu sürecin devam edeceği önümüzdeki yıllarda heyelan

sayısında artış meydana geleceği ön gör÷lmektedir. Bu yüzden risk çalışmaları daha çok önem arz etmektedir.



1.3 Özgün Değer

Literatür araştırmalarında karşılaştığımız en önemli sonuç pek çok duyarlılık çalışmaları bulunmasına rağmen tehlike çalışmalarına daha az rastlanılmasıdır. Heyelan risk çalışmaları ise en az ele alınan araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Risk çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla yapılan “Kelkit Çayı Vadisinde (Umurca-Koyulhisar Arasında) Heyelan Riskinin Belirlenmesi” isimli bu çalışma heyelan riski çalışmalarına katkı sağlamaktadır. Özellikle bu çalışmada geliştirilen yöntemler çalışmaya özgün değer katmaktadır.

Çalışmamıza özgünlük kazandırmak amacıyla çalışmamızda, tetikleyici faktörlere ilişkin heyelan hassasiyet yamaç üniteleri oluşturulmuştur. Ayrıca özgün değer olarak tehlike ve risk bölümlerinde kullanılan uzman görüşüne dayalı jeomorfolojik yaklaşımın tehlike, zarargörebilirlik ve risk bölümleri revize edilmiştir. Bu doğrultuda çalışmada saha içerisinde risk değerlendirmesi bakımından hangi alanların seçilmesi gerektiği kararında zamana bağlı mekânsal süreklilik yöntemi de kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, uzman görüşüne bağlı risk yaklaşımında zarargörebilirlik bölümleri sosyal, fiziksel, ekonomik ve sistemik açıdan değerlendirilmiş, risk senaryoları gündüz ve gece olarak farklı zaman dilimlerinde değerlendirilmiştir. Tüm bunlara ek olarak uzman görüşü yönteminde belirlenen faktörler, ikinci bir yöntem olarak kullanılan M-AHP modelinde tekrardan değerlendirilerek tehlike, risk ve zarargörebilirlik kısımları iki yöntem ile birlikte ele alınmıştır. Bunların dışında ayrıca jeomorfolojik yaklaşım ve M-AHP yaklaşımına bağlı risk maliyet hesaplamaları da yapılmıştır.

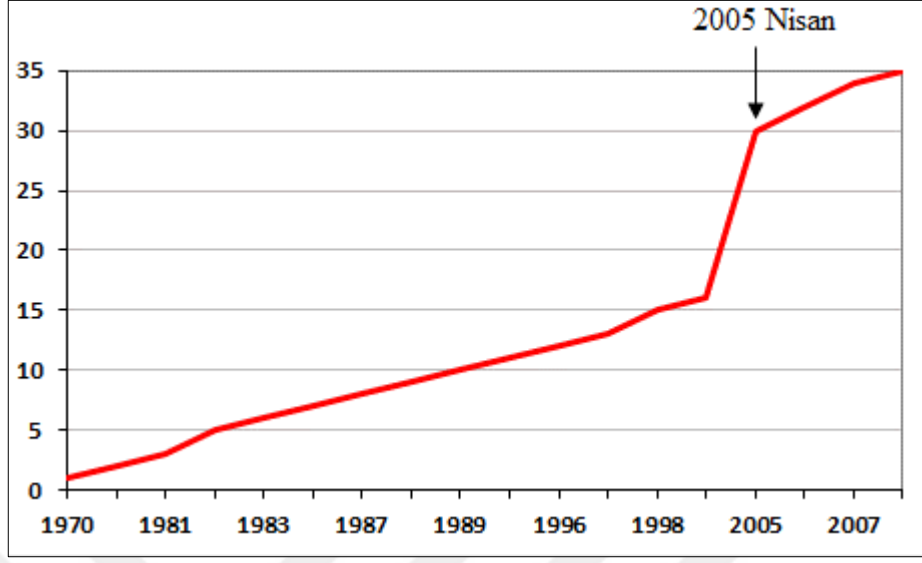
1.4 Araştırma Alanının Seçilme Nedeni ve Yeri

Geçmişten günümüze pek çok heyelanın meydana geldiği ülkemizde, bölgelerin heyelan yoğunlukları değişiklik göstermektedir. Bazı bölgelerin heyelan yoğunluk oranları çok yüksek iken, bazı bölgeler ise daha az heyelan yoğunluğuna sahiptir (Şekil 1).



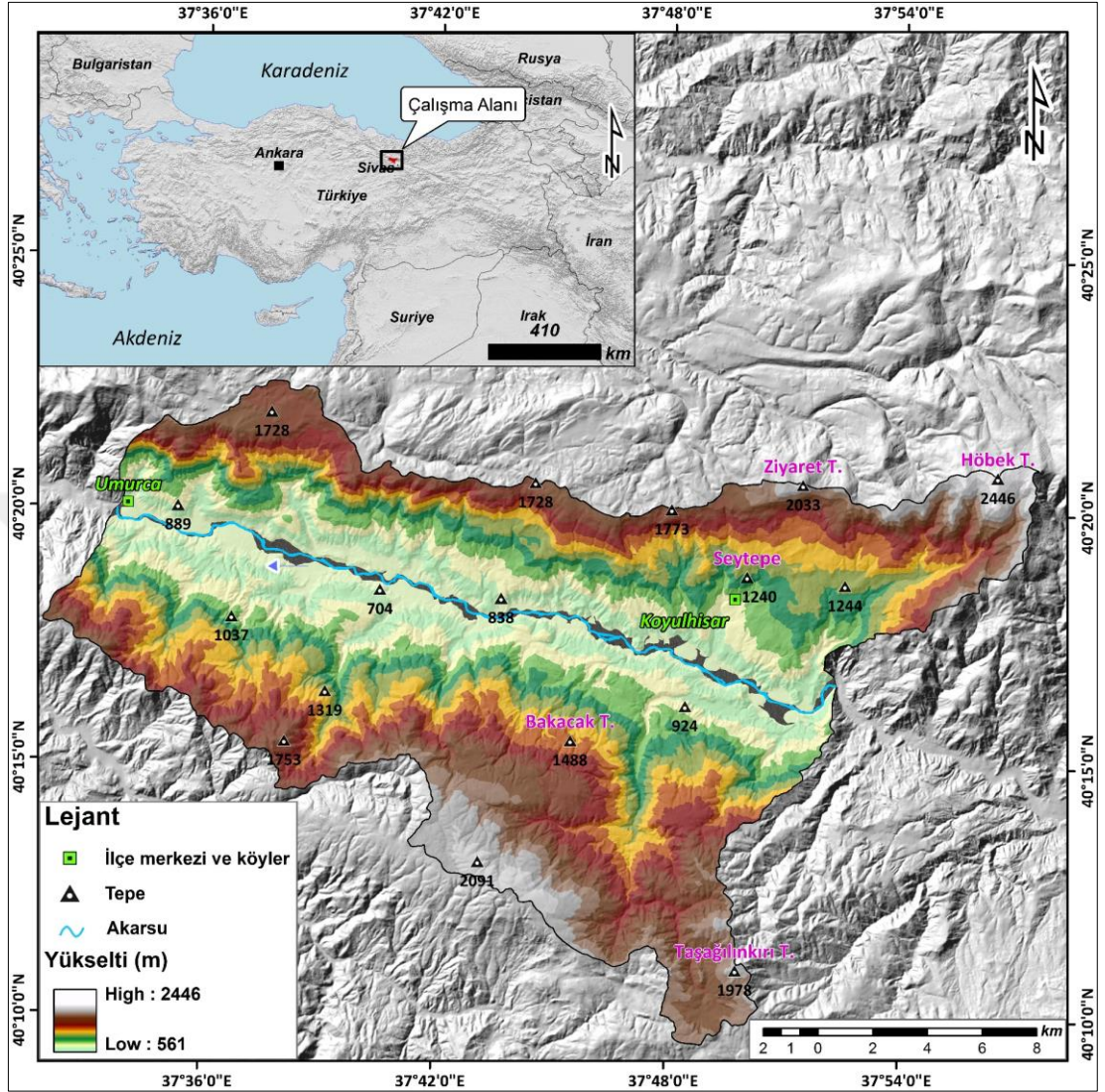
Şekil 1: Yıllara göre elde edilmiş heyelan yoğunluğu (AFAD, 2008'den düzenlenmiştir).

Heyelanın yoğunluğu bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde olan Kelkit Çayı Vadisi ve özellikle bu vadinin aşağı kesimi, geçmişten günümüze pek çok can ve mal kaybına neden olmuştur. AFAD (2008) verilerine göre 1970-2007 yılları arasında çalışma alanı olarak da belirlenen bu kesimde afete sebep olmuş 35 heyelan kayıt altına alınmıştır (Şekil 2)



Şekil 2: Yıllara göre çalışma alanında kaydedilmiş heyelan afet sayısı (AFAD, 2017).

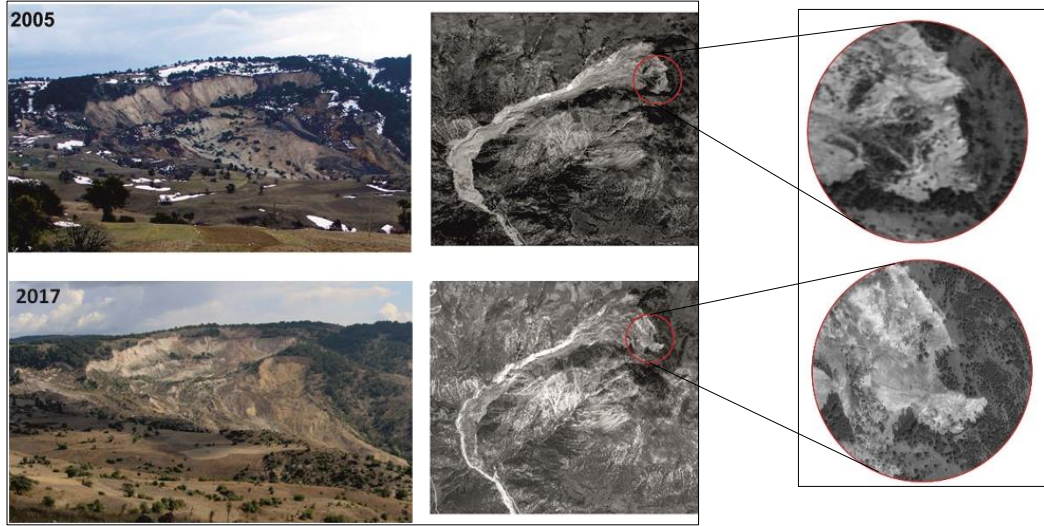
Çalışma alanı sınırları; Tokat İli Reşadiye ilçesine bağlı Umurca köyü, doğuda Sivas İli Koyulhisar ilçesi Yukarıkale köyü arasındadır. Çalışma alanı, $37^{\circ} 32'' 40'$ - $37^{\circ} 58'' 00'$ D ile $40^{\circ} 22'' 20'$ - $40^{\circ} 9'' 20'$ K koordinatlarında, güney ve kuzey sınırları havza sınırı esas alınarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: Çalışma alanının konumu.

Çalışma alanında Koyulhisar ilçesinin kuzeybatı kesiminde 19 ağustos 1998 tarihinde yaklaşık hacmi 400.000 m^3 boyutunda gerçekleşen heyelan 15 km^2 'lik bir alanı kaplamıştır (Yılmaz, 2009a). Heyelan Koyulhisar'ın 2 km uzağındaki Aklan Çayı'nı 24 saat içinde tamamen moloz ile doldurmuştur (Yılmaz, 2009a). Koyulhisar'ın kuzeyindeki 1240 m deki Seytepede hareket durduktan sonra yeni çatlaklar başlamış ve ana gerilim çatlakları zaman içinde 150 m uzunluğa ve 1-1,5 m genişliğe ulaşmıştır. 20 Haziran 2000 de meydana gelen 250-300 m eğim üzerinde çatlamlar, daha önceki kaymanın üzerinde izler oluşturarak 21 Haziran 2000 de sabah

saatlerinde yeniden hareketlenme ile bir kaç evin yıkılmasına sebep olmuştur (Yılmaz, 2009a). Yapılan araştırmalara göre 19 Ağustos 1998 -15 Mayıs 2000 yılına kadar yaklaşık olarak 2,5 m'lik bir hareket gerçekleşmiştir. 2005 yılı Nisan ayında çalışma alanının batı kesiminde Kuzulu Mahallesi kuzeydoğusunda eski bir heyelan bölgesi üzerinde Sugözü heyelanı meydana gelmiştir (Gürsoy vd., 2005). Sorkun yaylasının 1500 ile 1650 metre kotları arasında güneye doğru boşalan doğal su kaynaklarının bulunduğu alanda oluşan heyelan 15 kişinin hayatına, 21 evin yıkılmasına ve 375 hayvanın telef olmasına neden olmuştur (Duman vd., 2005). Bu katastrofik heyelanlar, eski paleo-heyelan topoğrafyalarının bazı kısımlarında heyelanların yeniden aktivite olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışma alanında geçmiş yıllarda büyük kayıplara neden heyelanların dışında da bazı heyelanların yeniden aktivite olduğu güncel verilerde de gözlenmektedir (Şekil 5). Buna örnek Sugözü paleo-heyelan topoğrafyasındaki 2005 kuzulu heyelanının ana şevi günümüze kadar belirli aralıklarda yeniden aktif hale geçtiği saptanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Sugözü paleo-heyelanındaki 2005 kuzulu 2005 ve 2017 arasındaki heyelan gelişimi. Bu heyelan büyük ölçüde gerileyen bir karaktere sahiptir. 2005 ve 2017 yıllarında taş kısmının doğu kesimi 170 m gerilemiştir (bkz. büyütülmüş alanlar).

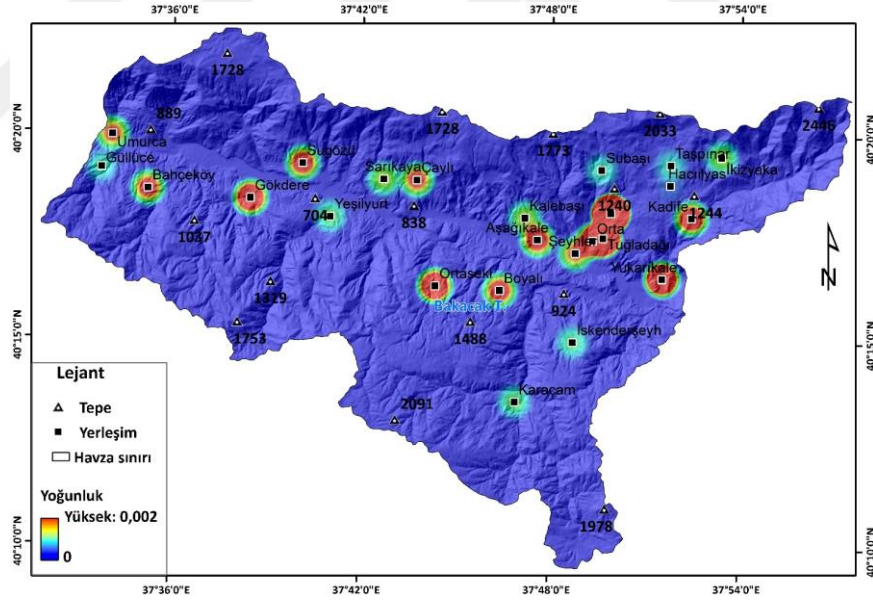


Şekil 5: Koyulhisar ilçe merkezinde heyelan aktivitesi sonucu gelişmiş yapısal hasarlar.

Çok yakın zamanda pek çok beşeri yapılara ilişkin kayıpların yaşandığı çalışma alanı sınırları içerisinde; Koyulhisar ilçesine bağlı 15 köy (Bahçeköy, Boyalı, Çaylı, Gökdere, Hacıilyas, İkizyaka, İskenderşeyh, Kadife, Kalebaşı, Karaçam, Ortaseki, Sarıkaya, Sugözü, Taşpınar, Yeşilyurt) 7 mahalle (Aşağıkale, Camiikebir, Orta, Şeyhler, Subaşı, Tuğladağı, Yukarıkale) ve Tokat ili Reşadiye ilçesine bağlı 2 köy (Güllüce, Umurca) heyelandan doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmiştir. 2016

nüfus verilerine göre alan içerisindeki yerleşimlerin toplam nüfusu 6902'dir (TUİK 2018). Ayrıca çalışma alanı içerisinde D-100 Amasya-Erzincan ile D-855 Tokat-Ordu otoyolları bulunmaktadır. Doğu-batı yönünde akan Kelkit Çayının oluşturduğu havzanın (10262 km²) %3.8'lik bölümünü oluşturan çalışma alanı, Kelkit Vadisinin aşağı çığırında 394.1 km²'lik bir alanı kaplamaktadır.

Geçmişte yaşanan kayıpların yanında heyelan aktivitesinin yüksek yoğunlukta olduğu bu bölgede göreceli olarak yoğun nüfusun bulunması (Şekil 6) ve insanların yaşam faaliyetini sürdürmesi bölgede riske maruz kalabilmenin seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu yüzden çalışma alanımız olarak, özellikle risk seviyesini belirleme ihtiyacının doğacağını düşündüğümüz bu bölgeyi seçmiş bulunmaktayız.



Şekil 6: Çalışma alanının nüfus yoğunluğu.

1.5 Materyal ve Metot

1.5.1 Materyal

Harita Genel komutanlığından temin edilen belirli yıllara ait 1: 15,000-1: 35,000 ölçekli (1958, 1963, 1973, 1986, 1990) stereo hava fotoğrafları kullanılmıştır. Sayısal yükselti modeli Harita Genel Komutanlığı'nın 1/25 binlik 6 adet topoğrafya haritasından (H39-a4, H39-a3, H39-b4, H39-b3, H39-d2, H39-c1) elde edilmiştir. Ayrıca 1/25 binlik jeoloji haritası kullanılmıştır. Toprak haritası 1/25 binlik olarak T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Yüksek ve çok yüksek çözünürlüklü 2006 yılına ait Spot (5 m) uydu görüntüsü ve 2013 WorldView (1m) uydu görüntüsü kullanılmıştır.

Ayrıca Google Earth 2016 görüntülerinden yararlanılmıştır. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden Koyulhisar ve Suşehri meteoroloji istasyonlarına ait iklim verileri temin edilmiştir. Yazılım olarak; Coğrafi Bilgi Teknolojisi yazılımlarından ArcGIS, SAGA, Surfer, Netcad kullanılmıştır. İstatistik değerlendirmeler için MATLAB, EViews, EasyFit programları kullanılmıştır. Araç olarak, arazi çalışmalarında jeolog çekici, el tipi gps, fotoğraf makinesi ve şerit metre kullanılmıştır. Stereo hava fotoğraflarını incelemelerde ise aynalı stereoskop kullanılmıştır.

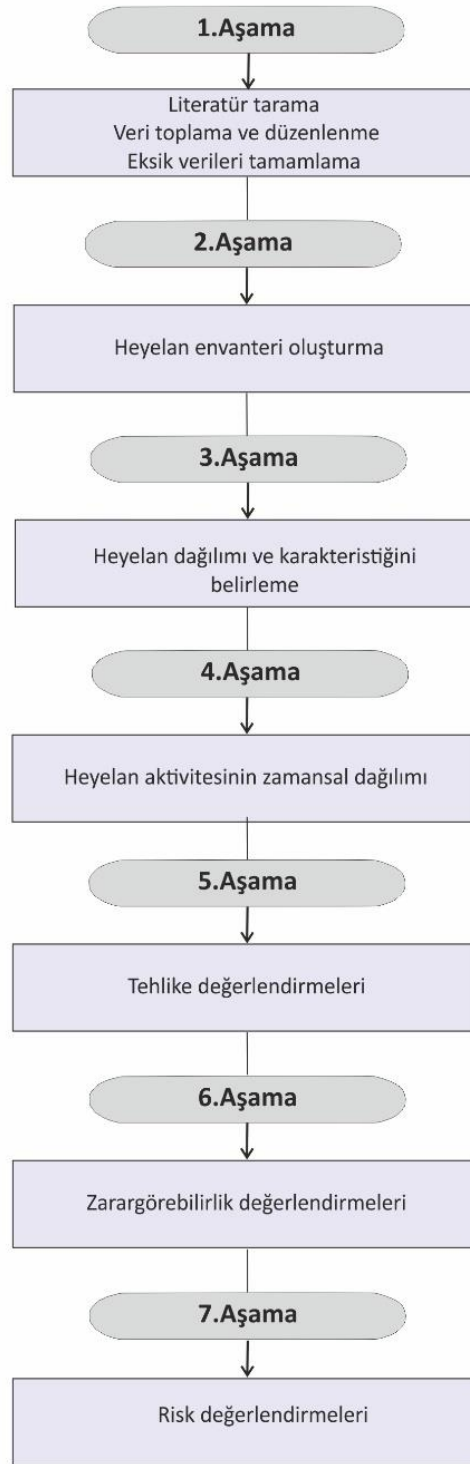
1.5.2 Metot

Çalışma genel kapsamda literatür tarama, arazi çalışmaları, veri toplama, verilerin sayısal hale getirilmesi, analiz, sonuçlarının değerlendirilmesi, kalibrasyonunu ve geçerliliğinin test edilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Bu genel çerçeve kapsamında çalışmanın ilk aşamasını literatür tarama, veri toplama, verilerin düzenlenmesi, eksik verilerin tamamlanması, çalışma sürecinin planlanmasını oluşturmaktadır. İkinci aşama çalışma sahasının güncel heyelan envanterinin oluşturulması ve bunların arazi çalışmaları ile yersel kontrollerinin sağlanmasını içermektedir. Üçüncü aşama Heyelan dağılımı ve karakteristiğini

etkileyen faktörlerin incelenmesini içermektedir. Dördüncü aşama yıllara göre heyelan aktivitesinin zamansal dağılımını oluşturmaktadır. Beşinci aşama tehlike analizleri ve sonuçlarını içermektedir. Altıncı aşama zarargörebilirlik değerlendirmelerini içermektedir. Yedinci aşama ise risk değerlendirmeleri ve bunlara ilişkin maliyet hesaplamalarını içermektedir (Şekil 7).





Şekil 7: Genel hatlarıyla çalışmanın aşamaları.

Birinci aşamada literatür araştırmalarında tehlike yaklaşımları ve bunlara ilişkin kullanılan yöntemler incelenmiştir. Aynı zamanda bu aşamada araştırmalara göre kullanılacak yöntemin seçimi ve uygulama yapılacak alanın sınırları belirlenmiş ve uygulama adımları ortaya konulmuştur.

İkinci aşamada Uydu görüntülerinden çalışma sahasının güncel heyelan envanteri belirlenmiştir. Arazi çalışmaları ile heyelanların yersel doğruluklarını tespit edilmiştir.

Üçüncü aşamada heyelanların dağılım karakteriştiğini belirlemek için litolojik birimler ve aktif fayla olan mekânsal ilişkisi incelenmiştir. Jeomorfolojik etkenler, topoğrafik röliyef, yükselti, eğim ve Topoğrafik Nemlilik İndisinin (TWI) heyelan üzerinde etkileri incelenmiştir.

Dördüncü aşamada Heyelan aktivitesinin incelendiği bu aşamada uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarından elde edilen çok zamanlı heyelan envanteri oluşturulmuştur. Bu aşamada 2006 ve 2016 yıllarına ait çok yüksek ve yüksek çözünürlüklü (WorldView 1m ve Spot 5m) uydu görüntüleri kullanılmıştır. 1990, 1986, 1973, 1963, 1958 yılları için 1: 16,000–1: 35,000 ölçekleri arasında değişen stereo hava fotoğrafı setleri (19 x 19 cm ve 21 x 21 cm) kullanılmıştır. Ayrıca AFAD'tan elde edilen heyelana ilişkin tarihsel kayıtlardan faydalanılmıştır. Bu amaçla bu bölümde heyelan aktivite dağılımını incelenmiştir. Bunun yanı sıra heyelanın zamana bağlı mekânsal sürekliliği için testler de uygulanmıştır.

Beşinci aşamada heyelan frekansı ve heyelan yoğunluğuna bağlı olarak tehlike değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu bölümde uzman görüşüne dayalı yapılan bu tehlike değerlendirmeleri, M-AHP yöntemiyle eşleştirilerek geçerliliği test edilmiştir.

Altıncı aşamada Nüfus, tarım çeşitleri, yol tipleri, kritik yapı ve alt yapı gibi risk elemanlarının zarargörebilirliği fiziksel, sosyal, sistemik ve ekonomik bakımdan değerlendirilmiştir. Zarargörebilirlikler heyelan yoğunluğuna bağlı olarak yapılmıştır. Ayrıca zarargörebilirlikte gece ve gündüz gibi farklı senaryolar da sistemik açıdan ele alınmıştır.

Yedinci aşama ise; heyelan frekansıyla yoğunluğuna bağlı oluşturulan tehlike zonları ile tehlike yoğunluğuna ve risk elemanlarına bağlı oluşturulan zarargörebilirliğin kesişiminden elde edilen risk değerlendirmelerini kapsamaktadır. Ayrıca jeomorfolojik yaklaşıma göre elde edilen bu risk değerlendirmeleri, M-AHP yöntemi ile eşleştirilerek geçerliliği test edilmiştir. Bunlara ek olarak bu bölümde nitel ve yarı nicel iki yaklaşıma göre değerlendirilen risk değerleri üzerinden risk elemanlarının maliyetleri de hesaplanmıştır.



1.6 Sınırlılıklar

Çalışmada veri eksikliğinden kaynaklı birtakım engellerle karşılaşmıştır. Bunların başında geçmiş dönemlere ait veri sınırlılığıdır. Geçmiş yıllara ait hava fotoğrafları için en eski dönem 1958 yılına aittir. Ayrıca hava fotoğrafı görüntülerinin ölçeklerinin birbirinden farklı olması, heyelan envanterinin en küçük hava fotoğrafı ölçeğine (1: 35 000) göre referans alınmasına neden olmuştur. Bunların dışında çalışma alanı içerisinde bulunan Koyulhisar istasyonunun kapanmasından dolayı iklim verilerinde eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksik veriler istatistik yöntemlerle tamamlanmıştır. Bölgeye ait heyelan kayıtlarının yalnızca can kayıpları içeren ve maddi hasara yol açan olayları kapsamaması ve bu kayıtların olayın gerçekleştiği tarihten ziyade raporlama dönemini içermesi tarihsel envanterlerin derlenmesinde karşılaşılan diğer bir sınırlılığı oluşturmaktadır.

Yöntemsel bakımdan çalışmada kullanılan jeomorfolojik yöntem ile daha önce meydana gelmiş heyelanlar referans alınarak tehlike değerlendirmeleri yapılmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem yeni gelişebilecek heyelanların bulunabileceği yamaçları kapsamamaktadır. Bu sınırlılık ise tetikleyici faktöre bağlı oluşturulan heyelan hassasiyet alanları ile giderilmeye çalışılmıştır.

1.7 Temel Kavramlar

Heyelan risk değerlendirmesinin tehlike kısımları, uygulamalı jeomorfolojinin konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışmalar daha çok dünyada jeologlar, jeofizikçiler ve çok az da olsa coğrafyacılara tarafından yapılmaktadır. Risk aşamasına gelindiğinde bu kısım insan ve insanın ürettiklerini kapsadığından coğrafyanın ilgi alanını oluşturmaktadır. Fakat başta ülkemiz de olmak üzere tehlike ve risk çalışmalarının çok az olması bu alana özgü kavramlar hem eksik hem de yanlış kullanılmaktadır. Genellikle duyarlılık çalışmaları tehlike ya da risk olarak adlandırılmaktadır. Bu kavram karmaşasını ortadan kaldırmak için bu çalışmamızda temel kavramların uluslararası literatürdeki gerçek anlamına yakın bir anlam verilmeye çalışılmıştır.

Afet: genel manada doğal (heyelan, deprem, sel vb.) veya beşeri (yangın, salgın hastalık, nükleer, kimyasal vb.) kaynaklı gelişen bir olayın insana, insanın üretim alanına ve ürünlerine zarar vermesini ifade etmektedir (Cruden & Varnes, 1996; Cruden & Fell, 1997; Dai vd., 2002; Guzzetti, 2006; Van Westen vd., 2006; Van Westen, 2017).

Risk: Belirli bir zamanda ve belirli bir büyüklükteki tehlike karşısında maruz kalan insan ve insanın üretimlerinin (yapı, alt yapı, diğer ekonomik değeri olan varlıklar) fiziksel, sosyal, ekonomik ve sistemik zarargörebilirlik açısından alabileceği kayıplara risk denir (Cruden & Varnes, 1996; Cruden & Fell, 1997; Dai vd., 2002; Guzzetti, 2006; Van Westen vd., 2006; Van Westen, 2017).

Genel olarak nicel ve nitel olmak üzere iki risk değerlendirmesi yaklaşımı bulunmaktadır.

Nicel yaklaşımlarda genel olarak $R = (T, Z, M)z, m$ formülüne bağlı değerlendirme yapılırken, nitel yaklaşımlarda ise $R = \frac{(T, Z)}{K}$ formülüne ilişkin değerlendirme yapılmaktadır (Van Westen vd., 2006; Dalezios, 2017; Van Westen, 2017).

Bu formüllerde, R: risk, T: tehlike, Z: zarargörebilirlik, m: miktar, z: zaman, m: mekân terimlerini ifade etmektedir.

Bu kavramları daha detaylı ele alırsak;

Tehlike; yapılan araştırmalarda tehlike kavramının iki farklı anlamda kullanıldığı görölmüştür. Bu anlamlardan birincisinde olayın (örneğin heyelan) o alanda tekrarlamaya sıklığı ve olayın büyüklüğü ele alınmıştır. İkincisinde olayın geçmişte tekrarlamaya sıklığı ve büyüklüğü dikkate alınarak gelecek zaman içerisinde olabirliğinin ortaya konulmasıyla ele alınmıştır (Cruden & Varnes, 1996; Cardinali vd., 2002; Van Westen vd., 2006; Cardinali vd., 2007; Van Westen, 2017).

Risk elemanı; tehlikeye maruz kalan insan ve insan üretimleri yapı, altyapı, ekonomik değer taşıyan (insan, ev, tarla, bahçe gibi) unsurlardan oluşturmaktadır (Van Westen vd., 2006; Van Westen, 2017).

Maruz kalma; insanların, yapıların ve sistemlerin, potansiyel kayıp tehdidi altında bulunmasıdır (Crozier & Glade, 2005).

Kapasite; risk elemanlarının tehlikeyi tahmin etmesi, önlemesi veya tehlikenin oluşturacağı zararları karşılama potansiyelidir.

Zarargörebilirlik; Tehlikenin tipine ve büyüklüğüne bağlı olarak insan ve insan üretimlerinin fiziksel, sistemik, sosyal, ekonomik bakımdan gördükleri zararların ölçüsüdür (Glade vd., 2006; Van Westen vd., 2006; Van Westen, 2017).

Fiziksel zarargörebilirlik; İnsan ve insan faaliyetlerinin gerçekleştiği yapı, altyapı ve iş alanlarını oluşturan unsurların fiziksel anlamda zarargörebilirliklerini içermektedir (Glade vd., 2006; Douglas, 2007; Papathoma vd., 2011; Kappes vd., 2012).

Sistemik zarargörebilirlik; Fiziksel hasardan kaynaklanan arızalara bağlı olarak kritik unsurların fonksiyon kaybına uğrayarak faaliyetlerini sistemsel olarak aksatmasının ölçüsüdür (Menoni vd., 2002; Hellström, 2007; Pascale vd., 2010; Menoni vd., 2012).

Sosyal zarargörebilirlilik; Bireylerin zihinsel, sosyolojik ve demografik yönden zarargörebilirliliklerini ifade eder (Cannon vd., 2003; Pelling, 2003; Dwyer vd., 2004).

Ekonomik zarargörebilirlilik Birey ve bireylerin ekonomik yaşam giderleri sağladıkları unsurların ve imkân kapasitelerinin zarargörebilirliliğini ifade etmektedir (Adrianto & Matsuda, 2002; Alcántara-Ayala, 2002; Galli & Guzzetti, 2007; Raddatz, 2009).

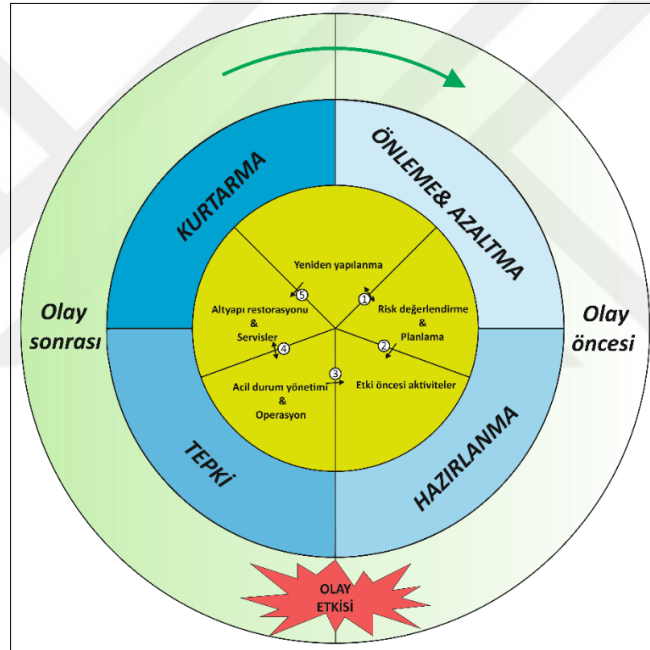


1.8 Önceki çalışmalar

İnsanlık varoluşundan günümüze kadar hayatta kalabilmek, yaşamını idame ettirebilmek için doğa ile mücadele etmektedir. İnsan, doğa olaylarından gördüğü zararda ve doğanın yıkıcı gücüne maruz kaldığında Tanrı'nın kendisini cezalandırdığını düşünmüştür. Kutsal kitaplarda da tanrının insanları cezalandırırken zaman zaman doğayı kullandığı belirtilmiştir. İnsanların doğayı değiştirme etkisinin az olduğu insanlık tarihinin ilk zamanlarında, afet kaderdir anlayışı hüküm sürmüştür. Fakat bu tamamıyla doğaya tabi olmak anlamına gelmemektedir. Elbette bazı zamanlar insanlar afetten korunma ve afeti önlemek için çalışmalarda bulunmuştur. Bu ilk çalışmalara örnek verilmesi gerekirse Nuh peygamberin afete karşı gemi inşa etmesi, zarar azaltmaya örnek gösterilebilir. Başka bir afeti önleme çalışmasına örnek yaklaşık 3000 yıl önce Mısırda Nil Nehri'nin taşkın döneminin hesaplanmasıdır. Yakın tarihimize geldiğimizde insanlığın bilinçlenmesine bağlı olarak I. Dünya Savaşı sonrasında afet ile ilgili "pasif koruma" kavramı ortaya atılmıştır. Zamanla, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra "sivil savunma" önem kazanmıştır. Daha sonraları 1994 yılında Doğal Afet Zararlarının Azaltılması Konferansı (Yokohama, Japonya) düzenlemiştir. Konferansta ülkeler daha güvenli bir dünya için Yokohama Stratejisi ve Eylem Planı'nı oluşturmuşlardır. Bu konferansta "risk analizi" ve "risk yönetimi" kavramları üzerinde durulmuştur. Daha sonraları bu konuyla ilgili 1971 yılında UNDRP'nin (United Nations Disaster Relief Organization) afet yönetimi üzerine gelişmeleri, 1990 yılında IDNDR'nin (International Decade for Natural Disaster Reduction) afet risk yönetimi gelişmeleri ve 2000 yılında ISDR'nin (International Strategy for Disaster Reduction) afet risk azaltma konusundaki çalışmalar izlenmiştir. 2005 yılına gelindiğinde Japonya'nın Kobe kentinde Afetlerin Azaltılması 2. Dünya konferansında 2005-2015 yıllarını kapsayan afet riskinin azaltımına yönelik HÇEP (Hyogo Çerçeve Eylem Planı) hazırlanmıştır. 2015 yılında ise Japonya Sendai de DRR (Disaster Risk Reduction) adı altında afet risklerinin azaltılması yönünde 2015-2030 yıllarına ilişkin planlar hazırlanmıştır.

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze nüfus artışı insanın doğa üzerindeki etkisinin artmasına neden olmuştur. Nüfus artışı ile doğa için olağan

süreçlere maruz kalmayı arttırdığından bu olayların doğal afet boyutu kazanması da giderek artmaktadır. Zaman zaman büyük afetlerle sonuçlanan bu etkileşim, insanları afet etkisini azaltmak için afet ve risk yönetimi çalışmalarına zorlamıştır. Bu amaçla yukarıda gelişimi bahsedilen afet yönetiminde; afet öncesi (önleme, azaltma ve hazırlanma) ve afet sonrası (tepki ve iyileştirme) şeklinde iki amaç vardır (Şekil 8). Afet öncesi hazırlıklarda; afeti önlemek ve azaltmaya yönelik kestirimler, risk değerlendirmesi kapsamında yapılmaktadır.



Şekil 8: Afet yönetim döngüsü (Kaynak: http://www.floodsite.net/html/cd_task17-19/flood_management_practice.html)

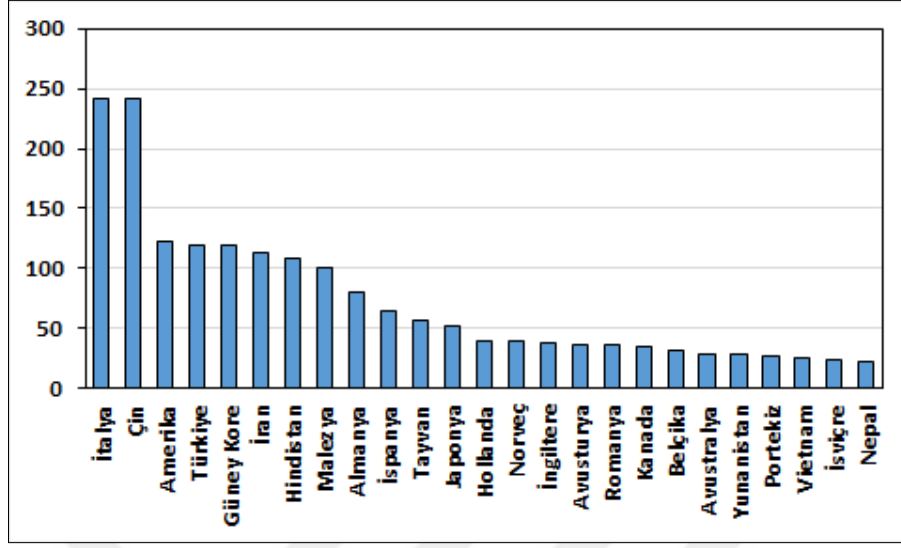
Genel anlamda afet ve risk yönetimi yukarıda anlatıldığı gibi bir gelişim gösterirken bu çalışmanın da temelini oluşturan heyelana ilişkin duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri belirli aşamalarla günümüzdeki şeklini almıştır. Bunların temelleri 1900'lerde Howe (1909) tarafından heyelan aktivite periyodları ve süreç gelişiminin bölgesel değerlendirilmesine dayanmaktadır. 1950 sonrası dönemde Varnes (1958a) tarafından yapılan heyelan sınıflaması ve Jones (1961) tarafından ise heyelan envanteri haritalama ve bölgesel tehlike değerlendirmeleri uygulaması ortaya

konulmuştur. 1970'li yıllar Brabb ve Pampeya'nın (1972) bölgesel heyelan duyarlılık haritası ve Varnes'in (1978) heyelan sınıflama iyileştirmesiyle devam etmiştir. 1980'lerde ise Cannon ve Ellen (1985) tetikleyici heyelanlar için bölgesel yağışların eşik değerlerini belirleme, Wieczorek'un Tehlike değerlendirmesi ve azaltılması çalışmaları (1984), Wieczorek vd.'nin (1985) depremin tetiklediği heyelan duyarlılık haritası gibi çalışmalar göze çarpmaktadır. 1990'lı yıllara gelindiğinde GIS teknikleri ile oluşturulan heyelan duyarlılık, tehlike analizleri ve sınıflamaları görülmektedir. Bunlara örnek vermek gerekirse Cruden and Varnes'in (1996) heyelan sınıflama sistemlerini geliştirmesi, Iverson vd.'nin (1998) moloz akması tehlike modeli, Cruden ve Fell'in (1997) heyelan risk değerlendirme çalışması ve Guzzetti vd.'nin (1999) heyelan tehlike değerlendirmesi çalışmalarına rastlanmaktadır. 2000 yılından günümüze doğru duyarlılık ve tehlike çalışmaları yaygınlaşmıştır. Bu çalışmalar ilk başlarda tek bir yöntemin kullanılması ile yapılırken günümüze yaklaştıkça birden fazla yöntemin karşılaştırılması şeklinde ortaya konulmuştur. Van Westen vd., (2006) bu çalışmaları sistematik olarak 4 ana grup altında toplamıştır. Heyelan envanteri temelli olasılık yaklaşımı (Chau vd., 2004; Guzzetti vd., 2005), sezgisel yaklaşım (doğrudan; jeomorfolojik haritalama veya dolaylı; parametre haritalarının çakıştırılarak kesişim alanların tespit edilmesi) (Pachauri & Pant, 1992; Gökçeoglu & Aksoy, 1996; Pachauri vd., 1998; Wachal & Hudak, 2000; Ayenew & Barbieri, 2005; Ruff & Czurda, 2008), istatistiksel yaklaşım (iki değişkenli veya çok değişkenli) (Carrara vd., 1991; Atkinson & Massari, 1998; Guzzetti vd., 1999; Lee & Min, 2001; Dai & Lee, 2002; Santacana vd., 2003; Lee vd., 2004; Malamud vd., 2004; Nandi & Shakoor, 2010), deterministik yaklaşım (Gökçeoglu & Aksoy, 1996; Van Westen & Terlien, 1996; Cotecchia vd., 2009) olarak sıralanmaktadır. Bu sıralama ek olarak, son yıllarda söz konusu analizlerin bilgi temelli yapay zekâ yöntemleri ile gerçekleştirilmesine ilişkin çalışmalar da görülmektedir (Juang vd., 1992; Ercanoglu & Gokceoglu, 2002, 2004; Yesilnacar & Topal, 2005; Kanungo vd., 2006).

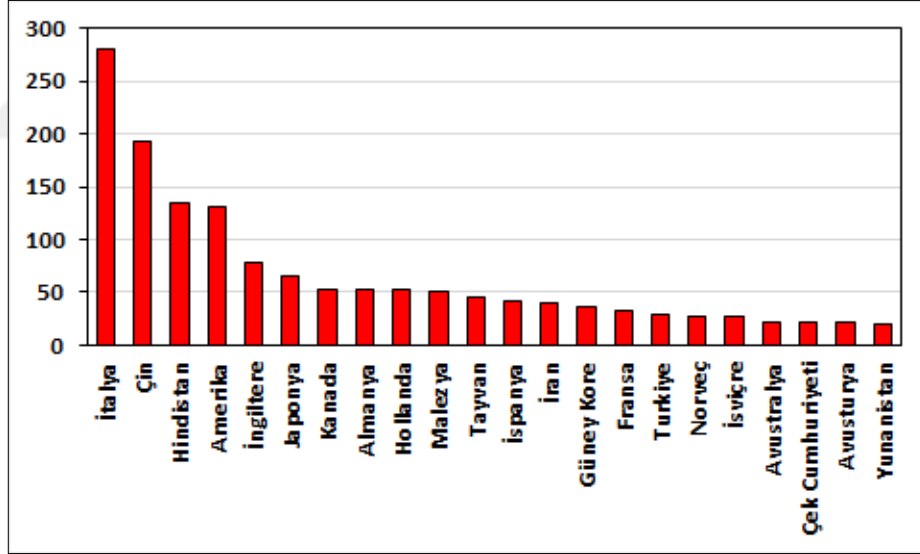
Yukarıda özetlenen geçmiş çalışmalardan günümüze kadar heyelan duyarlılık, tehlike ve risk gelişiminde kullanılan haritaların oluşturulmasında, heyelan dağılım koşullarının denetimi açısından önemli olduğu düşünülen dünya genelinde bölgesel heyelan çalışmalarında en çok kullanılan parametreler hangileri ve bunların

önem dereceleri nelerdir? Bu soruya en iyi şekilde kullanılan parametrelerin zamana bağlı bilimsel-teknolojik gelişimlerle ilişkisi ortaya koyularak cevap verilebilmektedir. Bu bakımdan tez kapsamında 1990-2017 yılları arasında yapılan en az 20 atıf almış uluslararası yayınlar içerisinde seçilen 200 adet çalışmada kullanılan dağılım koşullarını denetleyen koşul ve tetikleyici parametreler incelenmiştir (Tablo 1). İncelenen bu çalışmalar içerisinde en fazla kullanılan parametreler; eğitim, litoloji, bakı, topoğrafik yamaç eğrisellikleri ve yapısal çizgiselliklerdir. Fakat incelemelere göre bu çalışmaların çoğunda çalışma sahasında etkili olmayan parametreler de kullanılmıştır. Tarafımıza göre çalışma sahası ile ilgili bilgi toplandıktan sonra heyelanı denetleyen süreçlerin anlaşılabilir parametre seçimlerinin yapılması sonuçların daha güvenilir olmasını sağlayacaktır. Çalışmalarda ilk zamanlar 1990-1993 yıllarında genellikle çakıştırma (ing. overlay) analizleri kullanılırken daha sonraki 1993-2005 yıllarında çift veya çok değişkenli istatistiksel yaklaşımların kullanılması ağırlık kazanmıştır. 2005-2008 yıllarında hem çok hem de çift değişkenli istatistiksel yaklaşım aynı anda kullanılmaya başlamış buna ek olarak Analitik Hiyerarşi Süreçleri (AHP) ve Yapay Sinir Ağları (ANN) modelleri de kullanılmıştır. 2008-2010 yıllarında ANN, AHP, çift ve çok değişkenli istatistik modelleri birbirleriyle karşılaştırılarak kullanılmıştır. 2011 den sonra mevcut modeller üzerinde modifiyeler yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

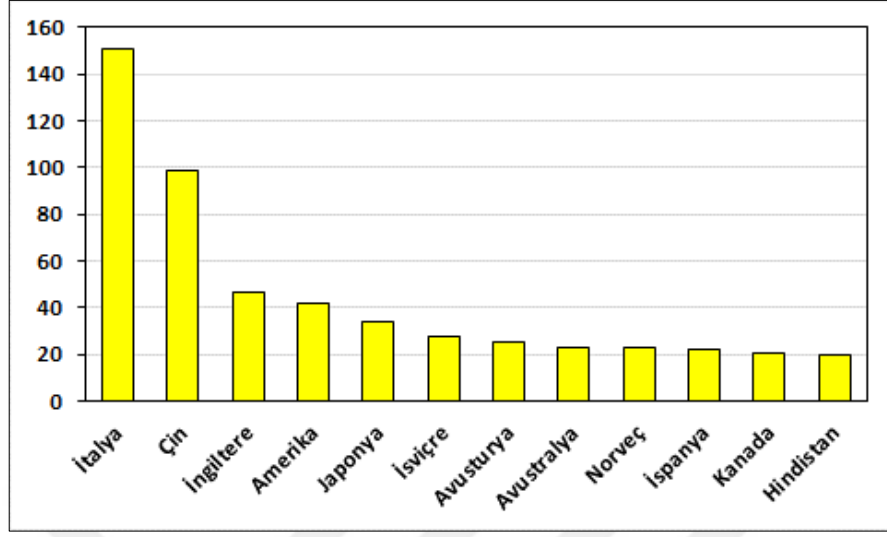
Web of Scienceden elde edilen verilere göre ülke bazında heyelan duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları değerlendirilmiştir. Buna göre 1530 heyelan duyarlılık, 1368 tehlike, 624 risk çalışması yapıldığı ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında her üç tip çalışmada en fazla çalışma İtalya daha sonra Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de 120 adet heyelan duyarlılığı çalışması görülürken, bu sayı heyelan tehlikesi çalışmasında 29 adet olarak görülmektedir. Heyelan riski olarak makale sayısı 3 adet ile sınırlı kalmaktadır (Şekil 9, 10 ve 11).



Şekil 9: Ülkelere göre (en az 20 çalışma olmak kaydıyla) heyelan duyarlılık çalışmaları.



Şekil 10: Ülkelere göre (en az 20 çalışma olmak kaydıyla) heyelan tehlike çalışmaları.



Şekil 11: Ülkelere göre (en az 20 çalışma olmak kaydıyla) heyelan risk çalışmaları.

Ülkemizde yapılan duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları daha çok Batı, Orta, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerine yöneliktir. Literatüre göre Türkiye için makale olarak yapılan heyelan risk çalışmaları; Düzgün & Özdemir tarafından yapılan (2006) Konya Dereköyün analitik karar bağılı heyelan riski değerlendirmesi, Akgün vd., tarafından (2012) Coğrafi Bilgi Sistemi CBS ve Uzaktan Algılama UA ile İzmir şehrinin heyelan riskinin değerlendirilmesi, Erener & Düzgün tarafından (2013) Bartın Kumluca havzasında nicel yöntemle bağılı heyelan riski değerlendirilmesi çalışmalarıdır. Lisansüstü tez kapsamında; Özdemir (2007) tarafından Havran Çayı havzasının (Balıkesir) CBS ve UA yöntemleriyle heyelan risk analizi, Erener tarafından (2009) CBS ve UA algılama kullanılarak heyelan riski belirleme yaklaşımı ve Tetik Biçer tarafından (2017) Kahramanmaraş ilinin heyelan riskini yarı sayısal yöntemlerle değerlendirmesidir.

Çalışma alanı sınırları için yapılan heyelan çalışmalarına bakıldığında; Duman vd., (2005) Kuzulu (Sivas–Koyulhisar) heyelanı üzerine rapor düzenlemiştir. Gökçeoğlu vd., (2005) çift değişkenli istatistik yöntemiyle Kuzulu heyelanının duyarlılık çalışmalarını yapmıştır. Yıldırım tarafından (2006) Koyulhisar-Kuzulu (Sivas) heyelanının jeomorfolojik etüdü üzerine çalışılmıştır. Nefeslioğlu vd., (2008a) tarafından Karekök Ortalama Hatası (RMSE) ile Kelkit'in heyelan duyarlılık çalışması

yapılmıştır. Cihangir ve Görüm (2016) Kelkit Vadisi'nin aşağı çığırında gelişmiş heyelanların dağılım deseni ve oluşumlarını kontrol eden faktörleri incelemiştir.



(Van Westen vd., 2003)	Çift değişkenli istatistik	Alpago Basin, Italy	•	•								•	•	•																							
(Lee vd., 2004)	Yapay sinir ağları	Boun, Korea	•									•	•	•																							
(Ayalew vd., 2004)	Çift değişkenli istatistik	Niigata, Japan	•										•																								
(Ercanoglu & Gokceoglu, 2004)	Bulanık mantık	Kumluca, Turkey	•	•									•	•																							
(Ercanoglu vd., 2004)	Çok değişkenli istatistik	Yenice, Turkey				•							•																								
(Lan vd., 2004)	Çakıştırma	Yunnan, China	•	•	•								•																								
(Lee vd., 2004)	Çift değişkenli istatistik	Boun, Korea	•	•									•																								
(Süzen & Doyuran, 2004a)	Çift değişkenli ve Çok değişkenli	Duzce, Turkey	•	•									•	•																							
(Süzen & Doyuran, 2004b)	Çift değişkenli istatistik	Duzce, Turkey	•	•									•	•																							
(Guinau vd., 2005)	Çakıştırma	Nicaragua, Central America	•				•						•																								
(Guzzetti vd., 2005)	Çok değişkenli istatistik	Lombardi Region, Italy	•										•	•																							
(Lee & Dan, 2005)	Çakıştırma	La Chau, Vietnam		•	•								•																								
(Lee, 2005)	Çok değişkenli istatistik	Penang, Malaysia	•	•									•	•																							
(Remondo vd., 2005)	Zamansal oluşum ve dağılım	Guipuzcoa, Spain	•										•																								
(Can vd., 2005)	Çok değişkenli istatistik	Zonguldak-Bartın, Turkey	•										•																								

(Chau & Chan, 2005)	Çok değişkenli istatistik	Hong Kong Island	•																			•																				•																																													
(Ayalew & Yamagishi, 2005)	Çok değişkenli istatistik	Kakuda-Yahiko, Japan	•	•	•																		•																				•																																												
(Ayalew vd., 2005)	Çok değişkenli istatistik ve Çakıştırma	Sado Island, Japan	•																				•																				•																																												
(Ermini vd., 2005)	Yapay Sinir Ağları	Riomagiore River, Italy	•																				•						•															•																																											
(Gokceoglu vd., 2005)	Çift değişkenli istatistik	Kuzulu-Sivas, Turkey	•																				•										•											•																																											
(Gomez & Kavzoglu, 2005)	Yapay Sinir Ağları	Jabanosa Basin, Venezuela	•	•																			•																				•																																												
(Saha vd., 2005)	Çift değişkenli istatistik	Garhwal-Himalaya, India	•																				•		•																		•																																												
(Singh vd., 2005)	Çift değişkenli istatistik	Murren, Switzerland																					•																				•						•	•																																					
(Wang & Sassa, 2005)	Çok değişkenli istatistik	Minamata, Japan	•																				•																				•																						•	•																					
(Yesilnacar & Topal, 2005)	Çok değişkenli istatistik	Hendeke-Adapazari, Turkey	•	•																			•	•																			•						•	•	•	•														•																					
(Guzzetti vd., 2005)	Çift değişkenli istatistik	Staffora River Basin, Italy	•		•																																						•																						•																						
(Clerici vd., 2006)	Çift değişkenli istatistik	Baganza Valley, Italy	•		•																		•																				•																						•																						
(Duman vd., 2006)	Çok değişkenli istatistik	B.Cekmece-Istanbul, Turkey	•																				•																				•																						•																						
(Kanungo vd., 2006)	Bulanık mantık ve Yapay Sinir Ağları	Darjeeling-Himalaya, India	•	•																			•	•																			•																						•																						

(Yilmaz, 2009b)	Çok değişkenli istatistik, Çift değişkenli istatistik, Yapay Sinir Ağları	Tokat, Turkey	•										•		•	•								•	•					
(Yilmaz, 2009a)	Yapay Sinir Ağları	Sivas-Turkey	•	•																				•	•	•	•			
(Tangestani, 2009)	Dempster–Shafer And Bulamk Model	Zagros Mountains, Sw Iran	•													•								•						
(Pradhan vd., 2009)	Bivariate, Fuzzy	Penang Island, Malaysia	•	•												•	•								•	•	•			
(Mathew vd., 2009)	Çok değişkenli istatistik	Garhwal Lesser, Himalaya	•	•	•											•								•	•					
(Saito vd., 2009)	Karar Ağaçları Modeli	Akaishi Mountains, Japan	•													•	•													
(Oh vd., 2009)	Çok değişkenli istatistik, Çift değişkenli istatistik	Pechabun Area Of Thailand	•	•																				•		•				
(Shi-Biao vd., 2009)	Çift değişkenli istatistik	Three Gorges Area, China														•	•	•							•	•	•			
(Kirschbaum vd., 2009)	Stokastik yöntem	Global											•		•	•								•		•				
(Falaschi vd., 2009)	Çok değişkenli istatistik ve Yapay Sinir Ağları	Serchio River Valley, Italy	•	•																				•						
(Bathrellos vd., 2009)	Çoklu Faktör Model	Trikala, Central Greece	•	•	•																			•	•	•				
(Wan, 2009)	Çift değişkenli istatistik	Central Part Of Taiwan	•																					•	•	•				
(Yilmaz & Keskin, 2009)	Çift değişkenli istatistik	Sebinkarahisar, Turkey																						•	•	•				
(Van Den Eeckhaut vd., 2009)	Çok değişkenli istatistik	Flemish Ardennes, Belgium	•										•		•	•	•													

(Pradhan & Lee, 2010a)	Yapay Sinir Ağları, Çift değişkenli istatistik ve Çok değişkenli istatistik	Klang Valley Area Of Selangor	•	•											•		•	•														•	•	•						
(Das vd., 2010)	Çok değişkenli istatistik ve Çift değişkenli istatistik	Himalaya, India	•	•											•		•	•																	•					
(Pradhan & Lee, 2010b)	Yapay Sinir Ağları	Cameron Highland, Malaysia	•	•	•										•		•	•																		•				
(Nandi & Shakoor, 2010)	Çift değişkenli istatistik ve Çok değişkenli istatistik	Ohio, U.S.A													•		•	•																			•			
(Regmi vd., 2010)	Çift değişkenli istatistik	Colorado, Usa	•												•		•	•																		•		•		
(Nefeslioglu vd., 2010)	Karar Ağaçları	Istanbul, Turkey	•																																					
(Poudyal vd., 2010)	Çift değişkenli istatistik ve Yapay Sinir Ağları	Himalaya, Nepal	•	•																																		•		
(Vahidnia vd., 2010)	Bulanık Çıkarım Sistemi ve Yapay Sinir Ağları	Mazandaran Province, Iran	•	•																																				
(Bednarik vd., 2010)	Çift değişkenli istatistik	Kraľovany, Slovakia	•																																					
(Băltesanu vd., 2010)	Olasılık Yöntemi	Carpathians, Romania	•	•																																		•		
(Rossi vd., 2010)	Çok değişkenli istatistik ve Yapay Sinir Ağları	Collazzone, Italy	•																																					
(Akgun & Türk, 2010)	Fuzzy And AHP	Ayvalik, Turkey	•	•																																				

(Mancini vd., 2010)	Çok değişkenli istatistik	Daunia Area, Italy	•																		•		•														
(Bai vd., 2010)	Çok değişkenli istatistik	Three Gorges Area, China																				•			•		•										
(Van Den Eeckhaut vd., 2010a)	Sezgisel And Çok değişkenli istatistik	Ardenne Region, France	•																				•	•	•												
(Sezer vd., 2011)	Adaptif Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (Anfis)	Klang Valley, Malaysia	•	•																			•	•													
(Constantin vd., 2011)	Çift değişkenli istatistik Analysis And Entropi İndeksi	Sibiciu Basin, Romania	•																				•		•												
(Bai vd., 2011)	Çok değişkenli istatistik	Lianyunngang, China	•	•																			•	•			•	•									•
(Rozos vd., 2011)	Kaya Mühendisliği Sistemi Rock Engineering System (RES) ve AHP	Peloponnesus, Greece	•	•				•															•	•			•	•									
(Ercanoglu & Temiz, 2011)	Lojistik regresyon ve Bulanık	Kastamonu, Turkey	•																				•	•													
(Oh & Lee, 2011)	Çift değişkenli istatistik	Panaon Island, Philippines	•	•																			•	•			•	•									
(Intarawichian & Dasananda, 2011)	Çift değişkenli istatistik analizi	Mae Chaem, Thailand	•	•																			•	•			•	•									
(Goetz vd., 2011)	Çift değişkenli istatistik analizi	Lombardy, Italy	•	•																			•	•			•	•									
(Ramani vd., 2011)	Binary lojistik regresyon	Tamilnadu, India		•																		•	•				•	•									

	Ağırlıklandırılmış Ortalama (OWA)																																																																																																									
(Yusof vd., 2015)	Çok değişkenli istatistik	North-South Expressway In Malaysia																																																																																																								
(Demir vd., 2015)	Çift ve Çok değişkenli istatistik	Tokat, Turkey																																																																																																								
(Youssef vd., 2015)	Çift değişkenli istatistik	Jizan, Saudi Arabia																																																																																																								
(Youssef vd., 2016)	Rastgele Orman (RF), Yükseltilmiş Regresyon Ağacı (BRT), Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (CART) ve Genel Doğrusal (GLM)	Asir Region, Saudi Arabia																																																																																																								
(Pham, vd., 2016a)	Rastgele Alt-uzay Bulanık Kural Tabanlı Sınıflandırıcı grubu (RSSCE) ve Olasılık Analizi	Yen Bai Province, Vietnam																																																																																																								
(Hong, vd., 2016a)	Çift ve Çok değişkenli istatistik	Lianhua, China																																																																																																								
(Bui vd., 2016)	Destek Vektör Makineleri (SVM), Çok katmanlı Algılayıcı Sinir Ağları (MLP Sinir Ağları), Radyal Temel Fonksiyonu Sinir Ağları (RBF Sinir Ağları), Kernel Lojistik	Son La Hydropower Basin, Vietnam																																																																																																								

İKİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

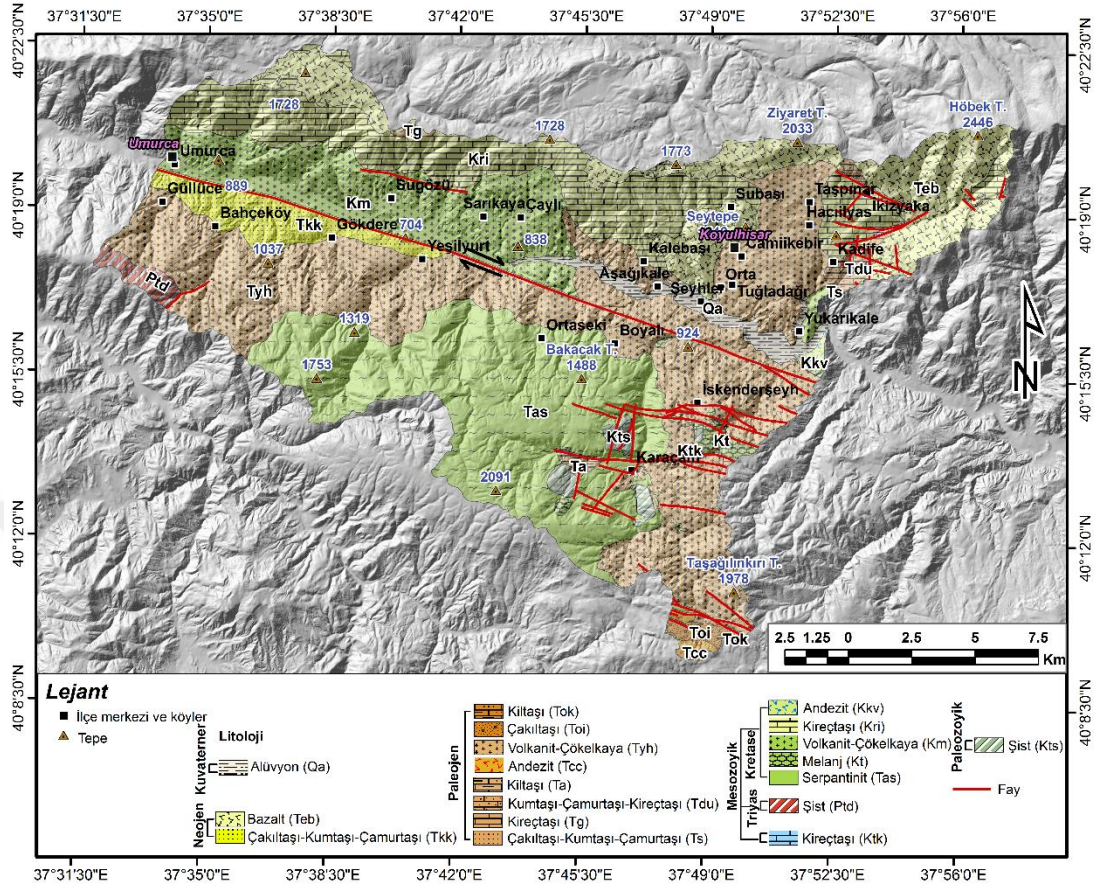
2.1 Jeolojik Özellikler

Çalışma alanı tektonik birlik olarak Pontid kuşağı-Doğu pontidlerin kuzey zonunda yer almaktadır (Okay, 2008). Bu alan Pontid-Anatolid kuşağını ayıran KAF'ın (Kuzey Anadolu Fay) Koyulhisar segmentini ve buna paralel fayları içermektedir (Toprak, 1989; Duman vd., 2005). KAF, Kelkit Çayı Vadisini kuzey ve güney olarak iki bloğa ayırmaktadır (Seymen, 1975).

Çalışma alanı farklı litolojik birimleri içermektedir. Havzadaki bu birimler en yaşlıdan en genç birime doğru; şist (Paleozoyik), kireçtaşı (Paleozoyik-Mezozoyik), şist (Permien-Triyas), serpantin (Üst Kretase), kireçtaşı (Maestrihtiyen), volkanit-çökel kaya (Üst Kretase), andezit (Santoniyen-Maestrihtiyen), çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı (Alt Paleosen), kireçtaşı (Paleosen), kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı (Üst Paleosen), kıltaşı (Alt Eosen-Orta Eosen), andezit (Lütesiyen), volkanit-çökel kaya (Eosen), çakıltaşı (Oligosen-Alt Miyosen), kıltaşı (Üst Oligosen-Alt Miyosen), çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı (Alt Miyosen), bazalt (Pliyosen) ve Kuvaterner' de oluşmuş alüvyonlardır (Yılmaz vd., 1985; Keçer, 1986; Erdem, 1987).

Çalışma alanındaki birimlere genel olarak bakıldığında; değişik fasiyeste kireçtaşı, volkanik/volcano-tortul ve kırıntılı tortul kayaların yaygın olarak yüzeylendiği görülmektedir. Gevşek dokulu bu kaya birimleri yoğun biçimde ezilmiş, parçalanmış ve altere olmuştur (Gürsoy vd., 2006; Tatar vd., 2005). Volkanit kaya birimleri her iki blokta da yüzeylenmektedir. KAF'ın bulunduğu vadi yan yamaçlarında birimler genel olarak yüksek düzeyde deformasyona uğramışlardır (Tatar vd., 2012). Çalışma sahasında KAF'ın kuzeyini oluşturan kuzey blok, Üst Kretase kireçtaşı, Pliyosen bazaltları, Eosen ve Üst Kretase volkanit çökel kayaları gibi litolojik birimlerle temsil edilmektedir (Yılmaz vd., 1985; Keçer, 1986; Erdem, 1987). KAF'ın batısında ve doğusunda, fay zonuna yakın bölümde volkano-sedimenter kayalar ve Kuvaterner alüvyonları mevcuttur (Şekil 12). Kuzey bölüm

Kuzulu Mahallesi kuzeydoğusunda yer alan ve aynı zamanda eski bir heyelan bölgesi üzerinde bulunan Sorkun yaylası, kireçtaşlarının egemen olduğu bir temel üzerinde yer yer 45°'ye ulaşan bir eğime sahip yaklaşık 3 km'lik dar bir vadi boyunca, %90'ı andezit bazalt, tuf ve aglomera ve bunlardan meydana gelmiş çakıl taşlarından oluşmaktadır (Tatar vd., 2005; Gürsoy vd., 2006). Üst Kretase volkanik ve sedimanter birimler düşük eğimlerde görülürken, Maestrihtiyen kireçtaşları ise röliyef ve eğimin yüksek olduğu alanlarda, KAF'ın etkisiyle kısa mesafelerde değişim göstererek kuzeydoğu yönünde eğimlenmişlerdir. Üst yükseltilerdeki Pliyosen volkanik birimler ise; önemli kalınlığa sahip bir regolit zonu oluşturmaktadır (Duman vd., 2005). Havzanın güney batısında KAF'a yakın alanda Alt Miyosene ait çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşları bulunmaktadır. Eosen volkanik çökel kayalar havzada güney batıdan kuzey doğuya doğru kesintisiz bir şekilde uzanmaktadır. Havzanın güneyinde ise Üst Kretase yaşlı serpantinileri yoğunluk kazanmaktadır. Bu formasyonlar arasında yer yer havzanın en yaşlı birimleri olan Paleozoyik şistler ile Alt-Orta Eosen yaşlı kilittaşları görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12: Çalışma alanının jeolojisi (MTA, 2011 ve Yılmaz vd., 1985'den derlenmiştir).

2.1.1 Statigrafik ve Litolojik Özellikler

Statigrafik ve litolojik özellikler en yaşlıdan en genç birimlere doğru belirtilmiştir. Burada çalışma sahasında en yaygın İğdir, Şıhlar, Akçaağıl formasyon grubundan (Gökçebel, Kızıltepe, Kapaklı ve Aşağıkale) Aşağıkale formasyonu, Zeytin Irmak-Karaboğaz-Hisarköy formasyonları ve Erdembaba formasyonu, buldukları döneme göre yaşlıdan gence doğru ifade edilmiştir.

Palezoik: Çalışma sahasının güneydoğusunda sınırlı bir alanda görülen şistler (Kts) pembemsi sarı renkte kristalofiliyen gnaysik olarak bulunmaktadır.

Mesozoik: Tokat masifi Permiyen-Triyas yaşlı Turhal grubuna ait kristalin şistler (Ptd) çok dar bir alanda görülmektedir. Üst Kretase yaşlı serpantinler (Tas) ise; çalışma sahasının güney bloğunda geniş alanlarda görülmektedir. Ayrıca Üst Kretase yaşlı melanj (Kt) İskenderşeyh köyünün güneyinde çok dar bir alanda görülmektedir.

Umurca ve Yeşilyurt yerleşimleri arasında havzanın kuzey bloğunda Irmak, Karaboğaz, Hisarköy Formasyonuna (MTA, 2011) ait Üst Kretase yaşlı volkanit çökelkayaları (Km) görülmektedir.

Kuzey blokta Maestrihtiyen kireçtaşları (Kri) yoğun olarak gözlenir. Reşadiye formasyonunun bir üyesi olarak İğdir kireçtaşı olarak da adlandırılan (Terlemez & Yılmaz, 1980) bu formasyon çalışma sahası sınırları içinde Kalebaşı Mahallesi (Uysal vd., 1995), Aşağıkale Mahallesi, Şıhlar Köyü, Eğriçimen Yaylası, Taşpınar Köyü ve Temide belirgindir (Toprak, 1989). Geç Maestrihtiyen yaşlı İğdir formasyonu, Aşağıkale ve Şıhlar formasyonları ile uyumludur (Şekil 13). Şıhlar Köyü'nün kuzeyinde iyi mostra veren formasyon kırmızı şistten marna doğru Aşağıkale formasyonu üzerine geçmektedir. Formasyon Şıhlar kesiminde 98 m kalınlığındayken, kuzeye doğru silt ve şist aralanması azalmakta ve kalınlığı 400 m ye kadar ulaşmaktadır (Toprak, 1989). Formasyonda bazaltik lav akıntıları, Aglomera, fosilli kumlu kireçtaşı, marn, sittaşı, çamurtaşı, polijenik konglomeralar da bulunmaktadır (Şekil 13).

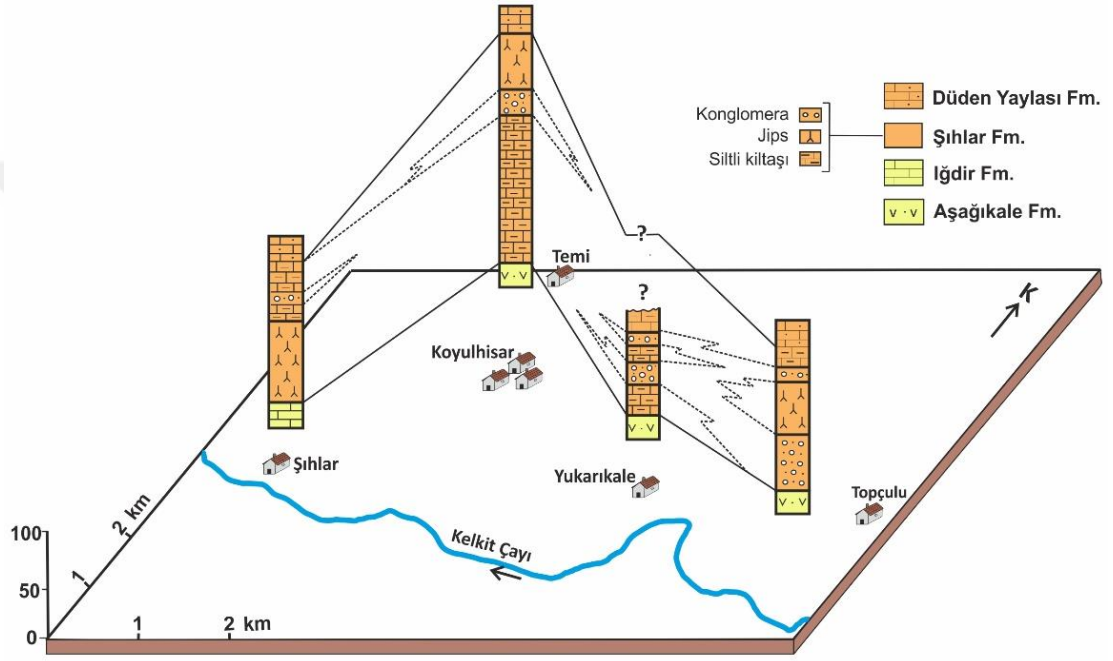
Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji ve Tanım
Montiyen	Düden	35	kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve silttaşı ardalanması
		28	sarımsı-beyaz, orta ile kalın tabakalı kumtaşı ve ince aratabakalı konglomera seviyeleri
Daniyen	Şıhlar	10	kırmızı polijenik konglomeralar
		15	kırmızı kumtaşı-silttaşı aratabakada ince jips
		69	orta ile kalın tabakalı jips ve kumlu kireçtaşı ardalanması aratabakada kırmızı, kahverengi marn ve çamurtaşı
		7	
Geç Maestrihtiyen	İğdir	24	beyaz kalın tabakalanmış fosilli kireçtaşı ile ince silttaşı ve marn ardalanması
		51	beyaz, sarı kalın tabakalanmış fosilli kumlu kireçtaşı aratabakada ince silttaşı
		6	yeşil, kırmızımsı çamurtaşı, kumtaşı
		15	yeşil, ince ile kalın kumlu kireçtaşı
		3	sarı, kalın tabakalı fosilli kumlu kireçtaşı
Orta-Geç Maest.	Aşağıkale	30	kırmızı sist. marn
			bazaltik lava akıntıları ve aglomeralar

Şekil 13: İğdir ve Şıhlar formasyonu stratigrafisi (Toprak, 1989)'den düzenlenmiştir.

Ayrıca çalışma sahasının en doğusunda çok dar bir alanda Santoniyen-Maestrihtiyen yaşlı andezitler (Kkv) de görülmektedir.

Paleojen: Alt Paleosen yaşlı Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı (Ts) birimleri, Şıhlar formasyonu (Ts) formasyon adını almaktadır (Toprak, 1989). Çalışma sahasında en iyi konum lokasyonu Şıhlar (Şeyhler) Köyüdür (Toprak, 1989). Genel olarak Temi, Yukarıkale köylerinde dağılmaktadır (Şekil 14). Formasyon alt kısmındaki geç Maestrihtiyen yaşındaki İğdir formasyonu ve üst kısmındaki Düden yaylası formasyonu ile uyumludur (Terlemez & Yılmaz, 1980; Toprak, 1989; Uysal

vd., 1995; Sendir, 2001). Formasyon Şihlar köyünde 20-30 cm kalınlığında kumtaşı, siltaşı arakatkılı 7 m kalınlığındaki jips ile başlamaktadır. Formasyonun üst seviyelerinde ise; sarımsı-beyaz, orta kalınlıkta kumtaşı aratabakalarında ince konglomeralar belirgindir (Şekil 13).



Şekil 14: Şihlar formasyonu yanall fasiyes değışimi (Toprak, 1989)'den düzenlenmiştir.

Bu döneme ait diğer bir birim Paleosen kireçtaşlarıdır (Tg). Kuzey yamaçlardaki Maestrihtiyen kireç taşlarının gerisinde görülen bu birimler maksimum 70 m kalınlığındadır. Bunun dışında Üst Paleosen yaşlı kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı (Tdu) Kuzey bloğun en doğusunda yukarı kale köyü dolaylarında belirgindir.

Güney blokta ise Alt-Orta Eosen yaşlı kilttaşları (Ta) havzanın güney bloğunda Karaçam köyü batısında çok dar bir alanda görülmektedir. Ayrıca bu bloğun en doğu uç sınırında çok sınırlı bir alanda Lütesiyeen yaşlı andezit (Tcc), Oligosen-Alt Miyosen yaşlı çakilttaş (Toi), Üst Oligosen-Alt Miyosen kilttaş (Tok) birimleri bulunmaktadır.

Eosen yaşı volkanik çökelkaya (Tyh) birimleri kuzey ve güney her iki blokta da çalışma sahasında en fazla görülen birimlerdir. Toprak (1989) tarafından adlandırılan Akçaağıl grubunun (Gökçebel, Kızıltepe, Kapaklı ve Aşağıkale) Aşağıkale üyesine ait bu birimler Kelkit Vadisinde Doğu-Batı doğrultulu Kelkit Çayına paralel uzanmaktadır. Bu formasyon çalışma sahasının Aşağıkale köyünde belirgindir. Bu formasyonda çoğunluğu bazaltik lav akıntıları ve aglomeranın birbirini izlediği yeşil tuf ve kumtaşı ara katları bulunmaktadır. Aglomera kalınlığı 25-50 m arasında değişirken lav akıntıları merkezi kısımda 4-8 m'dir (Toprak, 1989). Buna ek olarak formasyon silttaşı ve kumlu kireçtaşı birimlerini barındırmaktadır (Şekil 15). Aşağıkale köyünde üst seviyede konumlanan bu formasyon Şıhlar köyü çevresinde Geç Maestrihtiyen yaşlı Iğdır formasyonu ve Yukarıkale köyü civarında Daniyen yaşlı Şıhlar formasyonu ile uyumludur (Şekil 13 ve 15).

Yaş	Grup	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji ve Tanım
Geç Maast.		İğdir	50	silttaşı aratabakalı kumlu kireçtaşı
Orta-Geç Maestrihtiyen	Akçağal	Aşağıkale	60	aglomera ve lav akıntıları ardalanması
			41	iyi tabakalanmış aglomera ve iyi boylanmış kumtaşı
			105	aglomera ve Tuf ardalanması
			16	bazaltik lav akıntısı
			103	aglomera ve lav akıntısı
				FAY

Şekil 15: Aşağıkale formasyonu stratigrafisi (Toprak, 1989)'den düzenlenmiştir.

Neojen: Bu dönemde Alt Miyosen yaşlı Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı (Tkk) birimlerini içeren Zeytin Formasyonu (MTA, 2011) Bahçeköy, Güllüce ve Gökdere köylerinde belirgindir. Formasyonun kalınlığı ise yaklaşık 363 m'dir.

Bunun dışında Reşadiye- Mesudiye arasında Doğu-Batı doğrultulu uzanan Erdem Baba volkanitleri olarak adlandırılan (Toprak, 1989) Pliyosen bazaltları (Teb) Aklan Mahallesi, Şıhlar Mahallesi, Aşağıkale Mahallesinin bazı kesimlerinde belirgindir. Daha çok bazaltlardan oluşan bu formasyon yer yer andezitlerde içermektedir. Bu volkanitler kendisinden yaşlı birimler ile açısız olarak uyumsuzdur (Terlemez & Yılmaz, 1980; Toprak, 1989; Uysal vd., 1995; Sendir, 2001).

Kuvaterner: Koyulhisar formasyonu olarak adlandırılan (Toprak, 1989) Genellikle Plio-Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qa), Koyulhisar çevresinde görülen alüvyal

fan, birikinti konileri ve taraçalarda görülen bu alüvyonlar bazı yerlerde talus ve fülivyal konglomeralar ile birleşmektedir (Terlemez & Yılmaz, 1980; Toprak, 1989; Uysal vd., 1995; Sendir, 2001).

2.1.2 Tektonik

Pontid kuşağında Doğu pontidlerin kuzey zonunda (Okay, 2008) bulunan çalışma sahası genellikle Alp orojenezinin sonucu olarak gelişmiştir. Çalışma sahasında sıkışma-genişlemeyi karakterize eden neotektoniğe (Şengör, 1980) ve sıkışma-kısalmayı karakterize eden paleotektoniğe (Şengör, 1980) ait şu segmentler; faylar, kıvrımlar, uyumsuzluklar, kıvrımlar, kırıklar ve eklemler bulunmaktadır (Toprak, 1989).

2.1.3 Fay

Kelkit Çayı Vadisi tektonik açıdan dinamik bir bölge olduğundan pek çok fay bu alanda konumlanmıştır. Özellikle vadinin merkezinde KAF (Kuzey Anadolu Fayı) Kelkit segmenti ve buna paralel aktif faylar bulunmaktadır. Çalışma alanı; KAF Zonu, Koyulhisar Fay, Kuruçay, Şıhlar olarak 4 ayrı fay grupları içermektedir (Toprak, 1989).

2.1.3.1 KAF zonu

KAF batıdan Kuzey Ege Denizine kadar, doğudan Vangölü kuzeyinden, Erçişten geçerek İran içlerine kadar girmektedir (Ketin, 1969; Zabcı vd., 2011). Kelkit Vadisinin merkezinden de geçen bu fayın tipi sağ yanal doğrultu atımlıdır. KAF'ın Kelkit segmenti 1939 Erzincan depreminin kırığı niteliğini taşımaktadır (Toprak, 1989; Sendir, 2001). Buna ek olarak bazı paleo-sismik çalışmalara göre buradaki yüzey kırığının 17 Ağustos 1668 depremine ve bunun dışında 1942, 1943 ve 1944

yıllarına dayandığı da iddia edilmektedir (Zabci vd., 2011). Çalışma sahasını kuzey ve güney olarak ikiye bölen bu fay (Seymen, 1975) 100-500 m genişliğinde fay zonu oluşturmaktadır. KAF aktif bir zon olduğundan belirli dönemlerde atım yapmıştır. Araştırmacılara göre değerlendirildiğinde genel olarak KAF'ın hızı ortalama 5 cm/yıl'dır (Tablo 2).

Tablo 2: Araştırmacılara göre KAF'ın hızı.

Araştırmacılar	Jeolojik	Jeofizik
(McKenzie, 1972)		5.0 cm/yıl
(Tokay, 1973)	1-1.5 cm/yıl	
(North, 1974)		3.2 cm/yıl
(Arpat & Şaroğlu, 1975)	1-1.5 cm/yıl	
(Seymen, 1975)	0.5 cm/yıl	
(Barka, 1981)	0.45-0.5 cm/yıl	
(Dewey vd., 1986)	0.39-0.89 cm/yıl	
(Koçyiğit, 1989)	5.0 cm/yıl	
(Barka & Gülen, 1989)	0.5-1 cm/yıl	
(Orhan Tatar, 1993)	0.52 cm/yıl	
(Çakir vd., 2016)		7±2mm/yıl

2.1.3.2 Koyulhisar fayı

Koyulhisar fayı Doğu-Batı doğrultulu ve paralel ve KAF'a paralel ikincil bir fay niteliğinde paralel faylardan oluşmaktadır. Bu fay Dumanlıca, Kızılçukur ve Seytepe faylarından oluşmaktadır (Toprak 1989). Fakat saha gözlemlerimiz bu çizgiselliklerin faydan ziyade Koyulhisar paleo-heyelanının ve ona paralel heyelanların ana şevini (ing. main scarp) oluşturan düzlemler olduğunu göstermektedir.

2.1.3.3 Şıhlar fayı

Şıhlar fayı KAFZ'nin yaklaşık 1 kilometre kuzeyinde yer alan tek bir faydır. Fay burada yaklaşık 4 km² 310° uzanımlı olarak devam edip, daha sonra güneye döner

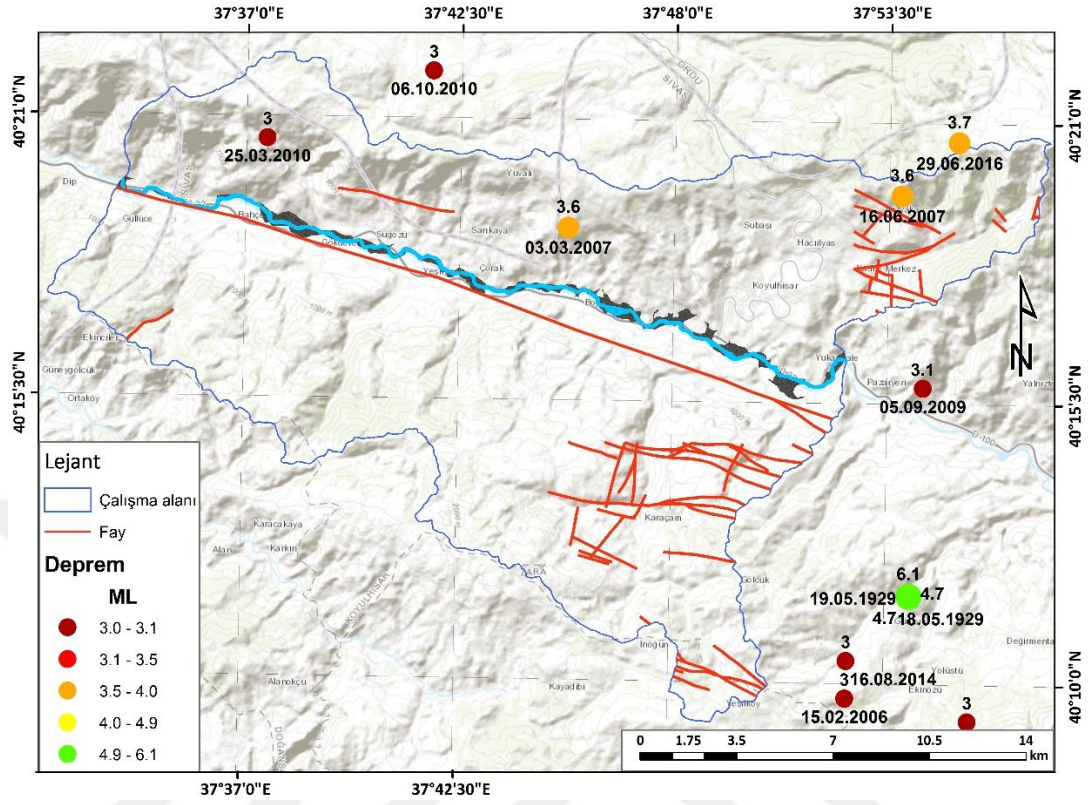
ve KAFZ'a paralel olarak devam etmektedir. Şihlar fayının sarplıkları daha çok Yukarıkale Mahallesi, Şihlar ve Aşağıkale Mahallesi civarlarında belirginleşmektedir (Toprak, 1989).

2.1.3.4 Kuruçay fayı

Bu fay yaklaşık 290° yönlü kısa ve uzun fay segmentlerinden oluşmaktadır. Bunlar KAF'a paralel uzanmaktadır. Bu fay Karatepe, Koçalı ve Boyalı faylarını segmentlerinden oluşmaktadır. Kuruçay fay 2 km genişliğinde 19 km uzunluğunda KAF'ın alt bölgelerinde konumlanmıştır (Toprak, 1989).

2.1.4 Depremsellik

KAF ve buna paralel pek çok aktif fayın bulunmasından dolayı çalışma alanı birinci derece deprem zonunda yer almaktadır (AFAD, 2008). Kelkit vadisinde farklı depremler sonucunda yüzey kırıkları oluşmuştur. Paleo-sismik araştırmalar ve diğer kayıtlara göre; 1045, 1254 ve 17 Ağustos 1668 yıllarındaki depremleri bu alanda 1939 yüzey kırığına ve ek olarak vadide diğer yüzey kırıklarına neden olmuştur (Zabci vd., 2011). Kelkit vadisinde bu depremler; 1939 yılında 4 m'lik, 1668 yılında 2.5 m'lik ve 1254 yılında ise 4 m'lik bir atıma neden olmuştur (Koçyiğit, 1989; Koçyiğit vd., 2001; Zabci vd., 2011). Merkez üssü çalışma sahası ve yakın sınırlarında oluşan depremlere bakıldığında ise; yıllara göre en büyük deprem 6.1 (Ms) büyüklüğünde 18.05.1929 tarihinde meydana gelmiştir. Aletsel dönem kayıtlarına göre çalışma alanı sınırlarında 3-3.7 (Ms) büyüklüğünde depremler gerçekleşmiştir (Şekil 16)



Şekil 16: 1929-2016 yılları arasında çalışma sahası ve yakın çevresinde meydana gelen depremler (KRDAE, 2017)' den derlenmiştir.

2.2 Jeomorfolojik Özellikler

2.2.1 Genel Jeomorfolojik Özellikler

Yeşilirmak'ın yan kollarından biri olan Kelkit Çayının oluşturduğu vadinin aşağı çığırındaki çalışma alanı, jeomorfolojik bakımdan; daha çok neotektoniğin denetiminde gelişmiştir. Bu tektonik denetim sonucu, Kelkit Çayının derine kazmasının yüksek olduğu derin bir vadi sistemi oluşmuştur. Ayrıca bu tektonik denetim vadinin kuzeyi ile güneyi arasında bir asimetriye neden olmuştur. Bu asimetri sonucu olarak vadinin güneyi kuzeyinden daha eğimlidir. Ayrıca Gevşek ayrışmaya müsait litolojinin bulunması Kelkit Çayı ve kollarının yan ve derine aşındırmasının yüksek olmasına neden olmuştur (Gokceoglu vd., 2005; Yıldırım, 2006). Bu aşındırma süreci sonucu vadi yamaçlarında keskin röliyef farkı ve yüksek eğim oluşmaktadır. Ortalama eğimin 18.6° olduğu çalışma alanında, eğim 60° 'ye kadar çıkmaktadır. Taban seviyesini oluşturan çizgisel ve dar kanal eksenine sahip Kelkit Vadisi yüksek eğimlerle temsil edilen ortalama eğimleri 24° yan yamaçlara sahiptir. Çalışma sahasının ortalama yükseltisi 1283 m, minimum yükseltisi 561.4 m, maksimum ise 2446.4 m'dir. Kısaca fay hattının uzandığı doğu-batı doğrultu boyunca derin bir vadi, bunun kuzey ve güney bloğunda ise kısa mesafelerde aniden yükselen bir topoğrafya mevcuttur (Duman vd., 2005).

Çalışma sahasının kuzey bloğunda, yüksek yamaçların gerisinde Maestrihtiyen kireçtaşlarının yüzeylendiği ve içerisinde değişik boyutlarda karstik çukurların bulunduğu yapısal bir düzlük bulunmaktadır. Güney blok ise; engebeli topoğrafya su bölüm hattını oluşturan keskin sırt ve tepelerle çevrilidir. Her iki blok, egemen olarak yamaç süreçlerine bağlı kütle hareketleri ve flüvyal süreçler tarafından şekillenmektedir (Şekil 17).

2.2.1.1 Yamaç süreçleri

Yamaç süreçleri bakımından; havza, katastrofik büyük anakaya heyelanlar tarafından şekillenmiştir. Kütle hareketlerinin yoğun olarak vadiyi şekillendirmesi, vadinin jeomorfolojik havza şekillenmesinde durağan-denge koşulundan uzak

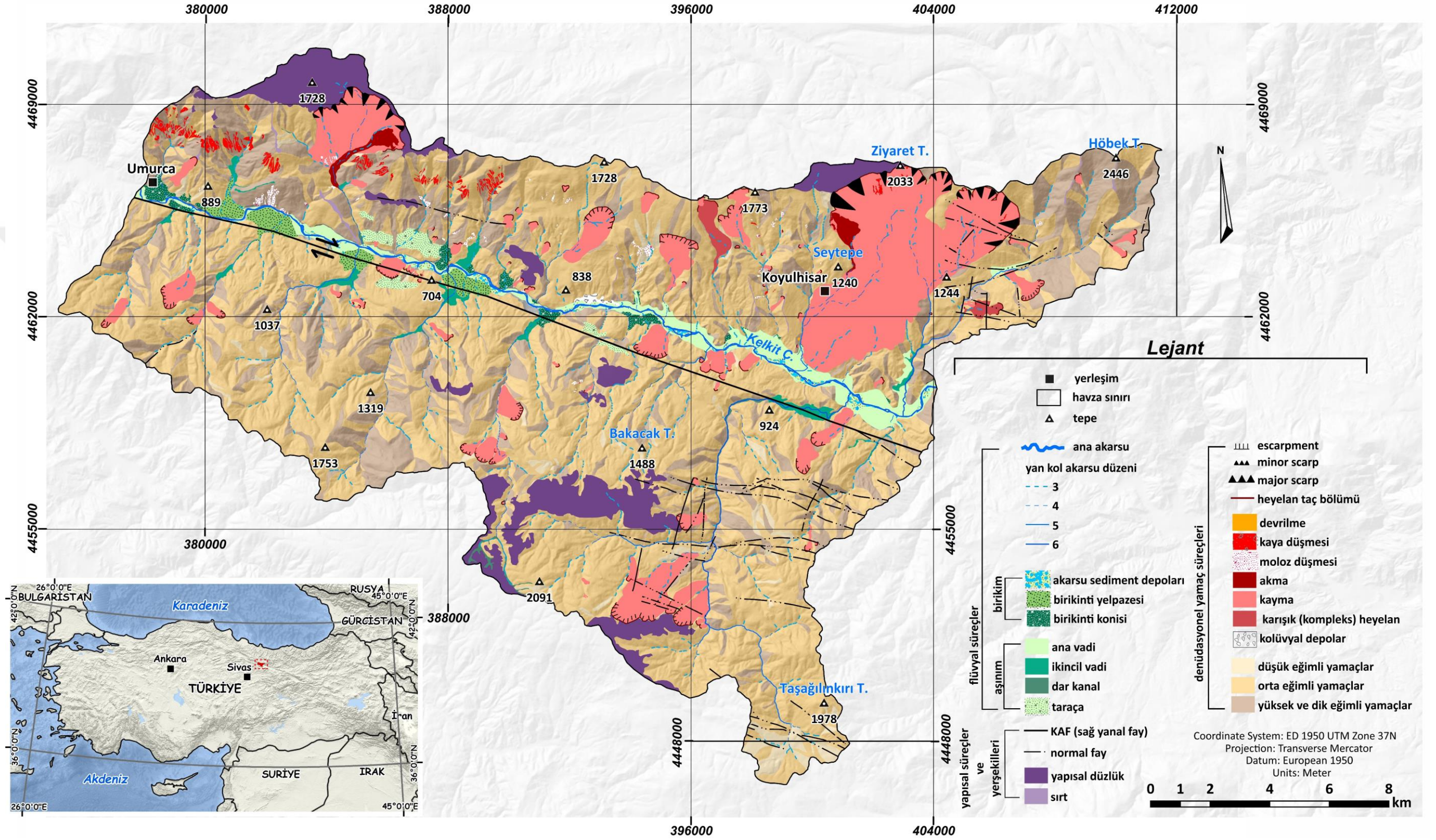
olduğunun daha ziyade dinamik-denge seviyesinde olduğunun göstergesidir (Keçer, 1986). Çalışma alanında kayma, akma, düşme tipinde gelişen heyelanların çoğunluğu kuzey blokta yer almaktadır. Bu blokta yaygın olan kayma tipindeki paleo-heyelan topoğrafyasının belirli kesimlerinde, akma ve düşme tipinde heyelanlar gelişmiştir. Ayrıca bu blokta çalışma sahasının batı kesiminde kireçtaşı litolojisi üzerinde kaya düşmeleri de yoğunlaşmıştır. Güney blokta ise, genellikle kayma tipinde heyelanlar etkilidir. Vadide heyelan birikim zonundaki malzemeler Kelkit Çayı ve yan kolları tarafından topuk erozyonuna uğramaktadır. Hem güney hem de kuzey bloktaki heyelanların çoğu ana vadi yönüne eğimlidir. Heyelanlar dışında çalışma sahasının doğusundaki yamaçlarda yer yer yarıntı (ing. gully) erozyonu da etkilidir (Şekil 17).

2.2.1.2 Flüvyal süreçler

Epijenik olaylar sonucu gençleşen vadide, akarsu yatağının gömülmesine neden olmuştur (Keçer, 1986). Bu olay flüvyal aşındırma süreçlerini geliştirmiştir. Aşındırma süreçlerine bağlı olarak yan kolların oluşturduğu daha çok güney yamaçta olmak üzere derin “V” tipi vadiler ve dar kanallar görülmektedir. Ayrıca yan kolların ağızları, ana akarsuya bağlandığı noktada KAF’ın ötelendiği yöndedir. Kelkit Çayının derine aşındırması vadide T1, T2, T3 seviyelerinde taraçalar oluşturmuştur. Fakat bu taraçaların karşı yamaçlarından bir eşleneği bulunmamaktadır. Bunun temel sebebinin KAF’ın vadinin kuzey bloğunu doğu yönünde, güney bloğunun ise batı yönünde ötelemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra kuzey ve güney yamaçta farklı litolojiye bağlı olarak yamaç aşındırmasının farklı hızda olması da etkilidir.

Flüvyal biriktirme şekilleri daha çok Kelkit Çayına bağlı yan kollarla gelişmiştir. Özellikle güney blokta akarsu boylarının uzun olduğu yan kolların ana vadiye bağlandığı noktalarda ani eğim düşüşüne bağlı alüvyal fanlar ve birikinti konileri oluşmuştur. Bu alüvyal fanlar ve birikinti konileri genellikle KAF tarafından kesilmiştir (Toprak, 1989; Sendir, 2001) (Şekil 17).

Şekil 17: Jeomorfoloji haritası.



2.2.2 Morfolojik ve Morfometrik Özellikler

Morfolojik unsurların sayısal değerlerle ifade edilerek nicel sonuçlarla değerlendirilmesi morfometrinin temelini oluşturmaktadır. Morfometrik analizler, morfolojik unsurların gücü, hızı, sürecin denge koşulları, simetrik-asimetrik yapısı ve aktivite durumunu sayısal değerlerle belirlenmesinde imkan sağlamaktadır. Bu çıkarımlar aynı zamanda arazinin evrimsel yapısı ve araziye şekillendiren süreçler hakkında bilgileri de içermektedir. Böylece bu analizlerin bir bölgede yapılması, o bölge için yapılacak değerlendirmelerde doğru parametrelerin belirlenmesini de sağlamaktadır. Duyarlılık ve tehlike çalışmalarında da doğru parametrelerin kullanılması sonuçların hata oranını azaltmakta ve doğruluğunu artırmaktadır. Bu sebeple duyarlılık ve tehlike analizlerinde gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi için morfolojik unsurların metrik analizleri çalışma amacına göre yapılmalı ve kullanılacak parametreler doğru seçilmelidir.

Bu doğrultuda heyelan duyarlılık ve tehlike amacı güden bu çalışmada, ön analizler, arazi gözlemleri, literatürdeki kaynaklara bağlı olarak çalışma sahası için yükselti, eğim, solar radyasyon, röliyef, Vadi Taban Düzleşmesinin Çoklu Çözünürlük İndeksi (ing. Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness (MIVBF)), Topoğrafik Nemlilik İndeksi (ing. TWI), Akarsu Güç İndeksi (ing. SPI) analizleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak havza yapısı için havza asimetrisi ve akarsu sistemi için ise Akarsu ağı ve etkinliği analizleri yapılmıştır.

2.2.2.1 Havza asimetrisi

Asimetri faktörü aktif tektoniğin etkilediği havzalarda akarsu ağı desenini, geometrisini nicel olarak ifade edilmesini sağlamaktadır (Keller & Pinter, 2002). Asimetri analizi havzada tiltlenmenin gerçekleştiği bloğu belirlemektedir.

Asimetri faktörü aşağıdaki belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

$$AF = 100 (Ar/At) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

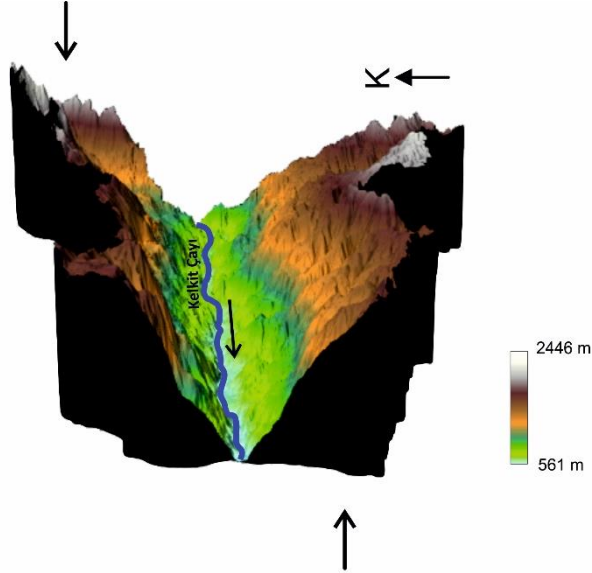
Burada A_r = Havzada ana akarsu gövdesinin akış yönündeki sağ bloğun alanını (km^2), A_t = Toplam havza alanını (km^2) ifade etmektedir.

$$AF = 100 (187.5 / 394.1) = 47.58$$

Bu formüle göre çalışma alanının AF değeri 47.58'dir.

Bu sonuç $AF < 50$ olduğundan tektonik aktiviteden kaynaklanan çarpılmanın (tiltlenme), havzada akarsuyun akış yönüne göre sağ tarafına doğru olduğunu göstermektedir (Şekil 18) (Özdemir, 2007).

Bunu ispatlayan diğer bir özellik de havzanın akış yönüne göre sağ tarafında kalan, yani kuzeyden Kelkit Çayı'na katılan akarsuların güneydeki akarsulara göre daha kısa olmalarıdır (Şekil 20 (f)). Bu durum, kuzeyden katılan kolların su toplama havzalarının, güneydekilerine oranla daha küçük olduğunu göstermektedir. Ayrıca çarpılmanın (tiltlenme) olduğu kuzey blokta, röliyef değerleri ve erozyonel faaliyetler daha fazladır.



Şekil 18: Kelkit Çayı Vadisinin asimetrisi (Doğudan batıya bakış).

2.2.2.2 Yükselti

Yükselti topoğrafyanın gelişiminde, yamaç stabilitesinde önemli rol oynamaktadır. Yüksek yamaçlarda topoğrafyanın şekillenmesine bağlı toprak oluşumu, bitki örtüsü gelişimi azalmaktadır. Bu değişimler heyelan ve heyelan tipi üzerinde de etkilidir.

Çalışma alanı genel olarak yüksek topoğrafya ile temsil edilmektedir (Şekil 19 (a)). Kelkit vadisinin en yüksek noktasını 2446 m yükselti ile çalışma alanının kuzey doğusunu, en düşük yükselti değerini ise vadinin tabanı oluşturmaktadır. Havzanın ortalama yükseltisi ise 1283 m'dir.

Çalışma sahasında yükselti değerlerinin kapladığı alan bakımından, en fazla alan 750-1750 m yükselti basamaklarında en az alan ise 2000 m yükseltiden sonra dağılım göstermektedir (Tablo 3). Havza yükseltisi kuzey ve güney blok olarak ele alındığında güney bloğun yükselti ortalaması (1374 m) kuzey bloğun ortalamasından (1184 m) daha yüksektir.

Tablo 3: Yükselti sınıflarının kapladığı alan.

Yükselti sınıfı (m)	Kapladığı alan (km ²)
561-750	46.6
750-1000	71.0
1000-1250	62.3
1250-1500	74.5
1500-1750	86.8
1750-2000	44.1
2000-2250	8.0
2500-2446	0.9

2.2.2.3 Eğim

Eğim yamaçların stabilitesi üzerinde etkilidir. Eğim arttıkça yamaç üzerinde malzemelerin kayma gerilmesi de (ing. shear stress) artmaktadır. Böylece yamaç üzerinde bulunan malzemelerin yerçekimine karşı direnci azalmaktadır. Bu nedenle heyelan açısından yüksek eğimli yamaçlar daha duyarlıdır. Heyelana zemin hazırlayan topoğrafik eğim faktörü Kelkit Vadisinin yamaçlarında yüksek değerdedir (Şekil 19 (b)). Vadinin eğim ortalaması 18.6° olmakla birlikte, bu değer vadide en fazla 61° dir.

Çalışma alanının hangi eğim değerleri arasında dağılım gösterdiğini belirlemek için Verstappen (1983) ve Bogolomov (1963) eğim sınıfı değerleri kullanılmıştır. Bu sınıflamaya göre çalışma alanında az eğimli (134 km^2), hafif eğimli (130 km^2) ve dik yamaçların (121 km^2) kapladığı alan bölgede oldukça fazladır. Ana vadi tabanlarına ve kuzey yamaçlardaki yapısal düzlüklere karşılık gelen çok az eğimli düz alanlar ise (7.1 km^2) sahada az görülen alanları oluşturmaktadır (Tablo 4).

Genel olarak heyelan açısından önem arz eden çok dik ve dik yamaçlara bakıldığında; bu alanlar vadinin güney bloğunun orta kesiminde doğu-batı doğrultu uzun bir hat boyunca uzanmaktadır. Bu yamaçlar ayrıca kuzey bloğun üst kesimlerinde doğu-batı istikametinde genellikle kireçtaşlarında ve kuzeydoğudaki havza sınırları üzerinde bulunmaktadır (Şekil 19 (b)).

Tablo 4: Çalışma sahasının eğim özellikleri.

Eğim sınıfı (°)	Morfolojik tanımı	Kapladığı alan (km^2)
0-2	Çok az eğimli (Düz)	7.1
2-15	Az eğimli	134.0
15-25	Hafif eğimli (Orta)	130.7
25-45	Dik	121.0
>45	Çok Dik	1.4

2.2.2.4 Topoğrafik Röliyef

Bir bölgedeki yükseltelerin minimum ve maksimum farklarına karşılık gelen röliyef, eğimde olduğu gibi topoğrafik gelişim ile heyelan ve heyelan tipi üzerinde etkili olmaktadır. Röliyefe bağlı yamaç stabilitesi de değişmektedir. Röliyefin yüksek olduğu alanlar heyelana daha elverişlidir.

Çalışma alanında röliyef, komşu hücre aralığının en büyük ve en küçük değer arasındaki farkları hesaplanarak elde edilmiştir. SYM (Sayısal Yükselti Modeli) verisiyle havza içerisinde oluşturulan 2000 m²'lik dikdörtgen alanlar içindeki yükselti farkları ile röliyef değerleri hesaplanmıştır.

Bu değerlere göre çalışma alanında en yüksek röliyef değeri 1100 m'dir. En yüksek değerler vadinin kuzey bloğundaki yüksek yamaçlarda görülmektedir. Bu yamaçlar Kuzey blokta Umurca ve Koyulhisar yerleşimleri arasında genellikle kireç taşlarının hâkim olduğu bir hat boyunca uzanmaktadır. Bu bloktaki yamaçlarda yükselti değerleri kuzey- güney yönünde kısa mesafelerde değişim göstermektedir. Güney blokta ise; yüksek röliyef değerleri bu blokun güney batısının muhtelif kesimlerinde yer almaktadır (Şekil 19 (c)).

2.2.2.5 Solar Radyasyon

Güneşten yeryüzüne gelen ışınların değeri sabittir. Fakat dünyanın şekli itibariyle dünyanın farklı kuşakları bu ışınları farklı açılarla almaktadır.

Yamaç yönü ve açısı bu ışınların yansımaya değerlerini değiştirmektedir. Aynı zamanda gelen ışınların yansımaya değerleri zemin ve zemini işgal eden unsurlara göre de değişmektedir. Bu farklılık örneğin eski ve yeni kar arasında da değişmektedir. Eski kar yeni kara göre daha az yansımaya oranına sahiptir. Bu yansımaya farklılığı ısı birikimini de etkilemektedir. Çalışma alanında Mart, Nisan ve Mayıs aylarında ani kar erimeleri görülmektedir. Saha içerisinde belirtilen aylarda ısı birikiminin yüksek olduğu alanları tespit etmek için solar radyasyon analizi yapılmıştır.

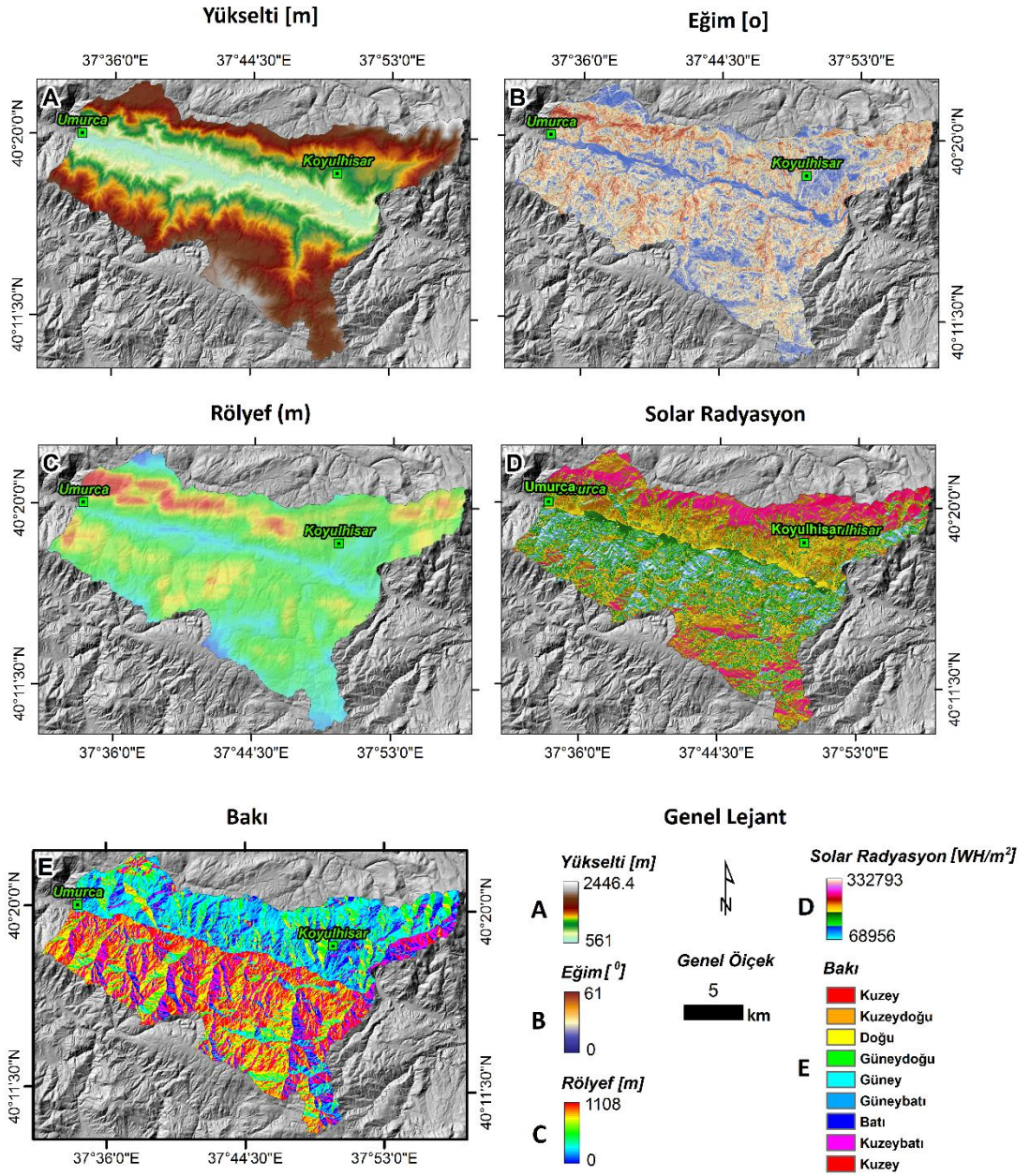
Solar radyasyonu hesaplanmasında çalışma sahasının konumuna ve yükselti değerlerini dikkate alınarak belirli bir zaman aralığında bölgenin metrekareye kaç watt güneş radyasyonu aldığı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuca göre; kar yağdıktan sonra sahada karın en uzun yerde kaldığı kuzey bloğun yüksek yamaçları, en fazla güneş radyasyon değerlerine sahiptir (Şekil 19 (d)).

2.2.2.6 Bakı

Kuzey yarım kürede kuzeye bakan yamaçlar, güneye bakan yamaçlara göre daha az güneş radyasyonuna maruz kalmaktadır. Güneş radyasyonun bu yamaçlarda az olması, bu alanlarda yağışı daha etkin kılmaktadır. Arz radyasyonunun az olmasının diğer bir etkisi bu yamaçlarda zeminin kurumması gecikmekte ve zemin daha nemli kalmaktadır. Bir diğer etken bu yamaçlarda aynı sebeplerden dolayı kuzeye bakan yamaçlarda karın yerde tutunma süreleri de daha uzundur. Bu nedenle çalışma sahasının yamaç yönelimleri belirlenmiştir. Buna göre çalışma sahasının kuzey bloğundaki yamaçlar genellikle güneye, güney bloğundaki yamaçlar ise kuzeye bakmaktadır (Şekil 19 (e)). Çalışma sahasında kuzeye bakan yamaçlar güneye bakan yamaçlara göre daha fazladır (Tablo 5).

Tablo 5: Bakı sınıflarının çalışma alanında kapladığı alan.

Bakı sınıfı	Kapladığı alan (km ²)
Kuzey	230.0
Kuzeydoğu	210.8
Doğu	184.1
Güneydoğu	174.4
Güney	239.7
Güneybatı	191.8
Batı	167.4
Kuzeybatı	178.0



Şekil 19: Topoğrafik faktörler. Yükseklik (a), Eğim (b), Topoğrafik rölyef (c), Solar radyasyon (d), Bakı (e) dağılışı haritası.

2.2.2.7 Akarsu ağı ve etkinliği

Akarsu ağı ve etkinliği flüvyal aşındırma, biriktirme faaliyetlerini düzenlemektedir. Havza içerisinde akarsuyun toplanma alanı, akarsu uzunluğu, akarsu dizinlerinin sayısı, akarsu sıklığı, drenaj sıklığı ve yoğunluğu gibi akarsu deseni özellikleri flüvyal süreçlerin hızı, gücü ve zamansal sürecini etkilemektedir.

Akarsu deseni havza formuna göre şekillenmektedir. Çalışma alanı havzasının uzun ekseninin (36.8 km) kısa eksenine (22.4 km) oranı yani form değeri 0.6'dır. Bu şekillenme havzada dantritik bir akarsu ağı deseni oluşturmuştur. Akarsu dizinleri bakımından akarsu 7. dizine kadar çıkmaktadır. Bu dizinlerin toplam uzunluğu 1490.4 km'dir (Tablo 6).

Tablo 6: Kelkit Çayı Vadisinin akarsu toplam dizinleri ve dizin uzunlukları.

Dizin	Toplam dizin sayısı ($\sum N_u$)	Toplam dizin uzunluğu km^2 ($\sum L$)
1.	3156	728.2
2.	678	393.7
3.	156	193.2
4.	40	97.6
5.	8	29.7
6.	3	16.4
7.	1	31.7

Strahler (1964) metoduna göre çatallanma oranı aşağıdaki belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada N_u Her bir akarsu dizinini, N_{u+1} kendinden sonraki bir üst akarsu dizinini ifade etmektedir.

Buna göre çalışma alanında çatallanma oranı 3.9'dur. Çatallanma oranı yüksek değerde görülmektedir. Bu sonuç havza içerisinde kanal sıklığının yüksek olduğunu göstermektedir. Çatallanma havzanın güney kısmında daha fazladır (Şekil 20 (f)).

Havzada km^2 'ye düşen ortalama akarsu uzunluğunun elde edildiği drenaj yoğunluğu aşağıdaki belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Burada ($\sum L$) Toplam dizinlerini, (A) havza alanını ifade etmektedir. Buna göre havzanın drenaj yoğunluğu 3.8'dir. Bu değere göre havza yüksek drenaj yoğunluğuna sahiptir.

Çalışma sahasında akarsu bakımından zenginliğini ya da fakirliğini görmek için (Hoşgören, 2004) akarsu sıklığı da hesaplanmıştır.

Akarsu sıklığı aşağıda belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

$$F_u = \frac{\sum N_u}{A}$$

(Eşitlik 4)

Burada (F) akarsu sıklığı, ($\sum N_u$) toplam dizin sayısını, (A) havza alanını ifade etmektedir.

Havzanın Akarsu sıklığı 10'dur. Kısacası akarsu sıklığı bakımından havza zengindir.

Genel olarak bakıldığında havza şekil oranına ve akarsu sıklığına göre çalışma alanının kuzey bloğunda akarsu daha kısa ve dar alanda toplanmaktadır. Güney bölüm daha yüksek dereceden dizinlere sahiptir. Ayrıca güney bölümde Kelkit Çayına bağlanan yan kollar daha uzundur (Şekil 20 (f)). Güneyden Kelkit Çayı Vadisine katılan bu kollar flüvyal biriktirme şekillerinin oluşumunda etkilidir.

2.2.2.8 Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI)

Topoğrafik nemlilik indeksi arazi üzerinde suya doymun ve nemli alanların doymunluk derecesini belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu indeks oluşturulurken, temelde topoğrafya üzerindeki koşullar homojen ve akarsuyun niteliğinde değişim farkı gözetilmemektedir (Beven & Kirkby, 1979; Moore vd., 1991; Böhner & Selige, 2006).

Topoğrafik nemlilik indeksi aşağıdaki belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Burada TWI Topoğrafik Nemlilik İndeksini, A_s doğal logaritmik tabanda spesifik havza alanının (m/m^2), yamaç eğimine oranını ifade etmektedir. Bu sonuçlara göre çalışma sahasında en yüksek nemliliğin olduğu alanları; ana vadi, ikincil vadiler ve yapısal düzlükler oluşturmaktadır. Bunların dışında arazi kullanımı ve erozyonal faaliyetler sonucunda, paleo-heyelanların birikim zonunun düzleşmiş alanlarında da nemlilik değerleri yüksektir. Bu değerlerin yüksek olduğu bir başka alan ise, rotasyonel kaymaların ana ayna bölümü ve transfer zonu sınırında malzemenin tiltlenmesinden dolayı eğimin düştüğü düz alanlardır (Şekil 20 (g)). Küçük heyelan göllerinin de görüldüğü bu alanlar zemin stabilitesi üzerinde etkilidir.

2.2.2.9 Akarsu Güç İndeksi (SPI)

Akarsuyun gücünün yüksek olduğu yerlerde heyelan topuk erozyonuna bağlı olarak heyelan yenilenmeleri meydana gelmektedir. Bu indeks akarsuyun aşındırma potansiyelinin yüksek olduğu alanların belirlenmesini sağlamaktadır (Moore vd., 1991).

Akarsu Güç İndeksi aşağıdaki belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

$$6) \quad \text{SPI} = \text{SCA} * \tan(\text{Eğim}) \quad (\text{Eşitlik})$$

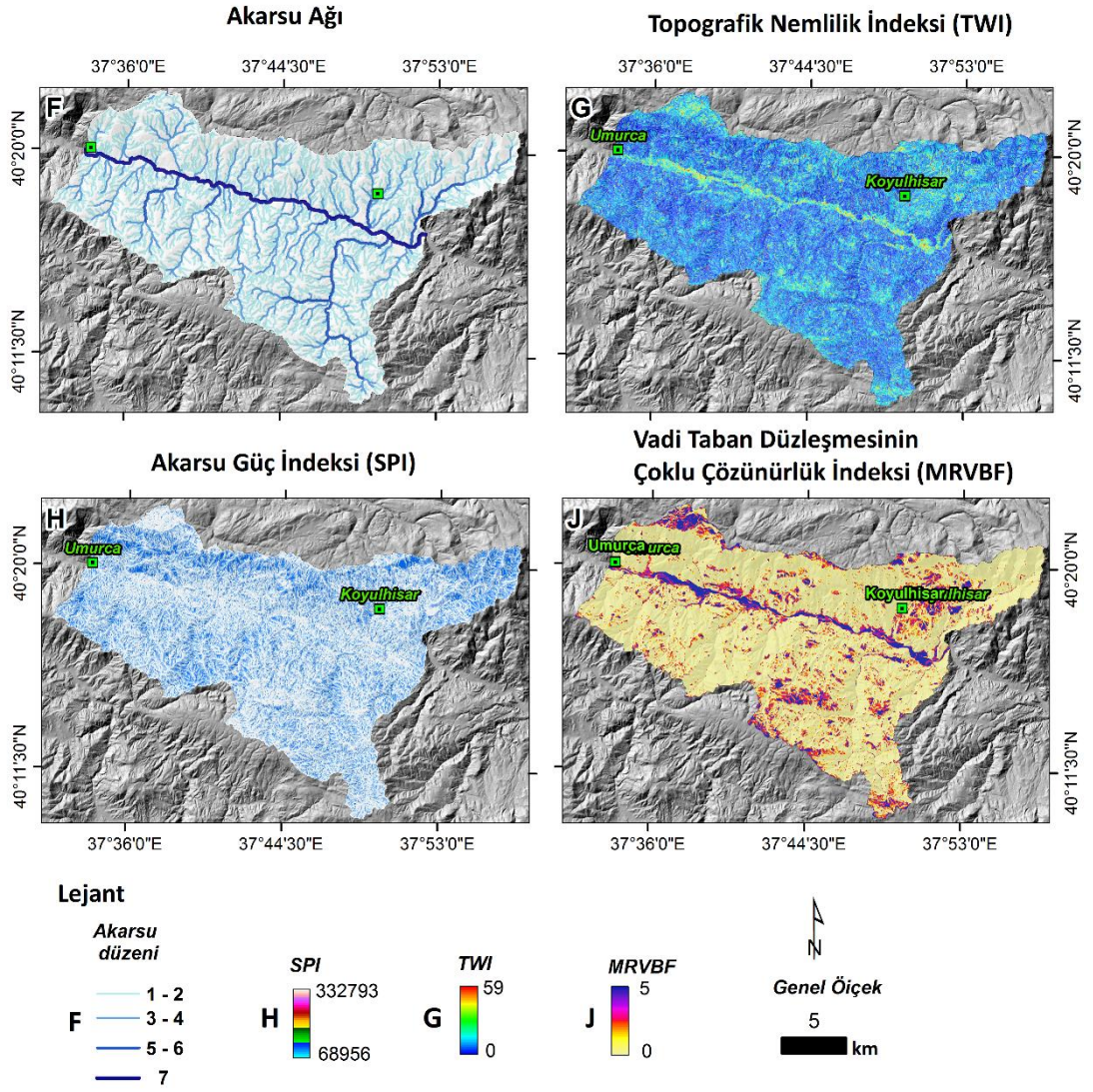
Burada SPI Akarsu Güç İndeksini, SCA spesifik su toplama alanını, tan ise eğim ifade etmektedir.

Bu indeks sonuçları eski heyelan topoğrafyasının heyelan aynası kesiminde ve heyelan birikim alanlarında yüksek değerlerde görülmektedir (Şekil 20 (h)).

2.2.2.10 Çoklu çözünürlüklü vadi taban düzlüğü indeksi

Vadi tabanlarının uzunluğu birkaç metreden yüzlerce kilometreye kadar farklı ölçekte görülmektedir. Vadi tabanları ve buna yakın düzlükler sediment deposu birikim alanlarıdır. Vadi içlerinde ve düzlük alanlarda düşük röliyef ve eğim alanlarını belirlemek ve bu alanlarda malzeme birikimi ve dağılımını göstermek için Vadi Taban Düzleşmesinin Çoklu Çözünürlük İndeksi (ing. Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness) kullanılmaktadır. Bu indeks aynı zamanda jeomorfolojik ünitelerin ve hidrolojik alt havzaların kendi aralarında karşılaştırılmasını da sağlamaktadır. Bu indeksin bir başka özelliği de yeraltı suyunun sıkıştığı alanlar hakkında da fikir vermektedir (Gallant & Dowling, 2003).

Çalışma alanında kış aylarında yağın kar yüksek kesimlerde uzun süre yerde kalmaktadır. Karın yayıldığı alanların belirlenmesini sağlamak amacıyla bu indeks kullanılmıştır. Bu indekse göre çalışma alanında kuzey yamaçların gerisindeki düzlük alanlarda birikim yüksektir (Şekil 20 (j)). Bu alanların düz olması ve burada yükseltinin etkisiyle sıcaklığın da düşük olmasından dolayı karın yerde kalma süresi uzamaktadır.



Şekil 20: Topoğrafik faktörler ve akarsu ağı. Akarsu Ağı (f), TWI (g), SPI (h), MRVBF (j) dağılış haritası.

2.3 Klimatik Özellikler

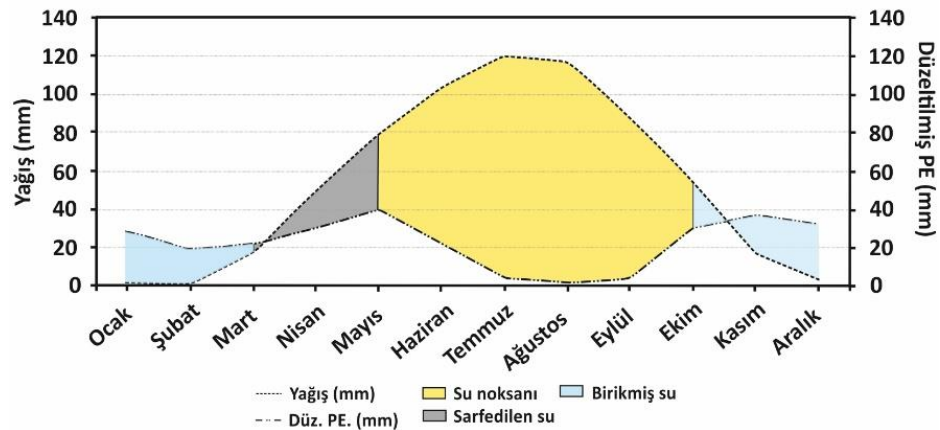
Türkiye'nin kuzeydoğu Anadolu platosunda bulunan Kelkit Çayı havzası Köppen iklim sınıfında kışları soğuk nemli orta enlem karasal iklimin Dsb alt grubuna girmektedir. Bu iklim tipi, yazları ılık bir iklim tipini ve bölgenin serin bir yaz geçirdiğini karakterize etmektedir. Bu iklim tipinde Aralık ayından Mayıs ayına kadar yağışlı dönem daha sonra ise Türkiye'nin Akdeniz makro ikliminde olmasından kaynaklı genel olarak ülke genelinde de görülen yaz kuraklığı egemen olmaya başlamaktadır (Koçman, 1993; Türkeş, 2010; Öztürk vd., 2017).

Havza üzerinde bu iklim elemanlarını kontrol eden ve havzanın ikliminin oluşmasında yaz ve kış mevsiminde etkili olan makro ölçekli basınç ve hava kütlelerinin etkisi oldukça fazladır. Kış aylarında İzlanda alçak basıncı kaynaklı mP gibi hava kütleleri, polar jetin de güneye çekilmesi ile Akdeniz havzasına ulaşmaktadır. Bu hava kütleleri burada termodinamik modifikasyonlara uğrayarak cephe yağışlarını oluşturmaktadır. Diğer taraftan Sibiryaya yüksek basıncı kaynaklı cP hava kütleleri kuzey ve kuzeydoğu hava akımlarıyla Türkiye üzerinde bu alanlarda egemen olmaktadır. Karadeniz üzerinden ilerleyen başta cPKs hava kütlesi ısınıp termodinamik modifikasyona uğrayarak, kararsız cPKu hava kütesine dönüşür. Bu hava kütlesi Akdeniz siklonunun sıcak cephesinin önündeki hava ile karşılaştığında özellikle İç ve Doğu Anadolu bölgelerine dolayısıyla da çalışma alanına kar şeklinde yağış bırakmaktadır. Kelkit Çayı havzasının en çok yağış aldığı dönemler bu hava kütleleri ve basınç merkezlerinin oluşturduğu etki ile kış dönemine rastlamaktadır. Bu durum ayrıca Kuzey Atlantik salınımının negatif fazına karşılık gelmektedir. Diğer yandan yaz koşulları düşünüldüğünde ise özellikle polar jetin daha kuzeye çekilmesi ile sıcak çekirdekli derin Azor yüksek basınç sistemi Akdeniz havzasının güneyine girme fırsatı bulur ve burada Muson Alçak basınç sistemi ile de bazen birleşik bir anomali oluşturarak cT hava kütesinin Türkiye dolayısıyla da Kelkit havzasına sokulmasıyla sıcaklığın artmasına ve kar erimelerine neden olmaktadır. Ayrıca bu hava kütlesi yaz dönemlerinde kuraklık oluşturmaktadır (Erinç, 1969; Erol, 1999; Karaca vd., 2000; Türkeş, 2010).

Thornthwaite'a göre değerlendirilen Koyulhisar meteoroloji istasyonunun iklim verilerine göre çalışma alanı D, B'3, d, b'3 yarı kurak, birinci dereceden mezotermal su fazlası olmayan veya çok az olan denizel şartlara yakın iklim tipine sahiptir. Bu verilere göre elde edilen su bilançosunda Nisan ve Mayıs aylarında sarf edilen su mevcut iken Haziran ayından Ekim ayına kadar su noksanlığı mevcuttur. Ocak, Şubat, Mart, Kasım, Aralık aylarında ise birikmiş su bulunmaktadır (Tablo 7; Şekil 21)

Tablo 7: Thornthwaite metoduna göre Koyulhisarın su bilançosu.

	Oca	Şub	Mar	Nisan	May	Haz	Tem	Ağus	Eyl	Ekim	Kas	Ara	Yıl
Sıcaklık (°C)	0.8	0.6	4.8	10.6	14.2	17.6	19.7	20.5	18.1	12.8	5.7	1.7	10.6
Sic. ind.	0.1	0	0.9	3.1	4.9	6.7	8.0	8.5	7.0	4.2	1.2	0.2	44.8
Pt. Etp.	2.0	1.4	17.4	45.0	64.0	82.8	94.8	99.4	85.6	56.5	21.4	5.0	575
En. D. Kat.	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
Düz. PE.	1.7	1.2	17.9	50.0	79.5	104	120	118	89.1	54.2	17.7	4.0	657
Yağış (mm)	28.6	19.3	22.7	30.9	39.7	22.9	4.3	2.0	3.7	30.7	36.8	32.8	274
Birk. Su Değ.	26.9	18.1	4.8	-19.1	-39.8	-38.7	0	0	0	0	19.1	28.8	
Birik Su	74.8	92.9	97.7	78.6	38.7	0	0	0	0	0	19.1	47.9	
Ger. Etp.	1.7	1.2	17.9	50.0	79.5	61.6	4.3	2.0	3.7	30.7	17.7	4.0	274
Eksik Su	0	0	0	0	0	42.1	116	116	85.4	23.5	0	0	383
Fazla Su	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Akış	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nem Orn.	15.9	15.2	0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-0.4	1.1	7.1	



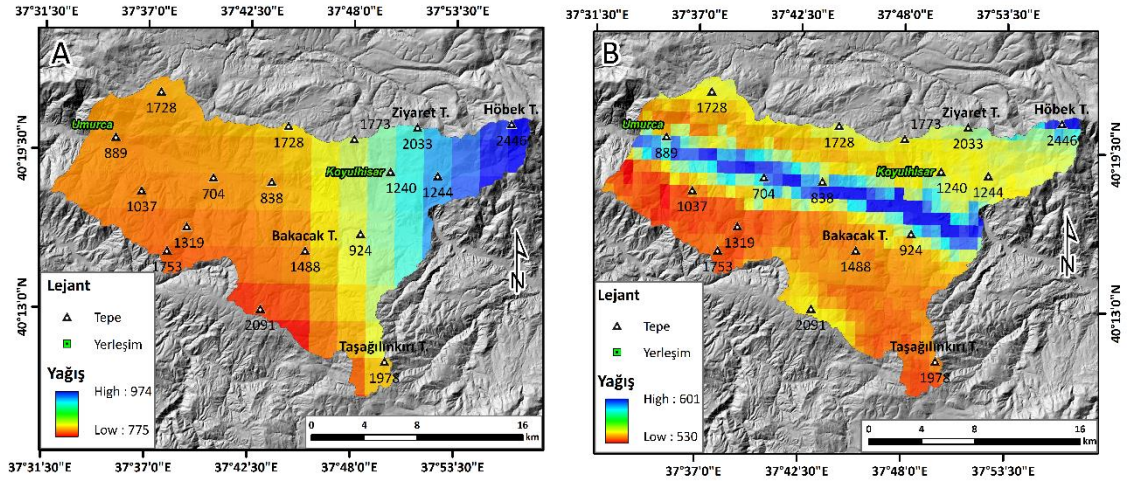
Şekil 21: Koyulhisarın su bilançosu.

Çalışma sahasının sıcaklık, yağış etkinliği (yağmur, kar) ve rüzgâr gibi iklim elemanları 1984-1994 Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü 800 m yükseltideki Koyulhisar ve 1970-2017 yılları arasındaki 1050 m yükseltideki Suşehri istasyon verilerine göre değerlendirilmiştir.

2.3.1 Yağış Etkinliği

Yukarıda değinildiği üzere cephe yağışlarının etkin olduğu çalışma alanında yağışlar genellikle kar ve yağmur şeklinde görülmektedir. Yağış dağılışı ortalama yağış (2005-2015) verilerinden üretilmiştir. Bu veriler, aylık verilerden yıllık ortalamalar hesaplanmış ve daha sonra tüm yılların ortalamasına göre elde edilmiştir.

Yağış dağılışı bakımından çalışma sahasının; Tropikal Yağmur Ölçüm Misyonu (Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)) (Şekil 22 (a)) ve Global iklim verisi (WorldClim) (Şekil 22 (b)) (Fick & Hijmans, 2017) sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu verilerden TRMM verisi havza genelini daha iyi yansıtmaktadır. TRMM verisine göre elde edilen ortalama yağış dağılımında çalışma alanının kuzeydoğu kesimin yüksek alanlarında yağış daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 22 (a)).



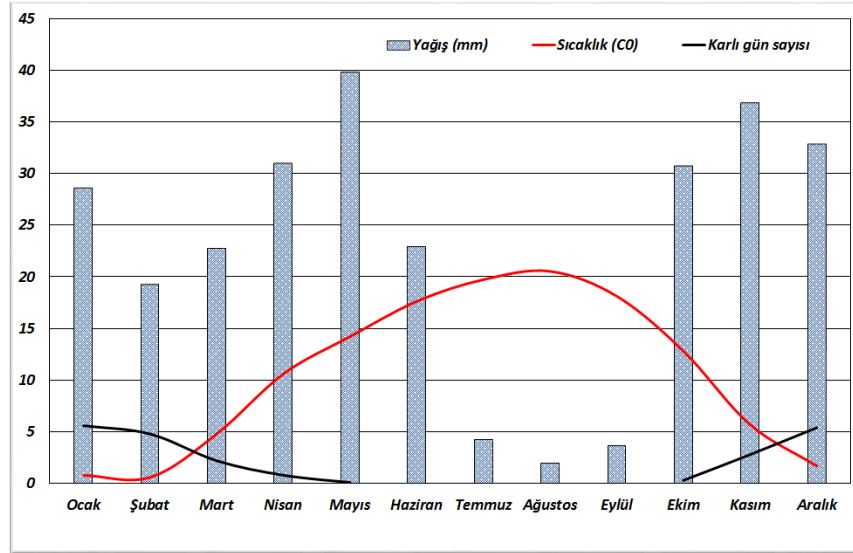
Şekil 22: Çalışma sahasının ortalama yağış dağılımı. TRMM (a) ve WorldClim (b).

2.3.1.1 Yağmur

Çalışma alanında yağış genel olarak yağmur tipinde düşmektedir. Yağmur tipinde düşen bu yağışlar en fazla ilkbaharın Nisan, Mayıs aylarında sonra sonbahar ve kış mevsiminin tüm aylarında gerçekleşmektedir (Şekil 23). Bölgede yıllık ortalama yağış 405.6 mm'dir. Toplam yağış ortalaması en yüksek Mayıs (61.6 mm), en düşük ise Ağustos (5.6 mm) ayıdır. Elde edilen sonuca göre yıllık toplam yağışın en düşük 27 mm olduğu en yüksek ise 944 mm olduğu görülmüştür.

2.3.1.2 Kar

Çalışma alanında kar yağışı özellikle kış aylarında etkilidir. Özellikle vadinin yüksek kesimlerinde etkili olan karın yağdığı gün sayısı en çok Aralık (19 gün) ve Şubat (19 gün) aylarıdır (Şekil 23). Kış aylarında yağın kar bakımının etkisiyle yüksek kesimlerde uzun süre yerde tutunmaktadır.



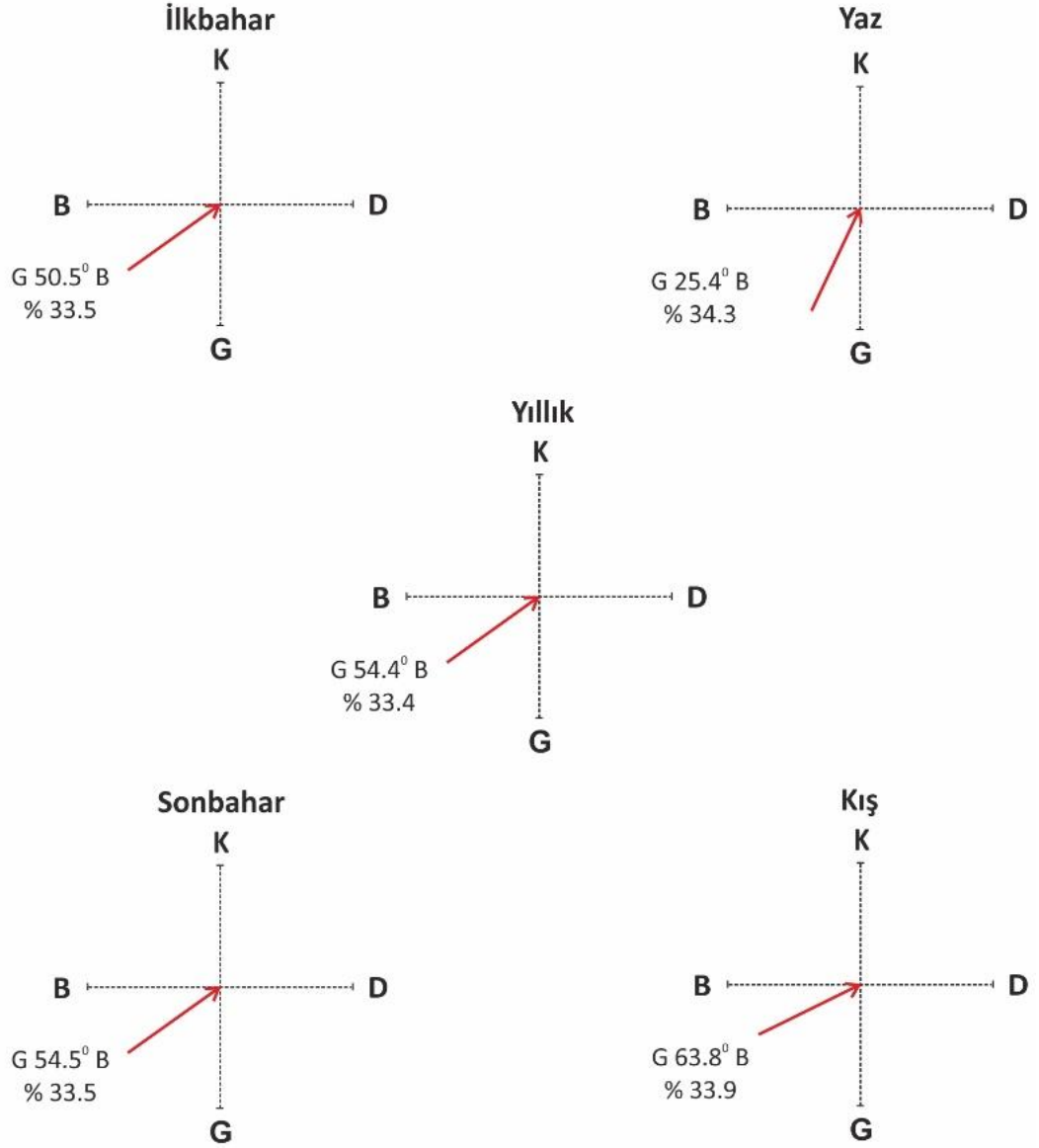
Şekil 23: Yıllık ortalama sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısı.

2.3.2 Sıcaklık

Yaz kuraklığının etkin olduğu çalışma alanında yazlar sıcak geçmektedir. Koyulhisar istasyon verilerine göre havzanın yıllık ortalama sıcaklığı 10.6 °C'dir. Ortalama sıcaklık en yüksek Ağustos (20.5 °C), en düşük ise Ocak (0.8 °C) ayında görülmektedir. Karlı gün sayısı ortalamasının en fazla olduğu Aralık (19 gün) ve Şubat (19 gün) aylarıdır. Maksimum sıcaklıkların ortalaması ise; en yüksek Ağustos (35.4 °C) iken, minimum sıcaklıkların ortalamasının en düşük olduğu ay -11.7 °C ile Şubat'tır. (Şekil 23).

2.3.3 Rüzgâr Etkinliği

Çalışma alanında tüm mevsimler ve yıllık hakim rüzgâr yönünün Güneybatı doğrultulu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 24). Bu rüzgâr yönü çalışma sahasının topoğrafik yapısından kaynaklanmaktadır. Rüzgâr etkinliği güney sektörlü olduğu için sıcak fön karakterine sahiptir. Çalışma sahasında etkin bu rüzgâr sektörünün en fazla kış sonra sonbahar ve ilkbahar aylarında şiddetli olduğu görülürken, en az ise yaz mevsiminde etkilidir.

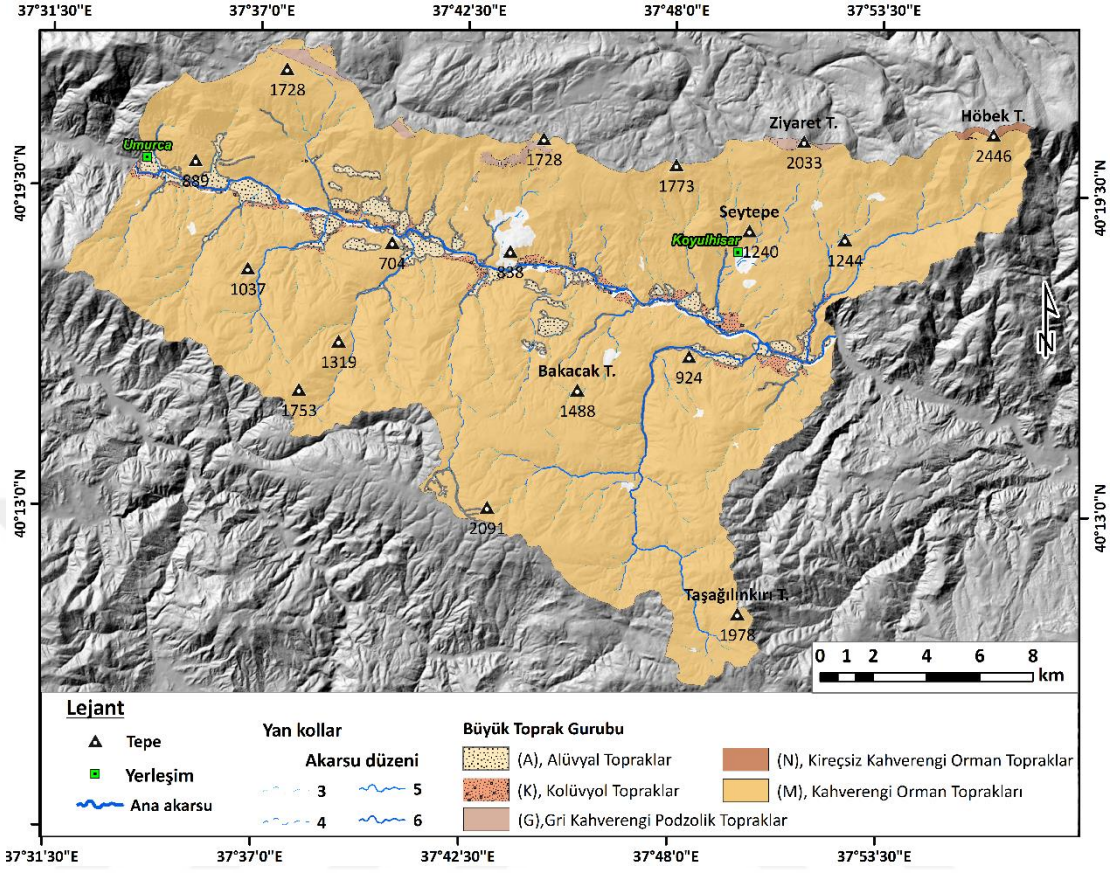


Şekil 24: Çalışma sahasında yıllık ve mevsimlere göre rüzgâr yönü.

2.4 Toprak Özellikleri

Toprağın strüktür ve tekstür yapısı; toprağın infiltrasyonunu, su ve nem tutma özelliğini değiştirmektedir (Ergene, 1987; Mater, 1998; Cihangir, 2013). Ayrıca toprak içinde bulunan geçirimsiz tabakalar da yer altı su seviyesini belirlemektedir. Bunların dışında toprak, suyun akışı esnasında suya dahil ettiği malzemenin tipi ve yoğunluğuna bağlı olarak suyun akışkan yapısını (Newton ve Newton olmayan akışkanlar (Bingham plastik, Pseudoplastik, Dilatant) değiştirmektedir. Farklı akışkanlarda ise kayma gerilmesi farklılaşmaktadır (Takahashi, 1980). Bu nedenle malzemenin akış hızı değiştikçe oluşturacağı etki de farklı olmaktadır. Bunların dışında toprak bitki yetiştirme koşulları üzerinde de etkilidir. Verimli toprağa sahip alanlar daha yoğun bitki örtüsüne sahiptir (Ergene, 1987).

Toprak, belirtilen bu özelliklerden dolayı heyelan üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak etkilidir. Bu açıdan çalışma sahasının toprak özelliklerine bakıldığında Kahverengi Orman Toprak (M) çalışma alanının % 88.4'ünü (348.7 km²) kapsamaktadır. Ilıman kuşakta ve çevresinde yaprakları dökülen ormanların altında görülen bu topraklarda, organik madde üst toprak zonlarındaki minerale karışmıştır. Bir diğer toprak çeşidi ise; akarsuyun düşük eğimli alanlarda ince malzemelerini biriktirdiği vadi tabanlarında oluşan Alüvyal Topraklardır. Alüvyal Toprak (A) çalışma alanının % 5.3'ünü (20.9 km²) oluşturmaktadır. Bunun dışında yamaçlardan taşınan farklı boyuttaki kum ve çakılın eğimin düştüğü alanlarda birikmesi sonucu oluşan Kolüvyal Topraklar da (K) bulunmaktadır. Bu toprak çalışma alanının % 3.4'ünü (13.5 km²) kapsamaktadır. Çalışma alanında ayrıca çok sınırlı bir alanda; % 0.7'sinde (2.9 km²) Gri-Kahverengi Podzolik Topraklar (G) ile kahverengi toprakların aşırı yıkanması sonucu karbonatların topraktan uzaklaşmasıyla asidik karaktere sahip Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar (N) (Ergene, 1987; Mater, 1998; Cihangir, 2013) % 0.2'sinde (0.73 km²) görülmektedir (Şekil 25).



Şekil 25: Çalışma alanının toprak dağılışı.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

JEOMORFOLOJİK TEHLİKE ANALİZİ

Jeolojik ve jeomorfolojik izler topoğrafyada heyelanı belirginleştirmektedir. Litolojik birimlere göre heyelan yoğunluğunun farklılaşması ve jeomorfolojik süreçlerin kesintiye uğradığı alanlar ve ani topoğrafik eğim, röliyefin değiştiği alanlar heyelan morfolojisinin izlerini taşımaktadır (Guzzetti, 2006). Bu izler araziye ait biçim, doku, morfolojik ilinti ve örüntüde farklılıklar oluşturduğundan heyelan tespitinde kolaylık sağlamaktadır. Bu özelliklerden faydalanılarak heyelan envanteri, heyelan envanterinden ise jeomorfolojik yapının da tanımlandığı jeomorfolojik heyelan envanterleri oluşturulmaktadır. Heyelan envanterleri, koordinatlı stereo hava fotoları, uydu görüntüleri yorumlanmasına dayalı çizimler, doğrudan topoğrafik haritalara çizim veya yarı otomatik çizimler ile oluşturulmaktadır (Guzzetti, 2005; Cardinali vd., 2007).

Heyelan envanterinden elde edilen jeomorfolojik heyelan envanterleri, genellikle 1/10 bin-1/100 bin ölçekleri arasında değişmekle beraber bu ölçek temel alınan en küçük heyelan boyutuna bağlıdır. Bu envanterler; transfer, birikim zonu ve şev, gibi heyelan bölümleri yanı sıra heyelanın aktif, uykuda, relikt gibi aktivite durumunu da ortaya koymaktadır. Ayrıca eski-yeni gibi göreceli heyelan yaşı ve sığ-derinlik bilgisini de göstermektedir. Jeomorfolojik heyelan envanterinin bir diğer özelliği gerektiğinde çalışma alanını şekillendiren süreçleri belirtmek amacıyla yamaç süreçleri (gully, kolüvyal depolar), kütle hareketleri, flüvyal birikim (flüvyal fan, birikinti konisi vb.) ve flüvyal aşınım (badlans, taraça, yüzey erozyonları vb.) süreçlerinin oluşturduğu morfolojik unsurları da içermektedir (Guzzetti, 2006).

3.1 Heyelanın Dağılım Karakteristiği

Heyelanlar deprem, litolojik, iklimik ve topoğrafik koşullara göre tip ve yoğunluk bakımından lokal ve bölgesel farklılık göstermektedirler. Heyelanların bu mekânsal farklılığını eğim, röliyef, yükselti gibi topoğrafik, litolojik, yeraltı su seviyesi ve fay gibi yapısal faktörler kontrol etmektedir (Guzzetti vd., 1999; Van Westen vd., 2006; Gorum vd., 2008a; Bayrakdar & Görüm, 2012; Nefeslioglu vd., 2013; Cihangir & Gorum, 2016). Heyelanların yoğun olduğu bir bölgede heyelana neden olan faktörlerin farklılık göstermesinin yanı sıra heyelan tipindeki değişim, heyelanı meydana getiren koşulların farklılığını da sergilemektedir (Varnes, 1958b; Hungr vd., 2014). Litolojik, morfolojik farklılıklar, heyelanı tetikleyen farklı hidro-meteorolojik olaylar ve sismik olayların büyüklüğü gibi unsurlar heyelan yoğunluğunda, dağılım deseninde ve büyüklüğünde farklılıklara neden olmaktadır (Larsen & Sanchez, 1998; Gorum vd., 2014). Bu nedenle çok geniş alanları kapsayan çalışmalarda, heyelan dağılımını kontrol eden faktörleri belirlemek oldukça zordur (Guzzetti vd., 2007).

Topoğrafik açıdan eğim ve röliyef'in heyelan dağılımı üzerindeki kontrolü baskındır. Büyük heyelanlarda (heyelan alanı $> 0.5 \text{ km}^2$) topoğrafik röliyef'in ve yapısal faktörlerin heyelan büyüklüğü üzerindeki kontrolü alansal bakımdan küçük heyelanlara göre daha belirgindir (Korup, 2005; Blöthe vd., 2015). Heyelanı meydana getiren koşullar kadar heyelanı tetikleyen faktörlerin de mekânsal dağılım ve büyüklük üzerinde etkisi vardır. Örneğin depremin odak noktasından ve faydan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğu ve büyüklüklerinde belirgin farklılıkların olduğu pek çok çalışmada ortaya konulmuştur (Owen vd., 2008; Dai vd., 2011; Gorum vd., 2011). Benzer şekilde yağış ve şiddetli kasırgalar gibi hidro-meteorolojik doğal tetikleyiciler de heyelan dağılım karakteristiği üzerinde doğrudan etkilidir (Dai & Lee, 2001; Gorum vd., 2008b; Regmi vd., 2014).

Tüm bu etkiler göz önünde bulundurularak, tezin bu bölümünde heyelanların oluşumları, dağılım karakteristikleri ve jeolojik, jeomorfolojik ve hidro-meteorolojik koşulların heyelan dağılımı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Bu bölümün ilk aşamasında metot olarak uydu görüntülerinden çalışma sahasının güncel heyelan envanteri biçim, doku, morfolojik ilintiler ve örüntüler gibi görüntü tanımlama özellikleri ile heyelan alanları belirlenmiştir. Bu heyelanlar Varnes (1978) sınıflamasına göre tasnif edilmiştir (Şekil 26). Ayrıca uydu görüntüsünden elde edilen heyelan envanteri, topoğrafya haritasına aktarılırken hataları düzeltilmiştir. Bunun yanı sıra arazi çalışmaları ile heyelanların yersel doğrulukları kontrol edilmiştir. Arazi çalışmasının bir diğer faydası, güncel uydu görüntülerinden ayırt edilemeyen heyelanların belirlenmesi ve uydu görüntülerinin çekim tarihinden sonra heyelanın meydana gelip gelmediği tespit etmek olmuştur. Nihai olarak çalışma sahasının heyelanlarını doğru yansıtan bir heyelan envanteri oluşturulmuştur (Şekil 27).

Heyelan koordinatı

X	Y

Kayma				Akma				Kompleks		Düşme		Yanal yayılma		Sübsidans (çökme)		
Rotasyonel		Düzlemsel		Sürünme		Pekişmemiş kaya ve toprak	Moloz/Çamur	Moloz	Kaya	Toprak	Kaya	Toprak	Kaya	Toprak	Kaya	Toprak
Kaya	Toprak	Kaya	Toprak	Kaya	Toprak											

Aktivite durumu

Aktif Askıda Yeniden aktive Hareketsiz (Uykuda) Stabil Relikt

Aktivite dağılımı

İlerleyen Gerileyen Genişleyen Azalan Sınırlanmış

Aktivite stili

Kompleks Birleşik Tek Ardışık (birbirini izleyen)

Hız

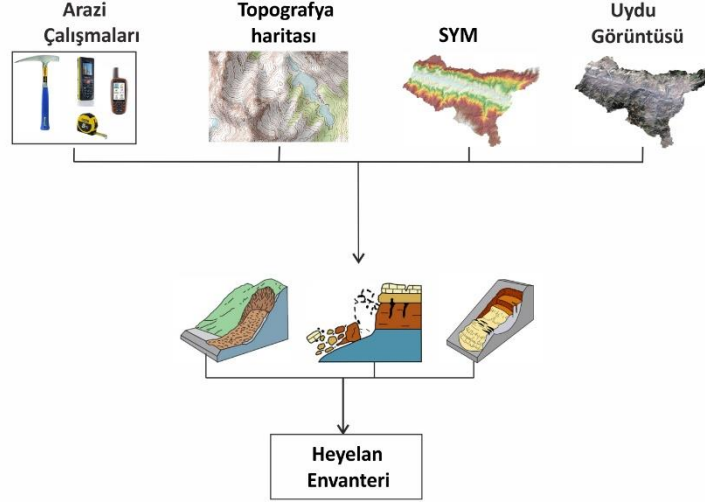
Ekstrem hızlı (>5m/sn) Çok hızlı (5m/sn - 3m/dk) Hızlı (3m/dk - 1,8/sa) Orta (1,8m/sa - 13m/ay) Yavaş (13m/ay -1,6m/yıl)

Çok yavaş (1,6m/ yıl - 16mm/yıl) Ekstrem yavaş (16mm < - yıl)

Su içeriği

Kuru Nemli Islak Çok ıslak

Şekil 26: Varnesin (1978) ve Dikau (1999) sınıflandırması göre düzenlenmiş heyelan envanter bilgi formu.



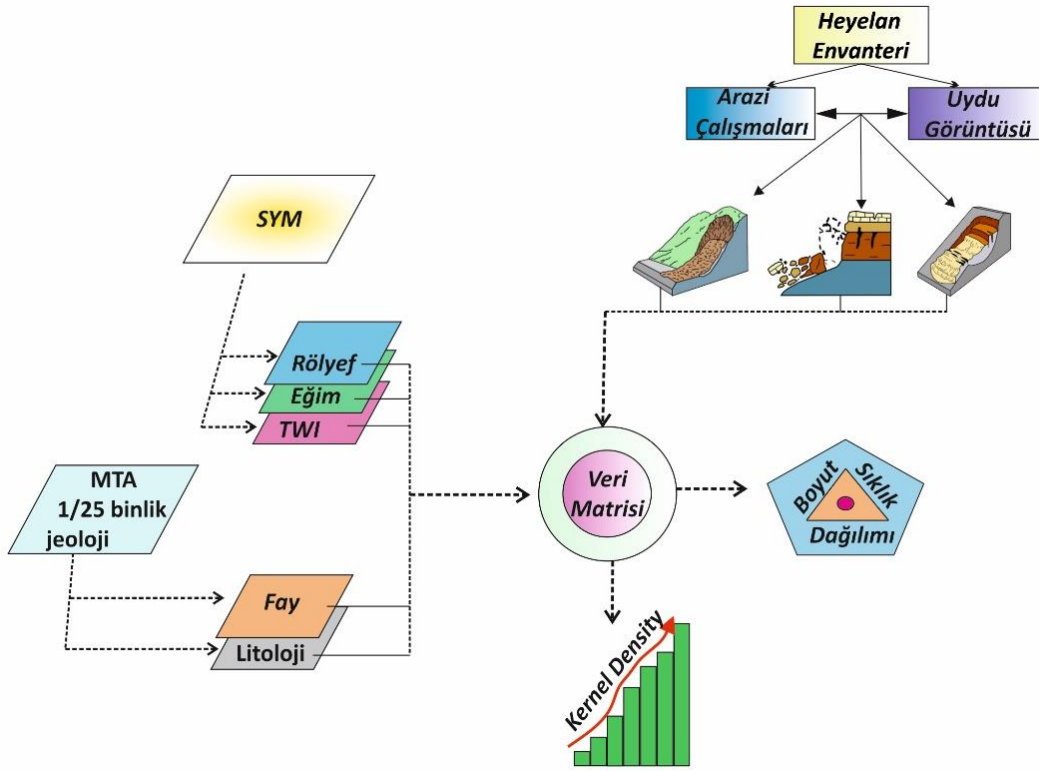
Şekil 27: Heyelan envanteri uygulama adımları.

Bu bölümün ikinci aşamasında heyelanların oluşumunu kontrol eden doğal koşullar ve bu koşulların çalışma alanındaki heyelan oluşumu ve buna ilişkin süreçler üzerinde mekânsal olarak sunduğu farklılıkların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, jeomorfolojik etkenler bakımından topoğrafik röliyef, yükselti, eğim koşullarının heyelan oluşumunda ne kadar etkili olduğu ve bu etkinin heyelan tipine göre (örn. akma, düşme, kayma) nasıl bir dağılım sergilediği analiz edilmiştir. Bunun için topoğrafya haritasından elde edilen 10 m çözünürlükteki Sayısal Yükselti Modeli (SYM) ve yükseklik eğrileri ile heyelanların sayısallaştırması sırasındaki hatalar topoğrafyaya bağlı olarak giderilmiştir. SYM verisi havzanın eğim değerlerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır. Aynı zamanda SYM verisi ile havza içerisinde oluşturulan 2000 m²'lik dikdörtgen alanlar içindeki minimum ve maksimum farka karşılık gelen röliyef değerleri elde edilmiştir. Daha sonra her bir heyelan başlangıç noktasındaki grid merkezine nokta atamaları yapılmıştır. Bulunduğu pikseli temsil eden noktalara yükselti, röliyef, eğim ve Topoğrafik Nemlilik İndisi değeri bilgileri taşınarak veri matrisleri oluşturulmuştur.

Bu veri matrisleri ana heyelan tipleri bazında (örn. düşme, kayma, akma) sınıflandırılmıştır. Elde edilen heyelanların eğim, yükselti, röliyef ve Topoğrafik Nemlilik İndisi karakteristikleri kernel yoğunluğuna göre dağılımları analiz edilmiştir (Şekil 28). Bunlardan farklı olarak litolojik birimler ile heyelan tipleri ilişkilendirilerek, litolojik birimlerin heyelan tipleri içerisindeki yoğunlukları elde edilmiştir. Yapısal anlamda buna ek olarak,

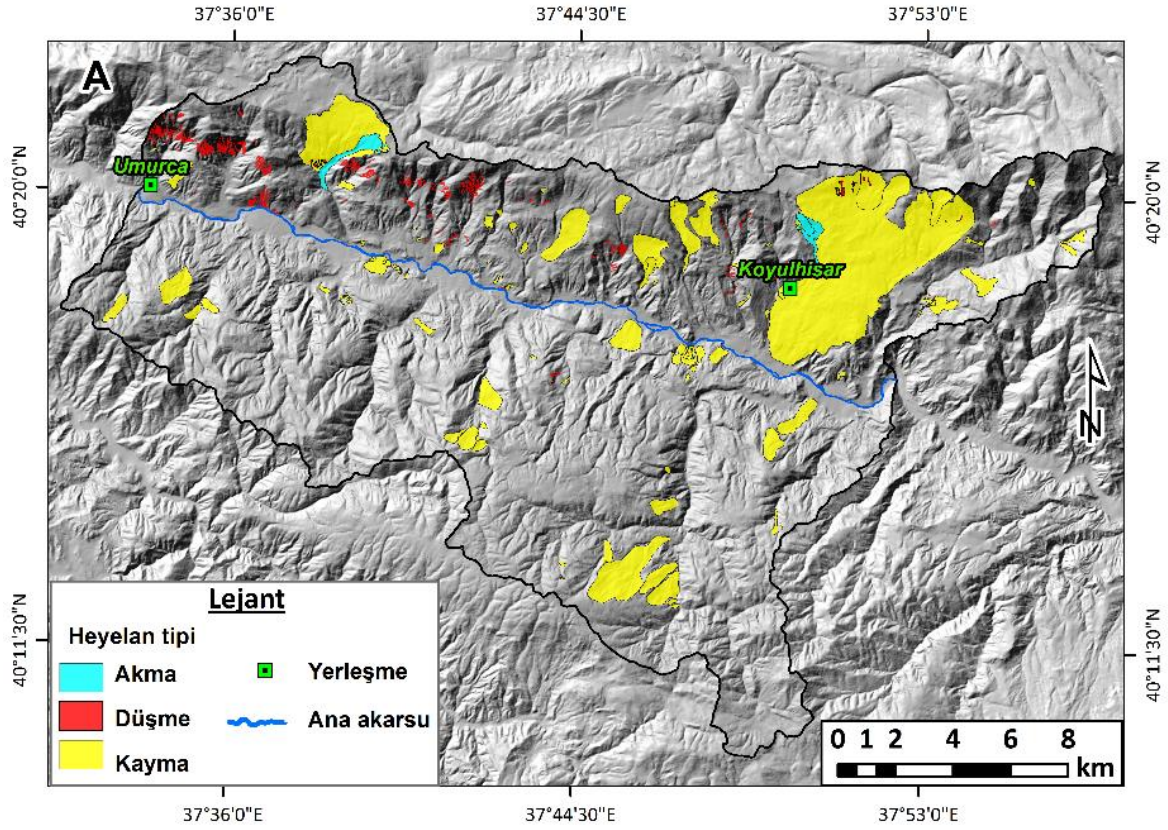
heyelanların aktif fayla olan mekânsal ilişkisi tamponlama (ing. buffer) analizleriyle incelenmiştir. Bu bakımdan fayı merkez alan 3 km'lik tampon zonları oluşturulmuş ve bu zonlar içerisinde kalan heyelanların yoğunlukları tespit edilmiştir. Bu zon içerisinde kalan akma ve kayma tipindeki heyelanlara Boyut Frekans Dağılımı uygulanmıştır.



Şekil 28: Kernel yoğunluk ve Boyut frekans dağılımı uygulama adımları.

Çalışma alanının %13.4' ünü oluşturan 462 heyelan tespit edilmiştir. Bu heyelanların toplam alanı 52.7 km²'dir. Havzanın en büyük heyelanı Koyulhisar heyelanı (23.2 km²) ile en küçük heyelanı (0.004 km²) havzanın kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 29). Ekstrem büyüklükteki Koyulhisar heyelanı dâhil olmak üzere 2 heyelan (23.2-4.5 km²) göreceli olarak çok büyük, 4 heyelan büyük (4.1-1.0 km²), 180 heyelan orta (1.0-0.1 km²), 255 heyelan küçük (0.1-0.001 km²) ve 21 heyelan ise (< 0.001 km²) çok küçük boyuttadır. Kayma (kompleks dahil 134 adet), düşme (318 kaya düşmesi ve 1 adet devrilme), akma (9 adet moloz akması) (Şekil 29) olarak 3 ana tipte sınıflandırılan heyelanların %91.9'unu (48.4 km²) kaymalar, %5.2'sini (2.8 km²) düşmeler, %2.9'unu (1.5 km²) ise akmalar oluşturmaktadır (Şekil 30). Havzadaki toplam heyelanların %78.1'i havzanın kuzeyinde yer alırken %21.9'u ise güneyinde yer

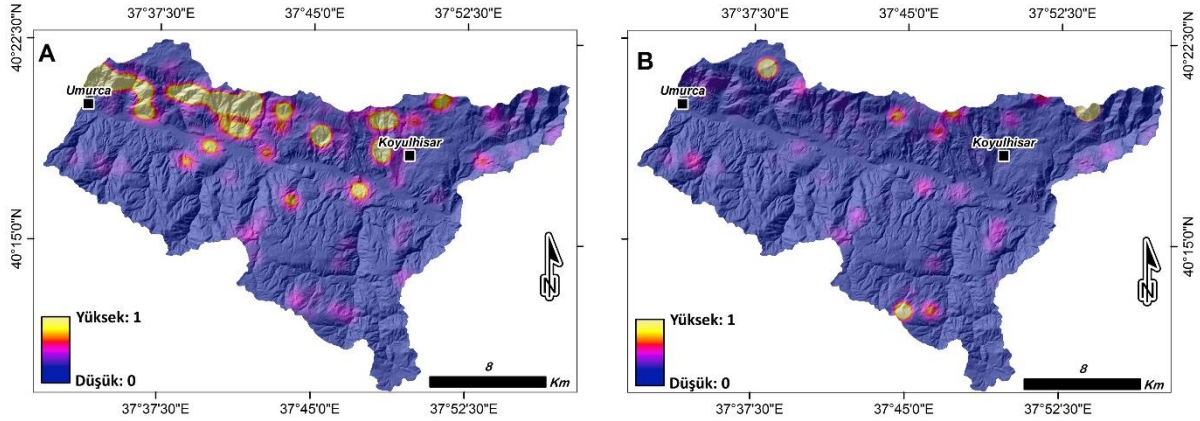
almaktadır. Heyelan tiplerine bakıldığında düşmelerin havzanın kuzeybatısında kaymaların ise kuzeydoğusunda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 29). Bununla birlikte heyelan noktasal yoğunluğunun Umurca'nın kuzeydoğusundaki yamaçlarda arttığı gözlenirken (Şekil 31 (a)) alansal bakımdan heyelan yoğunluklarının Koyulhisar çevresinde daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 31 (b)).



Şekil 29: Çalışma alanındaki heyelanların dağılımı.



Şekil 30: Çalışma alanındaki heyelan tiplerine örnekler Sugözü'ünde meydana gelen bir akma tipi heyelan (a) (Bakış yönü GB-KD). Kelkit Çayı yan yamaçlarındaki bir kayma tipinde bir heyelan (b) (Bakış yönü K-G). Umurca Köyünün kuzeydoğusundaki kaya düşmeleri (c) (Bakış yönü GD-KB).

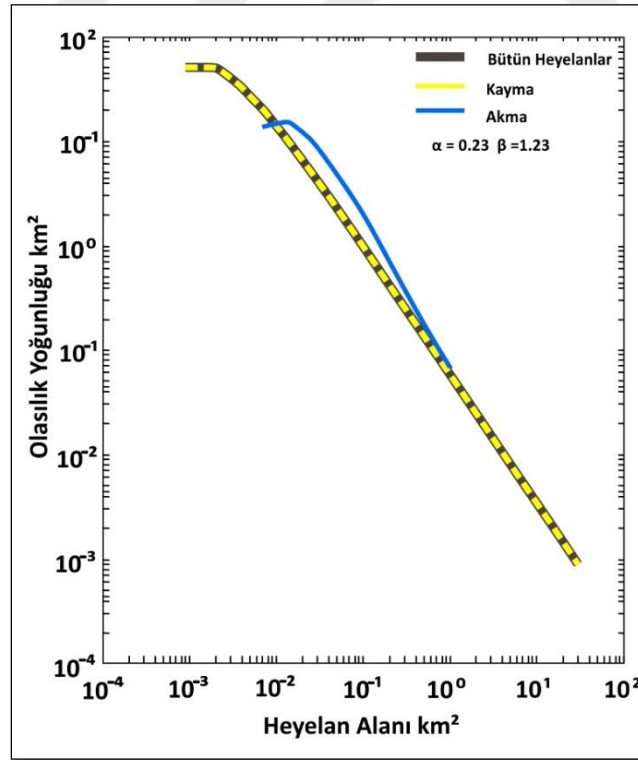


Şekil 31: Noktasal (a) ve alansal (b) heyelan yoğunluk haritaları.

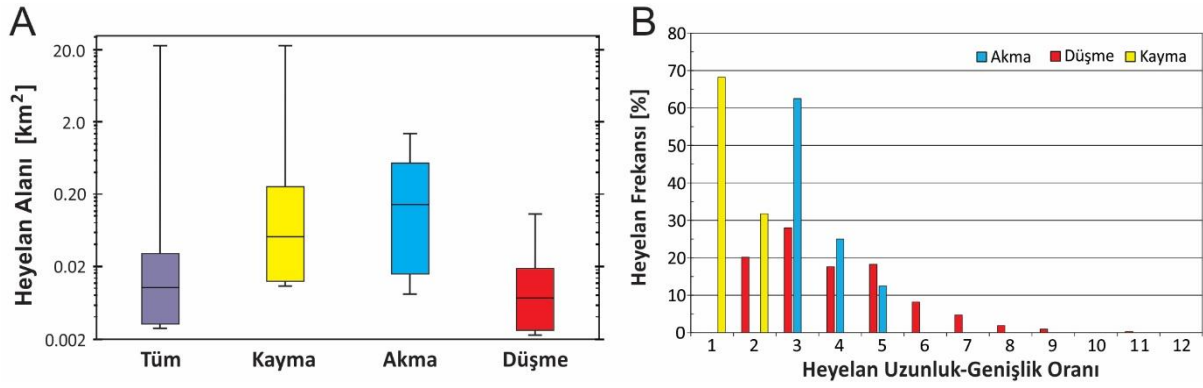
Heyelan tiplerine göre heyelanların etki mesafesinin (ing. runout) belirlenmesi için heyelanların uzun ve kısa eksen oranları hesaplanmıştır (Şekil 33). Heyelan uzunluk-genişlik oranı değerlerinin 1-12 arasında değiştiği belirlenmiştir. Söz konusu bu oranlar heyelan tiplerine göre belirgin şekilde farklılıklar göstermektedir (Şekil 33 (b)). Oransal farklar özellikle kayma ve düşme tipindeki heyelanlarda artarken, akma ve düşmeler arasındaki farklar görece olarak daha düşüktür (Şekil 33 (a)). Toplam heyelanın etki mesafesinin akma ve düşmelerde

daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu değerler akmalarda maksimum 4.2, dmelerde ise 10.8'dir. Dmelerde değerlerin varyansı diğer heyelan tiplerine göre daha yüksektir. Kaymaların varyansı ise en düşüktür. Kayma tipindeki heyelanlarda uzunluk-genişlik oranı değerleri maksimum 4.4'tür. Kaymalar, dme ve akmalara göre daha düşük oran aralıklarında görülmektedir.

Evrendeki galaksilerin boyutları, deprem büyüklükleri, kıyı Őeridi uzantıları ve heyelan büyüklükleri Gç Yasası (ing. power law) düzeninde dağılmaktadır. Bu durum olayın büyüklüğü ve olayın sıklığı arasında fonksiyonel bir ilişkinin varlığından söz etmektedir (Guzzetti vd., 2002; Mega vd., 2003; Gribbin, 2004; Malamud vd., 2004). Bu ilişki bir olayın büyüklüğü 1'in, olayın sıklığının (f' nin) bir kuvvetine (ssne) bölümüyle doğru orantılıdır. Buna 1 bl f gürültüsü de denilmektedir (Gribbin, 2004). Bu amaçla çalışma sahasındaki heyelanların büyüklüğünü ve frekansını Power Law inverse gamma fonksiyonuna göre incelediğimizde, fonksiyonun iki uç kısmı eksik kalmaktadır (Şekil 32). Bu durum çalışma sahasının heyelan envanterinde bazı heyelanların topoğrafyadan silindiği yada envanter oluşturma esnasında kullanılan ölçek boyutundan dolayı küçük heyelanların çizilirken anlamlandırılmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 32: Heyelan tipine göre Gç Yasasına (Power Law) göre büyüklük sıklık dağılımı.



Şekil 33: Heyelanın ana tiplerine göre alansal dağılımları (a) ve uzunluk genişlik oranları (b). Şekil (a)'da yer alan heyelan alanının ölçüğü logaritmik olarak (Log_{10}) verilmiştir.

3.1.1 Heyelan Dağılımı ve Yoğunluğunu Kontrol Eden Faktörler

3.1.1.1 Hazırlayıcı Faktörler

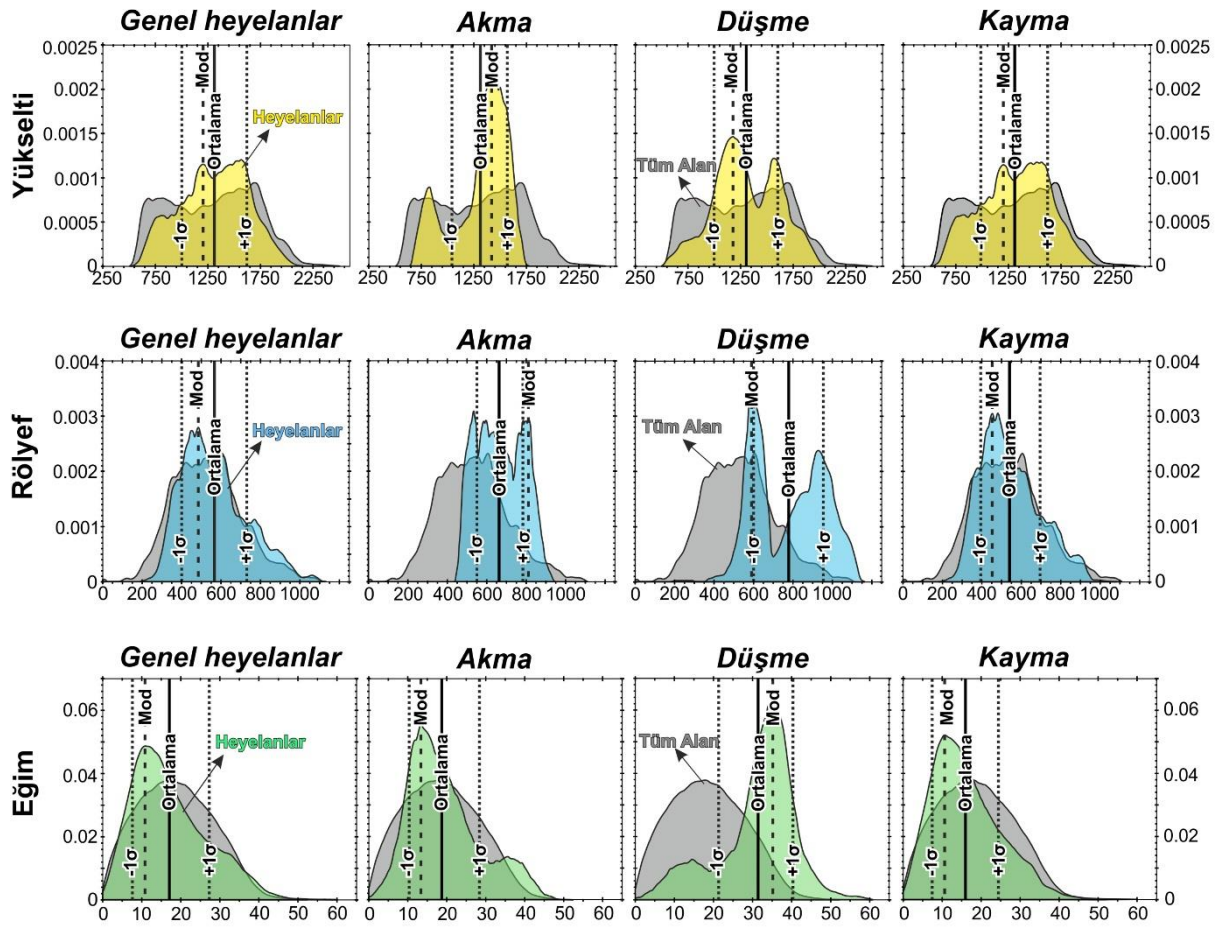
3.1.1.1.1 Topoğrafya

Çalışmada heyelan oluşumunun ve dağılımının topoğrafya ile olan ilişkisini ortaya koymak amaçlanmıştır. Farklı tip heyelanlar için kernel yoğunluk kestirimine göre normalize edilmiş yükselti, röliyef, eğim dağılımları analiz edilmiştir. Ayrıca tüm heyelanların dağılımı ile TWI arasındaki ilişki de yine kernel yoğunluğu ile analiz edilmiştir (Şekil 34 ve 35).

Analiz sonuçları incelendiğinde heyelan alanlarının ortalama yükselti değerleri (1307 m) havzanın ortalama yükselti değerlerinden (1283 m) yüksek olmasına rağmen yükselti modu bakımından havzaya göre daha düşük olduğu görülmüştür. Belirli seviyelerde küçük değişimler göstermesine karşın heyelanlı alanların ortalama röliyef değerleri, havzanın ortalama röliyef değerlerinden yüksektir. Nitekim heyelanların röliyef modu havzanın röliyef modundan düşüktür.

Eğim değerlerinde ise; heyelandan etkilenmemiş topoğrafik alanlar hem ortalama hem de mod bakımından heyelandan etkilenmiş alanlara göre yüksek değerlerde oldukları görülmüştür. Fakat bu durum heyelan tiplerine göre farklılık göstermektedir. Heyelan tiplerinin yükselti ortalamaları birbirine yakın olmakla beraber aralarında ortalama olarak 2 m gibi küçük bir yükselti farkı görülmektedir. Mod değerleri düşme ve kayma tipi heyelanlarda yakın değerlerde iken akmalarda ise daha yüksek değerlerdedir.

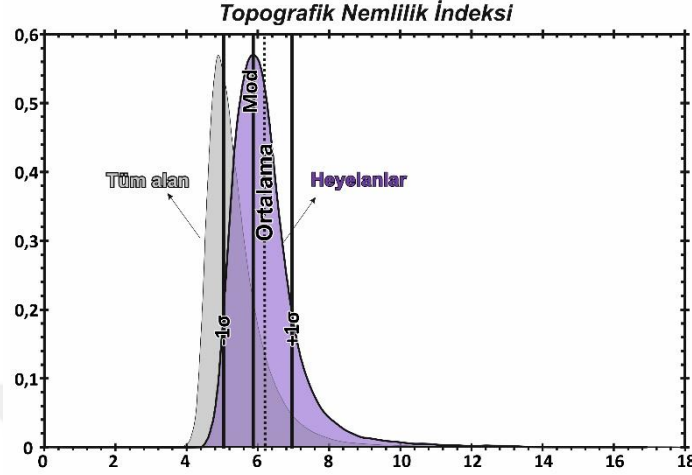
Röliyef değerleri bakımından düşmeler; kayma ve akmalara göre daha yüksektir. Düşme tipi heyelanların mod değeri 600-650 m değerleri arasında görülürken, 900-950 m aralıklarında ikinci bir yükselim göstererek çift hörgüçlü bir dağılım sergilemektedir. Akmalar ise; kaymalara göre daha düşük röliyef değerleri göstermiştir. Eğim değerlerine bakıldığında düşmeler akma ve kaymalara göre çok yüksek değerlerde görülmektedir. Düşmeler aynı zamanda akma ve kaymalardan farklı olarak sola çarpıklık göstermektedir (Şekil 34). Bu tip çarpıklık farklarının nedeni heyelan tiplerinin farklı eğim koşullarında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 34: Farklı heyelan tipleri için yükseklik, röliyef ve eğim değerlerinin olasılık dağılım kestirimleri. $\pm 1\sigma$ (standart sapma) değerleri toplam verinin $\sim 70\%$ 'ine karşılık gelmektedir.

Nem içeriği yüksek yamaçlar heyelana daha duyarlıdır. Çalışma sahasının topoğrafyaya bağlı genel nemlilik durumu ile heyelanlı alanların nemlilik durumu karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Topoğrafik nemlilik indeksine göre değerlendirilen çalışma alanı heyelan dağılım alanı ile aynı karaktere sahiptir. Fakat heyelanlı alanların TWI değerleri genel

havzaya göre daha yüksek değerler arasında dağılım göstermektedir. Aynı zamanda heyelan alanlarının TWI dağılımı sola çarpıklık göstermektedir (Şekil 35).



Şekil 35: Tüm heyelanların TWI değerlerinin olasılık dağılım kestirimleri. $\pm 1\sigma$ (standart sapma) değerleri toplam verinin $\sim 70\%$ 'ine karşılık gelmektedir.

3.1.1.1.2 Litoloji

Heyelan tipine göre her bir heyelanın kaynak alanından alınan litolojik bilgiler incelendiğinde; havzada litolojik birimler içerisinde en fazla heyelan içeren volkanit-çökel kaya (Eosen) birimleridir. Alansal olarak heyelanların en fazla gerçekleştiği (%40.2) ve Koyulhisar heyelanının büyük bir çoğunluğunu içeren bu birimlerde daha çok kayma tipindeki heyelanlar mevcuttur. Aynı zamanda akma ve düşmelerin de küçük oranlarda bu birimler üzerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Kireçtaşı (Maestrihtiyen) litolojik biriminde ise heyelanların %24.9'u gerçekleşmektedir. Akmaların ve düşmelerin en fazla, kaymaların ise bir kısmının gerçekleştiği bu birimlerde küçük-büyük her bir heyelan tipi görülmektedir. Bu birimler aynı zamanda sayı bakımından en çok heyelanın meydana geldiği (246 heyelan) litolojik yapıdır. Çalışma sahasının daha çok kuzeydoğusunda Sugözü ve kuzeybatısında Koyulhisar paleo-heyelanlarının geliştiği alanlardaki hâkim litoloji bazalt (Pliyosen) birimlerinde ise akma, düşme ve kayma tipi heyelanlar gelişmiştir. Havzanın güneyindeki serpantinlerde (Üst Kretase) ise kaymaların ve düşmelerin bir kısmının, çok az yoğunlukta bu birimlerde meydana geldiği görülmüştür. KAF'ın kuzeyinde faya paralel bir şekilde bir hat boyunca konumlanan ve

heyelanların %6'sını oluşturan volkanit-çökel kaya (Üst Kretase) birimlerinde akma, düşme ve kayma tipinde heyelanlar gelişmiştir. Bunların dışında çalışma sahasında kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı (Üst Paleosen) birimlerinde çok düşük oranlarda düşme ile kaymaların geliştiği, Şist (Paleozoyik), alüvyon (Kuvaterner) çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı (Alt miyosen), kıltaşı (Alt Eosen-Orta Eosen), melanj (Üst Kretase), şist (Permiyen-Triyas) birimlerinde ise sadece kayma tipi heyelanların geliştiği görülmektedir (Tablo 8).

Genel olarak çalışma sahasında kaymaların volkanit-çökel kayalarda, düşme ve akmaların ise kireçtaşı litolojik biriminde gerçekleştiği görülmüştür. Genellikle kireçtaşı birimlerinde görülen akma ve düşmelerde; düşmelerin fiziksel çözünmenin etkisinde gerçekleştiği, akmaların ise özellikle Sugözü heyelanında da görüldüğü üzere üst seviyedeki karların ani erimeleri sonucu suların kireçtaşı birimlerinden yeraltına sızması ve alt seviyedeki kütlelerin suya doymun hale getirmesiyle oluşmaktadır (Gökçeoğlu vd., 2005; Gürsoy vd., 2006; Nefeslioğlu vd., 2008b; Yıldırım 2006; Yılmaz vd., 2006).

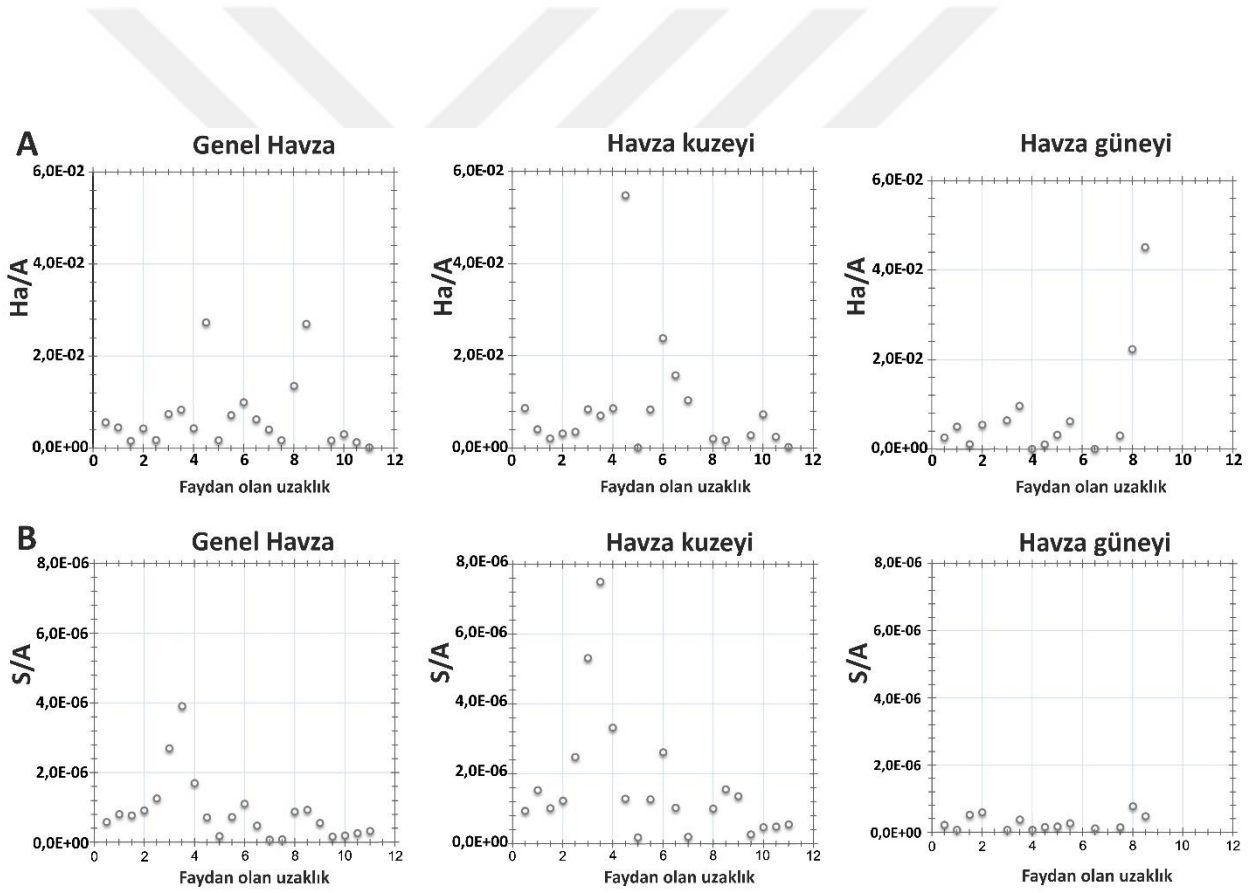
Tablo 8: Litolojik birimlerin heyelan tipine göre yoğunlukları.

Litolojik Birim			Bütün Havza			Bütün Heyelanlar			Akma			Düşme			Kayma		
Adı	Sembol	Devir	Km ²	%	Havza İçindeki Yoğunluğu	Km ²	%	Havza İçindeki Yoğunluğu	Km ²	%	Havza İçindeki Yoğunluğu	Km ²	%	Havza İçindeki Yoğunluğu	Km ²	%	Havza İçindeki Yoğunluğu
Alüvyon	Qa	Kuvaterner	7.9	2.0	0.02	0.03	0.05	0.0001							0.03	0.1	0.0001
Bazalt	Teb	Pliyosen	43.2	11.0	0.1	7.59	14.6	0.02	0.28	18.7	0.0007	0.19	7.0	0.0005	7.1	15	0.02
Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı	Tkk	Alt Miyosen	13.7	3.5	0.03	0.19	0.4	0.0005							0.2	0.4	0.0005
Kıltaşı	Tok	Üst Oligosen-Alt Miyosen	0.3	0.08	0.001												
Çakıltaşı	Toi	Oligosen-Alt Miyosen	1.7	0.4	0.004												
Volkanit-Çökel Kaya	Tyh	Eosen	129.5	32.9	0.3	20.91	40.2	0.05	0.04	2.4	0.00009	0.03	1.2	0.00009	20.8	44	0.05
Andezit	Tcc	Lütesiyen	1.4	0.3	0.003												
Kıltaşı	Ta	Alt Eosen-Orta Eosen	1.2	0.3	0.003	0.06	0.1	0.0001							0.1	0.1	0.0001
Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	Tdu	Üst Paleosen	2.9	0.7	0.01	0.75	1.4	0.002				0.01	0.2	0.00002	0.7	1.6	0.002
Kireçtaşı	Tg	Paleosen	0.4	0.1	0.001												
Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı	Ts	Alt Paleosen	0.003	0.001	0.00001												
Andezit	Kkv	Santoniyen-Maestrihtiyen	0.99	0.3	0.003												
Volkanit-Çökel Kaya	Km	Üst Kretase	43.7	11.1	0.11	3.12	6.0	0.008	0.19	12.5	0.0005	0.39	14	0.001	2.5	5.3	0.01
Kireçtaşı	Kri	Maestrihtiyen	53.5	13.6	0.14	12.92	24.9	0.03	1.01	66.4	0.003	2.11	77	0.005	9.8	21	0.02
Melanj	Kt	Üst Kretase	3.2	0.8	0.01	0.21	0.4	0.0005							0.2	0.4	0.0005
Serpantin	Tas	Üst Kretase	83.8	21.3	0.21	5.44	10.5	0.01				0.01	0.5	0.00004	5.4	11	0.01
Şist	Ptd	Permiyen-Triyas	3.04	0.8	0.01	0.16	0.3	0.0004							0.2	0.3	0.0004
Kireçtaşı	Ktk	Paleozoyik-Mesozoyik	0.05	0.01	0.0001												
Şist	Kts	Paleozoyik	3.6	0.9	0.01	0.59	1.14	0.002							0.6	1.2	0.002
Toplam			394.1	100.0	1.0	51.98	100	0.126	1.5	100	0.004	2.7	100	0.007	47.7	100	0.12

3.1.1.2 Tetikleyici Faktörler

3.1.1.2.1 Yapı

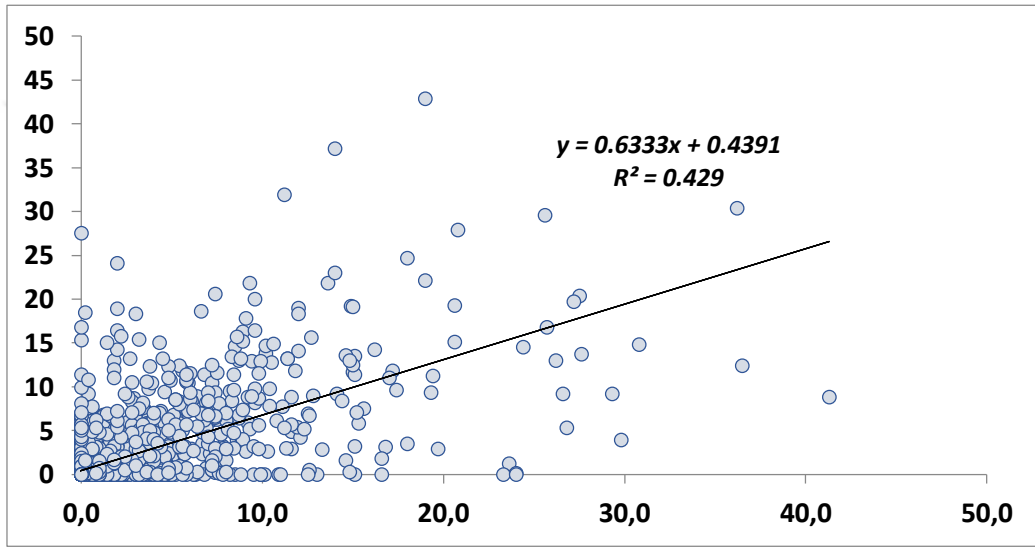
Havza genelinde bakıldığında heyelanlar fayın kuzey bölümünde daha yoğun olarak yer almaktadır. Kuzey bölümde hem havzadaki heyelanların büyük çoğunluğu görülmekte hem de daha büyük heyelanlar havzanın bu kesiminde yer almaktadır (Şekil 36 (a ve b)). Havzada genel olarak heyelan yoğunlukları 8-9 km arasındaki zonlarda yoğunlaşmıştır Bu zonlardaki heyelan yoğunluğu fayın hem kuzeyinde hem de güneyinde görülmektedir (Şekil 36 (a)). Heyelan sayısının ise 3-4 km arasındaki zonlarda daha fazla olduğu ve bunların çoğunluğunun düşmelerden oluştuğu görülmektedir (Şekil 36 (b)).



Şekil 36: Faydan olan uzaklıklara göre heyelan alan (a) ve sayı yoğunluğunun (b) azalımı.

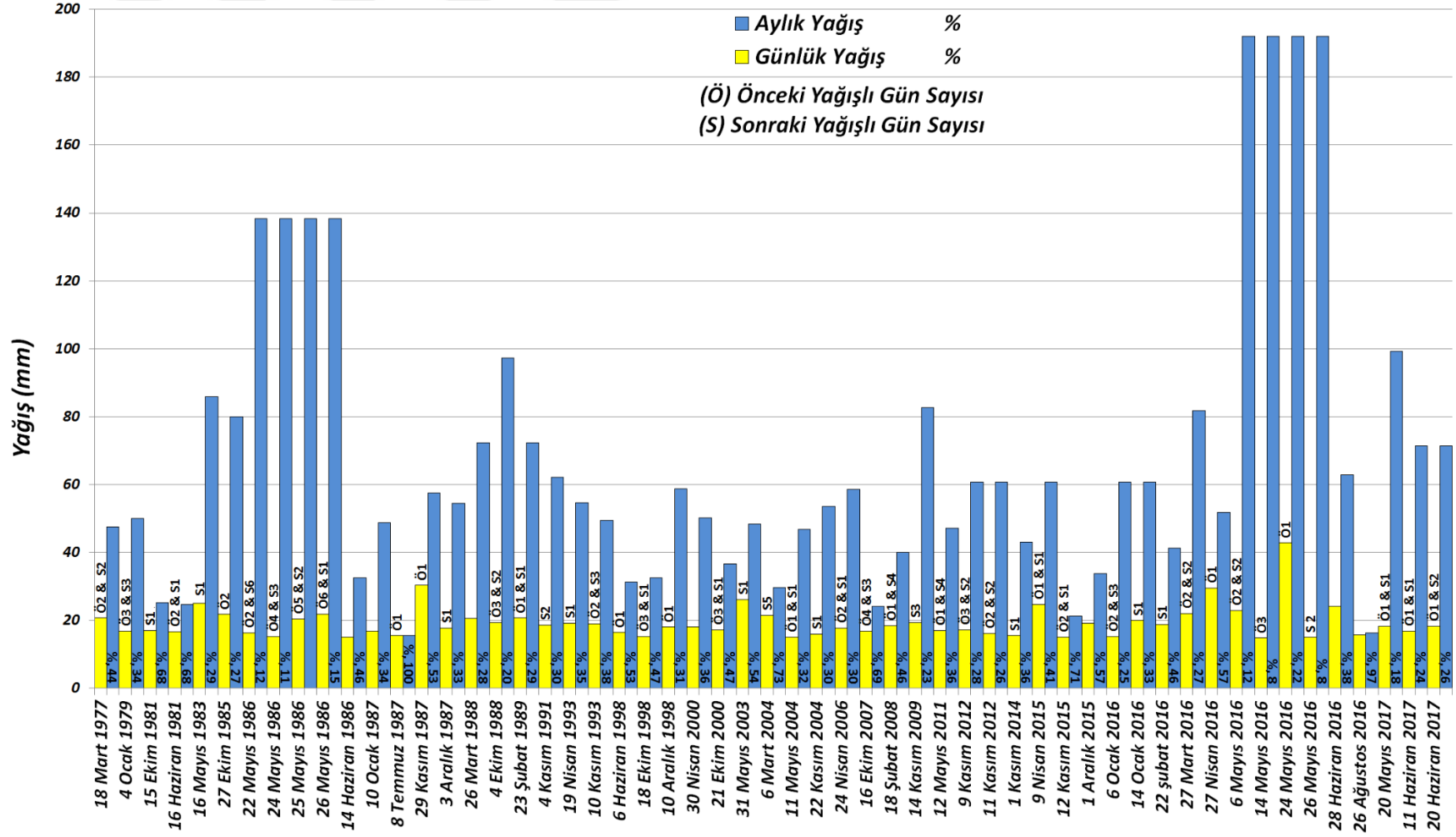
3.1.1.2.2 İklim

Çalışma alanının kuzey yamaçlarındaki katastrofik heyelanların birçoğunda tetikleyici faktör, iklimin etkisi ani kar erimeleri olarak gerçekleşmektedir. Güneydeki heyelanlar ise antedant yağışlar tarafından tetiklenmektedir. Çalışma sahasının yağış verileri değerlendirildiğinde eksik verilerin olduğu görülmüştür. Bu 1984-1994 ve 2014-2017 yılları arasında bulunan Koyulhisar meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerinin eksik kısımları regresyon analizi ile Suşehri meteoroloji istasyonuna verileri ile tamamlanmıştır (Şekil 37).



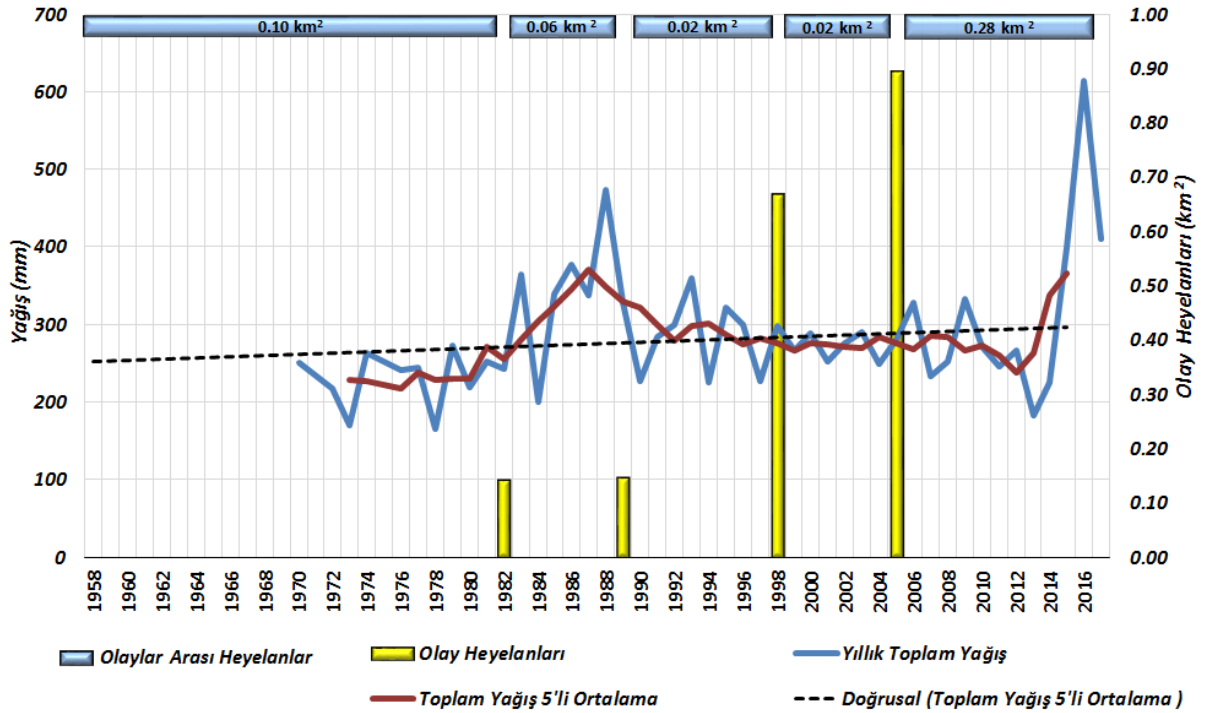
Şekil 37: Koyulhisar meteoroloji istasyonunun yağış verisi ile Suşehri istasyonunun yağış verisinin regresyon analizi.

Koyulhisar meteoroloji istasyonu ile Suşehri istasyonu arasında yüksek korelasyonun (0.69) olduğu görülmüştür. Koyulhisar istasyonu 1970-2017 yılları arasında günlük 15 mm yüksek yağışlar ve bu yağışların bulunduğu ay içerisindeki toplam yağış içindeki yüzdeleri ortaya konulmuştur (Şekil 38). Ayrıca topraktaki nem ve su oranının arttığı günleri belirtmek amacıyla, bu kuvvetli yağışların bir önceki ve bir sonraki günlerinden gelen yağışlı gün sayısı da (antedant yağışlar) belirtilmiştir (Şekil 38).



Şekil 38: Kuvvetli yağışlar, buldukları ay içerisindeki yüzdeleri ve antesedant yağışlar.

Yıllık toplam yağış ve bu yağışların genel ortalama trendine bakıldığında; birbirini izleyen belirli yıllarda trend yükselim (1984-1988 ve 2014-2018) gösterse de genel ortalama çok fazla değişmemektedir. Yıllık değişime bakıldığında ise yıllara bağlı toplam yağış ortalaması 286 mm civarında seyretmektedir. 1970-1986 periyodunda ortalamaya yakın yağış 1986-1997 arasında gerçekleşmiştir. 1998-2004 arasındaki periyotta azda olsa yükselim gösteren yıllık toplam yağışta 2004-2010 arasında ki dönemde en yüksek artışın meydana geldiği görülmüştür. Tüm dönemler için yıllık toplam yağışın düşük 1978 (164.7 mm) yılında en yüksek ise; 2016 yılında (613.3 mm) gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 39).

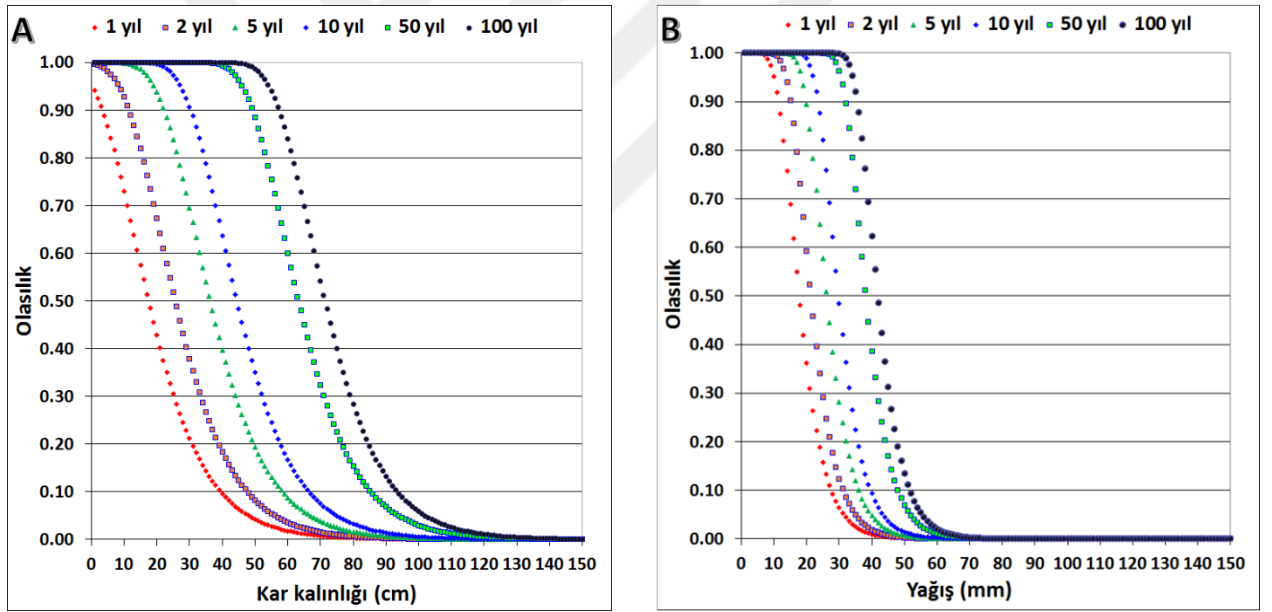


Şekil 39: Yıllara bağlı toplam yağış dönemleri ve bu dönemlerde oluşan toplam heyelan alanı.

Yıllara bağlı toplam yağışlar ile katastrofik dönem heyelanları (Olay heyelanları) ve katastrofik dönemler dışında gelişen heyelanlar (Olaylar Arası heyelanlar) arasındaki ilişki değerlendirildiğinde 1989 yılı dışında çok fazla bir ilişki görülmektedir.

Bunun temel sebebi büyük heyelanların ani kar erimeleri tarafından tetiklenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu anlamda yağış ve karın 1, 5, 10, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodları ortaya konulmuştur (Şekil 40). Bu bakımdan incelendiğinde; küçük boyuttaki heyelanları tetikleyen yağışın 1 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığı %10, 5 yıl içerisinde %30, 10 yıl içerisinde %50 ve 50 yıl içerisinde meydana gelme olasılığı ise %100'dür (Şekil 40 (b)).

Kar kalınlığında ise; 40 cm kar kalınlığı 1 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığı %10, 5 yıl içerisinde %40, 10 yıl içerisinde %70, 50 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığı ise %100'dür (Şekil 40 (a)).



Şekil 40: Analitik çözüme bağlı 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık Gumbel olasılık dağılım modeli: Yıllık maksimum kar kalınlığı (a) ve Günlük (24 saatlik) maksimum yağış (b).

3.1.2 Heyelan Aktivitesinin Zamansal Dağılımı

Zamansal heyelan aktivitesini etkileyen süreçler, heyelanın başlangıç hareketinden son hareketine kadar heyelan aktivite dağılımında farklılıklara neden olmaktadır. Bir yamaç üzerinde iç içe gelişen heyelanlarda; heyelanın ilk hareketini etkileyen faktörler ile aynı yamaçta gelişen diğer heyelanları etkileyen faktörler zamanla değişiklik gösterebilmektedir (Crosta, 1998). Bu heyelanlardan zamanla geriye doğru yenilenen heyelanların bazılarının hareketi taç kısmının gerisindeki yapısal düzlüğe doğrudur (Prior & Coleman, 1978; Jaboyedoff vd., 2009; L'Heureux, 2012). Bu tip heyelanlar yapısal düzlüğün tükenmesine neden olmaktadır. Bu durumun temel sebebi heyelanın her yenilenme hareketinde röliyef farkına ve eğimin artmasına neden olmasıdır. İlerleme (ing. progressive) ve genişleme (ing. enlarge) tipindeki heyelanlarda yenilenme hareketi ise, akarsuyun heyelan topuğunda ve birikim zonunda oluşturduğu erozyona bağlı gelişim göstermektedir (Wieczorek, 1984; Van Westen & Getahun, 2003; Korup vd., 2007).

Bu heyelan yenilenmeleri heyelan aktivite ve tipinde değişimlere neden olmaktadır. Bu durum heyelan başlangıç hareketine sebep olan eğim, röliyef gibi yamaç topoğrafik koşullarına bağlı kayma gerilmesi (ing. shear stress) ve ilksel hareketten sonra yamaç denge profilinin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bir yamaç, denge profiline ulaşıncaya kadar o yamaçta heyelan zaman zaman yeniden aktive olmaktadır (Guzzetti vd., 2009; Fiorucci vd., 2011; Mirus vd., 2017). Bazı yamaçlar, heyelan gerçekleştikten sonra zamanla denge profiline ulaşmaktadır. Bu yamaçlardan bazılarında, akarsuyun topuk aşındırmasına uğramasıyla tekrardan dengesinin bozulması ve sonuç olarak heyelan yenilenmeleri gelişmektedir (Williams vd., 1979; Hearn, 1995).

Tüm bu süreç heyelan aktivite dağılımına ve zamana bağlı mekânsal süreklilik olarak gelişmektedir. Zamansal heyelan aktivitesi ve mekânsal süreklilikteki bu değişkenlik heyelan tehlikesi üzerinde de etkilidir. Bu nedenle hem mekânsal süreklilik hem de zamansal heyelan aktivitesinin ortaya konulması gerekmektedir. Bunun temelini ise çok zamanlı heyelan envanteri oluşturmaktadır.

3.1.3 Çok Zamanlı Heyelan Envanteri

Çok zamanlı heyelan envanteri heyelanın tekrarlanma periyodunu ortaya koyduğundan tehlike analizleri için önem arz etmektedir (Cardinali 2002). Bu envanterler zamana bağlı mekânsal sürekliliğin temelini oluşturmaktadır. Aynı zamanda çok zamanlı heyelan envanterleri, heyelan olup olmadıkları tanımlanamayan alanların belirlenmesinde ve erozyon sonucu topoğrafyadan silinmiş heyelanların ortaya çıkarılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu envanterlerin bir diğer özelliği heyelan deseninin, sıklığının ve yoğunluğunun tespitinde, tehlike zonu haritalarının oluşturulmasında altlık olarak kullanılmasıdır.

Yıllara bağlı koordinatlı stereo hava foto veya uydu görüntülerinin uzman görüşü tarafından yorumlanmasıyla elde edilen bu envanterlerin doğruluğu uydu görüntülerinin yüksek çözünürlüğüne ve hava fotosunun büyük ölçekli olmasına bağlı olarak artmaktadır (Wieczorek, 1984; Guzzetti vd., 1999; Brardinoni vd., 2003; Carrara vd., 2003). Ayrıca heyelanın tespitinde fotoğraf ölçeği, kontrastı, heyelanın taze olması ve uzman deneyimi gibi etkenler de önemlidir (Dikau, 1999). Sonuç olarak farklı zamanlara ait görüntülerden elde edilen heyelanlar çok zamanlı heyelan envanterini oluşturmaktadır. Bu heyelan envanterleri oluşturulurken heyelan sınıflamaları Varnes'e (1978) göre yapılmaktadır. Çok zamanlı heyelan envanterinden heyelan aktivite dağılımı ve zamana bağlı mekânsal süreklilik değerlendirmeleri yapılmaktadır (Cardinali vd., 2007; Galli vd., 2008).

Bu amaçla çalışma sahasının çok zamanlı heyelan envanterini oluşturmak için 1958-2016 yılına kadar 58 yıllık bir periyod incelenmiştir. Görüntüler arasında ortalama 10 yıllık bir zaman bulunmaktadır. Bunlardan 2016 ve 2006 yılı için çok yüksek ve yüksek çözünürlüklü (WorldView 1m ve Spot 5m) uydu görüntüleri kullanılmıştır. 2006 yılı öncesine ait 1990, 1986, 1973, 1963, 1958 yılları için ise; 1: 16,000-1: 35,000 ölçekleri arasında değişen stereo hava foto setleri (19 x19 cm ve 21 x 21 cm) kullanılmıştır. Ayrıca AFAD veri arşivinden ve literatürden çalışma alanına ait tarihsel heyelan kayıtları da elde edilmiştir. Tarihsel heyelan kayıtlarından olayın gerçekleştiği tarihten sonra alınan görüntüler jeomorfolojiye, jeolojiye ve arazi

çalışmalarına bağlı yorumlamalar ile çok zamanlı heyelan envanteri elde edilmiştir (Cardinali vd., 2000; Carrara vd., 2003; Guzzetti, 2005; Galli vd., 2008; Guzzetti vd., 2008; Fiorucci vd., 2011).

İlk aşamada mevcut en güncel uydu görüntüsünden (2016) güncel heyelan envanteri oluşturulmuştur. Bu heyelan envanteri oluşturulurken, aynı zamanda arazi çalışmaları ve jeomorfolojik göstergelere göre tespit edilen en güncel görüntüden sonra gerçekleşmiş heyelanlara ilişkin sınır ve konumları da alınmıştır. 2016 tarihinden geriye 2006 yılına ait uydu görüntüsünden elde edilen heyelanlar oluşturulmuştur. 2006 yılı öncesi için ise, hava fotoları koordinatlandırılmıştır. Koordinatlandırma sırasındaki kullanıcı kaynaklı hataların ve fotoya bağlı ötelenmelerin göz ardı edilebilir düzeyde (Tablo 9) olmasına dikkat edilmiştir.

Hata oranlarının minimum düzeye indirmek için bir takım hususlar göz önüne alınmıştır. Bunlardan birincisi hem alansal hem de konumsal hatayı azaltmak için heyelanın mevcut fotonun merkezinde olmasıdır. İkincisi ise konumsal hatayı azaltmak için, hava fotosundan çizilen heyelanın güncel uydu görüntüsündeki konumuyla birlikte ele alınarak iki görüntüde sabit unsurlara (ev, yol, akarsu vb.) uzaklıklarının karşılaştırılmasıdır. Heyelan tanımlaması renk, arazi biçim ve doku, morfolojik ilinti ve örüntü özelliklerine bağlı doğrudan görüntülerden elde edilmiştir. Siyah-beyaz hava fotolarının yorumlanmasında aynalı stereoskop (4x büyütme ile) kullanılmıştır.

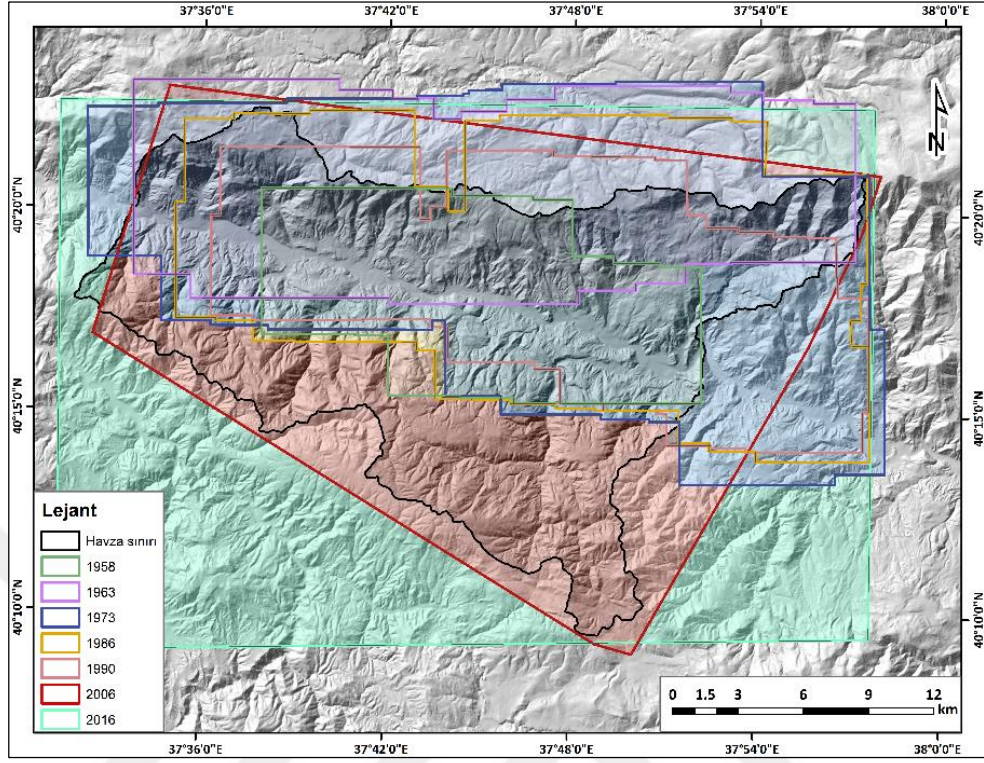
Çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri heyelan aktivitesinin güncel durumunu belirlemek için kullanılmıştır. Ayrıca bu uydu görüntüleri hava fotolarının kalibrasyonunda da kullanılmıştır.

Tablo 9: Hava fotolarının çizim doğrulu ve anlamlandırma.

Yıl	Ölçek	Foto boyutu	Tarama (dpi)	Uçuş yüksekliği (fit)	Kamera odak uzaklığı (mm)	Maksimum ötelenme (cm)	1 pikselin içerdiği mikron sayısı (cm)	En küçük heyelan boyutu (m ²)	En küçük heyelanın hava fotosunda kapladığı piksel sayısı
1990	1/18000	19 x 19	1270	12000	152,0	13,44	36	333,5	28
1990	1/18000	19 x 19	1270	12000	152,0	13,44	36	333,5	34
1986	1/15000	23 x 23	1270	14000	153,3	16,26	30	333,5	41
1986	1/15000	23 x 23	1270	14000	151,9	16,26	30	333,5	41
1973	1/23000	23 x 23	1270	16500	152,8	16,26	46	333,5	17
1973	1/23000	23 x 23	1270	18000	152,8	16,26	46	333,5	17
1963	1/35000	19 x 19	1270	17000	99,4	13,44	70	333,5	7
1958	1/35000	19 x 19	1270	13000	99,6	13,44	70	333,5	7

Heyelanların hata oranları esas alınarak, hava fotoları içerisinde en küçük ölçekte 7 piksel kaplayan 333.5 m² heyelanından daha küçük heyelanlar envantere yer almamıştır. Bu boyuttan daha küçük heyelanlar analizlerin yüksek doğrula sahip olması için ve görüntüde anlamlandırılmadığından kullanılmamıştır (Tablo 9).

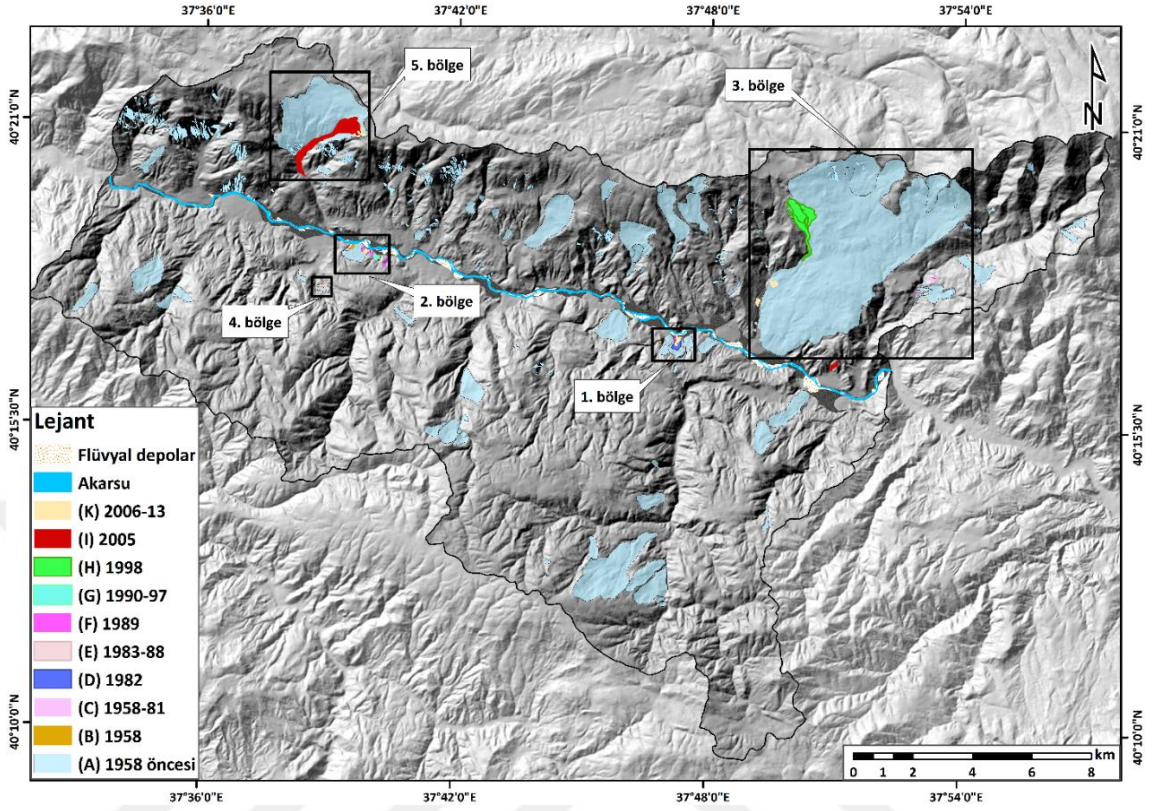
Sonuç olarak mevcut yıllara bağlı olarak çok zamanlı heyelan envanteri oluşturulmuştur. Görüntüler 394.1 km²'lik havzada yıllara bağlı görüntülerden 1958 yılı 154.9 km²'sini, 1963 yılı 167.5 km²'sini, 1973 yılı 259.7 km²'sini, 1986 yılı 248.1 km²'sini, 1990 yılı 193.9 km²'sini kapsarken 2006 ve 2016 yılı çalışma alanının tamamını kapsamaktadır. Mevcut yıllara ait görüntülerin toplam alanının havza sınırları içinde kalan kısımları 1809.7 km²'lik alanı oluşturmaktadır (Şekil 41).



Şekil 41: Mevcut tüm dönemlere ait görüntülerin sınırları.

Görüntüler heyelandan sonraki yıllara ait olduğundan envanter oluşturulurken veri kayıtları, heyelan tazelik belirtisi ve akarsu düzeni derecelerinden yararlanılmıştır. Böylece mevcut en eski görüntüden 1958 yılı öncesindeki heyelanlar ortaya konulmuştur. Daha sonra katastrofik dönem heyelanları olan 1958, 1982, 1989, 1998, 2005 yıllarına ait Olay Heyelanları (OH) ile bu dönemler dışında gelişen 1958-1981, 1983-1988, 1990-1997, 2006-2013 Olaylar Arası Heyelanlar (OAH) oluşturulmuştur (Şekil 42).

Elde edilen çok zamanlı heyelan envanterinde mevcut görüntülerin ortak kesişimi olan beş bölgede heyelan aktivitesinin yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 42). Bu beş bölge aktivite dağılımı ve zamansal mekân sürekliliği bakımından değerlendirilmiştir.



Şekil 42: Çok zamanlı heyelan envanteri.

3.2 Heyelan Aktivitesi Dağılımı

Heyelan hareketi ve materyal tipi gibi kriterlere göre belirlenen heyelan sınıflamaları (Cruden & Varnes, 1996; Hungr vd., 2001; Chang vd., 2007; Hungr vd., 2014) teknik ve uygulama açısından heyelanın yapısını belirlemede önemlidir. Heyelanın yapısı pek çok çalışmada heyelan tipi ve aktivitesiyle belirlenmiştir (Baltzer, 1875; Sharpe, 1938; Varnes 1954; Varnes, 1978; Dikau, 1999; Hungr vd., 2001; Hungr vd., 2014). Genellikle durum, dağılım, stil olarak belirlenen heyelan aktivite tipleri (Dikau, 1999) mekânsal sürekliliğin sonucudur. Aktive durumda: aktif heyelan mevcut durumda hareketi devam eder. Askıda heyelan bir yıllık dönem içinde hareket etmesine rağmen mevcut durumda aktif olmayıp belirgin tansiyon çataklarına sahip heyelanlardır. Heyelanın son hareketinin üzerinden bir yıllık mevsim geçmesine rağmen hareket belirtisi göstermeyen heyelanlar aktif olmayan heyelandır. Aktif olmayan heyelanda harekete neden olan kalıntılar belirgin olarak duruyorsa uykudadır. Heyelanı onu etkileyen faktörlerden uzak ise örneğin akarsu topuk erozyonu ile aşındırılan bir heyelanda akarsu yön değiştirerek ortamdaki uzaklaşmışsa terkedilmiş heyelan denir. Aktif olmayan heyelanın erozyona uğrayan kısımları bir set tarafından korunmuşsa heyelan stabildir. Relikt heyelan aktif olmayan heyelanın bir zaman sonra kalan kısımları üzerinde morfolojinin değiştiği ve bitki örtüsünün geliştiği heyelan sınırlarının zor belirlendiği sadece kalıntılarının bulunduğu heyelandır. Askıda, uykuda ve relikt heyelanları bölge iklim, bitki örtüsü ve morfolojik değişim hızına bağlı olarak belirgin olsa da genel olarak bu şekildedir. Heyelan üzerinde birden fazla akarsu düzeninin gelişmesi de relikt olduğunun göstergelerinden birisidir (Skempton & Hutchinson, 1969; Soaters & Van Westen, 1996; Dikau, 1999). Heyelan aktivitesi dağılımının ilerleyen, gerileyen (Mitchell & Markell, 1974), genişleyen, azalan ve sınırlanmış olarak belirlenmesi, heyelanın gelişim deseninin ortaya konulmasını sağlamaktadır (Dikau, 1999).

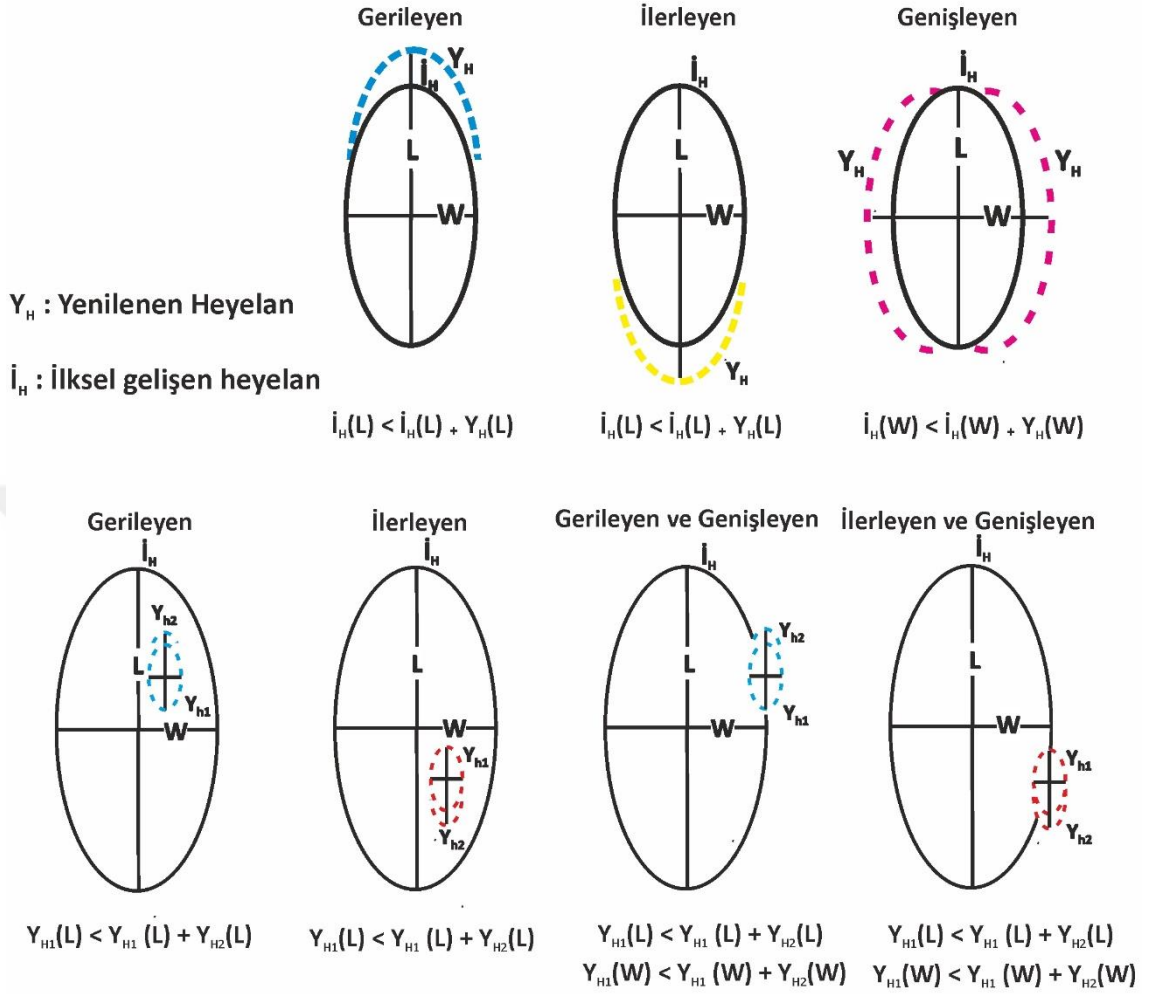
Kısa ve uzun dönemli olay ve süreçlerin kontrolü altında gelişen heyelan aktivitesi zamanın etkisine bağlı olarak oluşmaktadır. Kısa dönemde heyelan aktivitesi daha çok hidrolojik, yağış ve sismik etkilerin denetiminde gerçekleşmektedir (Julian & Anthony, 1996; Degraff vd., 2010; Mirus vd., 2017). Uzun dönem heyelan

aktivitesine tektonik ve flüvyal denetimle farklılaşan röliyef, yükselti ve eğimin etkisinin yanı sıra fiziksel, kimyasal ayrışma ve beşeri etkiler neden olmaktadır. Heyelanın tipi ve aktivite dağılımı zamana bağlı değişen mekânsal sürekliliğe göre farklılaşabilmektedir. Heyelanın aktivitesi, jeolojik, jeomorfolojik yapının yanı sıra başlangıçtaki hareketinin tipine bağlı da değişmektedir.

Heyelanın ilk hareketinden sonra değişen topoğrafik koşullar ve malzemenin yamaç üzerinde tutunma özelliğinin azalması aynı yamaç üzerinde heyelan yenilenmesine neden olmaktadır. Bu ilk hareketten sonra gelişen ikincil ve üçüncül heyelanlar büyüklük bakımından ilk hareketin sınırları içinde kalmasının yanı sıra ilk hareketten daha büyük ve hızlı olabilmektedir. Aynı zamanda bu ikincil ve üçüncül heyelanlardan bazıları, hareketin tipi bakımından da ilk hareketten farklı olabilmektedir. Ayrıca heyelanın gelişimi aktivite dağılımına göre ilksel hareketinin aksine farklı bir aktivite dağılımıyla da gelişebilmektedir.

Heyelan aktivite dağılımı heyelanın hareket yönünü göstereceğinden heyelan tehlikesi için kestirimler ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır.

Heyelanın ilk hareketinden sonraki hareketlerinde aktivite dağılımının tanımlanması, ilk heyelanın eksen uzunluklarının sonraki gelişen heyelanların eksen uzunlukları ile karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Bu eksenlerin karşılaştırılması ile heyelan aktivite dağılımı belirleme aşağıda verilmiştir.



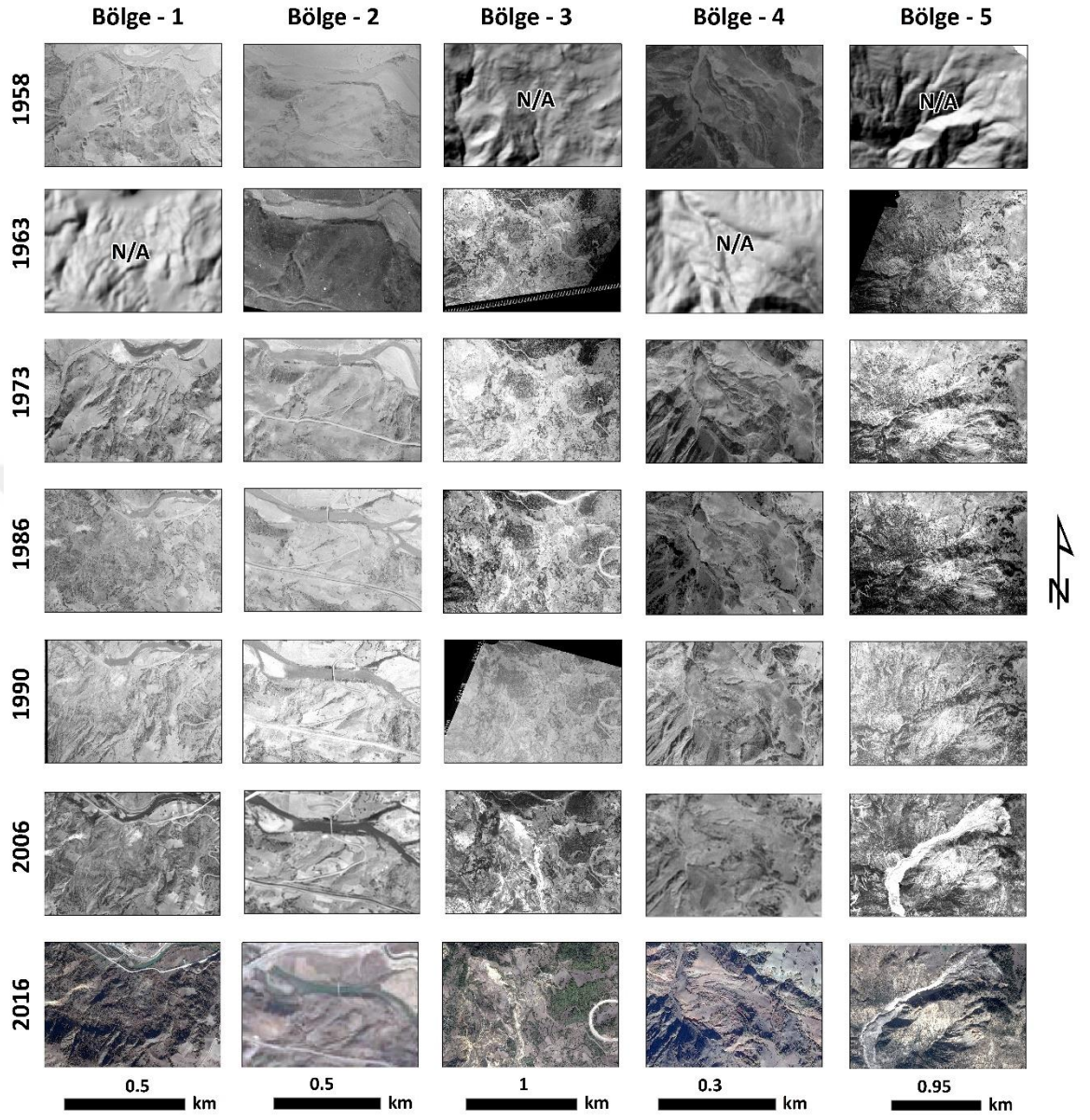
Şekil 43: Aktivite dağılımı belirleme kriterleri.

Çalışma sahasının çok zamanlı heyelan envanterinde beş bölgede heyelan aktivitesinin yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 44). Bu beş bölgenin heyelan aktivitesi incelendiğinde; birinci bölgeyi oluşturan Boyalı heyelanlarının aktivite dağılımı birinci zamandan beşinci zamana kadar ilerleyen (ing. progressive) tiptedir. Gökdere heyelanlarını oluşturan ikinci bölgede aktivite dağılımı birinci zamandan üçüncü zamana kadar ilerleyen tipteyken, dördüncü ve beşinci zamanda hem ilerleyen hem de genişleyen (ing. enlarge) tipte gelişmiştir. Koyulhisar paleo-heyelanı ve Aklan heyelanının oluşturduğu üçüncü bölge ise ikinci zamandan beşinci zamana kadar genişleyen ve gerileyen (ing. retrogressive) tipte dağılım karakteri sergilemiştir.

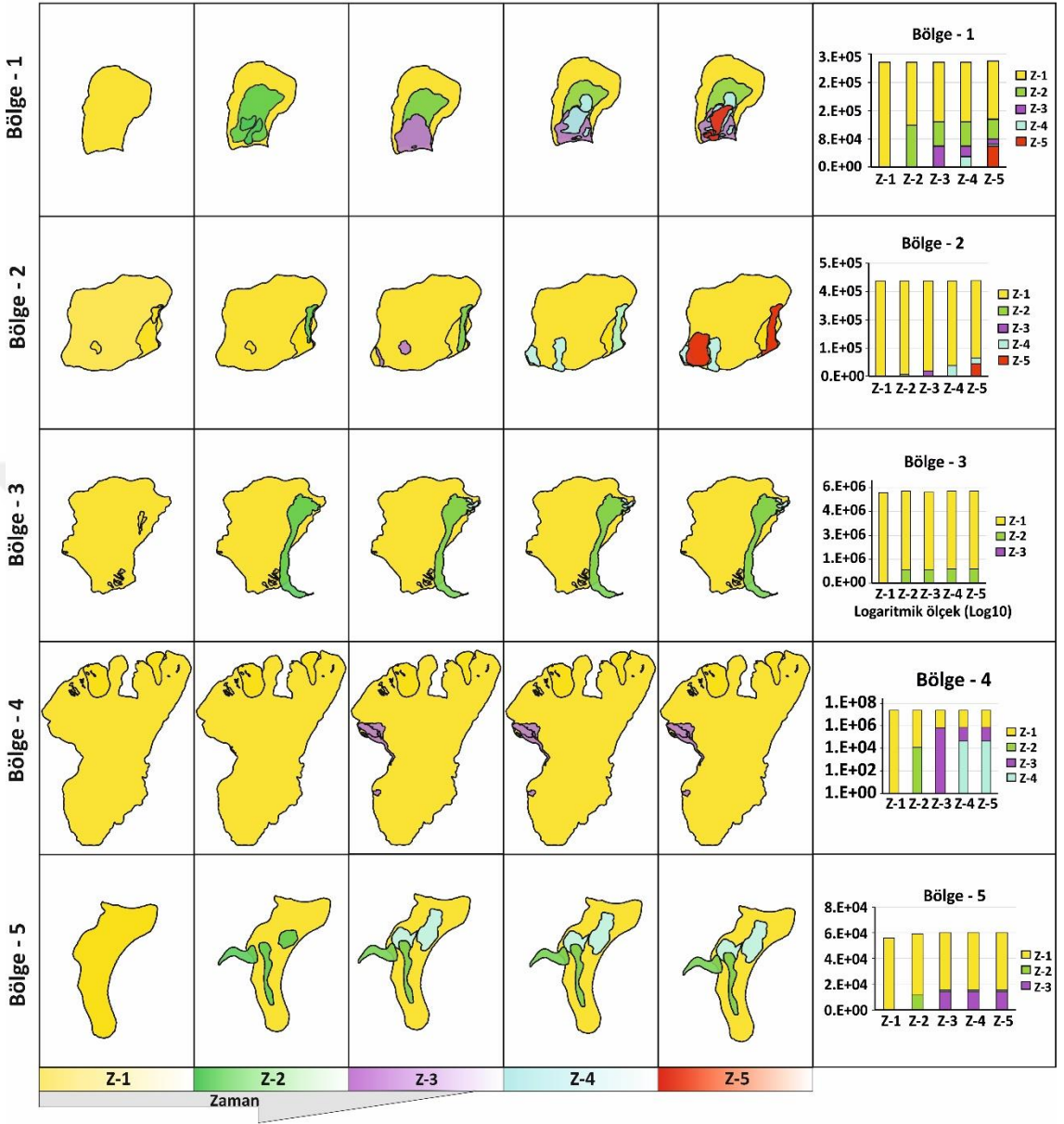
Dördüncü bölge Gökdere-2 heyelanları tıpkı üçüncü bölge gibi ikinci zamandan beşinci zamana kadar genişleyen ve gerileyen tipte karakter sergilemiştir.

Beşinci bölgeyi Sugözü heyelanının bulunduğu paleo-heyelan topoğrafyası heyelanları oluşmaktadır. Buradaki heyelanlar gerileyen tipte karakterde dağılım sergilemesinin yanında moloz akıntısı olduğundan heyelanın etki mesafesi ilerleyen tip karakteri de göstermektedir.





Şekil 44: Heyelan aktivitesi yüksek beş bölgenin mevcut 1958-2016 yılları görüntülerine göre aktivite durumu.



Şekil 45: Heyelan aktivitesinin yüksek olduğu beş bölge için aktivite dağılımı.

3.3 Zamana Bağlı Mekân Sürekliliği

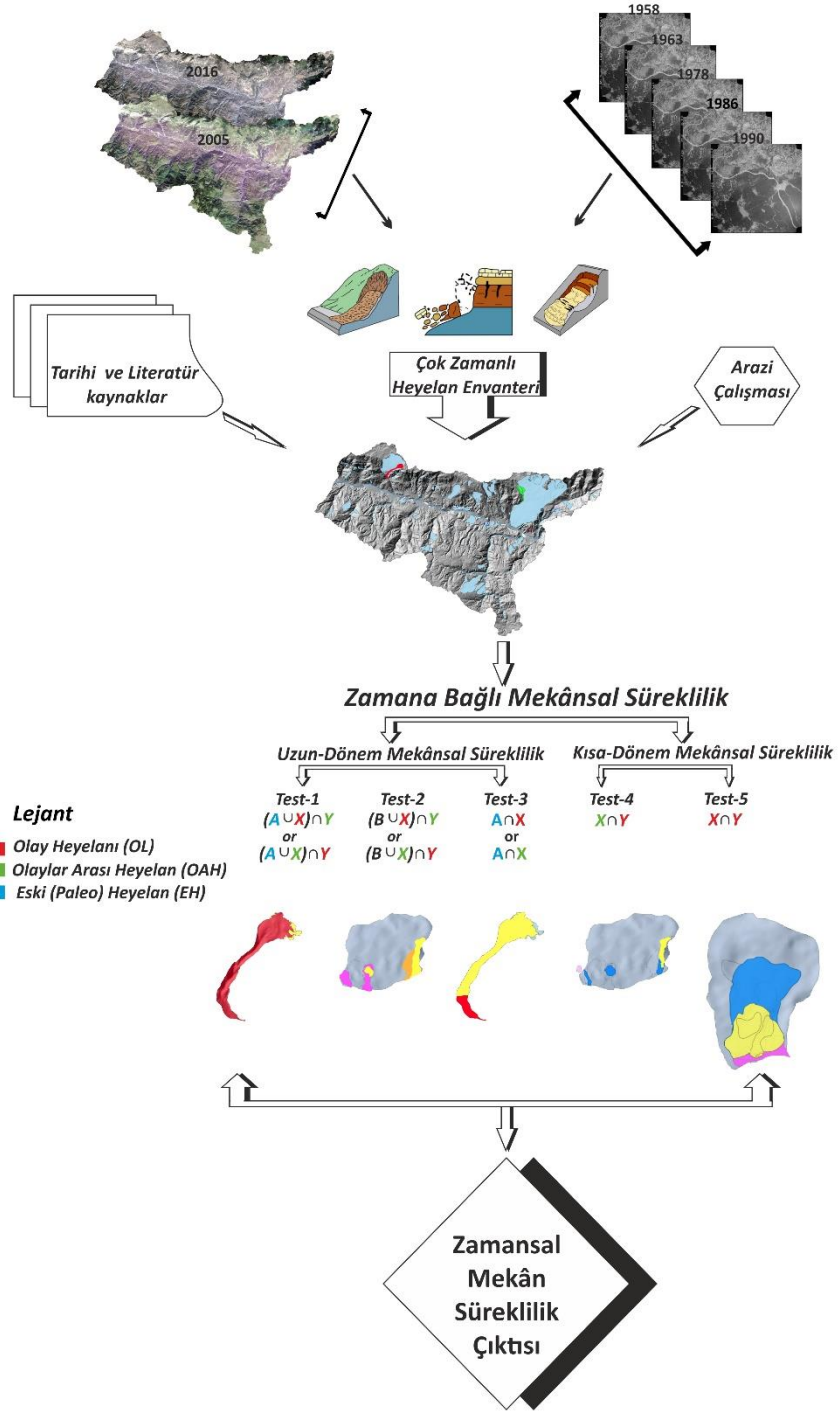
Bir yamaçta aktivite dağılımının değişimi, zamana bağlı kısa ve uzun dönem mekânsal sürekliliğe göre değişim göstermektedir. Mekânsal süreklilik heyelanın denge durumuna mı ulaştığı yoksa diğer süreçlerin etkisi altında yeniden aktiviteye mi geçtiğini belirlemektedir (Galli vd., 2008; Crozier, 2010; Görüm & Nefeslioğlu, 2015). Mekânsal süreklilik, heyelanın eski malzemesinin mi harekete geçtiğini yoksa eski malzemeden bağımsız yeni heyelanlar mı gerçekleştiği? Heyelan ekstrem koşullar altında Olay Heyelanı olarak mı yoksa ekstrem koşulların dışında Olaylar Arası Heyelanlar olarak mı? meydana geldiğini açıklamaktadır. Mekânsal süreklilik heyelanın yamaçta tutunma durumunu ve heyelanın ne derecede hangi faktörler tarafından tetiklendiğini de açıklamaktadır. Ayrıca heyelan sıklığını, büyüklüğünü ve aktivite dağılımının kestirimiyle tehlike ve risk seviyelerini belirlemektedir (Carrara vd., 2003; Guzzetti, 2006; Guthrie & Evans, 2007). Bu bakımdan zamansal mekân sürekliliği, yamaç duyarlılığını ve zamansal heyelan yinelenmelerini tahmini ile heyelan değişim yönü ve heyelan büyüklüğü hakkında ipuçları vermektedir (Guzzetti, 2006; Cardinali vd., 2007; Guthrie & Evans, 2007).

Bu çalışmada, heyelanın bir yamaç üzerindeki zamansal sürekliliği izlenmiştir. Daha sonra aynı yamaçlarda mekânsal sürekliliğin nasıl değiştiği izlenmiştir. Bu bakımdan çalışma, zamansal olabilirlik açısından tehlike değerlendirmelerine katkı sağlamak için ele alınmıştır. Zamana bağlı mekânsal sürekliliği değerlendirmesinde Cardinali vd., (2007) tarafından duyarlılık için yapılan çalışma esas alınmıştır. Bu çalışmada ise, mekânsal süreklilik, heyelan aktivitesini belirleme ve zamansal heyelan olabilirlik hesaplanmasında ve nihayetinde duyarlılık ve tehlike değerlendirmesi için yöntem olarak kullanılmıştır.

Yöntemde beş test uygulanmıştır. Kısa dönem mekânsal sürekliliği için birinci, ikinci ve üçüncü testler kullanılırken, uzun dönem mekânsal sürekliliği için ise dördüncü ve beşinci testler uygulanmıştır. Testlerin uygulanmasında, aynı zaman diliminde katastروفik etkiye sahip Olay Heyelanları (OH) ile farklı zaman diliminde olay heyelanları arasında meydana gelen Olaylar Arası Heyelanların (OAH) ve Eski

Heyelanların (EH) farklı kesişim kombinasyonlarıyla elde edilmektedir (Şekil 46). OH'ler tarihsel kayıtlar, tarihi ve literatür bilgilerden, bitki örtüsünden yoksunluk ve akarsu düzenleri bilgisi gibi özelliklerden yararlanılarak ortaya konulmuştur (Dikau vd., 1996).

Test 1: Her bir spesifik OH ve OAH basamaklarının bir önceki toplam heyelan ve paleo-heyelan arasındaki kesişimini açıklamaktadır. Test 2: Her bir spesifik toplam OH ve OAH'lerin paleo-heyelanlar (EH) dışında olan önceki heyelanların toplamı ile kesişimini açıklamaktadır. Test 3: Her bir spesifik toplam OH ve OAH'lerin Eski Heyelanlar (EH) ile kesişimini ifade etmektedir. Test 4: Her bir spesifik toplam OH 'lerin kendinden bir önceki spesifik toplam OAH ile kesişimini açıklamaktadır. Test 5: Her bir spesifik toplam OH 'lerin kendinden bir önceki spesifik toplam OAH ile kesişimini açıklamaktadır (Tablo 11).



Şekil 46: Zamansal mekân süreklilik iş akış diyagramı.

Öncelikle çalışma alanında 1958 yılı öncesi Eski Heyelan (EH) olarak, 1958, 1982, 1989 ve 2005 yılları Olay Heyelanları (OH) olarak, 1959-1981, 1983-1988, 1990-1997 ve 2006-2016 yılları ise Olaylar Arası Heyelanları (OAH) olacak şekilde tasnif edilmiştir. Bunların kesişimlerine testler uygulanmıştır

OH içinde en fazla heyelan alanının meydana geldiği yıl 2005 yılıdır. Ayrıca bu dönem heyelan sayısının en az olduğu dönem olmasına rağmen paleo-heyelanlar dışında gerçekleşen heyelanlar bakımından sahadaki en büyük heyelanları oluşturmaktadır. OH içinde en fazla heyelan 1989 yılında gerçekleşmiştir. OAH'lerde ise en fazla heyelan 2006-2016 yılları arasında meydana gelmiştir. Heyelan alanı bakımından da en fazla heyelan bu dönemde meydana gelmiştir. 2006-2016 yılı dönemi aynı zamanda OAH içerisinde en büyük heyelanında gerçekleştiği dönemdir (Tablo 10). Bu dönemde ki heyelanlar yüksek çözünürlükte uydu görüntülerinden tanımlandığından veri hassasiyetinin diğer dönemlere göre yüksek olduğu da belirtilmelidir.

1958 yılından sonra yaklaşık 2.3 km²'lik bir heyelan meydana gelmiştir. Envanterin başlangıcında 1958 yılında km² başına 1.04 heyelan düşerken son envanter kaydında 2016 yılında bu yoğunluk km²'de 1.21'e yükselmiştir (Tablo 10).

Tablo 10: Çok zamanlı heyelan envanteri istatistiği.

Envanter	Heyelan sayısı (x)	Yoğunluk (x/km ²)	Toplam alan (m ²)	Minimum (m ²)	Ortalama (m ²)	Maksimum (m ²)	Std.Sapma (σ)
A (1958 öncesi)	409	1.038	52398696.8	333.5	128114.2	23998463.0	1226777.3
B (1958)	6	0.015	102168.0	1738.8	17028.0	43035.3	15425.7
C (1959-81)	7	0.018	56603.4	1803.7	8086.2	23070.8	7404.8
D (1982)	8	0.020	140480.7	931.3	17560.1	93163.1	28862.4
E (1983-88)	6	0.015	24273.6	2444.3	4045.6	7057.6	1501.3
F (1989)	11	0.028	146074.7	436.2	13279.5	55575.8	15124.1
G (1990-97)	1	0.003	16698.6	16698.6	16698.6	16698.6	0
H (1998)	5	0.013	666076.0	7355.9	133215.2	388892.0	152751.9
I (2005)	5	0.013	892953.5	708.3	178590.7	815217.1	318817.3
K (2006-16)	18	0.046	275651.4	733.2	15314.0	50216.8	14167.3
A-K	471	1.2	54719676.8	333.5	53193.2	23998463.0	362544.0
B-K	67	0.2	2320979.9	436.2	44868.7	815217.1	101339.2

Uzun dönem mekânsal sürekliliği Test-1 uygulamasında, beş bölgede sonuç vermiştir. Bu beş bölge içinden en fazla heyelan alanının (666075 m²) Koyulhisar

paleo-heyelanı içerisinde gerçekleşen aklan heyelanı (Bölge-3) olduğu görülmektedir (Tablo 11; Şekil 47 (a-3)).

Test-2 uzun dönem mekânsal sürekliliği uygulamasında, bu teste göre en büyük heyelan alanı (59642.2 m²) 2005 yılında gerçekleşen Sugözü moloz akmasının (Bölge-5) merkezinde bulunmaktadır. Bu heyelan Sugözü paleo-heyelanında 1958 veri setinde kayıt edilmiştir. Aslında bu heyelan geçmişte 2005 yılındaki Sugözü heyelanının olacağına dair ipucu vermiştir (Tablo 11; Şekil 47 (b-5)). Bu testte Boyalı heyelanı ve Gökdere (Bölge-1, Bölge-2) heyelanlarında da yüksek oranda sonuçlar vermiştir (Tablo 11; Şekil 47 (b-1, b-2)).

Test -3 uygulamasında beş bölge sonuç vermiştir. Bunlar içerisinde 2005 yılındaki Sugözü heyelanının paleo topoğrafyası (Bölge-5) içinde kalan kısımları en büyük heyelan alanını (693328.6 m²) oluşturmaktadır (Tablo 11; Şekil 47 (c-5)). Yüzdeler olarak ise Koyulhisar paleo topoğrafyası (Bölge-3) içindeki Aklan heyelanı (%100) en fazladır (Tablo 11; Şekil 47 (c-3)).

Test-4 kısa dönem mekânsal süreklilik uygulamasında; sadece havzanın batısında Gökdere mevkiinde (Bölge-2) Kelkit Çayının bitişiğinde meydana gelen 12007 m²'lik heyelan alanı sonuç vermiştir. Bu alan dışında diğer alanlarda kısa dönemli heyelan sürekliliğine rastlanılmamaktadır (Tablo 11; Şekil 47 (d-2)).

Diğer bir kısa dönem mekânsal süreklilik uygulaması Test-5 de ise; iki bölgede sonuç görülmüştür. Bu testin sonucunda en fazla heyelan havza batısındaki Gökdere heyelanları (Bölge-2) (76072 m²) ile havza doğusundaki boyalı (Bölge-1) kesimindeki heyelanlarda görülmüştür (Tablo 11; Şekil 47).

TEST-1			
Heyelan alanı			
	m ²	%	Bölge için örnek
A∩B	100429.2	98.3	
(A∪B)∩C	23515.3	41.5	
(A∪C)∩D	137668.2	98.0	
(A∪D)∩E	8178.0	33.7	
(A∪E)∩F	101400.6	69.4	B-2
(A∪F)∩G	11796.2	70.6	
(A∪G)∩H	666075.0	100.0	B-3
(A∪H)∩I	721184.4	80.8	
(A∪I)∩K	238726.7	86.6	B-1, B-4 ve B-5

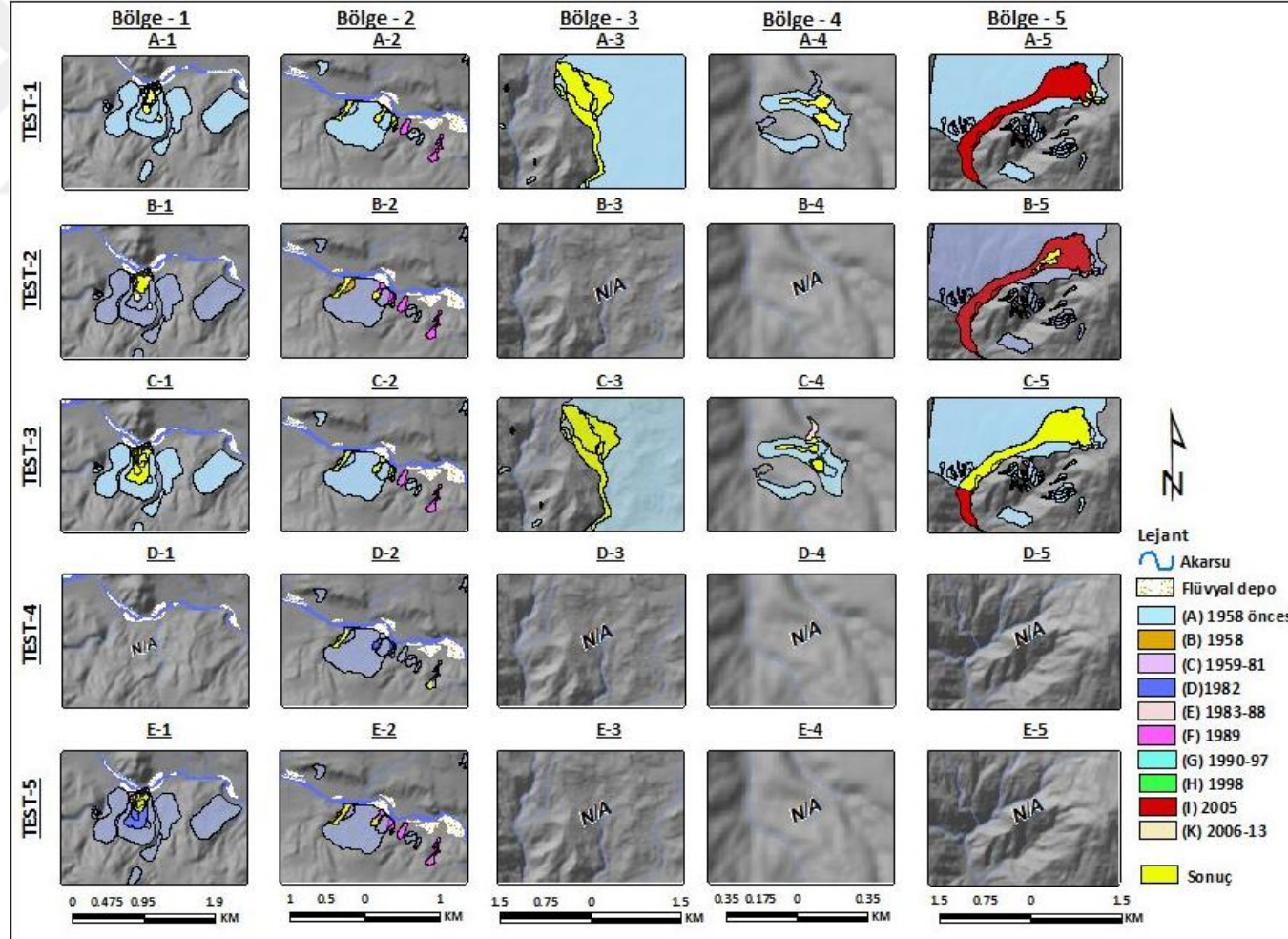
TEST-3			
Heyelan alanı			
	m ²	%	Bölge için örnek
A∩B	100429.2	98.3	
A∩C	23515.3	41.5	
A∩D	135654.8	96.6	B-1
A∩E	8178.0	33.7	B-4
A∩F	101400.6	69.4	B-2
A∩G	11796.2	70.6	
A∩H	666075.0	100.0	B-3
A∩I	721184.4	80.8	B-5
A∩K	238726.7	86.6	

TEST-2			
Heyelan alanı			
	m ²	%	Bölge için örnek
B∩C	9993.6	17.7	
(B∪C)∩D	21045.7	15.0	
(B∪D)∩E		0.0	
(B∪E)∩F	24360.2	16.7	B-2
(B∪F)∩G		0.0	
(B∪G)∩H		0.0	
(B∪H)∩I	59642.2	6.7	B-5
(B∪I)∩K	57765.0	21.0	B-1

TEST-4			
Heyelan alanı			
	m ²	%	Bölge için örnek
C∩D	12007.0	8.5	B-2
E∩F			
G∩H			
G∩I			

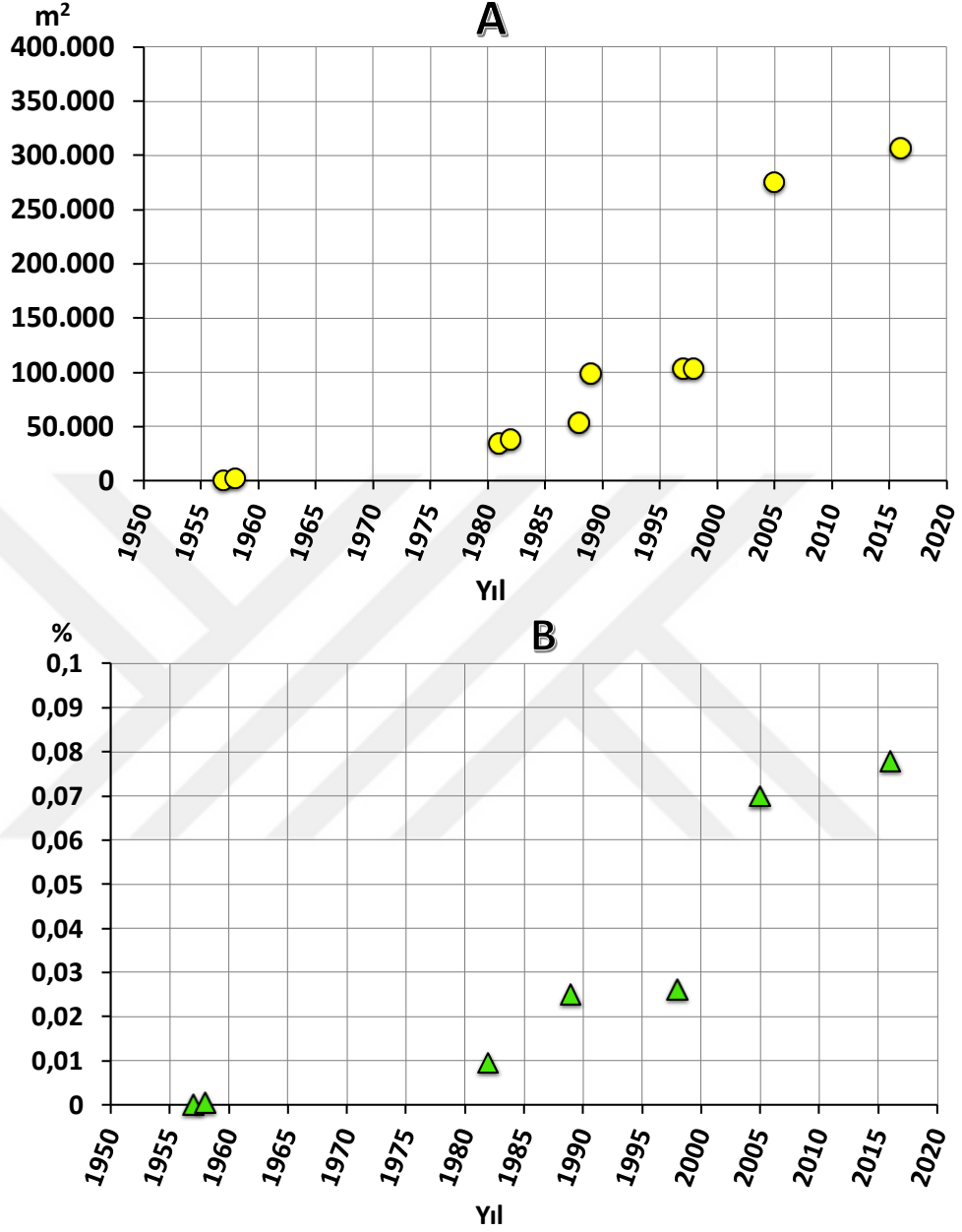
TEST-5			
Heyelan alanı			
	m ²	%	Bölge için örnek
B∩D	19032.3	13.5	B-1 ve B-2
D∩F	76072.37	52.1	
F∩H			
H∩I			

Tablo 11: Kısa dönem (Test-1, Test-2, Test-3) ile uzun dönem testler (Test-4, Test-5).



Şekil 47: Beş bölgeye göre uzun dönem ve kısa dönem mekânsal süreklilik çıktıları.

Önceki yıllara ait heyelan alanları ile kesişmeyen heyelanlar yeni heyelan alanlarını oluşturmaktadır. Bu heyelan alanları daha önce heyelanın meydana gelmediği bir yamaçta gelişmektedir. Çalışma sahasında yeni heyelanların zamanla arttığı tespit edilmiştir. Yeni heyelanların en fazla 2005 yılında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 48). 2005 yılındaki Sugözü heyelanının bu alan dışında olduğunu da belirtmek gerekir. Çünkü Sugözü heyelanı paleo-heyelan topoğrafyası içerisinde gerçekleştiğinden yeni heyelan alanı olarak paleo topoğrafyanın dışındaki çok az bir alanı yeni heyelan alanını oluşturmaktadır. Sugözünü yeni heyelan alanı dışında tutarsak 2005 yılında meydana gelen heyelanları boyutunun yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 48: Kümülatif yeni heyelan alanları (a) ve bunların kümülatif olmayan yüzdeleri (b).

Büyük ve katastrofik etkiye sahip heyelanların 1990-2006 yılları arasında (1.65 km²) ve daha çok paleo-heyelanlar içerisinde meydana geldiği (ör. Sugözü, Aklan heyelanı) tespit edilmiştir. Çalışma sahasında aktivite durumu olarak aktif, yeniden aktivite olmuş ve askıda heyelanların olduğu tespit edilmiştir. Zamansal değişimi ortaya konulan bu heyelanların bir kısmının aktivitesinin yüksek olduğu

gözlenmiştir. Zamansal değişimde geriye doğru yenilenen ve aktivitesini sürdüren heyelanların daha çok kireçtaşı birimlerinde olduğu, genişleyen ve ilerleyen heyelanların ise daha çok volkanit-çökel kaya, çakıлтаşı-kumtaşı-çamurtaşı birimlerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aklan (Bölge-3) ve Sugözü (Bölge-5) gibi havzanın büyük heyelanları uzun dönemli mekânsal heyelan sürekliliğinde yüksek sonuçlar vermektedirler. Bu heyelanlar kısa dönemde belirgin olmamalarına karşın meydana geldiği dönemde etki mesafesi ve dolayısıyla oluşturduğu tahribat çok yüksektir. Diğer taraftan çalışma sahasının doğusundaki Boyalı heyelanı (Bölge-1) ile batısındaki Gökdere (Bölge-2) yakınındaki heyelanlar kısa dönemli mekânsal heyelan sürekliliğinde etkindir. Bu heyelanların bir özelliği Kelkit Çayına bitişik olmaları dolayısıyla bu heyelanların oluşmasında akarsu topuk erozyonununda etkisinin bulunmasıdır.

3.4 Tetikleyici Faktörlere Bağlı Mekânsal Hassasiyet Değerlendirmesi

Heyelanlar yağış, ani kar erimeleri, deprem ve antropojenik etkiler sonucu tetiklenmektedir. Heyelanı tetikleyen faktörler heyelan dağılım ve büyüklüğünü de etkilemektedir. Örneğin depremin odak noktasından ve faydan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğu ve büyüklüklerinde belirgin farklılıkların olduğu birden fazla çalışmada ortaya konulmuştur (Owen vd., 2008; Dai vd., 2011; Gorum vd., 2011). Benzer şekilde yağış ve tayfunlar gibi hidro-meteorolojik doğal tetikleyiciler de heyelan dağılım karakteristiği üzerinde etkilidir (Dai & Lee, 2001; Gorum vd., 2008b; Wu vd., 2011; Regmi vd., 2014). Tetikleyici faktörlerin etki dereceleri, yamaçtan yamaca farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar; heyelan büyüklüğü, hızı, hareketi ve tipi üzerinde etkilidir (Cihangir & Görüm, 2016). Tetikleyici faktörlerin belirlenmesi ve etki derecesinin ortaya konulması tehlike ve duyarlılık değerlendirmeleri için de önemlidir. Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere çalışma sahasındaki katastrofik heyelanları ani kar erimeleri tetiklemektedir. Sugözü'nde gelişen heyelanın, daha önce alanda var olan paleo bir heyelanın gövdesinde yer aldığı ve 2005 yılının bahar döneminde ani kar erimelerine bağlı olarak geliştiği bilinmektedir. Çalışma sahasında, gelişen birçok heyelan (ör. Aklan heyelanı (Koyulhisar yerleşiminin kuzeyi)) benzer mekanizmayla tetiklenmiştir (Yılmaz, 2009a). Özellikle Mart ve Nisan aylarında ani kar erimelerinin gerçekleştiği ve bunların bazı heyelanları tetiklediği saha çalışmaları sırasında, yerel idare sorumluları ve yöre halkı ile yapılan görüşmelerde de belirtilmiştir (Cihangir & Görüm, 2016). Çalışma sahasındaki heyelanların ana tetikleyicisi ani kar erimeleri, yamaçlara göre farklılıklar göstermektedir. Bu tetikleyici faktör yamaçların mekânsal hassasiyeti üzerinde etkilidir. Bu nedenle yamaçların, ne derecede kar tutunma, karın erimesiyle sızma ve eridikten sonra akış özelliğine sahip olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Bir alanın tutunma, sızma ve akış özelliği üzerinde etkili morfolojik faktörler mekânsal hassasiyet üzerinde etkilidir. Bu faktörlerin arazi çalışmaları, çalışma alanına ilişkin literatür araştırmalar (heyelan kayıt tarihi, etki mesafesi, iklim koşulları vb.) ve morfometrik analiz sonucu çıktılarıyla belirlenmesi, yapılan analiz sonuçlarının doğruluğunu artırmaktadır.

Tetikleyici faktörlere ilişkin mekânsal hassasiyet üzerinde etkili faktörler ve bu faktörlerin etki derecelerinin belirlenmesinde uzman görüşünün dahil olduğu bir yöntemle değerlendirilebilir. Fakat uzman görüşünün değerlendirme esnasında faktörleri karşılaştırmada ve karar vermedeki hassasiyeti sonucu büyük oranda etkilemektedir. Bu amaçla çalışma sahasının mekânsal hassasiyeti için uzman görüşünün de dahil olduğu yarı nicel bir yöntem tercih edilmektedir.

AHP her aşamada çözümlene süreci takip edilebilen uzman görüşüne dayalı bir yöntemdir. (Saaty, 1980;). AHP, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda; kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahmin etme yöntemi olarak ta açıklanabilir (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). Bu sebeple bu çalışmaya uygun olarak AHP yönteminin öznel değerlendirmeden kaynaklanan belirsizliği gidermek için Nefeslioglu vd., tarafından (2013) önerilen Modifiye Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yöntemi uygulanmıştır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). M-AHP'yi anlamak için AHP çözüm sürecine bakmak gereklidir (Nefeslioglu vd., 2013). Bu sebeple genel olarak bakıldığında AHP'de bir problemin sonucuna ulaşmak, altı aşamadan gerçekleşmektedir (Saaty, 1980; Pourghasemi vd., 2012; Nefeslioglu vd., 2013).

İlk aşama karar noktaları (m) saptandığı ve bunların etkileyen faktörlerin (n) belirlediği probleminin tanımlanması aşamasıdır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

İkinci aşama faktörler arası karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır (Eşitlik 7) bu faktörler kullanılırken önem dereceleri belirlenmektedir (Tablo 12) (Saaty, 1980).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

(Eşitlik 7)

Tablo 12: Karşılaştırma matrislerinin önem dereceleri.

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumunda
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumunda
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumunda
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumunda
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumunda
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Karşılaştırmalar, karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegeninin üstünde kalan değerler için yapılır. Köşegenin altında kalan bileşenler için

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Eşitlik 8 kullanılabilir (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

Üçüncü aşamada; faktörlerin %'lik önem dağılımlarının belirlenmesinde; faktörlerin bütün içerisindeki ağırlıklarını karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerden yararlanılmaktadır. "B" sütun vektörü (n adet ve n bileşenli) oluşturulmaktadır (Eşitlik 9).

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

“B” sütun vektörlerinin hesaplanmasında ise:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Eşitlik 10 kullanır. Faktörler için hesaplanan B sütun vektörleri, bir matris formatında bir araya getirilmesiyle “C” matrisi elde edilir.

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

“C” matrisinden yararlanarak (Eşitlik 11), faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları (Öncelik “W” Vektörü) elde edilir (Eşitlik 12).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \longrightarrow W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Dördüncü aşamada faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığın ölçülmesi için Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanır. “CR”nin hesaplanmasına ilişkin esas, faktör sayısı ile Temel Değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). “ λ ”nın hesaplanması için öncelikle “A”

karşılaştırma matrisi ile “W” öncelik vektörünün matris çarpımı gerçekleştirilir. “D” sütun vektörü elde edilir (Eşitlik 13).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

“D” sütun vektörü ile “W” sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin Temel Değer (E) elde edilmektedir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ise karşılaştırmaya ilişkin Temel Değeri (λ) vermektedir (Eşitlik 14).

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \longrightarrow \lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

“ λ ” değerinin hesaplanmasından sonra $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$ formülü ile Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplanmaktadır. CI’nın Random Gösterge (RI) değerine bölünmesiyle ($CR = \frac{CI}{RI}$) tutarlılık oranı elde edilmektedir. Hesaplanan CR değerinin 0.10’den küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

Beşinci aşamada faktörlerin m karar noktasındaki % önem dağılımları bulunmaktadır. Birebir karşılaştırmalar ve matris işlemleri faktör sayısı kadar (n adet) tekrarlanmaktadır. Bu aşamada her bir faktör için karar noktalarında kullanılan “G” karşılaştırma matrislerinin boyutunu oluşturmaktadır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). Her bir karşılaştırma işleminden sonra boyutu değerlendirilen faktörün karar

noktalarına göre yüzde dağılımlarını gösteren “S” sütun vektörleri elde edilir (Eşitlik 15).

$$S_i = \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ S_{m1} \end{bmatrix}$$

(Eşitlik 15)

Altıncı ve son aşamayı ise, karar noktalarındaki sonuç dağılımının bulunması oluşturmaktadır. Bu aşamada öncelikle, yukarıda anlatılan n adet boyutlu “S” sütun vektöründen meydana gelen ve boyutlu “K” karar matrisi oluşturulmaktadır (Eşitlik 16).

$$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Sonuç karar matrisi “W” sütun vektörü (Öncelik Vektörü) ile çarpıldığında m elemanlı “L” sütun vektörü elde edilmektedir (Eşitlik 17)

$$L = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 17})$$

Buraya kadar ifade edilen kısım AHP karar sürecine ilişkindir. Nefeslioglu vd.,’nin (2013) önerdiği M-AHP ile AHP arasında iki fark bulunmaktadır. Bunlardan ilki M-AHP’de ikili karşılaştırma matrisleri, bir uzman tarafından oluşturulmamasıdır. Uzman sadece ilgili parametrelerin sistem içerisinde alabileceği en büyük puanları tanımlamaktadır. Uzman çalışılan alanın ilgili parametrenin anlık puanını ifade etmektedir. İkili karşılaştırma matrisleri ve normalize edilmiş parametre puan fark matrisinin oluşturulması Nefeslioglu vd., (2013) tarafından önerilen önem değerleri çizelgesinden itibaren doldurulmaktadır. Bu aşamada parametreler en büyük parametre puanı üzerinden normalleştirilmektedir (Nefeslioglu vd., 2013).

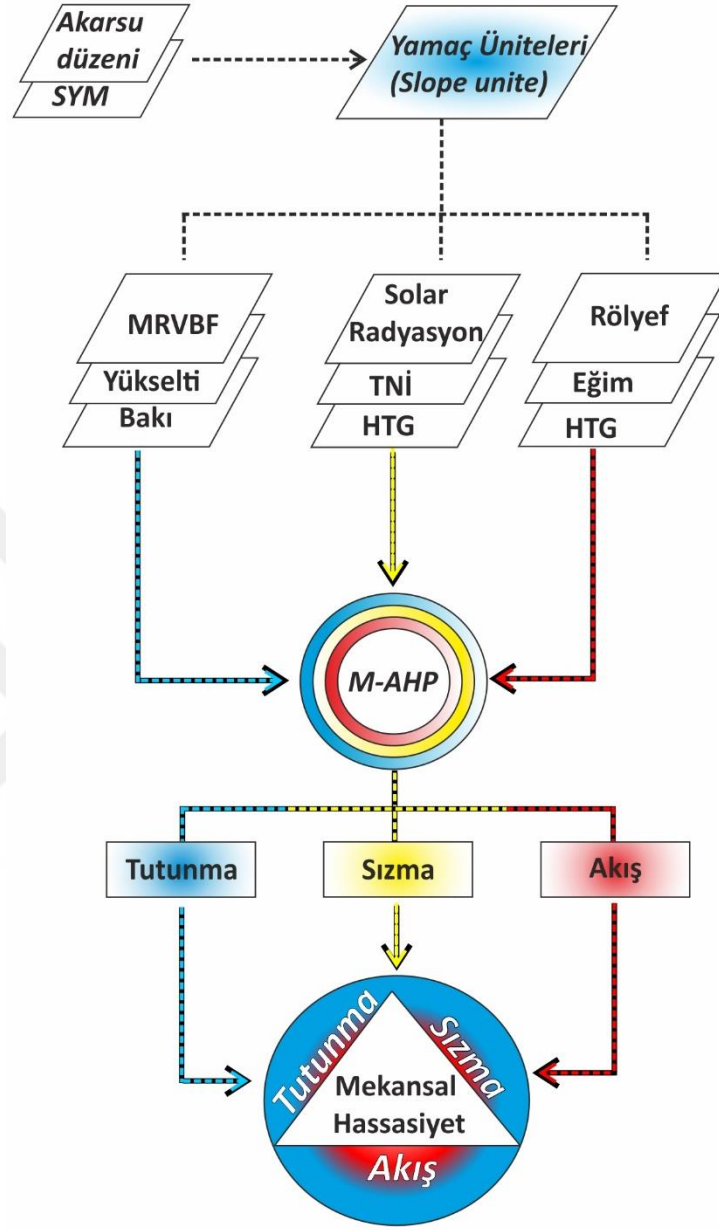
Yöntemin ikinci farkı ise; her bir parametrenin karar noktaları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada her bir parametre kendi en büyük puanı üzerinden normalleştirilmektedir. Buna bağlı olarak [0,1] aralığında

normalleştirilmiş bir sayı doğrusu üzerinde her bir parametrenin karar noktalarına olan doğrusal mesafeleri değerlendirilmektedir. Bu mesafelere bağlı olarak önem değerlerinin çıkarılmasında Nefeslioğlu et al. (2013) tarafından önerilen önem değerleri çizelgesi kullanılmaktadır.

Kelkit Çayı Vadisinde karın tutunma alanları, erimeye başlamasından itibaren sızma alanları ve eridikten sonra akışa geçtiği alanlar için M-AHP yöntemi ile modeller oluşturulmuştur. Tutunma modeli için; Çok çözümlü vadi taban düzlüğü indeksi, yükselti ve bakı parametreleri kullanılmıştır. Sızma modeli için; solar radyasyon, Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNİ) ve Hidrolojik Toprak Grubu (HTG) parametreleri kullanılmıştır. Akış modeli için ise eğim, röliyef ve HTG parametreleri kullanılmıştır. Hidrolojik Toprak Grubu 1/25 binlik toprak haritalarının Büyük Toprak gruplarının (BTG) Toprak Özellikleri Kombinasyonundan (TOK) elde edilmiştir (Özer, 1990).

Heyelan bir yamaç boyunca geliştiğinden model bir yamacın tutunma, sızma ve akış değerini verecek şekilde uygulanmıştır. Bunun için ilk olarak çalışma alanı, SYM ve akarsu düzenlerine bağlı olarak elde edilen düzenli fiziksel olmak üzere 3660 tane yamaç ünitesine (ing. slope unite) bölünmüştür. Bu yamaç ünitelerine tutunma, sızma, akış modellerini ayrı ayrı etkileyen parametrelerin ortalama değer bilgileri taşınmıştır. Daha sonra bu parametreler önem derecelerine göre sıralanarak puan atamaları yapılmıştır (Tablo 13). Sonraki aşamada, her bir model için 3660 tane olmak üzere toplamda 10980 M-AHP analizi yapılmıştır.

Her bir modelde her bir yamaç ünitesinin düşük, orta ve yüksek karar bilgilerini aldıkları puanlar girilmiştir. Karar noktaları içinde (düşük, orta, yüksek) en yüksek değeri alan karar noktası genel kararı yansıtmaktadır. Daha sonra tutunma, sızma ve akış için her bir yamaç ünitesinin aldığı en yüksek karar noktaları yamaç ünitelerine taşınmıştır. Sonuç olarak ana tetikleyici kar erimelerinin mekânsal hassasiyeti ortaya konulmuştur (Şekil 49).



Şekil 49: Mekânsal hassasiyet değerlendirmesine ilişkin iş akış diyagramı.

Tablo 13: Kar tutunma, sızma ve akış modeli için belirlenen parametre ve parametre puanları.

	Parametre	Parametrelerin sınıflanması	Parametrelerin alabileceği puan
Tutunma parametreleri	Çok çözünürlüklü vadi taban düzlüğü indeksi (MRVBF)	0.000001-0.1	1
		0.1-0.15	3
		0.15-0.5	5
		0.5-1.0	7
		1-2.5	9
	Yükselti (m)	800	1
		1000	2
		1250	3
		1500	5
		1650	7
1850		7	
2000		9	
Bakı	North	5	
	Northeast	5	
	East	2	
	Southeast	1	
	South	1	
	Southwest	1	
	West	3	
	Northwest	5	
Sızma parametreleri	TNİ	4.7-5.5	1
		5.5-6.0	3
		6.0-7.0	7
		7.0-11.14	9
	HTG	A	9
		B	8
		C	2
		D	1
	Solar radyasyon	128138-200666	1
		200666-235325	3
235325-269984		5	
269984 - 283000		7	
283000-319098		9	
Akış parametreleri	Rölyef	48.5-203.3	1
		203.3-312.4	2
		312.4-421,6	3
		421,6-485.1	7
		485.1-841.2	9
	Eğim (°)	0-14.6	1
		14.6-20.9	3
		20.9-27.3	5
		27.3-32.8	7
		32.8-49.7	9
HTG	A	1	
	B	2	
	C	5	
	D	7	

10980 analizin her bir aşamasını gösterimi zor olacağından bir modelin bir yamaç ünitesi için analiz örneği aşamaları gösterimi verilmiştir. Tutunma modelinde yükselti “9 “, MRVBF “7”, Bakı “5 “değerini alan bir yamaç ünitesi M-AHP sürecinde:

İlk olarak parametre puan fark matrisi ve normalize edilmiş puan fark matrisi oluşturulmaktadır (Normalleştirme en yüksek parametre puanı üzerinden yapılmaktadır) (Tablo 14).

Tablo 14: Puan fark matrisi (a) ve normalize edilmiş puan fark matrisi (b).

A				B			
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
C1	0	-2	2	C1	0.00	-0.22	0.22
C2		0	4	C2		0.00	0.44
C3			0	C3			0.00

Daha sonra önem değerleri çizelgesi (Tablo 15) ve faktörler arası karşılaştırma matrisi ("A" matrisi) belirlenmektedir (Tablo 16).

Tablo 15: Önem değerleri çizelgesi.

Normalleştirilmiş parametre puan farkı										
	0	0.000-0.125	0.125-0.250	0.250-0.375	0.375-0.500	0.500-0.625	0.625-0.750	0.750-0.875	0.875-1.000	
Önem değeri	>0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<0	1	0.5	0.333	0.25	0.2	0.167	0.143	0.125	0.111

Tablo 16: A matrisi.

"A" Matrisi			
	C1	C2	C3
C1	1.00	0.33	3.00
C2	3.00	1.00	5.00
C3	0.33	0.20	1.00

Bir sonraki aşamada faktörlerin % önem dağılımları belirlenmektedir ("C" Matrisi ve "W" Öncelik Vektörü) (Tablo 17).

Tablo 17: Yüzelik önem dağılımları.

C Matrisi				W
C1	0.23	0.22	0.33	0.26
C2	0.69	0.65	0.56	0.63
C3	0.08	0.13	0.11	0.11

Daha sonraki aşmalarda faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığın ölçülmesi sağlanmaktadır. Her bir "A" matrisi satırının her bir öncelik vektörü "W" değerleri çarpımının toplamı "D" vektörünü oluşturmaktadır. "D" vektörünün öncelik vektörüne "W" oranı ile "E" elde edilmektedir (Tablo 18).

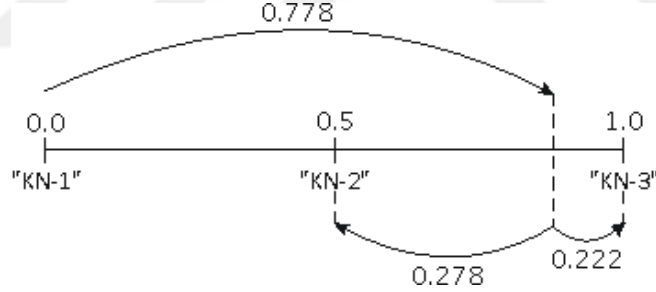
Tablo 18: "D" ve "E" vektörü.

"A" Matrisi				W	"D" Vektörü	"E" Vektörü
	C1	C2	C3			
C1	1.00	0.33	3.00	0.26	0.79	3.03
C2	3.00	1.00	5.00	0.63	0.95	3.07
C3	0.33	0.20	1.00	0.11	0.32	3.01

Buna göre “E” vektörünün ortalaması ile elde edilen $\lambda = 3.04$, (λ -n tane E vektörü)/ (n tane E vektörü -1) ile elde edilen $CI = 0.02$ ve CI 'nin Random göstergeye (RI) oranıyla elde edilen $CR = 0.03$ 'tür. Bu duruma göre $CR < 0.1$ den küçük olduğu için matris tutarlıdır.

Faktörlerin 3 karar noktasındaki % önem dağılımlarının bulunması “G” karşılaştırma matrislerinin ve S sütun vektörlerinin oluşturulmaktadır (Bu aşamada her bir parametre kendi maksimum puanı üzerinden normelleştirilir): [0, 1] aralığında normelleştirilmiş bir sayı doğrusu üzerinde her bir parametrenin karar noktalarına olan doğrusal mesafeleri değerlendirilmektedir (Nefeslioglu vd., 2013).

Kar tutunması ($C1$; Normalize Parametre Puanı=0.778) parametresine ilişkin 3 Karar Noktası (KN) için örnek çözümlenmesi gösterilmiştir. Bunu $C2$ ve $C3$ içinde belirlenmesi gerekmektedir (Nefeslioglu vd., 2013) (Şekil 50).



Şekil 50: Karar Noktası (KN) belirlenmesi.

- ❖ $KN-1 > KN-3: 0.222 - 0.778 = -0.556$
- ❖ $KN-2 > KN-3: 0.222 - 0.278 = -0.056$
- ❖ $KN-1 > KN-2: 0.278 - 0.778 = -0.500$

Tablo 19: “C1” parametresi karar noktalarının belirlenmesi ve sonuç dağılımı.

C1 = 0.778		KN-1	KN-2	KN-3				S1	
	KN-1	1.00	0.20	0.17	KN-1	0.08	0.06	0.10	0.082
	KN-2	5.00	1.00	0.50	KN-2	0.42	0.31	0.30	0.343
	KN-3	6.00	2.00	1.00	KN-3	0.50	0.63	0.60	0.575

“C1” parametresi için belirlenen (Tablo 19) **KN-1**, **KN-2** ve **KN-3** karar noktaları “C2” ve “C3” içinde belirlenmektedir. Her bir parametrenin her bir karar noktası her bir öncelik vektörü “W” değerleri çarpımının toplamı o karar noktasının sonuç dağılımını vermektedir (Tablo 20). Karar noktalarındaki yüksek sonuç değeri, yamaç ünitesinin nihai sonucunu oluşturmaktadır (Nefeslioglu vd., 2013).

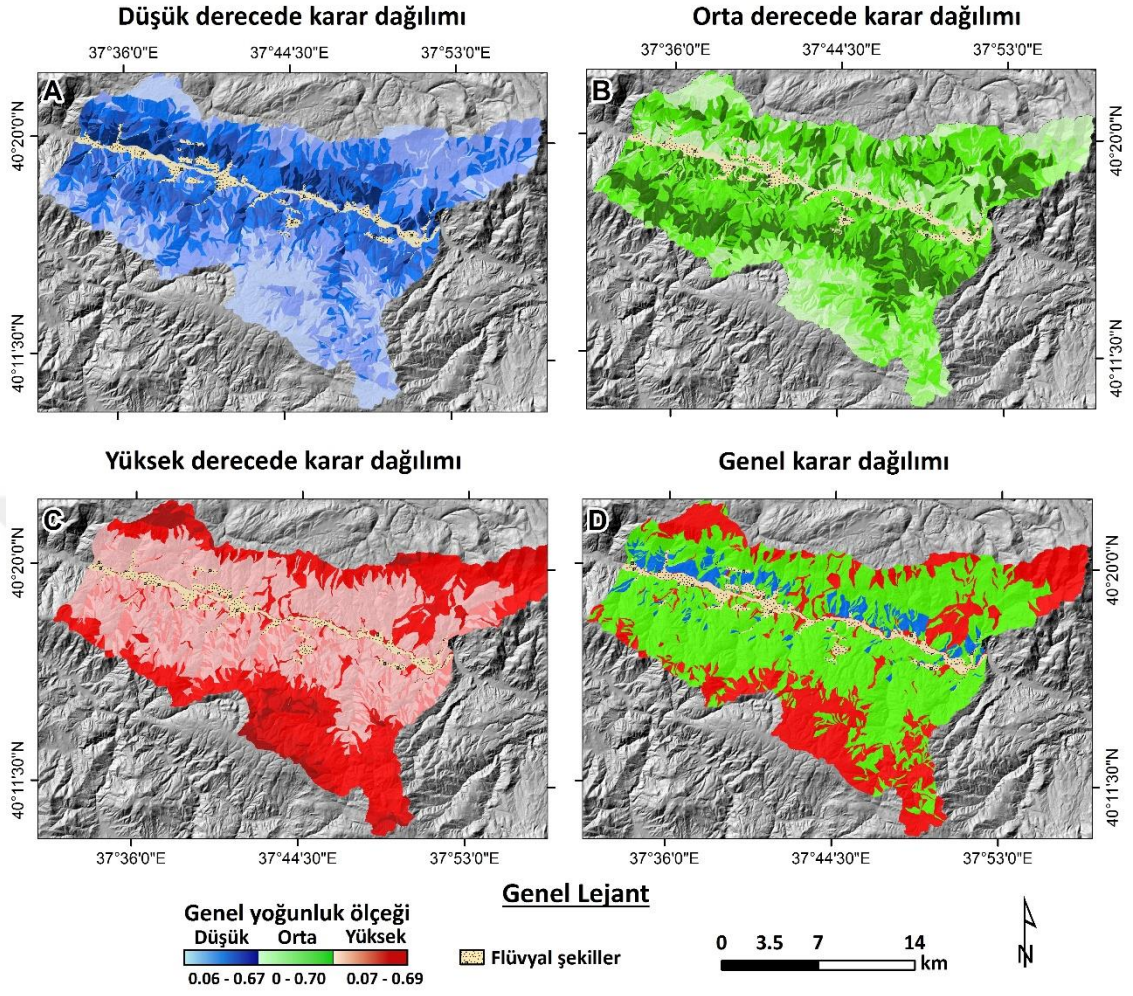
“C1”, “C2” ve “C3” karar noktaları belirlendikten sonra sonuç dağılımı elde edilmiştir (Tablo 20).

Tablo 20: Karar noktalarındaki sonuç dağılımı (Kırmızı ile belirtilen kısım nihai karardır).

Karar matrisi (K Matrisi)				W	"L" Vektörü		Kar tutunma alanları
	C1	C2	C3				
KN-1	0.08	0.6	0.6	0.26	KN-1	0.07	DÜŞÜK
KN-2	0.34	0.22	0.22	0.63	KN-2	0.25	ORTA
KN-3	0.57	0.72	0.72	0.11	KN-3	0.68	YÜKSEK

Bu işlem çalışma sahasında 3 model (tutunma, sızma, akış) 3660 yamaç ünitesi için 10980 defa uygulanmıştır. Her modelin düşük, orta ve yüksek kararı aldığı değerlere göre sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre: Kar tutunması M-AHP modelinde; düşük karar dağılımında, çalışma alanının ana vadi tabanına yakın yamaçlarının düşük derecede tutunma özelliğine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 51 (a)). Kuzey ve güney bloğun orta kesimleri orta derecede tutunma özelliği daha yoğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 51 (b)). İki blokta da havza sınırına yakın bölgelerde

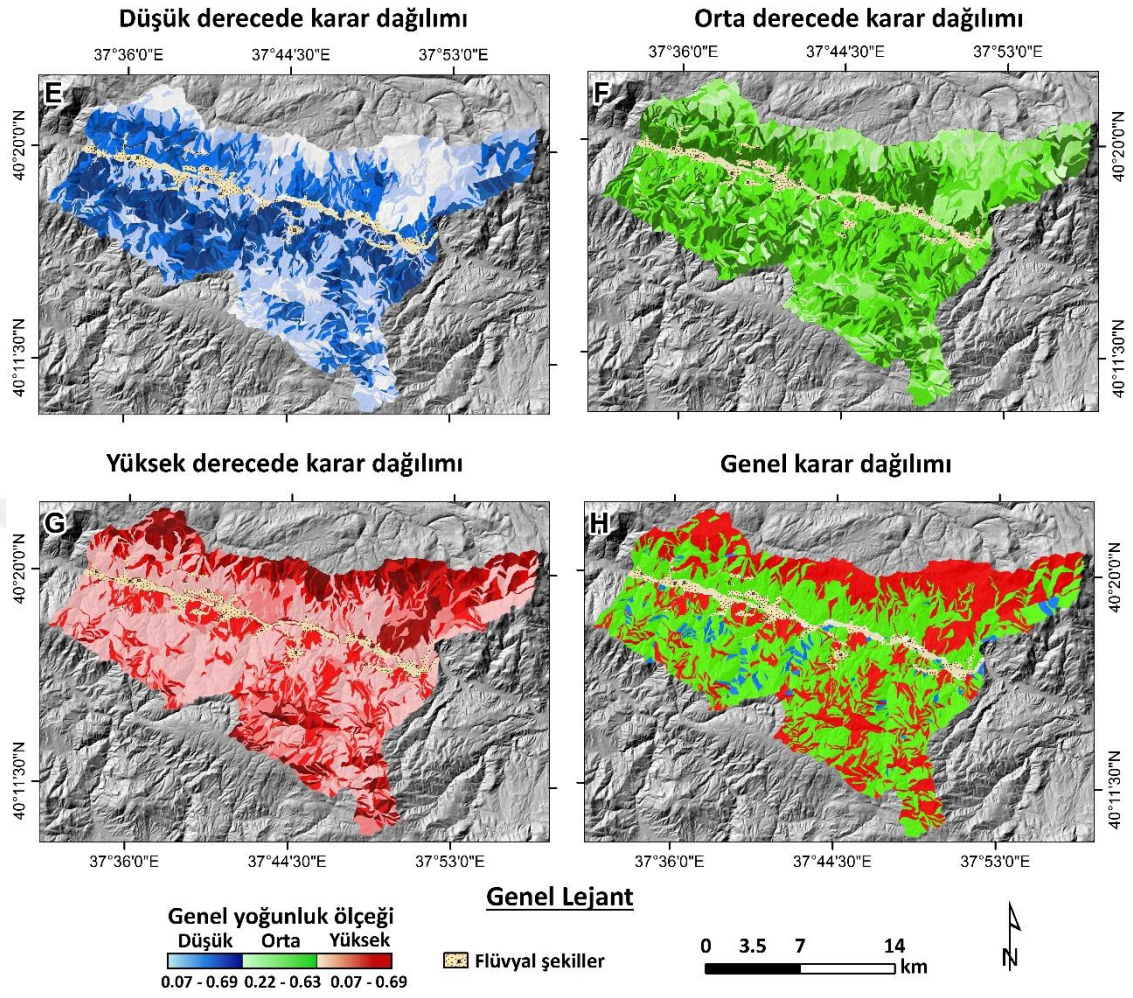
yüksek derecede karar dağılımı yoğunlaşmaktadır. Yüksek kararın en yüksek değerleri ise kuzey yamaçların gerisindeki düzlük alanlarda görülmektedir (Şekil 51 (c)). Tutunma için en yüksek karar değerinin sonuç olarak alındığı genel karar dağılımında ise; kuzey yamaçların gerisindeki düzlükler, güney blokta güneydoğu yamaçlar ağırlıklı olmak üzere yamaçların havza sınırına yakın bölgeleri yüksek tutunma özelliğine sahiptir. Bunun yanında Koyulhisar paleo-heyelanının birikim zonu da yüksek derecede tutunma özelliğine sahiptir. Havzada en yaygın olan orta derecede tutunma alanları iki blokta da orta kesimlerde yaygındır. Çalışma alanında en az yaygın olan düşük dereceli tutunma özelliğine sahip yamaçlar ise kuzey yamaçlar ağırlıkta olmak düşük yükseltideki yüksek eğimli yamaçlarda görülmektedir (Şekil 51 (d)).



Şekil 51: Kar tutunmasına ilişkin M-AHP sonuçlarına göre karar dağılımı.

Sızma modelinde; düşük karar dağılımı daha çok havzanın güney bloğunun güneybatısında ve kuzey bloğun batı kesimindeki alçak yamaçlarda yoğunlaşmaktadır (Şekil 52 (e)). Orta derece sızmaların karar dağılımında ise güney yamaçlar kuzeye göre daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 52 (f)). Yüksek derece karar dağılımı çıktılarında ise en yoğun sızma alanlarını, kuzey bloğunun havza sınırlarına yakın bölgeleri oluşturmaktadır. Bu alanların bir kısmı karstik düzlükleri oluşturmaktadır (Şekil 52 (g)).

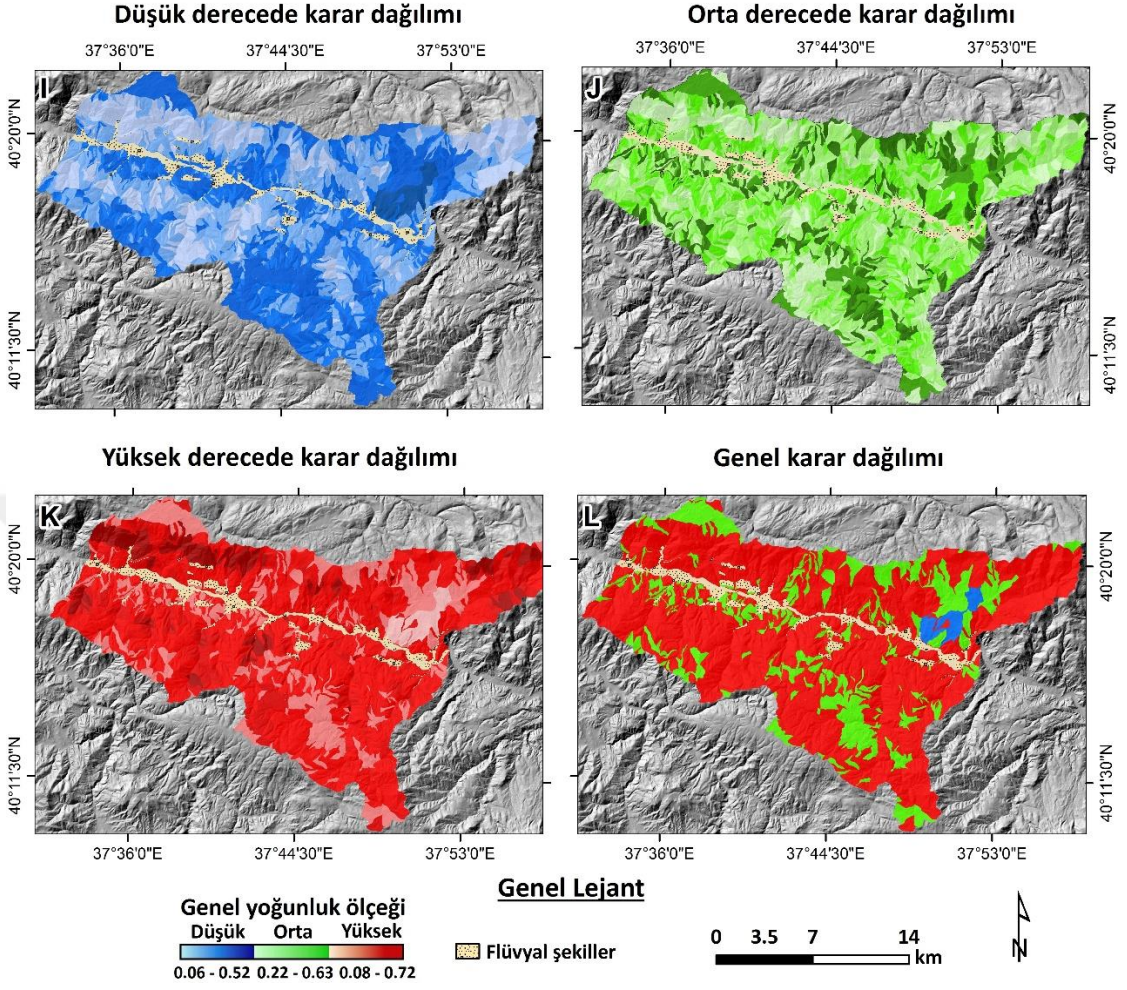
Sızmaların genel karar dağılımına göre kuzey bloğun büyük bir kısmı yüksek sızma alanlarına sahiptir. Güney blokta yer yer yüksek derecede sızmaların olduğu alanlar da bulunmaktadır. Orta derecede sızma alanları güney blokta daha fazladır. Kuzey blokta ise ana vadiye yakın yamaçlarda görülmektedir. En az karar dağılımının olduğu düşük karar dağılımına sahip yamaçlar, Kuzey blokta en azdır. Güney bloktaki yamaçlarda da düşük değerlerde sızma alanları tespit edilmiştir (Şekil 52 (h)).



Şekil 52: Sızma alanlarına ilişkin M-AHP sonuçlarının kar dağılımı.

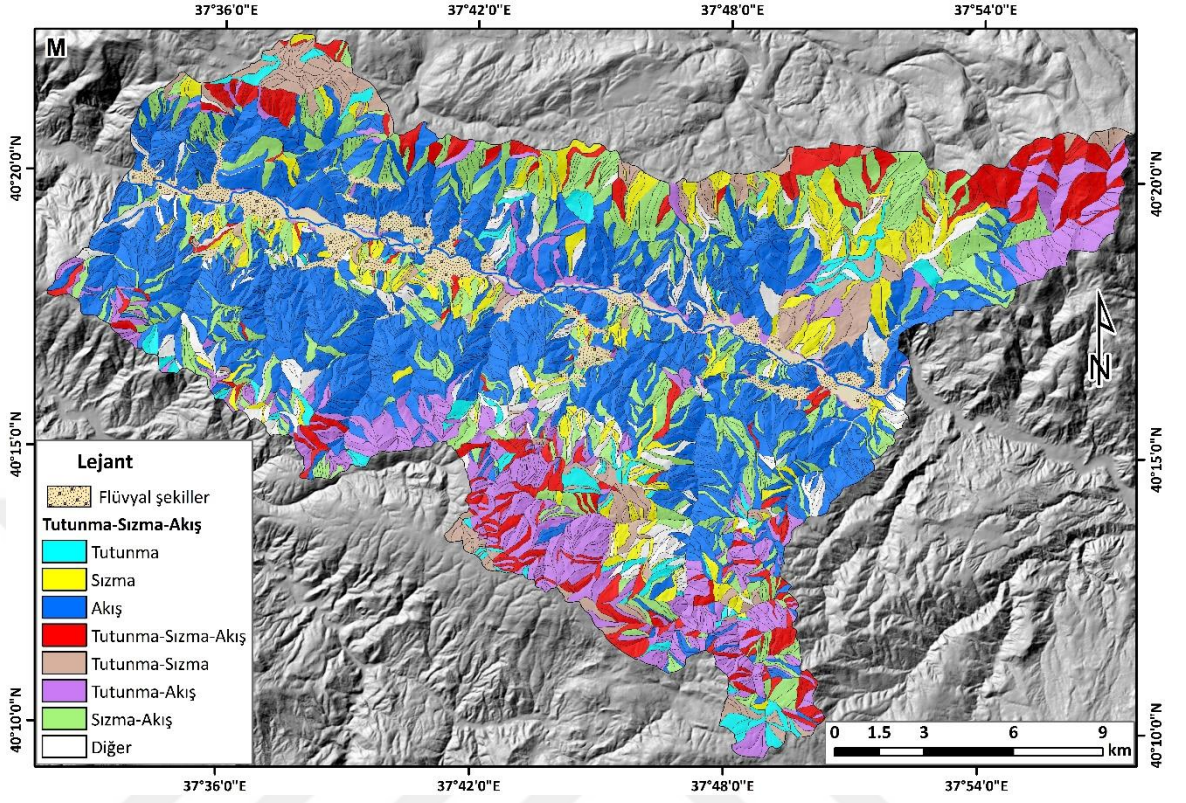
Akış modelinde ise; akışın en düşük olduğu alanlar, Kuzey blokta Koyulhisar paleo-heyelanının birikim zonu ve yüksek yamaçların gerisindeki düzlüklerdir. Güney blokta ise bloğun güneydoğu kesiminde düşük derecede akışa sahip alanlar yoğundur (Şekil 53 (ı)). Akışın orta düzeyde olduğu alanlar genellikle her iki bloğun doğu kesiminde olmak üzere yer yer yüksek yamaçlardaki yapısal düzlüklerde de görülmektedir (Şekil 53 (j)). Akışın en yüksek olduğu alanlar ise kuzey blok başta olmak üzere iki bloğunda orta kesiminde bir hat boyunca görülmektedir (Şekil 53 (k)).

Akış modelinde genel karar dağılımına baktığımızda havzada yüksek akışa sahip yamaçlar daha fazla görülmektedir. Orta derece akışa sahip yamaçlar havza kuzey batısındaki düzlüklerde Koyulhisar paleo-heyelanı transfer zonunda ve güney bloğun güneydoğusunda görülmektedir (Şekil 53 (l)).



Şekil 53: Akış alanlarına ilişkin M-AHP sonuçlarının karar dağılımı.

Her bir modelin genel karar değerler bilgileri yamaç unitelerine taşınarak uç modelin de en yüksek değere sahip tutunma-sızma-akış alanlarının belirlenmesi ile tetikleyici faktöre ilişkin mekânsal hassasiyet elde edilmiştir. Bir yamaç unitesinin her uç modelde en yüksek kararın ortak keşişiminin oluşturduğu alanlar mekânsal hassasiyetin yüksek olduğu alanları ifade etmektedir. Bu yamaçlar çalışma alanında özellikle kuzey blokta heyelanların başlangıç bölgelerine karşılık gelmektedir (şekil 54). Heyelana elverişli zemin olan “tutunma-sızma” yamaçlarının ise paleo-heyelan ilerine karşılık geldiği tespit edilmiştir. “sızma-akış” yamaçları ise özellikle kuzey yamaçlar olmak üzere heyelanların transfer zonlarında daha yaygındır. Bu yamaçlarda sızmanın yüksek olması su içeriğinin yüksek olmasına neden olmakta ve dolayısıyla heyelanı tetiklemektedir. Çalışma alanının güney bloğunun güneydoğusunda ise “tutunma-akış” yamaçları etkilidir. Mekânsal hassasiyet dağılımında tek bir modelin çıktısını taşıyan (rn. sadece sızma) yamaçlarda bulunmaktadır. Bunlardan ziyade birden fazla modelin çıktısının (rn. tutunma-sızma-akış) en yüksek değerini taşıyan yamaçların mekânsal hassasiyeti daha yüksektir (şekil 54)



Şekil 54: Tutunma, sızma ve akış modellerinin keşişimi ile elde edilen mekânsal hassasiyet alanları.

3.5 Jeomorfolojik Tehlike Değerlendirmesi

Pek çok çalışmada farklı şekilde ifade edilen heyelan tehlikesi genel anlamda heyelanın dönüş periyodunu ve büyüklüğünü dikkate alınarak, heyelan büyüklüğünün zamansal olabilirliğinin ifade edilmesidir (Cruden & Varnes, 1996; Cardinali vd., 2002; Van Westen vd., 2006; Cardinali vd., 2007; Van Westen, 2017).

Bu bölümde Cardinali vd., tarafından (2013) önerilen jeomorfolojik yaklaşıma bağlı tehlike değerlendirme çalışma sahasına uygulanmıştır. Bu yöntem heyelan frekansı ve heyelan yoğunluğu olmak üzere iki faktörün kesişimiyle yapılmaktadır (Tablo 23). Frekans ve yoğunluk faktörleri heyelan tehlikesinin temeli olan heyelanın büyüklüğü ve zamansal olabilirliğinin de ortaya konulmasını sağlamaktadır.

3.5.1 Heyelan frekansı

İlk etken olan heyelan frekansı belirli bir alanda heyelanın kaç defa tekrar ettiğini göstermektedir (Tablo 21). Aynı zamanda frekans zaman içerisinde olayın gerçekleşme olabilirliğini de ifade etmektedir. En basit zaman birimi olarak yıl bazında hesaplanabilmektedir. Örneğin Bir bölgede, 100 yıllık kayıta (t) 5 heyelan (n) gözlenirse, (n/t) heyelanın ortalama dönüşüm aralığı 20 yıl demektir. Bölge yıllık %5' heyelan olabilirliğine sahip demektir (Crozier & Glade, 2005).

Çalışma sahası için elde edilen envanter kayıtlarında ise; 1958-2016 (58 yıl) yılları arasında 67 heyelanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

$[67 (n) / 58 (t \text{ yıl})] =$ Koyulhisar Vadisi aşağı kesiminde heyelanın yıllık olabilirliği ~ % 115 demektir. Ortalama dönüşüm periyodu 0.8 (292 gün) yıldır. Kısacası çalışma alanında her 292 günde bir heyelan gerçekleşmektedir. Bu sonuca göre çalışma alanında tehlikenin zamansal olabilirliği çok yüksektir.

Tehlike değerlendirmesinde EN büyük etken heyelanın frekansına göre sınıflandırılmıştır. Frekans yamaç üzerinde heyelan yenilenmesine bağlı olarak değerlendirilmiştir (Tablo 21).

Tablo 21: Frekansına göre heyelan değerlendirmesi ((M Cardinali vd., 2002)'den uyarlanmıştır).

	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Tekrar sayısı	1	2	3	>=4

3.5.2 Heyelan yoğunluğu

Heyelan yoğunluğu, tehlike değerlendirmesinde ve risk elemanlarının fiziksel zarargörebilirlik değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Cardinali vd., 2002). Tehlike değerlendirmesinde frekanstan sonra ikinci etken olan heyelan yoğunluğu, hacim ve heyelan tipine bağlı tahmini hızın kesişiminden elde edilmektedir (Tablo 22). Hacim hesaplama, heyelanın mekanizmasından dolayı oldukça zordur. Çünkü hacim hesaplanmasında kullanılan derinlik bilgisi heyelanın farklı kısımlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bunun yanı sıra büyük ana kaya heyelanlarında derinliğin çok yüksek olmasından dolayı hesaplama (sondaj) maliyeti de yüksektir. Bu sebeple hacim hesaplamasında heyelan alanından hacim dönüştürme yöntemi kullanılmıştır. Heyelan hacimi aşağıdaki belirtilen şekilde formüle edilmektedir:

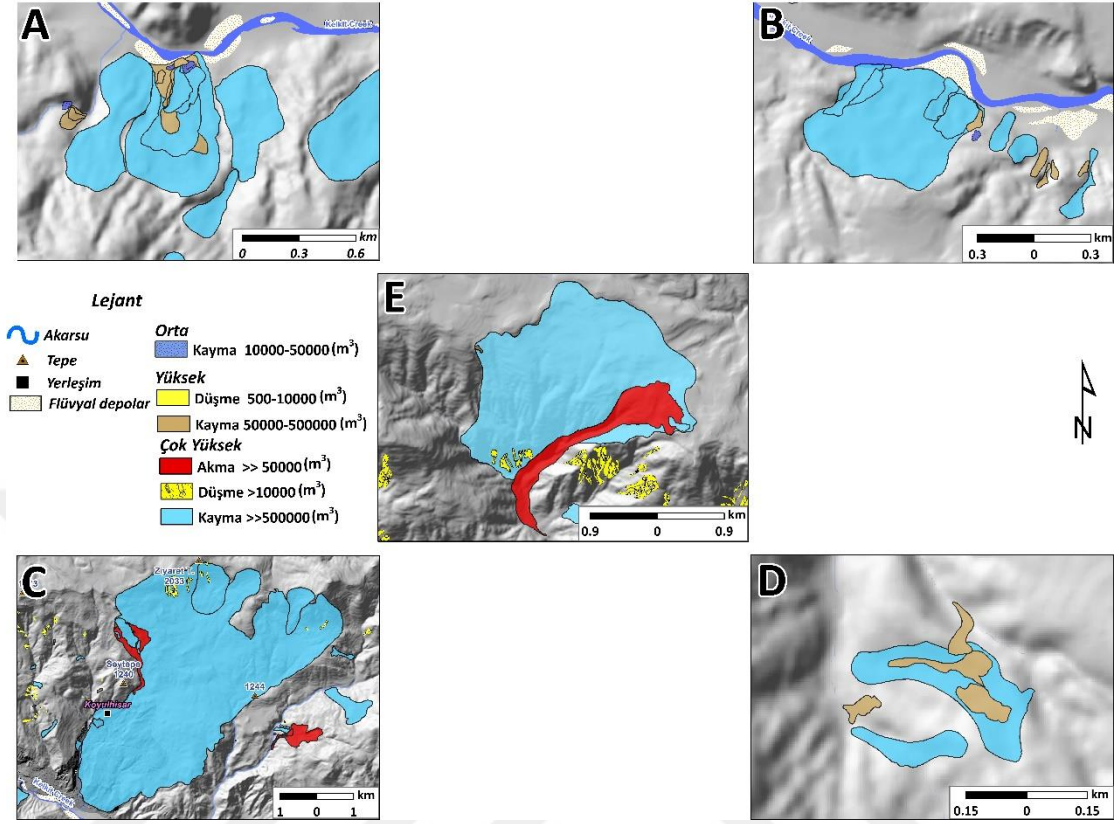
$$V_L = 0.74 \times A^{1.450} \quad (\text{Eşitlik 18}) \quad (\text{Guzzetti vd., 2009}).$$

Burada V_L Heyelan hacmini, A Heyelan alanını ifade etmektedir.

Tablo 22: Heyelan yoğunluğu matrisi ((M Cardinali vd., 2002)'den uyarlanmıştır).

Hacim (m ³)	Çok Hızlı Heyelan (Kaya Düşme)	Hızlı Heyelan (Moloz Akma)	Yavaş Heyelan (Kayma)
< 0.001	Yavaş		
< 0.5	Orta		
> 0.5	Yüksek		
< 500	Yüksek	Yavaş	
500-10000	Yüksek	Orta	Yavaş
10000-50000	Çok Yüksek	Yüksek	Orta
> 500000		Çok Yüksek	Yüksek
>> 500000			Çok Yüksek

Heyelan aktivitesinin yüksek olduğu beş bölgede heyelan yoğunluğunun da yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu beş bölgede orta, yüksek ve çok yüksek derecede yoğunluğa sahip heyelanlar bulunmaktadır. Boyalı (1.bölge) ve Gökdere (2.bölge) heyelanlarının farklı kesimlerinde orta, yüksek ve çok yüksek seviyede heyelan yoğunluğu gözlenmektedir (Şekil 55 (a ve b)). Koyulhisar paleo-heyelanı ve bu heyelanın farklı kesimlerinde gelişen heyelanların (3.bölge) yoğunluğu çok yüksektir (Şekil 55 (c)). Gökdere'nin güneyindeki (4.bölge) heyelanlar ise, yüksek ve çok yüksek yoğunluğa sahiptir (Şekil 55 (d)). Sugözü paleo-heyelan topoğrafyasındaki (5.bölge) heyelanlara baktığımızda, burada heyelanların çok yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 55: Aktivitesi yüksek beş bölgenin heyelan yoğunluğu dağılımı.

3.5.3 Heyelan tehlike zonu

Risk değerlendirmesinin bir önceki aşamasını ve temelini oluşturan Heyelan Tehlike Zonu (HTZ), aynı yamaçta heyelan frekansı ve yoğunluğunun kesişimine ($HTZ = f(\text{frekans, yoğunluk})$) bağlı olarak elde edilmektedir (Tablo 23). Tehlike zonlarında tehlikenin şiddetinin artmasına en büyük etken heyelan frekansdır. Heyelan frekansı arttıkça heyelanın tehlikesi de artmaktadır.

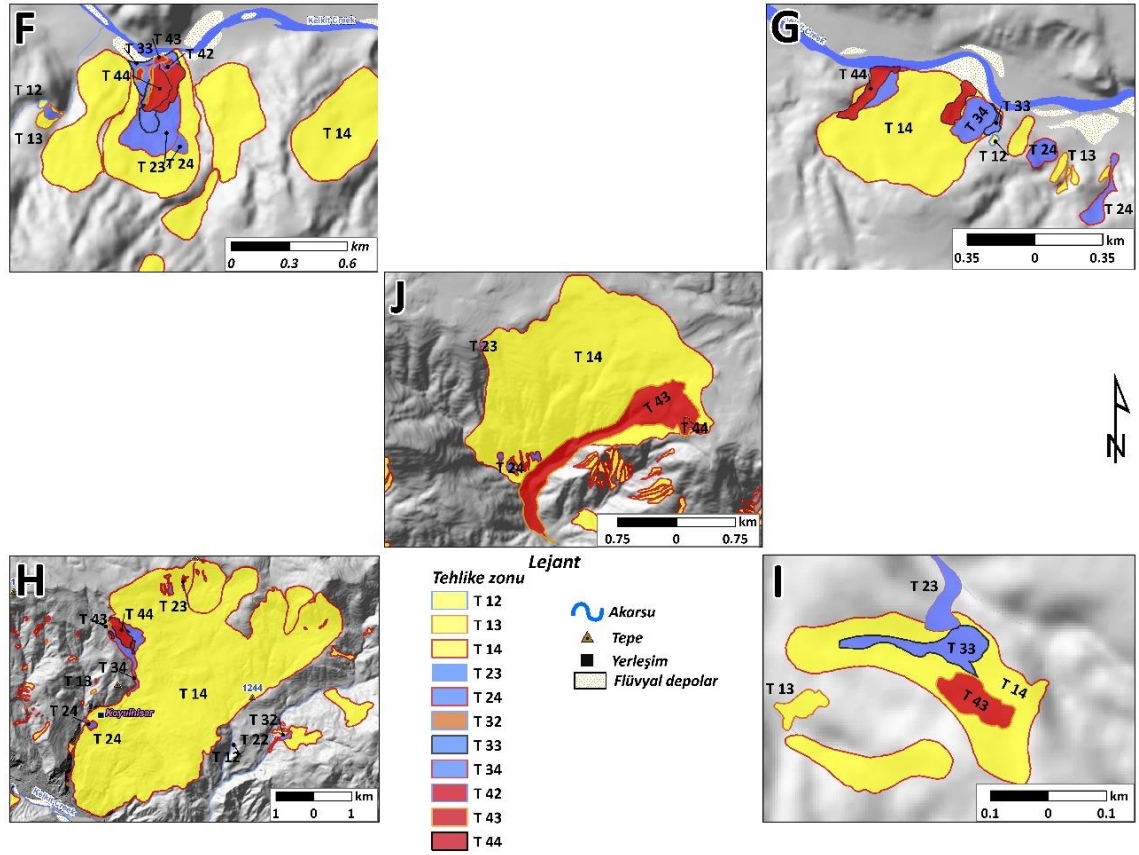
Tablo 23: Heyelan tehlike değerlendirme matrisi (F= f (sıklık, yoğunluk)) matrisi ((Cardinali vd., 2002)’den uyarlanmıştır).

Heyelan frekansı	Heyelan yoğunluğu			
	Düşük (1)	Orta (2)	Yüksek (3)	Çok yüksek (4)
Yavaş (1)	1 1	1 2	1 3	1 4
Orta (2)	2 1	2 2	2 3	2 4
Yüksek (3)	3 1	3 2	3 3	3 4
Çok yüksek (4)	>= 4 1	>= 4 2	>= 4 3	>= 4 4

Çalışma sahasının tehlike zonlarının belirlenmesinde, zamansal heyelan aktivitesi ve heyelan yoğunluğunun yüksek olduğu beş bölge üzerine odaklanılmıştır. Heyelan tehlike zonlamasında kullanılan ifadeler tehlike seviyesini ifade etmektedir. Örneğin “T 34” ifadesinde “T tehlike” “3 frekans sayısını”, “4 ise yoğunluğu (Çok yüksek)” ifade etmektedir.

Heyelan tehlike seviyesi, beş bölgede en düşük “T 12” ve en yüksek ise “T 44” arasında olmak üzere farklı seviyelerde görülmektedir. Çalışma sahasında beş bölgeye incelendiğinde; Boyalı (1.bölge) heyelanının transfer ve birikim kısmında farklı seviyelerde heyelan tekrarlanmaktadır. Bu heyelanın transfer kısmı orta seviyelerde tehlike “T 23 ve “T 24” oluştururken, birikim kısmı ise çok yüksek “T 43” ve “T 44” gibi tehlike zonlarını oluşturmaktadır (Şekil 56 (f)). Gökdere (2.bölge) heyelanının birikim kısmında ise çok yüksek seviyede “T 34 ve “T 44” tehlike zonları bulunmaktadır (Şekil 56 (g)). Çok yüksek heyelan yoğunluğuna sahip Koyulhisar paleo-heyelan alanına (3.bölge) baktığımızda bu heyelanın farklı kesimlerinde yenilenen heyelanlar farklı tehlike seviyeleri içermektedir. Bu heyelanın kuzeybatısındaki Aklan heyelanının tehlikesi “T 44” seviyesinde çok yüksek boyuttadır. Bunun dışında Koyulhisar paleo-heyelanının güneyinde Koyulhisar ilçe merkezinin bulunduğu kısımda heyelan seviyesinin “T 24” orta düzeyde olduğu görülmektedir. Ayrıca bu paleo-heyelanın ana ayna kesiminde orta düzeyde “T 23” tehlikeli kaya düşmeleri de görülmektedir. Bu paleo-heyelanın ikinci bir heyelanın yenilenmediği diğer kısımları ise düşük tehlike seviyesindedir (Şekil 56 (h)). Gökderenin güneyindeki 4. Bölgede ise, düşük “T 14”, orta “T 23”, yüksek “T 33” ve çok yüksek

“T 43” seviyelerinde tehlike zonları olduğu tespit edilmiştir (Şekil 56 (ı)). Sugözü paleo-heyelan topoğrafyasındaki (5.bölge) heyelanlarda ise, 2005 yılında gerçekleşen moloz akması ve bu moloz akmasının ana şevinin gerisine doğru gelişen kısımları çok yüksek “T 43 ve T 44” tehlike zonlarını oluşturmaktadır. Sugözü paleo-heyelan topoğrafyasının güneyinde kaya düşmelerinin de olduğu alanlarda orta seviyede “T 24” tehlike görülürken, bu paleo-heyelanın kuzeydoğusundaki kesimde kayma alanlarında ise orta seviyede tehlike “T 23” görülmektedir. Bunların dışındaki alanlar ise düşük tehlike “T 14” alanlarını oluşturmaktadır (Şekil 56 (j)).



Şekil 56: Jeomorfolojik yaklaşıma göre heyelan tehlike zonları.

Genel olarak jeomorfolojik tehlike analizine baktığımızda, akarsu topuk erozyonun etkin olduğu Boyalı ve Gökdere heyelanlarının çok yüksek tehlike düzeyine sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu heyelanların ilerleyen karakterde olması ve Kelkit Çayının bitişiğinde gelişmesiyle bu iki heyelan bölgesi malzemesini Kelkit Çayına taşımaya neden olmaktadır. Her ne kadar bu alan içinde risk elemanı görülmesi de bu bölgede oluşabilecek büyük bir heyelan Kelkit Çayını doldurarak baraj etkisi ile taşkına neden olabilir. Koyulhisar paleo-heyelanının kuzey doğusundaki çok yüksek tehlikedeki Aklan heyelanının bulunduğu kısımda gelişen heyelanların aktivite dağılımının gerileyen ve genişleyen karakterde olması çevresindeki unsurlara tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca bu paleo-heyelanın merkezinde bulunan orta tehlikedeki kaymalar, üzerinde bulunan yapılara tehlike oluşturmaktadır. Tehlikenin çok yüksek olduğu bir diğer bölge Sugözü paleo-heyelanının kuzeydoğu kesiminde heyelan aktivitesi yüksek, aktivite dağılımı ise gerileyen karakterde olduğu tespit edilmiştir. Bu heyelanın etki mesafesi; gerileyen karakterde olmasından dolayı gelişimi ana şevin gerisine doğru, moloz akması olarak geliştiğinden dolayı ise etki mesafesi Kelkit Çayı yönü doğru ilerleyen karakterdedir. (Şekil 56).

3.6 Jeomorfolojik Tehlike Değerlendirmesinin M-AHP ile Entegrasyonu

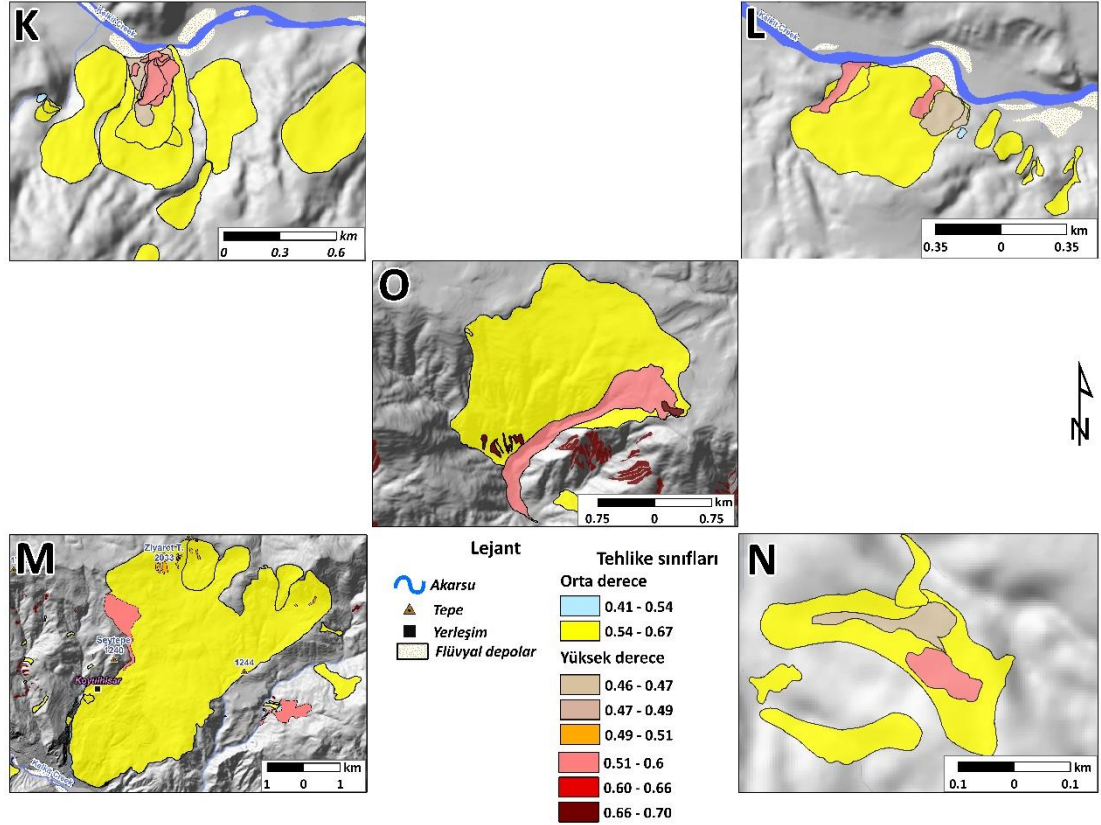
Heyelan tehlike değerlendirmelerinde kullanılan yöntemin başka bir yöntem ile kalibre edilmesi kullanılan modelin geçerliliği güçlü kılmaktadır (Fernández vd., 2003; Cascini vd., 2005; Van Den Eeckhaut vd., 2010b; Gariano vd., 2015) Nitel bir yaklaşım olan jeomorfolojik yöntemin kalibrasyonu ancak yarı nicel bir yöntem ile mümkündür. Çünkü nitel yaklaşımlar tamamen uzman etkisine bağlı subjektif esaslara dayanmaktadır. Tamamen nicel yaklaşım ile değerlendirilirse sonuçlar arasında çok yüksek farklılıklar oluşur. Bu amaçla seçilen M-AHP hem yarı nicel olması hem de uzman etkisini sınırlandırması açısından önemlidir.

Bu doğrultuda jeomorfolojik yöntemde kullanılan frekans, hacim, tahmini heyelan hızı gibi faktörler ve bu faktörlerin önem dereceleri M-AHP yöntemine entegre edilerek puanlandırılmıştır (Tablo 24).

Tablo 24: M-AHP modeli için belirlenen parametre ve aldığı puanlar.

	Parametre sınıflaması	Parametrelerin aldığı puan		
Frekans	> 4	9		
	3	7		
	2	5		
	1	1		
Hacim(m³)		Düşme	Akma	Kayma
	< 0.001	1	1	1
	< 0.5	2	1	1
	> 0.5	2	2	1
	< 500	2	2	2
	500-10000	3	2	2
	10000-50000	3	3	2
	> 500000	5	3	3
	>> 500000	5	5	3
Beklenen heyelan hızı	Düşme	4		
	Akma	3		
	Kayma	1		

Bu puanlama sistemiyle belirlenen M-AHP tehlike değerlendirmesinin jeomorfolojik yaklaşıma genel olarak ~%70 uyum sağladığı görülmüştür. Farklılığa baktığımızda kaya düşmelerinin bulunduğu alanların tehlike seviyesi jeomorfolojik yaklaşımda orta seviyede iken, M-AHP modeline göre yüksek seviyede çıkmıştır. Paleo-heyelan alanları M-AHP çıktılarında orta seviyede görülmektedir (şekil 57). Bunun sebebi paleo-heyelanın hacminin ekstrem büyüklükte olmasıdır. Çalışma alanı için önemli olan frekansın yüksek olduğu alanlar olup, bu alanlar her iki yöntemde de % 100 uyum sağlamaktadır.



şekil 57: M-AHP sonuçlarına göre tehlike zonları.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ZARARGÖREBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

Tehlikenin tipi ve boyutuna göre risk elamanlarının etkilenebilme derecesini ifade eden zarargörebilirlik (Glade vd., 2006; Van Westen vd., 2006; Van Westen, 2017) sosyal, fiziksel, ekonomik ve sistemik açılardan değerlendirilmektedir. Sosyal zarargörebilirlik olayın yoğunluğuna göre insanlarda oluşabilecek ölüm, sakatlık, zihinsel ve ruhsal bozuklukları içermektedir. Fiziksel zarargörebilirlik olayın yoğunluğuna göre fiziki yapı, altyapı ve diğer unsurların yıkım, hasar olarak etkilenme derecesidir (Glade vd., 2006; Douglas, 2007; Papathoma vd., 2011; Kappes vd., 2012). Ekonomik olarak ise olay bölgesinde yaşayan insanların geçim sağladıkları unsurların tehlikenin yoğunluğundan etkilenme ölçüsüdür (Adrianto & Matsuda, 2002; Alcántara-Ayala, 2002; Galli & Guzzetti, 2007; Raddatz, 2009). Bazen ekonomik zarargörebilirlik olayın yaşandığı bölge sınırları dışındaki alanları da etkileyebilmektedir. Örneğin ülke ekonomisine katkı sağlayan bir üretim alanlarının zarar görmesi sonucunda ülke ekonomisi de etkilenebilir. Sistemik zarargörebilirlik ise olay esnasında afet boyutunu azaltacak tahliye yolları, ulaşım ağı, yangın söndürme sistemleri, sağlık tesisleri, güvenlik sistemleri ve enerji tesisleri vb. unsurların heyelan esnasında aksaklığa veya tamamen işlevini kaybedebilme ölçüsünün değerlendirmesidir (Menoni vd., 2002; Hellström, 2007; Pascale vd., 2010; Menoni vd., 2012). Sistemik zarargörebilirlik olayın tipi ve boyutuna göre değiştiği gibi olayın gerçekleştiği zamanın farklılığına (gece-gündüz, yaz-kış) bağlı olarak ta değişmektedir.

Uzman görüşüne bağlı olarak çalışma alanının fiziksel, sosyal, ekonomik ve sistemik zarargörebilirliği değerlendirilmiştir. Zarargörebilirlik değerlendirmesinde heyelan yoğunluğu ve tipine bağlı risk elemanlarının zarar görebilme potansiyeline ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Fiziksel zarargörebilirlik için yapı ve altyapı, sosyal zarargörebilirlik için; nüfus, ekonomik zarargörebilirlik için; tarım, sistemik zarargörebilirlik için ise; kritik yapı ve alt yapı gibi risk elemanları değerlendirilmiştir (Tablo 25). Ayrıca gece ve

gündüz senaryosuna göre zarargörebilirlilik değerlendirmeleri de oluşturulmuştur (Tablo 26 (a ve b)). Gece senaryosu sistemik zarargörebilirlilik ölçüsünün zamansal değişime bağlı olarak kırsal kesimde bölgenin karanlığın etkisiyle oluşabilecek sistemsel aksamalara bağlı olarak oluşturulmuştur.

Tablo 25: Risk elemanları.

Tipi	Kod	Açıklama
Yapı	<u>YYB</u>	Yüksek Yoğunluklu Bina
	<u>DYB</u>	Düşük Yoğunluklu Bina
Altyapı	<u>AO</u>	Anayol-Otoyol
	<u>İK</u>	İkincil Yol
	<u>TKTY</u>	Tali Ve Küçük Taşlı Yol
Kritik Yapı ve Altyapı	<u>DT</u>	Dini Tesis
	<u>SF</u>	Spor Faaliyetleri
	<u>Q</u>	Okul
	<u>YO</u>	Yatılı Okul
	<u>GG</u>	Güvenlik Güçleri
	<u>ST</u>	Sağlık Tesisi
	<u>YM</u>	Yönetim Merkezi
	<u>I</u>	Terminal
	<u>EK</u>	Elektrik Kaynağı
	<u>C</u>	Cezaevi
	<u>D</u>	Diğer
Tarım	<u>STA</u>	Sulu Tarım Alanı
	<u>KTA</u>	Kuru Tarım Alanı
	<u>STNA</u>	Sulu Tarım Nadaslı Alan
	<u>KTNA</u>	Kuru Tarım Nadaslı Alan

Tablo 26: Gece (a) ve gündüz (b) senaryosuna göre fiziksel, sosyal, sistemik ve ekonomik zarargörebilirlik matrisi.

A

		RİSK ELEMANLARI																					
		Fiziksel Zarargörebilirlik		Sistemik Zarargörebilirlik			Fiziksel ve Sosyal Zarargörebilirlik				Sistemik Zarargörebilirlik				Ekonomik ve Fiziksel Zarargörebilirlik				Fiziksel ve Sosyal Zarargörebilirlik				
		GECE																					
Heyelan Yoğunluğu		Yapı		Altyapı			Kritik yapı ve altyapı								Tarım				Nüfus				
		YYB	DYB	AO	İY	TKTY	DT	SF	O	YO	D	GG	ST	YM	I	EK	STA	KTA	STNA	KTNA	Doğrudan	Dolaylı	Evsiz
Düşük	Düşme	D	D	O	D	Y	D	D	D	D	D	O	O	D	D	Y	D	D	D	D	Hayır	Hayır	Hayır
	Akma	D	D	O	O	Y	D	D	D	O	O	O	O	O	Y	O	O	D	D	Hayır	Hayır	Hayır	
	Kayma	D	D	O	O	Y	D	D	D	O	O	Y	Y	Y	O	Y	O	D	D	Hayır	Hayır	Hayır	
Orta	Düşme	O	O	Y	O	Y	O	O	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	O	D	Evet	Evet	Evet	
	Akma	O	O	Y	Y	Y	O	O	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	O	O	Evet	Evet	Evet	
	Kayma	O	O	Y	Y	Y	O	O	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	Hayır	Evet	Evet	
Yüksek	Düşme	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	Evet	Evet	Evet	
	Akma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet	
	Kayma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet	
Çok Yüksek	Düşme	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet	
	Akma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet	
	Kayma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet	

B

		RİSK ELEMANLARI																				
		Fiziksel Zarargörebilirlik		Fiziksel Zarargörebilirlik			Fiziksel ve Sosyal Zarargörebilirlik				Sistemik Zarargörebilirlik				Ekonomik Zarargörebilirlik				Fiziksel ve Sosyal Zarargörebilirlik			
		GÜNDÜZ																				
Heyelan Yoğunluğu		Yapı		Altyapı			Kritik Altyapı								Tarım				Nüfus			
		YYB	DYB	AO	İY	TKTY	DT	SF	O	YO	D	GG	ST	YM	I	EK	ST	KT	STN	KTN	Doğrudan	Dolaylı
Düşük	Düşme	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	Y	D	D	D	D	Hayır	Hayır	Hayır
	Akma	D	D	D	O	O	D	D	D	D	O	O	D	D	Y	O	O	D	D	Hayır	Hayır	Hayır
	Kayma	D	D	D	O	Y	D	D	D	D	O	O	O	D	Y	Y	O	D	D	Hayır	Hayır	Hayır
Orta	Düşme	O	O	O	O	O	O	O	O	O	Y	Y	O	O	Y	O	O	O	D	Evet	Evet	Evet
	Akma	O	O	O	O	O	O	O	O	O	Y	Y	Y	O	Y	O	O	O	O	Evet	Evet	Evet
	Kayma	O	O	O	Y	Y	O	O	O	O	Y	Y	Y	O	Y	Y	Y	O	O	Hayır	Evet	Evet
Yüksek	Düşme	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	Evet	Evet	Evet
	Akma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet
	Kayma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet
Çok Yüksek	Düşme	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet
	Akma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet
	Kayma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Evet	Evet	Evet

Fiziksel ve sosyal zarargörebilirlilik için çalışma alanında heyelan tehlikesinin yoğun olduğu alanlarda yapıların ve bu yapılarda yaşayan nüfus ve nüfusun cinsiyet ve yaş durumuna ilişkin anketler düzenlenmiştir (Tablo 27). Bu anketler aynı zamanda heyelan tehlike yoğunluğuna bağlı olarak yapıların hasar görebilirliliğini de içermektedir (Şekil 58 ve 59).

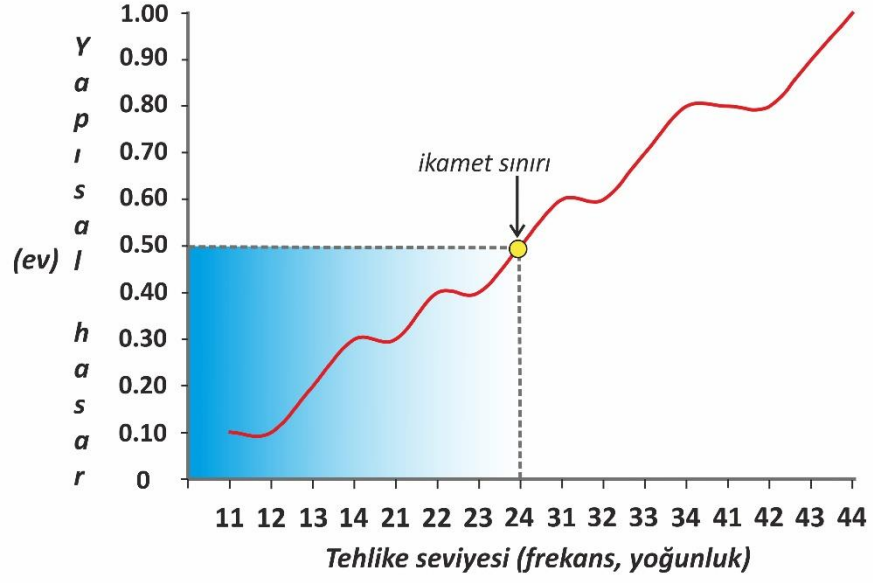
Tablo 27: Tehlike yoğunluğuna göre oturulabilme sınırında bulunan risk elemanları ve özellikleri.

Nokta	Kat sayısı	Bina Türü	Hane Sayısı	Cinsiyet	Yaş
1	1	BETONARME	1	E	75
2	2	BETONARME	4	E-E-K-K	56-60-18-20
3	2	BETONARME	2	E-K	65-67
4	2	BETONARME	7	E-K-K-K-E	69-72-41-38-17*15*11
5	2	BETONARME	BOŞ		
6	2	BETONARME	4	E-K-E-K	37-35-8-11
7	1	BETONARME	1	E	75
8	2	BETONARME	BOŞ		
9	3	BETONARME	1.KAT 1	K	70*
10	3	BETONARME	2.KAT 4	E-E-K-K	47-57-40-50
11	3	BETONARME	3.KAT 1	K	72
12	2	BETONARME	1	K	80
13	2	BETONARME	-		
14	2	BETONARME	5	E-K-K-K-K	52-42-12-7-4
15	2	BETONARME	1	K	70
16	2	BETONARME	-		
17	2	BETONARME	-		
18	1	BETONARME	-		
19	2	BETONARME	-		
20	2	BETONARME	-		
21	2	BETONARME	-		
22	1	BETONARME	-		
23	1	TAHTA YAPI GARAJ	1 Traktör		25 BÜYÜKBAŞ VAR
24	1	BETONARME AHIR	13 Büyükbaş		
25	1	BETONARME AHIR	12 Büyükbaş		
26	1	BETONARME ODUNLUK	BOŞ		
27	2	BETONARME	2	E-K	65-62

Hasargörebilirlık tespiti için yapılan değerlendirmede “T 24” seviyesindeki tehlike alanları ikamet edebilme sınırını oluşturmaktadır. Nüfusun bir kısmının bu tehlike alanlarında oturduğu da tespit edilmiştir (şekil 58 ve 59).



şekil 58: Çalışma alanında tespit edilen yapısal hasar.



Şekil 59: Yapısal hasar ve tehlike seviyesine göre ikamet edebilme sınırı.

4.1 Zarargörebilirlığın M-AHP ile Değerlendirilmesi

Uzman görüşüne bağlı fiziksel ve ekonomik zarargörebilirlilik değerlendirmesinde belirlenen matrislerdeki zarargörebilirlilik seviyelerinde alınan kararların M-AHP yöntemine entegrasyonu sağlanmıştır. Böylece uzman görüşünde belirlenen zarargörebilirlilik kararının hangi ağırlıkta alındığını ortaya konulması amaçlanmıştır (Tablo 28). Ayrıca bu amaçla zarargörebilirlilik sonuçlarının iki yöntemde karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu doğrultuda sadece fiziksel ve ekonomik zarargörebilirlilik sonuçları değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre uzman görüşü matrisinde alınan kararlar M-AHP yöntemine göre %100 uyumlu olduğu görülmüştür. M-AHP ile değerlendirilen zarargörebilirlilik sonuçları aynı zamanda iki yöntemin sonuçlarının risk değerlendirmesi bölümünde karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.

Tablo 28: Uzman görüşüne dayalı fiziksel zarargörebilirlik değerlendirmesinin M-AHP yöntemi ile entegrasyonu.

Heyelan Yoğunluğu		Risk Elemanları								
		Zarargörebilirlik								
		Yapı		Altyapı			Tarım			
		YYB	DYB	AO	İY	TKTY	STA	KTA	STNA	KTNA
Düşük	Düşme	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	Akma	D	D	D	O	O	O	O	D	D
	Kayma	D	D	D	O	Y	Y	O	D	D
Orta	Düşme	O	O	O	O	O	O	O	O	D
	Akma	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Kayma	O	O	O	Y	Y	Y	Y	O	O
Yüksek	Düşme	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O
	Akma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Kayma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Çok Yüksek	Düşme	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Akma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Kayma	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

↓

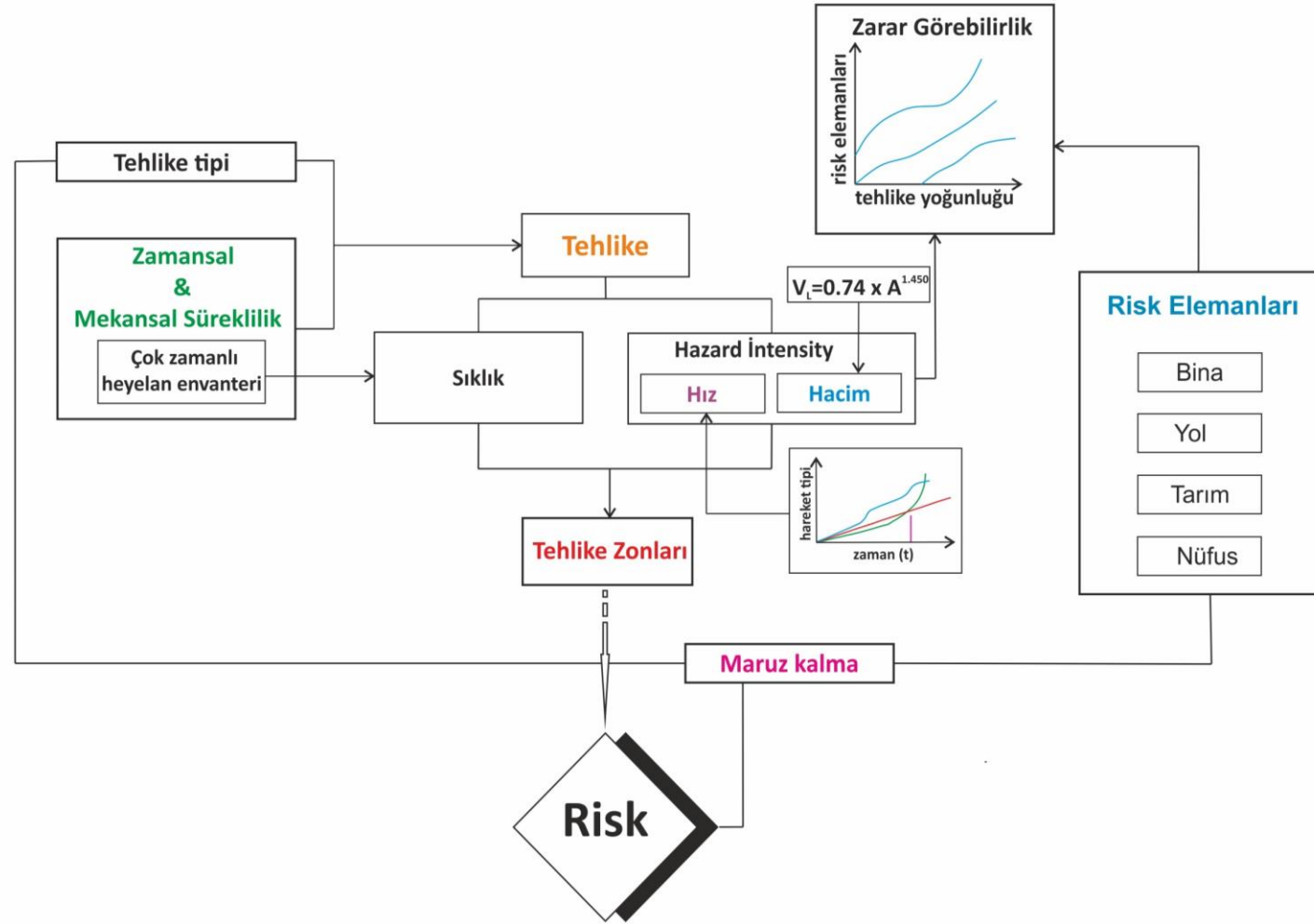
Heyelan Yoğunluğu		Risk Elemanları								
		Zarargörebilirlik								
		Yapı		Altyapı			Tarım			
		YYB	DYB	AO	İY	TKTY	STA	KTA	STNA	KTNA
Düşük	Düşme	0.63	0.69	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.69
	Akma	0.63	0.69	0.63	0.47	0.53	0.53	0.47	0.63	0.69
	Kayma	0.6	0.6	0.6	0.48	0.45	0.45	0.48	0.6	0.6
Orta	Düşme	0.7	0.69	0.69	0.66	0.48	0.48	0.66	0.7	0.69
	Akma	0.49	0.66	0.49	0.52	0.57	0.57	0.52	0.66	0.66
	Kayma	0.52	0.44	0.52	0.59	0.63	0.63	0.59	0.52	0.44
Yüksek	Düşme	0.52	0.54	0.52	0.57	0.63	0.63	0.57	0.52	0.54
	Akma	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67
	Kayma	0.69	0.66	0.69	0.71	0.72	0.72	0.71	0.69	0.66
Çok Yüksek	Düşme	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67
	Akma	0.69	0.66	0.69	0.71	0.72	0.72	0.71	0.69	0.66
	Kayma	0.68	0.69	0.68	0.7	0.72	0.72	0.7	0.68	0.69

BEŞİNCİ BÖLÜM

RİSK DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Jeomorfolojik Yaklaşım Dayalı Risk Değerlendirmesi

Risk değerlendirmesinin fiziksel, sosyal, sistemik ve ekonomik zarargörebilirlik açısından ele alınması zararın etki boyutunu anlaşılması açısından önemlidir (Cutter, 1996; Douglas, 2007; Hellström, 2007). Çalışma alanında risk değerlendirmesi, risk elemanlarının fiziksel, sosyal, ekonomik ve sistemik zarargörebilirlik durumuna göre değerlendirilmiştir. Uzman görüşüne bağlı olarak risk elemanlarının risk seviyesi belirlenmiştir. Risk elemanlarının bulunduğu tehlike zonuna ve zarargörebilirliklerinin durumuna göre risk seviyeleri ortaya konulmuştur (Şekil 60). Risk seviyesi tehlike ve zarargörebilirliğin kesişimini ifade etmektedir. Risk değerlendirmesi “11” ile “44” arasında değişen 16 koddan tehlike zonu sınıfı ve düşük orta ve yüksek olmak üzere 3 zarargörebilirlik sınıfından oluşmaktadır (Tablo 29). Tehlike sınıfında kod ”11” en düşük, kod “44” en yüksek tehlike alanını tanımlamaktadır. Burada örneğin risk değeri “Y 44” ile tanımlanan bir risk elemanında; Y=yüksek, 44 (ilk sayı tehlike zonunun heyelan sıklığı, ikinci sayı heyelan yoğunluğu) ise tehlike değerini ifade etmektedir.



Şekil 60: Jeomorfolojik yaklaşıma dayalı risk değerlendirmesinin iş akış diyagramı.

Tablo 29: Jeomorfolojik yaklaşıma dayalı risk değerlendirmesine göre risk seviyeleri.

<i>Tehlike</i>		<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Toplam</i>
Düşük ↑	11	D 11	O 11	Y 11
	12	D 12	O 12	Y 12
	13	D 13	O 13	Y 13
	21	D 21	O 21	Y 21
	14	D 14	O 14	Y 14
	22	D 22	O 22	Y 22
	23	D 23	O 23	Y 23
	31	D 31	O 31	Y 31
	32	D 32	O 32	Y 32
	Yüksek ↓	24	D 24	O 24
33		D 33	O 33	Y 33
41		D 41	O 41	Y 41
42		D 42	O 42	Y 42
34		D 34	O 34	Y 34
43		D 43	O 43	Y 43
	44	D 44	O 44	Y 44

Fiziksek ve sosyal zarargörebilirlige göre yapı ve nüfusun risk değerlendirmesinde: Koyulhisar (3.bölge) ve Sugözü (5.bölge) alanlarında nüfus ve yerleşme bulunduğundan, bu alanlar risklidir. Koyulhisar bölgesinde, Yüksek Yoğunluklu Binalar (YYB) ve Düşük yoğunluklu Binalarda (DYB) “Y 24“ ile “Y 14“ risk seviyeleri tespit edilmiştir (Şekil 63 (a ve b)). İkamet edebilme sınırını oluşturan “Y 24“ risk seviyesi Koyulhisar ilçe merkezini oluşturan Paleo-heyelanının güneyinde DYB’lerde görölmektedir. (Şekil 63 (a)).

Sistemik ve sosyal zarargörebilirlige göre risk değerlendirmesinde ise, sistemik açıdan heyelan gerçekleştiği esnada afeti azalmaya yönelik çalışma yapabilecek Güvenlik (GG) Güçleri ve Yönetim Merkezleri (YM) gibi önemli merkezler ile sosyal açıdan tehlikeye maruz kalma etkisi daha fazla olan Okul alanları ise (O) orta seviyede risk oluşturmaktadır (Şekil 64)

Fiziksek zarargörebilirlige göre altyapının risk değerlendirmesinde ele alınan yol tipi risk durumu, Boyalı bölgesinde (1.bölge) bulunan ikincil asfalt yol yüksek ve çok yüksek risk seviyesi (Y 33 ve Y 43) (Şekil 65 (d)) tespit edilmiştir. Gökdere de ise düşük risk seviyesinde: Tali Küçük Taşlı Yol (TKTY) bulunmaktadır (Şekil 65 (e)). Koyulhisar bölgesinde düşük seviyede Ana Yollar (AO) (Y 14), düşük ve orta risk seviyede (Y 14 ve Y 24) İkincil Yollar (İY), düşük (Y 14) ve yüksek risk seviyesinde (Y 34) Tali Küçük Taşlı Yollar (TKTY) bulunmaktadır. Sugözü bölgesinde ise, düşük risk seviyesinde (Y 14) Tali Küçük Taşlı Yol (TKTY) görölmektedir. Yollar aynı zamanda sistemik açıdan gece senaryosuna göre de değerlendirilmiştir. Sistemik zarargörebilirlige göre risk değerlendirmesi fiziksel zarargörebilirlikle aynı sonuçları göstermektedir (Şekil 67 ve 68).

Ekonomik zarargörebilirlige tarım alanlarının risk değerlendirmesinde; Koyulhisar (3.bölge) ve Gökdere (2.bölge) bölgelerinde tarım alanları bulunmaktadır. Koyulhisarda düşük seviyede (Y14) Sulu Tarım Alanı (STA), Kuru Tarım Alanı (KTA), Kuru Tarım Nadaslı Alan (KTNA) ile orta seviyede risk (Y 24) alanı olan Kuru Tarım Nadaslı Alanlar (KTNA), görölmektedir.

5.2 M-AHP İle Risk Değerlendirmesi

M-AHP risk değerlendirmesi esas yöntem olan jeomorfolojik yaklaşıma bağlı çıktılarının doğruluğunun test edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla fiziksel ve ekonomik zarargörebilirliğe göre değerlendirilmiştir.

$$\mathbf{M-AHP_{risk} = M-AHP_{tehlike} \times M-AHP_{fiziksel\ yada\ ekonomik\ zarargörebilirlik} \times Risk\ Elemanı \times Maruz\ kalma}$$

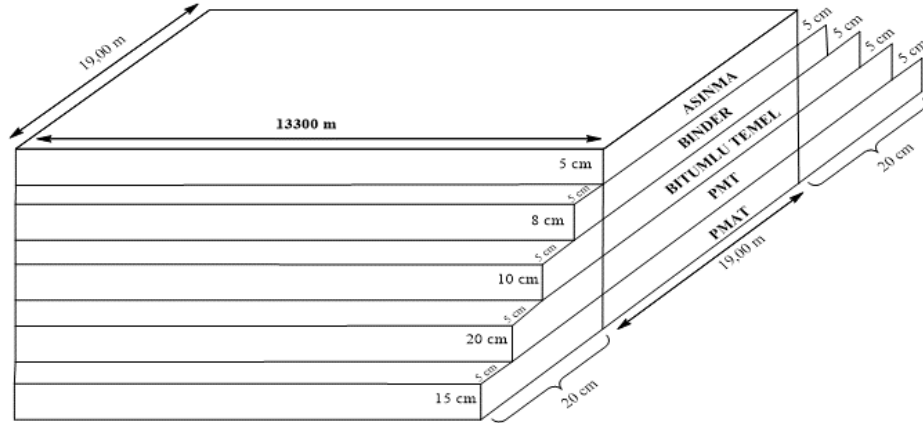
Bu formüle göre daha önceki bölümlerde M-AHP ile jeomorfolojik yaklaşımın entegrasyonu ile oluşturulan tehlike çıktıları ile fiziksel zarargörebilirlik çıktıları birlikte değerlendirilmiştir. Böylece yapı, alt yapı (yol) gibi risk elemanlarının risk durumu değerlendirilmiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında %70 oranında yüksek seviyede uyum olduğu tespit edilmiştir. Bu uyumluluk, düşük seviyedeki risk elemanlarında az iken, yüksek seviyede riske sahip risk elemanlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 70, 71, 72 ve 73).

ALTINCI BÖLÜM

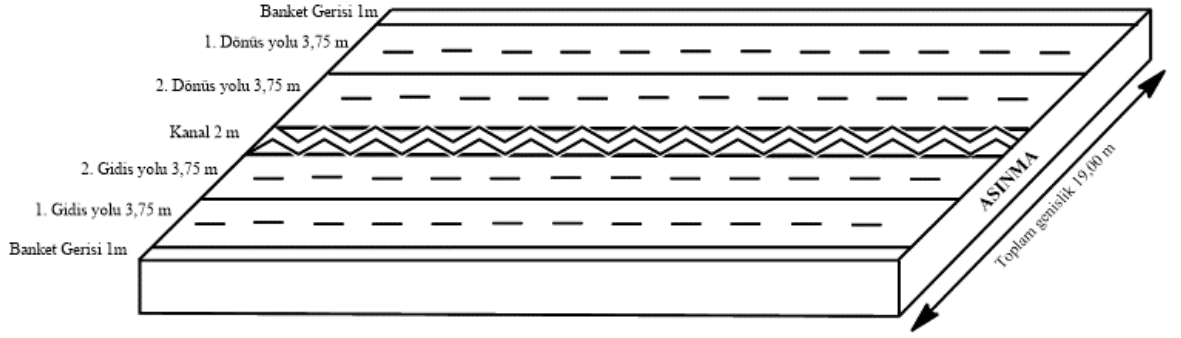
RİSK SEVİYELERİNE GÖRE MALİYET HESAPLAMA

6.1 Jeomorfolojik Yaklaşım Risk Sonuçlarına Göre Maliyet

Bu bölümde uzman görüşüne dayalı jeomorfolojik yöntem nitel bir yöntem olmasına rağmen, bu yöntemde fiziksel ve ekonomik zarargörebilirliğe göre belirlenen risk elamanlarının risk seviyelerine göre maliyeti hesaplanabilir. Bu amaçla yol, tarım ve binaları risk seviyesine göre maliyetleri hesaplanmıştır. Burada yol maliyetinin hesaplamasında asfalt yapım fiyatı, yol uzunluğu ve genişliğine bağlı olarak yapılmıştır (Şekil 61 ve 62). Anayollar (AO) için hesaplanan asfalt değerinin yanında bu alanda yol için kullanılan banket ve oto korkuluk gibi unsurların fiyatı da eklenmiştir. Ayrıca bu hesaplamalara işçilik ücreti de dahil edilmiştir (Tablo 30). Yapı unsurları ve tarım alanları için maliyet hesabı ise ortalama emlak indeksi (m^2) fiyatı üzerinden hesaplanmıştır (Tablo 31 ve 32).



Şekil 61: Dikey asfalt yol genişliği örneği ve asfalt yapımında kullanılan malzeme.



Şekil 62: Asfalt yol genişliği hesaplaması örneği.

Tablo 30: Asfalt yol için maliyet belirleme.

Risk değeri	Uzunluk (m ²)	Aşınma	BİNDER	Bitümlü temel	PMT	PMAT	Kanal Betonunu	Otokorkuluk	Toplam maliyet	Açıklama
AO, RS=Y 14	200.54	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392	6,164	2,889,750	2,994,441	E80-D100
AO, RS=Y 14	28897.5	4,513,212	6,159,676	10,652,774	8,957,457	7,903,277	1,213,695		39,400,091	D885
İY, RS=Y 13	99.36	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392			98,527	
İY, RS=Y 14	8233653.42	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392			98,527	
İY, RS=Y 24	636.15	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392			98,527	
İY, RS=Y 33	146.76	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392			98,527	
İY, RS=Y 42	38.6	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392			98,527	
İY, RS=Y 43	74.56	11,645	15,893	27,486	23,112	20,392			98,527	
									42,985,692	

Tablo 31: Yapı unsurları için maliyet belirleme.

Risk seviyesi	Emlak İndeksi (TL)	Yapı alanı (m ²)	Fiyat (TL)
YYB, RS=Y14	1,219	66,976	81,643,744
YYB, RS=Y24	1,219	988	1,204,372
DYB, RS=Y14	1,219	174,414	212,610,666
DYB, RS=Y24	1,219	3,650	4,449,350
	Toplam (TL)	246,028	299,908,132

Tablo 32: Tarım alanları için maliyet belirleme.

Risk seviyesi	Emlak indeks (TL)	Tarım alanı (m²)	Arazi fiyatı (TL)
STA, Rs = Y14	100	5,270,754	527,075,400
KTA, Rs = Y14	100	332	33,198
KTNA, Rs = Y13	100	3,443	344,252
KTNA, Rs = Y14	100	10,891,408	1,089,140,800
KTNA, Rs = Y24	100	26,028	2,602,800
KTNA, Rs = Y44	100	36,965	3,696,500
Toplam		16228929.5	1,622,892,950

Yol risk seviyesine göre maliyet hesaplanmasında kullanılan malzeme ve yol genişliğine bağlı olarak en fazla maliyet AO tipi yolda görülmektedir. Bu yollar daha çok kaya düşmelerinin tehdidinde bulunmaktadır. Tarım alanlarında ise KTNA alanlar daha fazla risk tehdidi altında bulunup, maliyeti yüksek risk elemanlarını oluşturmaktadır. Yapı unsurlarında ise, DYB binaların daha fazla risk altında olan alanlardır.

6.2 M-AHP Risk Sonuçlarına Göre Maliyet

Çalışma alanında M-AHP ile yapı, altyapı (yol) ve tarım için risk için maliyet değerlendirmesi de yapılmıştır. Değerlendirme “M-AHP risk (maliyet)= Tehlike x Zarargörebilirlik x Risk Elemanı x Maruz kalma x Fiyat“ formülüne bağlı olarak değerlendirilmiştir (Tablo 33, 34, 35, 36).

Tablo 33: Düşük Yoğunluklu Bina (DYB) için maliyet belirleme.

No	Bina tipi	Tehlike	Zarargörebilirlik	Bina alan (m ²)	Emlak endeksi (TL)	R (maliyet) =T x Z x E x F
1	DYB	T ₍₁₎	Z ₍₁₎	Bina alan ₍₁₎	Emlak endeksi ₍₁₎	R (maliyet) ₍₁₎
2	DYB	T ₍₂₎	Z ₍₂₎	Bina alan ₍₂₎	Emlak endeksi ₍₂₎	R (maliyet) ₍₂₎
3	DYB	T ₍₃₎	Z ₍₃₎	Bina alan ₍₂₎	Emlak endeksi ₍₂₎	R (maliyet) ₍₂₎
.						
.						
.						
n	DYB _(n)	T _(n)	Z _(n)	Bina alan _(n)	Emlak endeksi _(n)	R (maliyet) _(n)
Toplam (TL)						57,984,826

Tablo 34: Yüksek Yoğunluklu Bina (YYB) için maliyet belirleme.

No	Bina tipi	Tehlike	Zarargörebilirlik	Bina alan (m ²)	Emlak endeksi (TL)	R (maliyet) =T x Z x E x F
1	YYB	T ₍₁₎	Z ₍₁₎	Bina alan ₍₁₎	Emlak endeksi ₍₁₎	R (maliyet) ₍₁₎
2	YYB	T ₍₂₎	Z ₍₂₎	Bina alan ₍₂₎	Emlak endeksi ₍₂₎	R (maliyet) ₍₂₎
3	YYB	T ₍₃₎	Z ₍₃₎	Bina alan ₍₂₎	Emlak endeksi ₍₂₎	R (maliyet) ₍₂₎
.						
.						
.						
n	YYB _(n)	T _(n)	Z _(n)	Bina alan _(n)	Emlak endeksi _(n)	R (maliyet) _(n)
Toplam (TL)						53,738,817

Bu sonuca göre toplam DYB ve YYB için risk maliyeti 111,723,643 TL'dir.

Tablo 35: Yol için maliyet belirleme.

<i>Yol tipi</i>	<i>Tehlike</i>	<i>Zarargörebilirlik</i>	<i>Uzunluk (m³)</i>	<i>Miktar(TL)</i>	<i>R (maliyet) (TL)=T x Z x E x F</i>
AO	0.54	0.68	1079.1	3700	1,466,052
AO	0.54	0.68	27818.4	3700	37,794,189
İY	0.60	0.52	35.4	653	7,207
İY	0.60	0.57	74.6	653	16,653
İY	0.60	0.52	3.2	653	657
İY	0.47	0.57	116.6	653	20,401
İY	0.47	0.57	30.1	653	5,273
İY	0.51	0.70	21.7	653	5,049
İY	0.67	0.70	614.5	653	188,199
İY	0.54	0.70	1003.0	653	247,575
İY	0.54	0.70	362.1	653	89,387
İY	0.54	0.70	50884.9	653	12,560,420
İY	0.54	0.70	161.0	653	39,751
İY	0.54	0.70	256.0	653	63,181
İY	0.54	0.70	51.6	653	12,746
TKTY	0.70	0.72	334.5	10	1,686
TKTY	0.60	0.72	2438.7	10	10,535
TKTY	0.54	0.72	130.7	10	508
TKTY	0.54	0.72	1581.0	10	6,147
TKTY	0.54	0.72	2705.2	10	10,518
TKTY	0.54	0.72	654.9	10	2,546
TKTY	0.54	0.72	13038.2	10	50,693
TKTY	0.54	0.72	193.7	10	753
TKTY	0.54	0.72	42.8	10	166
Toplam					52,525,096

Tablo 36: Tarım alanı için maliyet belirleme.

<i>Tarım tipi</i>	<i>Tehlike</i>	<i>Zarargörebilirlik</i>	<i>Emlak endeksi (TL)</i>	<i>Tarım Alanı</i>	<i>R (maliyet) = T x Z x E x F</i>
KTNA	0.54	0.69	100	1170268	43,604,172
KTNA	0.54	0.69	100	237784	8,859,840
STA	0.54	0.72	100	3404	132,357
KTNA	0.67	0.69	100	8363	386,645
STA	0.67	0.72	100	1563	75,397
STA	0.60	0.72	100	5031	217,342
KTNA	0.60	0.69	100	11588	479,761
KTNA	0.60	0.69	100	3366	139,366
KTNA	0.70	0.69	100	22010	1,063,077
KTNA	0.54	0.54	100	3443	100,384
KTNA	0.66	0.69	100	2444	111,315
KTNA	0.54	0.69	100	30192	1,124,961
KTNA	0.54	0.69	100	17079	636,361
KTNA	0.54	0.69	100	9433640	351,497,443
STA	0.54	0.72	100	9671	376,025
STA	0.54	0.72	100	24783	963,552
STA	0.54	0.72	100	5183188	201,522,343
KTA	0.54	0.70	100	332	12,549
STA	0.54	0.72	100	49708	1,932,635
KTNA	0.67	0.69	100	17665	816,652
Toplam					614,052,174

Genel olarak jeomorfolojik yaklaşımın sonuçları ile M-AHP yaklaşımının sonuçları karşılaştırıldığında, tehlike ve zarargörebilirlik oranıyla çarpılmasından elde edilen M-AHP risk seviyesinin risk elemanlarının birim fiyatı çarpılmasıyla ortaya çıkan risk maliyeti yapı ve tarım için jeomorfolojik yaklaşımdaki maliyetten yaklaşık 2 katı oranında daha düşüktür. Fakat M-AHP yol maliyeti, normal maliyet hesabını gösteren jeomorfolojik yaklaşımdan daha yüksektir. Bunun temel sebebi ise M-AHP ile hesaplanan yol tehlike ve zarargörebilirlik karar yüzdelerinin yüksek olmasıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tektonik denetimli Kelkit Çayı'nın oluşturduğu son derece çizgisel ve derin vadi olan çalışma alanı, yükseklik farkları dolayısıyla depremler kadar kütle hareketleri bakımından da son derece aktiftir. Bu alanda Umurca ve Koyulhisar arasında Türkiye'nin en büyük anakaya heyelanlarından birisi olan Koyulhisar heyelanı (~23.2 km²), 2005 yılının bahar döneminde 15 kişinin ölümüyle sonuçlanan Sugözü heyelanı ve plato yamaçlarında iç içe gelişmiş pek çok heyelan bulunmaktadır. Farklı tipte heyelanların tespit edildiği alanda egemen heyelan tipi kayma ve akmalar olarak belirlenmiştir. Heyelan dağılımı açısından vadinin kuzey ve güney yamaçları arasındaki farklılık dikkat çekicidir. Çalışma alanında heyelanların büyük bir kısmının vadinin kuzey kesiminde geliştiği tespit edilmiştir.

Güney kesimde heyelan yoğunluğunun düştüğü, Kelkit Vadisi yan yamaçlarından ziyade, geride dağlık alanda yer almaktadır ve toplam heyelanlı alan bakımından en yüksek değerlere Bakacak Tepe'nin (1906 m) güney kesiminde rastlanılmaktadır. Vadinin her iki kesiminde ortaya çıkan dağılım ve yoğunluk değerlerinin farklılığının ana nedeni doğrudan atım bileşenli Kuzey Anadolu Fayı'na bağlı olarak ortaya çıkan litolojik kontrast olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fayın her iki bloğunda farklılık gösteren litolojik birimlerden kuzeyde yüzeylenen Eosen ve Üst Kretase volkanit-çökel kaya birimleri heyelan yoğunluğu değerlerinin en yüksek olduğu birimlerdir. Bölgedeki en önemli yapısal unsur KAF ile faya olan uzaklıktaki noktasal ve alansal heyelan yoğunluğunda heyelan dağılımının faydan bağımsız, buna karşın faydan uzaklığın ilk bir kaç kilometresinde alansal olarak daha küçük heyelanların fay tarafından kontrol edildiği tespit edilmiştir. Bu fayın deformasyon zonunun gerisindeki alanda topoğrafik röliyef ve eğim değerlerinin daha yüksek olması ile doğrudan ilişkilidir. Buna karşın bölgede gerçekleşen depremler sonucu tetiklenen heyelanlara ilişkin bir kayıt bulunmaması bunların doğrudan tetikleyici mekanizmayla ilişkilendirilmesini güçleştirmiştir.

Çalışma sahasında uzun yıllık yağış ortalamalarına göre en yüksek artışın yıkıcı etkiye sahip büyük heyelanların meydana geldiği 2004-2010 arasındaki periyoda karşılık geldiği ortaya konulmuştur. KAF'ın şekillendirdiği vadinin kuzey ve güney arasındaki belirgin bir asimetriden dolayı yağış kuzey kesimde güney kesime oranla daha yüksek ve kısa mesafelerde yükseltiye bağlı olarak değişim göstermektedir. Kuzey bölümde en yüksek yağışlar büyük paleo-heyelanlar içinde gerçekleşen katastrofik heyelanların da bulunduğu havza kuzeyindeki üst kesimlerde ve kireçtaşından oluşan yapısal platonun kenar yamaçlarında meydana gelmektedir.

Topoğrafik bakımdan heyelanların gelişimi ve dağılımı üzerindeki rollerinde genel olarak akmalarda üzerinde topoğrafik yükselti ve eğimin rolü yüksektir. Düşmelerde yükselti, eğim ve röliyeğin denetleyici bir faktör olarak rolünün kayma ve akmalara göre daha yüksek, kaymalarda ise belirgin bir topoğrafik denetiminin akma ve düşmelere göre olmadığı ortaya konulmuştur. Kaymaların diğer heyelan tiplerine göre genel havza topoğrafyasını yansıttığı görülmüştür. Bunun ana nedeni; ekstrem büyüklükteki kayma tipindeki Koyulhisar heyelanının (~23.2 km²) toplam heyelanlı alanların %45'ini temsil etmesi ve heyelan gerçekleştikten sonra Koyulhisar yerleşiminin bulunduğu yamaçların eğim oranının düşmesi ve kaymaların topoğrafik değerlerinin de saha ortalamasına benzer bir dağılım göstermesidir. Mekânsal dağılım açısından topoğrafik faktörlere bakıldığında, yamaç eğim ve topoğrafik röliyef değerlerinin havzanın batısında ve özellikle bu kısımda Kelkit Vadisinin kuzey kesiminde arttığı gözlenmiştir. Buna karşılık heyelan yoğunluk değerlerindeki artış da dikkat çekicidir. Özellikle kaya düşmelerinin ve yer yer de kayma tipinde büyük ana kaya heyelanlarının yer aldığı bu kesimde akarsu derine kazma oranları da yüksektir.

Tektonik bakımdan aktif bir alan olan araştırma sahasındaki yükseklik farklarına sebep olan bölgesel yükselime karşılık (Zabcı vd. 2011) akarsuyun yatağını derinleştirmesi havzada belirgin röliyef farklılığının temel nedenidir. Bu farklar ile özellikle Kelkit Vadisi'nin yan yamaçlarında gelişen heyelanların sürekli gençleştiği, bir başka ifadeyle var olan kütlelerin topuklarında meydana gelen akarsu aşındırmasıyla heyelanların tekrardan aktif hale geçerek iç içe birçok heyelanı meydana getirdiği hem geçmiş dönemlere ait hava fotoğraflarında hem de farklı

dönemlerde gerçekleştirdiğimiz saha çalışmaları ile gözlenmiştir. Bu alanda meydana gelen Sugözü heyelanı bu sürece verilebilecek iyi örneklerden biridir. Gökçeoğlu vd. (2005) Alanda gelişen birçok heyelanın (ör. Aklan heyelanı (Koyulhisar yerleşiminin kuzeyi)) benzer mekanizmayla tetiklendiği bilinmektedir (Yılmaz, 2009). Özellikle Mart ve Nisan aylarında ani kar erimelerinin gerçekleştiği ve bunların bazı heyelanları tetiklediği saha çalışmaları sırasında yerel idare sorumluları ve yöre halkı ile yapılan görüşmelerde de belirtilmiştir.

Heyelan aktivitesinin yüksek olduğu çalışma alanında, meydana gelen yamaç yenilenmeleri ve bunların aktivite dağılımı izlenerek 1958-2017 yılları arasında heyelan alanlarında 2.3 km²'lik bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir. Büyük ve katastrofik etkiye sahip heyelanların 1990-2006 yılları arasında (1.65 km²) ve daha çok paleo-heyelanlar içerisinde meydana geldiği (örn. Sugözü, Aklan çevresinde) görülmektedir.

Aktivite durumu bakımından; aktif, yeniden aktivite olmuş ve askıda heyelanların bulunduğu, aktivite dağılımı bakımından ise ilerleyen ve genişleyen heyelanların dışında Sugözü ve Koyulhisar bölgelerinde birden fazla aktivite dağılımı görülmektedir. Gerileyen heyelanların kireçtaşı birimlerinde olduğu, genişleyen ve ilerleyen heyelanların ise volkanit-çökel kaya, çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı birimlerde yaygındır. Aklan ve Su gözü gibi havzanın büyük heyelanları uzun dönemli mekânsal sürekliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu heyelanlar kısa dönemde belirgin olmamalarına karşın meydana geldiği dönemde etki mesafesi ve dolayısıyla oluşturduğu tahribat çok yüksektir. Akarsu topuk erozyonun etkisiyle gelişen Kelkit Çayına bitişik Boyalı ve Gökdere heyelanları kısa dönem mekânsal süreklilik üzerinde etkilidir. Aktivite dağılımı ilerleyen karakterdeki bu heyelanların hareketi Kelkit Çayı yönündedir.

Aktivitenin yüksek olduğu dört heyelan bölgesinin farklı kısımlarında tehlikenin şiddeti de değişmektedir. Koyulhisarın kuzeybatısındaki Aklan bölgesi ile güneyindeki ilçe merkezinde tehlike seviyesi daha yüksektir. Burada tehlike seviyesi "T 24" düzeyinde orta düzeydedir. Sugözü bölgesinin kuzeydoğusundaki 2005 moloz akmasından sonrada heyelan yenilenmeleri bu alanlarda tehlikenin "T 43" düzeyinde

çok yüksek olmasına neden olmuştur. Boyalı (1. bölge) alanında orta düzeyden çok yüksek düzeye kadar tehlike alanları bulunmaktadır. Boyalı heyelan bölgesinde heyelan tehlikesi risk elemanlarına tehdit oluşturmaktadır. Burada bulunan tali yollar heyelan malzemeleri ile kapanmaktadır. Ayrıca bu heyelan malzemesi Kelkit Çayına taşımaktadır. İlerki aşamalarda baraj etkisi oluşturma ihtimali yüksektir. Bu dört bölge içerisinde risk elemanları en fazla Koyulhisar bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Yapı ve nüfusun büyük çoğunluğu Koyulhisar (3. bölge) ilçe merkezinde bulunmaktadır. Bu yapılardan bir kısmı halen aktif olan merkezdeki sığ heyelan üzerinde yer almaktadır. Bu sığ heyelan alanı ikamet edebilme sınırını oluşturmakta olduğundan buradaki yapılar risk altındadır. Bu alanda yapılarda deformasyon, çatlaklar meydana gelmektedir. Bazı binaların tabanın su birikmekte olup, binada çatlaklara neden olmaktadır. Sugözü heyelan alanında (5. bölge) ise, yapılar daha çok paleo-heyelanın batı kesiminde bulunmaktadır. Bu alanda en yüksek tehlike zonunu “T 43” oluşturan kuzulu heyelan moloz akmasının birikim zonun ön kısmında kısmi bahçe tarımı yapılmaktadır. Bu durum yüksek risk oluşturmaktadır.

Genel olarak bakıldığında yol ağı en fazla Koyulhisar bölgesinde bulunmaktadır (3.bölge). Bu bölgenin önemli bağlantıların kesişim noktasında bulunması ve kritik yapıları birbirine bağlaması bu bölgede fiziksel ve sistemik zarargörebilirliğe göre risk seviyesini yükseltmektedir. Sistemik unsurların Koyulhisar paleo-heyelanında, heyelan frekansının en sık olduğu alanda yer alması dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca Koyulhisar bölgesinde m²'ye düşen insan sayısının en yoğun olduğu alanlar (okul, dini tesis, sosyal tesis) sosyal zarargörebilirliğe göre riske sahiptir. Heyelan riskinin en yüksek olduğu alanlardan biri olan Boyalı bölgesinde (1.Bölge) İkincil yollar zaman zaman heyelan malzemesi ile de örtülmektedir. Ekonomik zarargörebilirlik açısından risk ise, daha çok Koyulhisar bölgesinde (3.bölge) görüldüğü tespit edilmiştir.

Risk maliyet durumuna bakıldığında; Jeomorfolojik yaklaşıma göre tüm risk düzeylerinde toplam yol maliyeti 42,985,692 TL'dir. Bu maliyet yapı unsurları için toplam maliyet 299,908,132 TL'dir. Tarım için ise toplam maliyet 1,662,892,950 TL'dir. Bu değerler M-AHP yaklaşımına göre yapı unsurları için toplam

maliyet111,723,643TL'dir. Tüm yol tipleri için toplam M-AHP risk maliyeti 52,525,096 TL ve tarım için 614,052,174 TL'dir. Bu maliyetler her iki yaklaşıma göre maksimum toplam risk maliyetini ifade etmektedir.

Genel olarak çalışma kapsamında belirlenen risk elemanlarının risk düzeyini ifade eden çıktılar (bkz. Ekler), oluşabilecek bir afetin zararının minimum düzeyde olması için planlama ve önleme aşamasında karar vericilere destek sağlamasının yanında, ayrıca tehlike sonucu oluşabilecek risk maliyeti ile karar vericilere yarar sağlayacaktır. Bu risk haritaları ile DSİ, valilik, imar revizyonu için belediye, gibi resmi ve özel kurum kuruluşları çalışmalarında altlık niteliğinde kullanılabilir. Böylece bu çalışma kapsamında ele alınan bilimsel bakımdan söz konusu risklerin belirlenmesi ile bir doğa olayının afet boyutu ulaşması durumunda beşeri varlıkların bu süreçte minimum düzeyde etkilenmesini hedeflemiş ve bu yönüyle çalışmanın gelecekte pratiğe taşınması ile topluma gereken hizmeti sunmuş olacağı kanaatindeyim.

KAYNAKÇA

- Abdolmasov, B., & Obradovic, I.: 1997 “Evaluation of geological parameters for landslide hazard mapping”. **Paper presented at the Proc. of Int. Symp. on Eng. Geol. and Env.**
- Abella, E. C., & Van Westen, C.: 2007 “Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation”. **Landslides**, 4 (4), 311-325.
- Abella, E. A. C., & Van Westen, C. J.:2008 “Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis”: a case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. **Geomorphology**, 94 (3-4), 453-466.
- Adrianto, L., & Matsuda, Y.: 2002 “Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions”. **Environmental Impact Assessment Review**, 22 (4), 393-414.
- Ahmed, B.: 2015 “Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh”. **Landslides**, 12 (6), 1077-1095.
- Akgun, A., & Türk, N.: 2010 “Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis”. **Environmental Earth Sciences**, 61 (3), 595-611.
- Akgun, A., Sezer, E. A., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Pradhan, B.: 2012a “An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm”. **Computers & Geosciences**, 38 (1), 23-34.

- Akgun, A., Kincal, C., & Pradhan, B.: 2012b “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 (9), 5453-547.
- Alcántara-Ayala, I.: 2002 “Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries”. **Geomorphology**, 47 (2), 107-124.
- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H.-J., & Lee, J. H.: 2014 “A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping”. **Catena**, 114, 21-36.
- Anbalagan, R.: 1992 “Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain”. **Engineering Geology**, 32 (4), 269-277.
- Anderson, S. P., Dietrich, W. E., & Brimhall, G. H.: 2002 “Weathering profiles, mass-balance analysis, and rates of solute loss: Linkages between weathering and erosion in a small, steep catchment”. **Geological Society of America Bulletin**, 114 (9), 1143-1158.
- Arpat, E., & Şaroğlu, F., (1975), “Türkiye’deki bazı önemli genç tektonik olaylar”. **Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni**, 18 (1), 91-101.
- Atkinson, P. M., & Massari, R.: 1998 “Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy”. **Computers & Geosciences**, 24 (4), 373-385.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H.: 2005 “The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko

- Mountains, Central Japan”. **Geomorphology**, 65 (1), 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., & Kanno, T.: 2005 “Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications”. **Engineering Geology**, 81 (4), 432-445.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N.: 2004 “Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan”. **Landslides**, 1 (1), 73-81.
- Ayeneu, T., & Barbieri, G.: 2005 “Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia”. **Engineering Geology**, 77 (1-2), 1-15.
- Baeza, C., & Corominas, J.: 2001 “Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques”. **Earth surface processes and landforms**, 26 (12), 1251-1263.
- Bai, S.-B., Wang, J., Lü, G.-N., Zhou, P.-G., Hou, S.-S., & Xu, S.-N.: 2010 “GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China”. **Geomorphology**, 115 (1-2), 23-31.
- Bai, S., Lü, G., Wang, J., Zhou, P., & Ding, L.: 2011 “GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China”. **Environmental Earth Sciences**, 62 (1), 139-149.
- Bălțeanu, D., Chendeș, V., Sima, M., & Enciu, P.: 2010 “A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania”. **Geomorphology**, 124 (3), 102-112.

- Baltzer, A.: 1875 “Über bergstürze in den Alpen”. Verlag der Schabelitz’schen buchhandlung (C. Schmidt), 50p.
- Barka, A., (1981”Seismo-tectonic aspects of the North Anatolian fault zone”. **Doktora Tezi.**
- Barka, A. A., & Gülen, L.:1989 “Complex evolution of the Erzincan Basin (eastern Turkey)”. Journal of **Structural Geology**, 11 (3), 275-283.
- Bathrellos, G. D., Kalivas, D., & Skilodimou, H. D.: 2009 “GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban planning in Trikala, Central Greece”. **Estud Geol**, 65 (1), 49-65.
- Bayrakdar, C., & Görüm, T.: 2012 “Yeşil Göl heyelanı'nın jeomorfolojik özellikleri ve oluşum mekanizması”. **TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ** (59),
- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M., & Marschalko, M., (2010”Landslide susceptibility assessment of the Kral’ovany–Liptovský Mikuláš railway case study”. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 35 (3), 162-171.
- Beguería, S.: 2006 “Changes in land cover and shallow landslide activity: a case study in the Spanish Pyrenees”. **Geomorphology**, 74 (1), 196-206.
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J.: 1979 “A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant”. **Hydrological Sciences Journal**, 24 (1), 43-69.

- Blöthe, J. H., Korup, O., & Schwanghart, W.: 2015 “Large landslides lie low: Excess topography in the Himalaya-Karakoram ranges”. **Geology**, 43 (6), 523-526.
- Böhner, J., & Selige, T.: 2006 “Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation”. **Gottinger Geographische Abhandlungen**, 115, 13-28.
- Bogolomov, L.: 1963 “Topographical Interpretation of Aerial Photographs of Natural Landscape”. **Moscow, Gosgeoltekhizdat, JPRS**, 17-771.
- Bourenane, H., Bouhadad, Y., Guettouche, M. S., & Braham, M.: 2015 “GIS-based landslide susceptibility zonation using bivariate statistical and expert approaches in the city of Constantine (Northeast Algeria)”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 74 (2), 337-355.
- Brabb, E. E., & Pampeyan, E. H.: 1972 Preliminary map of landslide deposits in San Mateo County, California. Retrieved from
- Brardinoni, F., Slaymaker, O., & Hassan, M. A.: 2003 “Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data”. **Geomorphology**, 54 (3), 179-196.
- Budetta, P., Santo, A., & Vivencio, F.: 2008 “Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach”. **Geomorphology**, 94 (3), 340-352.
- Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O.,

- Revhaug, I., & Dick, O. B.: 2012 Marquardt and Bayesian regularized neural networks”. **Geomorphology**, 171, 12-29.
- Bui, D. T., Tuan, T. A., Klempe, H., Pradhan, B., & Revhaug, I.: 2016 “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**, 13 (2), 361-378.
- Bui, D. T., Nguyen, Q. P., Hoang, N.-D., & Klempe, H.: 2017 “A novel fuzzy K-nearest neighbor inference model with differential evolution for spatial prediction of rainfall-induced shallow landslides in a tropical hilly area using GIS”. **Landslides**, 14 (1), 1-17.
- Can, T., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., & Duman, T. Y.: 2005 “Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses”. **Geomorphology**, 72 (1), 250-271.
- Cannon, S. H., & Ellen, S.: 1985 “Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California”. **California geology**, 38 (12), 267-272.
- Cannon, T., Twigg, J., & Rowell, J.: 2003 Social vulnerability, sustainable livelihoods and disasters. In: London: **DFID**.
- Cardinali, M., Ardizzone, F., Galli, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P.: 2000 “Landslides triggered by rapid snow melting: the December 1996–January 1997 event in Central Italy”. **Paper presented at the In Proceedings 1st Plinius Conference on Mediterranean Storms**.

- Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., & Guzzetti, F.: 2007 “Comparing landslide rates in the northern and central Apennines, Italy”, Vienna, Austria.
- Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., Guzzetti, F., & Reichenbach, P.: 2007 “Comparing landslide rates in the northern and central Apennines, Italy”. Paper presented at the Geophysical Research Abstracts.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M., & Salvati, P.: 2002 “A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy”. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2 (1/2), 57-72.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P.: 1991 “GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard”. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16 (5), 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P.: 1995 GIS technology in mapping landslide hazard. In *Geographical information systems in assessing natural hazards* (pp. 135-175): Springer.
- Carrara, A., Crosta, G., & Frattini, P.: 2003 “Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard”. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (10), 1125-1142.

- Carrara, A., Crosta, G., & Frattini, P.: 2008 “Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine **environment**”. **Geomorphology**, 94 (3), 353-378.
- Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., & Montero-Olarte, J.: 2005 “Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development”. **Landslide Risk Management**. Taylor and Francis, London, 199-235.
- Cevik, E., & Topal, T.: 2003 “GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey)”. **Environmental Geology**, 44 (8), 949-962.
- Chang, S.-C.: 1992 “The simprecise mapping and evaluation system for engineering geological and landslide hazard zonation”. **Paper presented at the Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides**.
- Chang, Y.-L., Liang, L.-S., Han, C.-C., Fang, J.-P., Liang, W.-Y., & Chen, K.-S.: 2007 “Multisource data fusion for landslide classification using generalized positive Boolean functions”. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 45 (6), 1697-1708.
- Chau, K., Sze, Y., Fung, M., Wong, W., Fong, E., & Chan, L.: 2004 “Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS”. **Computers & Geosciences**, 30 (4), 429-443.
- Chau, K., & Chan, J.: 2005 “Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: case of Hong Kong Island”. **Landslides**, 2 (4), 280-290.

- Chen, W., Pourghasemi, H. R., Panahi, M., Kornejady, A., Wang, J., Xie, X., & Cao, S.: 2017a
 “Spatial prediction of landslide susceptibility using an adaptive neuro-fuzzy inference system combined with frequency ratio, generalized additive model, and support vector machine techniques”. **Geomorphology**, 297, 69-85.
- Chen, W., Pourghasemi, H. R., & Zhao, Z.: 2017b
 “A GIS-based comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping”. **Geocarto International**, 32 (4), 367-385.
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D. T., Duan, Z., & Ma, J.: 2017c
 “A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility”. **Catena**, 151, 147-160.
- Choubey, V., & Litoria, P.: 1990
 “Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, a terrain evaluation approach”. **Paper presented at the 6th IAEG Congress.**
- Choubey, V., Chaudhari, S., & Litoria, P.: 1992
 “Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri Districts P. Himalaya, India”. **Paper presented at the Landslide Glissements de terrain. Proceeding. Sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, Balkema, Rotterdam.**
- Chowdhury, R., & Flentje, P.: 1997
 “Relevance of mapping for slope stability in Greater Wollongong area”. **Paper presented at the New South Wales, Australia. Proceedings of International**

Symposium on Engineering Geology and the Environment.

Chung, C.-J. F.,), Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In Geographical information systems in assessing natural hazards (pp. 107-133): Springer.

Fabbri, A. G., & Van Westen, C. J.: 1995

Cihangir, M. E: 2013 Alaplı Çayı Sel ve Taşkıbn Analizi. (Basılmamış yüksek lisans tezi), İstanbul, İstanbul.

Cihangir, M. E., & Gorum, T.: 2016 “Kelkit Vadisinin Aşağı Çığrında Gelişmiş Heyelanların Dağılım Deseni ve Oluşumlarını Kontrol Eden Faktörler”. **TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ**, 0 (66),

Clemente Irigaray Fernaández, T. S. F. N. D. C., Rachid El Hamdouni, Joseâ Chacoâ N Montero: 1999

“Verification of landslide susceptibility mapping: a case study”. **Earth Surf. Process. Landforms**, 24, 537-544.

Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., & Vescovi, P.: 2002 “A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method”. **Geomorphology**, 48 (4), 349-364.

Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., & Vescovi, P.: 2006 “A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines)”. **Environmental Geology**, 50 (7), 941-961.

Coelho-Netto, A. L., Avelar, A. S., “Landslide susceptibility in a mountainous geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role

- Fernandes, M. C., & Lacerda, W. A.: 2007 of morphometric subdivision of the terrain". **Geomorphology**, 87 (3), 120-131.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., & Sdao, F.: 2014 "Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy)". **Catena**, 113, 236-250.
- Conoscenti, C., Di Maggio, C., & Rotigliano, E.: 2008 "GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy)". **Geomorphology**, 94 (3), 325-339.
- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M. C., & Vlaicu, M.: 2011 "Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania)". **Environmental Earth Sciences**, 63 (2), 397-406.
- Corominas, J.: 2000 "Landslides and climate In Proceedings". **8th International Symposium on Landslides, Bromhead E, Dixon N, Ibsen ML (eds), A.A. Balkema: Rotterdam vol. 4**, 1-33.
- Corominas, J., & Moya, J.: 1999 "Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain". **Geomorphology**, 30 (1), 79-93.
- Corominas, J., Copons, R., Vilaplana, J. M., Altimir, J., & Amigó, J.: 2003 "Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the principality of Andorra". **Natural Hazards**, 30 (3), 421-435.
- Cotecchia, F., Lollino, P., Santaloia, F.,

- Vitone, C., & Mitaritonna, G.: 2009 and preliminary results". **Geotechnical risk and safety**. **Taylor & Francis Group, London**, 363-370.
- Cotecchia, F., Santaloia, F., Lollino, P., Vitone, C., Cafaro, F., & Bottiglieri, O.: 2016 "A geomechanical approach to landslide hazard assessment: the Multiscalar Method for Landslide Mitigation". **Procedia Engineering**, 158, 452-457.
- Crosta, G.: 1998 "Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation". **Environmental geology**, 35 (2), 131-145.
- Crosta, G., & Frattini, P.: 2003 "Distributed modelling of shallow landslides triggered by intense rainfall". **Natural hazards and earth system science**, 3 (1/2), 81-93.
- Crozier, M. J.: 1997 "The climate-landslide couple: a southern hemisphere perspective. Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the Holocene". **Gustav Fischer Verlag**, 333-354.
- Crozier, M., & Glade, T.: 2005 "Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach". **Landslide hazard and risk**, 1-40.
- Crozier, M. J., & Glade, T.: 2005 "Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach". **Landslide hazard and risk**, 1-40.
- Crozier, M.: 2010 "Landslide geomorphology: An argument for recognition, with examples from New Zealand". **Geomorphology**, 120 (1), 3-15.
- Cruden, D. M., & Fell, R.: 1997 **Landslide risk assessment: AA Balkema Rotterdam**.

- Cruden, D. M., & Varnes, D. J.: 1996 “Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes”. **Transportation research board special report** (247),
- Cutter, S. L.:1996 “Vulnerability to environmental hazards”. Progress in human **geography**, 20 (4), 529-539.
- Çakir, Z., Ergintav, S., Ozener, H., Lasserre, C., Rousset, B., Jolivet, R., Mencin, D., & Bilham, R.: 2016 “Aseismic slip behavior of the North Anatolian Fault, Turkey”. **Paper presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts.**
- Dai, F., & Lee, C.: 2001 “Frequency–volume relation and prediction of rainfall-induced landslides”. **Engineering Geology**, 59 (3-4), 253-266.
- Dai, F., & Lee, C.: 2002 “Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong”. **Geomorphology**, 42 (3), 213-228.
- Dai, F., Lee, C., & Ngai, Y. Y.: 2002 “Landslide risk assessment and management: an overview”. **Engineering Geology**, 64 (1), 65-87.
- Dai, F., Xu, C., Yao, X., Xu, L., Tu, X., & Gong, Q.: 2011 “Spatial distribution of landslides triggered by the 2008 Ms 8.0 Wenchuan earthquake, China”. **Journal of Asian Earth Sciences**, 40 (4), 883-895.
- Dalezios, N. R.: 2017 **Environmental Hazards Methodologies for Risk Assessment and Management: IWA Publishing.**

- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A., & Hack, R.: 2010 “Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India)”. **Geomorphology**, 114 (4), 627-637.
- Degraff, J. V., James, A., & Breheny, P.: 2010 “The formation and persistence of the Matthieu landslide-dam lake, Dominica, WI”. **Environmental & Engineering Geoscience**, 16 (2), 73-89.
- Demir, G., Aytekin, M., & Akgun, A.: 2015 “Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye (Tokat, Turkey)”. **Arabian Journal of Geosciences**, 8 (3), 1801-1812.
- Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I. C., Dhital, M. R., & Althuwaynee, O. F.: 2012 “Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya”. **Natural Hazards**, 65 (1), 135-165.
- Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I. C., Dhital, M. R., & Althuwaynee, O. F.: 2013 “Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya”. **Natural Hazards**, 65 (1), 135-165.

- Dewey, J., Hempton, M., Kidd, W., Saroglu, F., & Şengör, A., (1986), “Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone”. **Geological Society, London, Special Publications**, 19 (1), 1-36.
- Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L., & Ibsen, M. L.: 1996 *Landslide recognition: identification, movement, and causes: Wiley.*
- Dikau, R., & Schrott, L.: 1998 “The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC): main objectives and results”. **Geomorphology**, 30 (1), 1-12.
- Dikau, R.: 1999 *The recognition of landslides. In Floods and Landslides: Integrated Risk Assessment (pp. 39-44): Springer.*
- Dou, J., Bui, D. T., Yunus, A. P., Jia, K., Song, X., Revhaug, I., Xia, H., & Zhu, Z.: 2015a “Optimization of causative factors for landslide susceptibility evaluation using remote sensing and GIS data in parts of Niigata, Japan”. **PloS one**, 10 (7), e0133262.
- Dou, J., Yamagishi, H., Pourghasemi, H. R., Yunus, A. P., Song, X., Xu, Y., & Zhu, Z.: 2015b “An integrated artificial neural network model for the landslide susceptibility assessment of Osado Island, Japan”. **Natural Hazards**, 78 (3), 1749-1776.
- Douglas, J.: 2007 “Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment”. **Natural Hazards and Earth System Science**, 7 (2), 283-288.
- Dor, O., Yildirim, C., Rockwell, T. K., Ben-
- rupture zones of the 1943 and 1944 earthquakes on the

- Zion, Y., Emre, O., Sisk, M., And Duman, T. Y.: 2008 North Anatolian Fault: possible signals for preferred earthquake propagation direction.” *Geophysical Journal International*, 173 (2), 483-504.
- Dragičević, S., Lai, T., & Balram, S.: 2015 “GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments”. **Habitat International**, 45, 114-125.
- Duman T.Y., N. H., Gökçeoğlu C., Ve Sönmez H.: 2005 “KUZULU (SİVAS–KOYULHİSAR) HEYELANI”. **Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Hacettepe Üniversitesi.**
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., & Sonmez, H.: 2006 “Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey”. **Environmental Geology**, 51 (2), 241-256.
- Düzgün, H., & Özdemir, A.: 2006 “Landslide risk assessment and management by decision analytical procedure for Dereköy, Konya, Turkey”. **Natural Hazards**, 39 (2), 245-263.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., & Roberts, S.: 2004 Quantifying social vulnerability: a methodology for identifying those at risk to natural hazards: Geoscience Australia Canberra.
- Ercanoglu, M., & Gokceoglu, C.: 2002 “Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach”. **Environmental Geology**, 41 (6),
- Ercanoglu, M., & Gokceoglu, C.: 2004 “Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black

- Sea Region, Turkey)". **Engineering Geology**, 75 (3-4), 229-250.
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., & Van Asch, T. W.: 2004 "Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques". **Natural Hazards**, 32 (1), 1-23.
- Ercanoglu, M., & Temiz, F.: 2011 "Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey)". **Environmental Earth Sciences**, 64 (4), 949-964.
- Erdem, F.:1987 "Kelkit Havzasında Sediment Erozyon İlişkileri". **Jeomorfoloji Dergisi**, 15, 65-73, Ankara.
- Erener, A.: 2009 "Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama kullanılarak heyelan riski belirleme yaklaşımı". **Yayımlanmamış Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.**
- Erener, A., & Düzgün, H. S.: 2013 "A regional scale quantitative risk assessment for landslides: case of Kumluca watershed in Bartın, Turkey". **Landslides**, 10 (1), 55-73.
- Ergene, A.: 1987 Toprak biliminin esasları.
- Erinç, S.: 1969, Klimatoloji ve metodları: İstanbul Üniversitesi, Companyğrafya Enstitüsü.
- Ermini, L., Catani, F., & Casagli, N.: 2005 "Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment". **Geomorphology**, 66 (1), 327-343.

- Erol, O.: 1999 “Genel Klimatoloji (Genişletilmiş 5. Baskı)”. **Çantay Kitabevi**, istanbul.
- Falaschi, F.,
Giacomelli, F.,
Federici, P.,
Puccinelli, A., Avanzi,
G. A., Pochini, A., &
Ribolini, A.: 2009 “Logistic regression versus artificial neural networks: landslide susceptibility evaluation in a sample area of the Serchio River valley, Italy”. **Natural Hazards**, 50 (3), 551-569.
- Feizizadeh, B.,
Roodposhti, M. S.,
Jankowski, P., &
Blaschke, T.: 2014 “A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping”. **Computers & Geosciences**, 73, 208-221.
- Fernández, T.,
Irigaray, C., El
Hamdouni, R., &
Chacón, J.: 2003 “Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS. Application to the Contraviesa area (Granada, Spain)”. **Natural Hazards**, 30 (3), 297-308.
- Fick, S. E., &
Hijmans, R. J.: 2017 “WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas”. **International journal of climatology**, 37 (12), 4302-4315.
- Fiorucci, F., Cardinali,
M., Carlà, R., Rossi,
M., Mondini, A.,
Santurri, L.,
Ardizzone, F., &
Guzzetti, F.: 2011 “Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images”. **Geomorphology**, 129 (1), 59-70.

- Fiorucci, F., Cardinali, M., Carlà, R., Rossi, M., Mondini, A. C., Santurri, L., & Guzzetti, F.: 2011 “Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images”. **Geomorphology**, 129 (1), 59-70.
- Flageollet, J.-C., Maquaire, O., Martin, B., & Weber, D.: 1998 “Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Southern French Alps, France)”. **Geomorphology**, 30 (1), 65-78.
- Gallant, J. C., & Dowling, T. I.: 2003 “A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas”. **Water Resources Research**, 39 (12),
- Galli, M., & Guzzetti, F.: 2007 “Landslide vulnerability criteria: a case study from Umbria, Central Italy”. **Environmental management**, 40 (4), 649-665.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P.: 2008 “Comparing landslide inventory maps”. **Geomorphology**, 94 (3), 268-289.
- Gaprindashvili, G., & Van Westen, C. J.: 2016 “Generation of a national landslide hazard and risk map for the country of Georgia”. **Natural Hazards**, 80 (1), 69-101.
- García-Rodríguez, M. J., Malpica, J., Benito, B., & Díaz, M.: 2008 “Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression”. **Geomorphology**, 95 (3), 172-191.

- Gariano, S. L., Brunetti, M. T., Iovine, G., Melillo, M., Peruccacci, S., Terranova, O., Vennari, C., & Guzzetti, F.: 2015 “Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy”. **Geomorphology**, 228, 653-665.
- Glade, T., Anderson, M. G., & Crozier, M. J.: 2006 *Landslide hazard and risk: John Wiley & Sons.*
- Goetz, J., Brenning, A., Petschko, H., & Leopold, P.: 2015 “Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling”. **Computers & Geosciences**, 81, 1-11.
- Goetz, J. N., Guthrie, R. H., & Brenning, A.: 2011 “Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models”. **Geomorphology**, 129 (3-4), 376-386.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., & Can, T.: 2005 “The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity”. **Engineering Geology**, 81 (1), 65-83.
- Gokceoglu, M. E. C.: 2002 “Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach”. **Environmental Geology**, 41 (6), 720-730.
- Gomez, H., & Kavzoglu, T.: 2005 “Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela”. **Engineering Geology**, 78 (1), 11-27.

- Gorum, T., Fan, X., Van Westen, C. J., Huang, R. Q., Xu, Q., Tang, C., & Wang, G.: 2011 “Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake”. **Geomorphology**, 133 (3-4), 152-167.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., & Nefeslioglu, H.: 2008a “Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey)”. **Natural Hazards**, 46 (3), 323-351.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., & Nefeslioglu, H. A.: 2008b “Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey)”. **Natural Hazards**, 46 (3), 323-351.
- Gorum, T., Korup, O., Van Westen, C. J., Van Der Meijde, M., Xu, C., & Van Der Meer, F. D.: 2014 “Why so few? Landslides triggered by the 2002 Denali earthquake, Alaska”. **Quaternary Science Reviews**, 95, 80-94.
- Gökceoglu, C., & Aksoy, H.: 1996 “Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques”. **Engineering Geology**, 44 (1-4), 147-161.
- Görüm, T., & Nefeslioğlu, H. A.: 2015 “Çok zamanlı heyelan aktivitesinin belirlenmesinde jeomorfolojik bir yaklaşım”. **TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ** (65),
- Gribbin, J. (2004), Derin Basitlik (A. K. Arda BARIŞTA., Trans.), İstanbul: Alfa Bilim.

- Guillande, R.,
Gelugne, P.,
Bardintzeff, J.,
Brousse, R.,
Chorowicz, J.,
Deffontaines, B., &
Parrot, J.: 1993
“Automatic Mapping of Landslides Hazards Areas in Tahiti Island Using Digital Data”. **Bulletin De La Societe Geologique De France**, 164 (4), 577-583.
- Guinau, M., Pallas, R.,
Vilaplana, J. M., &
Group, R. R.: 2005
“A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: a case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch”. **Engineering Geology**, 80 (3), 316-327.
- Gullà, G., Antronico,
L., Iaquinta, P., &
Terranova, O.: 2008
“Susceptibility and triggering scenarios at a regional scale for shallow landslides”. **Geomorphology**, 99 (1), 39-58.
- Gürsoy, H., Tatar, O.,
Mesci, L., ve
Koçbulut F.:2005
“Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde gelişen 17 Mart 2005 Kuzulu Mahallesi Heyelanının (Sugözü Köyü – Koyulhisar, Sivas) jeolojik, jeomorfolojik özellikleri ve mevcut risk durumu,” ATAG-9: Aktif Tektonik Araştırma Grubu 9. Toplantısı, 22-24 Eylül.
- Gürsoy, H., Tatar, O.,
Koçbulut, F., Mesci,
B.L., Akpınar, Z.,
Tunçer D., ve Yaman,
S.:2006
“Kuzulu (Sugözü-Koyulhisar, Sivas) heyelan bölgesinin temel jeolojik özellikleri: heyelan sahasında gözlenen tektonik yapıların heyelanın gelişiminde rolü var mı?.” ATAG10 - Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, s. 44-45, Sivas.
- Guthrie, R. H., &
Evans, S. G.: 2007
“Work, persistence, and formative events: The geomorphic impact of landslides”. **Geomorphology**, 88 (3-4), 266-275.

- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P.: 1999 “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy”. **Geomorphology**, 31 (1), 181-216.
- Guzzetti, F., Malamud, B. D., Turcotte, D. L., & Reichenbach, P.: 2002 “Power-law correlations of landslide areas in central Italy”. **Earth and Planetary Science Letters**, 195 (3), 169-183.
- Guzzetti, F.: 2005 “Landslide hazard and risk assessment” (**PhD Thesis**), Perugia, Italy: Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F.: 2005 “Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale”. **Geomorphology**, 72 (1-4), 272-299.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M.: 2006 “Estimating the quality of landslide susceptibility models”. **Geomorphology**, 81 (1-2), 166-184.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P.: 2007 “Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe”. **Meteorology and atmospheric physics**, 98 (3-4), 239-267.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli,

- M., Reichenbach, P.,
& Rossi, M.: 2008
- Guzzetti, F.,
Ardizzone, F.,
Cardinali, M., Rossi,
M., & Valigi, D.:
2009
- Hasekioğulları, G. D.,
& Ercanoglu, M.:
2012
- He, Y., & Beighley,
R. E.: 2008
- Hearn, G.: 1995
- Hellström, T.: 2007
- Hewitt, K., Clague,
J., & Orwin, J.: 2008
- Hong, H., Chen, W.,
Xu, C., Youssef, A.
- “Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy”. **Earth and Planetary Science Letters**, 279 (3), 222-229.
- A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey)”. **Natural Hazards**, 63 (2), 1157-1179.
- “GIS-based regional landslide susceptibility mapping: a case study in southern California”. **Earth Surface Processes and Landforms**, 33 (3), 380-393.
- “Landslide and erosion hazard mapping at Ok Tedi copper mine, Papua New Guinea”. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, 28 (1), 47-60.
- “Critical infrastructure and systemic vulnerability: Towards a planning framework”. **Safety science**, 45 (3), 415-430.
- “Legacies of catastrophic rock slope failures in mountain landscapes”. **Earth Science Reviews** (87), 1-38.
- “Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio,

- M., Pradhan, B., & Tien Bui, D.: 2017 certainty factor, and index of entropy”. **Geocarto International**, 32 (2), 139-154.
- Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., & Tien Bui, D.: 2015 “Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines”. **Catena**, 133, 266-281.
- Hong, H., Pourghasemi, H. R., & Pourtaghi, Z. S.: 2016 “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.
- Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M. N., Bui, D. T., Xu, C., & Akgun, A.: 2016 “Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines”. **Environmental Earth Sciences**, 75 (1), 40.
- Hoşgören, Y.: 2004 “Hidrografiya’nın Ana Çizgileri I Yeraltısuları-Kaynaklar-Akarsular (5. Baskı)”. **Çantay Kitabevi, İstanbul.**
- Howe, E.: 1909 “Landslides in the San Juan Mountains, Colorado: including a consideration of their causes and their classification: US Government Printing” Office.
- Huggel, C., Clague, J. J., & Korup, O.: 2012 “Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains?”. **Earth Surface Processes and Landforms**, 37 (1), 77-91.
- Hungr, O., Evans, S., Bovis, M., & Hutchinson, J.: 2001 “A review of the classification of landslides of the flow type”. **Environmental & Engineering Geoscience**, 7 (3), 221-238.

- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L.: 2014
 “The Varnes classification of landslide types, an update”. **Landslides**, 11 (2), 167-194.
- Hussin, H. Y., Zumpano, V., Reichenbach, P., Sterlacchini, S., Micu, M., Van Westen, C., & Bălteanu, D.: 2016
 “Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility model”. **Geomorphology**, 253, 508-523.
- Iliu, I., & Tsangaratos, P.: 2016
 “Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map”. **Landslides**, 13 (2), 379-397.
- Intarawichian, N., & Dasananda, S.: 2011
 “Frequency ratio model based landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand”. **Environmental Earth Sciences**, 64 (8), 2271-2285.
- Iverson, R. M., Schilling, S. P., & Vallance, J. W.: 1998
 “Objective delineation of lahar-inundation hazard zones”. **Geological Society of America Bulletin**, 110 (8), 972-984.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H., Rezaeian, J., & Sattarian, A.: 2014
 “GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran”. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 11 (4), 909-926.
- Jaboyedoff, M., Demers, D., Locat, J., Locat, A., Locat, P.,

- Oppikofer, T., Robitaille, D., & Turmel, D.: 2009 rotational landslides in river banks”. **Canadian Geotechnical Journal**, 46 (12), 1379-1390.
- Jade, S., & Sarkar, S.: 1993 “Statistical models for slope instability classification”. **Engineering Geology**, 36 (1-2), 91-98.
- Jones, F. O.: 1961 “Landslides along the Columbia river Valley”, Northeastern Washington: US Government Printing Office.
- Juang, C., Lee, D., & Sheu, C.: 1992 “Mapping slope failure potential using fuzzy sets”. **Journal of geotechnical engineering**, 118 (3), 475-494.
- Julian, M., & Anthony, E.: 1996 “Aspects of landslide activity in the Mercantour Massif and the French Riviera, southeastern France”. **Geomorphology**, 15 (3-4), 275-289.
- Kanungo, D., Arora, M., Sarkar, S., & Gupta, R.: 2006 “A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas”. **Engineering Geology**, 85 (3), 347-366.
- Kappes, M. S., Pappathoma-Koehle, M., & Keiler, M.: 2012 “Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology”. **Applied Geography**, 32 (2), 577-590.
- Karaca, M., Deniz, A., & Tayanç, M.: 2000 “Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate”. **International journal of climatology**, 20 (10), 1225-1236.

- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I.: 2014 “Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression”. **Landslides**, 11 (3), 425-439.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I.: 2015 “Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm”. **Engineering Geology**, 192, 101-112.
- Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F.: 2013 “Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau watershed, west Nepal”. **Computers & Geosciences**, 52, 398-408.
- Keçer, M. V. T., K.: 1986 “Kuzey Anadolu Fayına Bağlı Olarak Neotektonik Dönemde Oluşan Suşehri Havzası'nın Evrimi”. **Jeomorfoloji Dergisi**, 14, 57-63, Ankara.
- Keller, E., & Pinter, N.: 2002 “Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape”. **Newjersey**. In: Prentice Hall.
- Ketin, İ.: 1969 “Kuzey Anadolu fayı hakkında”. **Maden Tetkik ve Arama Dergisi**, 72 (72),
- Kirschbaum, D., Adler, R., Hong, Y., & Lerner-Lam, A.: 2009 “Evaluation of a preliminary satellite-based landslide hazard algorithm using global landslide inventories”. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 9 (3), 673-686.
- Koçman, A.: 1993 Türkiye İklimi, Ege Üniv. **Edebiyat Fak. Yay**, (72),

- Koçyiğit, A.: 1989 “Suşehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey”. **Tectonophysics**, 167 (1), 13-29.
- Koçyiğit, A., Yilmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S.: 2001 “Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting”. **Geodinamica Acta**, 14 (1-3), 177-195.
- Komac, M.: 2006 “A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia”. **Geomorphology**, 74 (1-4), 17-28.
- Korup, O.: 2005 “Distribution of landslides in southwest New Zealand”. **Landslides**, 2 (1), 43-51.
- Korup, O., Clague, J. J., Hermanns, R. L., Hewitt, K., Strom, A. L., & Weidinger, J. T.: 2007 “Giant landslides, topography, and erosion”. **Earth and Planetary Science Letters**, 261 (3), 578-589.
- Korup, O., Görüm, T., & Hayakawa, Y.: 2012 “Without power? Landslide inventories in the face of climate change”. **Earth Surface Processes and Landforms**, 37 (1), 92-99.
- L’Heureux, J.: 2012 “A study of the retrogressive behaviour and mobility of Norwegian quick clay landslides”. **Landslide and engineered slopes: protecting society through improved understanding. Taylor & Francis Group, London**, 981-988.

- Lan, H., Zhou, C., Wang, L., Zhang, H., & Li, R.: 2004 “Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China”. **Engineering Geology**, 76 (1), 109-128.
- Larsen, M. C., & Torres-Sanchez, A. J.: 1998 “The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico”. **Geomorphology**, 24 (4), 309-331.
- Lee, S., & Min, K.: 2001 “Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea”. **Environmental Geology**, 40 (9), 1095-1113.
- Lee, S., Chwae, U., & Min, K.: 2002 “Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea”. **Geomorphology**, 46 (3), 149-162.
- Lee, S., Choi, J., Chwae, U., & Chang, B.: 2002 “Landslide susceptibility analysis using weight of evidence”. In **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, IGARSS'02. 2002 IEEE International (Vol. 5, pp. 2865-2867).
- Lee, S., Ryu, J. H., Min, K., & Won, J. S.: 2003 “Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network”. **Earth surface processes and landforms**, 28 (12), 1361-1376.
- Lee, S., Choi, J., & Min, K.: 2004 “Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea”. **International Journal of Remote Sensing**, 25 (11), 2037-2052.
- Lee, S.: 2005 “Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using

GIS and remote sensing data”. **International Journal of Remote Sensing**, 26 (7), 1477-1491.

Lee, S., & Dan, N. T.: 2005 “Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides”. **Environmental Geology**, 48 (6), 778-787.

Lee, S., & Sambath, T.: 2006 “Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models”. **Environmental Geology**, 50 (6), 847-855.

Lee, S., & Pradhan, B.: 2006 “Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia”. *Journal of Earth System Science*, 115 (6), 661-672.

Lee, S., Ryu, J.-H., & Kim, I.-S.: 2007 “Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea”. **Landslides**, 4 (4), 327-338.

Lee, M. J., Park, I., Won, J. S., & Lee, S.: 2014 “Landslide hazard mapping considering rainfall probability in Inje, Korea”. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, 7 (1), 424-446.

Lombardo, L., Cama, M., Conoscenti, C., Märker, M., & Rotigliano, E.: 2015 “Binary logistic regression versus stochastic gradient boosted decision trees in assessing landslide susceptibility for multiple-occurring landslide events: application to the 2009 storm event in Messina (Sicily, southern Italy)”. **Natural Hazards**, 79 (3), 1621-1648.

- Luzi, L., & Pergalani, F.: 1999 “Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the ‘Oltre Po Pavese’ case history (Regione Lombardia–Italy)”. **Natural Hazards**, 20 (1), 57-82.
- Maharaj, R. J.: 1993 “Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies”. **Engineering Geology**, 34 (1-2), 53-79.
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P.: 2004 “Landslide inventories and their statistical properties”. **Earth Surface Processes and Landforms**, 29 (6), 687-711.
- Mancini, F., Ceppi, C., & Ritrovato, G.: 2010 “GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy”. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 10 (9), 1851.
- Mater, B.: 1998 Toprak coğrafyası: Çantay Kitabevi.
- Mathew, J., Jha, V., & Rawat, G.: 2009 “Landslide susceptibility zonation mapping and its validation in part of Garhwal Lesser Himalaya, India, using binary logistic regression analysis and receiver operating characteristic curve method”. **Landslides**, 6 (1), 17-26.
- Mckenzie, D.: 1972 “Active tectonics of the Mediterranean region”. **Geophysical Journal International**, 30 (2), 109-185.
- Mega, M. S., Allegrini, P., Grigolini, P., Latora,

V., Palatella, L.,
Rapisarda, A., &
Vinciguerra, S.: 2003

Mehrotra, G. S., “Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area,
Sarkar, S., & Garhwal Himalaya, India”. **Paper presented at the**
Dharmaraju, R.: 1992 Proceedings of Sixth International Symposium on
Landslides, Christchurch, New Zealand.

Mejia-Navarro, M., & “Geological hazard and risk evaluation using GIS:
Wohl, E. E.: 1994 methodology and model applied to Medellin, Colombia

Mega, M. S., “Power-law time distribution of large earthquakes”.
Allegrini, P., **Physical Review Letters**, 90 (18), 188501.
Grigolini, P., Latora,
V., Palatella, L.,
Rapisarda, A., &
Vinciguerra, S.: 2003

Mehrotra, G. S., “Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area,
Sarkar, S., & Garhwal Himalaya, India”. **Paper presented at the**
Dharmaraju, R.: 1992 Proceedings of Sixth International Symposium on
Landslides, Christchurch, New Zealand.

Mejia-Navarro, M., & “Geological hazard and risk evaluation using GIS:
Wohl, E. E.: 1994 methodology and model applied to Medellin,
Colombia”. **Bulletin of the association of engineering**
geologists, 31 (4), 459-481.

- Melchiorre, C.,
Matteucci, M.,
Azzoni, A., & Zanchi,
A.: 2008 “Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation”. **Geomorphology**, 94 (3), 379-400.
- Menoni, S., Molinari,
D., Parker, D., Ballio,
F., & Tapsell, S.: 2012 “Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies”. **Natural Hazards**, 64 (3), 2057-2082.
- Menoni, S., Pergalani,
F., Boni, M., &
Petrini, V.: 2002 “Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach”. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 22 (9), 1199-1208.
- Mirus, B. B., Smith, J.
B., & Baum, R. L.:
2017 “Hydrologic impacts of landslide disturbances: Implications for remobilization and hazard persistence”. **Water Resource Research**.
- Mitchell, R., &
Markell, A.: 1974 “Flowsliding in sensitive soils”. **Canadian Geotechnical Journal**, 11 (1), 11-31.
- Moore, I. D., Grayson,
R., & Ladson, A.:
1991 “Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications”. **Hydrological processes**, 5 (1), 3-30.
- Duman T.Y.,
Nefeslioğlu H.,
Gökçeoğlu C., Ve
Sönmez H.: 2005 17/03/2005 Kuzulu (Sivas-Koyulhisar) heyelanı, **Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi**, Hacettepe Üniversitesi.
- Nagarajan, R.,
Mukherjee, A., Roy,
A., & Khire, M.: 1998 “Technical note Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western ghat, India”.

- Nagarajan, R., Roy, A., Kumar, R. V., Mukherjee, A., & Khire, M.: 2000 “Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 58 (4), 275-287.
- Nandi, A., & Shakoor, A.: 2010 “A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses”. **Engineering Geology**, 110 (1), 11-20.
- Neaupane, K. M., & Piantanakulchai, M.: 2006 “Analytic network process model for landslide hazard zonation”. **Engineering Geology**, 85 (3-4), 281-294.
- Nefeslioglu, H., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A., & Duman, T.: 2010 “Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey”. **Mathematical Problems in Engineering**, 2010.
- Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., & Durmaz, S.: 2008a “Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey)”. **Geomorphology**, 94 (3-4), 401-418.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H.: 2008b “An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps”. **Engineering Geology**, 97 (3-4), 171-191.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E. A., Gokceoglu, C., & Ayas, Z.: 2013 “A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments”. **Computers & Geosciences**, 59, 1-8.

- Neuhäuser, B., & Terhorst, B.: 2007 “Landslide susceptibility assessment using”weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany)”. **Geomorphology**, 86 (1-2), 12-24.
- North, R. G.: 1974 “Seismic slip rates in the Mediterranean and Middle East”. **Nature**, 252 (5484), 560.
- Oh, H.-J., & Lee, S.: 2011 “Landslide susceptibility mapping on Panaon Island, Philippines using a geographic information system”. **Environmental Earth Sciences**, 62 (5), 935-951.
- Oh, H.-J., Lee, S., Chotikasathien, W., Kim, C. H., & Kwon, J. H.: 2009 “Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand”. **Environmental Geology**, 57 (3), 641.
- Oh, H.-J., & Pradhan, B.: 2011 “Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area”. **Computers & Geosciences**, 37 (9), 1264-1276.
- Okay, A. I.: 2008 “Geology of Turkey: a synopsis”. **Anschnitt**, 21, 19-42.
- Owen, L. A., Kamp, U., Khattak, G. A., Harp, E. L., Keefer, D. K., & Bauer, M. A.: 2008 “Landslides triggered by the 8 October 2005 Kashmir earthquake”. **Geomorphology**, 94 (1-2), 1-9.
- Ozdemir, A., & Altural, T.: 2013 “A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide

- susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey”.
Journal of Asian Earth Sciences, 64, 180-197.
- Özdemir, H.: 2007 “Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi”. **Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.**
- Özer, Z.: 1990 “Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber)”. **Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları (s 714),**
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., & Aydın, S.: 2017 “Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye’nin İklim Tipleri”. **Coğrafya Dergisi (35), 17-27.**
- Pachauri, A., & Pant, M.: 1992 “Landslide hazard mapping based on geological attributes”. **Engineering Geology**, 32 (1-2), 81-100.
- Pachauri, A., Gupta, P., & Chander, R.: 1998 “Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas”. **Environmental Geology**, 36 (3), 325-334.
- Papathoma, M., Kappes, M., Keiler, M., & Glade, T.: 2011 “Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs”. **Natural Hazards**, 58 (2), 645-680.
- Parise, M., & Jibson, R. W.: 2000 “A seismic landslide susceptibility rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January, 1994 Northridge, California earthquake”. **Engineering Geology**, 58 (3), 251-270.

- Park, S., Choi, C., Kim, B., & Kim, J.: 2013 “Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea”. **Environmental Earth Sciences**, 68 (5), 1443-1464.
- Pascale, S., Sdao, F., & Sole, A.: 2010 “A model for assessing the systemic vulnerability in landslide prone areas”. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 10 (7), 1575-1590.
- Pelling, M.: 2003 The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience: Earthscan.
- Peng, L., Niu, R., Huang, B., Wu, X., Zhao, Y., & Ye, R.: 2014 “Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China”. **Geomorphology**, 204, 287-301.
- Pham, B. T., Pradhan, B., Bui, D. T., Prakash, I., & Dholakia, M.: 2016 “A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: a case study of Uttarakhand area (India)”. **Environmental Modelling & Software**, 84, 240-250.
- Pham, B. T., Tien Bui, D., Pham, H. V., Le, H. Q., Prakash, I., & Dholakia, M. B.: 2016 “Landslide Hazard Assessment Using Random SubSpace Fuzzy Rules Based Classifier Ensemble and Probability Analysis of Rainfall Data: A Case Study at Mu Cang Chai District, Yen Bai Province (Viet Nam)”. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, 45 (4), 673-683.
- Pham, B. T., Bui, D. T., Prakash, I., & Dholakia, M.: 2017 “Hybrid integration of Multilayer Perceptron Neural Networks and machine learning ensembles for landslide

- susceptibility assessment at Himalayan area (India) using GIS". **Catena**, 149, 52-63.
- Poudyal, C. P., Chang, C., Oh, H.-J., & Lee, S.: 2010 "Landslide susceptibility maps comparing frequency ratio and artificial neural networks: a case study from the Nepal Himalaya". **Environmental Earth Sciences**, 61 (5), 1049-1064.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C.: 2012 "Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran". **Natural Hazards**, 63 (2), 965-996.
- Pradhan, B., Lee, S., & Buchroithner, M. F.: 2009 "Use of geospatial data and fuzzy algebraic operators to landslide-hazard mapping". **Applied Geomatics**, 1 (1-2), 3-15.
- Pourghasemi, H., Moradi, H., Aghda, S. F., Gokceoglu, C., & Pradhan, B.: 2014 "GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran)". **Arabian Journal of Geosciences**, 7 (5), 1857-1878.
- Pradhan, B., & Lee, S.: 2010a "Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling". **Environmental Modelling & Software**, 25 (6), 747-759.
- Pradhan, B., & Lee, S.: 2010b "Regional landslide susceptibility analysis using back-propagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia". **Landslides**, 7 (1), 13-30.

- Pradhan, A. M. S., & Kim, Y.-T.: 2014 “Relative effect method of landslide susceptibility zonation in weathered granite soil: a case study in Deokjeok-ri Creek, South Korea”. **Natural Hazards**, 72 (2), 1189-1217.
- Prior, D. B., & Coleman, J. M.: 1978 “Disintegrating retrogressive landslides on very-low-angle subaqueous slopes, Mississippi delta”. **Marine Georesources & Geotechnology**, 3 (1), 37-60.
- Raddatz, C. E.: 2009 “The wrath of God: macroeconomic costs of natural disasters”.
- Ramani, S. E., Pitchaimani, K., & Gnanamanickam, V. R.: 2011 “GIS based landslide susceptibility mapping of Tevankarai Ar sub-watershed, Kodaikkanal, India using binary logistic regression analysis”. **Journal of Mountain Science**, 8 (4), 505-517.
- Regmi, A. D., Devkota, K. C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., Kumamoto, T., & Akgun, A.: 2014 “Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya”. **Arabian Journal of Geosciences**, 7 (2), 725-742.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D.: 2010 “Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA”. **Geomorphology**, 115 (1), 172-187.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D.: 2014 “Characteristics of landslides in western Colorado, USA”. **Landslides**, 11 (4), 589-603.

- Remondo, J.,
González, A., De
Terán, J. R. D.,
Cendrero, A., Fabbri,
A., & Chung, C.-J. F.:
2003
- “Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in Northern Spain”. **Natural Hazards**, 30 (3), 437-449.
- Remondo, J.,
Bonachea, J., &
Cendrero, A.: 2005”
- A statistical approach to landslide risk modelling at basin scale: from landslide susceptibility to quantitative risk assessment”. **Landslides**, 2 (4), 321-328.
- Rossi, M., Guzzetti,
F., Reichenbach, P.,
Mondini, A. C., &
Peruccacci, S.: 2010
- “Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts”. **Geomorphology**, 114 (3), 129-142.
- Rozos, D., Bathrellos,
G., & Skillodimou,
H.: 2011
- “Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece”. **Environmental Earth Sciences**, 63 (1), 49-63.
- Ruff, M., & Czurda,
K.: 2008
- “Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria)”. **Geomorphology**, 94 (3), 314-324.
- Saaty, T.: 1980
- “Analytical Hierarchy Process McGraw Hill Company”. **New York**.
- Saha, A. K., Gupta, R.
P., Sarkar, I., Arora,
- “An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation—with a case study in the Himalayas”. **Landslides**, 2 (1), 61-69.

- M. K., & Csaplovics,
E.: 2005
- Saito, H., Nakayama,
D., & Matsuyama, H.: 2009 “Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: the Akaishi Mountains, Japan”. **Geomorphology**, 109 (3), 108-121.
- Santacana, N., Baeza,
B., Corominas, J., De
Paz, A., & Marturiá,
J.: 2003 “A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain)”. **Natural Hazards**, 30 (3), 281-295.
- Sendir, H.: 2001 Koyulhisar (Sivas) heyelanlarının incelemesi. Cumhuriyet Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı basılmamış yüksek lisans tezi
- Skempton, A. W., &
Hutchinson, J.: 1969 “Stability of natural slopes and embankment foundations”. **In Soil Mech & Fdn Eng Conf Proc/Mexico/**.
- Soeters, R., & van
Westen, C. J.: 1996 “Landslides: Investigation and mitigation. Chapter 8- Slope instability recognition, analysis, and zonation”. **Transportation research board special report**, (247).
- Şengör, A.: 1980 “Türkiye’nin neotektoniğinin esasları [The Fundamentals of Turkish Neotectonics]”. **Publication of the Geological Society of Turkey 40s. (in Turkish)**,
- Seymen, İ.: 1975 Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay zonunun tektonik özelliği. İTÜ,

- Sezer, E. A., Pradhan, B., & Gokceoglu, C., (2011) “Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia”. **Expert Systems with Applications**, 38 (7), 8208-8219.
- Shahabi, H., & Hashim, M.: 2015 “Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment”. **Scientific reports**, 5, 9899.
- Shahabi, H., Hashim, M., & Ahmad, B. B.: 2015” Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, and fuzzy logic methods at the central Zab basin, Iran”. **Environmental Earth Sciences**, 73 (12), 8647-8668.
- Sharpe, C. F.: 1938 “Landslides and related phenomena”.
- Shi-Biao, B., Jian, W., Guo-Nian, L., Ping-Gen, Z., Sheng-Shan, H., & Su-Ning, X.: 2009 “GIS-Based and Data-Driven Bivariate Landslide-Susceptibility Mapping in the Three Gorges Area”, **Pedosphere**, 19 (1), 14-20.
- Singh, L. P., Van Westen, C., Ray, P. C., & Pasquali, P.: 2005 “Accuracy assessment of InSAR derived input maps for landslide susceptibility analysis: a case study from the Swiss Alps”. **Landslides**, 2 (3), 221-228.
- Strahler, A. N.: 1964 “Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks”. **Handbook of applied hydrology**.
- Süzen, M. L., & Doyuran, V.: 2004a “A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate”. **Environmental Geology**, 45 (5), 665-679.

- Süzen, M. L., & Doyuran, V.: 2004b “Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey”. **Engineering Geology**, 71 (3), 303-321.
- Takahashi, T., (1980), “Debris flow on prismatic open channel”. **Journal of the Hydraulics Division**, 106 (3), 381-396.
- Tangestani, M. H.: 2009 “A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran”. **Journal of Asian Earth Sciences**, 35 (1), 66-73.
- Tatar, O.: 1993 “Neotectonic structures in the east central part of the North Anatolian Fault Zone”, Turkey. University of Keele,
- Tatar, O., Gürsoy, H., Gökçeoğlu, C., Koçbulut, F., Duman, T., Kök, S., Süllü, H., Şenyurt, A., & İleri, N.: 2005 Mart 2005 Sivas İli Koyulhisar İlçesi Sugözü Köyü Kuzulu Mahallesi Heyelanı 2. **Değerlendirme Raporu**. In.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., and Polat, A.: 2012 “Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements.” **Tectonophysics**, 518, 55-62.
- Terlemez, I., & Yilmaz, A.: 1980 “Unye-Ordu-Koyulhisar-Resadiye arasında kalan yorenin stratigrafisi”. **Türkiye Jeoloji Kurumu Bulteni= Bulletin of the Geological Society of Turkey**, 23 (2), 179-191.

- Terlien, M. T., Van Westen, C. J., & Van Asch, T. W.: 1995 Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. In Geographical information systems in assessing natural hazards (pp. 57-77): Springer.
- Tetik Biçer, Ç.: 2017 “Heyelan Risk Haritalaması Üzerine Yarı Sayısal Bir Değerlendirme”. **Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara.
- Thierry, Y., Malet, J. P., Sterlacchini, S., Puissant, A., & Maquaire, O.: 2007 “Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment”. **Geomorphology**, 92 (1-2), 38-59.
- Tokay, M.: 1973 “Kuzey Anadolu fay zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında gözlemler: Kuzey Anadolu fayı ve deprem kusagi simpozyumu”. **Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi özel sayı, Ankara, Turkey**, 12-24.
- Toprak, V.: 1989 Tectonic and stratigraphic characteristics of the Koyulhisar segment of the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey), PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara,
- Trigila, A., Iadanza, C., Esposito, C., & Scarascia-Mugnozza, G.: 2015 “Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy)”. **Geomorphology**, 249, 119-136.
- Tsangaratos, P., & Benardos, A.: 2014 “Estimating landslide susceptibility through a artificial neural network classifier”. **Natural Hazards**, 74 (3), 1489-1516.

- Tsangaratos, P., & Iliá, I.: 2016a “Comparison of a logistic regression and Naïve Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: The influence of models complexity and training dataset size”. **Catena**, 145, 164-179.
- Tsangaratos, P., & Iliá, I.: 2016b “Landslide susceptibility mapping using a modified decision tree classifier in the Xanthi Prefecture, Greece”. **Landslides**, 13 (2), 305-320.
- Tsangaratos, P., Iliá, I., Hong, H., Chen, W., & Xu, C.: 2017 “Applying Information Theory and GIS-based quantitative methods to produce landslide susceptibility maps in Nancheng County, China”. **Landslides**, 14 (3), 1091-1111.
- TÜİK (2018) Türkiye İstatistik Kurumu Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemleri Sonuçları
- Türkeş, M.: 2010 “Klimatoloji ve meteoroloji”. **Kriter Yayınevi**.
- Uromeihy, A., & MahdaviFar, M.: 2000 “Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 58 (3), 207-213.
- Uysal, Ş., Bedi, Y., Kurt, İ., & Kılınç, F.: 1995 “Koyulhisar (Sivas) dolayının jeolojisi”. **MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Araştırma Dairesi, Ankara**.
- Vahidnia, M., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., & Hosseinali, F.: 2009 “Landslide hazard zonation using quantitative methods in GIS”. **Int J Civil Eng**, 7 (3), 176-189.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A.,

- Alimohammadi, A., & Hosseinali, F.: 2010 mapping". **Computers & Geosciences**, 36 (9), 1101-1114.
- Van Asch, T. W. J., Buma, J., & Van Beek, L. P. H.: 1998 "A view on some hydrological triggering systems in landslides". **Geomorphology** (30), 25-32.
- Van Den Eeckhaut, M., Marre, A., & Poesen, J.: 2010a "Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France)". **Geomorphology**, 115 (1), 141-155.
- Van Den Eeckhaut, M., Marre, A., & Poesen, J.: 2010b "Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France)". **Geomorphology**, 115 (1-2), 141-155.
- Van Den Eeckhaut, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Rossi, M., & Poesen, J.: 2009 "Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium". **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 9 (2), 507-521.
- Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., & Vandekerckhove, L.: 2006 "Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium)". **Geomorphology**, 76 (3), 392-410.
- Van Westen, C., & Bonilla, J. A.: 1990 "Mountain hazard analysis using a PC based GIS". **Paper presented at the Proceedings 6th international congress International Association of Engineering Geology (IAEG): 6-10 August 1990, Amsterdam, The Netherlands/ed. by DG Price, pp. 265-271.**

- Van Westen., & Terlien, M.: 1996 “An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia)”. **Earth Surface Processes and Landforms**, 21 (9), 853-868.
- Van Westen, C. J., Soeters, R., & Sijmons, K.: 2000 “Digital geomorphological landslide hazard mapping of the Alpago area, Italy”. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2 (1), 51-60.
- Van Westen, C., & Getahun, F. L.: 2003 “Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models”. **Geomorphology**, 54 (1), 77-89.
- Van Westen, C., Rengers, N., & Soeters, R.: 2003 “Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment”. **Natural Hazards**, 30 (3), 399-419.
- Van Westen, C., Van Asch, T. W., & Soeters, R.: 2006 “Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult?”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 65 (2), 167-184.
- Van Westen, Van Asch, & Soeters, R.: 2006 “Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 65 (2), 167-184.
- Van Westen.: 2017 “Multi-hazard risk assessment and decision making. In N. Dalezios (Ed.)”, **Environmental Hazards Methodologies for Risk Assessment and Management** (pp. 31-91): IWA Publishing.

- Varnes, D.: 1954 "Landslide types and processes". In: Eckel EB (ed) **Landslides and engineering practice**. Retrieved from Washington, DC:
- Varnes, D. J.: 1958a "Landslide types and processes". **Landslides and engineering practice**, 24, 20-47.
- Varnes, D. J.: 1958b "Landslide types and processes". **Landslides and engineering practice**, 29 (3), 20-45.
- Varnes, D. J.: 1978 "Slope movement types and processes". **Special report**, 176, 11-33.
- Verstappen, H. T.: 1983 Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development.
- Wachal, D. J., & Hudak, P. F.: 2000 "Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA". **GeoJournal**, 51 (3), 245-253.
- Wan, S.: 2009 "A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map". **Engineering Geology**, 108 (3), 237-251.
- Wang, H., & Sassa, K.: 2005 "Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan". **Environmental Geology**, 47 (7), 956-966.
- Weirich, F., & Blesius, L.: 2007 "Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps". **Geomorphology**, 87 (4), 352-364.
- Wieczorek, G. F.: 1984 "Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction". **Bull Assoc Eng Geol**, 21 (3), 337-342.

- Wieczorek, G. F., Wilson, R. C., & Harp, E. L.: 1985 “Map showing slope stability during earthquakes in San Mateo County”, California. Retrieved from
- Wieczorek, G. F.: 1987 “Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. In: Costa, J.E., Wieczorek, G.F. (Eds.)”. **Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation, Reviews in Engineering Geology** Geological Society of America, Boulder, 63-79.
- Wieczorek, G. F., & Glade, T.: 2005 “Climatic factors influencing occurrence of debris flows”. In **Debris-flow hazards and related phenomena Springer Berlin Heidelberg**, pp.325-362.
- Williams, D., Romeril, P., & Mitchell, R.: 1979 “Riverbank erosion and recession in the Ottawa area”. **Canadian Geotechnical Journal**, 16 (4), 641-650.
- Wu, C.-H., Chen, S.-C., & Chou, H.-T.: 2011 “Geomorphologic characteristics of catastrophic landslides during typhoon Morakot in the Kaoping Watershed, Taiwan”. **Engineering Geology**, 123 (1-2), 13-21.
- Xu, C., Dai, F., Xu, X., & Lee, Y. H.: 2012 “GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China”. **Geomorphology**, 145, 70-80.
- Yalcin, A.: 2008 “GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in

- Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations”. **Catena**, 72 (1), 1-12.
- Yesilnacar, E., & Topal, T.: 2005 “Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey)”. **Engineering Geology**, 79 (3-4), 251-266.
- Yıldırım, A.: 2006 “Koyulhisar-Kuzulu (Sivas) Heyelanının Jeomorfolojik Etüdü”. **Doğu Coğrafya Dergisi**, 11 (15),
- Yılmaz, A., Oral, A., & Bilgic, T.: 1985 “Yukarı Kelkit Çayı yöresi ve güneyinin temel jeoloji özellikleri ve sonuçları”. **MTA raporu** 112s.
- Yılmaz, I.: 2009a “A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 68 (3), 297-306.
- Yılmaz, I.: 2009b “Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat—Turkey)”. **Computers & Geosciences**, 35 (6), 1125-1138.
- Yılmaz, I., & Keskin, I.: 2009 “GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey)”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 68 (4), 459-471.
- Youssef, A. M.: 2015 “Landslide susceptibility delineation in the Ar-Rayth area, Jizan, Kingdom of Saudi Arabia, using analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic

- regression models”. **Environmental Earth Sciences**, 73 (12), 8499-8518.
- Youssef, A. M., Al-Kathery, M., & Pradhan, B.: 2015 “Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy models”. **Geosciences Journal**, 19 (1), 113-134.
- Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., & Al-Katheeri, M. M.: 2016 “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**, 13 (5), 839-856.
- Yusof, N. M., Pradhan, B., Shafri, H. Z. M., Jebur, M. N., & Yusoff, Z.: 2015 “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 (11), 9789-9800.
- Zabci, C., Akyüz, H. S., Karabacak, V., Sançar, T., Altunel, E., Gürsoy, H., & Tatar, O.: 2011 “Palaeoearthquakes on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault, Turkey: Implications for the surface rupture of the historical 17 August 1668 Anatolian earthquake”. **Turkish Journal of Earth Sciences**, 20 (4), 411-427.
- Zare, M., Pourghasemi, H. R., Vafakhah, M., & Pradhan, B.: 2013 “Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms”. **Arabian Journal of Geosciences**, 6 (8), 2873-2888.

Zêzere, J., Oliveira, S., Garcia, R., & Reis, E.: 2007 “Landslide risk analysis in the area North of Lisbon (Portugal): evaluation of direct and indirect costs resulting from a motorway disruption by slope movements”. **Landslides**, 4 (2), 123-136.

Zêzere, J. L., Garcia, R. A. C., Oliveira, S. C., & Reis, E.: 2008 “Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal)”. **Geomorphology**, 94 (3-4), 467-495.

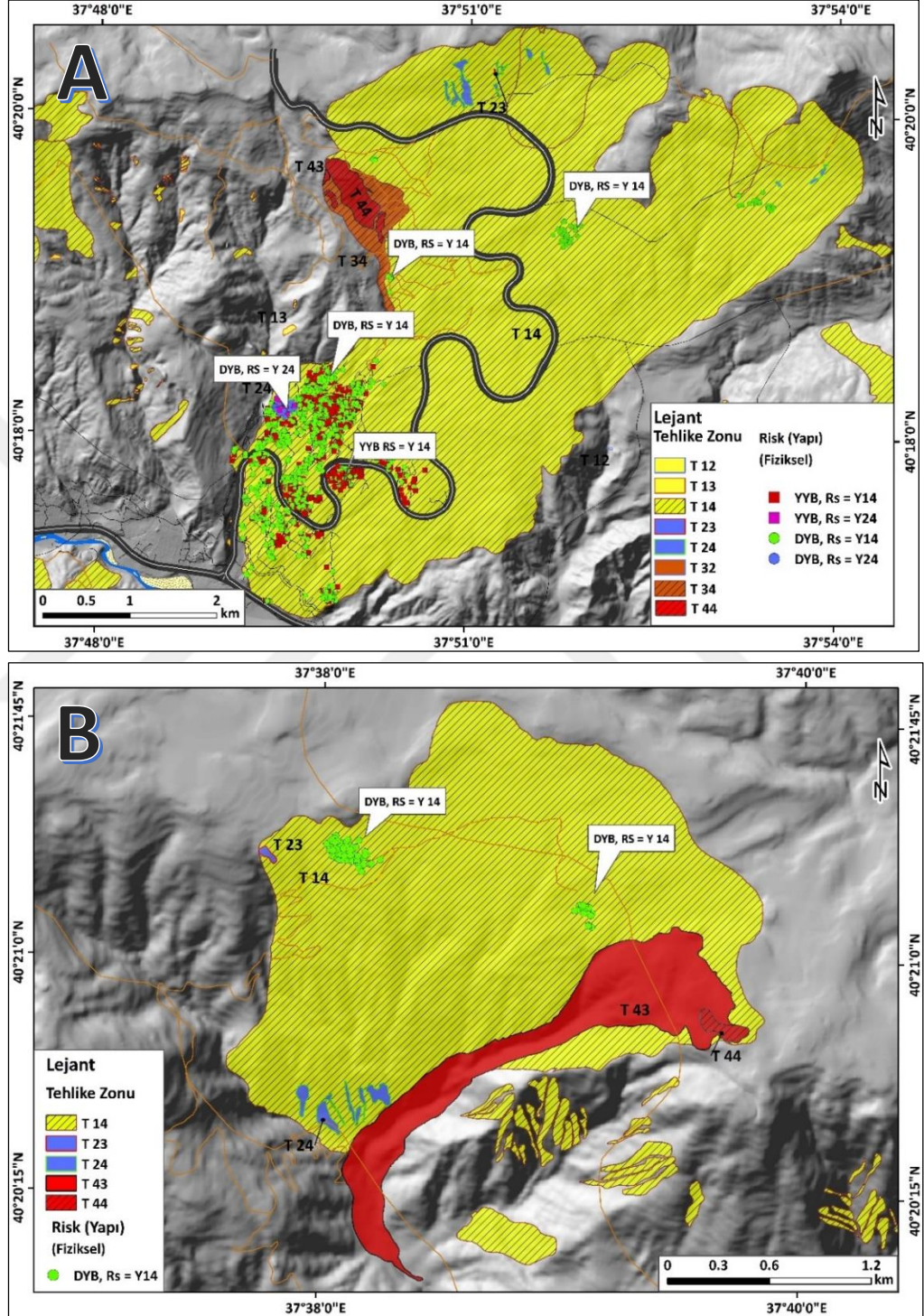
İnternet Kaynakları

(http://www.floodsite.net/html/cd_task17-19/flood_management_practice.html)

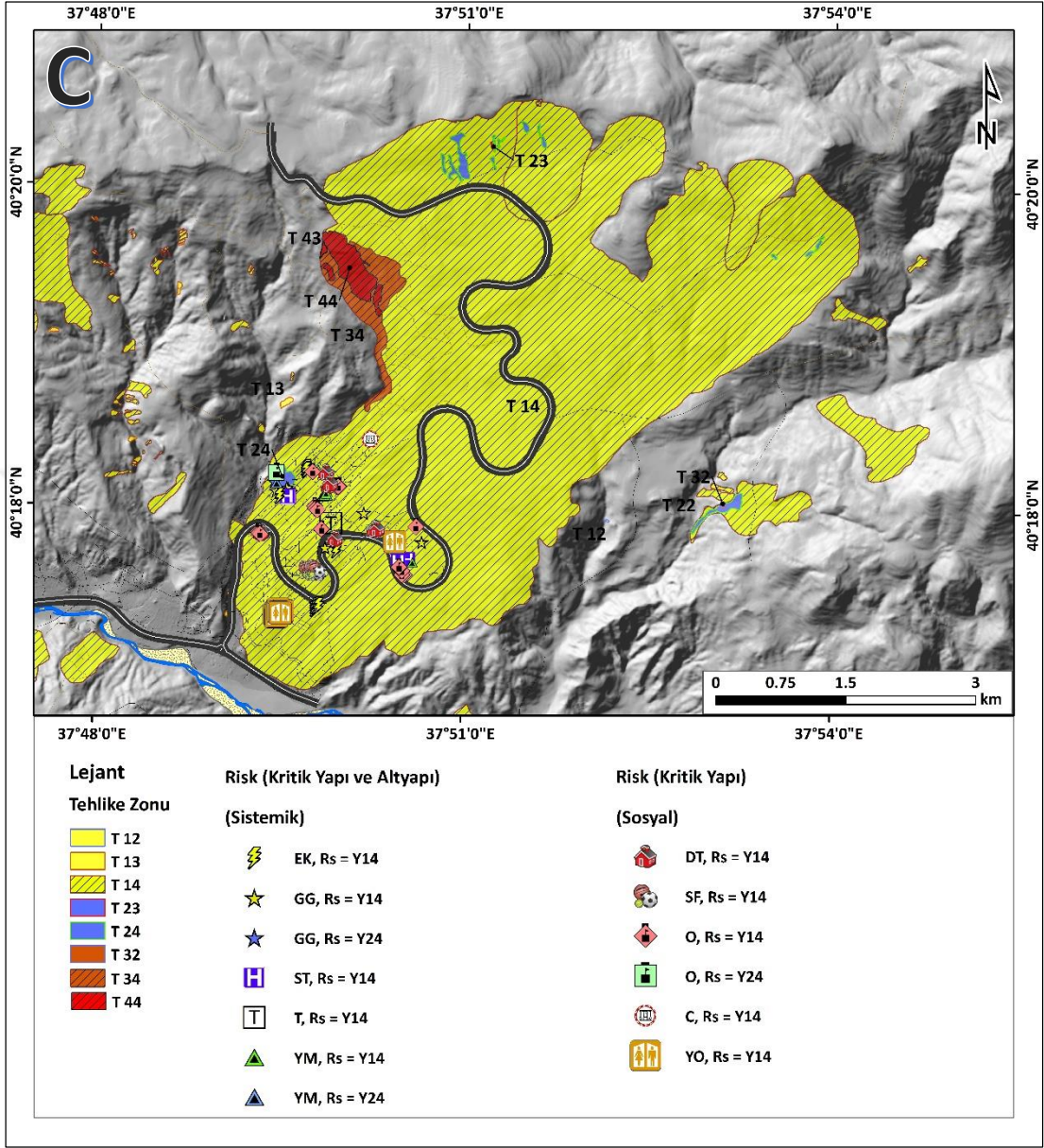
EKLER



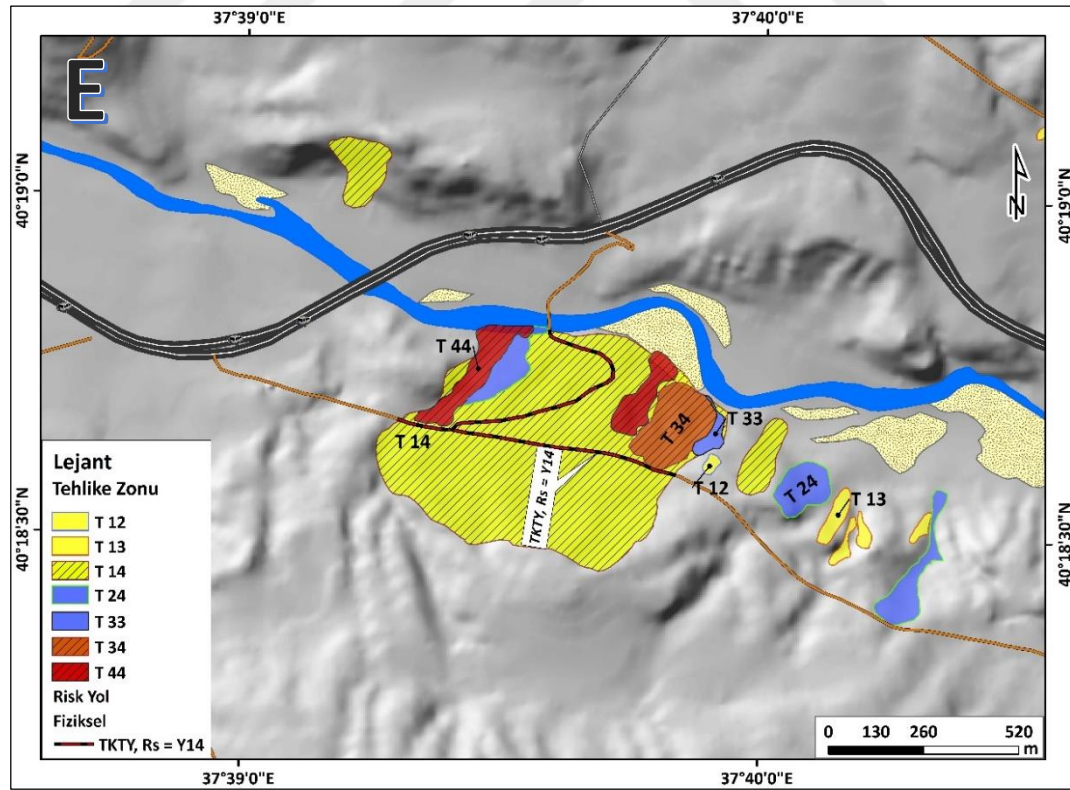
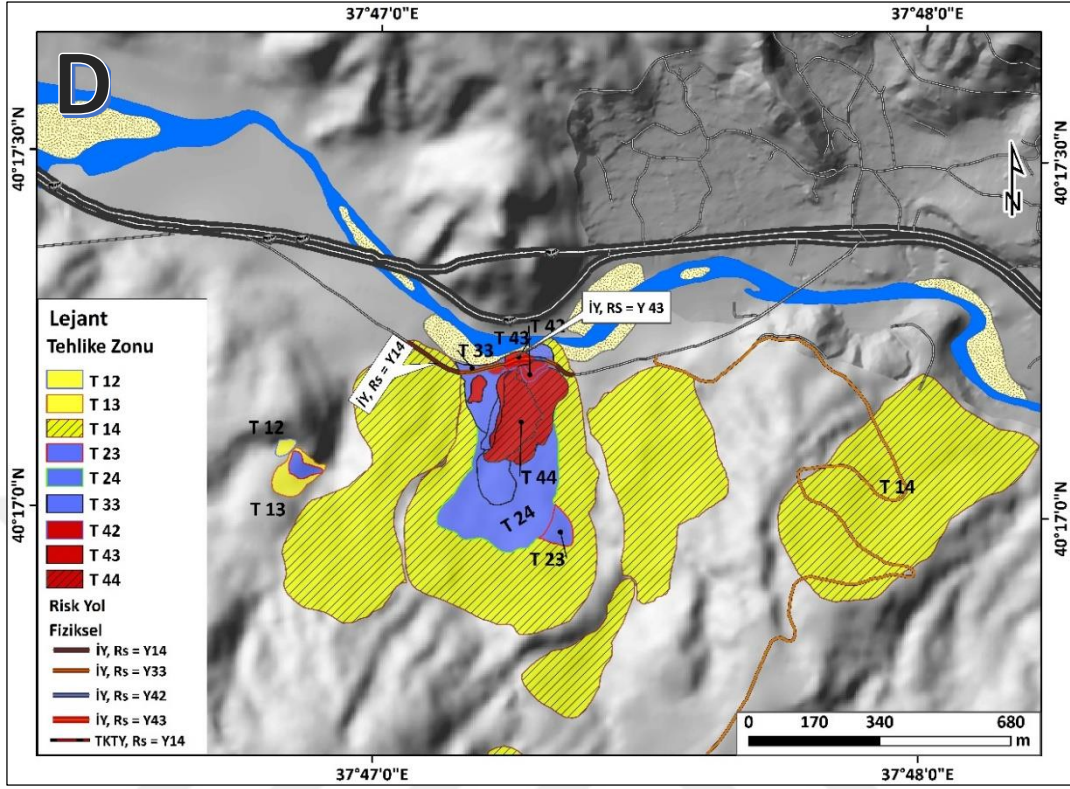
Jeomorfolojik Yaklaşım Risk Değerlendirmesi Sonuç Haritaları



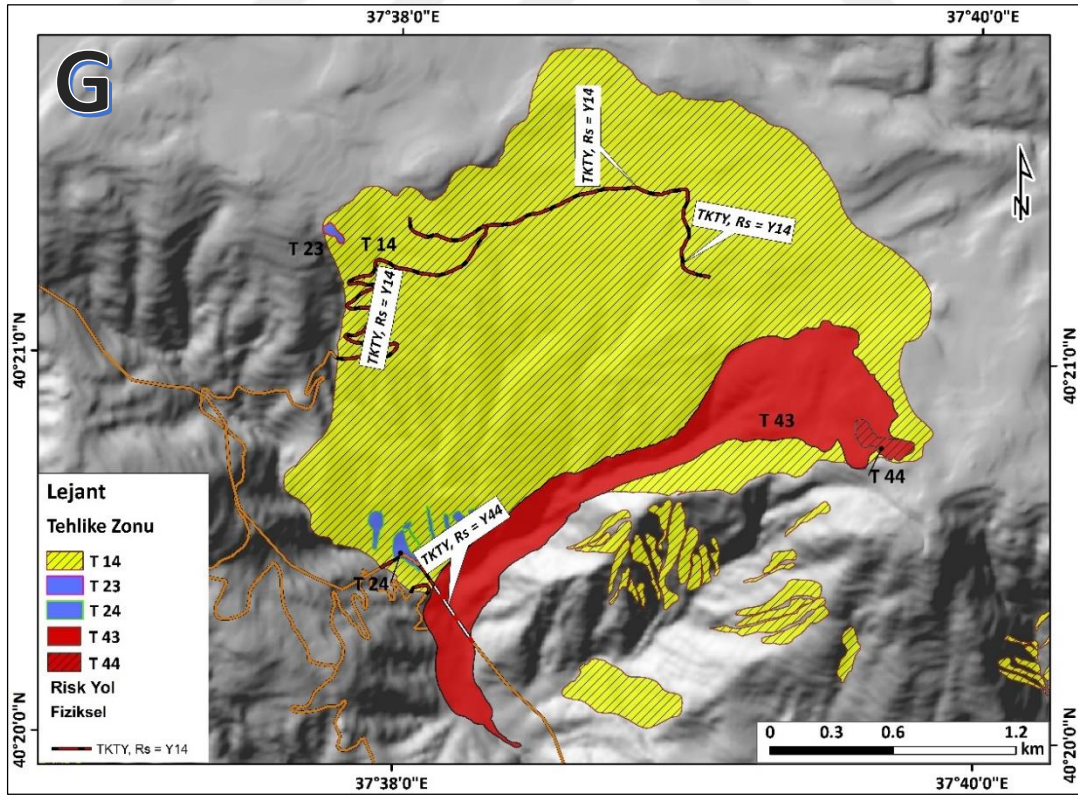
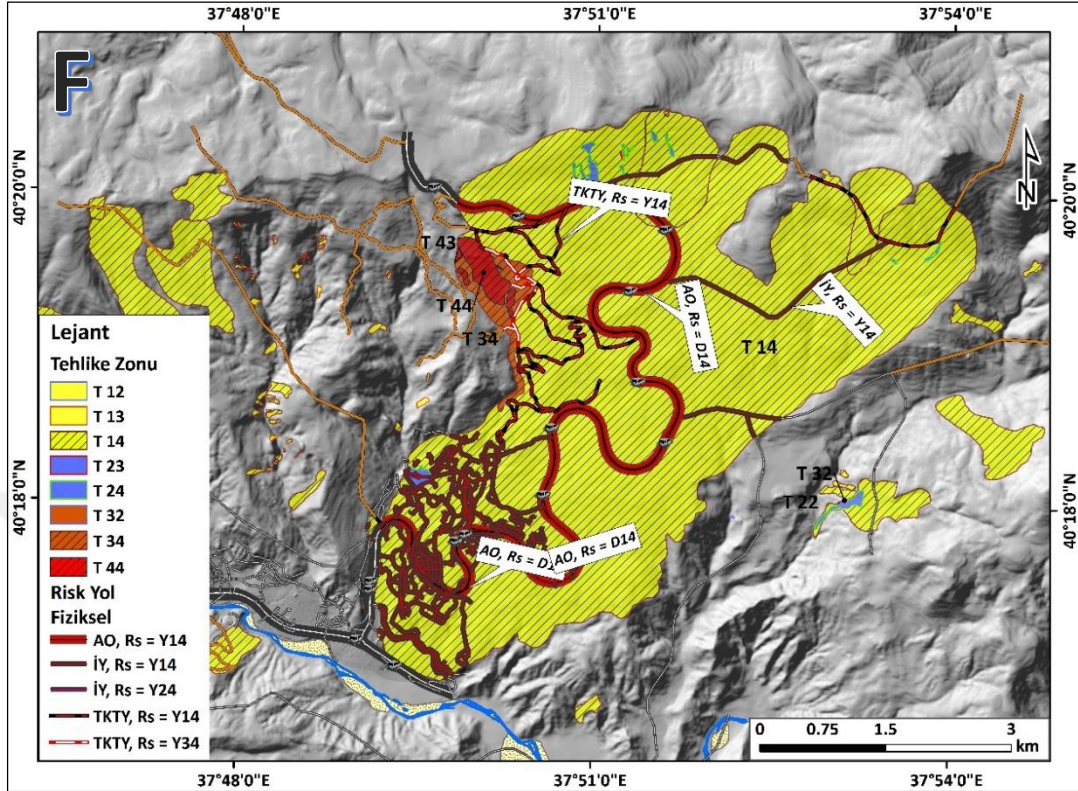
Şekil 63: Koyulhisar (3. bölge (a)) ve Sugözünü'nün (5. Bölge (b)) fiziksel zarargörebilirliğe göre yapı unsurlarının risk değerlendirmesi.



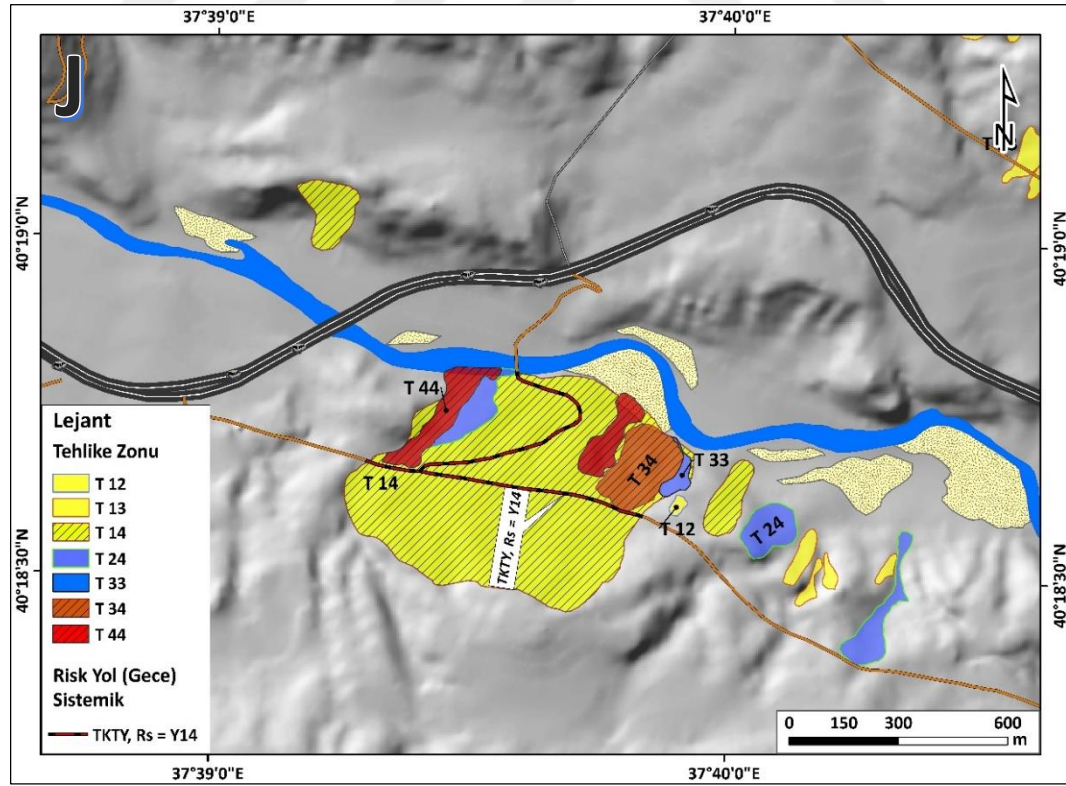
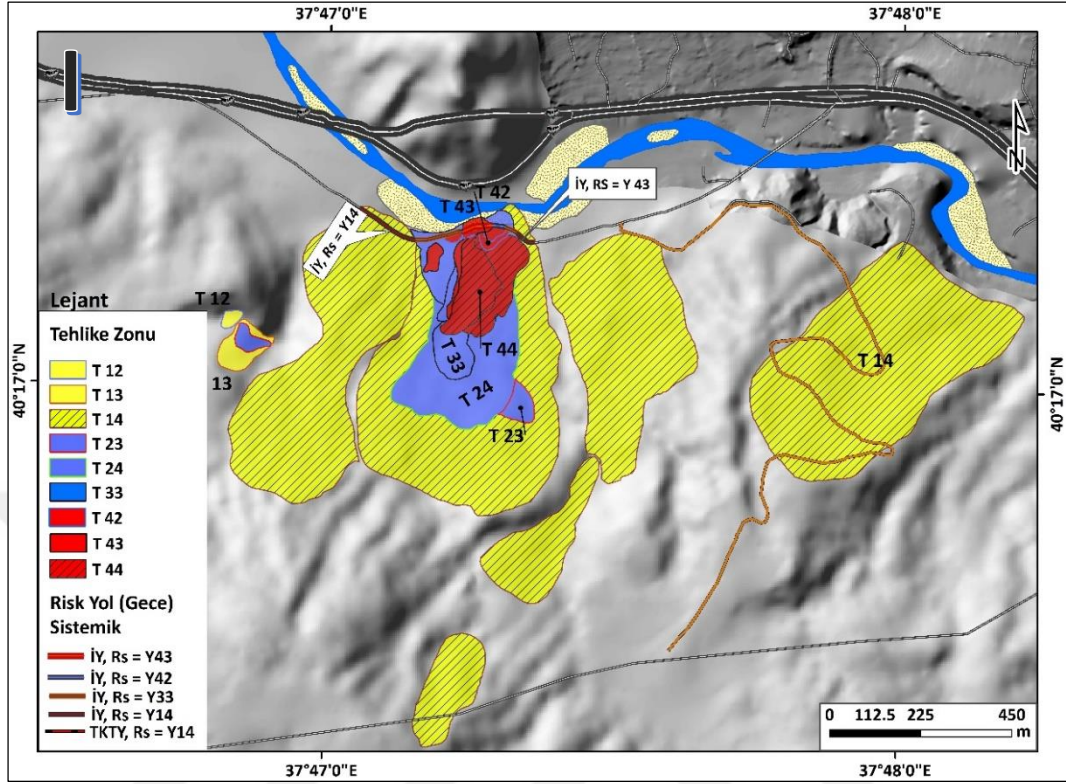
Şekil 64: Koyulhisarın (3. Bölge (a)) sistemik zarargörebilirliğe göre risk değerlendirmesi.



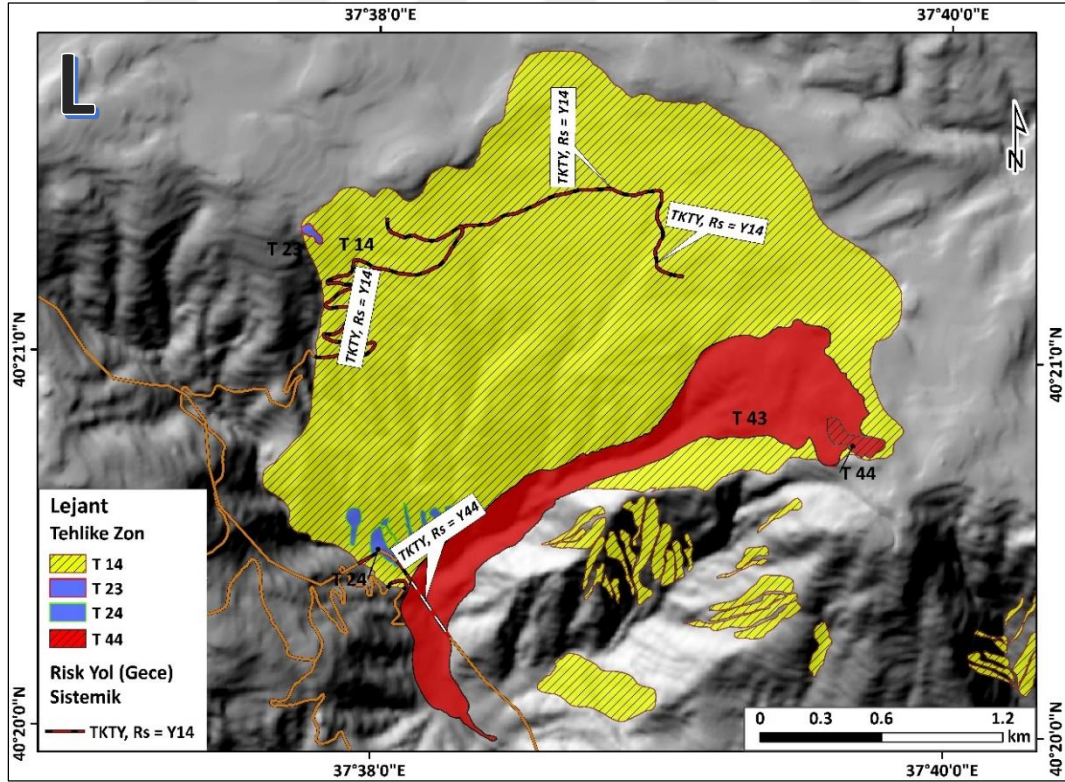
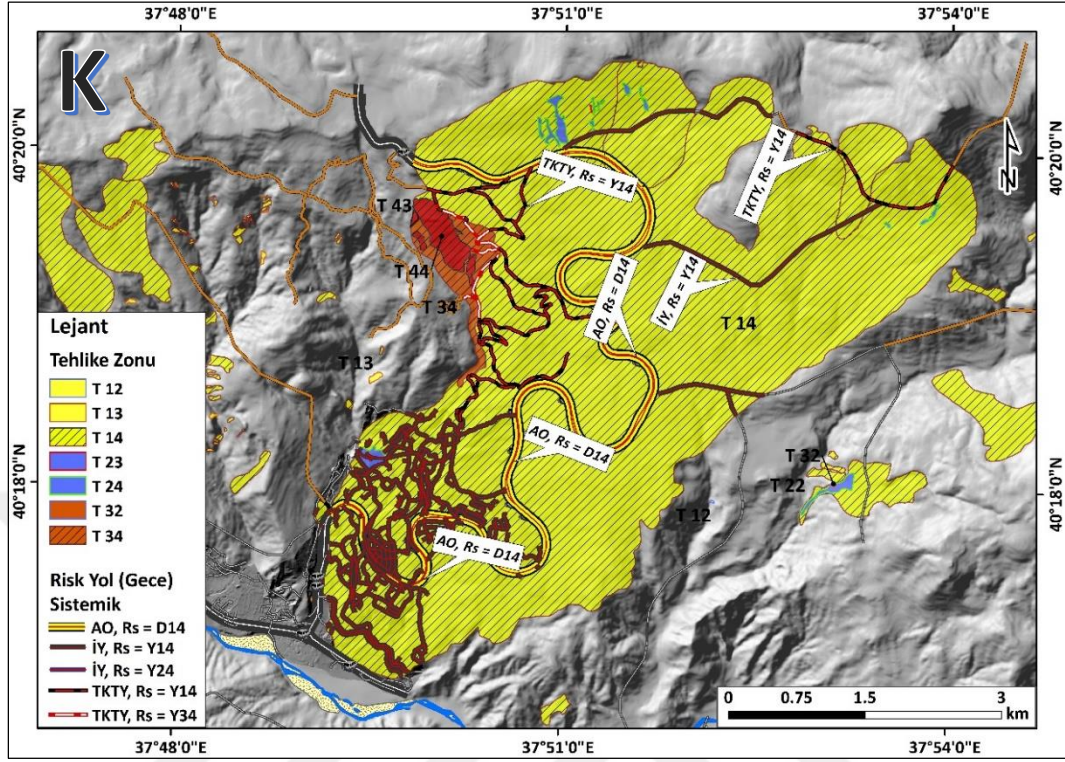
Şekil 65: Boyalı (1. bölge (d)) ve Gökderenin (2. Bölge (e)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.



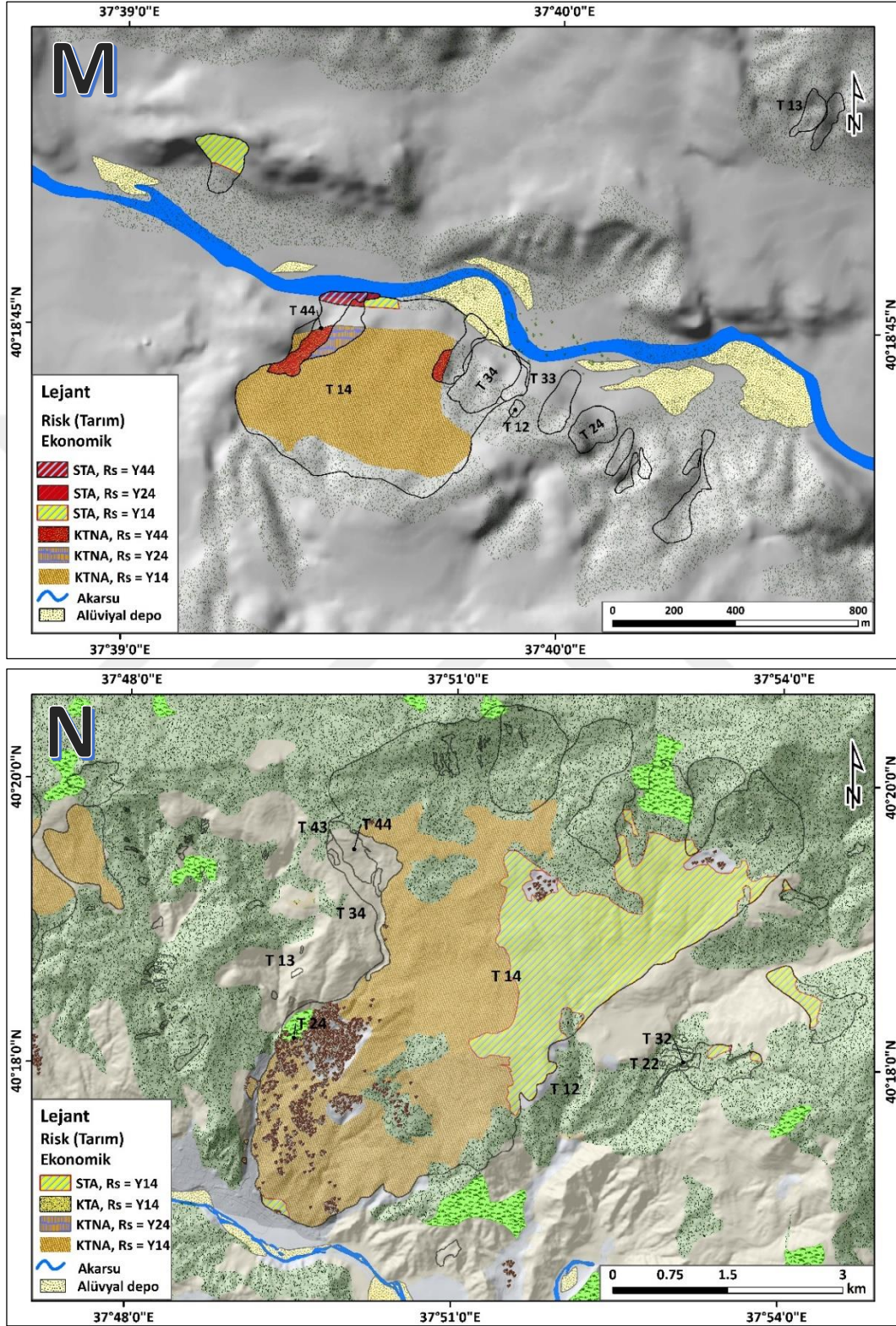
Şekil 66: Koyulhisar (3. bölge (f)) ve Sugözünün (5. Bölge (g)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.



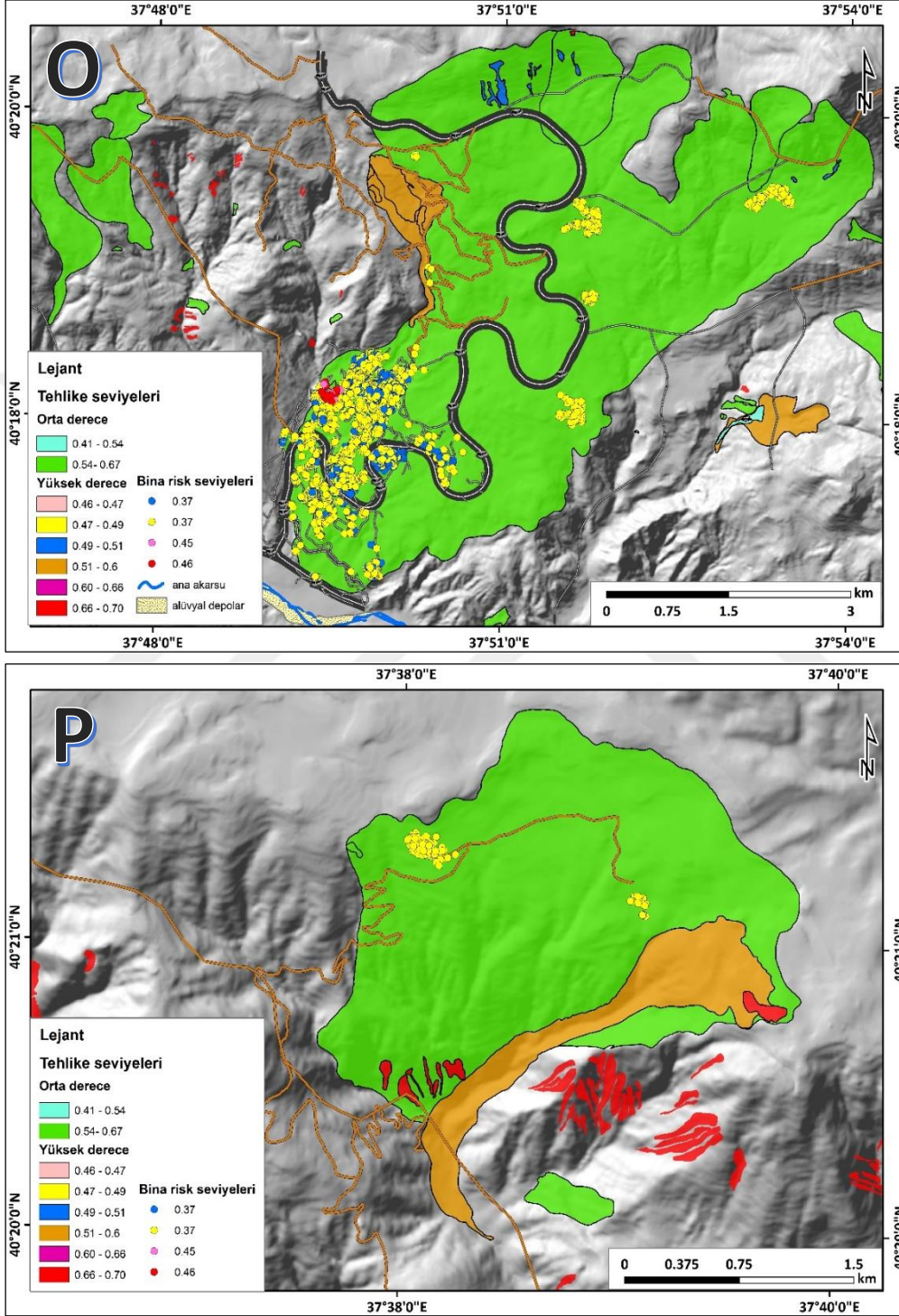
Şekil 67: Boyalı (1. bölge (i)) ve Gökderenin (2. Bölge (j)) sistemik zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.



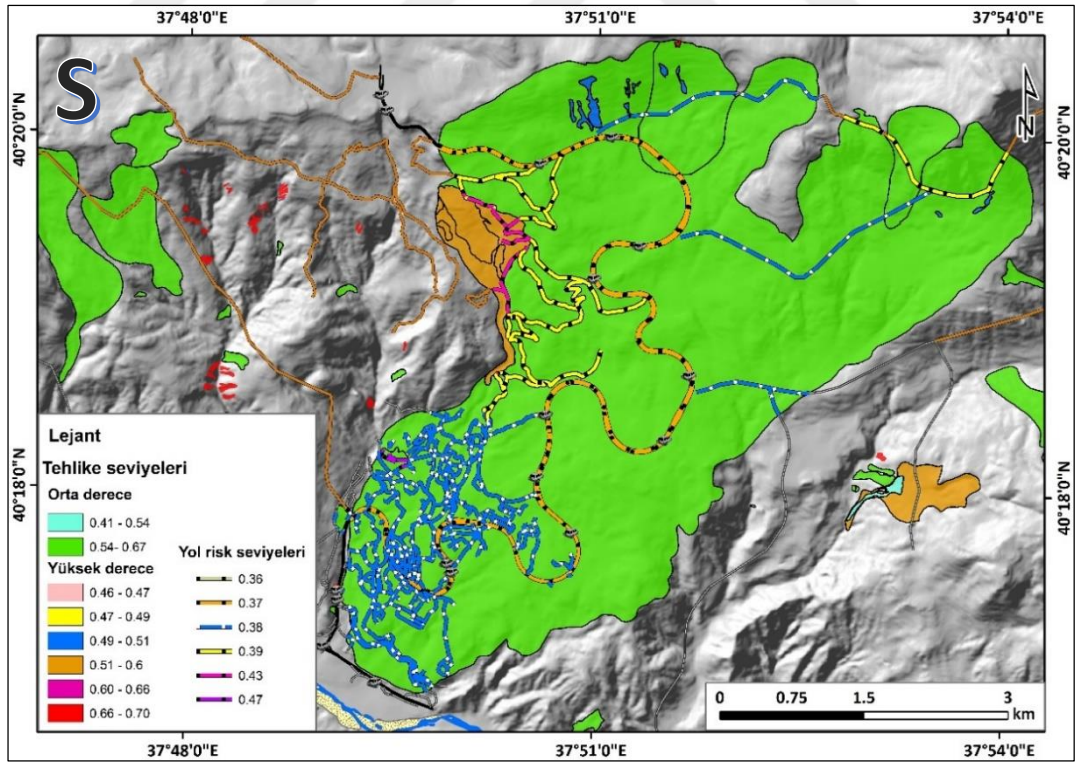
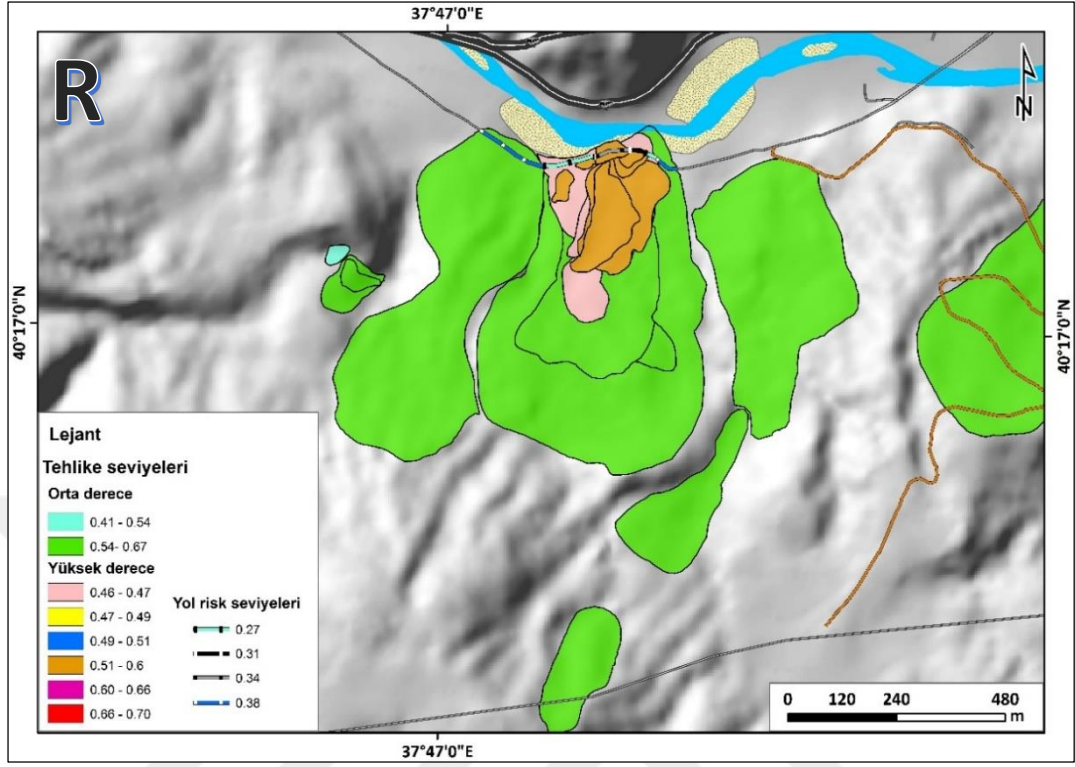
Şekil 68: Koyulhisar (3. bölge (k)) ve Sugözünün (5. Bölge (l)) sistemik zarargörebilirliğe göre altyapı risk değerlendirmesi.



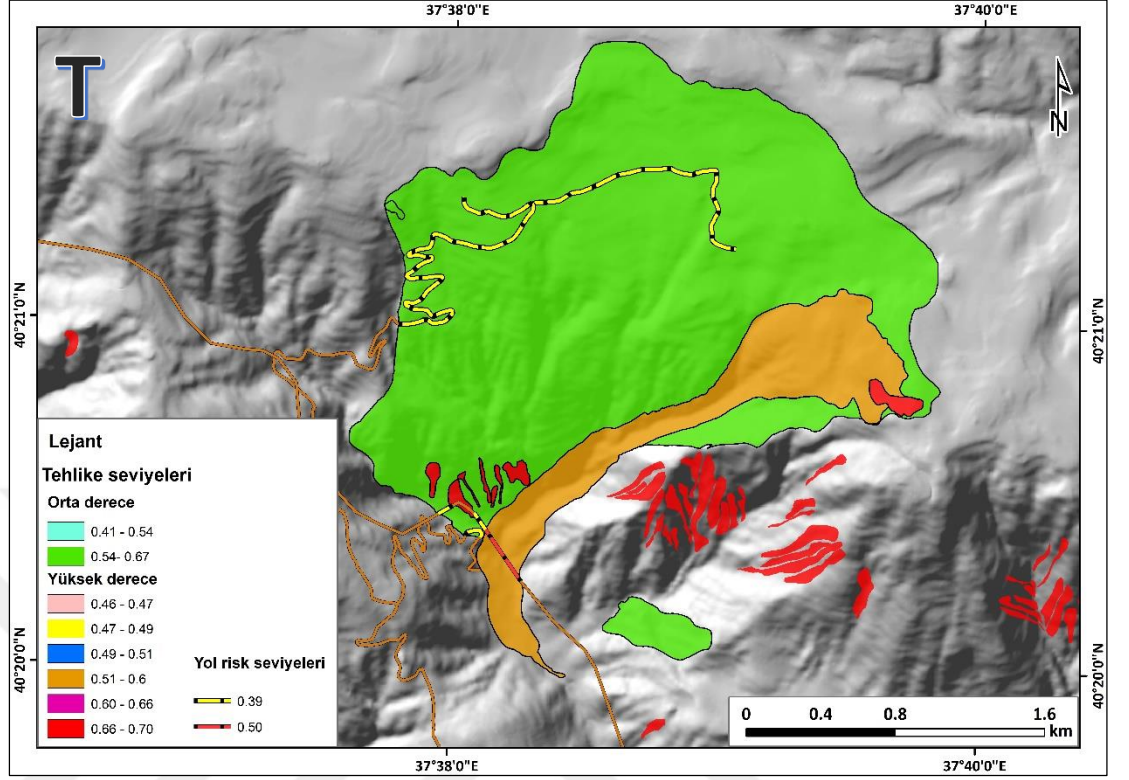
M-AHP Risk Değerlendirmesi Sonuç Haritaları



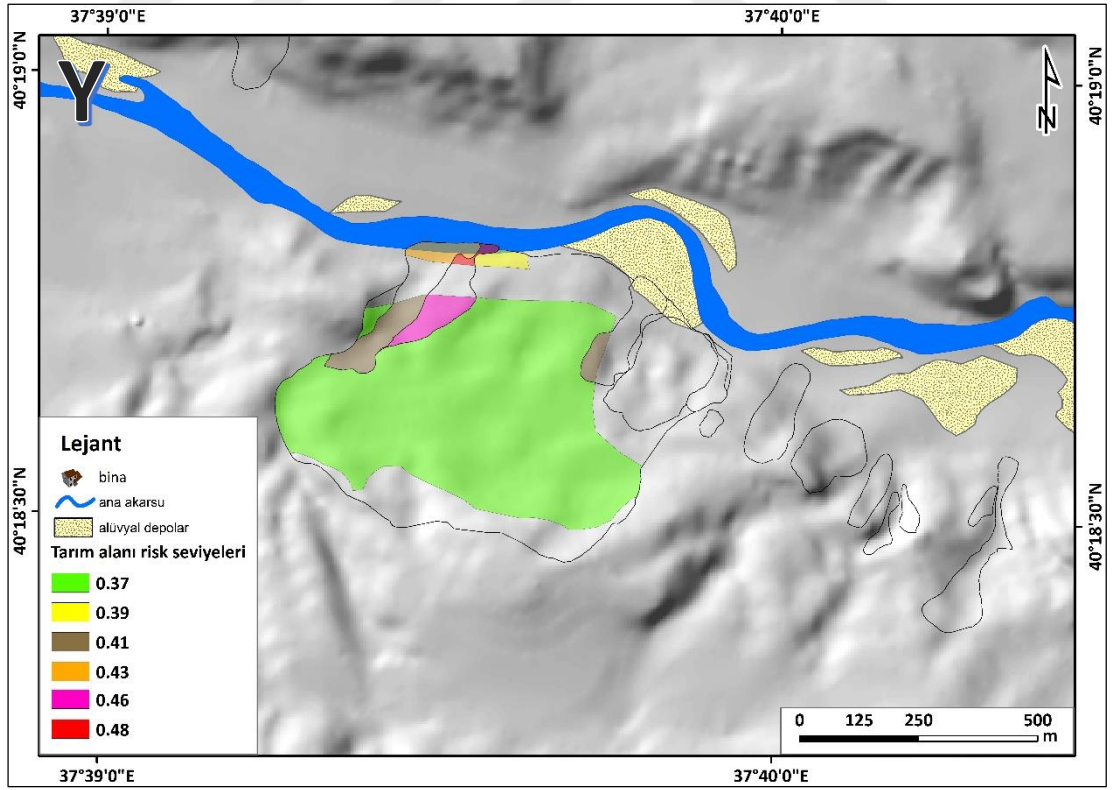
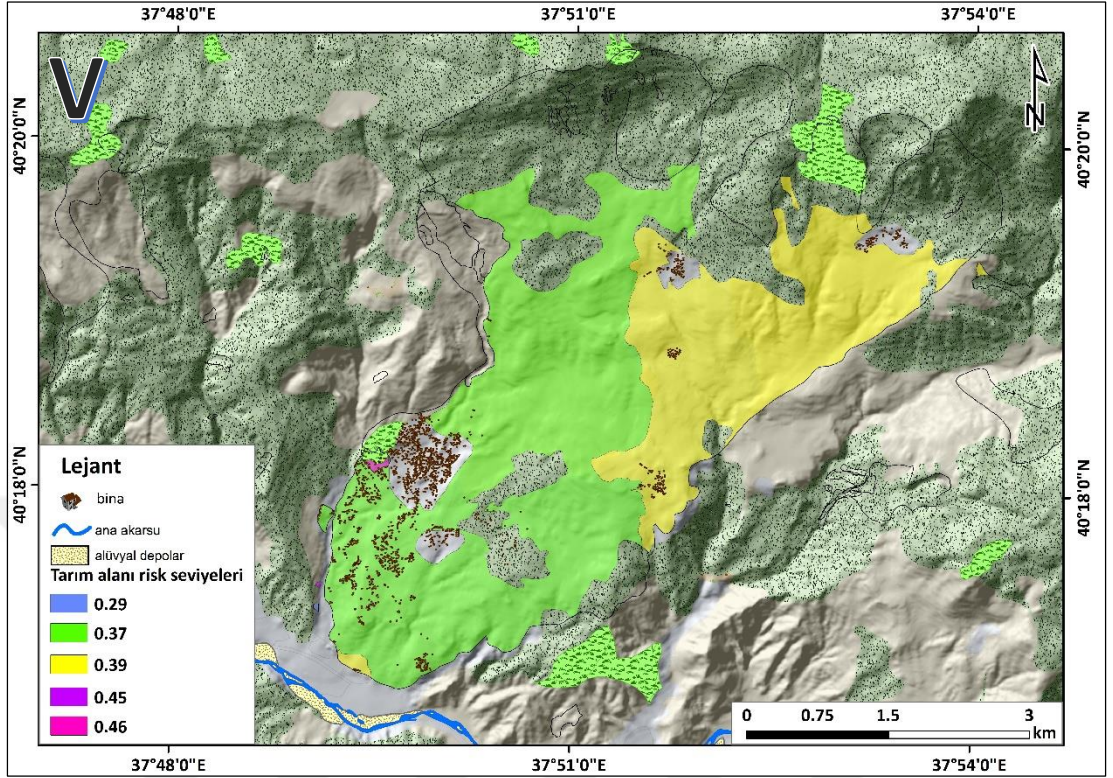
Şekil 70: Koyulhisar (3. bölge (o)) ve Sugözünün (5. Bölge (p)) fiziksel zarargörebilirliğe göre yapı unsurlarının M-AHP risk değerlendirmesi.



Şekil 71: Boyalı (1. bölge (r)) ve Koyulhisarın (4. Bölge (s)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı unsurlarının M-AHP risk değerlendirmesi.



Şekil 72: Sugözünü (5. Bölge (t)) fiziksel zarargörebilirliğe göre altyapı unsurlarının M-AHP risk değerlendirmesi.



Şekil 73: Koyulhisar (3. bölge v) ve Gökderenin (2. Bölge y) ekonomik zarargörebilirliğe göre tarım alanlarının M-AHP risk değerlendirmesi.

ÖZGEÇMİŞ

1988 Şanlıurfada doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Şanlıurfada tamamladı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü'nde okumaya hak kazandı. 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. "Alaplı Çayı Sel ve Taşkın Analizi" isimli yüksek lisans tezi ile 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda, doktora eğitimime başladı. 2011 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Coğrafya Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve atandı. 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümüne 35. Madde ile görevlendirildi. 2017 yılında tekrardan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Coğrafya Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı ve halen orada görev yapmaktadır. Heyelan tehlike ve risk konusunda uzmanlaşmak için Cenevre Üniversitesi CERG-C (Specialization certificate for the assessment and management of geological and climate related risk), STCSLDR (Summer Training Course for Slope Land Disaster Reduction) ve LARAM (Landslide Risk Assessment and Mitigation) eğitim programlarına katılmıştır. Çalışmaları: jeomorfoloji, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, doğal afetler, heyelan duyarlılığı, tehlike ve risk değerlendirmesi üzerinedir.