



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE
HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ:
HAKKÂRİ-YÜKSEKOVA ÖRNEĞİ

Mekan KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mekan KARAKAYA tarafından hazırlanan “Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Heyelan Duyarlılık Analizi: Hakkâri-Yüksekova Örneği” adlı tez çalışması 24/11/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Tayfun ÇAY

.....

Danışman

Prof.Dr. Fatih İŞCAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ceren YAĞCI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mekan KARAKAYA

Tarih:24/11/.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ: HAKKÂRİ-YÜKSEKOVA ÖRNEĞİ

Mekan KARAKAYA

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr. Fatih İŞCAN

2023, 59 Sayfa

**Jüri
Prof.Dr. Fatih İŞCAN
Prof.Dr. Tayfun ÇAY
Dr. Öğr. Üyesi Ceren YAĞCI**

Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritası üretilerek risk alanları tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma alanı Doğu Anadolu Bölgesinin Hakkari Bölümünün Hakkari İlının Yüksekova İlçesi sınırları içinde yer alır. Çalışma Coğrafi Bilgi Sistemleri programı kullanılarak heyelana etki parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerden haritalar üretilmiş, üretilen haritalara ağırlık verilerek çakıştırılmıştır. Araştırma sahası incelendiğinde çalışması zor bir bölge olduğu aşikârdır. Bu nedenle gelişen yazılımlar marifetiyle olası afetlerin önüne geçmek ve acil eylem planına ortaya konularak gelecek çalışmalara ışık tutmaktır. Özellikle coğrafi bilgi sistemleriyle yapılan çalışmalar ve yapılan analizler meydana gelebilecek afetlere karşı harita üzerinde daha kolay karar vermeyi kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Process (AHP) yöntemi kullanılarak Yüksekova İlçesinin heyelan risk haritası üretilmiştir. 12 parametre kullanılarak daha hassas risk analizi yapılması için hassas bir heyelan risk çalışması yapılmıştır. Araştırma bölgesinde daha önceden hiç çalışma yapılmamış olması bu çalışmayı bir kat daha önemli hale getirmiştir. Heyelan risk alanlarının belirlenmesi amacıyla sahanın fay hattına mesafe, toprak, yollara mesafe, jeoloji, yağış, arazi kullanımı, akarsuya yakınlık, yükseklik, eğim, eğim şekli, ndvi ve bakı özellikleri bölgenin şartları göz önüne alınarak bakıldığında belirlenen parametre grubunun daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmiştir. Araştırma sahası olan Yüksekova İlçesinde heyelanların olabileceği riskli alanlar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Duyarlılık Analizi, Hakkâri, Heyelan, Yüksekova

ABSTRACT

MS THESIS

LANDSIDE SENSITIVITY ANALYSIS WITH GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS: THE CASE OF HAKKARI-YÜKSEKOVA

Mekan KARAKAYA

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Prof.Dr. Fatih İŞCAN

2023, 59 Pages

**Jury
Prof.Dr. Fatih İŞCAN
Prof.Dr. Tayfun ÇAY
Dr. Öğr. Üyesi Ceren YAĞCI**

Within the scope of the study, landslide susceptibility map was produced and risk areas were tried to be determined. The study area is located within the borders of Yüksekova District of Hakkari Province in the Hakkari Section of the Eastern Anatolia Region. In the study, the effect parameters of the landslide were determined using the Geographical Information Systems program, and maps were produced from these parameters, and they were overlapped by giving weight to the produced maps. When the research area is examined, it is obvious that it is a difficult area to study. For this reason, it is to prevent possible disasters by means of developing software and to shed light on future studies by putting forward an emergency action plan. Especially the studies and analyzes made with geographic information systems make it easier to make decisions on the map against possible disasters.

In this study, a landslide risk map of Yüksekova District was produced using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. A sensitive landslide risk study was carried out in order to perform a more sensitive risk analysis using 12 parameters. The fact that no previous study has been carried out in the research area has made this study even more important. In order to determine the landslide risk areas, the distance to the fault line of the site, soil, distance to roads, lithology, precipitation, land use, proximity to the stream, elevation, slope, slope shape, ndvi and aspect characteristics of the area determined considering the conditions of the region, it can be concluded that healthier results can be obtained. evaluated. Risky areas where landslides may occur have been identified in Yüksekova District, which is the research area.

Keywords: GIS, Hakkâri, Landslide, sensitivity analysis, Yüksekova

ÖNSÖZ

Hakkari İli Yüksekova İlçesi'nin AHP ile heyelan duyarlılık analizi adlı yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı ülkenin mühendislerine ve Türk haritacılığına hediye ediyorum. Bu çalışmanın hazırlanması boyunca emeği geçen danışman hocam Prof. Dr. Fatih İŞCAN'a, eğitim kariyerimin ilerleme kaydetmemde yardımcı olan Prof. Dr. İsmail Bülent GÜNDOĞDU'ya, tez savunma jürisinde bulunan kıymetli hocalarıma, kıymetli görüşleriyle her zaman katkı sunan Prof. Dr. Tayfun ÇAY'a, gece gündüz demeden ülkemizin refahı için çalışan ve manevi destek olan tüm Türk Emniyet Teşkilatı ve arkadaşlarıma, bu tezi hazırlarken engin bilgilerinden faydalandığım kıymetli arkadaşım olan Mehmet ÇAVUŞ'a, büyük sabır gösteren eşim Merdiyye KARAKAYA ve kızım Figen KARAKAYA'ya, teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Mekan KARAKAYA
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1.Çalışma Alanının Yeri ve Sınırları.....	11
3.2. Kullanılacak Parametrelerin Belirlenmesi.....	12
3.3. Method.....	25
3.3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	25
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Yükseklik Faktörü.....	27
4.2. Eğim Faktörü	29
4.3. Bakı Faktörü	31
4.4. NDVI Faktörü	33
4.5. Arazi Kullanım Faktörü	34
4.6. Yollara Mesafe Faktörü	36
4.7. Akarsulara Mesafe Faktörü.....	37
4.8. Fay Hattına Mesafe Faktörü	38
4.9. Yağış Faktörü.....	39
4.10. Eğim Şekli Faktörü	41
4.11. Litoloji Faktörü	42
4.12. Toprak Faktörü	44
4.13. Parametre Sınıflandırılması ve Ağırlık Dereceleri.....	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
5.1. Sonuçlar	51
5.2 Öneriler	54
KAYNAKLAR	55

KISALTMALAR

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP : Analitik Hiyerarşi Process
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORİNE: Çevresel Bilginin Koordinasyonu
DEM : Sayısal Yükseklik Modeli
FR : Frekans Oranı
NDVI : Normalize Fark Bitki İndeksi
UA : Uzaktan Algılama
SMCE: Sosyal Çok Kriterli Değerlendirme
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
ROC : Alıcı İşlem Karakteristikleri



1. GİRİŞ

Doğal süreçler ya da insan etkileri ile meydana gelen heyelan; kayaç, toprak, yamaç molozu, yapay dolgu veya bunların bir kombinasyonunda dâhil olmak üzere eğim yönünde malzemelerin aşağı doğru hareketine neden olan çeşitli süreçleri açıklar (Varnes, 1978; Cruden ve Varnes, 1996; Hungr, vd; 2014). Dünya Toprak Kayması Envanteri Çalışma Grubu'na göre tanımlanan heyelan terimi "bir kütleyle ait kaya parçacıklarının veya yamaçlardan çıkan toprakların hareketi" anlamına gelmektedir (Cruden, 1991). Heyelanlar, genel tanımında şev ve eğimli arazide oluşan toprak, moloz, kaya malzemelerinin suyun etkisi dışında müdahalesi olmadan, yerçekimi ile yamaç aşağı kayma hareketi sonucu oluşmaktadır. Heyelan, bir yığın kaya, çöp veya toprak hareketidir. Literatürde, toprak veya kütlenin ağırlıklı olarak yerçekimi kuvvetleriyle eğim boyunca yerinden çıkartıldığı aşındırma işlemi için çok çeşitli isimler kullanılmıştır. Heyelan tanımını yerine kütle hareketi, Şev kırılması, eğim hareketi terimleri de sıklıkla kullanılmaktadır (Brunsden, 1984; Crozier, 1986; Cruden, 1993; Akgün ve Türk, 2010).

Kaynaklarda farklı açıklamaları yapılan heyelanlar genel manada koşullara bağlı olarak jeolojik şartların çıktısı olan arazi kullanımı, sismik olaylar ve bitki örtüsünün çeşitliği vb. gibi olaylara bağlı kontrol edilebilecek yapay ve doğal eğimin duyarsızlıklarıdır. Heyelanlara neden olan faktörler genel olarak jeolojik, jeomorfolojik, klimatolojik ve meteorolojik faktörler ve insan etkinliklerini açıklayan beşerî faktörler olarak sınıflandırılabilir. Yamaçlarda yapılan kazılar, yapay patlamalar, bitki örtüsünün tahribi, yamaçlara ek yük bindirilmesi, yol yapımı, madencilik faaliyetleri gibi faktörler yamaç dengesini bozan ve heyelanları tetikleyen önemli beşerî etkenlerdir (Sayın, 2019). Heyelanlara neden olabilecek faktörleri Cruden ve Varnes (1996) yaptıkları çalışmada Tablo 1.1.'deki gibi açıklamaya çalışmışlardır.

Tablo 1.1. Heyelan Oluşumuna Neden Olan Faktörler, (Cruden ve Varnes, 1996).

Ana Faktörler	Alt Faktörler
1) Jeolojik Nedenler	a) Zayıf jeolojik malzeme
	b) Duyarlı jeolojik malzeme
	c) Bozunmuş zeminler
	d) Makaslama zonlarına maruz kalmış malzemeler
	e) Tabakalanma, faylanma gibi süreksizlikler
	f) Malzeme özellikleri (geçirimsizlik, düşük dayanım vb.)
2) Morfolojik (Fiziksel) ve Klimatik Nedenler	a) Volkanik, tektonik yükselme
	b) Alüviyal, glasiyal erozyon
	c) Bitki örtüsünün yok olması
	d) Yağış durumu ve buharlaşma
	e) Sağanak yağış
	f) Ani kar erimesi
	g) Yağış Süresi
	h) Taşkınlar
	i) Depremler
	j) Volkanik aktivite
	k) Donma-çözünme
	l) Şişme (kil-tuz)
3) İnsan Etkinlikleri	a) Yamaçta kazı
	b) Yamaca yük bindirme
	c) Ormanlık alanların tahrip edilmesi (kesim-yangın)
	d) Sulama
	e) Madencilik faaliyetleri
	f) Patlatma
	g) Su çekme/su alma
	h) Yol yapımı

Doğal afetler, sürekli olarak tekrar eden, gerekli tedbirler alınamadığı takdirde bölgedeki insan yaşamlarını olumsuz etkileyerek entelektüel, sosyal, ekonomik, çevresel, politik, kültürel ve fiziksel kayıplara yol açan olaylardır. Tarihsel süreç içerisinde insanoğlu sel, deprem, yangın vb. gibi pek çok çeşitli doğal afetlerle karşılaşmış ve doğal afetlerin sonuçları ölümler, çevre sorunları, ekonomik kayıplar olmuştur. Doğal afetlerin olumsuz etkilerinden en önemlisi şüphesiz insan hayatının sona ermesi olmakla birlikte ekonomileri olumsuz etkileyip insan yaşamını bir şekilde sekteye uğratmasıdır (Islam ve Chik, 2011).

Bugün dünyada heyelanlardan dolayı yüzlerce insan hayatını kaybetmekte ve bu heyelanlar ülke ekonomilerine büyük zararlar vermektedir. Japonya’da doğal afetlerden dolayı meydana gelen can kayıplarının hemen hemen yarısı heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Dağ, 2007).

Modern afet yönetimi birbirini takip eden aşamalardan oluşan bir yönetim modelidir. Modern afet risk yönetimi oluşumunda toplumlar, risk analizleri ve sonuçlarını öngörerek, gerçekleşmesi olabilecek bir heyelan afetinin yol açabileceği tahribatların büyüklüğünü anlamaktadır. Bu süreçte afetin hangi ölçüde etkileyebileceği öğrenilmekte ve olumsuz etkilerden en az zararla kurtulmanın yolları araştırılmaktadır. Özellikle afet öncesindeki hazırlık ve planlama aşamalarında, afete karşı savunmasız alanların belirlenmesi, riskli bölgelerin risk büyüklüklerine göre sınıflandırılması, kurtarma operasyonlarının daha etkili bir şekilde yürütülmesi, yöneticiler ve halkın bilinçlenmesini sağlamaktadır (Macit, 2019).

Günümüzde afet risklerinin belirlenmesi için en fazla tercih edilen yöntem duyarlılık haritalarının üretilmesidir. Oluşturulan haritalarda tehlikeli ve riskli alanlar tespit edilerek heyelanın etkilerini azaltmak ve gelecekte aynı olayın meydana gelebileceği potansiyel araziler hakkında tahminde bulunmak amaçlanmıştır (Varnes, 1984).

Özellikle son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalar daha çok güncel veriler ışığında mevcut veya potansiyel durumun belirlenmesi ve haritalanması üzerine yoğunlaşmıştır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Yapılan çalışmaların pek çoğunda Coğrafi Bilgi Sisteminden faydalanılmıştır.

Günümüzde birçok kavram gibi CBS, kullanıcılarının farklı disiplinlerde yer alması nedeniyle sabit bir tanıma sahip değildir. CBS bazı araştırmacılar tarafından yeryüzünün özellikleri hakkında istenilen her türlü bilgiyi ele alabilen ve bu bilgilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi, görüntülenmesi ve yayınlanması için tasarlanmış bir bilgi sistemi olarak ifade edilmektedir (Heywood ve ark., 2006). CBS, dijital çağın getirdiği yeniliklerle birlikte, çevremizi anlamamız gerekliliğinden ortaya çıkmış bir sistem olup, istenilen amaç doğrultusunda araştırma, planlama ve karar verme yeteneklerini kolaylaştıran bir sistemdir (Ertunç ve Çay, 2020).

CBS'nin özellikle uydu teknolojisi ile tanışmasının yanında yönetim bilgi sistemleri ile bütünleştirilebilir olması bu gelişme sürecine hız kazandırmıştır. CBS ile yeryüzündeki doğal ve yapay kaynaklar günümüzde çok daha hassas ve verimli bir şekilde yönetilerek, daha yaşanabilir bir çevrenin yaratılması için uğraşılmaktadır (Yomralıoğlu, 2002).

CBS temelde mekânsal veriler, sokaklar, binalar, göller ve ülkeler gibi gerçek dünyadaki coğrafi nesneler ve bunların konumlarıyla ilgilenmektedir. Nesnelerin konum bilgilerinin yanında, bu nesnelerin her biri için ayrıca birer isim, özellik, derinlik veya

nüfus gibi belirli ilgi özelliklerine yani grafik olmayan nitelik verilerine sahiptir. Ayrıca CBS çevremizdeki nesnelerin hem mekânsal hem de öznitelik verilerini elde etmek, bu verilere ilişkin veri tabanları oluşturmak ve aynı zamanda nesneler üzerindeki analizi kolaylaştırmak için farklı türlerdeki verileri birbirlerine bağlamamıza izin vermektedir (Campbell ve Shin, 2011).

CBS ile elde edilen verilerin derlenip analize hazırlanmasında sağlıklı sonuçlar alınabilmesi için verilerin doğruluğu analiz sonucuna direk etki etmektedir. CBS'nin sağladığı fayda ise büyük verilerini bir araya getirilmesi ve sorgulamada ise bütün veriyi tek satırda yapılan çalışmanın sonucunu görülebilmektedir. Sağlanan bu faydalar CBS kullanılarak dünyanın dört bir tarafında hızlı bir şekilde karar destek sistemlerini oluşturmuştur.

Heyelan riski haritasının oluşturulmasında çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. En çok kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama temelli modellemelerin yapılmasıdır. Yapılan modellemeler ile zeminin ne derece etkilendiği ve heyelan riski hangi alanlarda olabileceği öngörülebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak heyelanın hangi alanlarda riskli olabileceği ve risk alanların oranlarını belirlemek, yaptığı risk etkilerini ortaya koyarak mal ve can kaybına yönelik çözüm önerilerini geliştirmektir. Bu çalışmada, uygulama alanı olarak Hakkari İli Yüksekova İlçesi seçilmiştir. Heyelanı tetikleyen 12 (oniki) parametre belirlenmiş Coğrafi Bilgi Sistemi yardımıyla heyelan duyarlılık risk analizi yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Lee, 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada Malezya ülkesinin Penang eyaletinde CBS ve UA kullanılarak heyelan risk haritası yapılmıştır. Eğim, arazi kullanımı, eğim şekli , akarsuya mesafe uzaklık, litoloji ve ndvı faktörleri olmak üzere 6 parametre kullanılarak lojistik regresyon modeli kullanılarak oluşturulmuştur.

Komaç, 2006 yılında yapmış olduğu çalışmada çok değişkenli istatistiksel analiz (faktör analizi) kullanılarak, faktörler ve heyelan dağılımı arasındaki etkileşimler test edilmiştir. Sonuçlar, eğimin, litolojinin, arazi pürüzlülüğünün ve örtü tipinin heyelan duyarlılığında önemli roller oynadığını göstermiştir. Diğer mekansal faktörlerin önemi heyelan tipine göre değişmektedir. İstatistiksel sonuçlara dayanarak, Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak çeşitli heyelan duyarlılık modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller %4,3 ile %73 arasında değişen bir tahmin hatası ile çok farklı sonuçlar vermiştir.

Thanh, 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada Vietnam-Laos sınır bölgesinde eğim, arazi kullanımı, litoloji, jeoloji, jomorfoloji, toprak, yükseklik, akarsuya uzaklık, yağış ve fay hattına mesafe olmak üzere 10 parametre kullanılmış; yapılan duyarlılık haritasına heyelan envanter analizi, sezgisel yöntemler, istatistiksel analiz ve süreç bazlı olmak üzere 4 farklı yaklaşım uygulanmıştır.

Akgün ve Türk, 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada Balıkesir İli Ayvalık ilçesinin verilerden faydalanmak suretiyle litoloji, yamaç eğimi ve yönelimi, kayaların ayrışma durumu, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi, yapısal unsurların yoğunluğu, drenaj ağından uzaklık, arazi ve bitki örtüsü yoğunluğu olmak üzere 8 parametre ele alınmıştır. AHP, mantıksal regresyon ve benzerlik oranı yöntemiyle faktörler incelenerek heyelan duyarlılık haritası üretilmiş, üretilen bu haritaların performansları karşılaştırılmıştır.

Demir, 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada verilerden yararlanmak suretiyle faya yakınlık, akarsuya yakınlık, yola yakınlık, drenaj yoğunluğu ve fay yoğunluğu olmak üzere 5 parametre kullanılmıştır. Bu çalışmada frekans oranı, bulanık mantık ve lojistik regresyon analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Çölkesen vd., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada Trabzon İline ait eğim, litoloji, arazi örtüsü, yükseklik, bakı ve yol ağı parametrelerinde faydalanarak heyelan risk haritası oluşturulmuş, regresyon ağaçları ve lojistik regresyon yöntemi karşılaştırılarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

Pourghasemi, vd., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmalarında duyarlılık haritalaması için heyelan koşullandırma faktörleri olarak on iki veri katmanı kullanılmıştır. Bu faktörler eğim, bakı, yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, nehirlerle olan mesafe, yollara olan mesafe, faylara olan mesafe, topoğrafik ıslaklık indeksi, akarsu güç indeksi, akarsu taşıma indeksi ve plan eğriliğidir. Ardından, heyelana duyarlı alanlar SMCE yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiş ve heyelan koşullandırma faktörleri kullanılarak haritalanmıştır. Doğrulama için, analizlerin sonuçları sahada doğrulanmış heyelan konumları ile karşılaştırılmıştır. SMCE yaklaşımı kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının sonuçlarını doğrulamak için heyelan konumları kullanıldı ve doğrulama sonuçları %76.84 doğruluk göstermiştir.

Pourghasemi vd., 2013 yılında yapmış oldukları çalışmalarında ikili lojistik regresyon, analitik hiyerarşi süreci ve istatistiksel indeks modelleri ile ayrıntılı bir heyelan risk duyarlılık haritalama çalışması ve performanslarının bir değerlendirmesini sunmaktadır. Eğim derecesi, yükseklik, eğim yönü, plan eğriliği, normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi, litoloji, arazi kullanımı, nehirlerden uzaklık, yollardan uzaklık, faylardan uzaklık, akarsu güç indeksi ve eğim-uzunluk olmak üzere 12 parametre dikkate alınmıştır. İkili lojistik regresyon (BLR), analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve istatistiksel indeks (SI) modelleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Kavzoğlu vd., 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Trabzon İlinin Düzköy ilçesi litoloji, eğim, arazi örtüsü, NDVI, bakı, toprak kalınlığı, drenaj yoğunluğu, yükseklik ve topoğrafik ıslaklık indeksi olmak üzere 9 parametre dikkate alınmıştır. Destek vektör makineleri (DVM) ve lojistik regresyon(LR) algoritmalarının performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Özşahin, 2015 yılında yapmış olduğu çalışmasında CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tekniklerine dayanarak gerçekleştirmiş, iki değişkenli olarak istatistiksel yönteminin altyapısı esasına dayandırılarak AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) metodu kullanılarak çalışma sahası incelenmiştir.

Akıncı vd., 2015 yılında yapmış oldukları Analitik Hiyerarşi Process (AHP) yöntemi kullanılarak Artvin (Merkez) Belediyesi'nin imar planının düzeltilmesi için belirlenen alanın sınır içerisinde kalan heyelan risk duyarlılık haritası üretilmeye çalışılmıştır. Heyelan duyarlılık analizi yapılırken eğim, jeoloji, yükseklik, bakı ve akarsuya yakınlık olmak üzere 5 parametre kullanılmıştır.

Akıncı ve Kılıçoğlu 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında belirlenen çalışma bölgesinde litoloji, yükseklik, plan eğriliği, eğim, bakı, profil eğriliği ve arazi

örtüsü olmak üzere 8 parametre belirlenmiş, frekans oran yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizi yapılarak riskli yerler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Havenith, vd, 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında morfolojik (M), jeolojik (G), nehir mesafesi (R), yağış (P), deprem (E) ve fay (F) mesafe parametreleri belirlenerek 6 (altı) parametre belirlenmiştir. Tanrı Dağlarında belirlenen faktörlerle heyelan duyarlılık analizinde çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sunkar Vedat Avcı, vd, 2016 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Şepker Çayı Aşağı Havzası'nın heyelan duyarlılık risk analizlerinin yapılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) çalışmalarında kullanılan, heyelan duyarlılık analizi çalışmasında ağırlıklı çakıştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, litoloji, fay hatlarına uzaklık, eğim, göle uzaklık, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsü kapallılığı olmak üzere 6 parametre kullanılmıştır. Arazi çalışmalarına göre heyelan envanter haritası oluşturularak, bu çalışma sonucunda ortaya konan sonuç haritası ile diğer faktör haritaları bütünleştirilerek duyarlılık haritası üretilmiştir.

Avcı, 2017 yılında yapmış olduğu çalışmasında Adaklı ilçesinin (Bingöl) heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır. Analizde litoloji, fay hatlarına uzaklık, eğim, bakı, topoğrafik nemlilik indeksi, yükseklik, yamaç eğriselliği, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsü (Normalize Fark Bitki İndeksi-NDVI) olmak üzere 9 parametre kullanılmıştır. Heyelan üzerinde etkili olan katmanlar alt gruplara ayrılmış, alt grupların toplam piksel ve heyelanlı piksel sayıları zonal istatistikle bulunmuştur. Bu veriler kullanılarak alt grupların ağırlık değeri bulunmuştur. Ağırlık değeri katmanlara atanmış, bu katmanlar toplanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Cruz, 2017 yılında yapmış olduğu çalışmasında “ABD’nin Tennessee eyaletinde yer alan Knox County ilçesinde arazi kullanımı, eğim, eğim şekli, toprak, litoloji ve yükseklik olmak üzere 6 parametre belirlenmiş, Bayes lojistik regresyon yoluyla heyelan duyarlılık analizi yapılarak riskli alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Hong, vd, 2017 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Çin’in Wuyuan bölgesinde bir heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için hibrit bulanık bir kanıt ağırlığı modeli önermiştir. Model, bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilen uzmanların bilgilerini ve kanıtın melez bir ağırlığı yöntemiyle birleştirilmiştir. Her bir çevresel değişkenin tahmin edilen bilgiye dayalı bulanık üyelik değeri, bulanık sonsal olasılıkları ve heyelan duyarlılığını türetmek için veriye dayalı koşullu olasılıklarla birleştirilmiş, eğim, bakı, litoloji , toprak, yağış, plan eğriliği, normalleştirilmiş fark bitki örtüsü

indeksi , yollara uzaklık, nehirlere uzaklık ve faylara uzaklık olmak üzere 10 parametre kullanılmıştır.

Cihangir, 2018 yılında yapmış olduğu çalışmasında bölgenin heyelanların gelişimine bakılmış, buna neden olabilecek parametreler ve tetikleyebilecek mekanizmalar ele alınarak, çalışma alanındaki heyelan riskine bağlı olabilecek tehlikelerin jeomorfolojik bir benzerlikle değerlendirilmiştir. Bu açıdan bu çalışma ile heyelan gelişimi açısından Türkiye ortalamasının üzerine çıkan Kelkit Vadisi'nin aşağı bölgesi için ileride oluşabilecek heyelana bağlı can ve mal kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.

Çavuş, 2018 yılında yapmış olduğu çalışmasında heyelana etki eden faktörlerin tespitine yönelik ve faktörlerden haritaların üretilmesi, üretilen parametre haritalarında ağırlıklı birleştirilmesine esas alınan yöntem ile çalışma sonuçlandırılmıştır. Araştırma alanına en yakın istasyondan meteoroloji verilerinin enterpolasyon ve Schreber yöntemleriyle çalışma sahasına uyarlanmış, iklimsel özelliklerine bakılarak açıklanmıştır.

Balaban, 2019 yılında yapmış olduğu çalışmasında heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Frekans Oranı (FR) Metodu kullanılmıştır. Yamaç eğimi, bakı, yükseklik, yamaç eğriselliği, litoloji ve akarsuya uzaklık olmak üzere 6 parametre belirlenmiştir. Frekans Oranı Metoduyla Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak üretilen ve hazırlanan heyelan envanterleri birleştirilip frekans oranı FR değeri hesaplanmış, heyelan duyarlılık risk haritaları üretilmiştir.

Sayın, 2019 yılında yapmış olduğu çalışmasında yapılan heyelan analizinde yükseklik, bakı, eğim, ana faylara yakınlık, yamaç eğriselliği, akarsu aşındırma gücü arazi örtüsü, litoloji, indeksi ve toprak olmak üzere 9 parametre belirlenmiş ve bu parametrelerin haritası üretilmiştir. Ayrıca çalışma alanına ait yollara ait veri ile yerleşim yerlerinin verileri üretilmek üzere heyelan duyarlılığının bu faktörlere etkisi üzerinde durulmuştur.

Üzel Günini, 2019 yılında yapmış olduğu çalışmasında Van ili heyelan duyarlılığı haritası üretiminde frekans oranı yöntemi ve lojistik regresyon analizi kullanmıştır. Yapılan heyelan duyarlılık risk analizinde arazi kullanımı/örtüsü, yamaç eğimi, litoloji, topoğrafik yükseklik, bakı ve eğrisellik olmak üzere 6 parametre kullanılmıştır.

Zorba, 2019 yılında yapmış olduğu çalışmasında taşkın ve heyelan risk alanlarının belirlenmesi maksadıyla toprak, yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, akarsuya yakınlık, bakı, eğim, eğrisellik ve fay hatlarına yakınlık parametreleri olmak üzere 9 parametre belirlenmiş ve bu parametreler ortak parametre grubunda değerlendirilmiştir. Belirlenen çalışma sahası içinde heyelan risk haritaları oluşturulmaya çalışılmıştır.

Berhane vd, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmalarında litoloji, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, akarsulardan uzaklık, çizgisellik/faylardan uzaklık ve şev bakı haritaları olmak üzere 5 faktör belirlenmiştir. Frekans oranı modeli kullanılarak heyelan risk haritası hazırlanmıştır.

Orhan vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Adıyaman ili gölbaşı ilçesi arasında yükseklik, yamaç eğimi, jeoloji, topoğrafik nemlilik indeksi ve pürüzlülük olmak üzere 5 parametre ile yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak heyelan haritası üretilmiş ve değerlendirilmeler yapılmıştır.

Koç, 2021 yılında yapmış olduğu çalışmasında Erkenez havzası Kahramanmaraş'ta çalışma bölgesi seçilmiş, heyelan duyarlılık analizinde kombinasyonlar arasında heyelanlı bölge ve heyelansız bölge ayırımına dayanan GIS Matrix modeli ile çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada parametreler sayısal yükseklik modeli, heyelan envanter haritası, litolojik birimler, eğim, arazi kullanımı, bakı, topoğrafik nem indeksi, fark bitki örtüsü indeksi olmak üzere 8 parametre belirlenerek çalışma sahası incelenmiştir.

Öz ve Günek, 2021 yılında yapmış oldukları çalışmalarında yükseklik, eğim, drenaj yoğunluğu, bakı, akarsuya uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi, litoloji, profil eğriliği, yola yakınlık ve yağış olmak üzere 10 parametre belirlenmiştir. Yapılan analiz çalışmasının sonuçları bir heyelan risk duyarlılık haritası geliştirmek için frekans oranı tekniği kullanılmıştır. Solaklı havzasının heyelan duyarlılık risk haritası ROC Eğrisi kullanılarak çalışmanın doğruluğunu ortaya koymaya çalışmıştır.

Bozdoğan ve Canpolat, 2022 yılında yapmış oldukları çalışmalarında havzaya yönelik heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmış ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Akarsu ağı, eğim şekli, tektonizma, eğim, bakı, yükseklik, NDVI, toprak, iklim özellikler, ulaşım yolları, arazi kullanımı ve litolojik olmak üzere 12 parametre kullanılmıştır. Arazi çalışmalarının keşif bulgularının AHP yöntemindeki elde edilen sonuçların örtüşüp örtüşmemesinin yönteminin güvenilirliğini ve uygulanabilirliği açısından gösterilmeye çalışılmıştır.

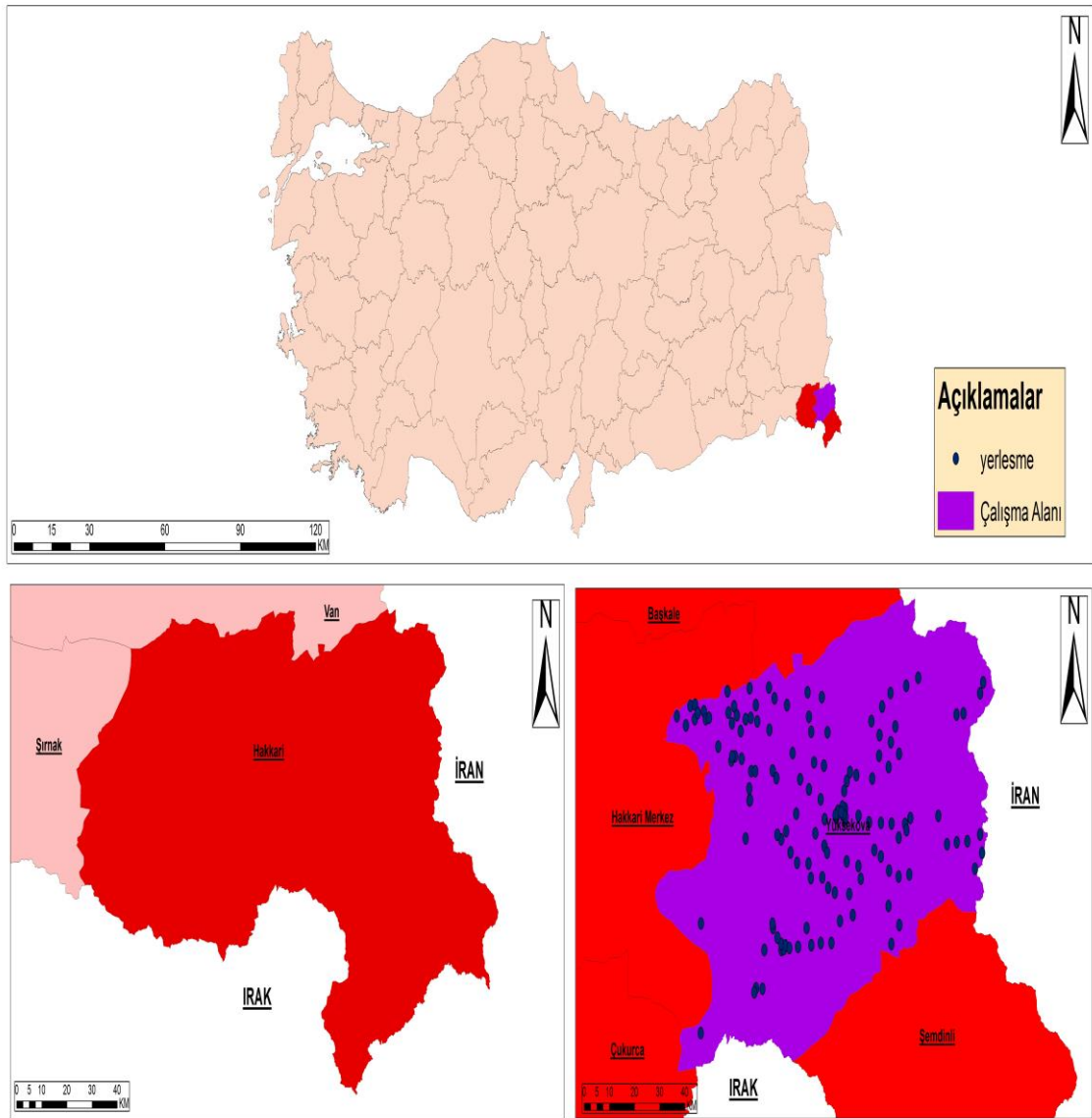
Ullah, vd, 2022 yılında yapmış oldukları çalışmalarında özellikle Lineer Regresyon (LiR), Lojistik Regresyon (LoR) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) olmak üzere üç Makine Öğrenimi (ML) tekniği kullanarak Pakistan'daki bu bölgeler üzerindeki heyelan duyarlılığının haritasını çıkarmayı amaçlamıştır. Potansiyel heyelan alanlarını belirlemek için yükseklik, eğim derecesi, eğim yönü, genel eğrilik, plan eğriliği, profil eğriliği, arazi örtüsü sınıflandırma sistemi, Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), toprak, litoloji, fay yoğunluğu, topografik pürüzlülük indeksi ve yol yoğunluğu olmak üzere 14 parametre ağırlıklarını ML teknikleri kullanılarak hesaplanmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Yeri ve Sınırları

Çalışma sahası Türkiye'nin güneydoğusunda ve yüksek dağlarla çevrili Hakkari İlin Yüksekova İlçesidir. Batısında; Çukurca İlçesi ve İl merkezi, güneyinde; Şemdinli, Derecik ilçesi ve Irak Ülkesi, doğusunda; İran Ülkesi, kuzeyinde ise Başkale ilçesi bulunmaktadır (Şekil 3.1). Yüksekova İlçesi, dağlar arasında düz ova alanında kurulmuştur (Şekil 3.2.).



Şekil 3.1. Araştırma Sahasının Lokasyon Haritası



Şekil 3.2. Yüksekova ilçesinden bir görünüm. **Kaynak:** Wikipedia'dan alınmıştır. Erişim Tarihi: 10.01.2023

3.2. Kullanılacak Parametrelerin Belirlenmesi

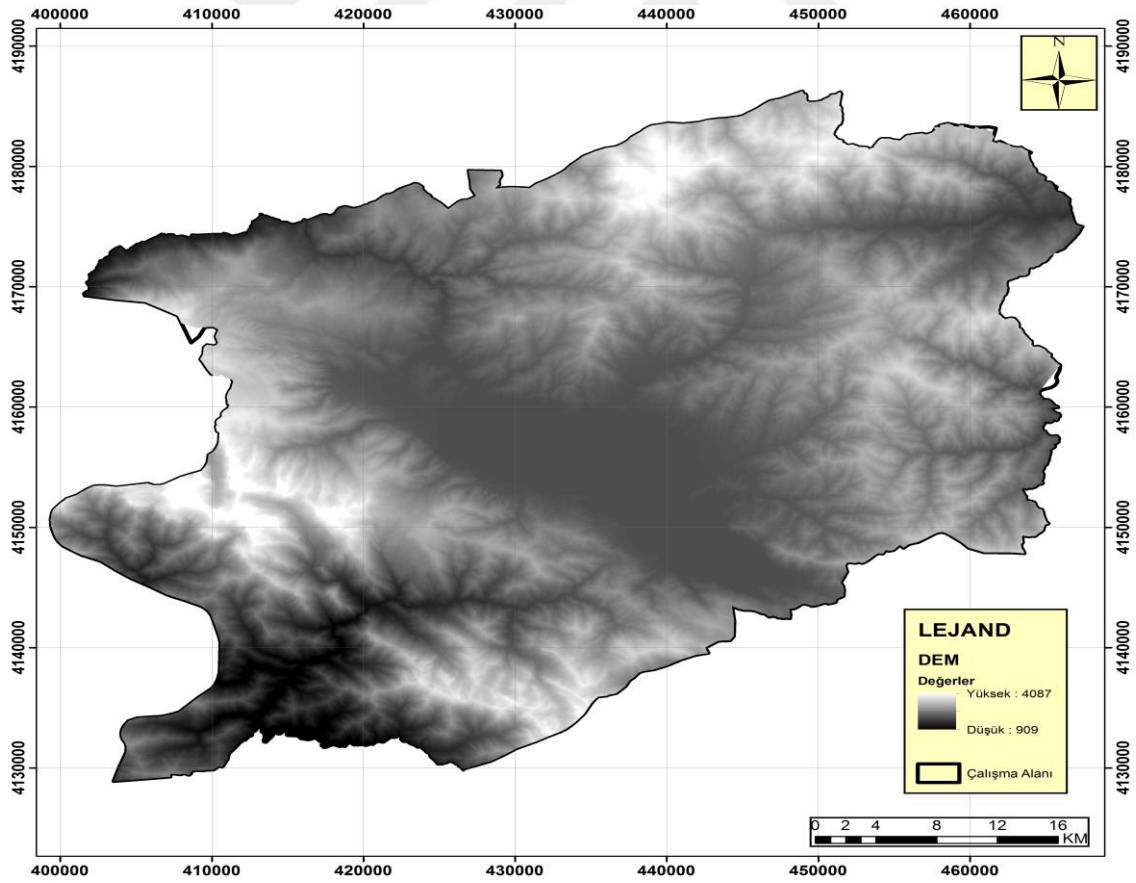
Çalışma alanında yapılacak olan heyelan duyarlılık analizi için 12 parametre belirlenmiştir (Tablo 3.1). Bu parametreler uygulama alanının coğrafi şartları ve daha önceki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Yüksekova İlçesi için belirlen parametreler

Belirlenen Parametreler	
1. Yükseklik	7. Akarsulara Mesafe
2. Eğim	8. Fay Hattına Mesafe
3. Bakı	9. Yağış
4. NDVI	10. Eğim Şekli

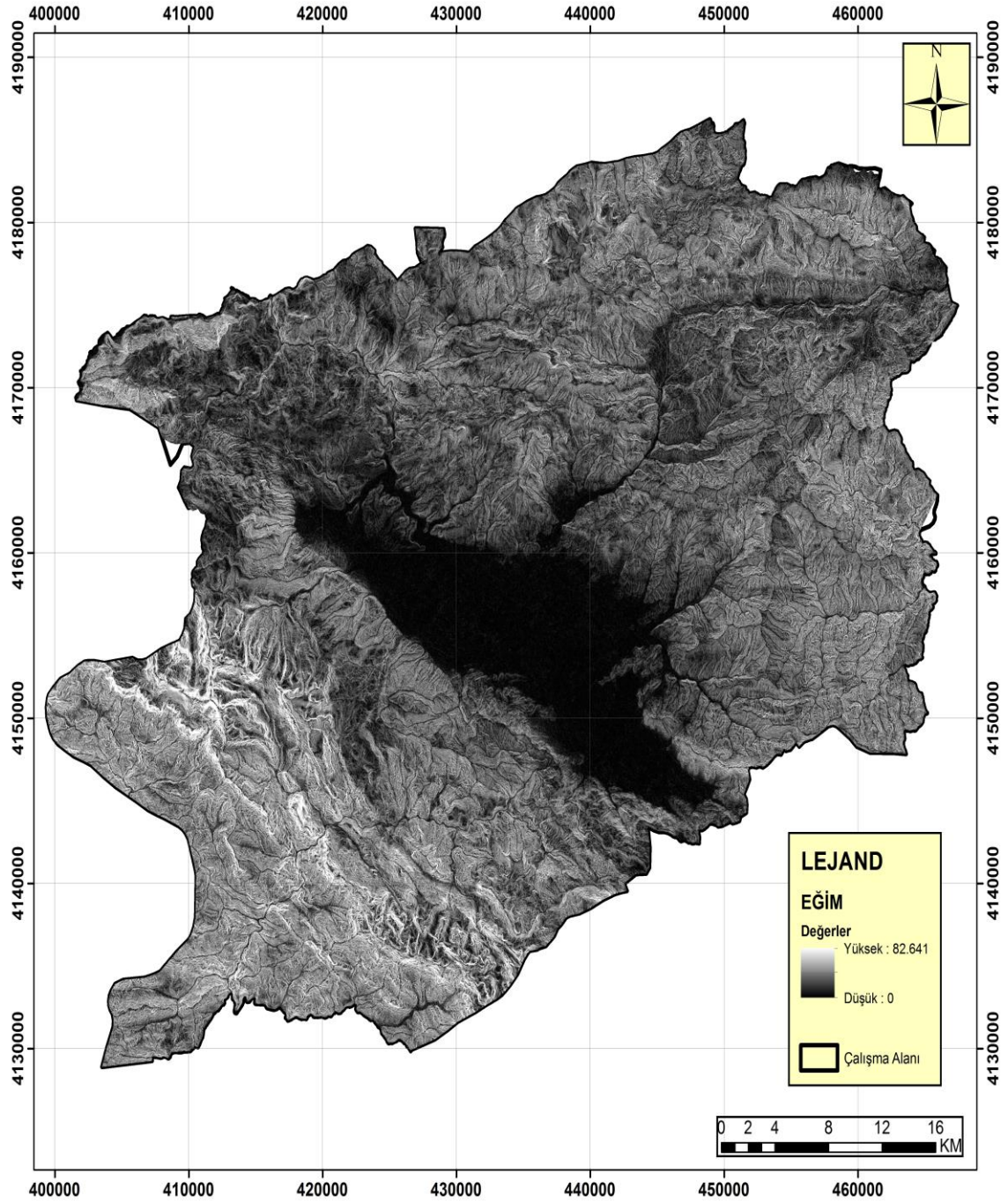
5. Arazi Kullanımı	11. Jeoloji
6. Yollara Mesafe	12. Toprak

[1] Yükseklik: Bu çalışmada yükseklik verisi Earth Explorer sitesinden alınarak Aster GDEM verisi kullanılmıştır. (Şekil 3.3.). Veri elde edilirken çalışma alanına ait 12,5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Dem verisinin 909 m-4087 m aralığında olduğu görülmüş ve 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. Yüksekliğin en çok olduğu yerler riskin fazla olduğu yerler, yüksekliğin en az olduğu yerler ise riskin az olduğu alanlardır. Yüksekliğin fazla olduğu yerlerde bitki örtüsü çeşitliliğinin az olmasından dolayı kayaç yapısı ve toprağın tutunumu az ve yükseklik değerlerinin az olduğu yerlerde ise bitki örtüsü çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı tutunum daha fazladır. Çalışma alanının coğrafi şartlarına bakıldığında, arazinin yüksek dağlarla çevrili ve dağların yamacında yerleşim birimlerinin olduğu görülmesinde dolayı çalışmanın daha duyarlı olması için yükseklik parametresi eklenmiştir.



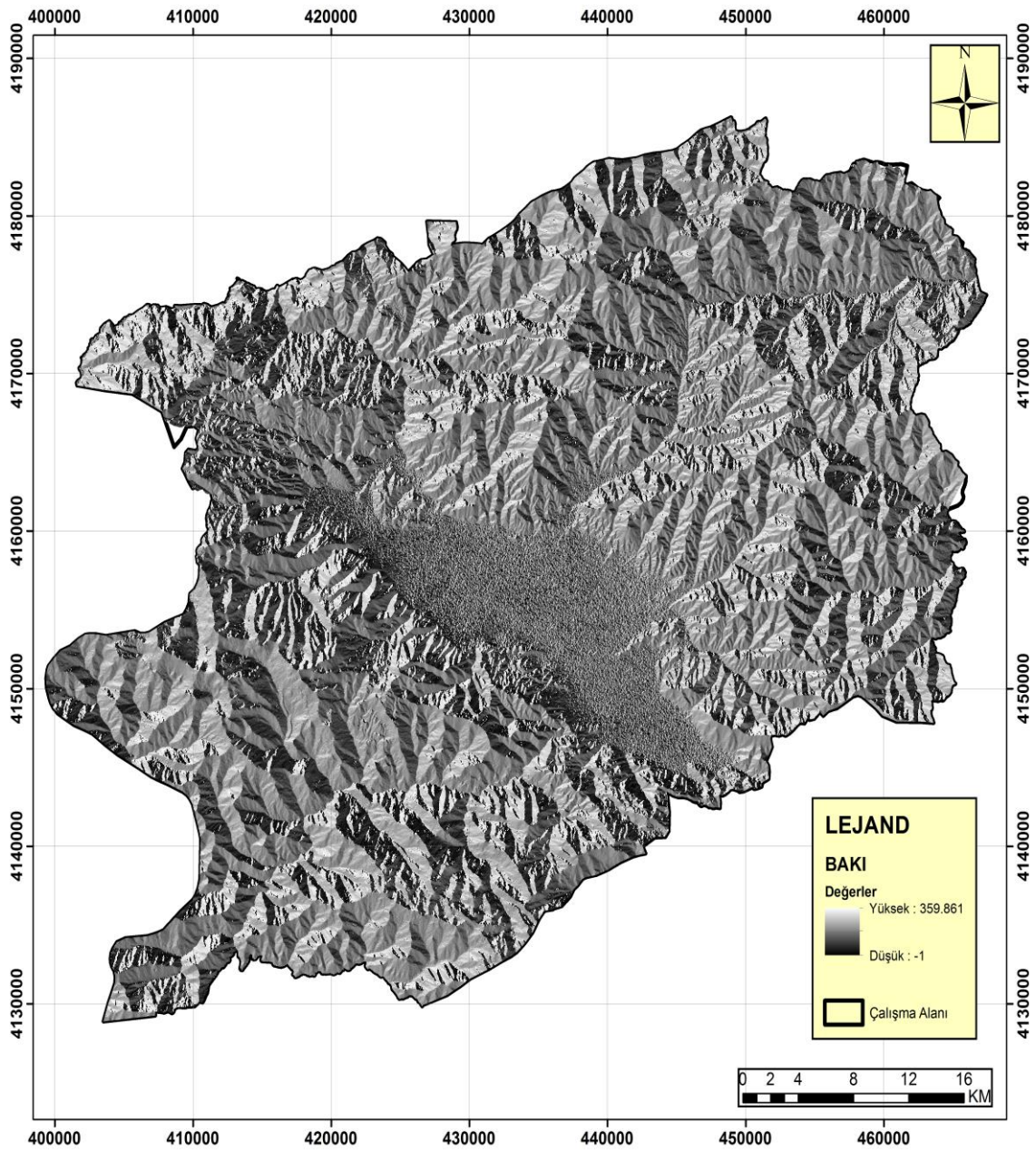
Şekil 3.3. Yüksekova İlçesi Dem Verisi (Sayısal Yükseklik Modeli)

[2] **Eğim:** Dem verisinden elde edilmiştir. Kütle yer değişimlerinde gerilmelerin eğimin yüksek olduğu yerlerde heyelanın riski hızlı ve fazla, eğimin düşük olduğu yerlerde ise heyelan riski yavaş ve azdır. Eğim parametresi heyelan duyarlılık risk haritası yapılmasında en önemli parametrelerden birisidir. Dem verisinden üretilen haritadan eğimin 0° - 82° arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 3.4.). Eğim 6 sınıfa ayrılmıştır.



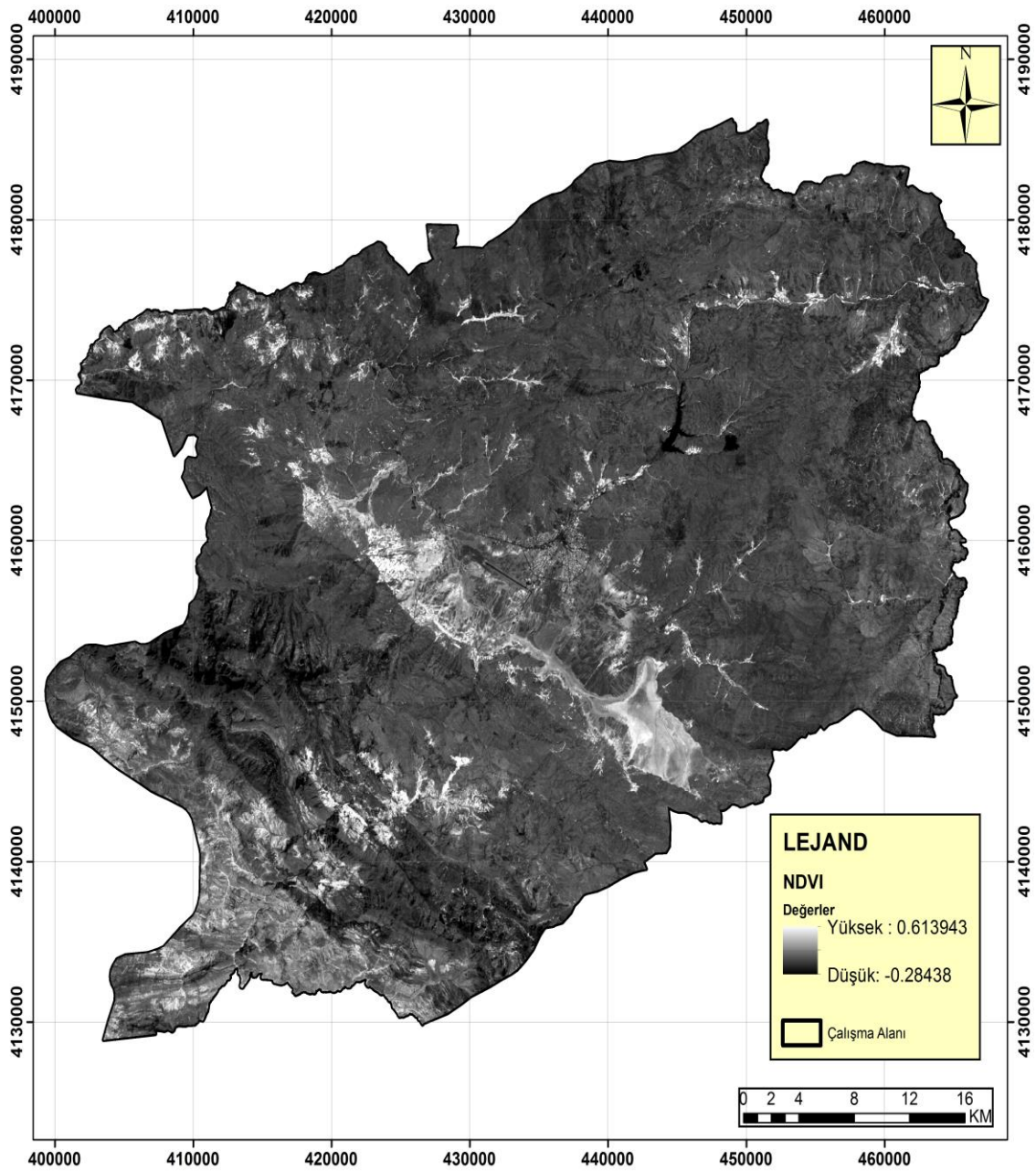
Şekil 3.4. Yüksekova İlçesi Eğim Verisi

[3] **Bakı:** Dem verisinden Doğu, Kuzey, Güneydoğu, Kuzeydoğu, Güney, Güneybatı, Batı ve Kuzeybatı olmak üzere yamaç yönelimleri belirlenmiştir (Şekil 3.5). Güneş ışığını az gören yerler de donmanın fazla olacağı, güneş ışığını fazla gören yerler ise çözünmenin fazla olacağından dolayı atmosferik etkilerin bakının durumuna göre etkilemektedir. Güneş ışığının fazla olan yerlerde buharlaşmanın fazla olacağı ve heyelanın riskini oluşabileceği öngörülmüştür. Işığın az gören ve fazla gören kısımları 10 sınıfa ayrılmıştır.



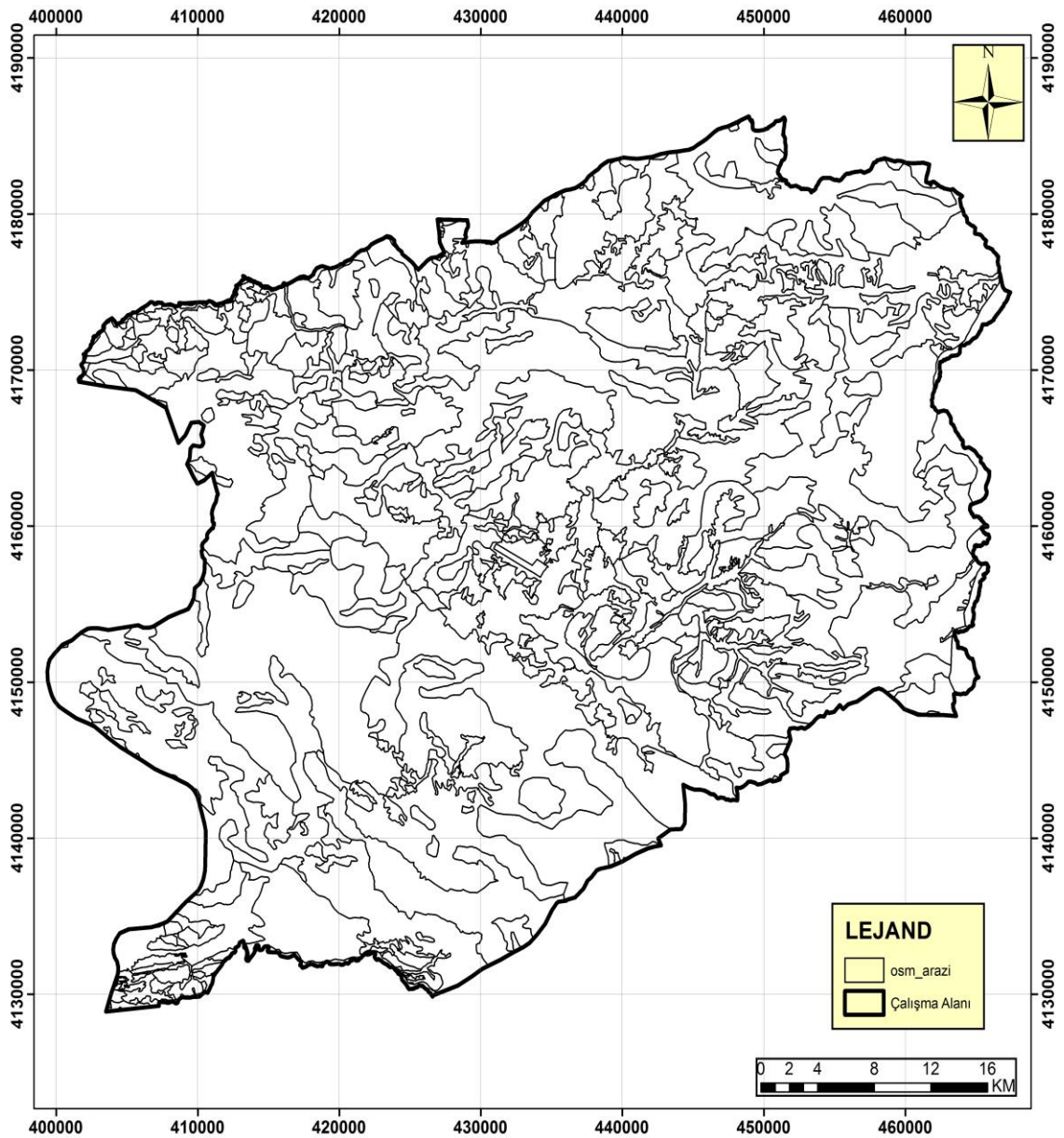
Şekil 3.5. Yüksekova İlçesi Bakı Verisi

[4] NDVI: Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi, heyelan riskini etkileyecek parametrelerden biridir. Bitki örtüsü çeşitliliğinin çok olmasına bağlı olarak heyelan oluşumuna engelleyici etki yapmakta, çeşitlilik az olursa heyelanın oluşumuna katkı sağlayan bir faktördür. Çalışma alanımızda NDVI değerimiz $-0.28 - +0.61$ değerleri arasındadır (Şekil 3.6.). Eksi değerler yerleşim birimlerine ve kurak alanlarına tekamül etmektedir. Artı değerlerin ise artmasına bağlı çimen, çayır ve bitki örtüsünün daha sık olduğuna karşılık gelmektedir. NDVI verileri 09/09/2021 tarihindeki Landsat-8 uydu görüntüleri indirilerek temin edilmiştir.



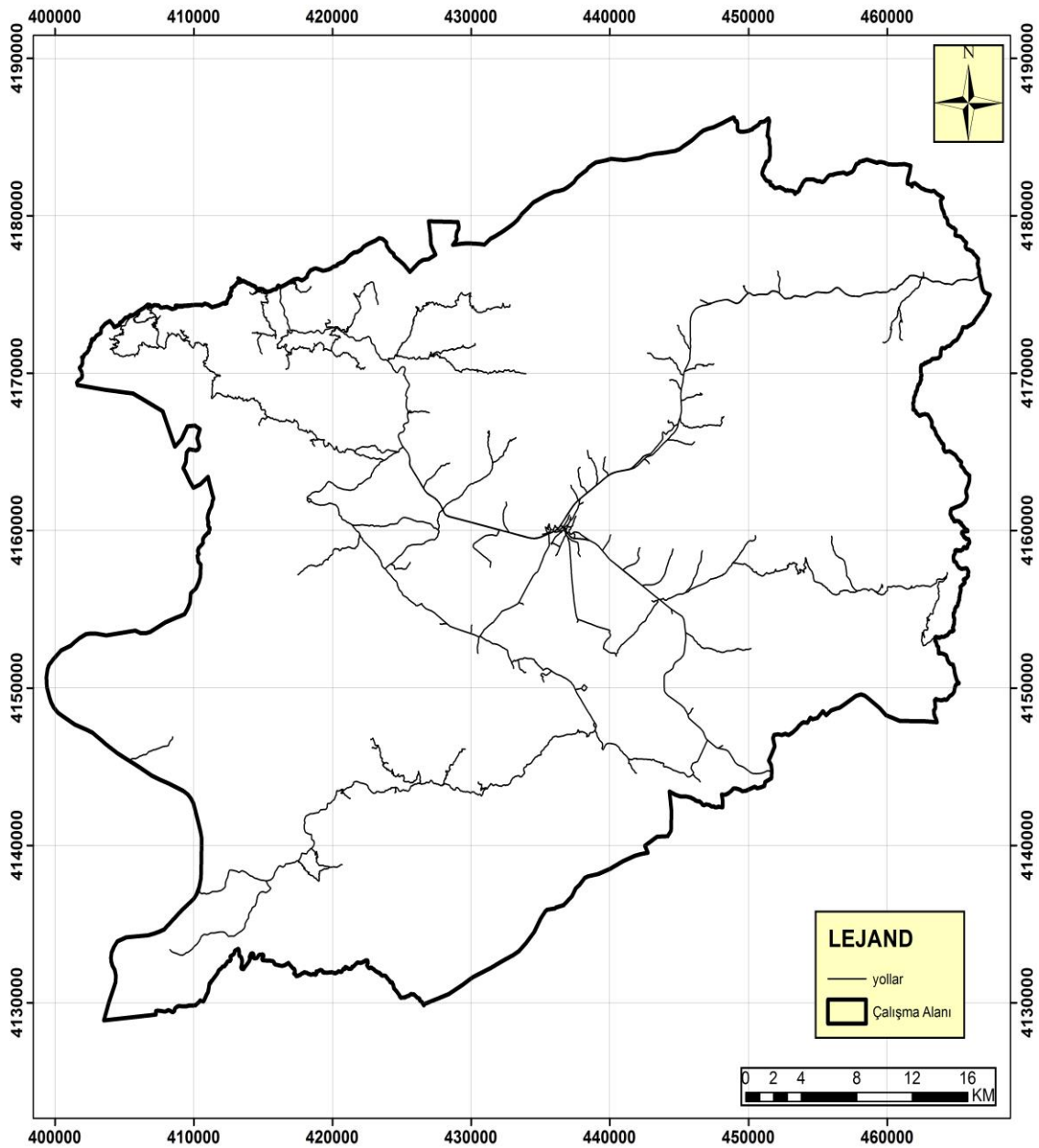
Şekil 3.6. Yüksekova İlçesi NDI Verisi

[5] **Arazi Kullanımı:** Arazi kullanım verisi olarak Corine-2018 verileri kullanılmıştır. Arazinin kullanılması heyelan riski bakımından ağaçlık ve yeşil alanlarda heyelan riski az, kurak alanlarda ise heyelan riski fazladır. Arazi Kullanım verisi yirmi farklı kategori gruplandırılmıştır. Başlıcaları; Bataklıklar, Çıplak Kayalıklar, Doğal Çayırliklar, Karışık Tarım Alanları, Meralar, Seyrek Bitki Alanları, Sulanmayan Ekilebilir Aınlar vb. farklı sınıflar karşımıza çıkmıştır. Arazi Kullanım verileri 2018 yılındaki vektör verileri ele alınmıştır (Şekil 3.7.).



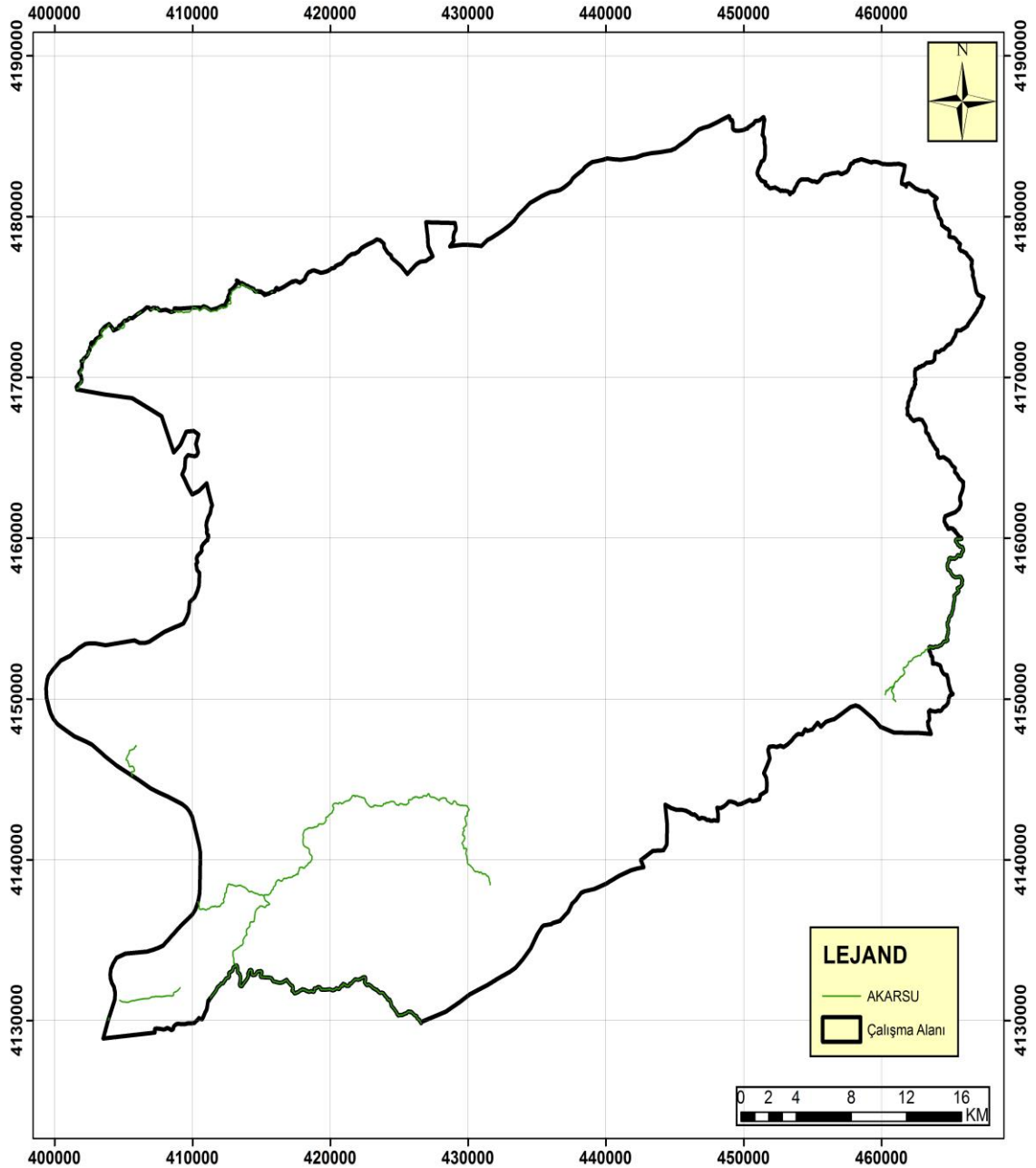
Şekil 3.7. Yüksekova İlçesi Arazi Kullanım Verisi

[6] Yollara Mesafe: Yol verisi OpenStreetMap sitesinden alınmıştır. Yollara Mesafe parametresi heyelan riskini artıran önemli parametrelerden biridir. Yolların dağın yamaçlarında geçtiği yerlerde hassas bölgeler oluşturarak heyelanı tetikleyen bir faktördür. Kütle hareketlerine bağlı olmakla beraber heyelanlarla güçlü bir bağa sahiptir. Çalışma alanının dağlık bölge olmasından dolayı inişli çıkışlı yollar gözlenmiştir. Yol verisi OpenStreetMap sitesinden alınan veriler uydu görüntüsü üzerinden sayısallaştırma işlemi yapılarak güncellenmiştir.(Şekil 3.8.). Zaman zaman Yüksekova – Van karayolunda heyelan meydana gelmesi buna bir örnek teşkil etmiştir.



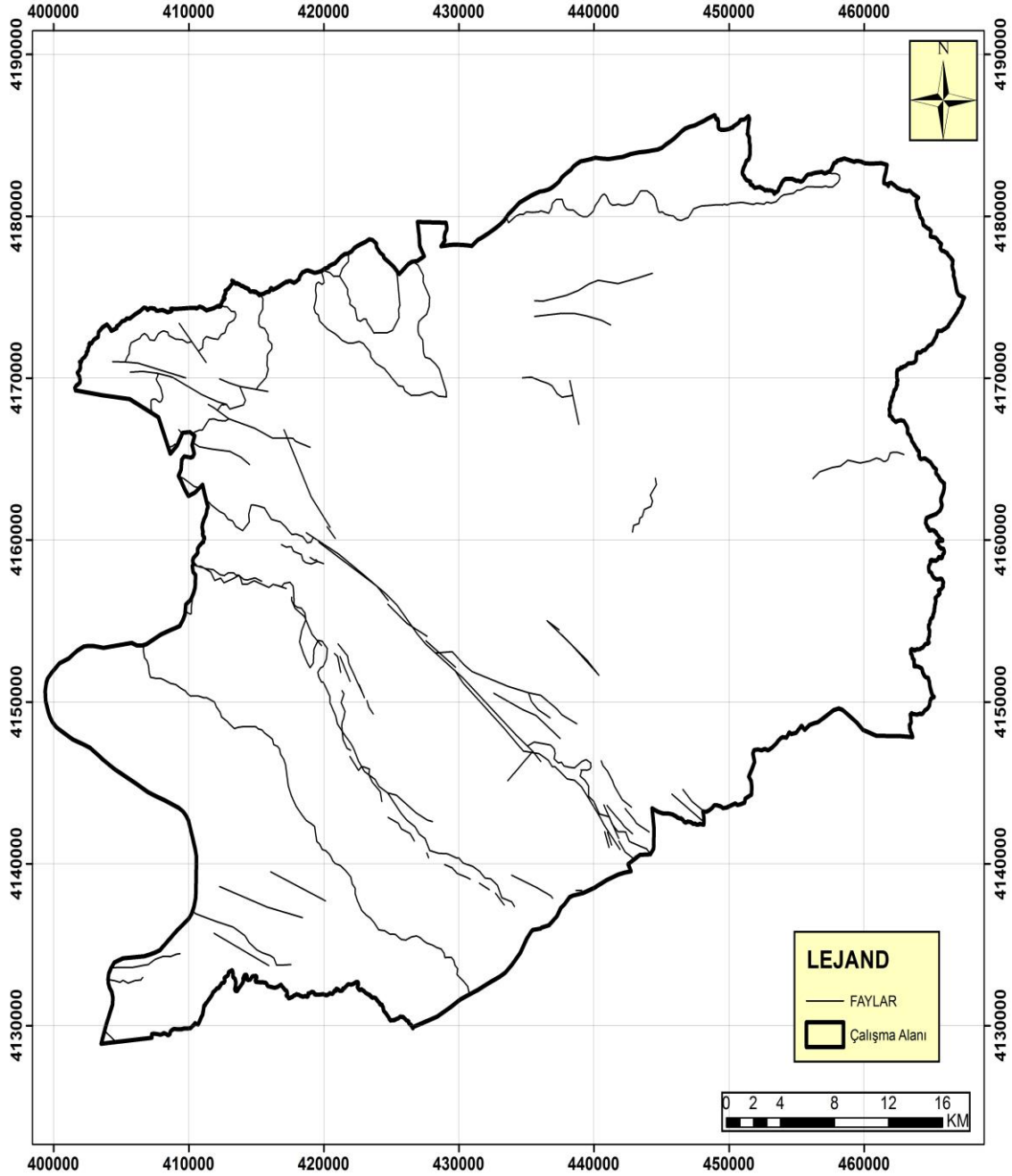
Şekil 3.8. Yüksekova İlçesi Yol Verisi

[7] Akarsulara Mesafe: Akarsu verisi OpenStreetMap sitesinden alınmıştır. Akarsulara mesafe parametresi akarsu ağına yakın olan kesimlerde toprağın suya doygun hale ulaşmasından dolayı heyelan oluşma riskini artırmasından dolayı bu parametre ele alınmıştır. Çalışma alanının dağlık bölge olmasından dolayı dağların arasından geçen akarsular gözlenmiştir. OpenStreetMap sitesinden alınan veriler uydu görüntüsü üzerinden sayısallaştırma işlemi yapılarak güncellenmiştir. (Şekil 3.9.).



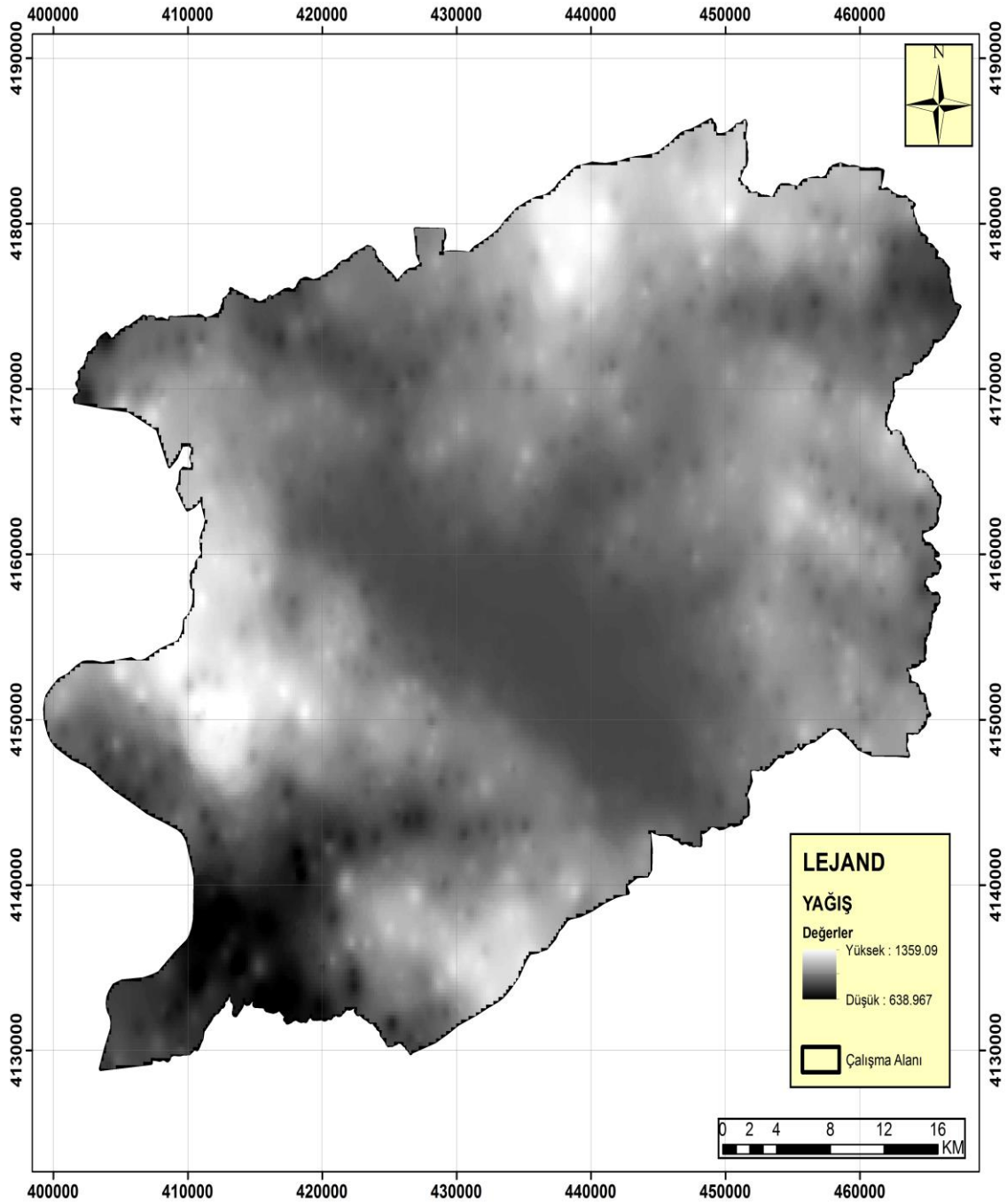
Şekil 3.9. Yüksekova İlçesi Akarsu Verisi

[8] **Fay Hattına Mesafe:** Fayların yarattığı depremler, zeminde oluşturmuş olduğu etki bakımından heyelanı tetiklemektedir. Yeryüzündeki değişimler ile fay hattına yakın olan yerlerde heyelan duyarlılık riskini artıracakları değerlendirilmiştir. Fay verisi MTA'dan alınmış olup 1/25000 pafta indeksine sayısallaştırılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.10.). Uzman görüşleri alındığında eğimin çok olduğu yerlerde faylar heyelan riskini artırmaktadır.



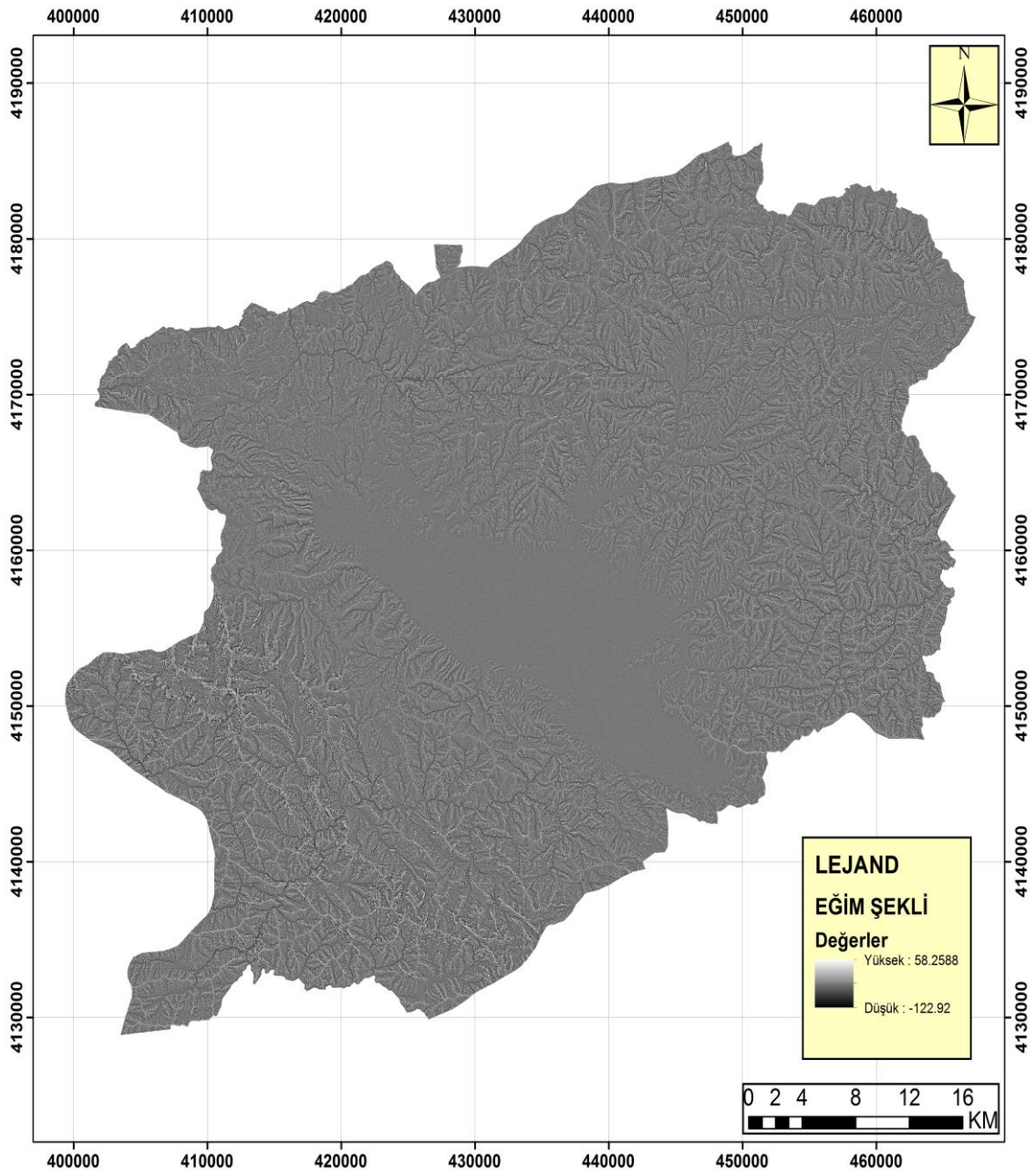
Şekil 3.10. Yüksekova İlçesi Fay Hattı Verisi

[9] **Yağış:** Heyelan oluşumunda iklim özellikleri her zaman için önemli bir parametre olmuştur. Yıllık ortalama yağış miktarına göre yeraltı suları yükselmekte ve alçalmaktadır. Bundan dolayı da yağışın fazla olması zemin için doygun hale gelmekte ve heyelan riskini artırmaktadır. En yakın istasyon olan Van İli Meteoroloji Müdürlüğü verileri kullanılmıştır. Ortalama yağış haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.11).



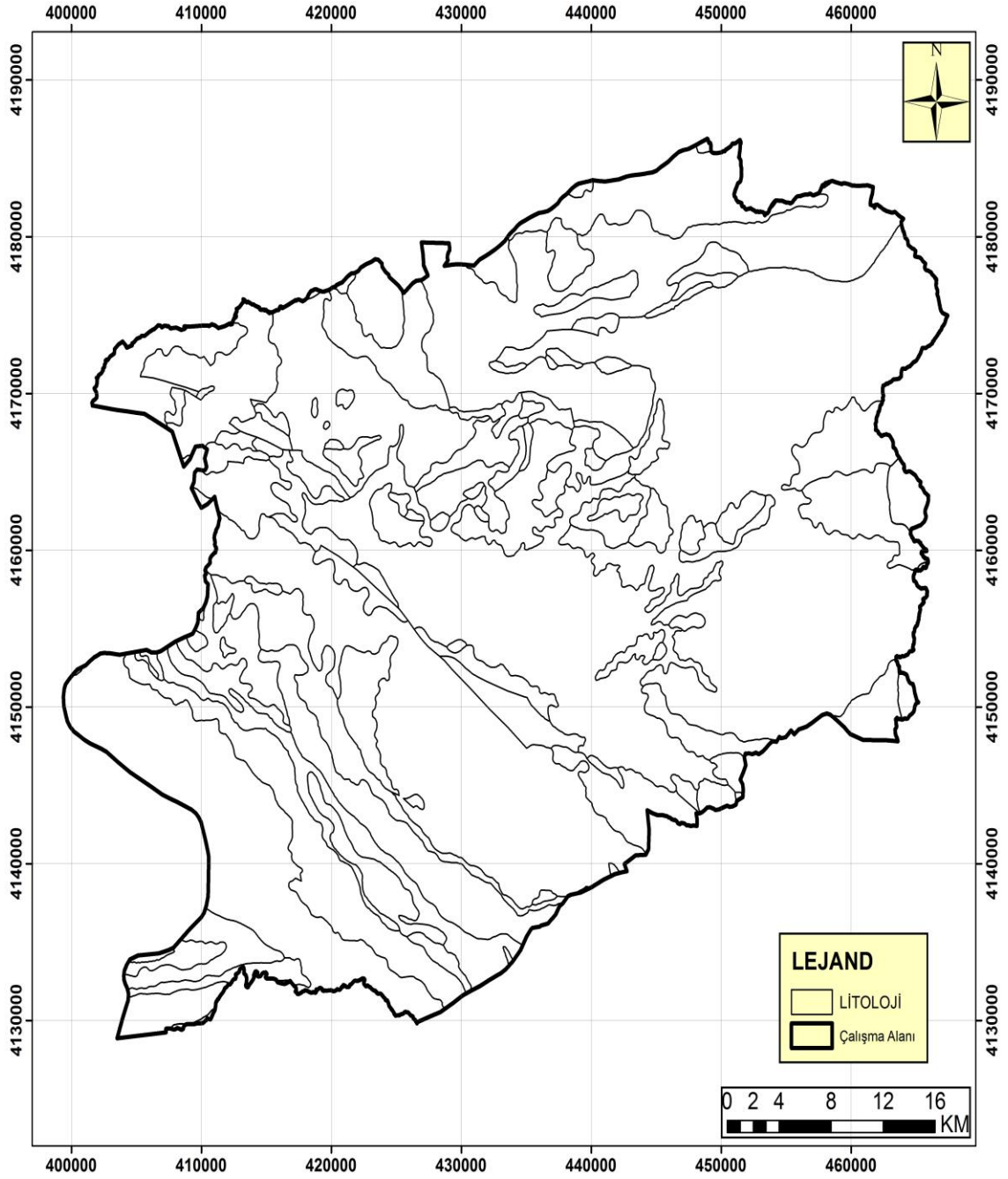
Şekil 3.11. Yüksekova İlçesi Yağış Verisi

[10] Eğim Şekli: Arazi koşullarının heyelan riski üzerindeki etkisi eğimin eğriliği ile ilgili ya da eğimin yönüyle belirlenmiştir. Eğim şeklinin içbükey ve dışbükey olmasından dolayı heyelan davranışına etki etmektedir. Bu kapsamda eğim şeklinin tespit edilmesinde dış bükey pozitif değerleri, iç bükey ise negatif değerleri temsil etmektedir. Sıfır olan değerler ise düz alanları göstermektedir. Çalışma alanında -122 ile +58 değerleri aralığında olduğu görülmüştür (Şekil 3.12.). Eğim verisinden eğim şekli verisi elde edilmiştir.



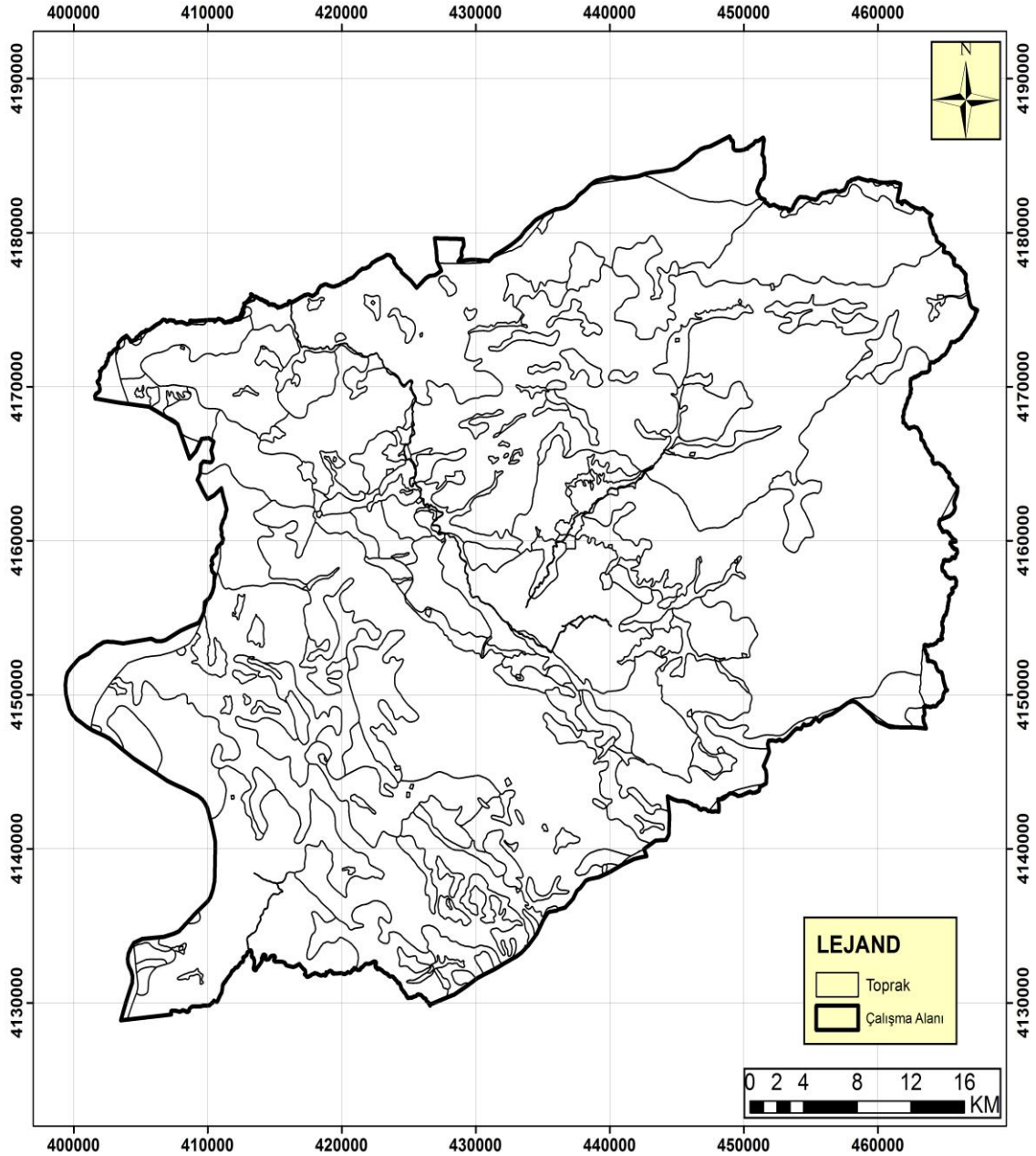
Şekil 3.12. Yüksekova İlçesi Eğim Şekli Verisi

[11] **Jeoloji:** Jeoloji parametresi kayaçların yapısından dolayı heyelana etki etmektedir. Çalışma alanında da yüksek dağların oluşması sebebiyle daha yaşlı kayaç türlerinin olduğu gözlenmiştir. Jeoloji verisi bunu kanıtlar niteliktedir. Jeoloji verisi MTA'dan alınmış olup 1/25000 pafta indeksine sayısallaştırılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Yüksekova İlçesi Jeoloji Verisi

[12] **Toprak:** Toprağın yapısı, doygunluk seviyesi, özellikleri, gözenek yapısı gibi farklıların olması çalışmamız bakımından toprak parametresi ele alınmıştır. Toprak verisi Tarım ve Orman Bakanlığı'nda alınmıştır (Şekil 3.14.). 13 farklı toprak türü sınıflandırılarak parametre oluşturulmuştur. Uzman görüşleri ise toprağın birden farklı ele alınan özellikleri olduğundan heyelan oluşumunda doğrudan ilişkili olduğunu beyan etmişlerdir.



Şekil 3.14. Yüksekova İlçesi Toprak Verisi

3.3. Method

Hakkari İli Yüksekova İlçesi sahasında belirlenen parametrelerinin verileri toplanmış, analizler ArcGIS yazılımı ile yapılmıştır. Yapılan çalışmada belirlenen parametreler uygulanabilir açısından uzman kişilerinde görüşleri değerlendirilerek titizlikle seçilmiştir. Belirlenen parametrelerin haritasının yapımında kullanılan; Akarsu Mesafe, Fay Hattı Mesafe ve Yollara Mesafe parametrelerinde tampon analizi; NDVI, Yükseklik, Yağış, Eğim Şekli, ve Bakı parametrelerinde enterpolasyon ve sınıflandırma yapılmış, düzensiz veriler elimine edilerek analizler yapılmıştır. Arazi Kullanımı, Jeoloji ve Toprak parametrelerinde ise veriler düzenlenerek raster haritalar oluşturulmuştur. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile belirlenen parametrelerin ağırlıklandırılması yapılmış ve elde edilen haritaların karşılaştırma analizi yapılmıştır.

3.3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde en çok tercih edilen analitik hiyerarşi yöntemi ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen öncelikleri temel alarak karar vermeyi sunmaktadır (Durgun 2019). Analitik hiyerarşi süreci, kişisel kararlardan çok karmaşık işletme kararlarına kadar geniş bir alanda kullanılabilen bir araçtır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile karmaşık ve düzensiz problemler alt gruplara ayrılarak hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Hiyerarşinin ilk düzeyi, genel amacın, heyelan duyarlılık haritası üretmek olduğunu göstermektedir. İkinci düzeydeki kriterler genel amaca ulaşmaya katkıda bulunacaktır. Üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi (sınıflandırılmış alt kriterler) ise her bir kritere göre değerlendirilir (Çellek vd., 2015). Bir düzeydeki ölçütlerin hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan ölçütler açısından değerlendirmesinde Saaty (1980) tarafından önerilen tercih ölçeğinden (Tablo 3.2.) yararlanılarak bir puanlama yapılır ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Saaty 1980; 2004). İkili karşılaştırma matrisi n adet öge için $n(n-1)/2$ adet karşılaştırmadan oluşur (Malczewski 1999; Öztürk ve Batuk 2010).

Bu çalışma Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık risk haritası üretilmeye çalışılmıştır. Çalışma alanında gözlemler yapılarak 12 parametre kendi aralarında ve parametre içerisinde karşılaştırılarak ağırlıklandırılması hesaplanmıştır (Tablo 3.3.). Ağırlıklandırılma yapılırken coğrafi şartlara, parametrelerin etkilerine, uzman görüşlere ve diğer unsurlara bakılarak ağırlıkların değerleri

hesaplanmıştır. Jeoloji, Yağış, Eğim ve Eğim Şekli parametreleri en yüksek değerlerle ağırlıklandırılmıştır. Çalışmada 12,5 m çözünürlüklü veriler kullanılarak sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş ve parametre bağlı haritaları üretilmiştir.

Tablo 3.2. AHP yönteminde kullanılan ikili karşılaştırma tercih ölçeği (Saaty, 1980).

Önem Derecesi	Açıklama
1	Ölçüler eşit öneme sahip
3	1. ölçüt 2. ölçüte göre biraz daha önemli
5	1. ölçüt 2. ölçüte göre fazla önemli
7	1. ölçüt 2. ölçüte göre çok fazla önemli
9	1. ölçüt 2. ölçüte göre en kuvvetli (aşırı derecede fazla) öneme sahip
2,4,6,8	Ara değerler

AHP yönteminde ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılırken belirli bir derecede tutarsızlık oluşabilir. Bunun için ikili karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığı kontrol edilmelidir (Öztürk ve Batuk 2010). İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty (1980) tarafından önerilen tutarlılık oranı (Consistency Ratio - CR) kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı tutarlılık oranı 0.10'un altında tutulmaya çalışılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

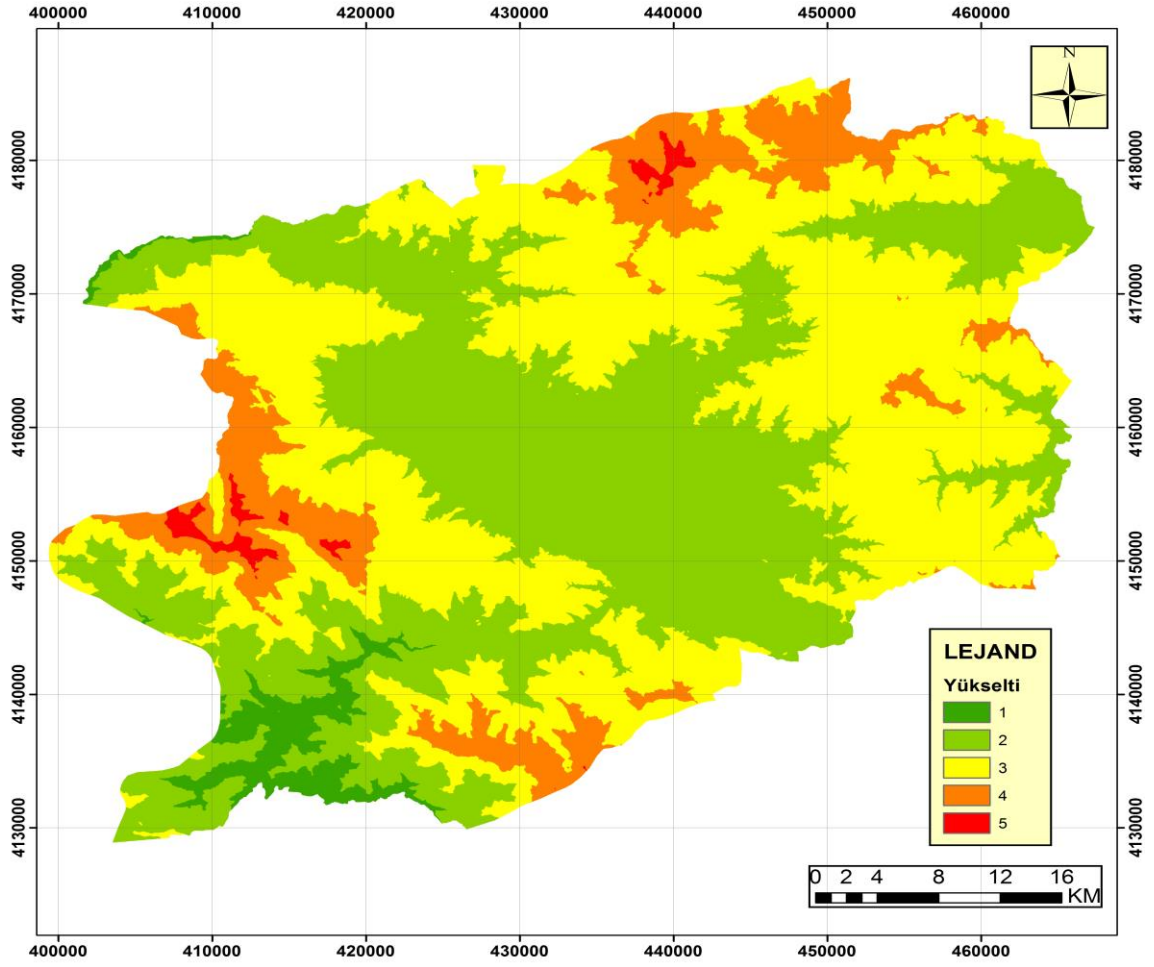
4.1. Yükseklik Faktörü

Yükseklik faktörü heyelan duyarlılık risk haritası oluşturmada birçok uzman araştırmacı tarafından risk değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yükseklik parametresi diğer parametrelere göre bağımsız olarak ele alınmaktadır. Yüksekliğin düşük olduğu yerlerde (0-150m) düşük eğime sahip olmasından dolayı ve yağışın daha fazla kalması düşünüldüğünde kütle hareketlerinin az olacağı, (150-400m) aralığında olan yerler orta yüksekliğe sahip olup, çok yüksek alanlardan gelen fiziksel çözünme ile ayrışan malzemelerin duyarlılığı daha çok artırmaktadır. Fakat bu değerlendirme geçerli bir değerlendirme değildir. Diğer parametrelerle ilişkisi ayrı ayrı incelenip ele alınmalıdır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde ve uzman görüşlere başvurulduğunda yüksekliğin arttığı yerlerde heyelan riskinin daha çok arttığına ulaşıldıklarını beyan etmişlerdir.

Yükseklik faktörü üzerinde heyelanı hazırlayıcı yüksekliğin 909–4087 m yükseklik arasında olduğu 700 m aralıklarla belirlenmiş ve eşit dağılım yapılarak Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Yükseklik parametresini çalışma içerisinde diğer faktörlere oranla ağırlık değerinin %2 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması buna göre yapılmıştır.

Çalışma alanımızın 12,5*12,5 metre çözünürlüklü dem SYM verisi indirilmiştir. Heyelan risk analizi haritası yapımında yükseklik faktörünün haritalanması yapılmıştır. Dem verisi en düşük 909 metre en yüksek 4087 metre olarak görülmüştür. Buna karşın 5 sınıfa bölünerek yükseklikler eşit aralıkla oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sınıflar vektör veriye çevrilmiştir. Yüksekliğin en çok ve en az yerleri gösterilmiş, yükseklik haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

Çalışma sahasında yükseklik parametresinin değerleri 909 m ile 4087 m değerleri arasında olup değişmektedir (Tablo 4.1). Bu değerler analiz yapılırken 5 farklı yükseklik gruplara ayrılarak incelenerek ele alınmıştır. Literatür incelendiğinde genel olarak yüksek alanlarda duyarlılığın arttığı söylenebilir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu: 2001:199). Çalışma alanımıza baktığımızda yükseklik parametremiz olarak en çok 1500-2200 m ve 2200-2900 m alan kaplayan olduğu görülmektedir. Yükseklik parametresi mutlak suretle diğer parametrelerinin de etkilerine bakılarak arasındaki ilişkiler gözden geçirilmelidir.



Şekil 4.1. Yüksekova İlçesi Yükseklik Haritası

Tablo 4.1. Yükseklik parametresinin etki derecesi ve alanı

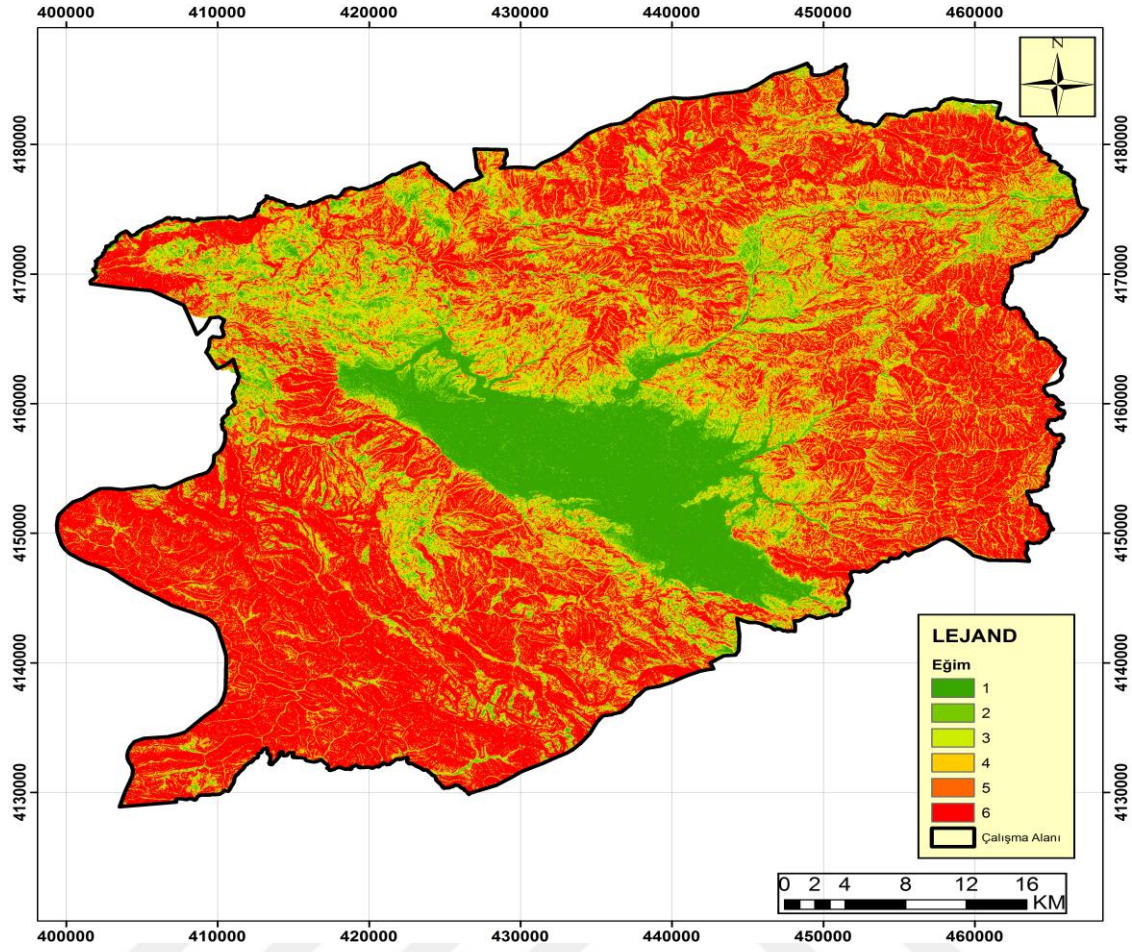
Yükseklik(Metre)	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
909-1500	6,903.96	1	2.815850858
1500-2200	101,232.86	2	41.28888512
2200-2900	109,096.11	3	44.49599304
2900-3500	25,933.77	4	10.57735947
3500-4087	2,015.18	5	0.821911515
Toplam	245,181.88	-	100.00

4.2. Eğim Faktörü

Heyelan duyarlılık harita analiz risk çalışmalarında eğim faktörü çokça kullanılan önemli bir parametredir. Birçok bilimsel çalışmalarda araştırmacılar yaptıkları analiz değerlendirmelerinde eğimin çok olduğu yerlerde, heyelanların daha yüksek riskli alanlar olduğunu ortaya koymuşlardır.

Çalışma alanımıza baktığımızda eğim parametremiz olarak en çok 20° - 25° ve 25° - 82° alan kaplayan olduğu görülmektedir. Eğim parametresi 6 farklı sınıflandırma yapılarak eğim haritası üretilmiştir (Şekil 4.2).

Heyelan analizlerinde eğim parametresi sayısal yükseklik modelinden üretildiğinden dolayı genellikle tüm heyelan çalışmasında kullanılmaktadır. Eğimin daha çok olduğu yerlerde heyelan riski çok olacağı için mutlaka yapılan analizlerde kullanılması gerekmektedir. Çalışma alanımızda eğim faktörüne bakıldığında yüksek eğim alanının daha çok olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise yüksek dağların olması ve bu dağların yapısıdır. Eğim parametresini çalışma alanı içerisinde diğer parametrelere oranla ağırlık derece değeri %16 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır. Eğim parametresinin etki dereceleri ve alanı Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yüksekova İlçesi Eğim Haritası

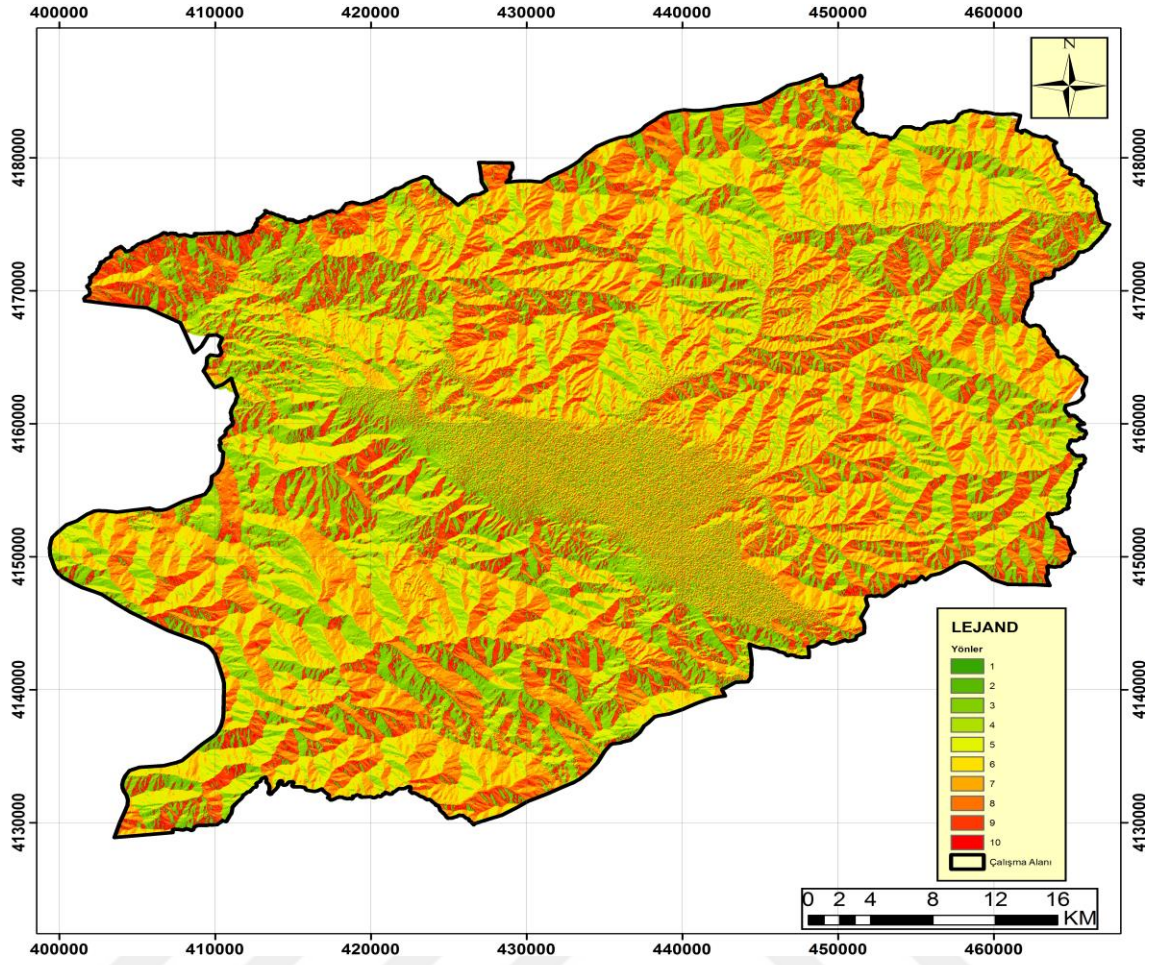
Tablo 4.2. Eğim parametresinin etki dereceleri ve alanı

Yükseklik(Metre)	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
0-5	26,238.75	1	10.70174884
5-10	19,043.03	2	7.766897755
10-15	26,757.93	3	10.91350345
15-20	36,382.64	4	14.83904111
20-25	38,175.02	5	15.57008158
25-82	98,584.51	6	40.20872727
Toplam	245,181.88		100.00

4.3. Bakı Faktörü

Bakı faktörü, sahadaki nem, yağış, rüzgâr, güneşlenme süresi ve şiddeti gibi doğal ortam özellikleri üzerinde dolayısıyla ayrışma hızını kontrol etmektedir ve bu sebepten toprak nemi ve doygunluğu, bitki örtüsü aynı zamanda çeşitliliği ve toprak kalınlığı (Akar 2007; Meten ve Bhandary 2015) gibi heyelanları oluşumlarına katkı sağlayan faktörleri dolaylı olarak etkilemektedir. Heyelan duyarlılık araştırmalarında yaygın kullanılan bir diğer parametredir (Fernandez vd., 2008). Bakı faktörü üzerinde yapılan çalışmalarda heyelanı hazırlayıcı bakı yönlerinin toplam çalışma alanını Kuzey yönü %36.29'nu , Güney yönü %40.45'ini , Doğu-Batı yönü %22.23'ünü ve Düz alanlar %1.03'ü bakıya sahip yamaçlarda olduğu görülmektedir (Tablo 4.3.). Bakı parametresini çalışma alanı içinde diğer parametrelere oranla ağırlık derece değeri %9 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.

Heyelan risk analizi haritası yapımında bakı faktörünün haritalanması yapılmıştır. Dem verisi kullanılarak Arcmap programında bakı oluşturulmuştur. Bakı faktörü yamaçların yağışın fazla yada az alması, güneş ışığının çok ya da az alması, nemlilik değerlerinin düşük olması gibi vb. sebeplerle ilişkilendirilerek heyelanın riskleri göz önünde bulundurularak 10 sınıflandırma yapılarak değerlendirilmeler yapılmış ve bakı haritası üretilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Yüksekova İlçesi Bakı Haritası

Tablo 4.3. Bakı parametresinin etki derecesi ve alanı

Bakı (Yönler)	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
Kuzey	88,981.74	1	36.29
Güney	99,178.13	2	40.45
Doğu- Batı	54,504.38	3	22.23
Düz Alanlar	2517.64	4	1.03
Toplam	245,181.88	-	100.00

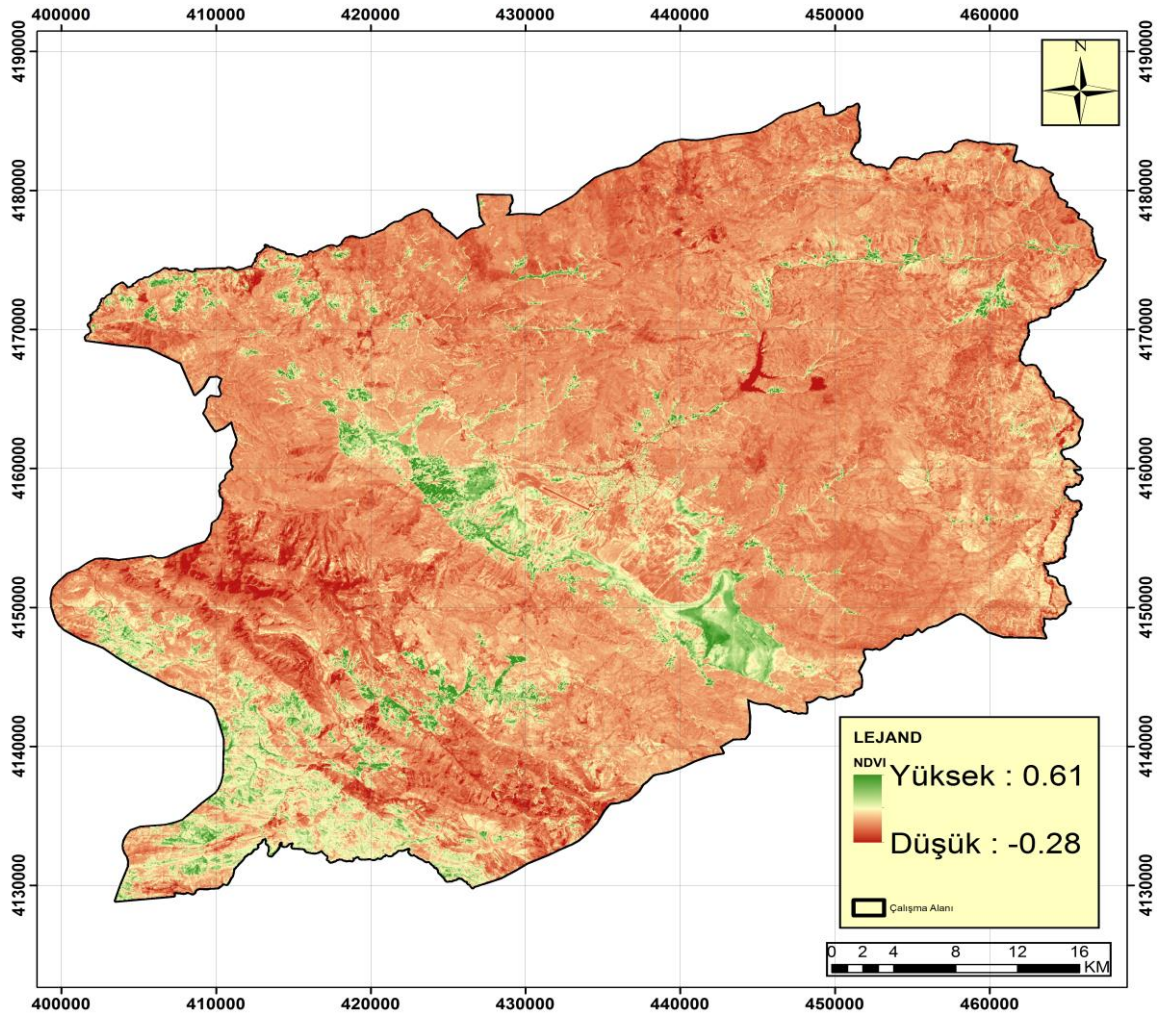
4.4. NDVI Faktörü

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde arazi bitki yoğunluk durumunu belirten bir parametre olarak Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) kullanılmaktadır. NDVI bitkilerin duyarlı olduğu uydu görüntülerinde yakın kızıl ötesi ve kırmızı spektral aralıkların oranlanması ile elde edilen bir indistir (Göksu vd., 2015; Erener vd., 2019).

$$NDVI = (Yakın Kızıl Ötesi - Kırmızı) / (Yakın Kızıl Ötesi + Kırmızı)$$

NDVI sonuç değerleri bitki örtüsünün yoğunluk durumuna göre -1 ve +1 değerleri arasında değişmektedir. NDVI değerleri 0,1 veya daha düşükse kayalık, çıplak alan gibi bitki örtüsünün bulunmadığı sahaları; 0,2 ile 0,3 arasında ise çayır, mera ya da yeşil çimenlik orta yoğunlukta bitki sahalarını; 0,6 ile 0,8 arasında ise bitki örtüsünün çok yoğun olduğu ormanlık sahaları ifade etmektedir (Çelik ve Karabulut 2013).

NDVI çalışma alanı için 09/09/2021 tarihli Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüsü Kırmızı (band 4) ve Yakın Kızılötesi (band 5) bandları formüle edilerek oluşturulmuştur. NDVI değerleri en yüksek 0.61 ve en düşük değer -0.28 olarak bulunmuştur (Şekil 4.4.). NDVI parametresinin çalışma alanı içerisinde diğer parametrelere göre ağırlık değerinin %1 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.

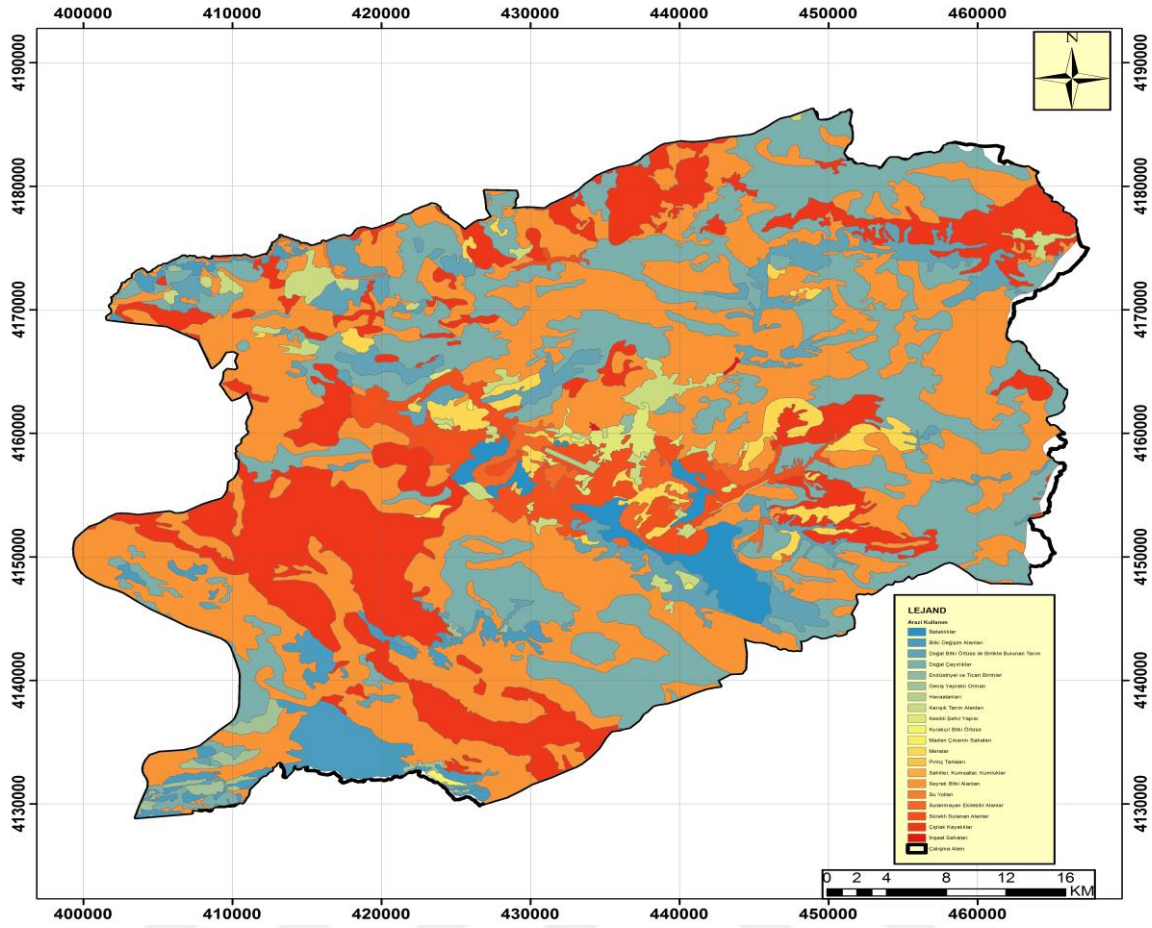


Şekil 4.4. Yüksekova İlçesi NDVI Haritası

4.5. Arazi Kullanım Faktörü

Arazi kullanım faktörü heyelan riski bakımından çok fazla etkilenmektedir. Arazi örtüsüne bakıldığında orman ile kaplı alanların yerleşim alanlara göre heyelan riski düşüktür. Yüksekova ilçesinde çayır, bağ-bahçe ve çıplak kayalık alanların daha fazla alan kapladığı görülmektedir (Tablo 4.4.).

Çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası Şekil 4.5.'deki gibidir. Arazi kullanım parametresinin çalışma alanı içerisinde diğer parametrelere göre ağırlık değerinin %3 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.



Şekil 4.5. Yüksekova İlçesi Arazi Kullanım Haritası

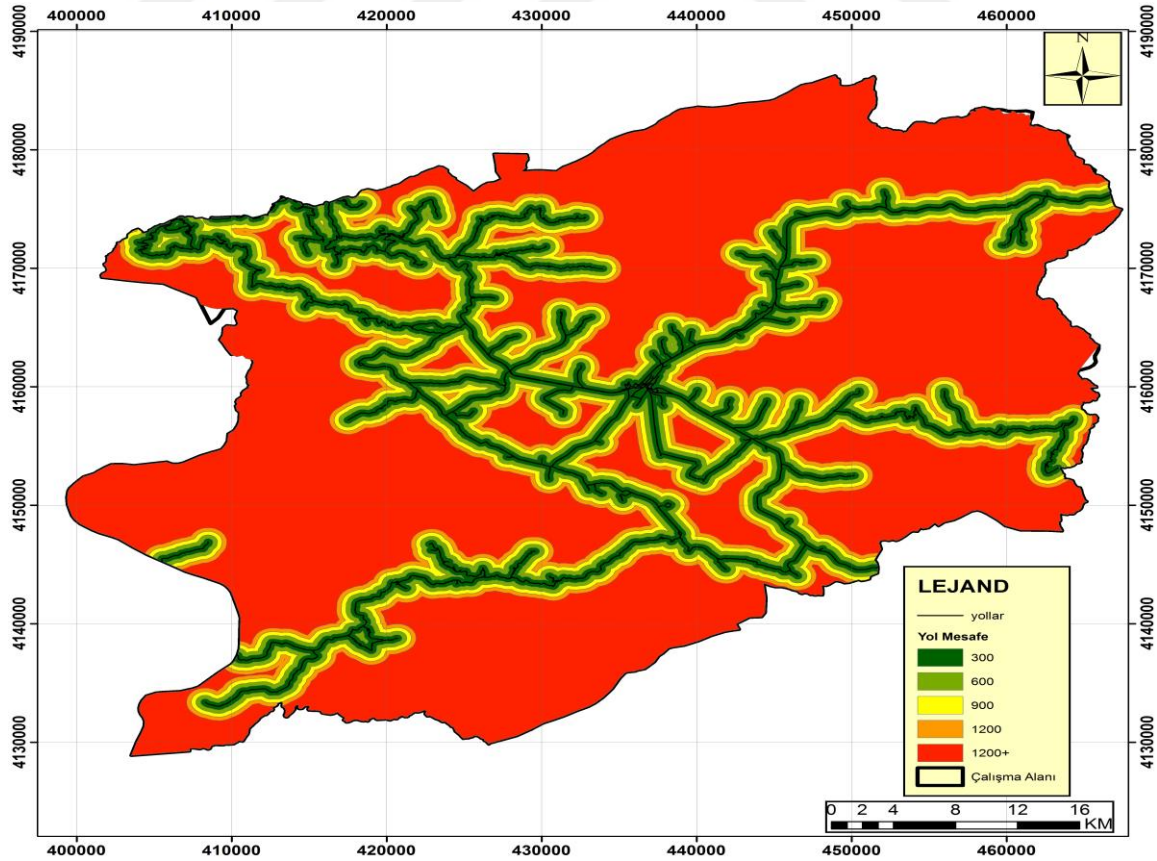
Tablo 4.4. Arazi Kullanım parametresinin etki derecesi ve alanı

Arazi Kullanımı	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
Yerleşme	6704.25	1	2.74
Bağ Bahçe	81159.10	2	33.13
Tarım Alanları	15056.11	3	6.15
Çayır	74068.15	4	30.23
Mera	9437.27	5	3.85
Maden Ocağı	6288.01	6	2.57
Çıplak Kayalık	52,269.00	7	21.34
Toplam	244,981.88	-	100.00

4.6. Yollara Mesafe Faktörü

Yollara mesafe faktörü her zaman için heyelanları tetikleyen önemli bir parametre olmuştur. Sidle vd., (1985) yaptıkları çalışmada yolların geçmediği yamaçlara kıyasla geçen yamaçlarda kütle hareketlerinin 30 ile 340 kat daha fazla olduğu ortaya koymuştur. Yüksekova İlçesinde yollara mesafe parametresi incelendiğinde yollara mesafe parametresi ile oluşabilecek heyelan riski arasında güçlü bir bağıllık ortaya çıkmıştır. Yüksekova İlçesi ve Van İli karayolunda daha önceden heyelanlara maruz kalması buna bir örnektir.

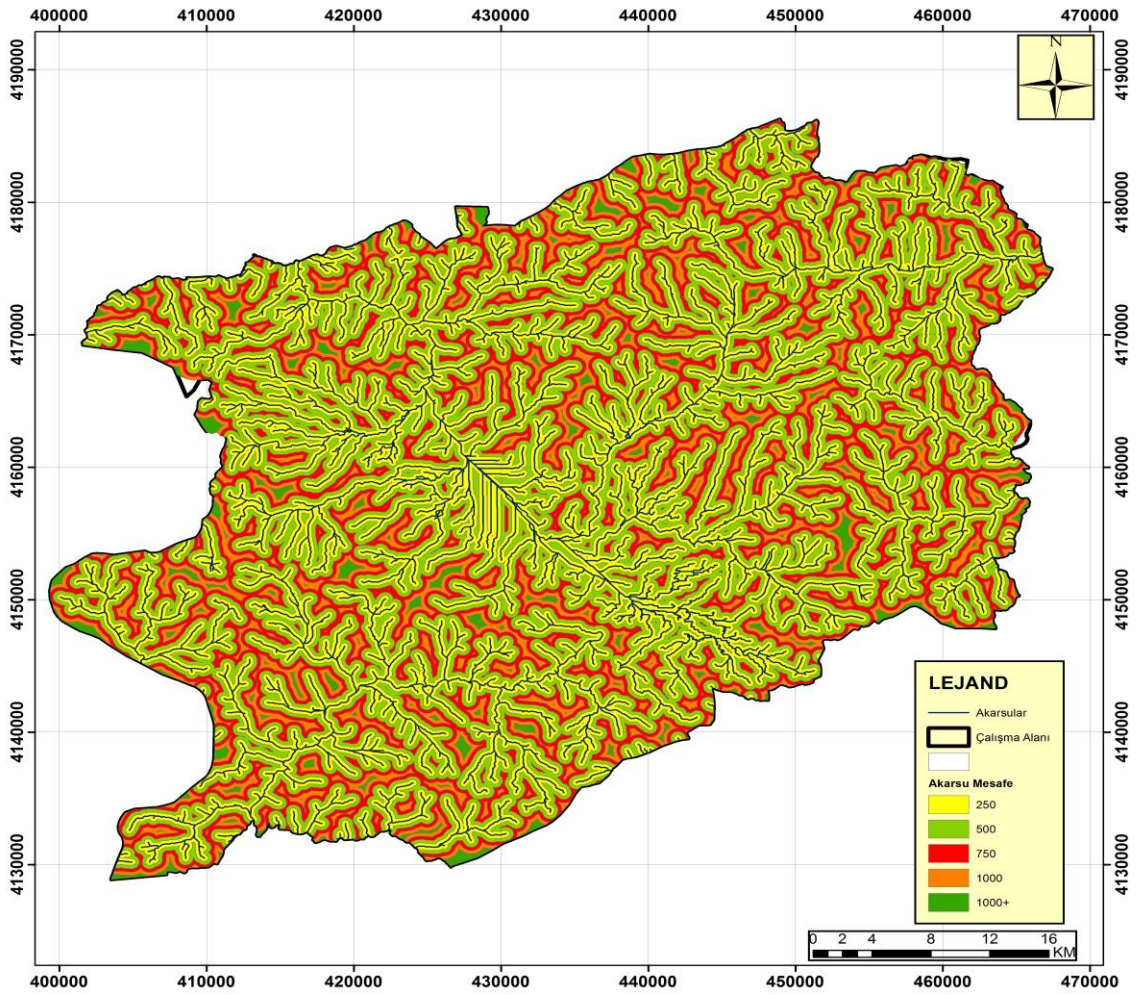
İnceleme alanında yola mesafe haritası 300'er metre aralıklı 5 sınıfa ayrılmış 1200 metreden büyük yakınlıkların heyelana etkisi az olacağı düşünülmüş ve tek sınıf olarak kabul edilmiştir. Yola yakınlık mesafe haritasına bakıldığında 300 m ve 600 m uzaklıkta tampon bölgelerde heyelan riski bakımından daha önem taşıdığı görülmektedir (Şekil 4.6.). Yollara mesafe parametresini çalışma alanı içerisinde diğer parametrelere göre ağırlık değerinin %4 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.



Şekil 4.6. Yüksekova İlçesi Yollara Mesafe Haritası

4.7. Akarsulara Mesafe Faktörü

Akarsulara mesafe faktörü, akarsu ağına yakınlığı duyarlılık açısından önemli bir parametredir. Akarsular yamaç topuğunu aşınması sonucunda alt kısımlarının suya doygun hale gelmesinden dolayı malzemenin tutunumunu azaltmaktadır. Heyelan risk çalışmalarında bir çok uzman araştırmacı çalışma alanlarında akarsulara mesafe parametresini kullanmışlardır. Çalışma alanında akarsuya yakınlık parametresini belirlemek için 250 metre aralıklı 5 farklı sınıflandırma oluşturulmuş ve elde edilene sınıflar ile tamponlar yakından başlayarak uzağa doğru derecelendirilerek ağırlıklandırılmış, sonuç olarak tampon haritası üretilmiştir (Şekil 4.7.). Akarsulara mesafe parametresini çalışma alanı içerisinde diğer parametrelere oranla ağırlık değerinin %6 olarak belirlenip ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.

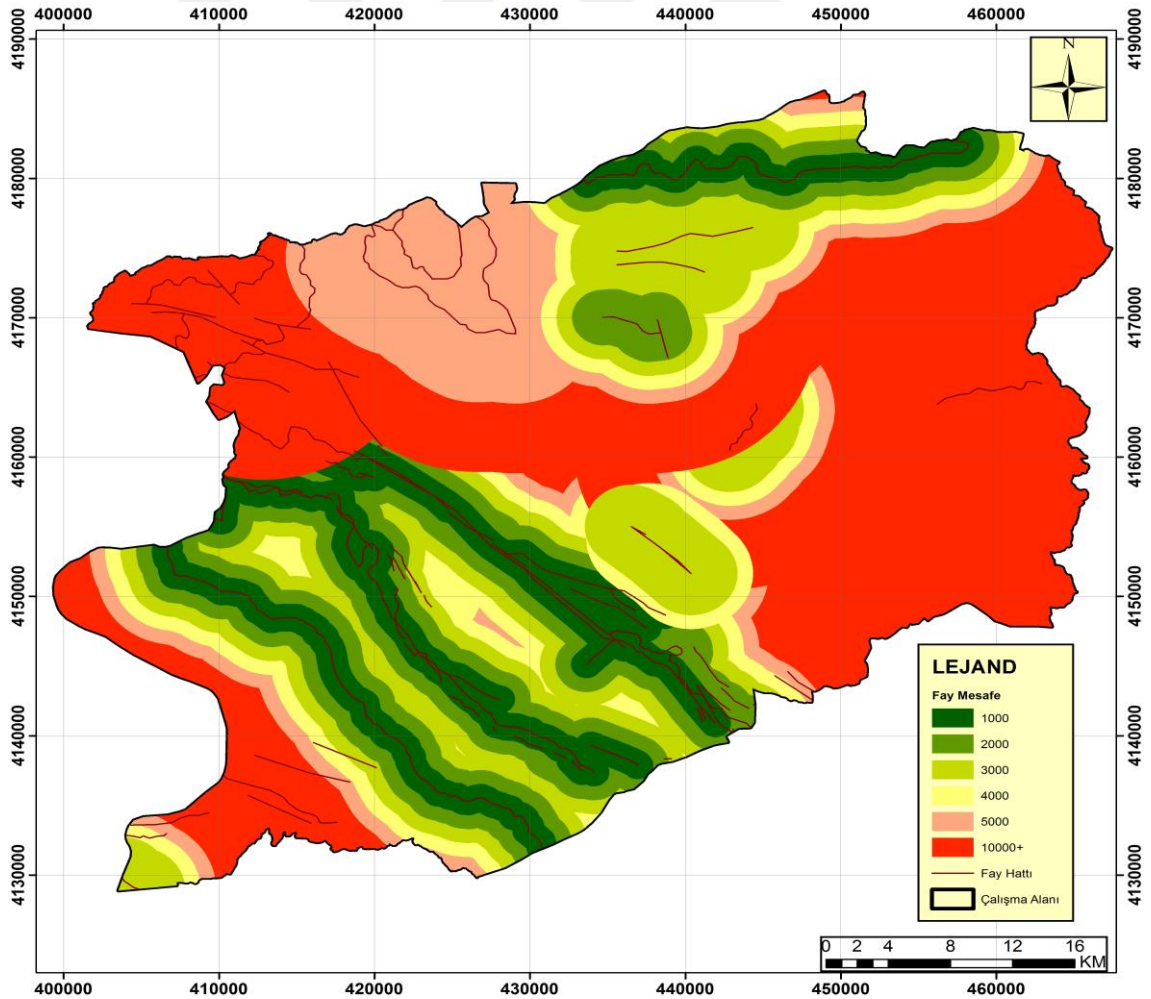


Şekil 4.7. Yüksekova İlçesi Akarsulara Mesafe Haritası

4.8. Fay Hattına Mesafe Faktörü

Depremler, yarattıkları etki bakımından heyelan riskini artıran en önemli faktörlerden biridir. Kilometre uzaktaki mesafelerde yarattıkları etki bakımından can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu nedenden dolayı da heyelan risk analizinde parametre bakımından fay hattına mesafe faktörü olmazsa olmazlarındadır.

İnceleme alanında fay hattına mesafe faktörü 6 farklı tampon bölge oluşturulmuştur ve fay hattına mesafe haritası üretilmiştir. 1000 m aralıklarla oluşturulan tamponlar ile 10000 m üzerindeki mesafeler bir sınıfa toplanmıştır. Bazı sınıflarda fay hattının kısalığı ve bazı fay hatlarının yakın olmasından dolayı bazı mesafeler çizdirilememiştir (Şekil 4.8.). Akarsulara mesafe parametresini çalışma alanı içerisinde diğer parametrelere oranla ağırlık değerinin %7 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.



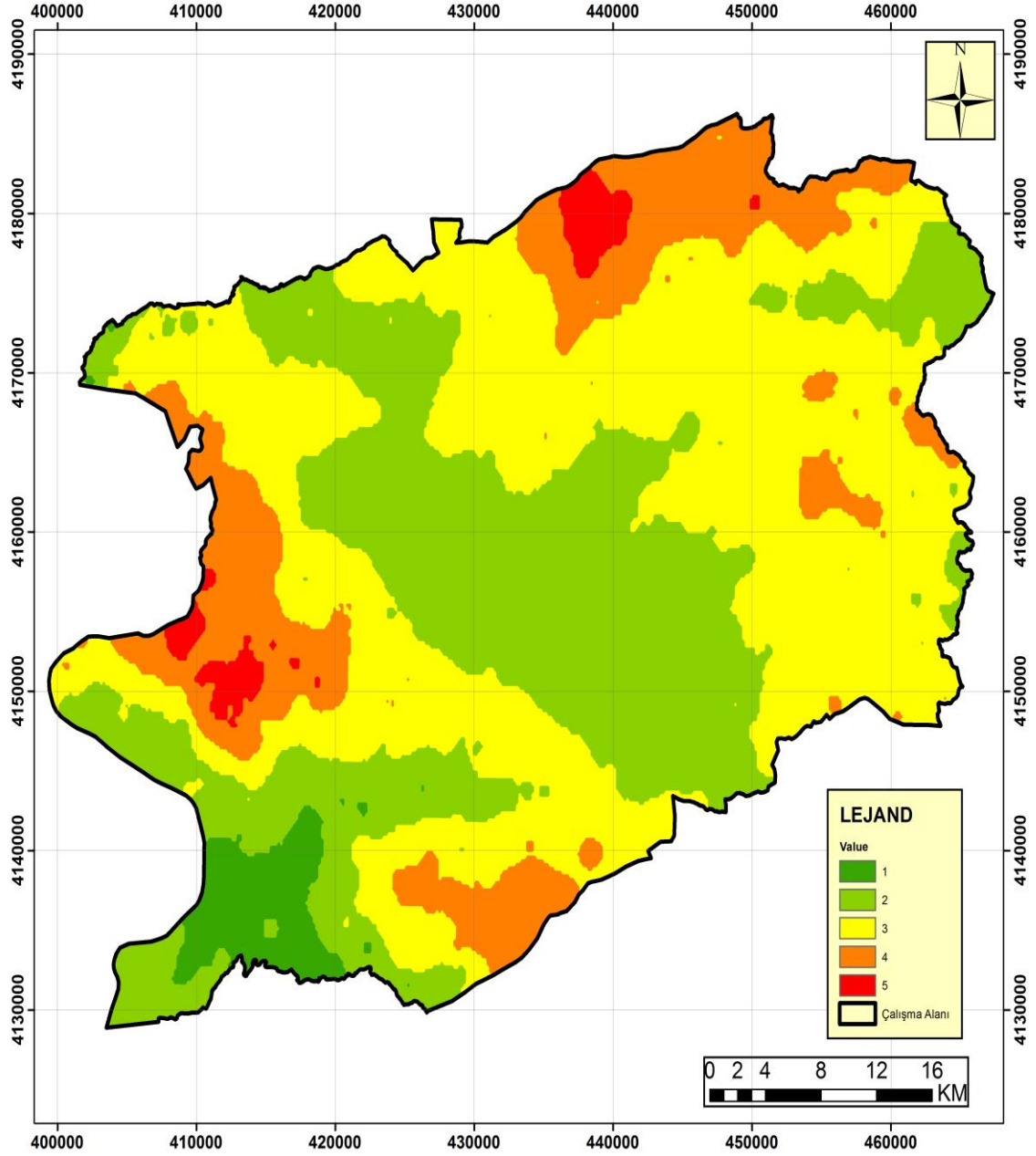
Şekil 4.8. Yüksekova İlçesi Fay Hattına Mesafe Haritası

4.9. Yağış Faktörü

Heyelan oluşumunda iklim koşullarının belirleyiciliği özellikle yağış ile kendini göstermektedir (Tarhan, 2002). Yağış bakımından en az yağış alan yer bakımından faktör derecesi 1 ve en çok yağış alan faktör derecesi 5 olarak belirlenmiştir. Çalışma sahası incelendiğinde faktör derecesi 2 ve 3'ün daha çok alanda etkili olduğu görülmüştür (Tablo 4.5.). Alanın büyük olması nedeniyle yer altı sularında suya doymun alanların kuvvetli yağışlara maruz kaldığı görülmektedir. Üretilen haritada yüksekliğin çok olması ve çok yağış almasından dolayı sızıntıların çok olduğu ve heyelana risk açısından yağış faktörü önemli bir faktör haline gelmiştir.

Yağış miktarı ve yağış türü heyelan riski bakımından önemlidir. Uzman görüşler alındığında heyelan oluşumunda yağış miktarı pozitif korelasyonun olduğunu belirtmişler ve yaptıkları çalışmalarda bunu kanıtlar niteliktedir. Bir alanda yağış miktarının belirlenebilmesi için uzun süredir ölçüm yapan meteoroloji istasyonu olması gerekmektedir. Bu yüzden çalışma alanının yağış durumunu tespit edebilmek için Van İl Merkezinde bulunan Meteoroloji güncel verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler elde edilerek enterpolasyon tekniği uygulanmış olup çalışma sahasının iklim özellikleri ortaya konmaya çalışılmıştır (Şekil 4.9.).

İnceleme alanında yağış faktörü 5 farklı sınıfa ayrılmış olup ve yağış haritası üretilmiştir. yağış parametresini çalışma içerisinde diğer faktörlere oranla ağırlık değerinin %12 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması buna göre yapılmıştır.



Şekil 4.9. Yüksekova İlçesi Yağış Haritası

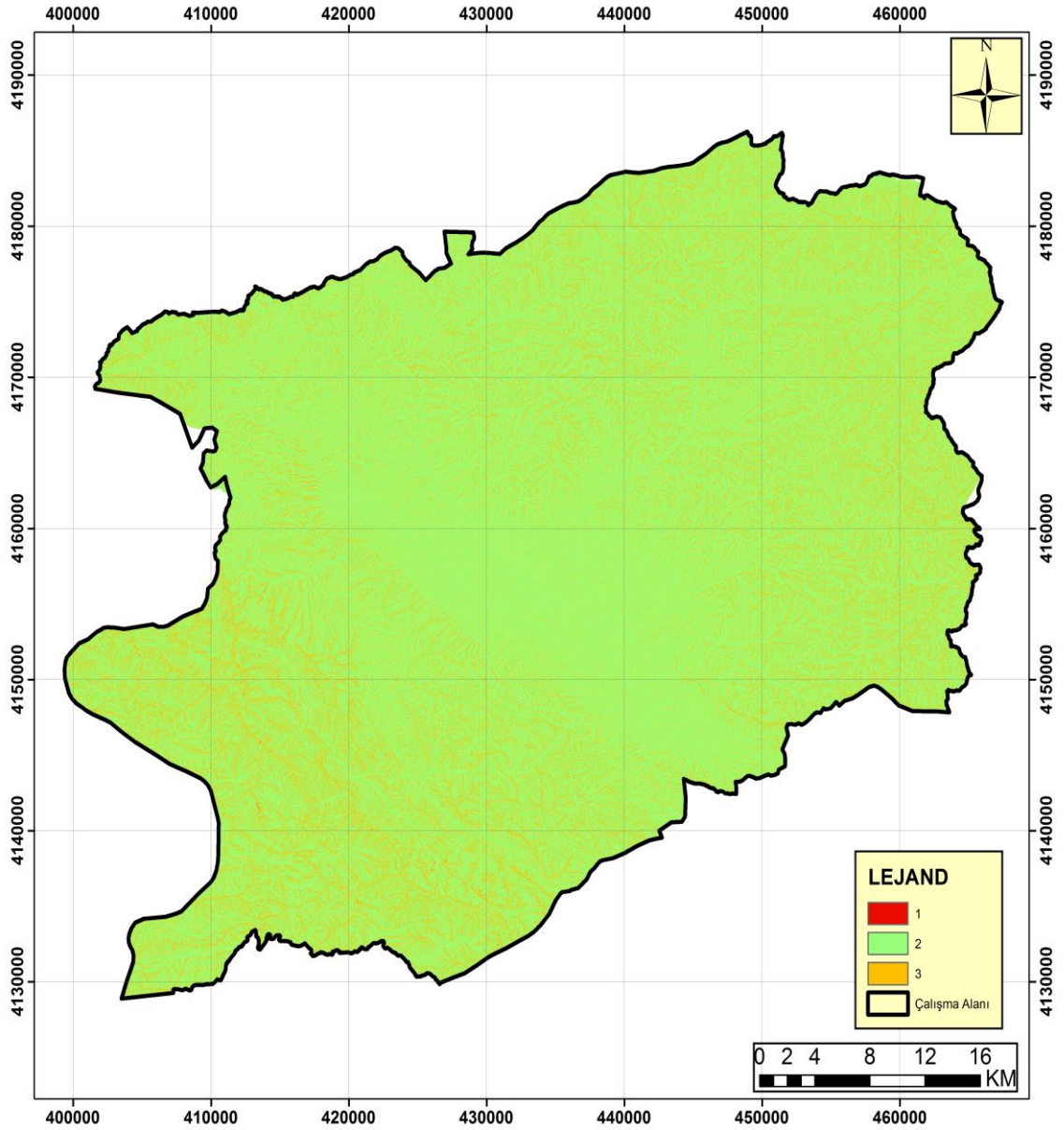
Tablo 4.5. Yağış parametresinin etki derecesi ve alanı

Yağış	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
1	18308.77	1	7.47
2	83568.45	2	34.08
3	102197.80	3	41.68
4	35938.88	4	14.66
5	5167.98	5	2.11
Toplam	245,181.88	-	100.00

4.10. Eğim Şekli Faktörü

Topoğrafik koşulların heyelan üzerindeki bir diğer etkisi yamaçların eğrilik derecesi ya da eğim şekli yönüyle kendini belli eder. Aslında yamaçların içbükey ve dışbükey olma özellikleri drenaj alanlarının fiziksel karakterinin heyelan davranışı üzerindeki etkisini anlamak için kullanılmaktadır. Bu bakımdan eğim şekli akışın hızlanmasını veya yavaşlamasını kontrol ederek heyelan oluşumu sürecinde rol oynamaktadır (Akıncı vd., 2015; Erener vd., 2012). Heyelan risk haritası yapımında eğim şekli ile ilgili tespitindeki analizde pozitif değerlerin dışbükey ve negatif değerlerin içbükey sahaları, sıfıra yakın değerlerin ise düz alanları temsil ettiğini ileri sürülmüştür (Özşahin, 2013). Eğim Şekli faktörü eksi(−) ve artı(+) değerlendirme olarak yapılmıştır. Eğim şekli ayrıca yamaç eğriliği olarak da geçmektedir. Eksili değerler iç bükey, artılı değerler ise dış bükey olarak isimlendirilmektedir. 1 nolu sınıf düz yüzey alanlar, 2 nolu sınıf numara iç bükey alanlar ve 3 nolu sınıf numara dış bükey alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

İnceleme alanında eğim şekli faktörü 3 farklı sınıfa ayrılmış olup ve yağış haritası üretilmiştir (Şekil 4.10). Eğim şekli parametresini çalışma alanı içerisinde diğer faktörlere oranla ağırlık değerinin %15 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.



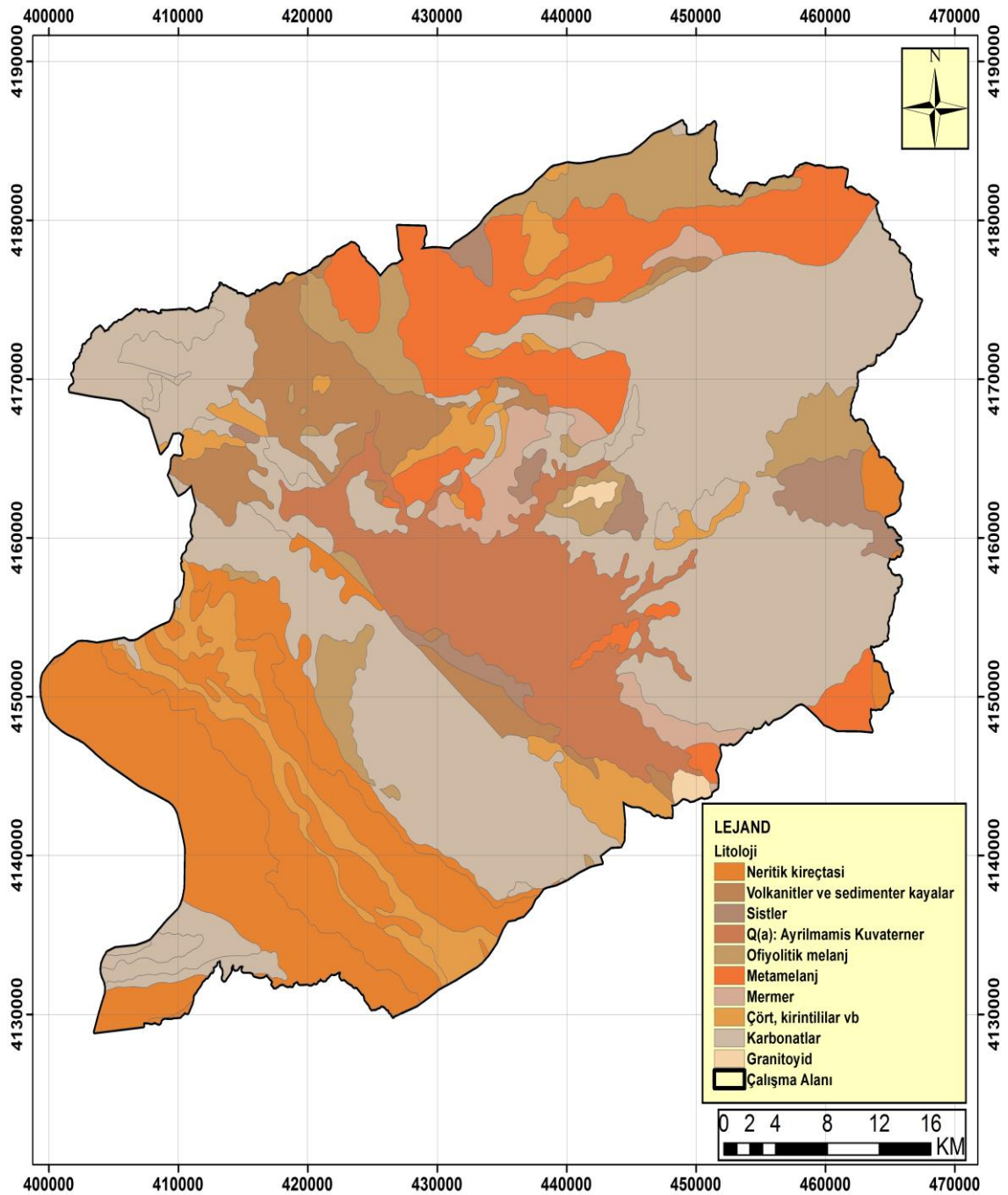
Şekil 4.10. Yüksekova İlçesi Eğim Şekli Haritası

4.11. Jeoloji Faktörü

Jeoloji faktörü heyelan oluşumunda en etkili parametrelerden biridir. Her kayacın farklı yapıları olmasından dolayı heyelan tepkisi de farklı olmaktadır. Kayaç türünün fiziksel ve kimyasal özellikleri ve ayrışma derecesi kaymayı etkileyen önemli faktörlerdendir. Jeoloji verisi için uzman görüşler alındığında, daha yaşlı kayaç türlerin olduğu bu türlerin heyelan riskine daha çok neden olduğu için, jeoloji parametresi en yüksek ağırlığa sahip olması gerektiğine vurgu yapmışlardır. Çeşitli litolojik birimlerin suyu iletme, fiziksel çözünmesi ve kayacın dayanım süresi gibi özellikleri birbirinden

farklı olmaktadır. Çalışma alanımıza bakıldığında kırıntılar, karbonatlar, volkanitler ve sedimenter kayalar en çok alanı kapladığı görülmüştür (Tablo 4.6).

İnceleme alanında jeoloji faktörü 10 farklı sınıfa ayrılmış olup, bazı sınıflar kayaç türlerinin birbirine yakın olmasından dolayı 5 sınıfa indirgenmiştir. Sonuç olarak jeoloji haritası üretilmiştir (Şekil 4.11). Jeoloji parametresini çalışma alanı içerisinde diğer faktörlere oranla ağırlık değerinin %20 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.



Şekil 4.11. Yüksekova İlçesi Jeoloji Haritası

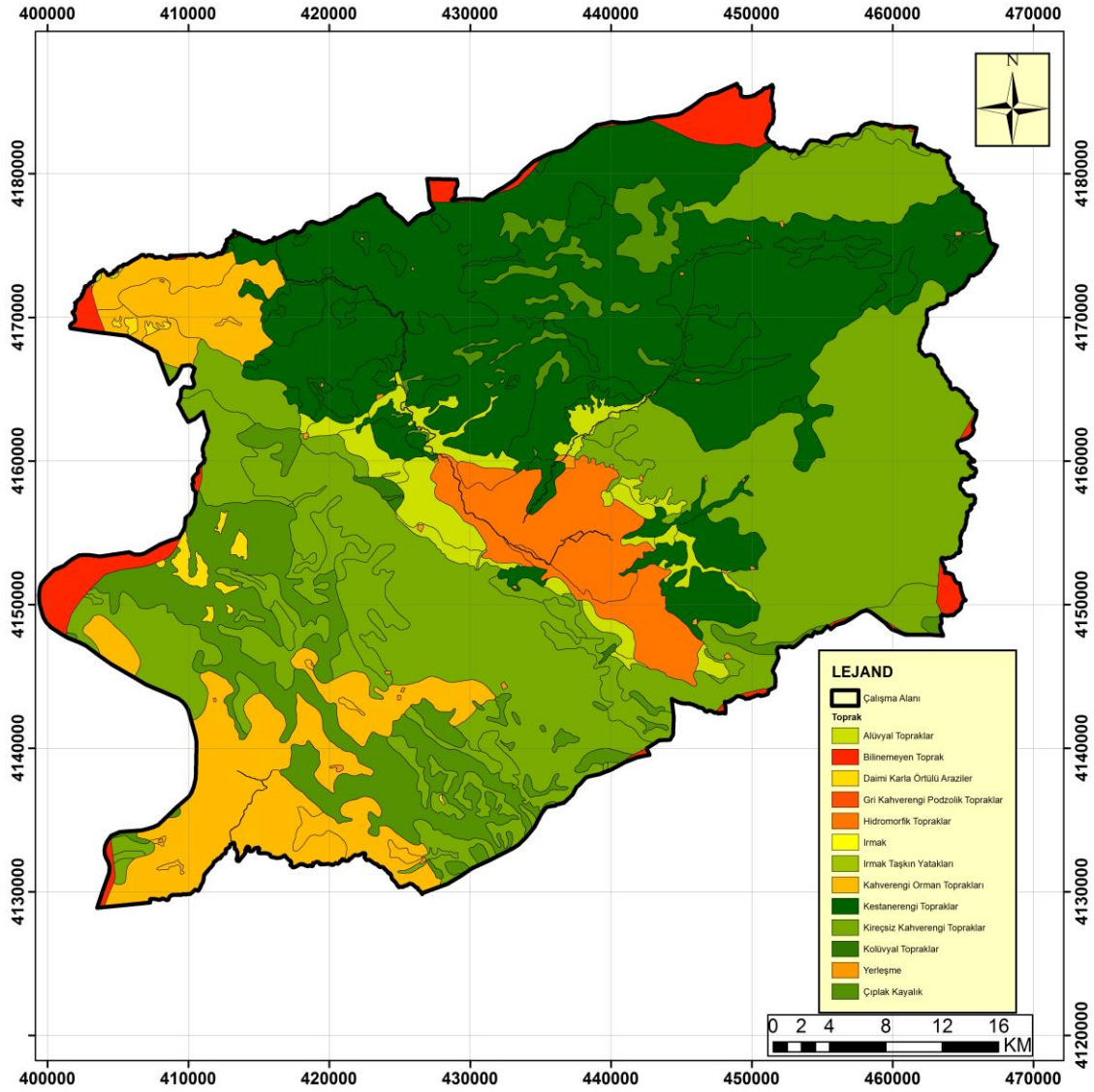
Tablo 4.6. Jeoloji parametresinin etki derecesi ve alanı

Jeoloji	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
Alüvyon	23444	1	9.56
Kırıntılar	61091	2	24.92
Karbonatlar	96130	3	39.21
Volkanitler ve sedimenter kayalar	58251	4	23.76
Sistler	6265	5	2.56
Toplam	245,181	-	100.00

4.12. Toprak Faktörü

Heyelan oluşumunda toprak yapısı, özellikleri ve doygunluğu gibi faktörler önemlidir. Muhtemelen heyelanlar oluşurken tek bir neden düşünülemez çünkü toprak ve kayaların heyelanı duyarlı hale getirmek için birden fazla koşul bir arada etkileşime girer (Fernandez vd., 2008; Kitutu vd., 2009). Toprak yapısı, parçacık boyutu, geçirgenlik, gözenek dağılımı gibi zemin özellikleri şev stabilitesine etki edebileceği gözlenmiştir (Sidle, 1985; Kitutu vd., 2009). Çalışma alanımızın eğimin çok ve bol yağışın almasından dolayı toprağın suyun tutma oranı değişiklik göstermektedir. Çalışma alanımıza bakıldığında çıplak kayalık, kolüvyal ve orman toprağının en çok alanı kapladığı görülmüştür (Tablo 4.7).

İnceleme alanında toprak faktörü 13 farklı sınıfa ayrılmış olup, bazı sınıflar toprak türlerinin birbirine yakın olmasından dolayı 5 sınıfa indirgenmiştir. Sonuç olarak toprak haritası üretilmiştir (Şekil 4.12). Toprak parametresini çalışma alanı içerisinde diğer faktörlere oranla ağırlık değerinin %2 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması yapılmıştır.



Şekil 4.12. Yüksekova ilçesi toprak haritası

Tablo 4.7. Toprak parametresinin etki derecesi ve alanı

Toprak	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
Çıplak Kayalık	33157.03	1	13.52
Alüvyal	8734.24	2	3.56
Kolüvyal	26263.72	3	10.71
Yerleşme	350.99	4	0.14
Orman Toprağı	176675.90	5	72.06
Toplam	245,181.88	-	100.00

4.13. Parametre Sınıflandırılması ve Ağırlık Dereceleri

Heyelan risk çalışmalarında kullanılacak olan parametreler, bölgedeki koşullara göre değişmektedir. Çalışma sahasının koşullarına göre parametreler belirlenerek kendi aralarında matris oluşturularak ağırlıklandırılması yapılmıştır (Tablo 4.8.). Parametrelerin duyarlılığa göre sınıflandırılmış ve ağırlık dereceleri yüzde olarak belirtilmiştir. (Tablo 4.9.).

Tablo 4.8. Parametrelerin ağırlık dereceleri

KRİTERLER	HEYELAN DUYARLILIK												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ağırlık
Jeoloji	1	2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	9	0.204
Eğim		1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	7	0.162
Eğim Şekli			1	2	3	4	4	5	5	4	6	9	0.15
Yağış				1	2	3	4	5	5	6	7	7	0.125
Bakı					1	2	3	4	5	5	5	7	0.093
Fay Hatlarına						1	2	3	4	4	5	6	0.072
Akarsu Mesafe							1	2	3	5	5	7	0.061
Yollara Mesafe								1	2	3	4	5	0.043
Arazi Kullanım									1	2	3	4	0.032
Toprak										1	2	3	0.025
Yükseklik											1	2	0.019
NDVI												1	0.013

Tablo 4.9. Faktör parametreleri ve ağırlık dereceleri

Parametreler	Parametre Sınıfları		Ağırlık Derecesi
<u>Akarsuya Yakınlık</u>	250 m	Çok yüksek duyarlı	6%
	500 m	Yüksek duyarlı	
	750 m	Orta duyarlı	
	1000 m	Düşük duyarlı	
	1000 m+	Çok düşük duyarlı	
<u>Arazi Kullanımı</u>	Çıplak Kayalık	Çok düşük duyarlı	3%
	Maden Ocağı	Orta duyarlı	
	Mera	Orta duyarlı	
	Çayır	Orta duyarlı	
	Tarım Alanları	Yüksek duyarlı	
	Bağ Bahçe	Yüksek duyarlı	
	Yerleşme	Çok yüksek duyarlı	
<u>Bakı</u>	Kuzey	Çok yüksek duyarlı	9%
	Güney	Orta duyarlı	
	Doğu- Batı	Orta duyarlı	
	Düz Alanlar	Çok yüksek duyarlı	
<u>Eğim</u>	Az eğimli (%5-10)	Çok düşük duyarlı	16%

	Orta derece eğimli(%10-15)	Düşük duyarlı	
	Dik eğimli(%15-20)	Orta duyarlı	
	Çok dik eğimli(->%20)	Yüksek duyarlı	
<u>Eğim Şekli</u>	İç Bükey	Orta duyarlı	15%
	Düz Yüzey	Çok düşük duyarlı	
	Dış Bükey	Çok yüksek duyarlı	
<u>Fay Hattı</u>	1000 m	Çok düşük duyarlı	7%
	2000 m	Düşük duyarlı	
	3000 m	Orta duyarlı	
	4000 m	Yüksek duyarlı	
	5000 m	Çok yüksek duyarlı	
	10000 m+	Çok yüksek duyarlı	
<u>Jeoloji</u>	Alüvyon	Çok düşük duyarlı	20%
	Kırıntılar	Düşük duyarlı	
	Karbonatlar	Orta duyarlı	
	Volkanitler ve sedimenter kayalar	Yüksek duyarlı	
	Sistler	Çok yüksek duyarlı	
<u>Toprak</u>	Çıplak Kayalık	Çok düşük duyarlı	3%
	Alüvyal	Düşük duyarlı	
	Kolüvyal	Orta duyarlı	
	Yerleşme	Yüksek duyarlı	
	Orman Toprağı	Çok yüksek duyarlı	
<u>Yağış</u>	600-700mm	Çok düşük duyarlı	13%
	700-800mm	Düşük duyarlı	
	800-900mm	Orta duyarlı	
	1000-1100mm	Yüksek duyarlı	
	>1100mm	Çok yüksek duyarlı	
<u>Yola Mesafe</u>	300 m	Çok düşük duyarlı	4%
	600 m	Düşük duyarlı	
	900 m	Orta duyarlı	
	1200 m	Yüksek duyarlı	
	1200 m+	Çok yüksek duyarlı	
<u>Yükseklik</u>	909-1500	Çok düşük duyarlı	2%
	1500-2200	Düşük duyarlı	
	2200-2900	Orta duyarlı	
	2900-3500	Yüksek duyarlı	
	3500-4087	Çok yüksek duyarlı	
<u>Ndv₁</u>	0.51-0.61	Çok düşük duyarlı	1%
	0.31-0.51	Düşük duyarlı	
	0.11-0.31	Orta duyarlı	
	-0.11 +0.11	Yüksek duyarlı	
	-0.11-0.28	Çok yüksek duyarlı	

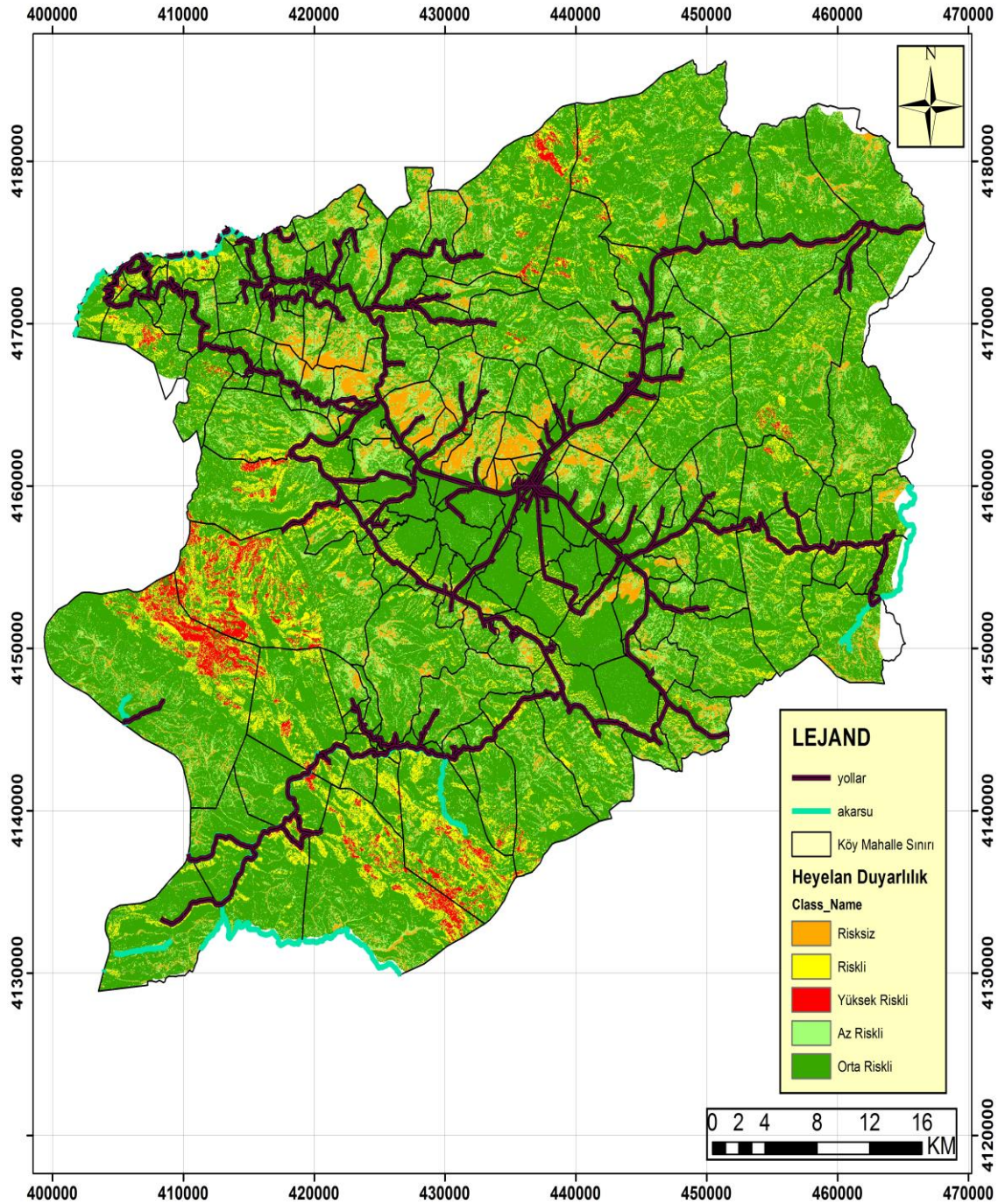
Çalışma ilk aşamasında heyelan ve afet kavramları açıklanmaya çalışılmış, CBS ile Yüksekova ilçesinin heyelan risk çalışması ile amaçlanan hedeflerden bahsedilmiş, çalışma sahasının coğrafi yerinden bahsedilmiştir. İkinci aşamasında daha önceki

çalışmalar incelenmiş. Üçüncü bölümde ise heyelan ve CBS kavramlarına açıklık getirilmeye çalışılmış, belirlenen parametreler belirtilmiş, dördüncü bölümde ise parametre haritaları üretilmiş ve etki oranları verilmiştir. Heyelana etki edebilecek parametrelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi bölümünde çalışma sahamızın coğrafi konumuna uygun, iklim ve şartları göz önünde bulundurulmuştur. AHP yöntemine göre oluşturulan risk haritasına ait değerlendirmede %2.14'ünün yüksek riskli, %10.32'sinin riskli, %69.12'sinin orta riskli, %11.64'ünün az riskli ve %6.78'inin risksiz derecede heyelana duyarlılığı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Heyelan risk durumunun etki derecesi ve alanı

Heyelan Risk Durumu	Alan(Ha)	Faktör Derecesi	Oran %
Risksiz	16476.3	1	6.78
Az Riskli	28273.68	2	11.64
Orta Riskli	167878.35	3	69.12
Riskli	25049.79	4	10.32
Yüksek Riskli	5206.5	5	2.14
Toplam	242,884.62	-	100.00

Çalışmada alanında heyelan duyarlılık haritası ile mahalle sınırları karşılaştırılarak hangi mahallenin heyelan durumunun risk altında kaldığı görülmektedir (Şekil 4.13).

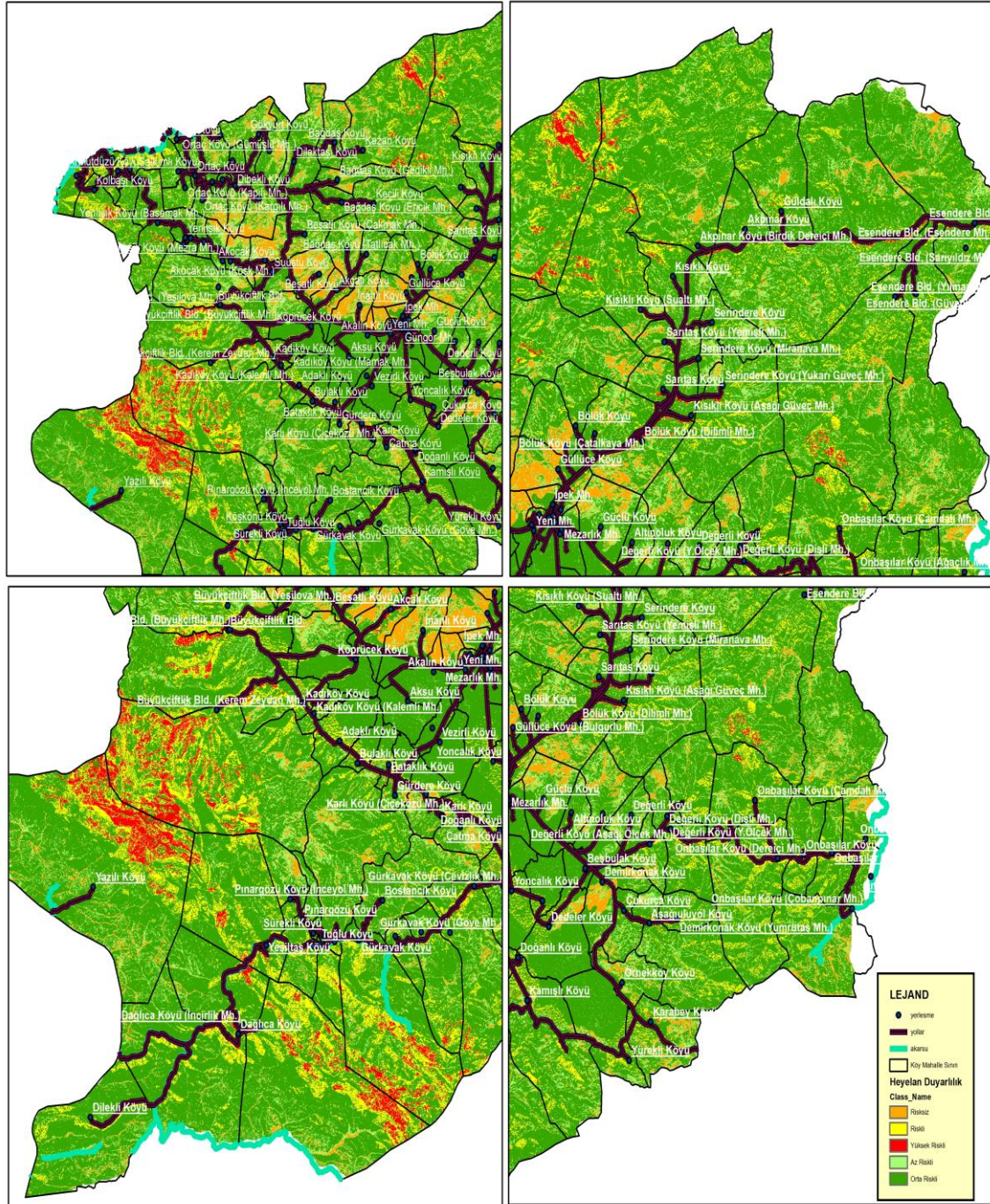


Şekil 4.13. Yüksekova ilçesi heyelan risk haritası

Yüksekova İlçesinde Mahalle isimleri belirtilerek riskli olan yerler bulunmuştur (Şekil 4.14). Çalışma alanının da daha önceden risk haritası çalışması yapılmadığından elde edilen duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirilmesi yapılamamıştır.

Dağlıca Köyü, Yeşiltaş Köyü, Gürkavak Köyü, Büyükçiftlik Beldesi, Akçalı Köyü, Armutdüzü Köyü, Güldalı Köyü, Akpınar Köyü, Bölük Köyü, Onbaşılar Köyü, Değerli Köyü ve Aşağıluyol Köylerinde yüksek riskli alanlar görülmüştür. MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen haritalarla yer alan heyelan alanları büyük ölçekte olması

sebebiyle doğruluk bakımından karşılaştırılması doğru olmayacağı düşünülmüştür. Bu büyük ölçekteki heyelan haritasının doğruluğu yüksek olsa da gerçeği tam olarak yansıtmayacaktır. Bu nedenle coğrafi şartlar göz önünde bulundurularak uzman görüşleri alınarak üretilen heyelan risk haritaların doğruluğu daha yüksek olacaktır.



Şekil 4.14. Yüksekova İlçesi Mahalle Bazında Heyelan Risk Haritası

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışma sahası Doğu Anadolu Bölgesi'nin Hakkari Bölümü'nde, Hakkari İli Yüksekova ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma oluşabilecek heyelanların oluşum mekanizması açıklanmıştır. CBS tabanlı Weighted Sum uygulaması ile Heyelan duyarlılık analizi yapılarak sahanın risk değerlendirmesi yapılmış ve heyelan olabilecek alanlar belirlenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında daha önceden yapılan bir heyelan çalışmasına rastlanılmamıştır. En yakın il olarak Van ilinde konu ile ilgili envanter çalışması yapılmış olup, bu çalışma bölgede yapılacak çalışmalar için bir altlık oluşturabilecektir.

Yüksekova İlçesi için hazırlanan heyelan duyarlılık analiz haritalarının doğruluğu hakkında bölgenin fiziki şartları göz önünde bulundurulduğunda eğim faktörü olmazsa olmazlarındadır. Çalışma sahasında eğim faktörüne bakıldığında eğimin çok yüksek olduğu yerlerde heyelanlarında daha yüksek riskli alanlarda yer aldığı görülmektedir.

Çalışma sahasının bitki örtüsü bozkırdır. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. İklim olarak karasal iklime sahiptir. Yıllık ortalama 1000 mm yağış almaktadır. Bu da göstermektedir ki yıllık genel olarak çok yağış almaktadır.

Çalışma alanında yükseklik parametre değerleri 909 m ile 4087 m arasında değişmektedir. Çalışma alanımızda yükseklik faktörüne bakıldığında heyelanlara karşı daha yüksek bölgelerde heyelan riskinin arttığı görülebilmektedir. Yükseklik parametresi diğer parametrelerle arasındaki ilişkiler göz önünde bulunarak değerlendirilmeler yapılmaya çalışılmıştır.

Bakı faktörü üzerinde yapılan çalışmalarda heyelanı hazırlayıcı bakı yönlerinin toplam çalışma alanını Kuzey yönü %36.29'nu , Güney yönü %40.45'ini , Doğu-Batı yönü %22.23'ünü ve Düz alanlar %1.03'ü bakıya sahip yamaçlarda olduğu görülmektedir (Tablo 3.4.). Bakı parametresini çalışma içerisinde diğer faktörlere oranla ağırlık değerinin %9 olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılması buna göre yapılmıştır.

Heyelan analizlerinde eğim parametresi sayısal yükseklik modelinden üretildiğinden dolayı genellikle tüm heyelan çalışmasında kullanılmaktadır. Eğimin daha çok olduğu yerlerde heyelan riski çok olacağı için mutlaka yapılan analizlerde

kullanılması gerekmektedir. Çalışma alanımızda eğim faktörüne bakıldığında yüksek eğim alanının daha çok olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise yüksek dağların olması ve bu dağların yapısıdır. Eğim parametresini çalışma içerisinde diğer faktörlere göre ağırlık değerlerinin %16 olarak belirlenmiş ve buna göre yapılmıştır.

Çalışma alanında bakı verisinin heyelan oluşumuna olan etkisi araştırılmış yağış yönüyle bakılmaya çalışılmıştır. En yüksek riskli heyelan görülme bakımından yağışın bol aldığı yönler dikkate alınmıştır. Kuzey yamaçlı bölgelerinin heyelan riskini daha çok artırabileceği düşünülmüş ve bakı faktörü bu yönüyle ele alınmıştır.

Bitki örtüsünün heyelan risk oluşumunda artırıcı mı veya azaltıcı olarak bir faktör olduğu yönünde görüş ayrılıklarının olduğu görülse de çalışmamızda NDVI değerleri 0,61 ve -0.28 değerler arasında yer aldığı görülmüş, çalışma alanımızda genelinde bitki örtüsünün az olduğu görülmüş daha düşük değerlerde yani yeşil bitki örtüsünün az olduğu yerlerde, yağışların zemine yük getirdiği buna bağlı olarak da zeminin ağırlaştığından dolayı düşük değerlerin heyelan riskini daha çok artırıcı etkisi görülmüştür.

Arazi kullanım faktörü heyelan risk çalışmalarında kilit faktörlerden biri olmuştur. Ormanlık ve yağışın bol olduğu alanlarda iklimsel etkinin azaltıldığı görülmektedir. Bu nedenle bitki örtüsünü daha az canlılık gösterdiği bölgelerde heyelanın görülmesi daha çok olacaktır. Çalışma alanımızda seyrek bitki örtüsünün olduğu yerler heyelanın riski yüksek olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında yola mesafe haritası 300'er metre aralıklı 5 sınıfa ayrılmış 1200 metreden daha büyük yerlerin heyelana etkisinin daha az olacağı düşünülmüş ve tek sınıf olarak kabul edilmiştir. Yollar mesafe faktörü heyelan riski bakımından; eğimli yerlerde yolların geçtiği yamaçta geçtiği yerlerde eğim dengesini bozmasından dolayı heyelan oluşma riskini de artıracaktır. Yamaçlarda ağırlıkların artması ve dengenin bozulmasından dolayı güçlü bir bağ konusudur. Özellikle Yüksekova ilçesinin eğimin çok olduğu köylerde yolların bozulması heyelan olayının daha çok risk getirdiği açıkça görülmektedir.

Akarsulara Mesafe faktörü heyelan duyarlılığı bakımından önemli bir unsurdur. Akarsulara yakın mesafede toprağın alt kısmının suya daha doymuş hale gelmesi ile toprağın kararlılığı azalmakta ve toprağın tutunumu azalmaktadır. Akarsuya daha yakın yerlerde heyelan riskinin arttığı görülmektedir.

Faylara yakınlık faktörü depremsellik bakımından fay hattına yakınlaştıkça heyelanlarda artma, uzaklaştıkça azalma olduğu görülmektedir. Fay hattına 1000 m yakın mesafelerde heyelanların daha çok yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksekova İlçesinin doğusunda ve kuzeyinde fay hatlarının daha çok olduğu görülmektedir. Buna bağlı riskli bölgeler daha çok bu yönde olduğu görülmektedir.

Heyelan oluşumunda iklim koşullarının yadsınamaz belirleyiciliği vardır. Yıllık ortalama üzerinde yağış alan bölgelerde heyelanın tehlike çıkardığı ortadadır. Çalışma alanımızda kar yağışı yüksek bir bölgededir. Karın erimesi ile yer altı ve yer üstü suların çoğalması ile bol miktarda kayaların ve toprağın içine suyun sızıntı ile ulaşması ile heyelan aktivitesinin aktif hale getirdiği görülmektedir. Ayrıca akarsuların bol su alması yatak değişimine neden olmakta ve oyulmasına ve aşılmasına neden olarak heyelan riskini artırdığı görülmüştür.

Eğim şekli faktörüne bakıldığında dış bükey pozitif, iç bükey ise negatif değerler, sıfıra yakın değerlerin düz alanlar olduğu bilinmektedir. Dış bükey yamaçlarda eğimin çok olmasından dolayı bu alanlarda heyelan duyarlılık riskinin arttığı görülmüştür. Bu nedenle akarsuların daha hızlı hareket ettiği ve heyelanı tetiklediği belirlenmiştir.

Jeoloji faktörü oluşmuş olan kayaçların yapısı incelenmiş, geçirimli kayaçların ve arazinin eğimli olması nedeniyle heyelan riskinin çok olduğu alanlarda daha eski kayaçların olduğu görülmüştür. Çalışma alanımızda dik kayalıklarının bulunması, geçirimsiz kayalıkların dik olması; suların daha şiddetli akışlara maruz kalması duyarlılık riskini artırmıştır.

Toprak faktörüne bakıldığında, toprak heyelan oluşumunda toprağın doygunluğu, geçirimliliği, tane büyüklüğü vb. etkileyen unsurlarla bir arada ele alınmalıdır. Çalışma alanımızda en çok kestane renkli topraklar, çıplak kayalıklar ve kolüvyal topraklar oluşturmaktadır. Kil içeriği fazla olan toprak türlerinde yağış ile birlikte heyelan riskini arttığı görülmüştür.

Çalışma alanımızda 12(oniki) parametre oluşturulmuş ve Bölge şartları bir bütün olarak ele alınarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Riskli heyelan sahalarının incelenmiş olup AHP yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık haritası tamamlanmıştır.

AHP yöntemine göre oluşturulan risk haritasına ait değerlendirmede %2.14'ünün yüksek riskli, %10.32'sinin riskli, %69.12'sinin orta riskli, %11.64'ünün az riskli ve %6.78'inin risksiz derecede heyelana duyarlılığı olduğu tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Heyelan duyarlılık haritasında riskli olan yerlerde yerleşim birimlerine müsaade edilmemeli ve daha önceden yapılan binalar var ise derhal terk edilmelidir. AFAD birimleri tarafından heyelan olma riski daha yüksek yerlerde ki binalar belirlenip güvenli yerlere taşınması yapılmalıdır. İlçe belediyesince altyapı işlerinde daha duyarlı olunmalı ve toprak dengesini bozacak işlerden uzak durulmalıdır. İlerde meydana gelebilecek heyelanlara karşı maddi ve manevi zararlara en aza indirebilmek için çalışmalar titizlikle yürütülmesi ve çok sayıda bölgede CBS tabanlı Heyelan risk çalışmalarının artırılması gerekmektedir. Yapılan çalışmaların altlık olarak diğer çalışmalarda kullanılmasının önü açılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akar, İ. (2007). Jeomorfoloji Analizlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniklerinin Kullanımı: Kasatura Körfezi Hidrolojik Havzası Örneği. Türkiye Kuaterner Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Enstitüsü, İstanbul.
- Akgün, A., ve Türk, N. (2010). İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 34(2), 85-112.
- Akıncı, H., Özalp Y.A., Kılıçer T.S., 2015, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Temmuz 2015, Artvin Çoruh Üniversitesi.
- Akıncı, H., ve Kılıçoğlu, C., 2015, Atakum (Samsun) İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon.
- Avcı, V. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Adaklı İlçesinin (Bingöl) Heyelan Duyarlılık Analizi. Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi, 8(26), 150-175.
- Balaban, B. (2019). Gölpazarı (Bilecik) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizleri (Master's thesis, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Berhane, G., Kebede, M., Alfarah, N., Hagos, E., Grum, B., Giday, A., & Abera, T. (2020). Landslide susceptibility zonation mapping using GIS-based frequency ratio model with multi-class spatial data-sets in the Adwa-Adigrat mountain chains, northern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences, 164, 103795.
- Bozdoğan, M., & Canpolat, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) İle Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. Ege Coğrafya Dergisi, 31(1), 33-53.
- Brunsden, D., ve Prögl, D. B. (1984). Slope instability.
- Campbell, J.E. and Shin, M., 2011, Essentials of geographic information systems, iberty University, USA.
- Cihangir, E. M., 2018, Kelkit Çayı Vadisinde (Umurca-Koyulhisar Arası) Heyelan Riskinin Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi, İstanbul, 2018.
- Crozier, M. J. (1986). Landslides: causes, consequences ve environment. Taylor ve Francis.
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 43(1), 27-29.

- Cruden, Dm, Varnes, Dj, (1996). Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247: 36-75.
- Cruz, Cj., 2017, Assessing Landslide Susceptibility With GIs Using Qualitative & Quantitative Methods In Knox County, Nebraska, Nebraska-Lincoln Üniversitesi, published postgraduate texti , Nebraska, 2017.
- Çavuş, M., 2018, Erkilet Taşhan Mahallesi (Kocasinan/Kayseri) Heyelanının Coğrafi Analizi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2018.
- Çellek, S., Bulut, F., ve Ersoy, H. (2015). Ahp Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi). Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 39(2), 59-90.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 241.
- Demir, G., 2011, Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın Cbs Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi, Trabzon, 2011.
- Erener, A., Düzgün, H. S. B., 2012, "Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method?". Environmental Earth Sci., 66, 859-877.
- Erener, A., Sarp, G., Duzgun, S.H. (2019). Use Of GIs And Remote Sensing For Landslide Susceptibility Mapping. In Advanced Methodologies And Technologies On Engineering And Environmental Science, Igi Global, 384 398pp.
- Ertunç, E. ve Çay, T., 2020, Havaalanı yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri (cbs) ve analitik hiyerarşi süreci (ahp) kullanımı, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 200-210.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. (2001). "Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına kullanılan Parametrelere ilişkin belirsizlikler" Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni. (23) 189-206.
- Havenith, H. B., Torgoev, A., Schlögel, R., Braun, A., Torgoev, I., & Ischuk, A. (2015). Tien Shan geohazards database: Landslide susceptibility analysis. Geomorphology, 249, 32-43.
- Hungr, O., Lerouégl, S., ve Pğcarellğ, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, 11(2), 167-194.
- Hong, H., Ilia, I., Tsangaratos, P., Chen, W., & Xu, C. (2017). A hybrid fuzzy weight of evidence method in landslide susceptibility analysis on the Wuyuan area, China. Geomorphology, 290, 1-16.

- Islam, S. T. and Chik, Z., 2011, Disaster in Bangladesh and management with advanced information system, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.
- Kavzoğlu, T., Şahin, E. K., & Çölkesen, İ. (2012). Heyelan duyarlılığının incelenmesinde regresyon ağaçlarının kullanımı: Trabzon örneği. *Harita Dergisi*, 147(3), 21-33.
- Kavzoğlu, T., Kutluğ Şahin, E. & Çölkesen, I. Heyelan duyarlılık haritalamasında çok değişkenli ve iki değişkenli yaklaşımların değerlendirilmesi: Düzköy ilçesi örneği. *Nat Tehlikeleri* 76 , 471–496 (2015).
- Koç, E., 2021, Erkenez Havzası Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 2021.
- Komaç, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Jeomorfoloji*, 74 (1-4), 17-28.
- Lee, S. A. R. O. (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.
- Macit, İ., 2019, Bütünleşik afet yönetiminde Sendai çerçeve eylem planının beklenen etkisi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1): 175-186.
- Malczewski J., (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and Sons, New York.
- Meten, M., Bhandary, N. P., ve Yatabe, R. (2015). GIS-based frequency ratio and logistic regression modelling for landslide susceptibility mapping of Debre Sina area in central Ethiopia. *Journal of mountain science*, 12(6), 1355-1372.
- Nguyen Thanh, L. (2008). Landslide susceptibility mapping of the mountainous area in a Luoi district, Thua Thien Hue province, Vietnam.
- Öz, T., & Günek, H. (2021). Solaklı Havzası'nın (Trabzon) Heyelan Duyarlılığı ve Yerleşim Yeri Risk Analizi. *International journal of geography and geography education (Online)*, 26(44), 396-412.
- Özşahin, E. (2013). "Camili (Macahel) Biyosfer Rezerv Alanının (Artvin, KD Türkiye) Heyelan Duyarlılık Analizi". *Volume 8/3:471-493*.
- Özşahin, E., 2015, Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 7, No: 1, 2015 (47-63).

- Öztürk D., Batuk F., (2010), Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28, 124-137.
- Pourghasemi, HR, Pradhan, B., Gökçeoğlu, C., & Deylami Moezzi, K. (2012), Landslide Susceptibility Mapping Using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed, Iran, Terrible mass movements (s . 23-49). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. Natural hazards, 69(1), 749-779.
- Saaty T.L., (1980), The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill Comp., New York, USA.
- Saaty T.L., (2004), Mathematical Methods of Operations Research, Dover Publications, Mineola, New York, USA, ss.415–447.
- Sayın, H., 2019, Van Gölü Havzasının Doğusunda Heyelan Duyarlılık Analizi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Van, 2019.
- Sidle R.C., Pierce A.J., O' Loughlin C.L., (1985). Hillslope stability and land use. American Geophysical Union Water Resources Mono graph Series Volume 11, Washinton, D.C.
- Sunkar Vedat Avcı, M., & Basin, S. L. (2016). Şepker Çayı Aşağı Havzası'nın (Adıyaman Batısı) Heyelan Duyarlılık Analizi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 26(2), 13-43.
- Tarhan, F. (2002). Mühendislik Jeoloji Prensipleri. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Tanrıverdi, B., Orhan, O., & Tekin, S. (2021). Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Adıyaman Gölbaşı-Adıyaman Merkez Arasının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(3), 701-708.
- Ullah, I., Aslam, B., Shah, S. H. I. A., Tariq, A., Qin, S., Majeed, M., & Havenith, H. B. (2022). An integrated approach of machine learning, remote sensing, and GIS data for the landslide susceptibility mapping. Land, 11(8), 1265.
- Üzel Günini, N., 2019, Van İli Heyelan Duyarlılığının Lojistik Regresyon Analizi Ve Frekans Oranı Yöntemiyle İncelenmesi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2019.
- Varnes, D. J. (1978). Repr. 1995, Landslide Classification System. Dragovich, Jd; Brunengo, Mj, Landslide Map And Inventory, Tilton River–Mineral Creekarea,

Lewis County, Washington: Washington Division Of Geology And Earth Resources Open File Report, 95-1.

Yomralioğlu, T., 2002, Coğrafi bilgi sistemleri: temel kavramlar ve uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Zorba, H., 2019, Devrez Çayı Havzası'nın Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Yardımıyla Taşkın Ve Heyelan Risklerinin Belirlenmesi, Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2019.

