ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HEYELAN DUYARLILIK ÇALIŞMALARINDA KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ (ÇANKIRI ÖRNEĞİ)

Abdullah ÖZÇELİK

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2021

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Abdullah ÖZÇELİK tarafından hazırlanan **"Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve İnsansız Hava Araçlarının Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Kullanımının Değerlendirilmesi (Çankırı Örneği)"** adlı tez çalışması 26.08.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. Ender BUĞDAY

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Bursa Teknik Üniversitesi

Üye **:** Doç. Dr. Ender BUĞDAY
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Semih KUTER
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum **"Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve İnsansız Hava Araçlarının Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Kullanımının Değerlendirilmesi (Çankırı Örneği)"** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (26/08/2021).

Abdullah ÖZÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HEYELAN DUYARLILIK ÇALIŞMALARINDA KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ (ÇANKIRI ÖRNEĞİ)

Abdullah ÖZÇELİK

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ender BUĞDAY

Heyelanlar, hem yerleşim alanlarını hem de ormanlık alanları etkileyen doğal afetlerdendir. Heyelan; faylara, akarsulara, yollara uzaklığına bağlı olarak eğim, yükseklik, litoloji vb. faktörlerin etkisiyle şiddeti insan hayatını tehdit eden boyutlara ulaşabilmektedir. Ülkemiz ormanlık alanlarının önemli bir kısmının dağlık alanlarda yer aldığı hesaba katıldığında durumun ciddiyeti daha da iyi anlaşılmaktadır. Ormancılık faaliyetlerinin yılın tüm zamanı aksamadan yürütülmesi gerekmektedir. Heyelanlar bu faaliyetlerin yürütülmesinde kullanılan orman yollarını kapatarak çeşitli hizmetlerin aksamasına neden olmaktadır. Yol yapım ihtiyaçları da göz önüne alındığında heyelana duyarlı alanlarda yapılacak planlama çalışmalarında zorunlu yol yapım ihtiyacına ilişkin olarak bölge heyelan duyarlılığının önceden analiz edilerek uygun güzergahların belirlenmesi gerekmektedir. Bu tip duyarlı alanlarda planlatıcı ve karar vericiye uygulamada destek olmak amacıyla Coğrafi bilgi Sistemleri ve teknolojik cihazlardan elde edilen daha detaylı veriler sunulabilmektedir. Bu çalışmada CBS yazılımı kullanılarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Lojistik Regresyon yaklaşımlarına göre Çankırı İli sınırları ve Çankırı İli Ilısılık mevkiinde heyelan duyarlılığı haritası oluşturulmuştur. Yükseklik, eğim, litoloji, faylara - akarsulara ve yollara uzaklık kriterlerine göre AHP ve LR modelleme yaklaşımlarına göre duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çankırı ili çalışma alanı için 30 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi, Ilısılık çalışma alanı için multicopter drone cihazı kullanılarak 1 m çözünürlüklü Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda AHP model başarısı Çankırı için %73,9, Ilısılık mevkisi için %91,7 ve LR model başarısı Çankırı için %75,2, Ilısılık mevkisi için %93,1 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda SAM ve SYM verileri ile ilgili yapılan kıyaslamada SAM verilerinin daha hassas ve detaylı bir kullanım olanağı sunarak avantajlı olduğu ve küçük alanlarda özel ölçüm gerektiren yol planlaması gibi hassas planlama gerektiren çalışmalarında kullanılabileceği anlaşılmıştır. Heyelan duyarlılığının daha net ve etkin olarak ortaya konulmasından dolayı bu araçların kullanılmasının planlayıcı, uygulayıcı ve karar vericilere karar vermede destek oluşturabileceği düşünülmektedir.

2021, 40 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Heyelan, İnsansız hava aracı, Modelleme, Duyarlılık analizi, Çankırı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

PRODUCING LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS AND EVALUATING THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ACTIVITIES (ÇANKIRI SAMPLE)

Abdullah ÖZÇELİK

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ender BUĞDAY

Landslides are natural disasters that affect both residential areas and forest areas. Landslide; depending on the distance to faults, streams, roads, slope, height, lithology etc. The severity of these factors can reach dimensions that threaten human life. Considering that a significant part of our country's forest areas are located in mountainous areas, the seriousness of the situation is better understood. Forestry activities must be carried out without interruption throughout the year. Landslides cause disruption of various services by closing the forest roads used in the execution of these activities. Considering the road construction needs, planning studies to be carried out in areas susceptible to landslides should analyze the region's landslide susceptibility in advance and determine appropriate routes regarding the mandatory road construction need. More detailed data obtained from Geographic Information Systems and technological devices can be presented to support planners and decision makers in such sensitive areas. In this study, a landslide susceptibility map was created within the borders of Çankırı and in the Ilısılık locality of Çankırı, according to the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Logistic Regression approaches using GIS software. Susceptibility maps were produced according to the criteria of elevation, slope, lithology, distance to faults - streams and roads, according to AHP and LR modeling approaches. 30 m resolution Digital Elevation Model (DEM) data for Çankırı province study area, 1 m resolution Digital Terrain Model (DTM) using multicopter drone device for Ilısılık study area. As a result of the findings, AHP model success was calculated as 73.9% for Çankırı, 91.7% for Ilısılık location, and LR model success was calculated as 75.2% for Çankırı and 93.1% for Ilısılık location. As a result of the study, DTM data is advantageous in comparison with DTM and DEM data by offering a more precise and detailed usage opportunity, and since the sensitivity is revealed more clearly and effectively in sensitive planning studies such as road planning that requires special measurement in small areas. The use of these tools is beneficial for planners, practitioners and It is thought that it can create support for decision makers.

2021, 40 pages

Keywords: Landslide, Unmanned aerial vehicle, Modeling, Susceptibility analysis, Çankırı

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

‘Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve İnsansız Hava Araçlarının Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Kullanımının Değerlendirilmesi (Çankırı Örneği)’ adlı bu çalışma 2019-2021 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne ‘‘Yüksek Lisans Tezi’’ olarak sunulmuştur.

Tez çalışmamın her safhasında bana yol gösteren, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizimle paylaşan ve yakın ilgisi ile büyük destek sağlayan danışman hocam, Doç. Dr. Sayın Ender BUĞDAY’a ve çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Abdullah ÖZÇELİK
Çankırı, Ağustos 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **3**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **8**
3.1 Çalışma Alanı **8**
3.2 Yöntem **9**
4. BULGULAR **13**
4.1 Çankırı Çalışma Alanı **13**
4.1.1 AHP model sonuçları **17**
4.1.2 LR model sonuçları **20**
4.2 Ilısılık Çalışma Alanı **21**
4.2.1 AHP model sonuçları **25**
4.2.2 LR model sonuçları **28**
4.3 AHP ve LR Model Sonuçlarının Karşılaştırılması **29**
5. TARTIŞMA ve SONUÇ **34**
KAYNAKLAR **36**
ÖZGEÇMİŞ **40**

SİMGELER DİZİNİ

ha	: Hektar
km	: Kilometre
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LR	: Lojistik Regresyon
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TS	: Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Çankırı İli çalışma alanının konumu. 8
Şekil 3.2 Ilısılık Köyü çalışma alanının konumu. 9
Şekil 4.1 Çalışma alanı yükseklik haritası. 13
Şekil 4.2 Çalışma alanı eğim haritası. 14
Şekil 4.3 Çalışma alanı litoloji haritası. 15
Şekil 4.4 Çalışma alanı faylara olan uzaklık haritası. 15
Şekil 4.5 Çalışma alanı akarsulara olan uzaklık haritası. 16
Şekil 4.6 Çalışma alanı akarsulara olan uzaklık haritası. 17
Şekil 4.7 AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası. 19
Şekil 4.8 Çankırı çalışma alanı AHP yaklaşımına ROC – AUC model başarısı. 19
Şekil 4.9 LR yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası. 20
Şekil 4.10 Çankırı çalışma alanı LR yaklaşımına göre ROC – AUC model başarısı. 20
Şekil 4.11 Çalışma alanı yükseklik haritası. 21
Şekil 4.12 Çalışma alanı eğim haritası. 22
Şekil 4.13 Çalışma alanı litoloji haritası. 23
Şekil 4.14 Çalışma alanı faylara olan uzaklık haritası. 23
Şekil 4.15 Çalışma alanı faylara olan uzaklık haritası. 24
Şekil 4.16 Çalışma alanı yollara olan uzaklık haritası. 25
Şekil 4.17 AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası. 27
Şekil 4.18 Ilısılık çalışma alanı AHP yaklaşımına göre ROC – AUC model başarısı. 27
Şekil 4.19 LR yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası. 28
Şekil 4.20 Ilısılık çalışma alanı LR yaklaşımına göre ROC – AUC model başarısı. 28
Şekil 4.17 AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritaları. 29
Şekil 4.18 LR yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritaları. 30
Şekil 4.23 AHP yaklaşımı sonuçlarına göre heyelan duyarlılık seviyeleri ve alansal dağılımları 31
Şekil 4.24 LR yaklaşımı sonuçlarına göre heyelan duyarlılık seviyeleri ve alansal dağılımları 32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve puan değerleri. 18
Çizelge 4.2 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve faktör ağırlıklandırma değerleri 18
Çizelge 4.3 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve puan değerleri. 26
Çizelge 4.4 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve faktör ağırlıklandırma değerleri 26

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde birçok doğal felaket mevcuttur. Heyelan, çevreye ve insanlara kayıplar yaşatan bu doğal felaketlerden biridir. Heyelan, toprak ve kaya gibi yeryüzü parçalarının yer çekimi, deprem, su, volkanik patlamalar ve insanların yer yüzeyinde yaptığı çeşitli yapım çalışmalarından kaynaklı materyalin yamaç aşağı yönde kayması olarak ifade edilmektedir (URL-1 2021).

Türkiye jeolojik ve topoğrafik yapısı göz önüne alındığında heyelan, doğal afet türleri arasında depremlerden sonra en çok kayba sebep olan ikinci doğal afet türüdür (Ergünay 2007). Heyelan çevreyi ve insanları olumsuz etkileyen ve bunun yanı sıra milyarlarca dolar değerinde maddi zararlara sebep olmaktadır (Brabb 1991). Kütle hareketleri içerisinde değerlendirilen heyelanlar; toprak, moloz ya da kaya kütlelerinin yerçekimi etkisiyle veya insan müdahalesiyle oluşan yamaç hareketi olarak adlandırılmaktadır (Cruden 1991). Doğal afetler arasında yaygın olarak görülen ve kütle hareketi olan heyelanlar, can ve mal kayıplarına yol açmaktadır (Yalçın 2007).

Heyelanların sınıflandırılmasında, farklı amaçlar doğrultusunda literatürde araştırmacılar tarafından kabul gören farklı sistemler bulunmaktadır. Dünya genelinde en çok kabul gören Varnes (1978) Sınıflaması olduğu bilinmektedir (Hungr *et al.* 2014). Bu sınıflama sistemi, şev duraysızlığının morfolojisi, yenilmenin mekanizması, malzeme türü ve hareketin türü gibi parametreleri dikkate almakta ve 6 adet hareket türünü içermektedir (Çan vd. 2013). Heyelan duyarlılığı çalışmaları, bir bölgede heyelan oluşumuna neden olabilecek girdi parametrelerin, yani hazırlayıcı faktörlerin, dikkate alınarak heyelan duyarlılığının göreceli olarak sınıflandırılması olarak tanımlanmaktadır. (Ercanoğlu vd. 2005).

Çeşitli faktörlerin harekete geçirmesi sonucu oluşan heyelanlar, yükseklik (Eker vd. 2012, eğim (Nefeslioğlu *et al.* 2012), bakı (Hong *et al.* 2015), litoloji (Jaafari *et al.* 2015), faylara olan uzaklık (Saha *et al.* 2005), akarsulara olan uzaklık (Yalçın *et al.*

2011), yollara olan uzaklık (Yalçın 2008), topoğrafik nem endeksi (TWI) (Jacobs *et al.* 2018) ve akarsu aşındırma endeksi (SPI) (Akgun ve Turk 2010) faktörlerine bağlı olarak heyelanlar meydana gelebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, heyelana eğilimli alanlarda orman yolu planlaması, alternatif güzergah planlaması, yangın emniyet yolu planlaması vb. kritik öneme sahip tesislerin konumlandırılmasında karar vericilere ve plan yapıcılara dinamik ve bilgisayar destekli yönetim olanağının sunulmasına katkı oluşturmaktır. Günümüz teknoloji ve yazılım imkanlarının gelişmesi ile büyük alanlarda (örn: il geneli, havza geneli vb.) uydu görüntüleri üzerinden heyelan duyarlılık analizleri yapılabilmektedir. Elde edilen veriler ile çalışma alanları haritalandırılarak karar vericiler ve planlayıcılar için önemli bir altlık oluşturulmaktır. Bu çalışmada heyelan duyarlılığı Çankırı ili idari sınırları içerisinde heyelan duyarlılık derecelerine göre kategorize edilerek haritalandırılmıştır. Ayrıca İnsansız Hava Aracı (İHA) multikopter yardımıyla heyelan duyarlılığı çalışmada belirlenen bir alana gidilerek çalışma alanına ait arazi verilerine multikopter drone uçuşu ile ulaşılmıştır. Bu çalışmanın yenilikçi ve öne çıkan yönü çalışmada ayrıca İHA kullanılmasıdır. Böylece aynı alan için fikir verici nitelikte bir kıyaslamaya gidilerek heyelan duyarlılık çalışmalarında İHA kullanım olanakları değerlendirilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Bu çalışmada iki farklı modelleme yöntemi (Lojistik Regresyon Modeli ve Analitik Hiyerarşi Prosesi) kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak AHP ve LR modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde yükseklik, eğim, bakı, litoloji, faylara olan uzaklık, akarsulara olan uzaklık ve yollara olan uzaklık faktörleri kullanılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünyada ve ülkemizde heyelan sürekli olarak ortaya çıkan bir doğal afettir. Hem dağlık alanlarda hem de şehirlerde meydana gelebilmektedir. Ulusal ve uluslararası literatüre göre çok çeşitli parametreler veya faktörler kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan faktörler yükseklik, eğim, bakı, litoloji, faylara olan uzaklık, akarsulara olan uzaklık, yollara olan uzaklık, yamaç eğriselliği, arazi kullanımı, yağış vb. şeklinde sıralanmaktadır. Bu bölümde heyelan duyarlılık çalışmaları ile ilgili olarak yapılan çalışmaların bir kısmı yıllara göre sınıflandırılarak aktarılmıştır.

Ayalew ve Hiromitsu (2005) Orta Japonya'daki Kakuda-Yahiko Dağları'nda yapmış oldukları çalışmada heyelan duyarlılık haritası üretmek için lojistik regresyon yaklaşımına göre çok değişkenli istatistiksel analiz kullanılmışlardır. Burada, yokluk için 0, mevcudiyet için 1 değeri alan bağımlı bir değişken üretmek için 87 heyelanın envanter haritası kullanılmıştır. Litoloji, eğim, bakı, yükselti ve yol ağı faktörleri kullanılmıştır. Çalışma alanı beş heyelan duyarlılığı kategorisine sınıflandırılmıştır. Orta ve yüksek duyarlılık bölgeleri, toplam çalışma alanının %8,87'sini oluşturduğu aktarılmıştır.

Görüm ve Gönençgil (2006) Melen Boğazı ve yakın çevresinde yaptıkları çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemi ve İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Çalışmada, jeomorfolojinin heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla yürüttükleri analizde jeomorfoloji, jeoloji, arazi kullanım, yükseklik, eğim, bakı, plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, diferansiyel yamaç eğriselliği, akarsu aşındırma gücü endeksi ve topografik nemlilik endeksi parametreleri kullanmışlar ve ürettikleri haritada heyelan duyarlılık sınıflarını üç ana gruba göre sınıfa ayırmışlardır. Ayıca yapılan çalışmada inceleme alanında yer alan Okul, ev ve cami gibi yerleşim alanların bulunduğu yerlerin heyelan duyarlılık derecelerini de belirtmişlerdir.

Lee, S., ve Sambath, T. (2006) Kamboçya'da Damrei Romel bölgesinde yaptıkları çalışmada frekans oranı ve lojistik regresyon modelleri kullanılarak heyelan duyarlılık

haritalaması oluşturmuşlarıdır. Heyelan duyarlılık haritalaması için, çalışma alanında hava fotoğrafları ve arazi etütlerinin yorumlanmasıyla heyelan lokasyonlarını belirlemiş ve topografik haritalar, jeoloji ve arazi örtüsünden bir mekansal veri tabanı oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için frekans oranı ve lojistik regresyon yaklaşımlarından yararlanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Bilinen heyelan lokasyonları ile karşılaştırma yaparak üretilen model test edilmiş ve sonuç olarak, frekans oranı modeli (%86,97) ve lojistik regresyon (%86,37) yüksek ve benzer olduğu sonucuna ulaştıklarını aktarmışlardır.

Kamp vd. (2008) yaptıkları çalışmada 2005 Keşmir deprem bölgesi için CBS tabanlı heyelan duyarlılık haritasını üretmek için ASTER uydu görüntüleri ve CBS teknolojisi kullanılarak heyelan içeren konumsal veri tabanı geliştirdiklerini ifade etmişlerdir. Analizde Çok Kriterli Değerlendirme (MCE) yöntemi kullanıldıklarını ve yapılan analiz çalışmasında litoloji, faylar, eğim eğimi, eğim yönü, yükseklik, arazi örtüsü, nehirler ve yollar faktörlerini kullanarak heyelan duyarlılık haritası ürettiklerini ve heyelanların özellikle kaya, şeyl, arduvaz, kırıntılı çökeller ve kireçtaşı ve dolomit birimlerde yoğunlaştığını vurgulamışlardır.

Yalçın (2008) Artvin Ardeşen'de yapılan çalışmada analitik hiyerarşi süreci ve iki değişkenli istatistikler kullanılarak CBS tabanlı heyelan duyarlılık haritalaması yapılmıştır. Çalışmada, analitik hiyerarşi süreci (AHP), istatistiksel indeks (Wi) ve ağırlıklandırma faktörü (Wf) yöntemleri kullanılarak üç duyarlılık haritası elde edilerek üretilen haritalar karşılaştırılmıştır. Heyelan envanteri, litoloji-ayrışma, eğim, bakı, arazi örtüsü, akarsuya uzaklık, drenaj yoğunluğu ve yola uzaklığı içeren faktörlere göre yapılan analiz sonucunda heyelanların %98'inin çok veya tamamen ayrışmış birimlerde meydana geldiğini ifade etmiştir. Çalışma alanında litoloji-ayrışma, arazi örtüsü ve eğim faktörlerinin önemli faktörler olarak diğer faktörlerden ayrıldığını tespit etmiştir. Duyarlılık haritasının uygulanabilirliğini doğrulamak için 16 aktif heyelan bölgesi içeren bir heyelan aktivite haritası ile karşılaştırma yapılarak aktif heyelan bölgelerinin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarına bölgelerinin %81,3'ü AHP yönteminin yüksek ve çok yüksek duyarlılık bölgelerine girdiğini aktarmışlardır.

Yılmaz (2009) Tokat ilinde yapılan çalışmada Frekans oranı, lojistik regresyon, yapay sinir ağları kullanılarak heyelan duyarlılık haritalaması ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinde jeoloji, faylar, drenaj sistemi, topografik yükseklik, eğim açısı, eğim yönü, topografik ıslaklık indeksi (TWI) ve akarsu güç indeksi (SPI) gibi heyelanla ilgili faktörler kullanılmıştır. Frekans oranı, lojistik regresyon ve sinir ağları modellerinden heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş ve model başarı testleri sonrasında, YSA modelinden elde edilen modelin başarısının diğer modellere oranla yüksek olduğunu ifade etmiştir.

Eker vd. (2012) yapılan çalışmada heyelan duyarlılık analizi için CBS'ye dayalı lojistik regresyon (LR) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) yaklaşımları kullanmışlardır. Karadeniz bölgesindeki Bartın ilinin Ulus ilçesi için bir heyelan duyarlılık haritası hazırlamayı amaçlamışlar ve analizlerde; yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, plan eğrilik, profil eğrilik, normalize edilmiş vejetasyon farklılık endeksi (NDVI), topografik nemlilik endeksi (TNE) faktör olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en başarılı yöntemin YSA yaklaşımına göre üretilen modelin olduğu ifade edilmiştir.

Niethammer vd. (2011) yaptıkları çalışmada heyelanların daha etkili değerlendirilebilmesi için insansız hava aracı (multikopter drone) kullanarak DTM verisi elde etmişler ve yüksek çözünürlüklü veri seti oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda İHA yazılımlarının gelişmesinin daha verimli tespitler yapmak için altlık oluşturacağını aktarmışlardır.

Pourghasemi vd. (2012) İran Haraz havzasında yaptıkları çalışmalarında Bulanık mantık ve AHP heyelan duyarlılık haritalamasına uygulamışlarıdır. Çalışmanın amacı, hem bulanık mantık hem de AHP modellerini kullanarak İran'da Haraz havzasında eğilimli bir alanın heyelan duyarlılık haritalarını üretmektir. Çalışmada 78 Heyelan envanteri kullanılmıştır. Çalışmada eğim, bakı, plan eğriliği, yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, nehirlere olan mesafe, yollara olan mesafe, faylara olan mesafe, akarsu güç indeksi, eğim uzunluğu ve topografik ıslaklık olmak üzere 12 faktör kullanılmıştır. Doğrulama sonuçları, bulanık mantık modelinin (%89,7), çalışma alanı için AHP (%81,1) modelinden daha iyi performans gösterdiğini aktarmışlardır.

Özşahin (2013) yaptığı çalışmada “Hatay’da kütle hareketlerinin oluşum nedenleri nelerdir? İlgili nedenlere bağlı olarak bu hareketler nasıl bir dağılış gösterir? Sorularına yanıt aramış ve bu kapsamda yapılması gerekenlerin neler olabileceğini ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada, CBS destekli Mora ve Vahrson (1994) tarafından geliştirilen heyelan duyarlılık modeli kullanmıştır. Analiz sonuçları heyelanların temel oluşum nedenlerinin eğim, litoloji ve stratigrafi ile toprak nemlilik indeksi gibi sebep, en yüksek aylık ortalama yağış ve sismik tehlike göstergesi gibi tetikleyici faktörler olduğu ifade etmiştir. Bu bakımdan ilde en geniş alanda (% 42 - 234620 ha) normal sınıfında, en küçük alanda ise (% 0,2 - 864 ha) çok yüksek heyelan riskinin hakim olduğunu tespit etmiştir. Riskin en yüksek olduğu lokasyonun ise Güney Amanos Dağları olduğunu aktarmıştır.

Çellek vd. (2015) Sinop Gerze sahil kesiminde AHP Yöntemini kullanarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının üretmişlerdir. Çalışmada inceleme alanının heyelan duyarlılığının ortaya konmasında bu tür çalışmalarda sıklıkla kullanılan AHP yöntemi tercih ettiklerini aktarmışlardır. Analizde bakı, litoloji, arazi kullanım sınıfı, yamaç eğriselliği, eğim, yükseklik, anayola, akarsuya ve yapısal unsurlara yakınlık, faktörleri kullanılmıştır. Çalışma alanının % 10,77’sinin çok düşük derecede heyelana duyarlı, % 10,59’unun düşük derecede heyelana duyarlı, % 52,64’ünün orta derecede heyelana duyarlı, %25,66’sının yüksek derecede, % 0,34’ünün çok yüksek derecede heyelana duyarlı olduğu ve AHP yaklaşımının bu tür modelleme çalışmalarında kullanılmasının güvenilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Myronidis vd. (2016) yaptıkları çalışmada Kıbrıs'ın heyelan eğilimli bir bölgesinde, popüler AHP ile Frekans Oranı yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlar ve çalışmada 10 tetikleyici faktör ve bunların değiştirilmiş Heyelan Bağıl Frekansları (mLRF) belirlemişlerdir. Her bir heyelan duraysızlık faktörünün bağıl ağırlıklarını belirlemek ve model için gerekli olmayanları çıkarmak için AHP yaklaşımı kullanmışlar ve çalışmanın sonucunda çalışma alanının yaklaşık % 64,1'inin yüksek riskli bölgelerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Elmacı vd. (2017) heyelanların ülkemizde özellikle bazı bölgelerde yaygın olarak görüldüğünü, yaptıkları çalışmada Çubuk-Kalecik (Ankara) ile Şabanözü (Çankırı) arasında 2360 km^2'lik bölgede heyelan duyarlılığının ortaya konmasını amaçlamışlardır. MTA tarafından hazırlanan, Türkiye Heyelan Envanter Haritası veri tabanına göre çalışma alanında 876 adet heyelan bulunmakta ve 122 km^2'lik alan kapladığını aktarmışlardır. Heyelan hazırlayıcı faktörler olarak; litoloji haritası, arazi kullanımı, sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, düzlemsel, kesit, teğetsel yamaç eğrisellikleri, pürüzlülük indeksi, nehir aşındırma gücü indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksi faktörlerini dikkate almışlardır. Heyelan duyarlılık değerlendirmesi çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan mantıksal regresyon yöntemi kullanmışlar ve elde edilen heyelan duyarlılık haritası olasılık değerleri 5 farklı sınıf aralığında değerlendirmişlerdir. Duyarlılık haritalarının performans değerlendirmelerini ise alıcı işletim karakteristik (ROC) ve başarı-tahmin eğrileri kullanılarak gerçekleştirmişler ve ROC eğrileri altında kalan (AUC) alan 0,794 olarak tespit etmişlerdir.

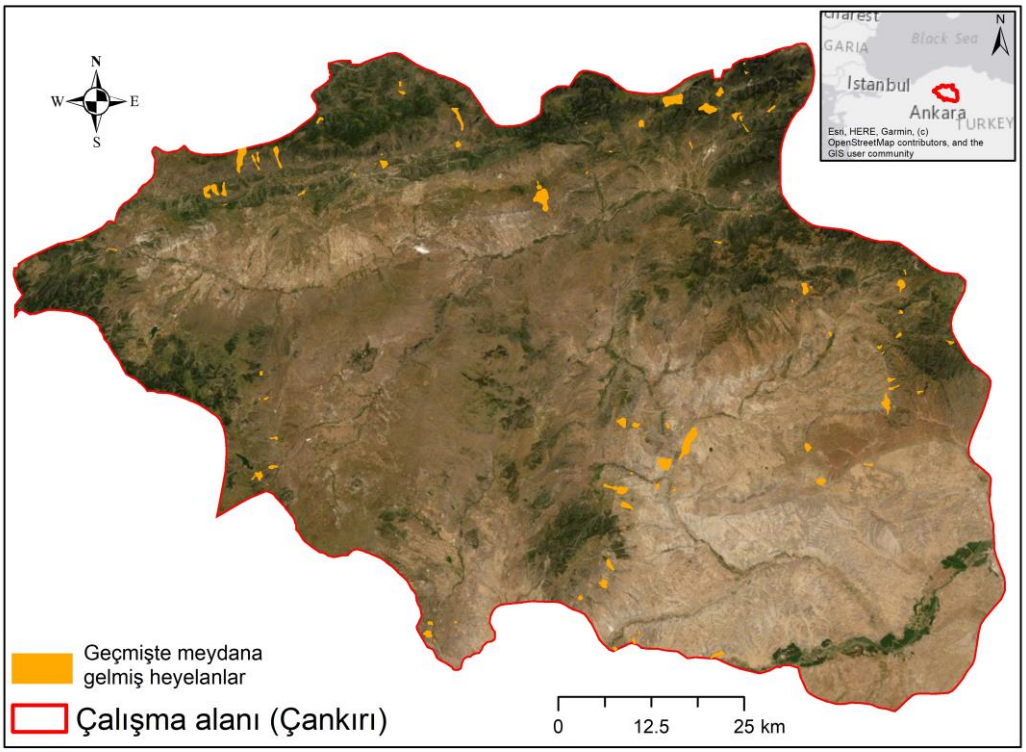
Buğday ve Akay (2019) Kastamonu-İhsangazi'de yapmış oldukları çalışmada Modified-AHP, Fuzzy Interference System (FIS) ve LR modelleme yaklaşımları ile 9 farklı kriter kullanarak (eğim, bakı, vb.) 12 model ortaya koymuş ve en başarılı yaklaşımın LR yaklaşımına (%76,6) göre olduğunu aktarmışlardır. Sonuç olarak orman yolu ihtiyacının giderilmesinde kullanılan kriterlere heyelana duyarlılığın eklenmesini ve bu alanların ortaya konulan modelleme yaklaşımlarıyla analiz edilerek güzergahlarının rasyonel bir şekilde ortaya konmasını önermişlerdir.

Wang, vd. (2019) yılında Çin, Yanshan İlçesinde yapılan çalışmada heyelan duyarlılık haritalaması için Evrişimsel Sinir Ağı (CNN)'nın karşılaştırması yapmışlardır. Çalışmanın amacının Çin'in Yanshan ilçesinde heyelan duyarlılık haritalaması için bir CNN çerçevesini araştırmak olduğu vurgulamışlardır. Çalışmada, heyelan oluşumu ile ilişkili on altı etkili faktör kullanmışlar ve sonuç olarak CNN heyelan duyarlılık haritalarının tümünde oldukça hassas bölgelerin oranlarının oldukça benzer olduğunu ve %30'dan daha düşük olduğunu hesaplamışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

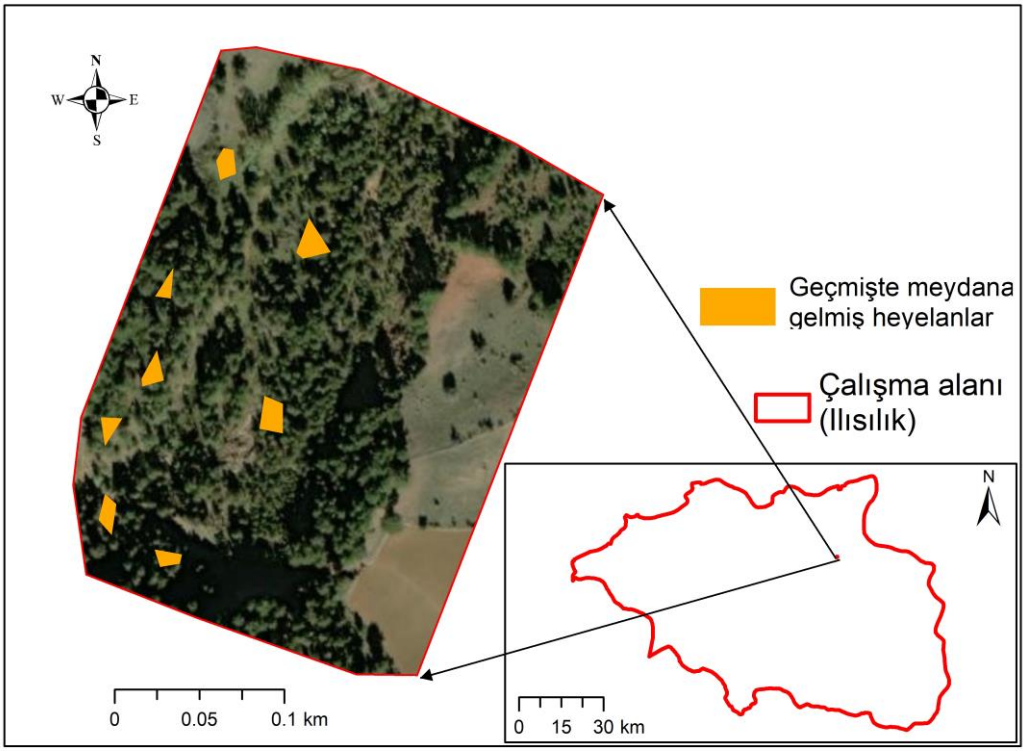
3.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Çankırı ili idari sınırlarında yer alan 40° 50' 20" - 40° 16' 30" kuzey enlemleri ile 32° 34' 40" - 34° 02' 29" doğu boylamları içerisinde tüm heyelan alanlarını kapsayacak şekilde yürütülmüştür (Şekil 3.1). Bu çalışma alanının büyüklüğü 749613,5 hektardır. İkinci çalışma alanı, multikopter drone verisi ile kıyaslama ve değerlendirme için Çankırı İli Ilısılık Köyünde yapılmıştır (Şekil 3.2). Bu çalışma alanının büyüklüğü ise 7,7 hektardır. Türkiye geçmiş/olmuş heyelan verileri Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) veri tabanında zaman zaman yapılan ekip çalışmalarıyla yıl içerisinde sürekli olarak güncellenmekte ve araştırmacıların talepleri doğrultusunda veri tabanı verileri paylaşılmaktadırlar. Bu çalışmada MTA tarafından sunulan verileri kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Çankırı İli çalışma alanının konumu

Çankırı çalışma alanında toplam 100 adet heyelan verisi bulunmaktadır. Ilısılık çalışma alanında ise toplam kaydedilen heyelan sayısı 8 adet olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 Ilısılık Köyü çalışma alanının konumu

3.2. Yöntem

Çalışmada Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü veri tabanında yer alan eski ve yeni heyelan verileri (Duman vd. 2011) kullanılmıştır. Ayrıca fay bilgileri (Emre vd. 2013) yine MTA Genel Müdürlüğü veri tabanından temin edilmiştir. Litoloji bilgisi Çankırı İli AFAD İl Müdürlüğünden alınmıştır. Çalışma alanına ait orman envanter verileri ile yol şebeke planı verileri Çankırı Orman İşletme Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çankırı İli çalışma alanına ait yükseklik verisi Digital Elevation Model (DEM) (30 m çözünürlüklü), www.usgs.gov adresinden ücretsiz olarak temin edilmiştir. Ilısılık Köyü çalışma alanında multikopter drone Phantom 4 model cihazdan elde edilen yükseklik verisi olan Digital Terrain Model (DTM) (0,04m çözünürlüklü) CBS ortamında ArcGIS 10.3 TM yazılımı (ESRI 2018) kullanılarak üretilmiştir.

Çalışmada iki farklı modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bunlar: Lojistik Regresyon Modeli (LRM) (Buğday and Akay 2019) ve AHP (Park *et al.* 2013) yöntemlerdir.

Lojistik Regresyon Modeli (LRM)

Lojistik regresyon; cevap değişkeninin kategorik ve ikili, üçlü ve çoklu kategorilerde gözlendiği durumlarda açıklayıcı değişkenlerle neden sonuç ilişkisini belirlemede yararlanılan bir yöntemdir. Açıklayıcı değişkenlere göre cevap değişkeninin beklenen değerlerinin olasılık olarak elde edildiği bir regresyon yöntemidir (Gorsevski *et al.* 2006, Lee and Pradhan 2007). Lojistik regresyon, aşağıdaki biçimde bir denklem kullanarak bağımlı değişkeni düzenlemeyi içerir (Duman *et al.* 2006):

$$\begin{aligned} Y = logit\ (p) &= \ln[p\ /(1-p)] \\ &= C_0 + C_1X_1 + \cdots + C_nX_n \end{aligned} \quad (1)$$

Bu denklemde "p", bağımlı değişkenin (Y) 1 olma olasılığıdır. "p/(1-p)" nominal (beklenilen) olasılık veya olasılık oranıdır. "C_0" kesişme noktası, "C_n" bağımsız faktörlerin ($X_1, \ldots X_n$) Y'deki değişimlere katkısını ölçen katsayılardır. Bu çalışmada bağımlı değişken, heyelan varlığı veya yokluğu olarak tanımlanırken, bağımsız değişkenler heyelan duyarlılığını etkilediği düşünülen faktörlerdir.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Heyelan duyarlılık çalışmalarında oldukça sık kullanılan yöntemdir. Her faktör için ağırlık, heyelan oluşumu üzerindeki etkisine bağlı olarak AHP kullanılarak atanır (Abedini *et al.* 2017). Heyelan duyarlılık haritası, ağırlıklı örtüşme yöntemi kullanılarak türetilmiş ve çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş duyarlılık sınıfa ayrılmıştır. AHP modeli kullanılarak heyelan duyarlılık haritası aşağıdaki denklem kullanılarak oluşturulmuştur:

$$AHP = ((y\ddot{u}kseklik \times W_1) + (e\breve{g}im \times W_2) + (litoloji \times W_3) + (faylara\ olan\ uzaklık \times W_4) + (akarsulara\ olan\ uzaklık \times W_5) + (yollara\ olan\ uzaklık \times W_6) \quad (2)$$

Bu formülde "W_{AHP}", her bir heyelanı etkileyen faktörün ağırlığıdır. Çalışmada kullanılan raster piksel değerleri daha sonra heyelan duyarlılık haritasındaki sınıf aralıklarını belirlemek için çok düşük (0-0-2), düşük (0,2-0.4), orta (0,4-0,6), yüksek (0,6-0,8) ve çok yüksek (0,8-1,0) olacak şekilde beş sınıfa sınıflandırılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalamasının modelleme aşamalarında, hem DEM verisi hem de DTM verisinden oluşturulan faktörler (yükseklik ve eğim) duyarlılık haritalarının oluşturulmasında ve raporlama süreçlerinde ArcGIS 10.3 TM Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen harita geçmiş veriler kullanılarak sınanmış ve en başarılı model tespit edilmiştir.

Yükseklik, heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan ve ulusal – uluslararası ölçekte sıklıkla değerlendirmelerde yer verilen bir faktördür. Yüksekliğin artması ile arazinin heyelan oluşumlarına duyarlı bir hale geldiği bilinmektedir. **Eğim**, heyelan duyarlılık çalışmalarında en sık kullanılan faktörlerden biridir. Bu çalışmada eğim verisi derece olarak üretilmiş ve analiz edilmiştir. **Litoloji**, heyelanın hem oluşumunu hem de şiddetini tahmin edebileceğim parametreleri içerdiğinden dolayı heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. **Faylara olan uzaklık** faktörü heyelanın tetikleyicisi olması bakımından ulusal ve uluslararası literatürde en sık kullanılan faktörlerdendir. Bu çalışmada, faylara uzaklık faktörü 0,2 km- 0,5 km- 1 km- 5 km- 10 km- 20 km ve 50 km şeklinde sınıflandırılmıştır. **Akarsulara olan uzaklık** faktörü, heyelanın oluşumunda etkili faktörlerdendir. Bu çalışmada akarsulara olan uzaklık faktörü 0,2 km- 0,5 km- 1 km- 5 km ve 10 km şeklinde sınıflandırılmıştır. **Yollara olan uzaklık** faktörü, heyelan duyarlılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ve heyelana duyarlılığı olumsuz yönde artıran bir faktördür. Bu çalışmada yollara olan uzaklık faktörü 0,2 km- 0,5 km- 1 km- 5 km ve 10 km olarak sınıflandırılmıştır.

DTM verisi oluşturmak için Ilısılık çalışma alanında DJI marka Phantom 4 multicopter drone cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait bazı teknik özellikler şunlardır:

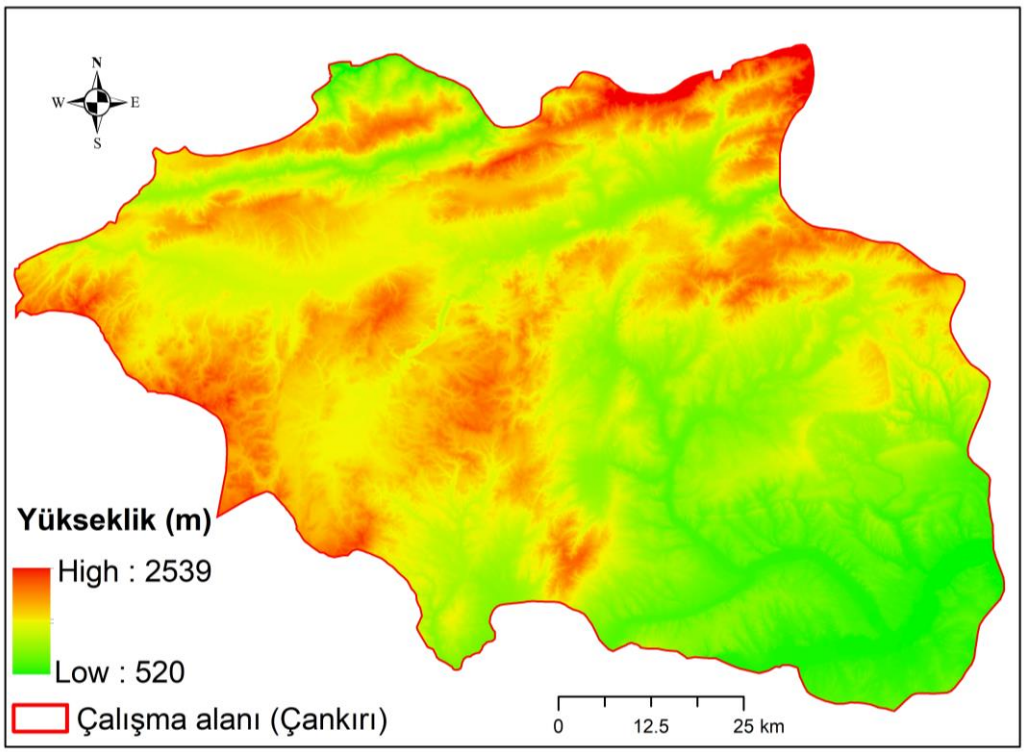
- Ağırlık: 1350gr-1400gr
- Batarya: 5870 mAH LiPo
- Ebat: 36cm-40cm
- GPS Modu: GPS Var
- Kamera: 4K
- Maksimum Hız: 40kmp-50kmp
- Uçuş Mesafesi: 5000m-6000m
- Uçuş Süresi: 26-30 Dakika
- Görüş Açısı: 94°
- Diyafram Açıklığı: 2,8 /f
- Sensör Türü: CMOS
- Sensör Boyutu: 1/2,3 inç
- Etkin Piksel: 12 MP

4. BULGULAR

Bu çalışmada, Çankırı ili genel sınırları için DEM (Digital Elevation Model) verisi, Ilısılık çalışma alanı için ise örnek multikopter drone cihazından elde edilen DTM (Digital Terrain Model) verisi işlenmiştir.

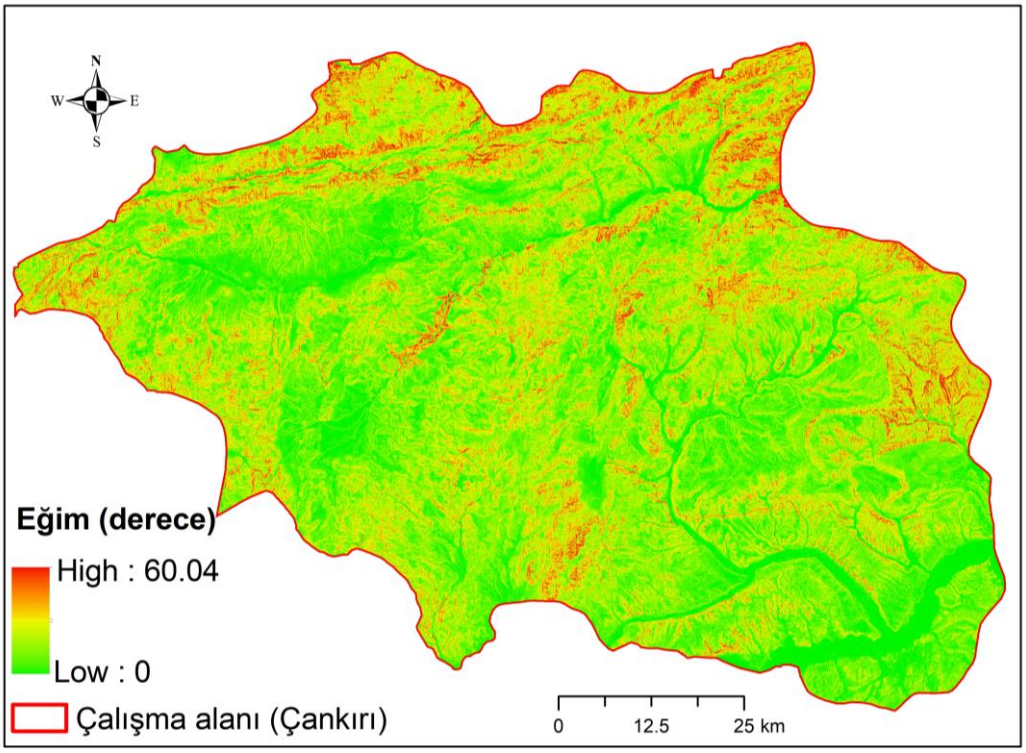
4.1. Çankırı Çalışma Alanı

Bu çalışmada AHP ve LR modelleme yaklaşımlarına göre heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu haritaların oluşturulmasında yükseklik (Şekil 4.1), eğim (Şekil 4.2), litoloji (Şekil 4.3), faylara olan uzaklık (Şekil 4.4), akarsulara olan uzaklık (Şekil 4.5) ve yollara olan uzaklık faktörleri (Şekil 4.6) kullanılmıştır.



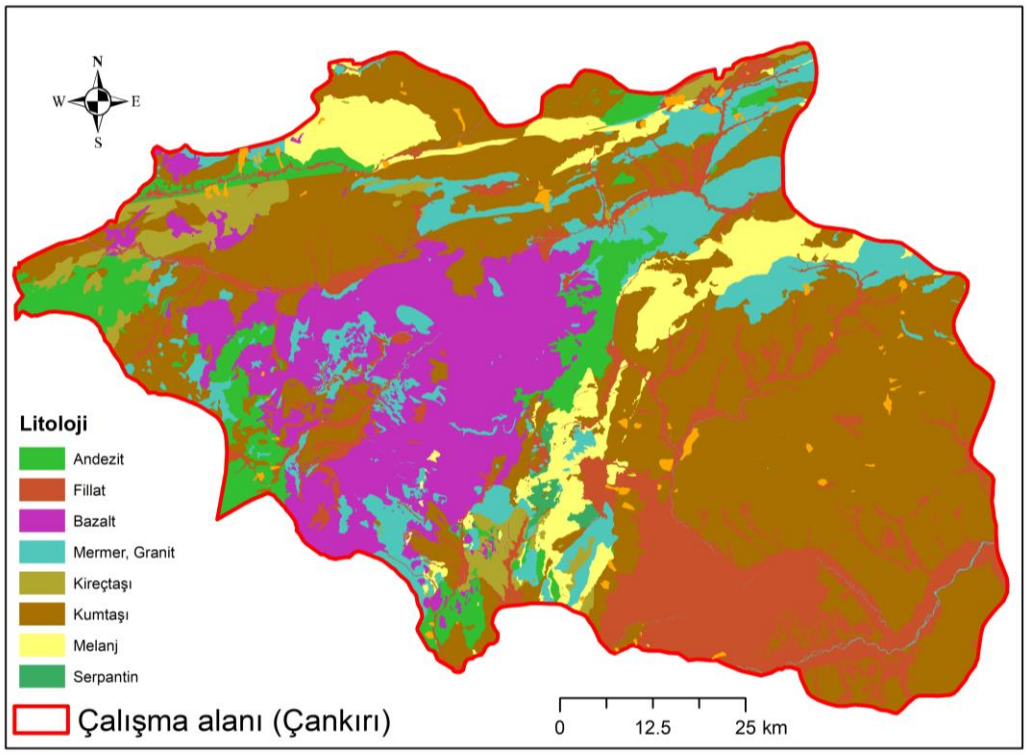
Şekil 4.1 Çalışma alanı yükseklik haritası

Çalışma alanının en az yüksekliği 520 m ile en çok 2539 m arasında olup ortalama yüksekliği 1173 m dir. Çalışma alanında eğim 0^o ile 60^o derece arasında olup ortalama eğim 10.9^o dir.



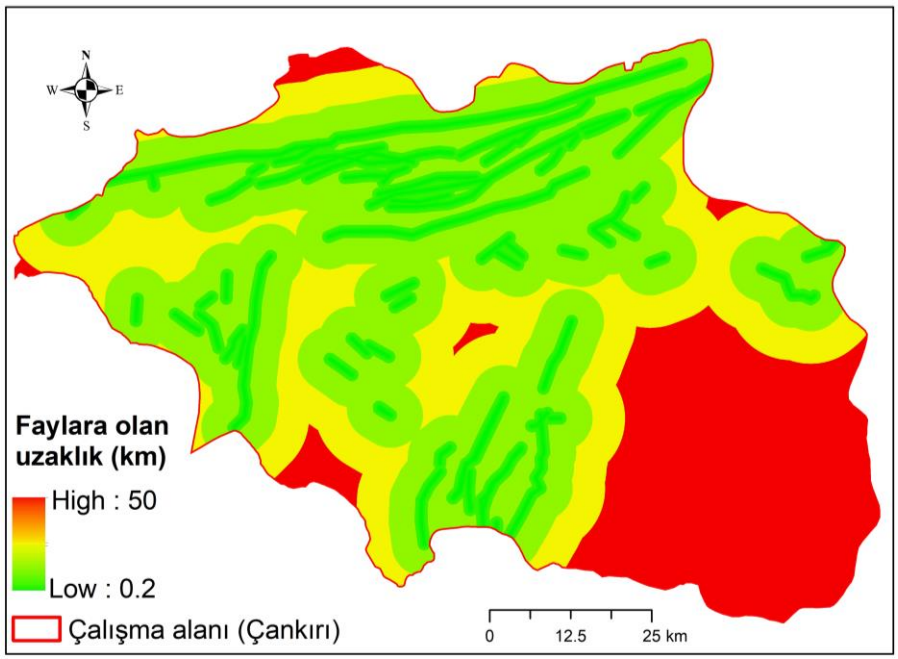
Şekil 4.2 Çalışma alanı eğim haritası

Çalışma alanında jeolojik tür bakımından abısal havza, karasal, karasal-self, self yamaç ve yamaç-abısal havza karakteristiğinde alanlar bulunmaktadır. Çankırı ilinde litolojik olarak andezit, bazalt, mermer, granit, kum taşı, kireçtaşı, killi kireçtaşı, serpantin ve fillat yapılar yer almaktadır. Bu çalışmada litoloji verileri sert ve sert olmayan kayaçlar şeklinde analize dahil edilmiştir. Burada sert kayaçlar; andezit, bazalt, mermer, granit ve kumtaşıdır. Sert olmayan veya daha düşük sertlik derecelerine sahip olanlar ise kireçtaşı, killi kireçtaşı, serpantin ve fillattır.



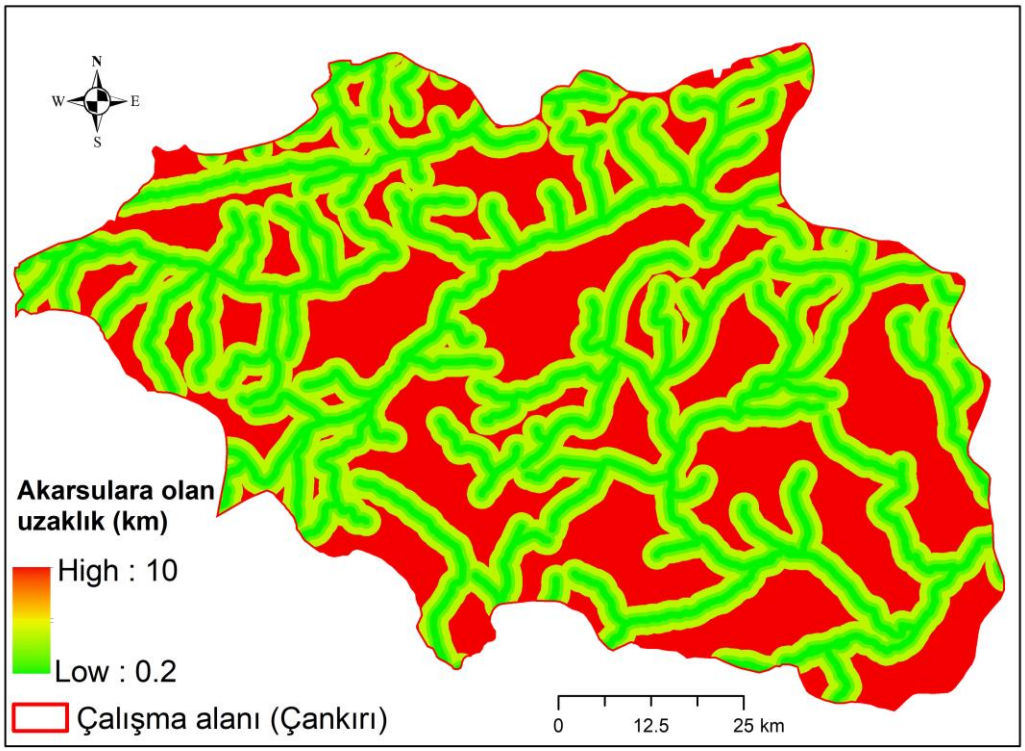
Şekil 4.3 Çalışma alanı litoloji haritası

Çalışma alanında faylara olan uzaklıklar 0,2 km, 0,5 km, 1 km, 5 km, 10 km, 20 km ve 50 km aralıklara ayrılarak sınıflandırılmıştır.



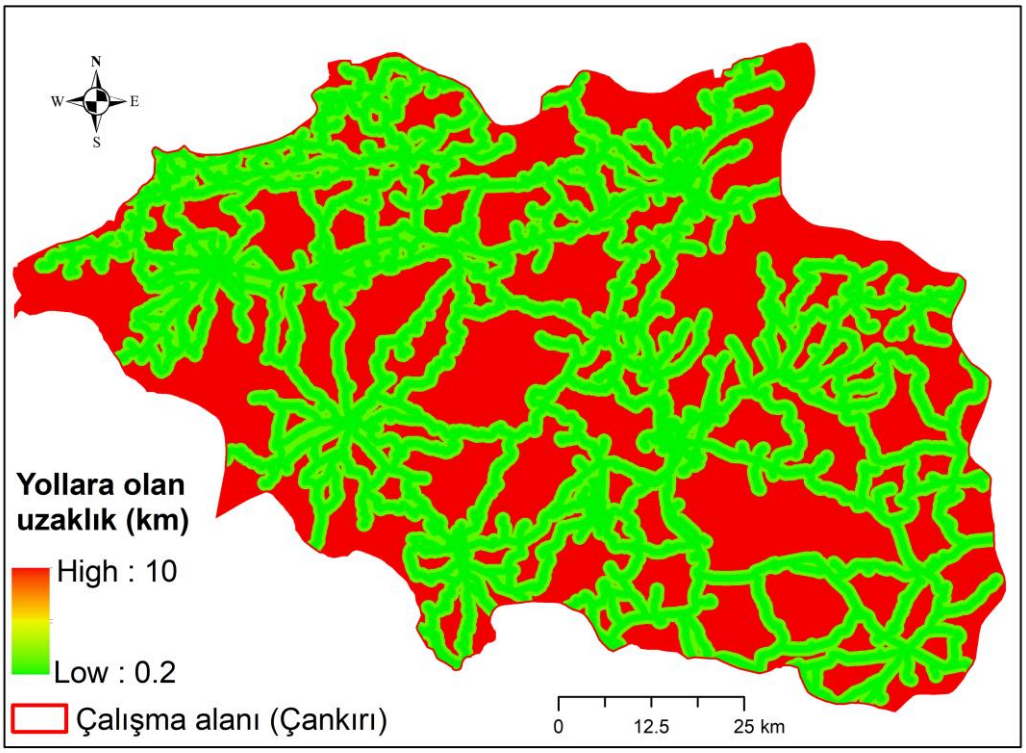
Şekil 4.4 Çalışma alanı faylara olan uzaklık haritası

Çalışma alanında akarsulara olan uzaklıklar 0,2 km, 0,5 km, 1 km, 5 km ve 10 km aralıklara ayrılarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.5 Çalışma alanı akarsulara olan uzaklık haritası

Çalışma alanında yollara olan uzaklıklar 0,2 km, 0,5 km, 1 km, 5 km ve 10 km aralıklara ayrılarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.6 Çalışma alanı yollara olan uzaklık haritası

4.1.1 AHP model sonuçları

Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara uzaklık faktörlerine göre yapılan puanlama değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. AHP yaklaşımında her bir faktöre önem dercesine ilişkin olarak 1 ile 9 arasında bir puan verilmektedir. Burada iki faktörün birbirine eşit olması durumunu 1 puan ile ilk faktörün ikinci faktöre üstünlüğü durumu ise 9'a kadar puanlayarak verilebilmektedir. Ulusal ve uluslararası çalışmalar göz önüne alınarak her bir faktör diğerine göre oranlanarak puanlanmıştır.

Çizelge 4.1 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve puan değerleri

Faktörler	Yükseklik	Eğim (derece)	Litoloji	Faylara olan uzaklık	Akarsulara olan uzaklık	Yollara olan uzaklık
Yükseklik	1	1/9	5	1/9	5	5
Eğim (derece)		1	9	1/9	9	9
Litoloji			1	1/2	3	2
Faylara olan uzaklık				1	9	9
Akarsulara olan uzaklık					1	1/2
Yollara olan uzaklık						1

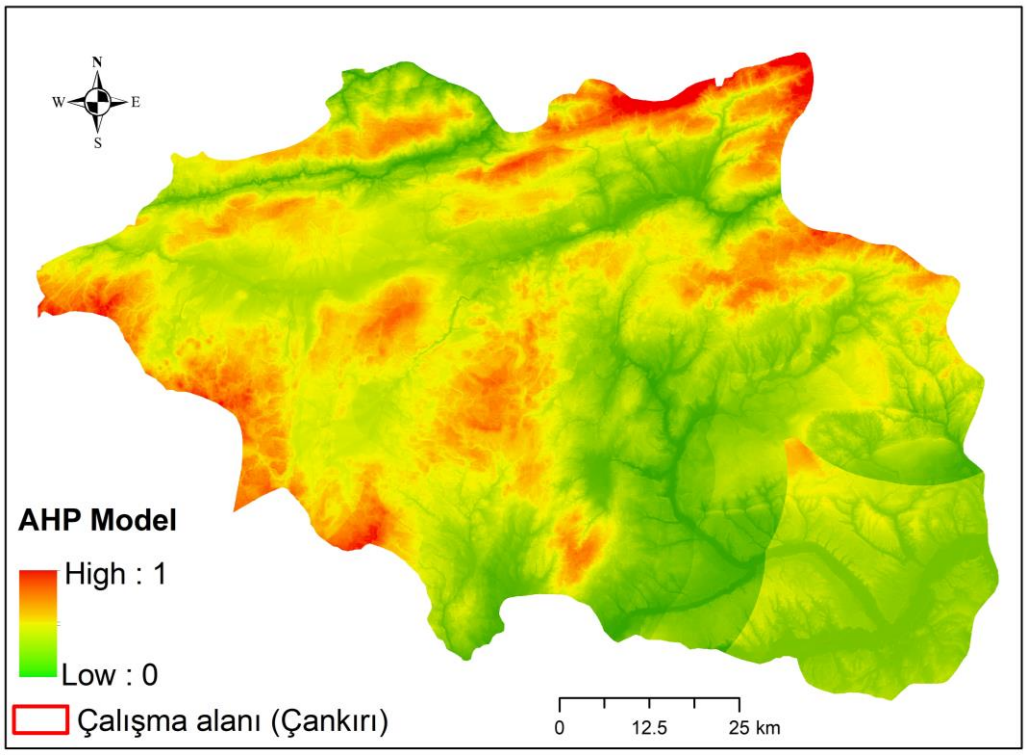
Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara uzaklık faktörlerine göre yapılan puanlama sonucu oluşan ağırlıklandırma değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve faktör ağırlıklandırma değerleri

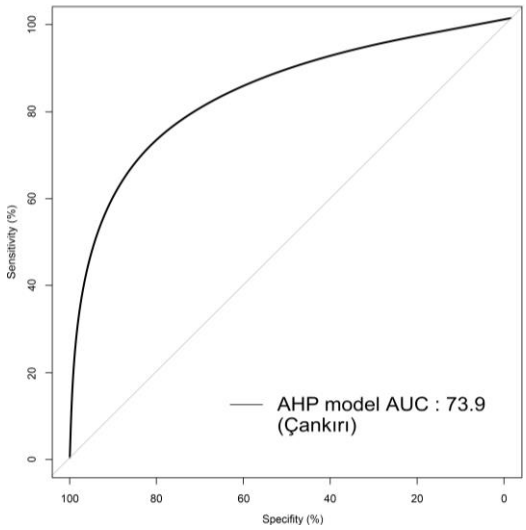
		%
Faktörler	Yükseklik (m)	**5,6**
	Eğim (derece)	**27,4**
	Litoloji	**7,6**
	Faylara olan uzaklık	**54,5**
	Akarsulara olan uzaklık	**2,2**
	Yollara olan uzaklık	**2,7**

Çizelge 4.2 incelendiğinde en yüksek ağırlık değerinden en düşük ağırlık değerleri sırasıyla; faylara olan uzaklık, eğim, litoloji, yükseklik, yollara olan uzaklık ve akarsulara olan uzaklık şeklinde gerçekleşmiştir.

Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara olan uzaklık faktörlerine göre elde edilen AHP modeli Şekil 4.7'de verilmiştir. Elde edilen modelin başarısı AUC=%73,9 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.8).



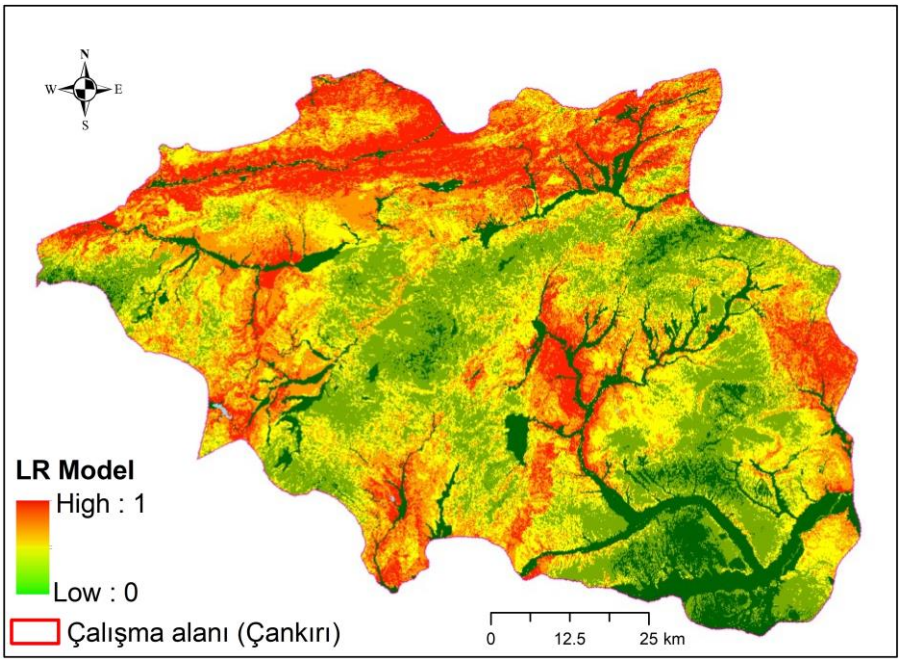
Şekil 4.7 AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası



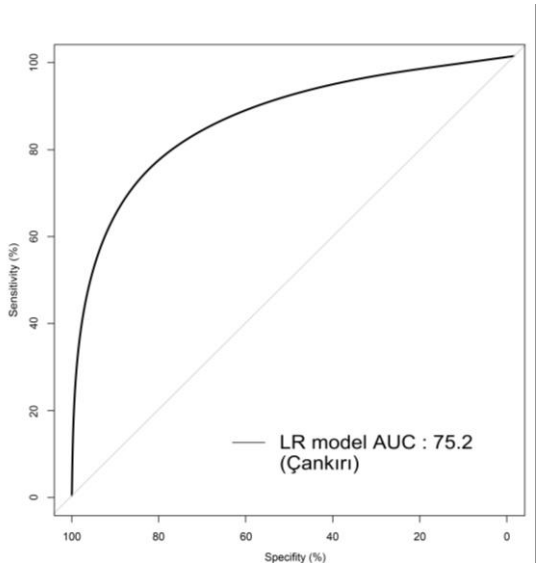
Şekil 4.8 Çankırı çalışma alanı AHP yaklaşımına ROC – AUC model başarısı

4.1.2 LR model sonuçları

Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara uzaklık faktörlerine göre elde edilen model Şekil 4.9'da verilmiştir. Elde edilen modelin başarısı ise AUC=%75,2 olarak hesaplanmıştır.



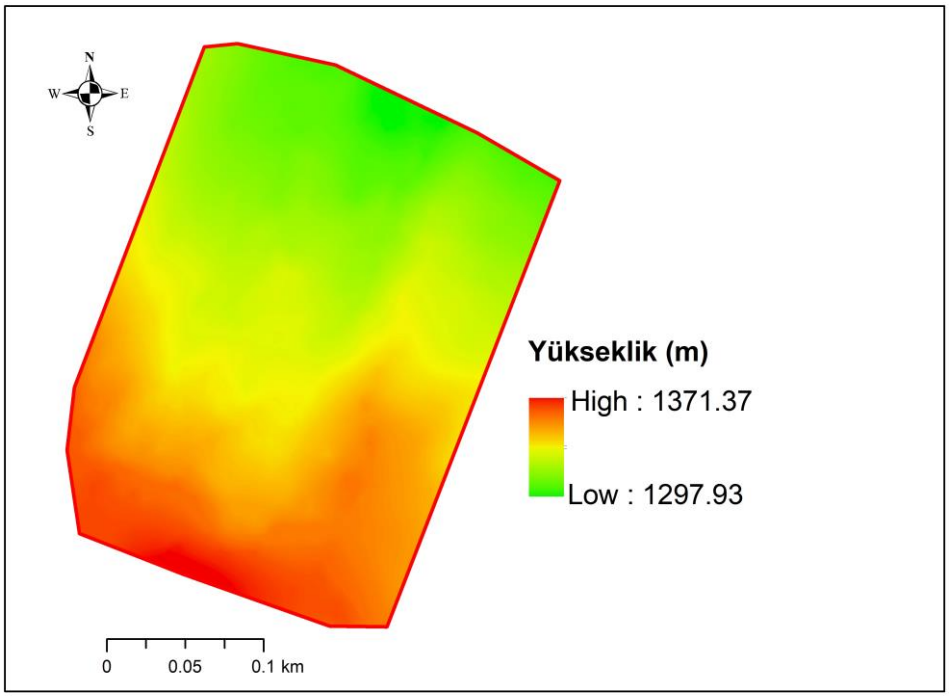
Şekil 4.9 LR yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil 4.10 Çankırı çalışma alanı LR yaklaşımına göre ROC – AUC model başarısı

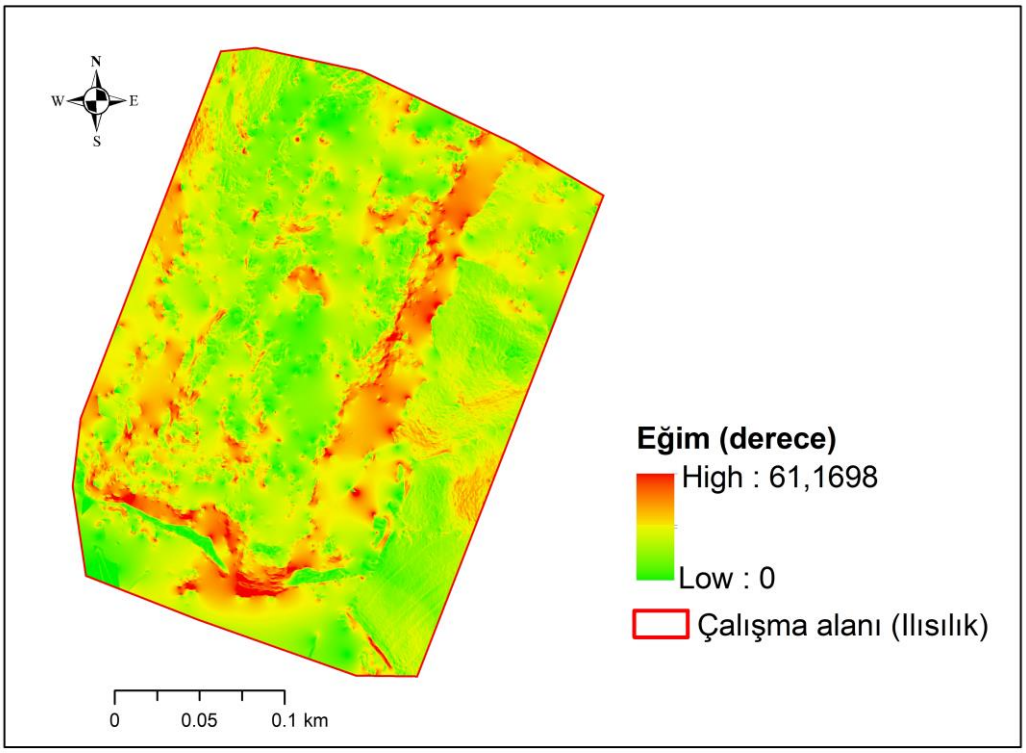
4.2 Ilısılık Çalışma Alanı

Bu çalışmada AHP ve LR modelleme yaklaşımlarına göre heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu haritaların oluşturulmasında Çankırı İli çalışma alanında yürütüldüğü gibi yükseklik (Şekil 4.9), eğim (Şekil 4.10), litoloji (Şekil 4.11), faylara olan uzaklık (Şekil 4.12), akarsulara olan uzaklık (Şekil 4.13) ve yollara olan uzaklık faktörleri (Şekil 4.14) kullanılmıştır.



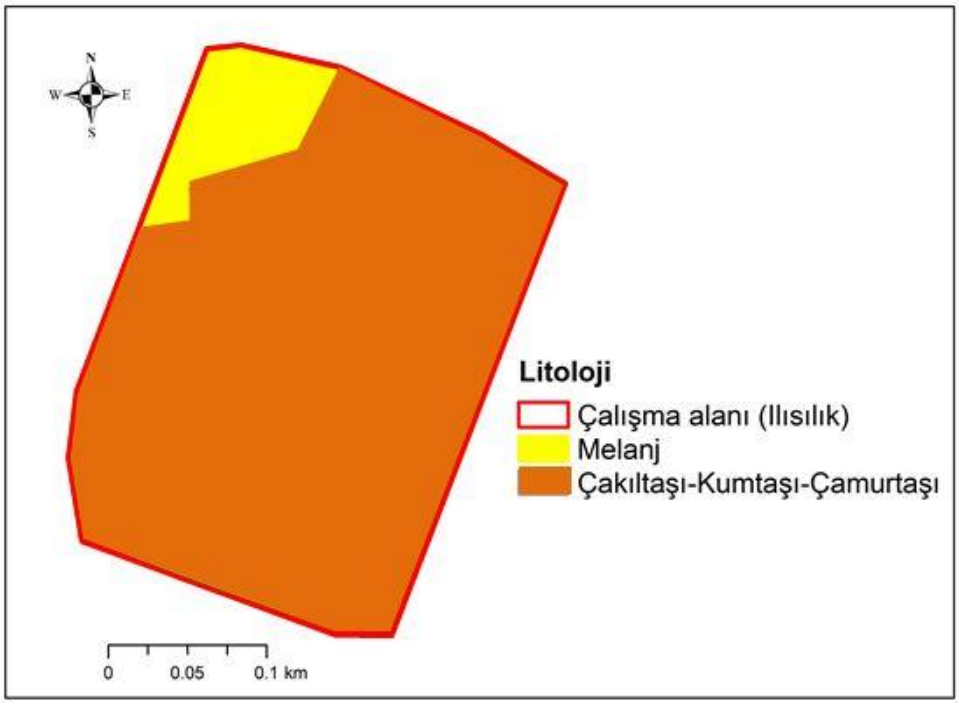
Şekil 4.11 Çalışma alanı yükseklik haritası

Ilısılık çalışma alanının yüksekliği en az 1298 m ve en çok 1371 m arasında olup ortalama yüksekliği 1333 m dir. Çalışma alanında eğim 0 ^{o} ile 61^{o} derece arasında olup ortalama eğim 15,1 ^{o} dir.



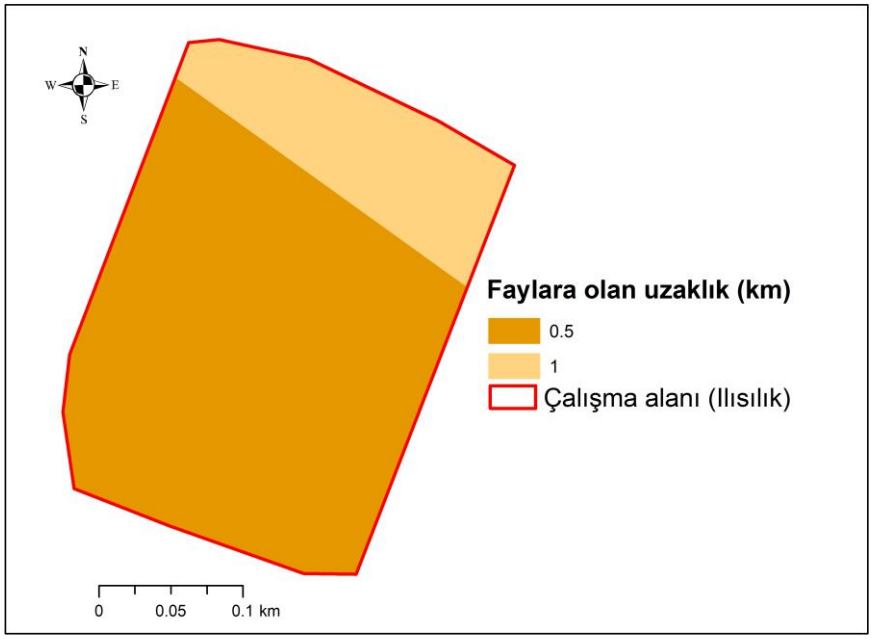
Şekil 4.12 Çalışma alanı eğim haritası

Çalışma alanında litoloji verileri sert ve sert olmayan kayaçlar şeklinde analize dahil edilmiştir. Burada sert kayaçlar; kumtaşı, çakıltaşı ve çamurtaşıdır. Sert olmayan veya daha düşük sertlik derecelerine sahip olanlar ise kireçtaşı ve killi kireçtaşı karışımından oluşan karışık yapı (melanj)dır.



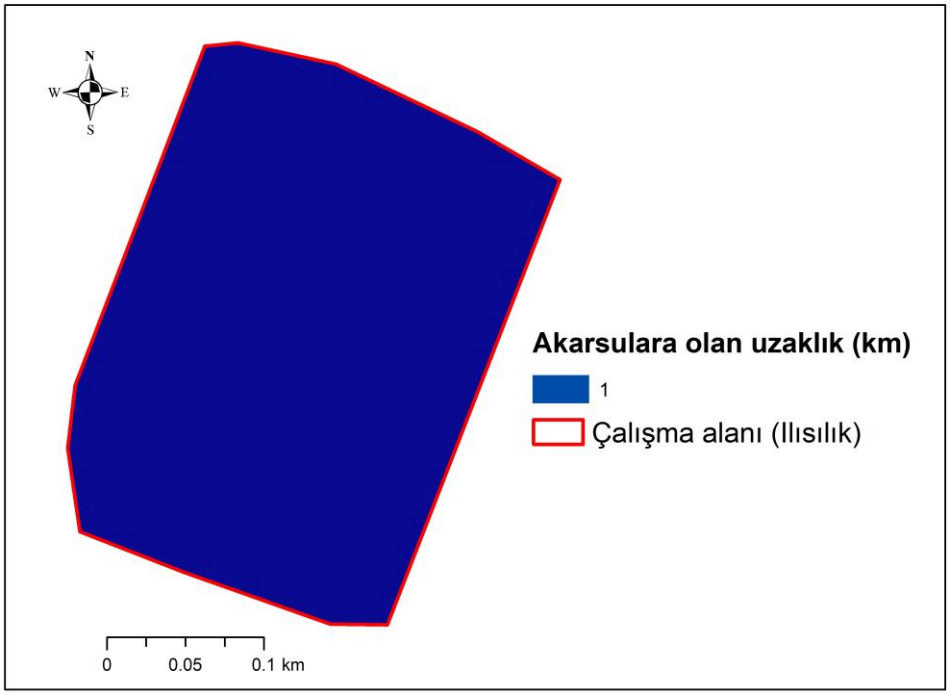
Şekil 4.13 Çalışma alanı litoloji haritası

Ilısılık çalışma alanında faylara olan uzaklıklar, Çankırı çalışma alanı ile aynı olacak şekilde 0,2 km, 0,5 km, 1 km, 5 km, 10 km, 20 km ve 50 km aralıklara ayrılmış ve bu çalışma alanıyla 0,5 km ile 1km uzaklıktaki fay hattı kesişmiştir.



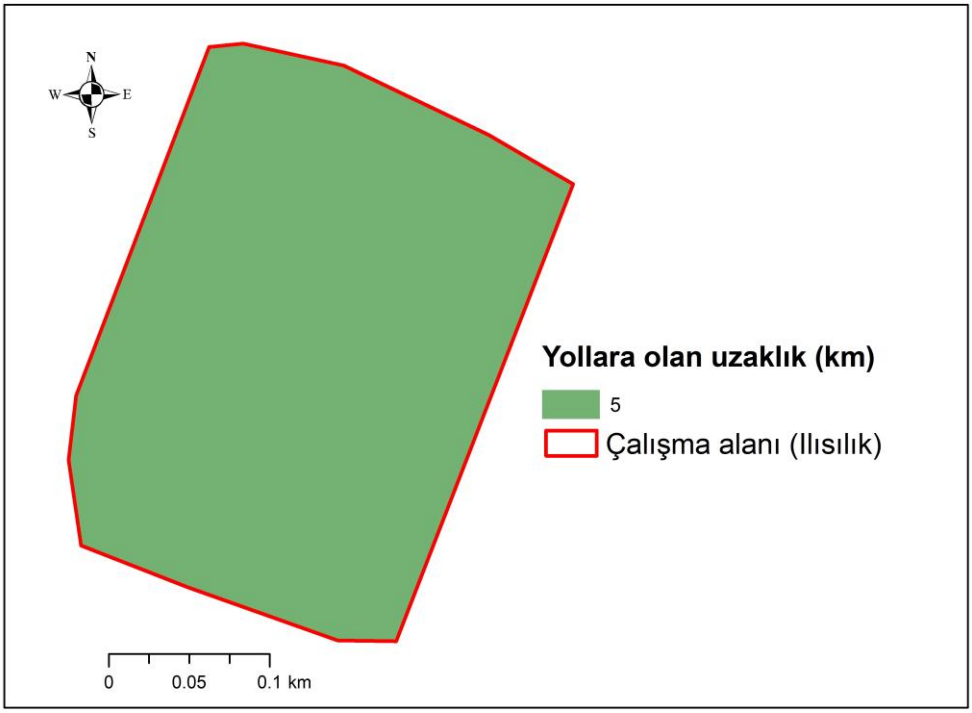
Şekil 4.14 Çalışma alanı faylara olan uzaklık haritası

Ilısılık çalışma alanında akarsulara olan uzaklık, Çankırı çalışma alanı ile aynı olacak şekilde 0,2 km, 0,5 km, 1 km, 5 km ve 10 km aralıklara ayrılmış ve bu çalışma alanıyla 1 km uzaklıktaki akarsu hattı kesişmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Çalışma alanı faylara olan uzaklık haritası

Ilısılık çalışma alanında yollara olan uzaklık, Çankırı çalışma alanı ile aynı olacak şekilde 0,2 km, 0,5 km, 1 km, 5 km ve 10 km aralıklara ayrılmış ve bu çalışma alanıyla 5 km uzaklıktaki yol hattı kesişmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Çalışma alanı yollara olan uzaklık haritası

4.2.1. AHP model sonuçları

Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara uzaklık faktörlerine göre yapılan puanlama değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. AHP yaklaşımında her bir faktöre önem dercesine ilişkin olarak 1 ile 9 arasında bir puan verilmektedir. Burada iki faktörün birbirine eşit olması durumunu 1 puan ile ilk faktörün ikinci faktöre üstünlüğü durumu ise 9'a kadar puanlayarak verilebilmektedir. Ulusal ve uluslararası çalışmalar göz önüne alınarak her bir faktör diğerine göre oranlanarak puanlanmıştır.

Çizelge 4.3 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve puan değerleri

Faktörler	Yükseklik	Eğim (derece)	Litoloji	Faylara olan uzaklık	Akarsulara olan uzaklık	Yollara olan uzaklık
Yükseklik	1	1/9	5	1/9	5	5
Eğim (derece)		1	9	1/9	9	9
Litoloji			1	1/2	3	2
Faylara olan uzaklık				1	9	9
Akarsulara olan uzaklık					1	1/2
Yollara olan uzaklık						1

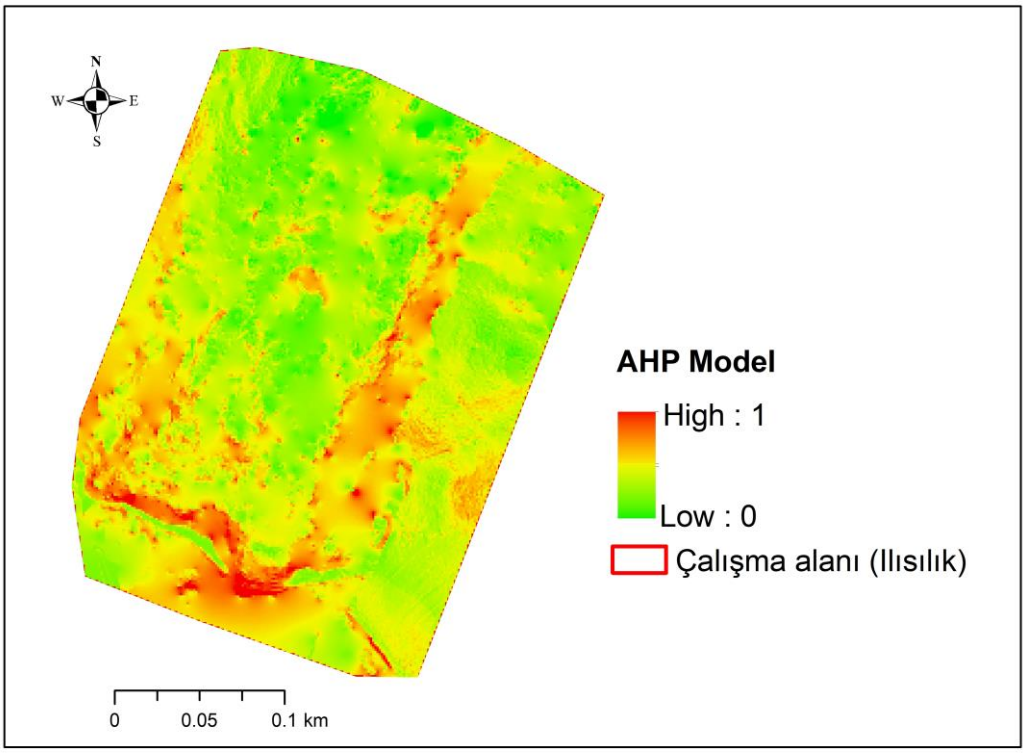
Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara uzaklık faktörlerine göre yapılan puanlama sonucu oluşan ağırlıklandırma değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 AHP yaklaşımına göre oluşturulan modele ait faktörler ve faktör ağırlıklandırma değerleri

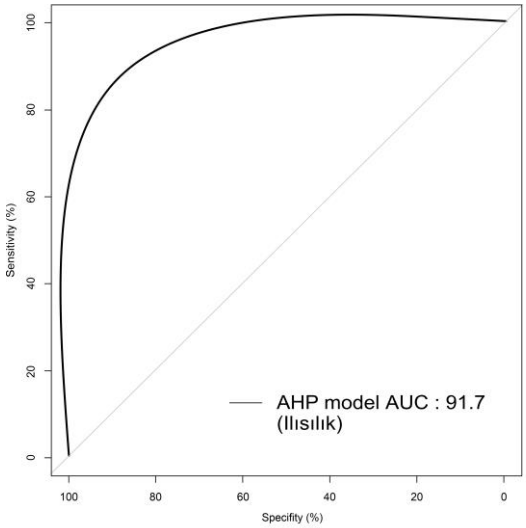
		%
Faktörler	Yükseklik (m)	**5,6**
	Eğim (derece)	**27,4**
	Litoloji	**7,6**
	Faylara olan uzaklık	**54,5**
	Akarsulara olan uzaklık	**2,2**
	Yollara olan uzaklık	**2,7**

Çizelge 4.4 incelendiğinde en yüksek ağırlık değerinden en düşük ağırlık değerleri sırasıyla; faylara olan uzaklık, eğim, litoloji, yükseklik, yollara olan uzaklık ve akarsulara olan uzaklık şeklinde gerçekleşmiştir.

Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara olan uzaklık faktörlerine göre elde edilen AHP modeli Şekil 4.17'de verilmiştir. Elde edilen modelin başarısı AUC=%91,7 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.18).



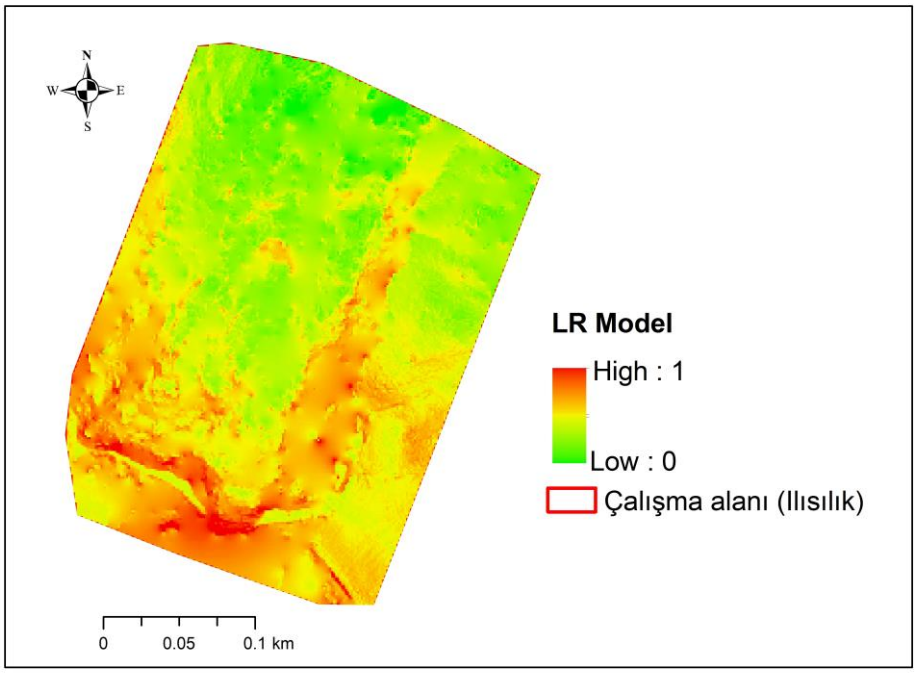
Şekil 4.17 AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası



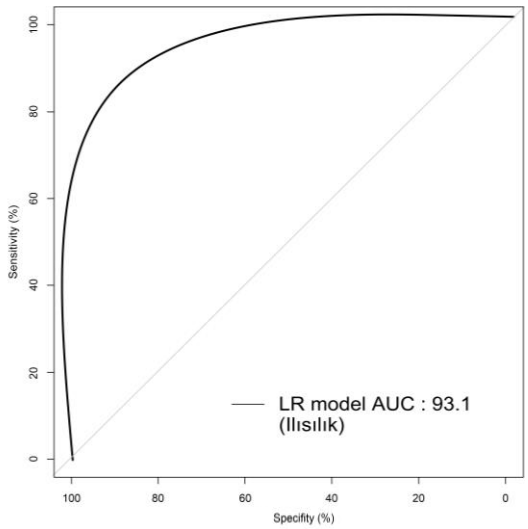
Şekil 4.18 Ilısılık çalışma alanı AHP yaklaşımına göre ROC – AUC model başarısı

4.2.2. LR model sonuçları

Çalışmada kullanılan yükseklik, eğim, litoloji, faylara – akarsulara ve yollara uzaklık faktörlerine göre elde edilen model Şekil 4.19'da verilmiştir. Elde edilen modelin başarısı ise AUC=%93,1 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.20).



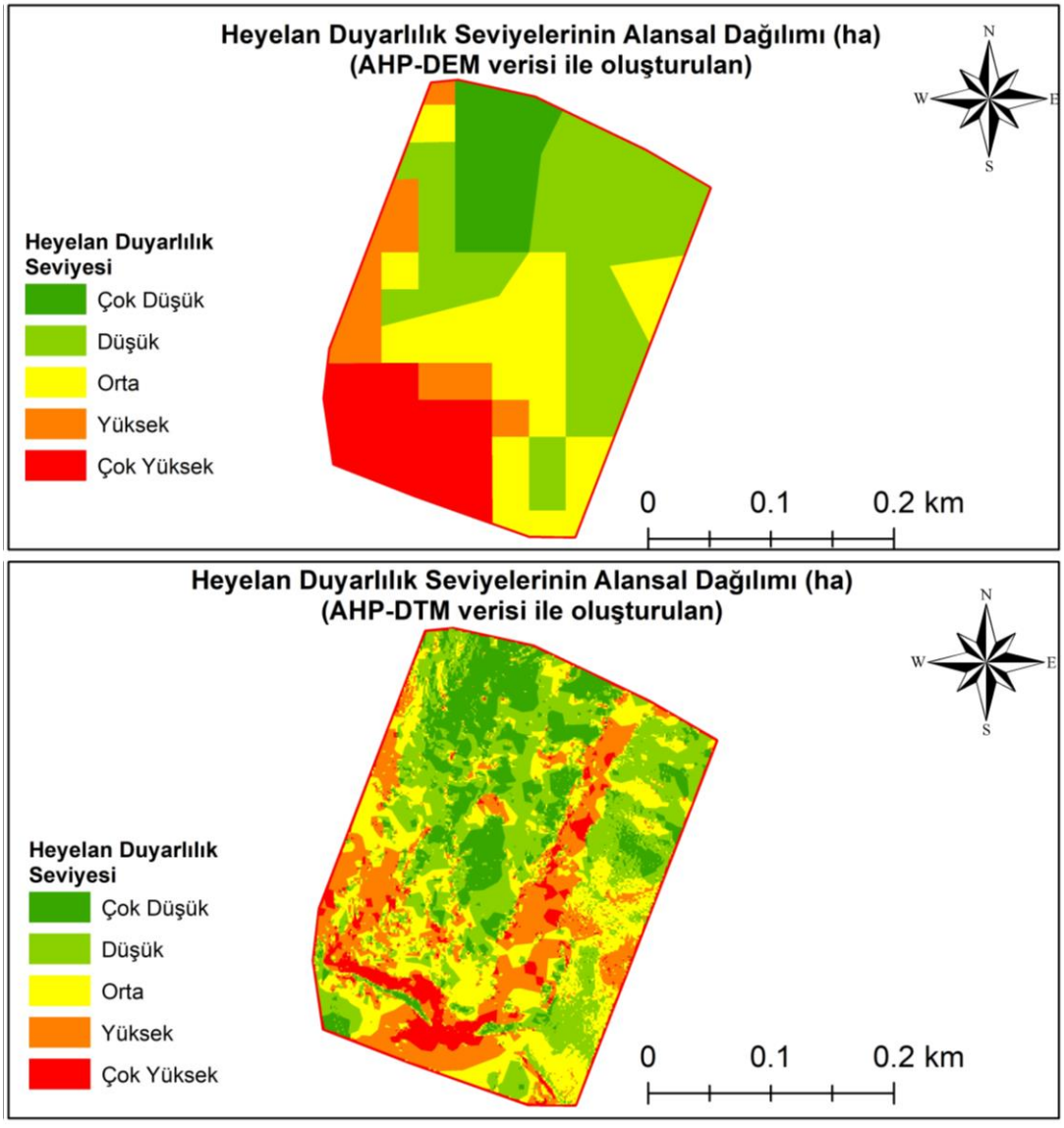
Şekil 4.19 LR yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası



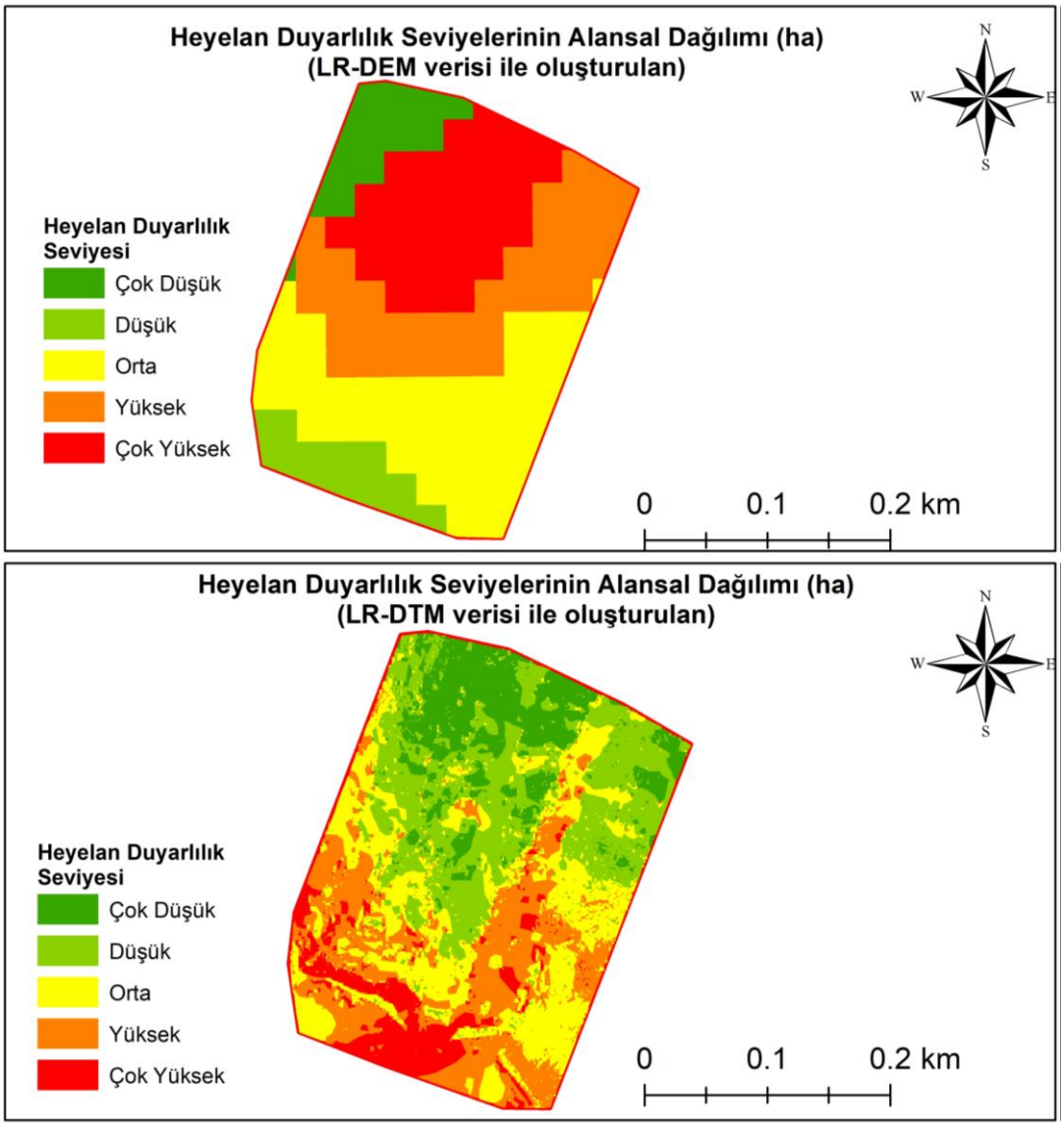
Şekil 4.20 Ilısılık çalışma alanı LR yaklaşımına göre ROC – AUC model başarısı

4.3 AHP ve LR Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada AHP ve LR modelleme yaklaşımlarına göre hem Çankırı İli sınırları hem de Ilısılık Köyü çalışma alanları içerisinde yapılan DEM ve DTM veri işleme yapılmıştır (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Elde edilen bulgular ışığında heyelan duyarlılık haritalarının daha hassas ölçüm gerektiren lokasyonlarda drone vb. daha yüksek çözünürlüklü veri üretebildiği tespit edilmiştir.

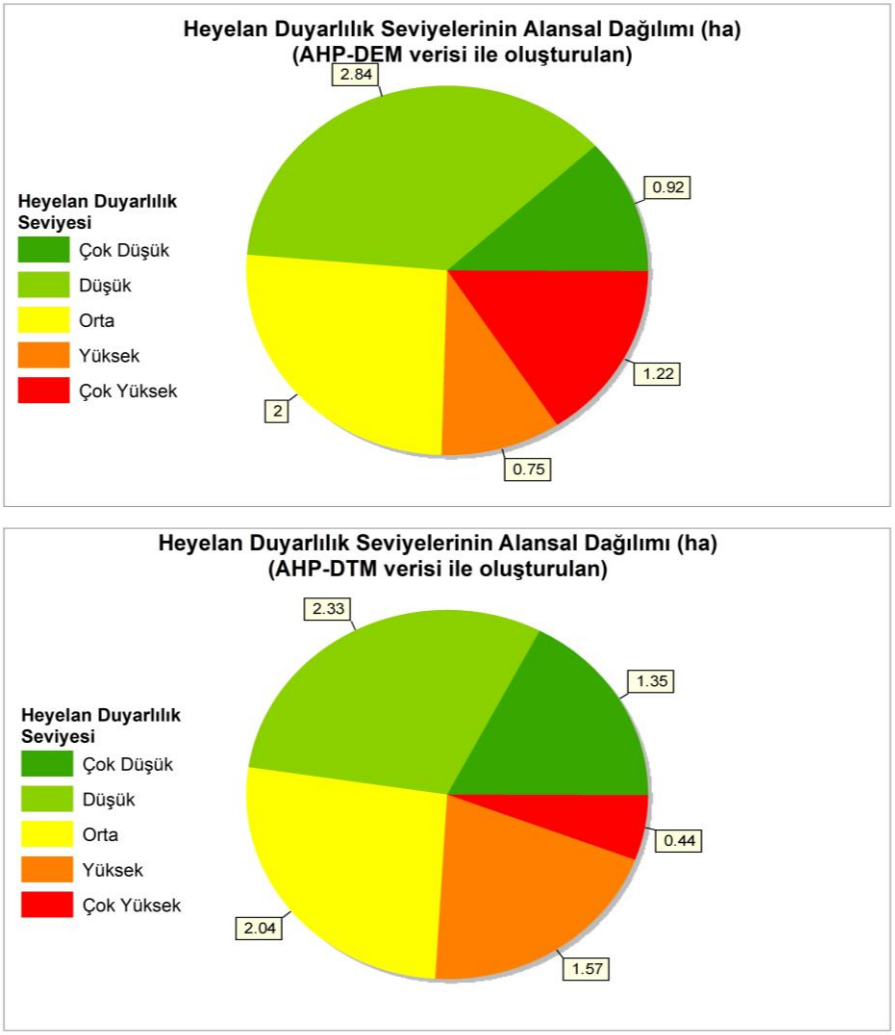


Şekil 4.21 AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritaları



Şekil 4.22 LR yaklaşımı kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritaları

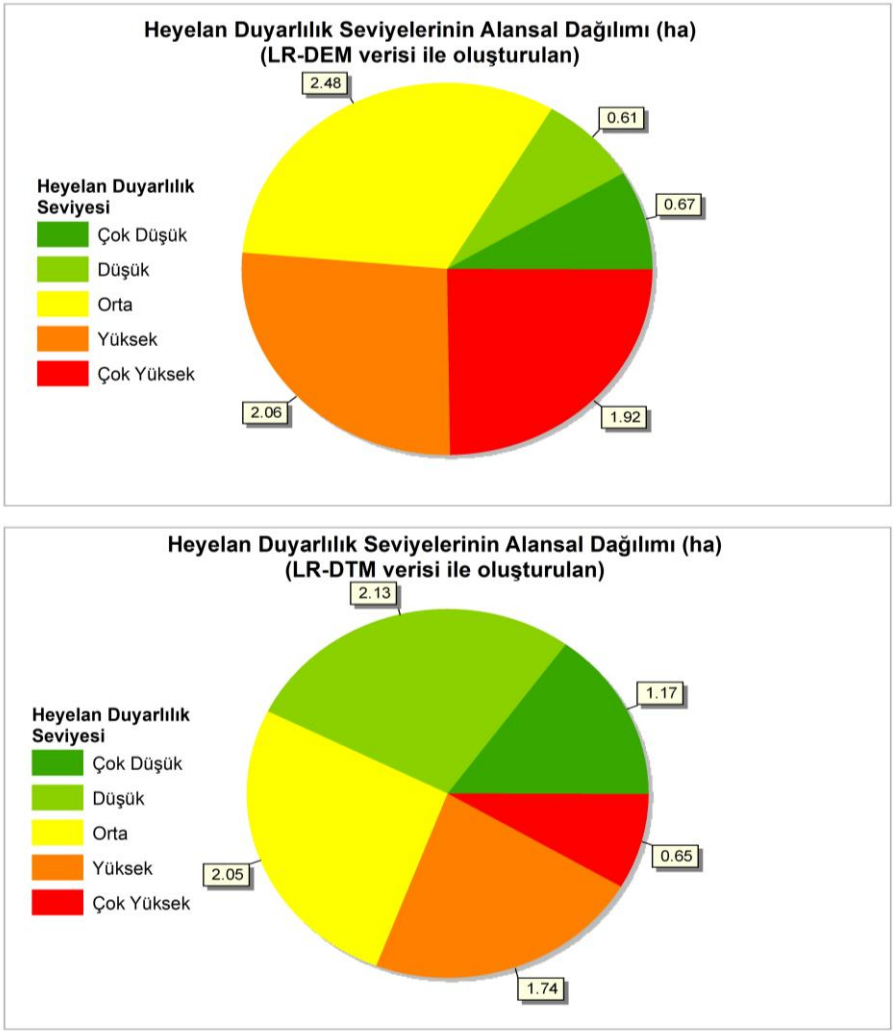
Bu çalışma alanına ait DEM verileri kullanılarak üretilen faktörler AHP yaklaşımı ile modellenmiştir. AHP-DEM verisi kullanılarak yürütülen analiz sonucunda heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 11,94'ünü (0,92 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 36,69'unu (2,84 ha) kaplamaktadır. "Orta" duyarlılık seviyesindeki alan büyüklüğü tüm alanın % 25,84'ünü (2,0 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 9,68'ini (0,75 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 15,82'sini (1,22 ha) kaplamaktadır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 AHP yaklaşımı sonuçlarına göre heyelan duyarlılık seviyeleri ve alansal dağılımları

Bu çalışma alanına ait DTM verileri kullanılarak üretilen faktörler (yükseklik ve eğim) AHP yaklaşımı ile modellenmiştir. AHP-DTM verisi kullanılarak yürütülen analiz sonucunda heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 17,46'sını (1,35 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 30,14'ünü (2,33 ha) kaplamaktadır. "Orta" duyarlılık seviyesindeki alan büyüklüğü tüm alanın % 26,39'unu (2,04 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 20,31'ini (1,57 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 5,69'unu (0,44 ha) kaplamaktadır (Şekil 4.23).

Bu çalışma alanına ait DEM verileri kullanılarak üretilen faktörler LR yaklaşımı ile modellenmiştir. Analiz sonucunda LR-DEM verisi kullanılarak yürütülen analiz sonucunda heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 8,66'sını (0,67 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 7,88'ini (0,61 ha) kaplamaktadır. "Orta" duyarlılık seviyesindeki alan büyüklüğü tüm alanın % 32,04'ünü (2,48 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 26,61'ini (2,06 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 24,81'ini (1,92 ha) kaplamaktadır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 LR yaklaşımı sonuçlarına göre heyelan duyarlılık seviyeleri ve alansal dağılımları

Bu çalışma alanına ait DTM verileri kullanılarak üretilen faktörler LR yaklaşımı ile modellenmiştir. Analiz sonucunda LR-DTM verisi kullanılarak yürütülen analiz sonucunda heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 15,12'sini (1,17 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Düşük" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 27,52'sini (2,13 ha) kaplamaktadır. "Orta" duyarlılık seviyesindeki alan büyüklüğü tüm alanın % 26,49'unu (2,05 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 22,48'ini (1,74 ha) kaplamaktadır. Heyelan duyarlılık seviyesi "Çok Yüksek" olan alan büyüklüğü tüm alanın % 8,40'ını (0,65 ha) kaplamaktadır (Şekil 4.24). Verilen tüm bu grafik değerleri Çizelge 4.5'te özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.5 AHP ve LR yaklaşımlarına göre üretilen heyelana duyarlı alanların seviyeleri ve alansal dağılımları

		AHP-DEM verisi ile oluşturulan alanlar (ha)	**AHP-DTM verisi ile oluşturulan alanlar (ha)**	**LR-DEM verisi ile oluşturulan alanlar (ha)**	**LR-DTM verisi ile oluşturulan alanlar (ha)**
1	**Çok Düşük**	0,67	1,17	0,92	1,35
2	**Düşük**	0,61	2,13	2,84	2,33
3	**Orta**	2,48	2,05	2,00	2,04
4	**Yüksek**	2,06	1,74	0,75	1,57
5	**Çok Yüksek**	1,92	0,65	1,22	0,44
	Toplam	7,74	7,74	7,74	7,74

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular ışığında her iki modelleme yaklaşımının başarı oranlarının yüksek olduğu ve heyelana duyarlı alanların tespitinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyada ve ülkemizde heyelan duyarlılık çalışmaları ulusal ve uluslararası literatür dikkate alındığında özellikle son on yılda büyük oranda hız kazanmıştır. Bununla birlikte uygulamada da heyelan duyarlılık çalışmalarından faydalanılmaktadır. Özellikle afetlerle etkin mücadele kapsamında modern yaklaşımlardan ve sistemlerden çeşitli kurum ve kuruluşlar faydalanmaktadır. Planlayıcı, karar verici ve uygulayıcıların karar verme süreçlerinde dinamik platformların kullanılması oluşabilecek zararların ortadan kaldırılması veya en az seviyede tutulabilmesi için önem taşımaktadır. Bu nedenlerle başta insanları olumsuz etkileyebilecek doğal afetlere hassas alanların CBS yardımıyla yapılacak modelleme çalışmalarıyla desteklenerek yüksek doğrulukta sonuç elde edilmesi yönetim çalışmalarındaki hedeflere ulaşmada önemli bir aşamayı teşkil etmektedir.

Bu çalışmada AHP ve LR modelleme yaklaşımlarına göre ve toplam altı farklı heyelan tetikleyici faktöre göre iki farklı model ortaya konmuştur. Aynı faktörler kullanılarak AHP yaklaşımına göre yürütülen analiz sonucunda elde edilen modelin başarısı Çankırı ili sınırları içerisinde kalan alanların (DEM verisi kullanılarak) heyelan duyarlılığı %73,9 ve Ilısılık Köyü sınırı içinde kalan alanın (DTM verisi kullanılarak) ise %91,7 olduğu hesaplanmıştır. LR model yaklaşımına göre yürütülen analiz sonucunda elde edilen modelin başarısı Çankırı ili çalışma alanı için %75,2 ve Ilısılık çalışma alanı için ise %93,1 olduğu tespit edilmiştir. AHP yaklaşımına göre oluşturulan modelleme çalışmaları sonucunda; Yalçın (2007) AHP model başarı değerini %84, Yalçın (2008) AHP değerini %81,3, Pourghasemi vd. (2012) %81,1, Myronidis vd. (2016) %73,9, Park ve arkadaşları (2013) %78,9 olarak tespit etmişlerdir. Aynı şekilde LR yaklaşımına göre oluşturulan modelleme çalışmaları sonucunda; Lee ve Sambath (2006) LR model başarı değerini %86,37, Bugday ve Akay (2019) %76,6, Ayalew ve Yamagishi (2005) %83,58, Görüm ve Gönençgil (2006) %88, Lee ve Sambath (2006) %86,37 olarak hesaplamışlardır. Bahsi geçen çalışmalar ile bu çalışma kıyaslandığında benzer başarı oranlarının hesaplandığı görülmektedir. Bu çalışmada ayrıca multikopter drone verisi ile oluşturulan DTM verilerinden üretilen yüksek çözünürlüklü faktörler ile yapılan modelleme sonucunda heyelan duyarlılığının daha etkin ve daha net hesaplanabildiği

ayrıca ortaya konan modellerin başarı oranlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Büyük alanlarda uydu araçlarından elde edilen verilerin kullanılması genel fikir oluşturması açısından uygun görülmektedir. Ancak daha küçük alanlar ve özel çalışmaya ihtiyaç duyan alanlar için insansız hava araçlarından faydalanmak daha detaylı ve daha hassas verilerin üretilebilmesi ve güven düzeyinin yüksek olması sebebiyle karar vermede destekleyici özellikler taşımaktadır.

Teknoloji araçlarının gelişmesi ve yaygın kullanımı sonucunda başta heyelan olmak üzere özellikle topografik parametrelerin daha hassas ve detaylı ölçümü neticesinde CBS ve bilgisayara aktarılması plan yapıcılar, uygulayıcılar ve karar vericiler için avantajlı bir ortam sunmaktadır. Bu tür hassas ölçüm sonucu elde edilen verilerin daha güvenilir ve çok amaçlı kullanılabilmesi bu alanda çok fazla sayıda çalışma yapmaya imkan vermektedir. Teknolojik araçların bu avantajlı potansiyelini kullanarak daha etkin ve detaylı planlamalar yapılabileceği düşünülmektedir. Niethammer vd. (2011) yaptıkları çalışmada teknolojinin gelişmesiyle beraber yazılım alanında yeniliklerin olacağını vurgulamışlardır. Mevcut teknolojilerin sürekli gelişmesi beraberinde yazılım alanında da gelişimi teşvik etmektedir. Yeni yazılımlarla teknolojik cihazlardan elde edilen verilerin işlenmesi ve yararlı-kaliteli bilgiye dönüştürülmesi farklı sektörler için (orman, inşaat, maden, jeoloji vb.) yeni yaklaşımların uygulamada kullanılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmadan sonra ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalarda birbirinden farklı modelleme yaklaşımlarıyla farklı teknik özelliklere sahip insansız hava araçlarından elde edilen verilerin kıyaslanarak amaç-veri çözünürlüğü ekseninde hangi araçların kullanımına ihtiyaç duyulduğu ve yazılım kombinasyonları ortaya konabilir. Bu çalışmaya konu edilen alan çok düşük yıllık yağış miktarı olan kurak alanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Yıllık yağış miktarı yüksek alanlar için iklim ve yağış parametrelerinin de dahil edildiği model kombinasyonlarının daha etkili sonuç verebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abedini, M., Ghasemyan, B., ve Mogaddam, M. R. 2017. Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models. Environmental Earth Sciences, 76(8), 308.

AFAD, 2015. Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 151 s., Ankara.

Akgun, A., ve Turk, N. 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. Environmental Earth Sciences, 61(3), 595–611.

Ayalew, L., ve Yamagishi, H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65(1-2), 15-31.

Brabb, E. E. 1991. The world landslide problem. Episodes, 14(1), 52-61.

Bugday, E., ve Akay, A. E. 2019. Evaluation of forest road network planning in landslide sensitive areas by GIS-based multi-criteria decision making approaches in Ihsangazi watershed, Northern Turkey. Šumarski list, 143(7-8), 325-336.

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.

Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., Hamzaçebi, S. ve Emre, Ö. 2013. Türkiye Heyelan Veri Tabanı. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Bildiriler Kitabı, syf 1-6, Ankara.

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.

Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., ve Sonmez, H. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. Environmental Geology, 51(2), 241-256.

Duman, T.Y., Çan, T. ve Emre, Ö., 2011. 1/1.500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605-4075-84-3

Eker, A. M., Dikmen, M., Cambazoglu, S., Duzgun, S. H., ve Akgun, H. 2012. Application of Artificial Neural Network and Logistic Regression Methods to Landslide Susceptibility Mapping and Comparison of the Results for the Ulus District, Bartın. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27(1), 163-173.

Elmacı, H., Tekin, S., ve Ünsal, N. 2017. Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Mantıksal Regresyon Yöntemi Kullanılarak Çubuk-Kalecik (Ankara) Şabanözü (Çankırı) Arasının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, (155), 165-190.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1

Ergünay, O. 2007. Türkiye'nin Afet Profili. TMMOB Afet Sempozyumu bildiriler kitabı, syf 1-14, Ankara.

ESRI, 2018. Web sitesi: http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-cut-fill-works.htm. Erişim Tarihi: 19.08.2019

Gorsevski, P. V., Gessler, P. E., Foltz, R. B., and Elliot, W. J. 2006. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and ROC analysis. Transactions in GIS, 10(3), 395-415.

Görüm, T., ve Gönençgil, B. 2006. Coğrafi bilgi sistemi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Melen boğazı ve yakın çevresi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, 150 sayfa, İstanbul.

Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., ve 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.

Hungr, O., Leroueil, S., ve Picarelli, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, 11(2), 167-194.

Jaafari, A., Najafi, A., Rezaeian, J., Sattarian, A., and Ghajar, I. 2015. Planning road networks in landslide-prone areas: A case study from the northern forests of Iran. Land Use Policy, 47, 198–208.

Jacobs, L., Dewitte, O., Poesen, J., Sekajugo, J., Nobile, A., Rossi, M., Thiery, W., and Kervyn, M. 2018. Field-based landslide susceptibility assessment in a data-scarce environment: The populated areas of the Rwenzori Mountains. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(1), 105–124.

Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., and Owen, L. A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. Geomorphology, 101(4), 631-642.

Lee, S., and Pradhan, B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides, 4(1), 33-41.

Lee, S., and 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.

Li, L., Lan, H., Guo, C., Zhang, Y., Li, Q., ve Wu, Y. 2017. A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment. Landslides, 14(2), 727-741.

Myronidis, D., Papageorgiou, C., ve Theophanous, S. 2016. Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). Natural Hazards, 81(1), 245-263.

Nefeslioglu, H.A., San, T., Gokceoglu, C., Duman, T.Y., 2012. An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 14 (1), 40–60.

Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J., ve Joswig, M. 2011. Open source image-processing tools for low-cost UAV-based landslide investigations. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(1), C22.

Özşahin, E. 2013. CBS kullanılarak Hatay ili heyelan duyarlılık analizi. Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi, 4(1), 47-59.

Park, S., Choi, C., Kim, B., ve 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.

Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., ve 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.

Saha, A. K., Arora, M. K., Gupta, R. P., Virdi, M. L., ve Csaplovics, E. 2005. GIS-based route planning in landslide-prone areas. International Journal of Geographical Information Science, 19(10), 1149–1175.

URL-1. Web sitesi. https://www.who.int/health-topics/landslides#tab=tab_1. Erişim tarihi: 03.02.2021

Wang, Y., Fang, Z., ve Hong, H. 2019. Comparison of convolutional neural networks for landslide susceptibility mapping in Yanshan County, China. Science of the total environment, 666, 975-993.

Yalçın, A. 2007. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS'nin kullanımı. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 22 (3) , 1-14.

Yalçın, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. Catena, 72(1), 1–12.

Yalçın, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., ve Yomralioglu, T. 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Catena, 85(3), 274–287.

Yılmaz, I. 2009. Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio, Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study from Kat Landslides (Tokat - Turkey). Computers ve Geosciences, 1125–1138.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdullah ÖZÇELİK

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Adres : AFAD Çankırı İl Müdürlüğü

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans : Cumhuriyet Üniversitesi-Jeofizik Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

2013- Halen Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü