



**DEVREK İLÇESİ'NİN (ZONGULDAK) YAPAY
SİNİR AĞLARI İLE HEYELAN DUYARLILIK
DEĞERLENDİRMESİ**

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
COĞRAFYA ANA BİLİM DALI**

Enes TAŞOĞLU

Prof. Dr. Mücahit COŞKUN

**DEVREK İLÇESİ'NİN (ZONGULDAK) YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ**

Enes TAŞOĞLU

Prof. Dr. Mücahit COŞKUN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Coğrafya Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ağustos 2020

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	1
TEZ ONAY SAYFASI.....	5
DOĞRULUK BEYANI	6
ÖNSÖZ	7
ÖZ.....	9
ABSTRACT.....	11
ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ.....	13
ARCHIVE RECORD INFORMATION	14
KISALTMALAR	15
GİRİŞ	18
ARAŞTIRMANIN KAPSAMI.....	21
ARAŞTIRMANIN AMACI ve ALT AMAÇLARI	27
ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ ve SINIRLILIKLARI.....	28
ARAŞTIRMANIN MATERYALLERİ ve YÖNTEMİ.....	29
Araştırmanın Materyalleri.....	29
Araştırmanın Yöntemi	31
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	37
1. BİRİNCİ BÖLÜM	54
ARAŞTIRMA ALANININ GENEL FİZİKİ COĞRAFYA ÖZELLİKLERİ	54
1.1. Araştırma Alanının Genel Jeolojik Özellikleri	54
1.2. Araştırma Alanının Topografya Özellikleri.....	56
1.2.1. Yükselti	58
1.2.2. Eğim	61
1.2.3. Bakı	64
1.3. Araştırma Alanının Hidrografik Özellikleri	66
1.4. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri.....	70
1.4.1. Zonal Topraklar.....	72
1.4.2. Azonal Topraklar.....	73
1.5. Araştırma Alanının İklim Özellikleri	73
1.5.1. Planetar Faktörler	74
1.5.2. Coğrafi Faktörler	75
1.5.3. İklim Elemanları.....	75

1.5.3.1. Sıcaklık.....	76
1.5.3.2. Yağış	82
1.6. Araştırma Alanının Doğal Bitki Örtüsü Özellikleri	84
2. İKİNCİ BÖLÜM.....	87
HEYELAN, HEYELANLARIN SINIFLANDIRILMASI ve HEYELAN DUYARLILIĞI.....	87
2.1. Heyelan Nedir?.....	87
2.2. Heyelanların Oluşum Koşulları ve Tetikleyici Süreçler	89
2.2.1. Jeolojik Faktörler	91
2.2.2. Klimatik Faktörler.....	91
2.2.3. Topografik Faktörler.....	92
2.2.4. Bitki Örtüsü ve Toprak Özellikleri	92
2.2.5. Beşerî Faktörler	93
2.3. Heyelanların Sınıflandırılması.....	93
2.4. Heyelan Duyarlılığı ve Heyelan Duyarlılık Analizleri.....	97
3. ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	98
YAPAY SİNİR AĞLARI	98
3.1. Yapay Sinir Ağları.....	98
3.2. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi	101
3.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri ve Temel Bileşenleri.....	103
3.3.1. Mimari Yapı.....	103
3.3.2. Öğrenme Algoritmaları.....	104
3.3.2.1. Bayesian Regularization Backpropagation (BR)	105
3.3.2.2. Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG).....	105
3.3.3. Aktivasyon Fonksiyonu	105
3.4. Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Coğrafya Çalışmalarında Kullanımı	106
4. DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	109
GİRDİ PARAMETRELERİ, KURULAN MODELLER ve HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI	109
4.1. Verilerin Temini ve Ön Hazırlık Aşamaları.....	109
4.2. Heyelan Envanteri	109
4.3. Modellerde Kullanılan Girdi Parametreleri	110
4.3.1. Jeolojik Parametreler	111

4.3.1.1. Litoloji.....	112
4.3.1.2. Faylara Uzaklık.....	113
4.3.2. Toprak ve Nemlilik ile İlgili Parametreler	114
4.3.2.1. Toprak Tipleri.....	114
4.3.2.2. Bakı	116
4.3.2.3. Akarsulara Yakınlık.....	117
4.3.2.4. Drenaj Yoğunluğu.....	118
4.3.2.5. Birleşik Nemlilik İndeksi (IMI)	119
4.3.2.6. Maruziyet İndeksi	120
4.3.3. Eğim ile İlgili Parametreler	121
4.3.3.1. Eğim	121
4.3.3.2. Yamaç Yönelimi.....	122
4.3.3.3. Ortalama Eğim.....	123
4.3.3.4. Eğim Konumu Sınıflandırması (SPC).....	123
4.3.4. Topografya ile İlgili Parametreler.....	124
4.3.4.1. Topografik Yükseklik.....	125
4.3.4.2. Düzlemsel (Plan) Eğriliği.....	125
4.3.4.3. Teğetsel (Profil) Eğriliği	126
4.3.4.4. Yüzey-Rölyef Oranı (SRR)	127
4.3.4.5. Yüzey-Alan Oranı (SAR)	128
4.3.4.6. Topografik Nemlilik İndeksi (TWI).....	129
4.3.4.7. Topografik Konum İndeksi (TPI)	130
4.3.4.8. Birleşik Topografik İndeks (CTI)	132
4.3.4.9. Arazi Şekil İndeksi (LC).....	132
4.4. Modellerde Kullanılan Parametre Grupları	133
4.5. YSA Modellerinin Özellikleri	135
4.6. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi	135
4.6.1. 1. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları	136
4.6.1.1. P1ModelBR.....	137
4.6.1.2. P1ModelSCG	140
4.6.1.3. P1ModelBR ve P1ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar	142
4.6.2. 2. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları	143
4.6.2.1. P2ModelBR.....	144

4.6.2.2. P2ModelSCG	146
4.6.2.3 P2ModelBR ve P2ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar	148
4.6.3. 3. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları	149
4.6.3.1. P3ModelBR.....	150
4.6.3.2. P3ModelSCG	152
4.6.3.3. P3ModelBR ve P3ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar	154
4.6.4. 4. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları	155
4.6.4.1. P4ModelBR.....	156
4.6.4.2. P4ModelSCG	158
4.6.4.3. P4ModelBR ve P4ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar	160
4.6.5. 5. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları	161
4.6.5.1. P5ModelBR.....	162
4.6.5.2. P5ModelSCG	164
4.6.5.3. P5ModelBR ve P5ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar	166
4.7. Heyelan Duyarlılık Modellerinin Doğruluk Değerlendirmeleri.....	167
5. BEŞİNCİ BÖLÜM.....	173
SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER	173
5.1. SONUÇLAR.....	173
5.2. TARTIŞMA.....	177
5.3. ÖNERİLER.....	179
KAYNAKÇA.....	181
TABLolar LİSTESİ	196
ŞEKİLLER LİSTESİ	197
GRAFİKLER LİSTESİ.....	198
HARİTALAR LİSTESİ	199
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....	201
EKLER	202
EK 1. MATLAB için YSA Kurulum, Eğitim ve Tahmin Kodları.....	202
EK 2. MATLAB için Sigmoid Fonksiyonu Grafiği Çizdirme Kodları	203
ÖZGEÇMİŞ	204

TEZ ONAY SAYFASI

Enes TAŞOĞLU tarafından hazırlanan “DEVREK İLÇESİ’NİN (ZONGULDAK) YAPAY SİNİR AĞLARI İLE HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mücahit COŞKUN

Tez Danışmanı, Coğrafya Anabilim Dalı

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mücahit COŞKUN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Halil GÜNEK (FÜ)

Üye : Doç. Dr.Muhammed Zeynel ÖZTÜRK (ÖHÜ)

Savunma sınavı tarihi

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans Tezi derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı herhangi bir yola tevessül etmeden yazdığımı, araştırmamı yaparken hangi tür alıntıların intihal kusuru sayılacağını bildiğimi, intihal kusuru sayılabilecek herhangi bir bölüme araştırmamda yer vermediğimi, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu ve bu eserlere metin içerisinde uygun şekilde atıf yapıldığını beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak ahlaki ve hukuki tüm sonuçlara katlanmayı kabul ederim.

Adı Soyadı: Enes TAŞOĞLU

İmza :

ÖNSÖZ

Can ve mal kaybına yol açarak insanlara zarar veren olaylara doğal afet denilmektedir. Doğal afetin ilk özelliği doğal olması ikinci özelliği ise can ve mal kaybına yol açmasıdır. Dünya'nın her yerinde doğal afetler gerçekleşir ve her yıl binlerce insan, doğal afetler yüzünden hayatını kaybetmektedir. Yamaçlarda duran çeşitli büyüklükteki malzemelerin ani bir şekilde eğim aşağıya hareketi olarak tanımlanan heyelanlar, dünya üzerinde depremlerden sonra en sık gerçekleşen doğal afetlerdir. Heyelan oluşumunu yamaçta duran deponun fiziksel ve kimyasal özellikleri, ani ve sağanak yağışlar dışında yamaca yük bindirme veya yamacın eteğinden yapılan yük boşaltmaları gibi insan müdahaleleri de tetiklemektedir. İnsan etkisi göz ardı edilse dahi heyelanlar, yeryüzünün doğal süreçleri sırasında ortaya çıkmaya devam edecektir. Bu doğal süreçten insanların olumsuz olarak etkilenmemesi için çeşitli çalışmalar yapılabilmektedir. Gelişen teknoloji ve bilgi birikimi, bilgisayarların hızlı işlem yapabilme kabiliyetinden daha fazla faydalanılmasını sağlamış ve artık birçok karmaşık problem, makineler yardımıyla çözümlenmeye başlanmıştır. Hayatın her alanını etkileyen bu gelişim doğal afetlere karşı alınabilecek önlemler için de uygulanmıştır. Arazi çalışmaları ile toplanan ham verilerin, istatistik ve makine öğrenmesi teknikleriyle işlenmesi ve sonuçların CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ile analizi edilip görselleştirilmesi yoluyla heyelan duyarlılık haritaları üretilmeye başlanmıştır. Önceleri istatistiki yöntemlerin ağır bastığı heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında 2000 yılından sonra makine öğrenmesi tekniği olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda YSA yönteminin tatmin edici sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışmada ülkemizde heyelanların sıklıkla karşılaştığı Batı Karadeniz Bölümü'nün Zonguldak İli'nin Devrek İlçesi'nin heyelan duyarlılığı YSA yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada birden fazla parametre grubu kullanılarak, hangi parametrelerin sahadaki heyelanları açıklamada daha iyi olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmanın Devrek'te yapılacak doğal afete dayalı planlamalarda envanter teşkil etmesi ve Devrek ile ilgili gelecekte yapılacak başka heyelan duyarlılık çalışmalarında parametre seçimi konusunda fikir vereceği düşünülmektedir.

Çalışmanın kurgusuna bakıldığında bu tez; “giriş”, “araştırma alanının genel fiziki coğrafya özellikleri”, “heyelan, heyelanların sınıflandırılması ve heyelan

duyarlılığı”, “yapay sinir ağıları”, “girdi parametreleri, kurulan modeller ve heyelan duyarlılık haritaları” ve “sonuçlar, tartışma ve öneriler” olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm çalışma sahasının genel fiziki coğrafya özelliklerinden hakkındadır. Bu bölümde Devrek’in coğrafi özellikleri alan yazın çalışması yapıldıktan sonra resmî kurumlardan ve internet üzerinden ücretsiz temin edilen sayısal yükseklik modeli verileri ile hazırlanan çeşitli harita ve görseller yardımıyla anlatılmıştır. İkinci bölüm heyelan ve heyelan ile ilgili kavramların açıklanması ele alınmıştır. Bu bölümde heyelan tanımları, heyelan sınıflandırması ve heyelan duyarlılık kavramları incelenmiştir. Üçüncü bölümde YSA ile ilgili kavramsal unsurlar verilmiştir. Dördüncü bölümde ise çalışmanın bulgularına yer verilmiştir. Bu bölümde yapılan analiz ve üretilen heyelan duyarlılık haritaları sunulmuştur.

Lisans, yüksek lisans öğrenimimde ve tez çalışmam boyunca tecrübesinden faydalandığım danışman hocam Prof. Dr. Mücahit COŞKUN’a, çalışmamın yöntem kısmında yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Sohaib K. M. ABUJAYYAB’a çok teşekkür ederim.

Tez yazım sürecince birlikte aynı ortamda yüksek lisans tezlerimizi hazırladığımız, akademik yolculuğa birlikte çıkıp devam ettiğimiz ağabeyim coğrafya öğretmeni Onur CANBULAT ve sevgili yol arkadaşım, dostum Ahmet ÖZTÜRK’e manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Hayatımın her anında yanımda bulunan, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Enes TAŞOĞLU

Karabük, 2020

ÖZ

Heyelan, eğimli bir yamaçta dengede duran irili ufaklı malzemenin, yük dengesinin değişmesi, aşırı yağışa maruz kalması ve/veya depremler sonucu ortaya çıkan sismik titreşimler sonucu tetiklenmesiyle eğim aşağı hareketine denilmektedir. Her yıl binlerce insanın can ve mal kaybına yol açan heyelanlara karşı önlem almak yerel yöneticiler için önemli bir konudur.

Çalışma sahası olarak seçilen Devrek İlçesi'nin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde yapay sinir ağları (YSA) yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma sahasına ait heyelan envanterine göre 115 aktif kayma tipinde heyelan haritalanmıştır. Toplamda 952,5 km² olan çalışma sahasının %2'sine denk gelen 20,6 km²'lik saha, heyelan alanı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada Devrek ilçesinin heyelan duyarlılık değerlendirmesini yapabilmek amacıyla öncelikle heyelan envanterindeki heyelan sahaları var/bulunma verisine dönüştürülmüştür. Ardından toprak tipleri, litoloji, faylara uzaklık, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, topografik yükseklik, eğim, bakı, yamaç yönelimi, ortalama eğim, eğim konumu sınıflandırması (SPC), düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik, topografik nemlilik indeksi (TWI), yüzey-rölyef oranı (SRR), yüzey-alan oranı (SAR), birleşik nemlilik indeksi (IMI), maruziyet indeksi (SEI), topografik konum indeksi (TPI), birleşik topografik indeks (CTI), arazi şekil indeksi (LC) olmak üzere toplamda yirmi bir farklı parametre oluşturulmuştur. Bu parametreler kullanılarak beş farklı parametre grubu oluşturulmuştur. Her bir parametre grubu Bayesian Regularization Backpropagation (BR) ve Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG) eğitim algoritmaları ile eğitilmiştir. Modellerin eğitiminde kullanmak amacıyla heyelan sahalarına 250, heyelan olmayan sahalara 250 olmak üzere toplamda 500 örnek alan belirlenmiştir. Ağlar bu örnek alanlara göre eğitilmiştir. Ağlara sunulan veri setinin %70'i eğitim, %15'i test, %15'i doğrulama için kullanılmıştır.

Sonuç olarak Devrek için on adet heyelan duyarlılık modeli üretilip haritalanmıştır. Haritalar, model çıktılarının beş eşit aralığa bölünmesi ile oluşturulmuştur. Buna göre 0-0,2 arası "çok düşük", 0,2-0,4 arası "düşük", 0,4-0,6 arası "orta", 0,6-0,8 arası "yüksek", 0,8-1 arası ise "çok yüksek" heyelan duyarlılığı olarak sınıflandırılmıştır. Modellerin doğruluk değerlendirmelerini yapmak amacıyla AUC (Area Under the Curve) ve hata matrisi (confusion matrix) yöntemleri kullanılmıştır.

Tüm parametre grupları için BR eğitim algoritmasının SCG algoritmasına göre daha yüksek performansla kestirim yaptığı görülmüştür. En yüksek doğruluk değerlerinin elde edildiği modellerin kurulduğu ikinci (toprak, litoloji, eğim, ortalama eğim, yamaç yönelimi, SPC, SEI) ve dördüncü (toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI) parametre grupları çalışma sahası için yapılacak heyelan duyarlılık haritalarında kullanılması önerilmektedir. Bu iki parametre grubundan yola çıkarak çalışma sahasının heyelan duyarlılığının; toprak, litoloji ve topografik karakter ile eğim ilişkisini farklı şekillerde yansıtan indeksler kullanılarak belirlenmesinin doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Toplam on modelin çıktıları karşılaştırıldığında çalışma sahasındaki Tosunlar, Gürçeşme, Kurudere, Eveyikli, Velibeyler, Serdaroğlu, Yeşilyurt köylerinin bulunduğu alanlar tüm haritalarda “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırılmıştır. Özellikle bu yerleşme alanlarında bulunan eğimli yamaçlarda heyelan olaylarını tetikleyecek her türlü yol, bina ve tarımsal faaliyetten kaçınılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Devrek; heyelan; heyelan duyarlılık; yapay sinir ağları; parametre seçimi; fiziki coğrafya

ABSTRACT

A landslide is the downward movement of large and small materials standing in balance on an inclined slope, triggered by the change in the load balance due to excessive rainfall and/or seismic vibrations associated to earthquakes. It is an important issue for local administrators to take preventive measures against landslides that cause the loss of life and property of thousands of people every year.

Artificial neural networks (ANN) method used in assessment of landslide susceptibility of the selected study area of Devrek District. 115 active-slide type landslides are mapped according to the landslide inventory of the study area. An area of 20.6 km² which makes 2% of the total 952.5 km² of the study area has been evaluated as a landslide area.

In this study, landslide areas in the landslide inventory were first transformed into 0-1 data in order to assess the landslide susceptibility of Devrek District. Subsequently, twenty one different parameters are created which are soil types, lithology, distance to faults, distance to streams, drainage density, topographic elevation, slope, aspect, slope aspect, mean slope, slope position classification (SPC), planar curvature, profile curvature, topographic wetness index (TWI), surface-relief ratio (SRR), surface-area ratio (SAR), integrated moisture index (IMI), exposure index (SEI), topographic position index (TPI), compound topographic index (CTI), landform classification (LC). Afterwards, five different parameter groups are created using these 21 parameters. Each parameter group has been trained with Bayesian Regularization Backpropagation (BR) and Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG) training algorithms. A total of 500 sample areas comprising 250 to the landslide areas and 250 to the non-landslide areas are determined to use in the training of the models. Networks have been trained according to these sample areas. For this purpose, 70% of the data set presented to the networks is used for training, 15% for testing while 15% for validation.

As a result, ten landslide susceptibility models have been produced and mapped for Devrek. Maps are created by dividing the model outputs into five equal intervals. According to these intervals the value between 0-0.2 is classified as “very low”, following by the values between 0.2-0.4 as “low”, 0.4-0.6 as “medium”, 0.6-0.8 as “high” and 0.8-1 as “very high” landslide susceptibility. AUC (Area Under the Curve) and confusion matrix methods were used to evaluate the accuracy of the models.

It was seen that BR training algorithm predicts with higher performance than SCG algorithm for all parameter groups. The second (soil, lithology, slope, mean slope, slope aspect, SPC, SEI) and the fourth (soil, lithology, distance to streams, mean slope, SRR, SEI, TPI) parameter groups where the models with the highest accuracy values are established for the study area are recommended for the use in landslide susceptibility maps. Therefore, it is concluded that a correct approach to determine the relationship between soil, lithology, topographic character and slope in different ways to determine the landslide susceptibility of the study area based on these two parameter groups.

The areas including Tosunlar, Gürçeşme, Kurudere, Eveyikli, Velibeyler, Serdaroğlu, Yeşilyurt villages are located in study area are classified as having “very high” landslide susceptibility on all maps in comparison of all the ten models. Therefore, kinds of activities like building and road constructions, alongside agriculture that will trigger landslide events should be avoided especially on slopes in these settlements.

Keywords: Devrek; landslide; landslide susceptibility; artificial neural networks; parameter selection; physical geography

ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ

Tezin Adı	Devrek İlçesi'nin (Zonguldak) Yapay Sinir Ağları ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi
Tezin Yazarı	Enes TAŞOĞLU
Tezin Danışmanı	Prof. Dr. Mücahit COŞKUN
Tezin Derecesi	Yüksek Lisans
Tezin Tarihi	27/08/2020
Tezin Alanı	Coğrafya
Tezin Yeri	KBÜ/LEE
Tezin Sayfa Sayısı	204
Anahtar Kelimeler	Devrek, heyelan, heyelan duyarlılık, yapay sinir ağları, parametre seçimi, fiziki coğrafya

ARCHIVE RECORD INFORMATION

Name of the Thesis	Landslide Susceptibility Assessment with Artificial Neural Networks of Devrek District (Zonguldak)
Author of the Thesis	Enes TAŞOĞLU
Advisor of the Thesis	Prof. Dr. M¼cahit COŞKUN
Status of the Thesis	Master's Degree
Date of the Thesis	27/08/2020
Field of the Thesis	Geography
Place of the Thesis	KBU/LEE
Total Page Number	204
Keywords	Devrek, landslide, landslide susceptibility, artificial neural networks, parameter selection, physical geography

KISALTMALAR

1D-CNN	: One-Dimensional Convolutional Neural Network
ADALINE	: Adaptive Linear Neuron
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ANN	: Artificial Neural Networks
ANNE	: Artificial Neural Network Ensembles
ARAS	: Afet Risk Analiz Sistemi
ASTER	: Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer
AUC	: Area Under the Curve
BBP	: Batch Back-Propagation
bk	: Bakınız
BPNN	: Back-Propagation Neural Networks
BR	: Bayesian Regularization Backpropagation
BRT	: Boosted Regression Trees
CART	: Classification and Regression Trees
CBB	: Coğrafi Bilgi Bilimi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CF	: Certainty Factor
CGD	: Conjugate Gradient Descent
cP	: Continental Polar
CTI	: Compound Topographic Index
DEM	: Digital Elevation Model
DSİ	: Devlet Su İşleri
EM-DAT	: Emergency Events Database

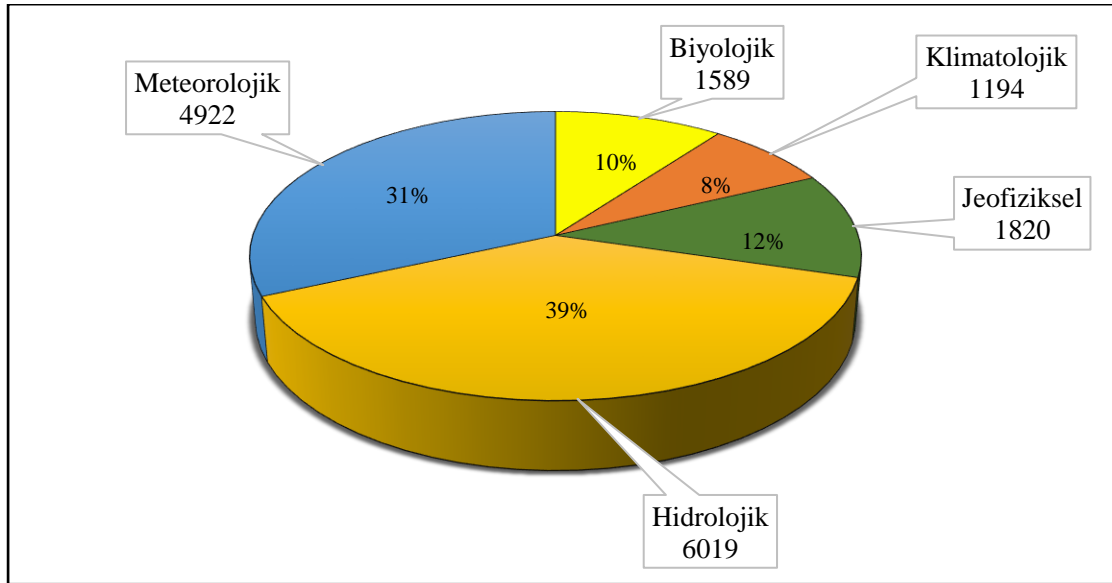
EOC	: Electrooptical Camera
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
GDX	: Gradient Descent
GeoAI	: Geography and Artificial Intelligence
GIS	: Geographic Information System
GLM	: Generalized Linear Model
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
IMI	: Integrated Moisture Index
IVM	: Information Value Model
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
km	: Kilometre
KOMPSAT-1	: Korea Multipurpose Satellite
LC	: Landform Classification
LM	: Levenberg-Marquardt
LR	: Logistic Regression
m	: Metre
mm	: Milimetre
MARS	: Multivariate Adaptive Regression Splines
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MLP	: Multilayer Perceptron
mP	: Maritime Polar
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NB	: Naive Bayes

NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	: Normalized Difference Water Index
NN	: Neural Networks
PNN	: Probabilistic Neural Networks
ROC	: Receiver Operating Characteristic
SAR	: Surface Area Ratio
SCG	: Scaled Conjugate Gradient Backpropagation
SEI	: Site Exposure Index
SPC	: Slope Position Classification
SRR	: Surface Relief Ratio
QDA	: Quadratic Discriminant Analysis
QP	: Quick Propagation
RF	: Random Forest
TPI	: Topographic Position Index
TWI	: Topographic Wetness Index
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UTM	: Universal Transverse Mercator
vb	: ve benzeri
vd	: ve diğerleri
WGS	: World Geodesic System
WPWLI	: Working Party for World Landslide Inventory
YSA	: Yapay Sinir Ağları

GİRİŞ

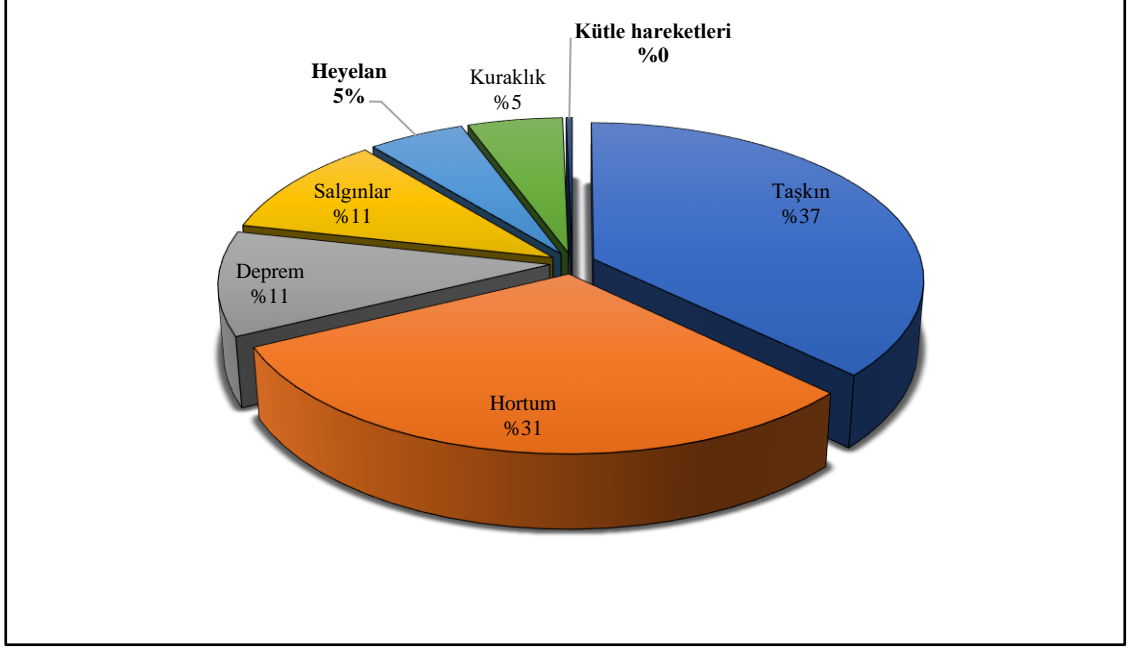
Doğal afetler, insan hayatında zarara ve/veya kayba yol açan jeolojik-jeomorfolojik, atmosferik, hidrolojik, biyolojik kökenli (deprem, heyelan, tsunami, fırtına, sel, kuraklık, salgın hastalıklar gibi) olaylardır (March, 2002; Twig, 2007). Doğal bir olay sonucu insan veya hayvanların zarar görmesi, mal kayıplarının yaşanması bu olayın doğal afet olarak değerlendirilmesine sebep olur (Ergünay, 2002; Işık vd., 2012).

1900 yılından itibaren gerçekleşen doğal ve insan kaynaklı afetlerin verisini ücretsiz olarak sunan Emergency Events Database (EM-DAT) veri tabanına göre 1900'den 15 Temmuz 2020 tarihine kadar dünyada (Afrika, Amerika, Asya, Avrupa, Okyanusya kıtaları) toplamda 15545 doğal afet gerçekleşmiştir (EMDAT, 2020). Bunların 1589'u biyolojik (hayvan saldırısı, salgın, böcek istilaları), 1194'ü klimatolojik (kuraklık, orman yangınları), 1820'si jeofiziksel (deprem, kuru kütle hareketleri, volkanik aktivite), 6019'u hidrolojik (taşkın, heyelan), 4922'si meteorolojik (aşırı sıcaklıklar, sis, hortum) afet olarak sınıflandırılmıştır (Grafik 1).



Grafik 1. 1900-2020 (Temmuz) arası dünyada gerçekleşen doğal afetlerin kökenlerine göre sayısı ve yüzdesi (EM-DAT veri tabanından düzenlenmiştir).

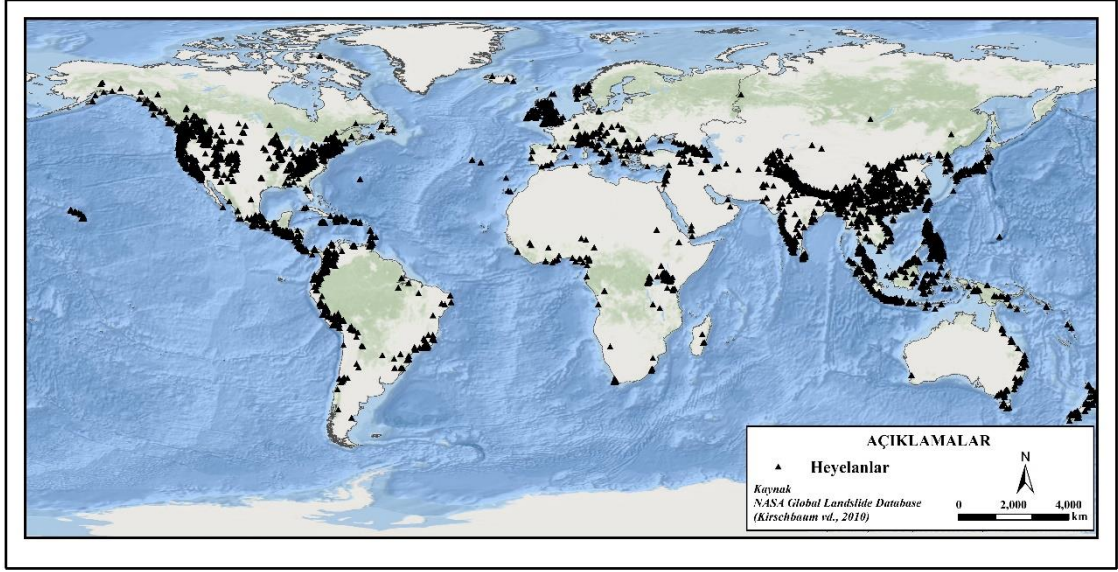
EMDAT veri tabanında 1900-2020 Temmuz tarihleri arası gerçekleşen doğal afetler türleri baz alınarak sınıflandırılırsa taşkınların 5261 kere gerçekleştiği görülmektedir. Ardından sırasıyla hortum (4324), deprem (1519), salgın hastalıklar (1492), heyelan (758), kuraklık (747) ve kütle hareketleri (48) gelmektedir (Grafik 2).



Grafik 2. 1900-2020 (Temmuz) arası dünyada gerçekleşen doğal afetlerin, türlerine göre yüzdesi (EM-DAT veri tabanından düzenlenmiştir).

Tez çalışmasının konu kapsamını oluşturan heyelan, en basit şekilde eğimli bir yamaçta duran malzemenin ani ve hızlı bir şekilde yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir (Varnes, 1958; Cruden, 1991; Popescu, 2002; Şahin ve Sipahioğlu, 2002; Erinç, 2012; Oldrich vd., 2014; Nordal ve Lindsay, 2017). Heyelanlar, EM-DAT veri tabanında hidrolojik kökenli, AFAD'a (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) göre jeolojik kökenli, Şahin ve Sipahioğlu (2002) tarafından ise jeolojik-jeomorfolojik kökenli afet olarak sınıflandırılmıştır.

Dünya üzerinde heyelanlar en çok Asya kıtasında gerçekleşmektedir (Görüm vd., 2011; Fan vd., 2012; Görüm, 2013; Fan vd., 2014; Görüm ve Carranza, 2015). Ardından sırasıyla Amerika, Avrupa, Afrika ve Okyanusya kıtaları gelmektedir (Roessner vd., 2005; Kirschbaum vd., 2010), (Harita 1). Ülkemizde 1950-2008 yılları arasında toplamda 13.494 heyelan olayı meydana gelmiştir. En fazla heyelan Trabzon, Rize, Karabük, Bartın, Zonguldak ve Kastamonu illerimizde gerçekleşmiştir (Gökçe vd. 2008). Ölümcül heyelanlar bakımından ülkemizde 1929-2018 yılları arasında 357 ölümcül heyelan olayı meydana gelmiş ve toplamda 1291 kişi hayatını kaybetmiştir. En fazla Karadeniz Bölgesi'nde (141 olay, 730 ölüm) gerçekleşen ölümcül heyelanların, en fazla yaşandığı iller ise İstanbul (54 olay, 81 ölü), Trabzon (37 olay, 326 ölü) ve Rize (30 olay, 191 ölü)'dir (Fidan, 2019).



Harita 1. Dünya üzerinde meydana gelen heyelanların noktasal dağılışı (Kirschbaum vd., 2010'dan düzenlenmiştir).

Dünyada olduğu kadar ülkemizde de önemli sorunlar yaratan heyelan olaylarına karşı önlem almak karar vericiler için önemli bir konudur. Bunun için öncelikle ayrıntılı heyelan envanterlerinin hazırlanması ardından bu envanterler yardımıyla heyelan duyarlılık haritaları yapılması gerekmektedir. Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri bir heyelanın ne zaman olacağını değil hangi zonların heyelan oluşumuna duyarlı olduğunu belirlemek için yapılır (Guzzetti vd., 2005; Tseng vd., 2015). Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler istatistiksel, sezgisel ve deterministik olarak kategorize edilebilir (Pourghasemi vd., 2018). Temelde heyelan envanterleri, arazi çalışmaları ve sayısal değerlendirmeler yardımıyla heyelan duyarlılık haritaları hazırlanmaktadır.

Bu araştırma kapsamında Zonguldak'a bağlı Devrek İlçesi'nin heyelan duyarlılığının makine öğrenmesi yöntemi olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile değerlendirmek amaçlanmıştır. YSA biyolojik sinir sisteminin çalışma prensibinden esinlenerek oluşturulmuş ve karmaşık, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar veren bir yöntemdir (Gopal, 2017; Öztürk ve Şahin, 2018). YSA'nın heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaya başlanması 2000'li yılların başında olmuştur. 2010'dan sonra YSA eğitim algoritmalarının optimize edilmesiyle daha yüksek performanslı modeller üretilmeye başlanmıştır (Reichenbach vd., 2018). Bu çalışmada yedişer tane girdi parametresi içeren beş farklı parametre grubu, Bayesian Regularization Backpropagation (BR) ve Scaled Conjugate Gradient Backpropagation

(SCG) eğitim algoritmaları ile modellenmiştir. Bu yolla araştırmanın sonucunda Devrek ve benzer heyelan karakterizasyonuna sahip alanlar için heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde doğru parametrelerin seçimi için öneri sunmakla birlikte BR ve SCG eğitim algoritmalarının heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımının karşılaştırılması yapılacaktır.

ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Dünyada, heyelanlardan dolayı her yıl binlerce insan hayatını kaybetmektedir. 2004 ve 2010 yıllarını içeren yedi yıllık periyotta dünya çapında gerçekleşen toplam 2620 ölümcül heyelan olayında, 32.322 kayıtlı can kaybı yaşanmıştır. Bu can kayıplarının çoğu Asya'da özellikle de Himalayalar ve Çin'de meydana gelmiştir (Petley, 2012). Ülkemizde depremlerden sonra en sık gerçekleşen doğal afet heyelanlardır. Türkiye'de 1950-2008 yıllarını kapsayan elli sekiz yıllık dönemde heyelanlardan etkilenen toplam insan sayısı 59.345'tir. Bu sayı aynı dönem içindeki toplam afetzede sayısının %21'ini oluşturmaktadır (Gökçe vd., 2008). 1929-2018 yıllarını kapsayan 89 yıllık periyotta ülkemizde gerçekleşen 357 ölümcül heyelan olayında 1291 kişi hayatını kaybetmiştir (Fidan, 2019). Dünyada olduğu kadar ülkemizde de ciddi zararlara yol açan heyelanlara karşı önlem almak yöneticiler için önemli bir konudur.

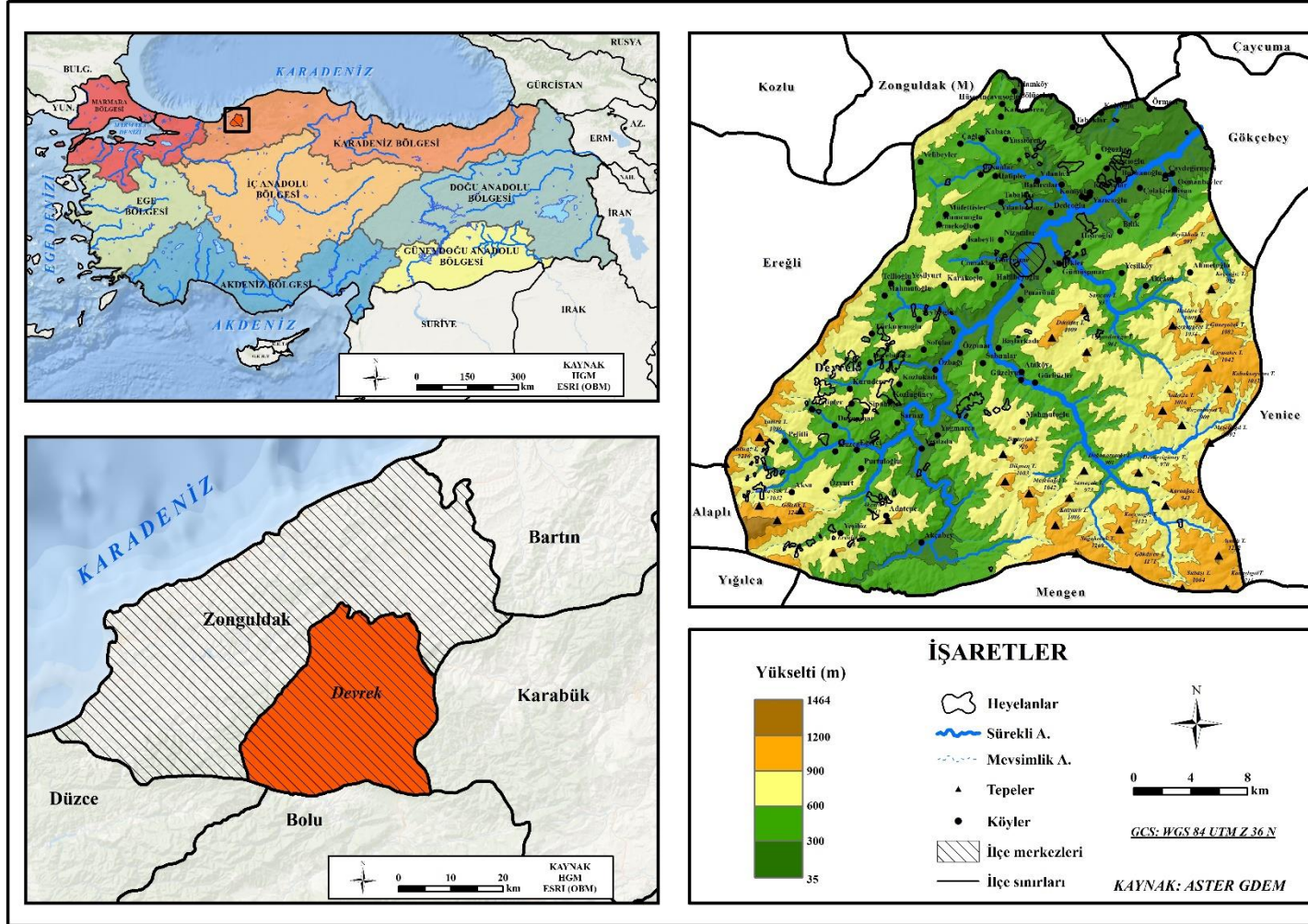
Araştırmanın alan kapsamını, ülkemizin Karadeniz Bölgesi'nin, Batı Karadeniz Bölümü'nde idari yönden Zonguldak iline bağlı bulunan Devrek ilçesinin sınırları oluşturmaktadır (Harita 2). Konum olarak 41°20'16.375"-41°0'14.179" Kuzey enlemleri ile 31°42'18.495"-32°9'21.578" Doğu boylamları arasında kalan Devrek ilçesinin toplam alanı 952,5 km²'dir. Ayrıca ilçe sınırları, 1/25.000 ölçekli Türkiye paftalarında "F27B3, F27B4, F27C1, F27C2, F27C3, F27C4, F28A4, F28D1, F28D3" sayılı paftalarda bulunmaktadır. Çalışma sahasına ait tüm metrik alan hesaplamaları ve haritalama işlemleri WGS 84 UTM Z 36 N projeksiyon sistemine göre yapılmıştır.

İlçe sınırlarında bulunan Devrek Çayı vadisinde özellikle dik ve dike yakın eğime sahip yamaçlarda, sık sık heyelan olayları görülmektedir (Fotoğraf 1, 2, 3, 4, 5, 6). İlçede yaşayan insanlar ve yerel yönetim için zorluk teşkil eden bu durum arazi üzerinde yapılan her türlü faaliyeti (tarım, ormancılık, hayvancılık, bina, altyapı vb.) olumsuz etkilemektedir. Heyelanlardan dolayı insan yaşamı da tehlikeye girmektedir. Özellikle 16 Temmuz 2015'te gerçekleşen heyelan sonucu 86 adet bina zarar görmüş ve

insanlar tahliye edilmiştir (Fotoğraf 7). Bu heyelanın oluşmasındaki en büyük faktörler sahada bulunan Eosen silttaşı, kumtaşı ardalılarından oluşan litolojik yapı ve heyelandan bir gün önce gerçekleşen sağanak yağış (3.6 mm) olarak belirtilmiştir (Özdemir ve Kulaksız, 2019).



Fotoğraf 1. İlçe merkezine bağlı Karşıyaka mahallesinde meydana gelen heyelan.



Harita 2. Devrek ilçesinin lokasyon haritası.



Fotoğraf 2. Karşıyaka mahallesinde Çomaklar Deresi'nin güneye bakan yamacında gerçekleşen heyelan.



Fotoğraf 3. Devrek-Ereğli karayolunun alt kesiminde gerçekleşen heyelan.



Fotoğraf 4. Nizamlar civarında eğimli yamaçta gerçekleşen heyelan.



Fotoğraf 5. Yeşilköy civarında yol kenarında gerçekleşmiş küçük bir heyelan.



Fotoğraf 6. Yeşilköy karayolu kenarında gerçekleşmiş bir kaya düşmesi.



Fotoğraf 7. 16 Temmuz 2015'te gerçekleşen Devrek heyelanında zarar gören binalar.

Bu çalışmada Devrek ilçesinin genel fiziki coğrafya özelliklerini yansıtan tematik haritalar ve heyelan duyarlılığı için oluşturulan modellerin çıktılarında üretilen haritalar sunulmuştur. Çalışmanın, Devrek'te yapılacak, araziye dayalı planlamalarda ve heyelana yönelik afet önleme çalışmalarında yerel yöneticilerin danışacağı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Araştırmanın konu kapsamı; tarihsel süreçte heyelanlardan dolayı birçok can ve mal kaybı yaşamış olan Zonguldak'ın Devrek ilçesinin heyelan duyarlılığının, makine öğrenmesi yöntemi olan yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Son yıllarda istatistik ve makine öğrenmesi yöntemleri ile heyelan duyarlılık konulu çalışmaların arttığı ve bazı ülkelerde, yöneticilerin bu çalışmaları destekleyerek arazi planlamalarında heyelan duyarlılık haritalarını dikkate aldığı görülmüştür (Bell vd., 2013). Özellikle 2010 yılından sonra yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarında yapay sinir ağları (YSA) sıklıkla kullanılmıştır (Reichenbach vd., 2018; Mandal ve Mondal, 2019). Karmaşık ve doğrusal olmayan problemleri çözmedeki başarısından dolayı YSA ile heyelan duyarlılık analizlerinde başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Melchiorre vd., 2008; Yılmaz, 2009; Arora vd., 2014; Gong vd., 2018; Pourghasemi vd., 2018; Qui vd., 2018; Luo vd., 2019). Bu sebeple mevcut tez çalışmasında yapay sinir ağları yöntemi tercih edilmiştir. Araştırmanın sonucunda ortaya koyulan heyelan duyarlılık haritaları, Devrek'te heyelanlara karşı alınacak önlemler açısından planlamacılara ve karar vericilere envanter teşkil edecektir. Bu sayede yaşanması muhtemel can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi beklenmektedir.

ARAŞTIRMANIN AMACI ve ALT AMAÇLARI

Doğal afetlerin zararlı etkilerinden korunmak amacıyla insanlar bu olayları önceden tahmin etmek daha sonrasında bunlara karşı önlem almak istemişlerdir. Heyelanlar, oluşum koşullarının biliniyor olması, yeryüzünde meydana gelmesinden dolayı gözlemlenebilir olması ve en temelinde eğim dengesizliğinden kaynaklanıyor olmasından dolayı sayısal olarak modellenmeye açık bir doğal afettir.

Teknolojinin gelişimine paralel olarak heyelan duyarlılık ve modelleme çalışmalarının kapsamı daha da genişlemiştir. Özellikle coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, istatistik ve çeşitli yazılımlar kullanılarak heyelan olayları modellenmeye başlanmış aynı zamanda mekânsal analizler yardımıyla heyelan duyarlılık çalışmaları hız kazanmıştır (Brenning, 2005; Zhou vd., 2018; Milevski vd., 2019). Heyelan

duyarlılık modellemesi, yerel koşullara bağlı olarak bir heyelanın nerede meydana geleceğinin öngörüsünün yapılmasıdır (Reichenbach vd., 2018). Heyelan duyarlılık analiz sonuçları, heyelanların ne zaman olacağından ziyade heyelan oluşma olasılığının yüksek olduğu alanların nereler olduğu konusunda fikir vermektedirler (Erener vd., 2012). Heyelan duyarlılık haritaları afetlere dayalı arazi planlamaları yapılırken dikkate alınır ve heyelana duyarlı alanlar özel olarak değerlendirilirler. Bilhassa heyelanların çok görüldüğü alanlarda bu tarz çalışmaların yapılması, yerel yönetimler ve civarda yaşayan insanlar için önemlidir. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Lojistik regresyon ve veri çakıştırma analizi yöntemlerinden sonra en çok kullanılan üçüncü yöntem olan yapay sinir ağları (Reichenbach vd., 2018), hemen her karşılaştırmalı çalışmada yüksek kestirim kapasitesine sahip bir yöntem olarak tanımlanmıştır (Lee vd., 2001; Yılmaz, 2009; Wang vd., 2016; Gong vd., 2018; Kalantar vd., 2018; Oliveira vd., 2019). Bu sebeple araştırmanın yöntemi olarak yapay sinir ağları tercih edilmiştir.

Araştırmanın amacını, Devrek ilçesinde heyelana duyarlı alanların YSA yöntemi kullanılarak farklı parametrelerle modeller kurmak ve model çıktılarını haritalamak oluşturmaktadır. Bu amaca göre alt amaçlar aşağıda verilmiştir;

- Bayesian Regularization Backpropagation (BR) ve Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG) eğitim algoritmalarının heyelan duyarlılık analizi için karşılaştırılması,
- Hangi parametrelerin Devrek ve benzer sahalar için heyelan duyarlılığını belirlemede daha uygun olduğu,
- Heyelana yüksek duyarlılık gösteren sahalardaki yerleşme yerlerinin tespit edilmesi.

ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ ve SINIRLILIKLARI

Araştırmanın konusu olarak seçilen Devrek ilçesinin heyelan duyarlılık değerlendirmesi, araştırma yöntemi olarak seçilen YSA kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritaları, Devrek ilçesinde arazi kullanım ve araziden yararlanma çalışmalarında heyelan ile ilgili alınacak önlemler sırasında başvurulacak bir kaynak teşkil edecektir. Literatürde Devrek'in heyelan duyarlılığı hakkında istatistik temelli çalışmalar bulunmaktadır (Yılmaz, 2007). Bu

çalışmada ilçenin heyelana duyarlı sahaları makine öğrenmesi yöntemi olan YSA ile değerlendirildiği için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırmanın sınırlılıkları ise kullanılan yöntemin, veri kalitesinin ve girdi parametrelerinin kısıtlılığından kaynaklanmaktadır. Modelleme için kullanılan yapay sinir ağında, ağırlıkların rastgele belirlenmesi ve nöron sayısının değişkenliğine göre sonuçların kestirilemez olması yöntemin kısıtlılığı olarak değerlendirilebilir.

Tez çalışmasında yalnızca kayma türü heyelanlar verisi ilgili kurumdan temin edilmiş ve sahanın heyelan duyarlılığı değerlendirilmiştir. Bu sebeple araştırma kapsamında Devrek İlçesi'nin kayma türü heyelan duyarlılığı analiz edilmiştir.

Resmî kurumlardan alınan verilerin ve uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen parametrelerin daha ayrıntılı olması durumunda çalışma daha kapsamlı olarak sürdürülebilir. Heyelana sebep olan parametrelerin seçimi modelin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerdendir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında parametre seçimi araştırmacının arazi gözlemleri ve heyelan envanterindeki metadata yardımı ile yapılmaktadır. Çalışmada parametre seçim sorununun aşılması için birçok girdi parametresi farklı kombinasyonlarla denenmiş sonuç olarak en yüksek kestirim kabiliyetine sahip girdi parametrelerinin bulunduğu modeller seçilmiştir.

ARAŞTIRMANIN MATERYALLERİ ve YÖNTEMİ

Bu başlık altında; araştırmanın materyallerini teşkil eden, analiz sırasında kullanılan sayısal veriler, bu verilerin kaynakları ve analiz öncesi veri hazırlama işlemlerinden bahsedilmiş, ardından çalışmanın yöntemi olan YSA genel olarak anlatılmıştır.

Araştırmanın Materyalleri

Tez çalışması için konu seçiminin yapılmasının ardından belirlenen anahtar kelimeler yardımıyla yurtiçi ve yurtdışı alan yazın araştırması yapılmıştır. Özellikle 2000 yılından sonra heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde YSA yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Bu gelişimi, yapay zekâ tekniklerinin içerisinde bulunan örüntü tanıma (*pattern recognition*) algoritmalarının, coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımları ile entegre edilerek mekânsal analizlerde kullanılmaları desteklemiştir. YSA'nın heyelan çalışmalarında kullanımı tatmin edici sonuçlar vermiş, 2010 yılından sonra YSA'nın eğitim algoritmalarının veya modele girilen parametrelerin optimize

edilmesiyle model doğruluk performanslarını yükseltmeye yönelik çalışmaların arttığı görülmüştür (Aditian ve Kubota, 2017; Sameen vd., 2020). YSA ile yapılan heyelan duyarlılık çalışmaları hakkında Türkçe dilinde yazılan yayınların azlığı göze çarpmış, konu hakkında özellikle yurtdışında saygın dergilerde yapılan çalışmalar tez araştırmasının alan yazın kısmında incelenmiştir.

Araştırma kapsamında öncelikle arazi çalışması gerçekleştirilmiş ve daha önce gerçekleşen heyelanlar yerinde incelenmiştir. Devrek ilçesine ait sayısal veriler ise çeşitli kurumlardan ve uzaktan algılama görüntülerinden elde edilmiştir. Bu veriler daha sonra işlenerek tematik haritalar ve analiz sırasında kullanılacak olan model girdi parametreleri üretilmiştir. Resmî kurumlardan alınan veriler ve kaynakları aşağıda listelenmiştir.

- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan aktif-kayma türü heyelanların dağılışı verisi,
- MTA'dan Devrek ilçesinin 1/100.000 ölçekli F27 ve F28 paftalarından sayısallaştırılmış jeoloji, litoloji ve faylara ait veriler,
- Çalışma sahasındaki bitki topluluklarını haritalamak için Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'nden amenajman içerisinde bulunan bölmecik verisi,
- Toprak tiplerinin dağılışı göstermek için Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan sayısallaştırılmış veriler,
- İklim haritalarının üretimi ve çalışma alanının iklim özelliklerinin analiz edilip yorumlanması amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden Devrek (2007-2019), Devrek/Acısü Tepesi Radar Sahası (2007-2019), Ereğli (2007-2019), Yenice (2007-2019), Çaycuma Havalimanı (2008-2010) ve Eskipazar (2007-2019) meteoroloji istasyonlarına ait tüm meteorolojik parametre ölçümlerini içeren veriler temin edilmiştir.

Tematik haritalama ve heyelan duyarlılık model girdi parametrelerinin üretimi için ise NASA (*National Aeronautics and Space Administration*)'nın 1999 yılında, yeryüzünün topografyasının üç boyutlu olarak modellenmesini içeren DEM (*Digital Elevation Model*) verilerinin üretilmesi amacıyla başlattığı ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) projesinde elde ettiği veriler indirilmiştir. Elde edilen DEM verisi 30*30 metre hücre boyutuna sahiptir. Analiz için veri hazırlama ve ön işlemler kısmında kullanılan WGS 84 UTM Zone 36 N projeksiyon

sisteminde, alansal olarak 952,5 km² yer kaplayan Devrek ilçesi toplamda 652.108 raster hücresi ile temsil edilmektedir. Model girdi parametrelerinin elde edilmesinde, DEM verisi kullanılarak Evans vd. (2014) tarafından ArcMap yazılımı için üretilen “*Geomorphometry ve Gradient Metrics Tools*” isimli araç çubuğu ve “*Topography Tools*” eklentisi kullanılmıştır.

Araştırmanın Yöntemi

Mekâna dayalı yapılan bilimsel çalışmalar teknolojik imkanların gelişmesiyle beraber daha hızlı, daha doğru ve daha güvenilir olmaya başlamıştır. Mekân bazlı çalışmaların gelişmesinde CBS yazılımları mihenk taşı olmuştur. Mekânın bilimi olarak tanımlanan coğrafya bilimi de bu gelişime kayıtsız kalmamış, lokal veya büyük çaplı alanların ileri düzey mekânsal analizlerini yapmak amacıyla, araştırmacılar teknolojinin faydalarını kullanmaya başlamışlardır. Bilişimsel coğrafya (*computational geography*), alanının teorisyenlerinden ve en önemli uygulayıcılarından olan Stan Openshaw, coğrafyadaki kantitatif devrimi üçe ayırmıştır. 1960’ların başlarını istatistiksel devrim, 1970’lerin başlarını matematiksel devrim, 1990’ların başında başlayan ve günümüze kadar olan dönemi ise nöro-hesaplama devrimi olarak adlandıran Openshaw özellikle nöro-hesaplamanın coğrafya için yeni, nicel araştırma tekniklerinden biri olduğunu belirtmiş ve zamanla bilgisayar tabanlı araştırmaların artacağını öngörmüştür (Openshaw, 1994). Nöro-hesaplama tekniklerinin önemli bir unsuru olan YSA, insan beyninin temel çalışma prensiplerini taklit ederek bilgisayarların yeni bilgiler öğrenmesi ve bu bilgileri kullanarak istatistik-olasılık temelli tahmin veya farklı çıkarımlar türetebilme yeteneklerinin kazandırılması olarak tanımlanabilir (Gurney, 1997). YSA insan beynine benzer bir yapıya sahiptir. Bilgiyi, eğitim sırasında ilgili olay hakkında sunulan girdiler vasıtasıyla öğrenir. Ardından öğrendiği bilgileri benzer veri seti üzerinde çıkarım yaparken kullanır. Bu yönüyle YSA tahmin çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır.

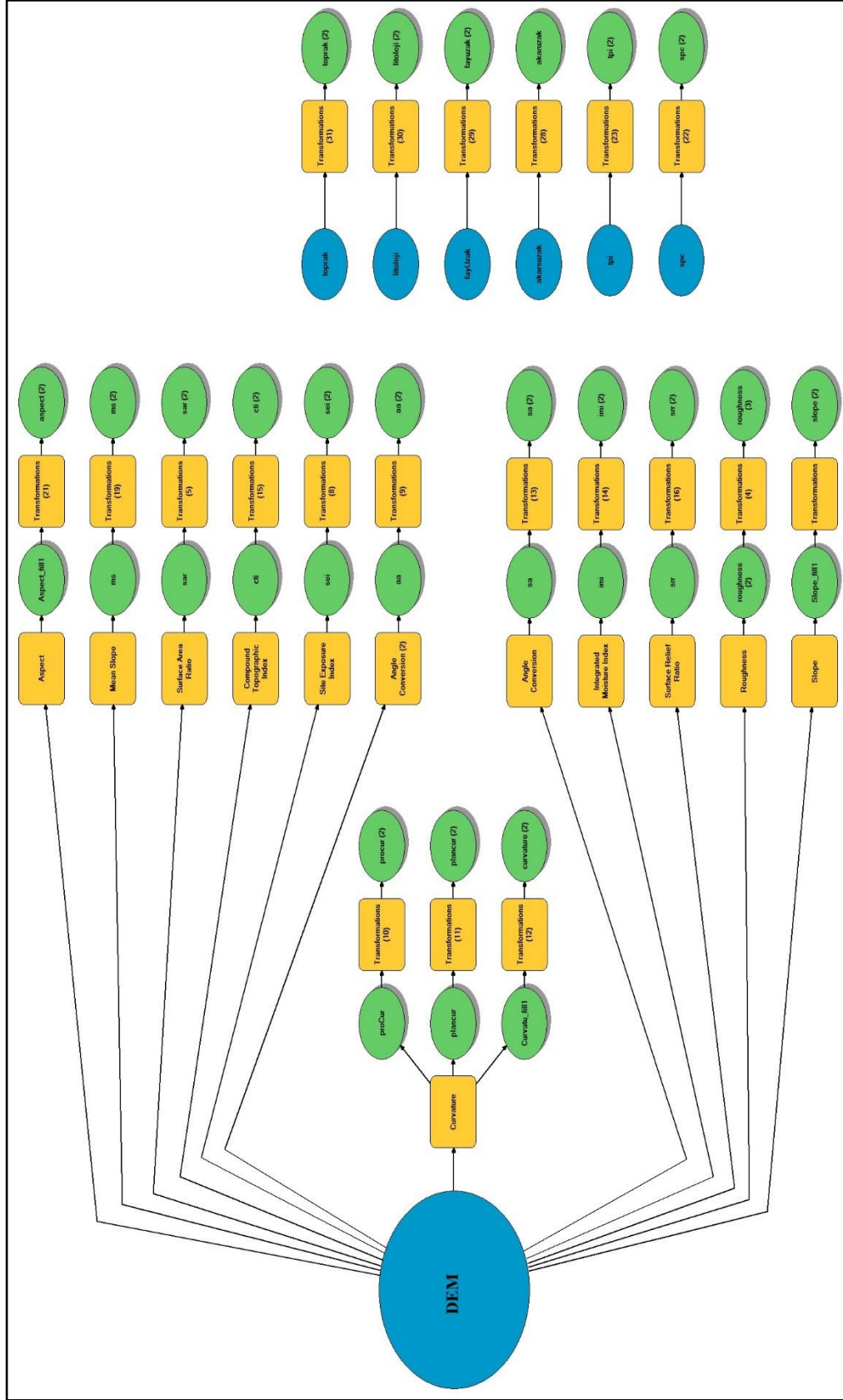
Tez çalışmasında, Devrek ilçesinin heyelan duyarlılığını değerlendirilmesi için YSA yöntemi seçilmiştir. Heyelana etki eden faktörlerin hazırlanması, sayısallaştırılması ve görselleştirilmesi için ArcMap 10.7 programı kullanılmıştır. Heyelan duyarlılığının belirlenmesi için hangi faktörlerin model girdisi olarak seçileceği önemli bir konudur. Birçok araştırmacı en doğru parametrelerin seçimi için farklı yöntemler (optimizasyon algoritmaları ve istatistik temelli hesaplamalar)

kullanmışlardır (Costanzo vd., 2012; Dou vd., 2015; Pamela vd., 2018). Heyelan, oluşumunda birçok faktörün etkili olmasından dolayı karmaşık bir sistemdir. Bu yüzden her çalışma alanının kendine özgü topografik, iklimik, edafik, beşerî gibi unsurları heyelanı farklı derecelerde tetikleyebilmektedir. Bu sebeple mevcut çalışmada heyelanı etkileyen parametreler her grupta yedi faktör olacak şekilde beş farklı kombinasyonda seçilmiş, iki farklı eğitim algoritmasıyla modellenmiştir. Toplam da on model kurularak duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Seçilen parametreler, MATLAB programında oluşturulan yapay sinir ağı ile analiz edilmiştir. Ağın oluşturulması, eğitimi ve eğitilen ağ ile yapılan tahminin kodları tezin ekler bölümünde EK-1 başlığı altında sunulmuştur.

Beş farklı parametre grubu *Bayesian Regularization Backpropagation (BR)* ve *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG)* eğitim algoritmaları kullanılarak modellenmiştir. En sonunda model çıktıları ArcMap programında yeniden raster formata dönüştürülüp haritalanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemin işlem basamakları aşağıda verilmiştir.

- İlk olarak ilgili kurumlardan (MTA, Zonguldak Orman İşletme Bölge Müdürlüğü, Tarım Orman ve Hayvancılık Bakanlığı) temin edilen sayısallaştırılmış veriler ve Aster GDEM kaynaklı sayısal yükseklik modeli ilçe sınırları kullanılarak clip işlemi gerçekleştirilmiştir.
- İlçe sınırlarına göre düzenlenen verilerden “shapefile” olanlar “raster” formata dönüştürülmüş ardından projeksiyon sistemleri WGS 84 UTM Z 36 N olarak değiştirilmiştir.
- İlk etapta heyelana etki eden faktörleri seçerken topografyaya dayalı olan faktörlere öncelik verilmiştir. Topografik yükseklik, faylara uzaklık, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, eğim, bakı, düzlemsel eğrilik (plan), teğetsel eğrilik (profil) faktörleri “*Spatial Analysis Tools*” yüzey alanı oranı (SAR), maruziyet indeksi (SEI), eğim açısı, birleşik nemlilik indeksi (IMI), bileşik topografik indeks (CTI), yüzey-rölyef (SRR), eğim konumu sınıflandırması (SPC), ortalama eğim faktörleri “*Geomorphometry ve Gradient Metrics*” araç çubuğu, Jenness’in arazi şekil indeksi (LC) ve topografik konum indeksi (TPI), faktörleri “*Topography Tools*” araç çubuğu kullanılarak üretilmiştir. Topografik nemlilik indeksi (TWI)’nin üretimi için ise “*raster calculator*” aracı kullanılmıştır.

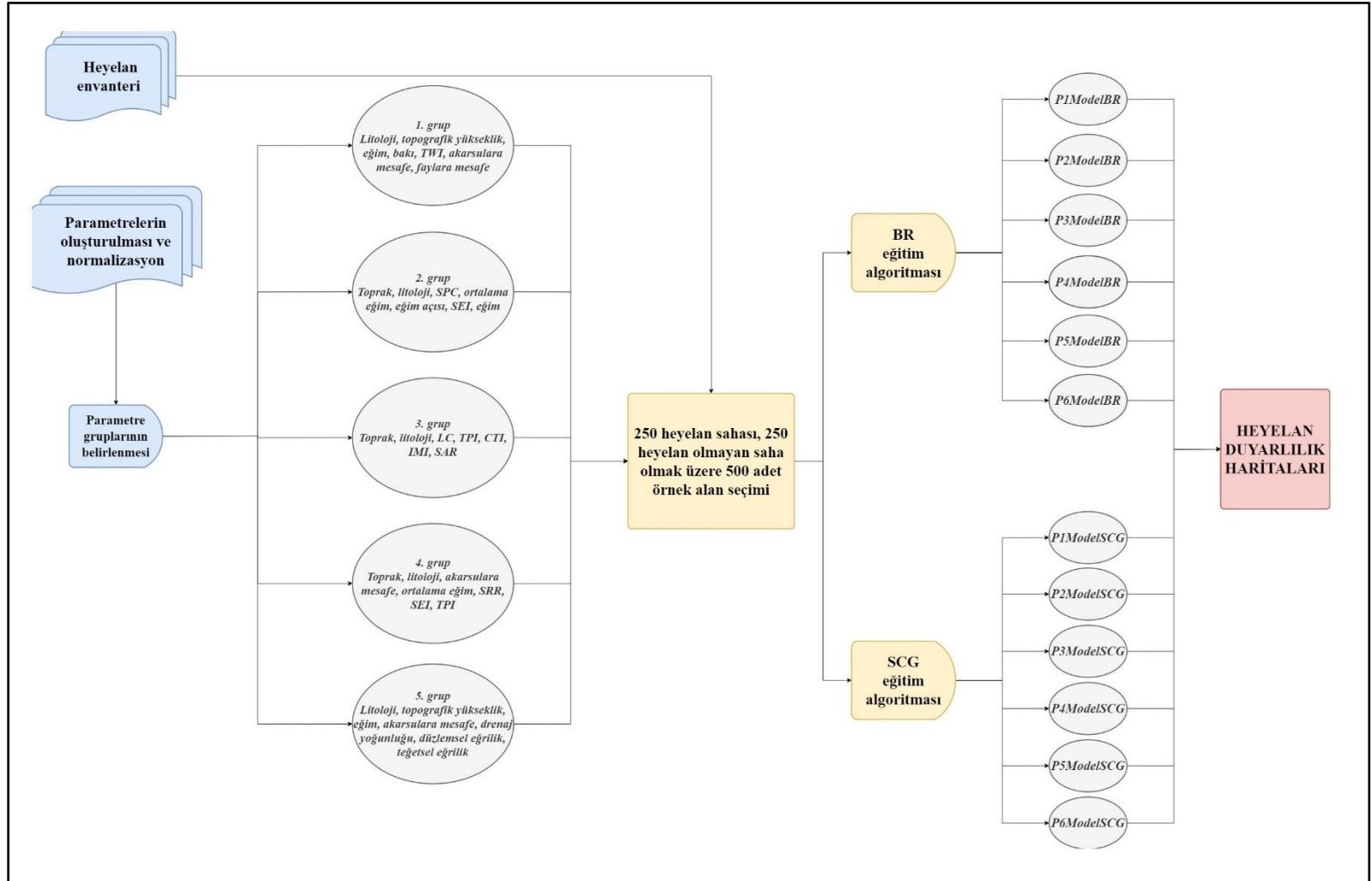
- Birbirlerinden farklı aralıklardaki sayılara dağılmış olan değişkenlerin birbirleriyle ilişkilendirilebilmesi, modelin hızlı ve daha iyi sonuçlar vermesi amacıyla tüm parametrelere min-maks normalizasyonu (*feature scaling*) uygulanmıştır. Buna göre sayı dizisi içerisinde en yüksek değer 1 en düşük değer 0 olmak üzere veri setinde bulunan her sayı bu değerler arasına yerleştirilmiştir.
- Buraya kadar ArcMap ile yapılan veri ön işlemleri anlatılmıştır. Sonuç olarak; 2 kategorik (toprak ve litoloji), 19 topografik olmak üzere toplamda 20 parametre elde edilmiş ve bu faktörlerin hepsi 0-1 değerleri arasında normalize edilmiştir.
- DEM verisine dayalı topografik verilerin hazırlanması, kategorik verilerle beraber normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla ArcMap yazılımının *Model Builder* aracı kullanılmıştır (Şekil 1).
- Modelin eğitiminde kullanılmak üzere 500 adet nokta atılmış, bu noktaların yarısı heyelan sahalarına geri kalan 250'si ise heyelan olmayan alanlara yerleştirilmiştir.
- Eğitim için 500 örnek noktanın öznetelik tablosuna noktaların denk geldiği hücrelerde bulunan daha önceden hazırlanmış 21 katmanın değerleri ve heyelana ait var-yok verisi kaydedilerek tablolaştırılmıştır. Bu tablo .xml formatında çıkarılmış ve ArcMap ile yapılan veri ön işleme ve analiz için hazırlık bu adımlarla tamamlanmıştır.
- Normalize edilmiş raster katmanlar, seçilen 500 örnek noktalardan toplanarak oluşturulan veri seti MATLAB ortamında girdiler (inputs) ve hedef (target) olarak ayrılmıştır. Hedef kısmı heyelan envanterine ait var-yok verisinden, girdiler ise kategorik ve mekânsal özellikler katmanlarından elde edilmiştir.



Şekil 1. Model girdi parametrelerinin hazırlanması ve normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla ArcMap Model Builder ortamında kurulan model.

- Oluşturulan modeller için girdiler 5 farklı kombinasyonda seçilmiştir. İlk gruptaki girdiler; litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık olarak belirlenmiştir. İkinci gruptaki girdiler; toprak, litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim olarak belirlenmiştir. Üçüncü grup toprak, litoloji, LC, TPI, CTI, IMI, SAR girdilerinden oluşturulmuştur. 4. Gruptaki parametreler toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI'dır. 5. Grup; litoloji, topografik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik parametrelerinden oluşturulmuştur.
- Modellerin hepsinde 500 adet örnek nokta içeren veri setinin rastgele %70'i model eğitimi (training) için ayrılmıştır. Veri setinin kalan kısmının %15'i modeli test (testing) etmek, %15'i ise doğrulama (validation) için kullanılmıştır.
- Oluşturulan modellerin performansları, AUC ve hata matris yöntemlerine göre değerlendirilmiştir.
- Çalışma alanı 652.058 raster hücresi ile temsil edilmektedir. Bunun için Devrek ilçesini kapsayan her bir raster hücresi noktasal değere dönüştürülmüş, eğitilen ağlar her bir modelin girdileri dikkate alınarak oluşturulan raster grid değerlerini tahminlemede kullanılmışlardır.
- Son olarak tahmin sonuçları sayısal değer olarak ArcMap programına aktarılmış ve raster formata dönüştürülerek her model için farklı heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Çalışmanın yöntem kısmını oluşturan süreçler Şekil 2'de akış şeması olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Analizin akış şeması.

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde araştırmaya zemin hazırlayan önceki çalışmalar özetlenmiş, araştırmamanın motivasyonunu oluşturan çalışmalara yer verilmiştir. Özetlenen çalışmalar, tezin konu kapsamından yola çıkılarak üretilen anahtar kelimeler yardımıyla ulaşılan yayınlardır. Özetlenen çalışmalar tablo halinde de verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Önceki çalışmaların listelendiği tablo.

Yazar	Çalışmanın adı	Yılı	Yöntem	Çalışma Alanı	Kullanılan parametreler
Lee vd.	<i>Development of Two Artificial Neural Network Methods for Landslide Susceptibility Analysis</i>	2001	YSA	Kore/Yongin	Eğim, eğrisellik, toprak drenajı, toprak kalınlığı, orman çapı, orman yaşı
XU Zeng-wang	<i>GIS and ANN model for landslide susceptibility mapping</i>	2001	YSA	Hong Kong/Lantau Adası	Litoloji, arazi örtüsü, eğim gradyanı, yönü, eğriselliği, yükseklik
Lee vd.	<i>Use of artificial neural network for analysis of the susceptibility to landslides at Boun, Korea</i>	2003	YSA	Kore/Boun	Eğim, bakı, eğrisellik, topografya, toprak tipleri, toprak materyali, toprak drenaj özellikleri, toprak kalınlığı, orman tipleri, orman çapı, orman yaşı, orman yoğunluğu, jeolojik özellikler, arazi örtüsü
Ercanoğlu	<i>Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks</i>	2005	YSA	Bartın/Güne ydoğu kesimi	Eğim açısı, eğim yönü, topografik yükselti, topografik şekil, topografik nemlilik indeksi, NDVI
Ermini vd.	<i>Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment</i>	2005	YSA	İtalya/Rioma ggione havzası	
Gomez ve Kavzoğlu	<i>Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela</i>	2005	YSA	Venezuela/Jabonosa Nehir Havzası	Arazi örtüsü, eğim açısı, eğim bakışı, yükselti, eğim uzunluğu, topografik nemlilik indeksi, çizgisellik, jeolojik formasyonlar, toprak tipleri
Lee	<i>Landslide susceptibility mapping using artificial neural network in the Gangneung area, Korea</i>	2007	YSA	Kore/Gangneung	Eğim, bakı, eğrisellik, drenaj ağlarına uzaklık, toprak yapısı, litolojik özellikler, faylara uzaklık, toprak tekstürü, toprak drenajı, toprak materyali, toprak kalınlığı, orman tipleri, orman çapı, orman yaşı, orman yoğunluğu, arazi örtüsü
Melchiorre vd.	<i>Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation</i>	2008	YSA/K-means	İtalya/Brembilla	Litoloji, erozyon/ayırışma derecesi, geçirgenlik derecesi, arazi kullanım derecesi, kosinüs yönü, eğim, katkıda bulunan alan
Yılmaz	<i>Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey)</i>	2009	YSA/LR/FR	Tokat/Kat	

Tablo 1 devamı.

Pascale vd.	<i>Landslide Susceptibility Mapping Using Artificial Neural Network in the Urban Area of Senise and San Contantino Albanese (Basilicata, Southern Italy)</i>	2013	YSA	Güney İtalya	Litoloji, arazi kullanımı, yükselti, eğim açısı, eğim yönü, eğrisellik planı, topografik nemlilik indeksi
Arnone vd.	<i>Strategies investigation in using artificial neural network for landslide susceptibility mapping: application to a Scilian catchment</i>	2014	YSA	İtalya/Timeto Havzası	Bakı, eğim, eğrisellik, faylara uzaklık, akarsu ağlarına uzaklık, litoloji, hidrolojik özellikler, toprak tipleri, arazi kullanımı
Arora vd.	<i>A Comparative Assessment of Neural Network, Fuzzy and Neuro-Fuzzy Approaches for Landslide Susceptibility Zonation in Garhwal Himalayas</i>	2014	YSA/Fuzzy/Neuro-fuzzy	Himalayalar/Garhwal	Bakı, akarsu drenaj yoğunluğu, yapısal şekiller, arazi kullanımı, relative relief, litoloji, eğim
Bhardwaj vd.	<i>Landslide Hazard Evaluation Using Artificial Neural Network and GIS</i>	2014	YSA	Hong Kong/Lantau Adası	Litoloji, yükselti, eğim, bakı, vejetasyon örtüsü
Bi vd.	<i>Landslide susceptibility analysis based on ArcGIS and Artificial Neural Network for a large catchment in Three Gorges region, China</i>	2014	YSA	Çin/Xiangxi Havzası	Litoloji, eğim açısı, eğim eğriliği, akarsu ağı
Can	<i>Yapay Sinir Ağları ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Farklı Algoritmaların Kullanımının Araştırılması</i>	2014	YSA	Karabük	Yükseklik, yamaç eğimi, bakı, topografik nemlilik indeksi, litoloji, NDVI
Al-batah vd.	<i>Landslide Occurrence Prediction Using Trainable Cascade Forward Network and Multilayer Perceptron</i>	2015	YSA	Malezya/Penang Adası	Yükseklik, eğim açısı, eğim yönü, genel eğrisellik, profil eğriliği, plan eğriliği, arazi örtüsü, bitki örtüsü, faylara uzaklık, yollara uzaklık, drenaj ağlarına uzaklık, litoloji, toprak tekstürü, yağış
Dou vd.	<i>An integrated artificial neural network model for landslide susceptibility assessment of Osado Island, Japan</i>	2015	YSA	Japonya Osado Adası	Eğim açısı, eğim yönü, drenaj yoğunluğu ağı, jeolojik sınırlara uzaklık, faylara uzaklık, litoloji
Kumar vd.	<i>Modeling of Landslide Susceptibility using based Back-Propagation Neural Network and GIS in Kothagiri Region, India</i>	2015	YSA	Hindistan/Batı Ghats	Yağış, eğim, bakı, yükselti, plan eğriliği, jeoloji, toprak tekstürü, NDVI, arazi kullanımı, arazi örtüsü, yollara uzaklık, akarsulara uzaklık, faylara uzaklık, akarsu güç indeksi
Pradhan vd.	<i>Landslide susceptibility mapping of Phewa catchment using multilayer perceptron artificial neural network</i>	2016	YSA	Nepal/Phewa Havzası	Bakı, yükseklik, eğim, iç kabartma, eğim şekli, drenaja uzaklık, drenaj yoğunluğu, akarsu güç indeksi, topografik ıslaklık indeksi, tortul taşıma indeksi, arazi örtüsü, jeoloji

Tablo 1 devamı.

Saro vd.	<i>The spatial prediction of landslide susceptibility applying artificial neural network and logistic regression models: A case study of Inje, Korea</i>	2016	YSA/LR	Kore/Inje	Eğim, baki, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, litoloji, orman çapı, orman yaşı, orman yoğunluğu, toprak topografyası, toprak drenajı, toprak materyali, toprak kalınlığı, toprak tekstürü
Wang vd.	<i>Landslide susceptibility mapping at Gongliu country, China using artificial neural network and weight of evidence models</i>	2016	YSA/WoE	Çin/Gongliu	Eğim açısı, eğim yönü, genel eğrilik, plan eğriligi, profil eğriligi, yükselti, nehirlerle uzaklık, yollara uzaklık, litoloji, yağış, NDVI, STI
Aditian vd.	<i>Causative Factors Optimization Using Artificial Neural Network for GIS-based Landslide Susceptibility Assessments in Ambon, Indonesia</i>	2017	YSA	Endonezya/Ambon	Yükseklik, eğim açısı, eğim yönü, litoloji, jeolojik yoğunluk, akarsulara yakınlık, faylara yakınlık ve yol ağlarına yakınlık
Wang vd.	<i>Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility</i>	2017	YSA	Çin/Changshou Vadisi	Eğim açısı, eğim yüksekliği, eğim yönü, eğim morfolojisi, akarsulara uzaklık,
Gong vd.	<i>Application of GIS-Based Back Propagation Artificial Neural Networks and Logistic Regression for shallow Landslide Susceptibility Mapping in South China-Take Meijiang River Basin as an Example</i>	2018	YSA/LR	Çin/Meijiang Havzası	Yükselti, eğim açısı, eğim yönü, topografik rölyef, faylara uzaklık, Kayaç tipleri, toprak tipleri, arazi kullanımı, NDVI, maksimum yağış yoğunluğu, akarsulara uzaklık
Kalantar vd.	<i>Landslide susceptibility mapping at Dodangeh watershed, Iran, using LR and ANN models in GIS</i>	2018	YSA/LR	İran/Dodangeh Havzası	Yükselti, eğim açısı, eğim en boy oranı, plan ve profil eğrilikleri, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, akarsu güç indeksi, topografik nemlilik indeksi, tortu taşıma indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, arazi kullanımı, litoloji
Reichenbach vd.	<i>A review of statically-based landslide susceptibility models</i>	2018	Literatür	Derleme	
Ortiz vd.	<i>A neural network model applied to landslide susceptibility analysis (Capitanejo, Colombia)</i>	2018	YSA	Kolombiya/Capitanejo	Yükseklik, baki, eğrilik, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, eğim, buruşukluk, akarsu güç indeksi, topografik nemlilik indeksi
Pourghasemi vd.	<i>Prediction of the landslide susceptibility: Which algorithm, which precision?</i>	2018	YSA/BR T/CART/GLM/MARS/NB/QDA/RF/SVM	İran/Gazzeşehir	

Tablo 1 devamı.

Qiu vd.	<i>Loess slide susceptibility assessment using frequency ratio model and artificial neural network</i>	2018	YSA/Frekans Oranı	Çin/Loess Platosu	Yükseklik, eğim gradyanı, eğim yönü, profil eğriliği, lös kalınlığı, yağış, topografik nemlilik indeksi, vadi derinliği, akarsulara uzaklık ve arazi kullanımı
Can vd.	<i>Landslide susceptibility mapping at Ovacık-Karabük (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms</i>	2019	YSA	Karabük/Ovacık	Topografik yükseklik, eğim açısı, bakı, topografik ıslaklık indeksi, litoloji ve vejetasyon indeksi
Luo vd. (2019)	<i>Mine landslide susceptibility assessment using IVM, ANN and SVM models considering the contribution of affecting factors</i>	2019	YSA, SVM, IVM	Çin/Shangli	Yükseklik, eğim yönü, eğim açısı, plan eğriselliği, profil eğriselliği, yıllık ortalama yağış, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, akarsu yoğunluğu, otoyol yoğunluğu, NDVI, litoloji, toprak ıslaklık derecesi, şehir arazi kullanımı indeksi ve NDWI
Oliveira vd.	<i>Random forest and artificial neural networks in landslide susceptibility modeling: a case study of the Fao River Basin, Southern Brazil</i>	2019	RF/YSA	Brezilya/Fao Havzası	Bakı, eğim, eğrilik planı, LS faktör, topografik nemlilik indeksi, vadi derinliği, kanal ağına dikey mesafe, sırtlara yatay mesafe, kanal ağına yatay mesafe
Tekin vd.	<i>Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Ermenek Havzası'nın (Karaman) Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi</i>	2019	YSA	Karaman/Ermenek Havzası	Jeoloji, sayısal yükseklik modeli, pürüzlülük indeksi, yamaç eğrisellikleri ve yamaç eğimi, ortalama eğim, yüzey-rölyef oranı, topografik nemlilik indeksi
Bragagnolo vd.	<i>Artificial neural network ensembles applied to the mapping of landslide susceptibility</i>	2020	YSA		Yükseklik, eğrisellik, eğim, topografik nemlilik indeksi, profil eğriliği, litoloji ve arazi kullanımı
Sameen vd.	<i>Application of convolutional neural networks featuring Bayesian optimization for landslide susceptibility assessment</i>	2020	YSA/CNN/SVM	G.Kore/Yangyang	Yükselti, eğim, bakı, toplam eğrilik, plan eğriliği, profil eğriliği, akarsu güç indeksi, sediment taşıma indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, TWI, litoloji, toprak tipleri, arazi kullanımı, orman özellikleri

Lee (2001) vd.'nin "*Development of Two Artificial Neural Network Methods for Landslide Susceptibility Analysis*" adlı çalışmada; araştırmacılar, heyelan duyarlılığının belirlenmesinde yapay sinir ağları (YSA) yönteminin Kore'deki Yongin bölgesine uygulamışlardır. İki farklı modelin kurulduğu çalışmada girdi olarak; eğim, eğrisellik, toprak drenajı, toprak kalınlığı, orman çapı ve orman yaşı parametreleri kullanılmıştır. Birinci modelde her bir parametrenin ağırlığı sinir ağı tarafından geri yayılma yöntemi ile belirlenmiştir. Ardından sonuçlar haritalanmış ve heyelan envanteri ile karşılaştırılmıştır. Doğrulama sonuçları, mevcut heyelan alanları ile duyarlılık sonuçlarının arasında tatmin edici bir paralellik olduğunu göstermiştir. İkinci modelde ise her bir faktörün ağırlığı YSA'nın önemsiz karakteristikler yöntemi (importance-free characteristics) kullanılarak hesaplanmıştır. Ağırlıkların hesaplanmasından sonra eğim parametresinin en yüksek değere sahip olduğu ve Yongin bölgesindeki heyelanların oluşmasındaki en önemli faktör olduğu görülmüştür.

XU Zeng-wang (2001)'in "*GIS and ANN model for landslide susceptibility mapping*" isimli çalışması heyelan duyarlılık haritalamalarında Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminin coğrafi bilgi sistemleri teknolojisiyle beraber kullanımının ilk örneklerindedir. Çalışmada duyarlılık haritalaması için litoloji, arazi örtüsü, eğim gradyanı, yönü, eğriselliği ve yükseklik parametreleri kullanılmıştır. Yöntem Hong Kong'un en büyük dış adası olan Lantau Adası'na uygulanmış sonuç olarak heyelan duyarlılığı düşük, orta, yüksek olarak sınıflandırılmıştır. YSA'nın, öğrenme algoritmasının ve ağ mimarisinin tanımının öznel olduğu gerekçesiyle sonuçların yorumlanmasında sınırlı kaldığı belirtilmiştir.

Lee ve diğerlerinin 2003'te yaptıkları "*Use of artificial neural network for analysis of the susceptibility to landslides at Boun, Korea*" isimli çalışmada, Kore'nin Boun şehrinin heyelan duyarlılığı YSA ile modellenmiştir. Girdi parametreleri değiştirilerek toplamda 3 model kurulmuştur. Bu modeller 14 (eğim, bakı, eğrisellik, topografya, toprak tipleri, toprak materyali, toprak drenaj özellikleri, toprak kalınlığı, orman tipleri, orman çapı, orman yaşı, orman yoğunluğu, jeolojik özellikler, arazi örtüsü), 8 (eğim, bakı, eğrisellik, topografya, toprak materyali, toprak drenaj özellikleri, jeolojik özellikler, arazi örtüsü), 4 (eğim, bakı, topografya, jeoloji) faktör kullanılarak oluşturulmuştur. Model çıktıları ortalama kök kare hatası ile test edilmiştir. 8 parametre kullanılarak oluşturulan modelin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Ercanođlu (2005)'nin yaptıđı "*Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks*" isimli çalıřmada, Bartın ilinin gůneydođusu heyelan duyarlılık bakımından deđerlendirilmiřtir. Arařtırmada, eđim açısı, eđim yůnů, topografik yůkselti, topografik Őekil, topografik nemlilik indeksi, NDVI parametreleri kullanılmıřtır. Dođrulama veri kůmesinin %82,5'inin heyelan duyarlı alanlar olarak dođru bir Őekilde sınıflandırıldıđı sonucuna ulařılmıřtır. Bu sonuçlara gůre heyelan duyarlılık haritasının çok yůksek dođruluklu olduđuna ulařılmıřtır. Ayrıca, r_{ij} deđeri 0,85 olarak hesaplanmış ve benzerlik yaklařımlarına gůre model yůksek performans gůstermektedir. Çalıřmanın sonucunda ortaya çıkan heyelan duyarlılık haritasına gůre çalıřma sahasının %26,5'i heyelanlara duyarlı olarak sınıflandırılmıřtır.

Ermini vd. (2005), "*Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment*" adlı araştırmada; litoloji, eđim açısı, profil eğriliği, arazi ۆrtősű, yukarı yۆnlű eğimli alan parametrelerini kullanarak biri Multilayer Perceptron (MLP) kategorisine ait, diğer Probabilistic Neural Network (PNN) ailesine ait iki farklı model kurup İtalya'nın Kuzey Apenin dağlarında bulunan Reno Nehri havzasının bir su altı havzası olan Riomaggiore havzası heyelan duyarlılığı bakımından değerlendirilmiştir. Analiz için NN Simulator ile 100 farklı model kurulup test edilerek en iyi sonuç veren modeller seçilmiştir.

Gomez ve Kavzođlu (2005), "*Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela*" isimli çalışmasında; geri beslemeli (backpropagation) ۆđrenme algoritması olan Multilayer Perceptron kullanarak Venezuela Andlarındaki Jabonosa Nehir Havzası'nın sığ heyelanlar için duyarlı alanlarını değerlendirmişlerdir. Kurulan modelde; arazi ۆrtősű, eđim açısı, eđim bakısı, yůkselti, eđim uzunluğu, topografik nemlilik indeksi, çizgisellik, jeolojik formasyonlar, toprak tipleri heyelana duyarlı alanları belirlemek amacıyla seçilmiştir. Model %89,91 doğruluğa sahip çıktı ۆretmiřtir.

Lee (2007)'nin "*Landslide susceptibility mapping using artificial neural network in the Gangneung area, Korea*" adlı çalışmanın amacı, Kore'de bulunan Gangneung bۆlgesinin heyelan duyarlılığını YSA ile belirlemektir. Heyelan envanteri Kore ok Amaçlı Uydu'sunun (KOMPSAT-1), 6,6 metre mekānsal özünűrlűđe sahip elektrooptik kamera (EOC) gۆrüntülerinin değişim algılama tekniği ile hazırlanmıştır.

Modelde girdi olarak; eğim, bakı, eğrisellik, drenaj ağlarına uzaklık, toprak yapısı, litolojik özellikler, faylara uzaklık, toprak tekstürü, toprak drenajı, toprak materyali, toprak kalınlığı, orman tipleri, orman çapı, orman yaşı, orman yoğunluğu, arazi örtüsü gibi parametreler kullanılmıştır. Bu faktörlerin ağırlıkları geri yayılım algoritması ile belirlenmiştir. Kurulan modelin tahmin doğruluğu %84,41 olarak hesaplanmıştır. Tatmin edici bir doğruluğa sahip olan duyarlılık haritasının, heyelanlarla ilişkili zararları azaltmak amacıyla arazi kullanım planlamalarında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Melchiorre vd. (2008)'nin yaptıkları "*Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation*" isimli çalışmada; araştırmacılar, İtalya'da heyelandan fazlasıyla zarar gören Brembilla bölgesinin heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kümeleme analizi (K-means algoritması) ve YSA kullanmışlardır. Kümeleme analizi heyelana etki eden faktörleri seçmek için kullanılırken, heyelan duyarlılık modellemesi için YSA kullanan araştırmacılar model girdileri olarak kartografik veri tabanlarından ürettikleri; litoloji, erozyon/ayırışma derecesi, geçirgenlik derecesi, arazi kullanım derecesi, kosinüs yönü, eğim ve katkıda bulunan alan parametrelerini seçmişlerdir. Sonuç olarak, YSA ile yapılan heyelan duyarlılık haritalamalarının parametre seçiminde kümeleme analizinin doğru bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Yılmaz (2009), "*Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey)*" adlı çalışmasında Tokat'ın Kat ilçesinin, frekans ratio (FR), lojistik regresyon (LR) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi ve bu yöntemlerin karşılaştırmasını yapmıştır. Kurulan üç modelin doğrulukları daha önce bilinen heyelan alanları ile karşılaştırılarak yapılmıştır. AUC değerlerinin hesaplanması ile bulunan doğruluk sonuçlarına göre YSA 0,852 en yüksek kestirim kabiliyetine sahip model olarak değerlendirilirken, LR modelinin AUC değeri 0,842, FR modelinin AUC değeri 0,826 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca FR modelinin en düşük doğruluk değerine sahip olmasının yanında yeteri kadar veri olduğu takdirde heyelan duyarlılık değerlendirmesinde basit bir araç olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Pascale vd. (2013)'nin yaptıkları "*Landslide Susceptibility Mapping Using Artificial Neural Network in the Urban Area of Senise and San Contantino Albanese*

(*Basilicata, Southern Italy*)” başlıklı araştırmada, şehirsel alanın heyelan duyarlılığını değerlendirmek amacıyla, litoloji, arazi kullanımı, yükselti, eğim açısı, eğim yönü, eğrisellik planı, topografik nemlilik indeksi parametreleri kullanılmıştır. Topografik girdiler 20*20 metre mekânsal çözünlüğe sahip DEM verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin çıktısı %79,2 ile genel bir doğruluğa sahiptir. Sonuçlar heyelan envanter haritası ile karşılaştığında daha önce gerçekleşmiş heyelanların çoğunun duyarlılığın yüksek ve çok yüksek duyarlılık ile karakterize edilen alanlara denk geldiğini göstermiştir.

Arnone vd. (2014)’nin “*Strategies investigation in using artificial neural network for landslide susceptibility mapping: application to a Scilian catchment*” adlı çalışmasında; Sicilya’daki Timeto havzasının heyelan duyarlılık modellemesi sunulmuştur. Çalışmada araştırmacılar, heyelan duyarlılığını belirlemek amacıyla; bakı, eğim, eğrisellik, faylara uzaklık, akarsu ağlarına uzaklık, litoloji, hidrolojik özellikler, toprak tipleri ve arazi kullanımı parametrelerini MLP sinir ağı kullanılarak analiz etmişlerdir. Araştırma kapsamında, model yapılarının ve eğitim algoritmalarının farklı kombinasyonları kullanılarak beş farklı model oluşturulmuştur. 1’den 5’e kadar rakamlarla isimlendirilen bu modellerin AUC değerleri sırasıyla; 0,707, 0,727, 0,769, 0,827 ve 0,819 olarak hesaplanmıştır.

Arora vd. (2014)’nin “*A Comparative Assessment of Neural Network, Fuzzy and Neuro-Fuzzy Approaches for Landslide Susceptibility Zonation in Garhwal Himalayas*” adlı çalışmasında; araştırmacı, Himalaya dağlarının Garhwal kesiminin heyelan duyarlılığının belirlenmesinde yapay sinir ağları (YSA), fuzzy (bulanık) ve neuro-fuzzy (bulanık sinir) yaklaşımlarını değerlendirmiştir. Heyelan duyarlılığını belirlemek için kurulan modellere girdi olarak; bakı, akarsu drenaj yoğunluğu, yapısal şekiller, arazi kullanımı, relative relief, litoloji ve eğim kullanılmıştır. Modellerin AUC değerleri YSA için 0,84, fuzzy modeli için 0,86, neuro-fuzzy modeli için 0,92 olarak hesaplanmıştır. Buna göre en iyi modelin neuro-fuzzy olduğu görölmüştür.

Bhardwaj vd. (2014), tarafından yapılan “*Landslide Hazard Evaluation Using Artificial Neural Network and GIS*” adlı araştırma, Hong Kong’un Lantau Adasının heyelan duyarlılığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada 50*50 metrelik mekânsal çözünlüğe sahip DEM verisi temel alınarak parametreler oluşturulmuştur. Heyelanı hazırlayıcı faktörler litoloji, yükselti, eğim, bakı, vejetasyon örtüsü olarak

belirlenmiştir. Modelin doğruluğu %60,5 olarak hesaplanmış ve son olarak model çıktıları ASCII formatında aktarılarak haritalanmıştır.

Bi vd. (2014)'nin yaptıkları "*Landslide susceptibility analysis based on ArcGIS and Artificial Neural Network for a large catchment in Three Gorges region, China*" isimli çalışmada Çin'deki 3209 km²'lik alan kaplayan Xiangxi havzasının heyelan duyarlılık YSA kullanılarak değerlendirilmiştir. Back-propagation eğitim algoritmasının kullanıldığı modelde; litoloji, eğim açısı, eğim eğriliği, akarsu ağı heyelanı hazırlayıcı faktörler olarak seçilmiş ve 6 girişli gizli katman kullanılmıştır. Önceki heyelan alanlarının dağılışına göre tüm haritalanmış heyelanların %19,5'i "düşük" ve "çok düşük" olarak sınıflandırılan, %69,3'ü "yüksek" ve "çok yüksek" olarak sınıflandırılan alanların içerisinde kalmaktadır. Heyelanların, düşük mekanik mukavemete ve kolayca ayrışan katmanlara sahip alanlarda belirgin şekilde daha sık görüldüğü özellikle de Silüriyen ve Jura oluşumları üzerinde yoğunlaştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Can (2014)'ın yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "*Yapay Sinir Ağları ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Farklı Algoritma Kullanımının Araştırılması*" isimli çalışmada Karabük ilinin heyelan duyarlılığı değerlendirilmiştir. Yazar çalışma sahasının heyelan envanterini, hava fotoğrafları ve Google Earth yardımı ile elde etmiştir. Duyarlılık değerlendirmesi için topografik yükseklik, yamaç eğimi, bakı, topografik nemlilik indeksi, litoloji ve NDVI girdilerini seçmiştir. Çalışmanın asıl amacı farklı YSA eğitim algoritmalarının heyelan duyarlılık değerlendirmesindeki tahmin kabiliyetini karşılaştırmaktır. Bu sebeple çalışmada duyarlılık analizi için; BBP, QP, LM ve CGD eğitim algoritmaları tek ve çift olmak üzere ikişer adet gizli katman kullanılarak toplamda sekiz model oluşturulmuştur. CGD algoritmasının BBP, QP ve LM algoritmalarına göre daha yavaş çalışmasına rağmen en iyi tahmin kapasitesine sahip olduğu, LM algoritmasının ise tahmin kapasitesinin hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tek gizli katman ile oluşturulmuş CGD ile eğitilmiş ağın AUC değeri 0.817 olarak hesaplanmış ve en yüksek kestirim kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür.

Al-batah vd. (2015)'nin "*Landslide Occurrence Prediction Using Trainable Cascade Forward Network and Multilayer Perceptron*" adlı çalışmada Malezya'nın Penang adasının heyelan duyarlılığı değerlendirilmiştir. Araştırmada Multilayer Perceptron (MLP) ve Cascade Forward Neural Network (CFNN) yöntemleri tanıtılmış

ve bu iki model on bir farklı makine öğrenmesi algoritması (*Levenberg Marquardt, Broyden Fletcher Goldfarb, Resilient Back Propagation, Scaled Conjugate Gradient, Conjugate Gradient with Beale, Conjugate Gradient with Fletcher Reeves updates, Conjugate Gradient with Polakribiere updates, One Step Secant, Gradient Descent, Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate ve Gradient Descent with Momentum algorithm*) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Modellerde, yükseklik, eğim açısı, eğim yönü, genel eğrisellik, profil eğriliği, plan eğriliği, arazi örtüsü, bitki örtüsü, faylara uzaklık, yollara uzaklık, drenaj ağlarına uzaklık, litoloji, toprak tekstürü ve yağış parametreleri girdi olarak kullanılmıştır. Sonuçlar; eğitim veri seti için Levenberg Marquardt öğrenme algoritmasının %81,62 oranında doğru olduğunu, test veri seti için CFNN'nin %82,89 ile en iyi tahmin doğruluğuna ulaştığını göstermiştir.

Dou vd. (2015)'nin yaptıkları "*An integrated artificial neural network model 46ort he landslide landslide susceptibility assessment of Osado Island, Japan*" isimli çalışmada, Japonya'nın Osado Adası'nın heyelan duyarlılığı YSA yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Heyelanı hazırlayıcı faktörler Certainty Factor (CF) yöntemi ile optimize edilmiştir. Buna göre giriş parametrelerinin CF değerleri pozitif olması durumunda heyelan oluşumu ile korelasyon gösterdiği belirtilmiştir. Pozitif CF değerleri nedeniyle; eğim açısı, eğim yönü, drenaj yoğunluğu ağı, jeolojik sınırlara uzaklık, faylara uzaklık, litoloji heyelan duyarlılığını belirlemek amacıyla seçilmiştir. Kurulan modelde back-propagation sinir ağı kullanılmış ve optimize edilen ve edilmeyen iki model karşılaştırılmıştır. Buna göre optimize edilen modelin AUC değeri 0,82, optimizasyon işleminden geçmeyen modelin AUC değeri ise 0,73 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmada kullanılan CF yöntemi heyelan oluşumu ile ilgili faktörleri seçmek için önerilmiş ve bu çalışma heyelan duyarlılık araştırmalarının iyileştirilmesi için temel teşkil ettiği belirtilmiştir.

Kumar vd. (2015)'nin yaptıkları "*Modeling of Landslide Susceptibility using based Back-Propagation Neural Network and GIS in Kothagiri Region, India*" isimli çalışmada, Hindistan'ın özellikle muson zamanlarında heyelandan oldukça fazla etkilenen bölgesi olan Batı Ghats bölgesinin heyelan duyarlılığını, YSA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Back-propagation temelli YSA ile kurulan modelde; yağış, eğim, bakı, yükselti, plan eğriliği, jeoloji, toprak tekstürü, NDVI, arazi kullanımı, arazi örtüsü, yollara uzaklık, akarsulara uzaklık, faylara uzaklık, akarsu güç indeksi parametrelerini

girdi olarak kullanılmıştır. Heyelan envanterinden elde edilen 84 heyelan sahasının %70'i modelleme amacıyla seçilmiş geri kalanı doğrulama için kullanılmıştır. Sonuçlar heyelan sahalari ile yüksek hassasiyetli olarak tahmin edilen yerlerin uyumlu olduğunu göstermiştir. ROC yöntemi ile test edilen YSA modelinin %87,50 oranında doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışma sonucu üretilen heyelan duyarlılık haritasının genel planlama ve değerlendirme amaçları için kullanılabilereği vurgulanmıştır.

Pradhan vd. (2016)'nin "*Landslide susceptibility mapping of Phewa catchment using multilayer perceptron artificial neural network*" adlı çalışmada batı Nepal'in Phewa havzası heyelan duyarlılığı multilayer perceptron artificial neural network (MLP-ANN) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kurulan sinir ağı modeli; bakı, yükseklik, eğim, iç kabartma, eğim şekli, drenaja uzaklık, drenaj yoğunluğu, akarsu güç indeksi, topografik ıslaklık indeksi, tortul taşıma indeksi, arazi örtüsü ve jeoloji parametreleri heyelan duyarlılığını açıklayıcı faktörler olarak seçilmiştir. Heyelan envanteri, CBS'de önceki raporlar ve uydu fotoğraflarına dayanarak hazırlanmıştır. Model çıktılarının başarı oranı %82,1 iken tahmin doğruluğu %91,4 olarak hesaplanmıştır.

Saro vd. (2016)'nin yaptıkları "*The spatial prediction of landslide susceptibility applying artificial neural network and logistic regression models: A case study of Inje, Korea*" adlı çalışmada; araştırmacılar, Kore'nin Inje kentinin toprak kaymasına duyarlı olan alanlarını yapay sinir ağları ve lojistik regresyon yöntemleri ile değerlendirmişler ve bu iki yöntemin kestirim kabiliyetlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma alanında gerçekleşen önceki heyelanlar hava fotoğraflarının yorumlanması ve arazi çalışmaları ile belirlenmiştir. Heyelan duyarlılığını analiz edebilmek amacıyla CBS kullanılarak, eğim, bakı, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, litoloji, orman çapı, orman yaşı, orman yoğunluğu, toprak topografyası, toprak drenajı, toprak materyali, toprak kalınlığı, toprak tekstürü parametreleri hazırlanmıştır. YSA modelinde, eğim parametresi 1.330 ile en yüksek ağırlığa sahiptir. Bu parametreler modellere girdi olarak sunulmuş ve en sonunda modellerin doğrulukları test edilmiştir. Doğrulama sonuçları YSA modelinin %80,10 doğrulukla, LR modelinin ise %77,05 doğrulukla heyelan duyarlılık tahmini yaptığını göstermiştir.

Wang vd. (2016)'nin yaptığı "*Landslide susceptibility mapping at Gongliu country, China using artificial neural network and weight of evidence models*" isimli çalışmada, Çin'in Gongliu şehrinin heyelan duyarlılık değerlendirmesi Yapay Sinir

Ağları (YSA) ve Weights of Evidence (WoE) modellerine göre yapılmıştır. Eğim açısı, eğim yönü, genel eğrilik, plan eğriliği, profil eğriliği, yükselti, nehirlerle uzaklık, yollara uzaklık, litoloji, yağış, normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), tortu taşıma indeksi (STI) parametrelerinin kullanıldığı analizler AUC yöntemi ile doğrulanmıştır. Doğrulama sonuçları %82,51 başarı oranı ve %77,31 tahmin doğruluğu olan YSA modelinin WoE (başarı oranı %79,82; tahmin doğruluğu %74,59) modelinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bunun dışında her iki model de hemen hemen aynı sonuçları göstermiş ve üretilen heyelan duyarlılık haritaları başarılı olmuştur.

Aditian vd. (2017)'nin "*Causative Factors Optimization Using Artificial Neural Network for GIS-based Landslide Susceptibility Assessments in Ambon, Indonesia*" adlı çalışmada, Endonezya'nın Ambon şehrinin heyelan duyarlılığını belirlemek ve heyelana etki eden faktörlerin optimize edilmesi amacıyla yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Duyarlılık modellemesi için; yükseklik, eğim açısı, eğim yönü, litoloji, jeolojik yoğunluk, akarsulara yakınlık, faylara yakınlık ve yol ağlarına yakınlık heyelana etki eden faktörler olarak seçilmiştir. Heyelan oluşumuna en fazla etki eden faktörler jeolojik yoğunluk ve yollara yakınlık olarak bulunmuştur. Akarsulara yakınlık ve eğim yönü ise en az etkili faktörler olarak bulunmuş ve bu iki faktör optimize edilerek modelden kaldırılmıştır. Sekiz ve altı parametre kullanılarak oluşturulan iki modelden altı parametrelili olan diğerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. İki modelin AUC değerleri; altı parametrelili olan için 0,777 iken sekiz girdi parametrelili model için 0,717 olarak hesaplanmıştır. Çıktı duyarlılık haritaları, Jenks doğal kırılma yöntemi ile "çok düşük" ile "çok yüksek" arasında değişen beş duyarlılık kategorisinde yeniden sınıflandırılmıştır.

Wang vd. (2017)'nin yaptıkları "*Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility*" adlı çalışmada, Çin'in Shaanxi Eyaletinde bulunan Baoji şehrinin kuzeybatısında yer alan Changshou Vadisi araştırma sahası olarak belirlenmiştir. YSA ile değerlendirilen heyelan duyarlılık çalışmalarında ağırlıklarının rastgele seçilmesinden dolayı optimizasyonun yapılamadığı gerekçesi ile araştırmacılar genetik algoritma temelli YSA ile oluşturdukları hibrit bir model ile heyelan duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Modelde girdi olarak; eğim açısı, eğim yüksekliği, eğim yönü, eğim morfolojisi gibi topografik

faktörlerle beraber insan aktivitesi ve akarsulara uzaklık gibi çevresel faktörler kullanılmıştır. Genetik algoritma ile birleştirilmiş geri yayımlı sinir ağı (BPNN) heyelan duyarlılık tahmininde %86,46 oranında doğruluğu yakaladığı görülmüştür. Özetle, genetik algoritma tabanlı YSA'ların heyelan duyarlılığını yüksek doğrulukla tahmin etmek için etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gong vd. (2018)'nin yaptıkları "*Application of GIS-Based Back Propagation Artificial Neural Networks and Logistic Regression for shallow Landslide Susceptibility Mapping in South China-Take Meijiang River Basin as an Example*" isimli çalışmada; Çin'deki Meijiang akarsu havzasının heyelan duyarlılığının belirlenmesi amacıyla YSA ve lojistik regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Kurulan modeller, yükselti, eğim açısı, eğim yönü, topografik rölyef, faylara uzaklık, kayaç tipleri, toprak tipleri, arazi kullanımı, NDVI, maksimum yağış yoğunluğu, akarsulara uzaklık girdilerine göre oluşturulmuştur. Doğrulama sonuçları YSA'nın %82,6, lojistik regresyonun ise %75,4 sınıflandırma yüzdesine sahip olduğunu göstermiştir. Buna göre YSA'nın kestirim kapasitesinin lojistik regresyon yöntemine göre daha doğru olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca eğim, kayaç tipleri ve arazi kullanım türlerinin çalışma sahasındaki heyelan oluşumunda ana faktörler olduğu belirlenmiştir.

Kalantar vd. (2018)'nin yaptıkları "*Landslide susceptibility mapping at Dodangeh watershed, Iran, using LR and ANN models in GIS*" isimli çalışmada; araştırmacılar, İran'ın Mazandaran şehrindeki Dodangeh havzasının heyelan duyarlılığını YSA ve lojistik regresyon (LR) kullanarak değerlendirmiş ve bu iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Modeller; yükselti, eğim açısı, eğim en boy oranı, plan ve profil eğrilikleri, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, akarsu güç indeksi, topografik nemlilik indeksi, tortu taşıma indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, arazi kullanımı ve litoloji parametrelerine göre kurulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre LR modelinin AUC değeri 0,872 ve genel doğruluğu %82,59, YSA'nın ise AUC değeri 0.77, genel doğruluğu %71 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak iki yöntemde heyelan duyarlılığının belirlenmesinde tatmin edici sonuçlar verdiği görülmüştür.

Reichenbach vd. (2018), "*A review of statically-based landslide susceptibility models*" isimli derleme çalışmasında, istatistiki teknikler kullanılarak heyelan duyarlılık haritalaması üzerine 1983-2016 yılları arasında, hakemli dergilerde yayınlanan 565 makaleyi karşılaştırarak eleştirmiştir. Araştırmalar; çalışma alanı, kapsamı, heyelan

türü, sayısı, değişken türleri, kullanılan yöntem, kurulan model, tahmin, performans değerlendirme yöntemi gibi kategorilerde değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde en çok kullanılan yöntemlerin lojistik regresyon ve yapay sinir ağları olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Makalenin sonunda, incelenen çalışmaların bibliyografyası Zotero web bağlantısı olarak eklenmiştir.

Ortiz vd. (2018)'nin yaptıkları "*A neural network model applied to landslide susceptibility analysis (Capitanejo, Colombia)*" isimli çalışmada, yükseklik, bakı, eğrilik, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, eğim, buruşukluk, akarsu güç indeksi, topografik nemlilik indeksi parametreleri heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak düşünülmüş ve modeller bu girdiler kullanılarak oluşturulmuştur. Levenberg–Marquardt (LM), scaled conjugate gradient (SCG), resilient backpropagation (RP) ve gradient descent (GDX) eğitim algoritmaları kullanılarak farklı modeller kurulmuş bu modellerin hepsi ortalama kare hata ve R^2 doğrulama yöntemleri ile test edilmiştir. Çalışma sonucunda sunulan duyarlılık haritası, SCG geri yayılım algoritması ile 20 nöron kullanılarak oluşturulan model çıktısıdır. Bu modelin doğruluğu R^2 : 0.9947 ve AUC: 0.988 olarak hesaplanmıştır.

Pourghasemi vd. (2018), "*Prediction of the landslide susceptibility; Which algorithm, which precision?*" isimli çalışmada; Yapay Sinir Ağları (YSA), boosted regression trees (BRT), classification and regression trees (CART), generalized linear model (GLM), multivariate adaptive regression splines (MARS), naive bayes (NB), quadratic discriminant analysis (QDA), random forest (RF), support vector machines (SVM) gibi 10 farklı makine öğrenmesi yöntemi kullanarak İran'ın Gazzeşehir bölgesinin heyelan duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Sonuçlar karşılaştırıldığında 10 makine öğrenmesi yöntemi için AUC değerlerinin %62,4 ila 83,7 arasında değiştiğini göstermiştir. Rastgele orman (AUC %83,7) ve güçlendirilmiş regresyon ağaçları (AUC %80,7) diğer yöntemlere kıyasla en iyi performansa sahip olduğu bulgusuna ulaşmıştır.

Qiu vd. (2018)'nin yaptıkları "*Loess slide susceptibility assessment using frequency ratio model and artificial neural network*" isimli çalışmada; Çin'deki Loess Platosu'nun üzerinde killi ve kumlu balçık (lös) arazilerin kayma türü heyelan duyarlılığı modellenmiştir. Duyarlılık haritalaması için frekans oranı ve YSA yöntemleri ile iki farklı model kullanılmış, çalışmanın sonunda model kestirim kabiliyetleri karşılaştırılmıştır. Modellerde heyelanı hazırlayıcı faktörler olarak; yükseklik, eğim

gradyanı, eğim yönü, profil eğriliği, lös kalınlığı, yağış, topografik nemlilik indeksi, vadi derinliği, akarsulara uzaklık ve arazi kullanım parametreleri kullanılmıştır. Sonuç olarak frekans oranı ve YSA modellerinin AUC değerlerinin sırasıyla 0.89 ve 0.88 olduğunu göstermiştir. Frekans oranı modeli uygulanmasının YSA'ya göre daha kolay olmasına rağmen ikisinin de eşit derecede kestirim kabiliyetine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Can vd. (2019), "*Landslide susceptibility mapping at Ovacık-Karabük (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms*" adlı çalışmada; yapay sinir ağları yöntemi ile Karabük'ün Ovacık ilçesinin heyelan duyarlılığının belirlenmesinde 4 farklı eğitim algoritmasının karşılaştırmasını yapmışlardır. Batch backpropagation (BBP), quick propagation (QP), conjugate gradient descent (CGD) ve Levenberg-Marquardt (LM) olmak üzere dört farklı eğitim algoritmasını tek ve çift gizli katman kullanarak toplamda 8 farklı model kurmuşlardır. Heyelana duyarlı alanların belirlenmesi amacıyla; topografik yükseklik, eğim açısı, bakı, topografik ıslaklık indeksi, litoloji ve vejetasyon indeks parametreleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda CGD eğitim algoritmasının en yavaş olmasına rağmen en yüksek performansla çalıştığı görülmüştür.

Luo vd. (2019)'nin yaptıkları "*Mine landslide susceptibility assessment using IVM, ANN and SVM models considering the contribution of affecting factors*" isimli çalışmada; Çin'in Shangli şehrindeki maden alanlarının heyelan duyarlılığı Yapay Sinir Ağları (YSA), Support vector machine (SVM) ve Information Value Model (IVM) algoritmaları ile değerlendirilmiş ve bu tekniklerin sunduğu çıktıları ROC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Heyelan duyarlılığını belirlemek amacıyla; yükseklik, eğim yönü, eğim açısı, plan eğriselliği, profil eğriselliği, yıllık ortalama yağış, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, akarsu yoğunluğu, otoyol yoğunluğu, NDVI, litoloji, toprak ıslaklık derecesi, şehir arazi kullanım indeksi ve NDWI (Normalize Difference Water Index) parametreleri girdi olarak kullanılmıştır. Heyelan envanterinden elde edilen 493 kayıtlı heyelan modellerin eğitimi için sayısallaştırılmıştır. Sonuç olarak; YSA modelinin en yüksek performanslı tahmin kabiliyetine ulaştığını göstermiş ve bunu SVM ve IVM modelleri izlemiştir. Üç modelin AUC değerleri; YSA için 0.867, SVM için 0,815 ve IVM için 0.763'tür. YSA modelinin en yüksek doğrulukla sonuç üretmesi

bu tekniğin karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerle başa çıkabilme kabiliyetinden kaynaklanmaktadır.

Oliveira vd. (2019)'nin yaptıkları "*Random forest and artificial neural networks in landslide susceptibility modeling: a case study of the Fao River Basin, Southern Brazil*" isimli çalışmada, Brezilya Fao akarsu havzasının heyelan duyarlılığı random forest (RF) ve yapay sinir ağları (YSA) ile modellenmiştir. Heyelan duyarlılığını değerlendirmek amacıyla yalnızca DEM verisi kullanılarak; bakı, eğim, eğrilik planı, LS faktör, topografik nemlilik indeksi, vadi derinliği, kanal ağına dikey mesafe, sırtlara yatay mesafe, kanal ağına yatay mesafe gibi faktörler hazırlanmıştır. Özellikle toprak, jeomorfoloji ve jeoloji gibi veriler kullanılmamıştır. Yazarlar bu şekilde kurulan modelin küresel olarak herhangi bir konum için de kullanılabileceğini not etmişlerdir. Sonuç olarak RF ve YSA ile kurulan modellerin doğrulukları, AUC: 0,9'un üzerinde hesaplanmıştır. Duyarlı alanlar, mekânsal kümelenmeleri takiben nehir kanallarına daha yakın olan dağların eğimli kısımlarında toplanmıştır. İki farklı modelin sonuçlarındaki önemli farklılıklar ise RF ve YSA algoritmalarının haritalanmasındaki farklılıktan dolayı olduğu belirtilmiştir.

Tekin vd. (2019), "*Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Ermenek Havzası'nın (Karaman) Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi*" isimli çalışmasında Ermenek Havzası'nın kayma türü heyelan duyarlılık analizi için kurduğu modelde; jeoloji, sayısal yükseklik modeli, pürüzlülük indeksi, yamaç eğrisellikleri ve yamaç eğimi, ortalama eğim, yüzey-rölyef oranı, topografik nemlilik indeksi parametrelerini kullanmıştır. Modelin, AUC değeri 0.893 olarak hesaplanmış ve tahmin kabiliyetinin yüksek olduğu görülmüştür.

Bragagnolo vd. (2020)'nin yaptıkları "*Artificial neural network ensembles applied to the mapping of landslide susceptibility*" adlı çalışmada, YSA ile belirlenen heyelan duyarlılık haritalamalarının geliştirilmesine yönelik Artificial Neural Network Ensembles (ANNE) yöntemi önerilmiş ve bu yöntem kullanılarak iki farklı saha kullanılarak uygulama yapılmıştır. Model girdisi olarak; yükseklik, eğrisellik, eğim, topografik nemlilik indeksi, profil eğriliği, litoloji ve arazi kullanımı parametreleri kullanılmıştır. Sonuçlar, ANNE yönteminin, koşullandırma faktörleri arasındaki ilişkileri belirleyebildiğini ve geleneksel metodolojilerle elde edilen duyarlılık haritalarına uygun, tutarlı sonuçlar oluşturabildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar,

önerilen yöntemin güvenilir heyelan duyarlılık haritalarının geliştirilmesine yardımcı olmak için etkili bir araç olabileceğini ortaya koymuştur.

Sameen vd. (2020)'nin yaptıkları, "*Application of convolutional neural networks featuring Bayesian optimization for landslide susceptibility assessment*" isimli çalışmada; Güney Kore'nin Güney Yangyang Eyaleti'nin heyelan duyarlılığı, tek boyutlu convolutional network (1D-CNN) ve Bayes optimizasyonu kullanılarak derin öğrenme tabanlı bir teknik ile değerlendirilmiştir. Toplamda YSA, CNN ve SVM olmak üzere 3 farklı algoritma kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modelleme için elde edilen heyelan envanterinde 219 kayma türü heyelan kullanılmıştır. Heyelanların bir kısmı dik arazilere yayılmışken diğer kısmı düz arazilere yayılmıştır. Kurulan modelde; yükselti, eğim, bakı, toplam eğrilik, plan eğriliği, profil eğriliği gibi topografik faktörler, akarsu güç indeksi, sediment taşıma indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, topografik nemlilik indeksi gibi hidrolojik faktörler ve litoloji, toprak tipleri, arazi kullanımı, orman özellikleri gibi çevresel faktörler kullanılmıştır. Veri ön işleme sırasında kullanılan random forest (RF) yöntemi ile heyelan hazırlayıcı faktörler arasından önemli olanlar korunmuş diğerleri elenmiştir. Bu sayede bilgi boyutluluğu azaltılmış ve gereksiz model şişmesi önlenmiştir. CNN hiperparametrelerini belirlemek amacıyla Bayes optimizasyonu kullanılmış ve bu sayede küçük eğitim verisi kullanılan araştırmada aşırı uyma (overfitting) sorununun önüne geçilmiştir. Ayrıca Bayes optimizasyonu CNN doğruluğunu %3 artırmıştır. Kurulan modellerin kestirim kabiliyetleri AUC yöntemi ile test edilmiş ve en yüksek doğruluğun CNN (0,880) algoritması kullanılarak oluşturulan model olduğu görülmüştür. YSA'nın AUC değeri 0,797, SVM'nin ise 0,808 olarak hesaplanmıştır.

1. BİRİNCİ BÖLÜM

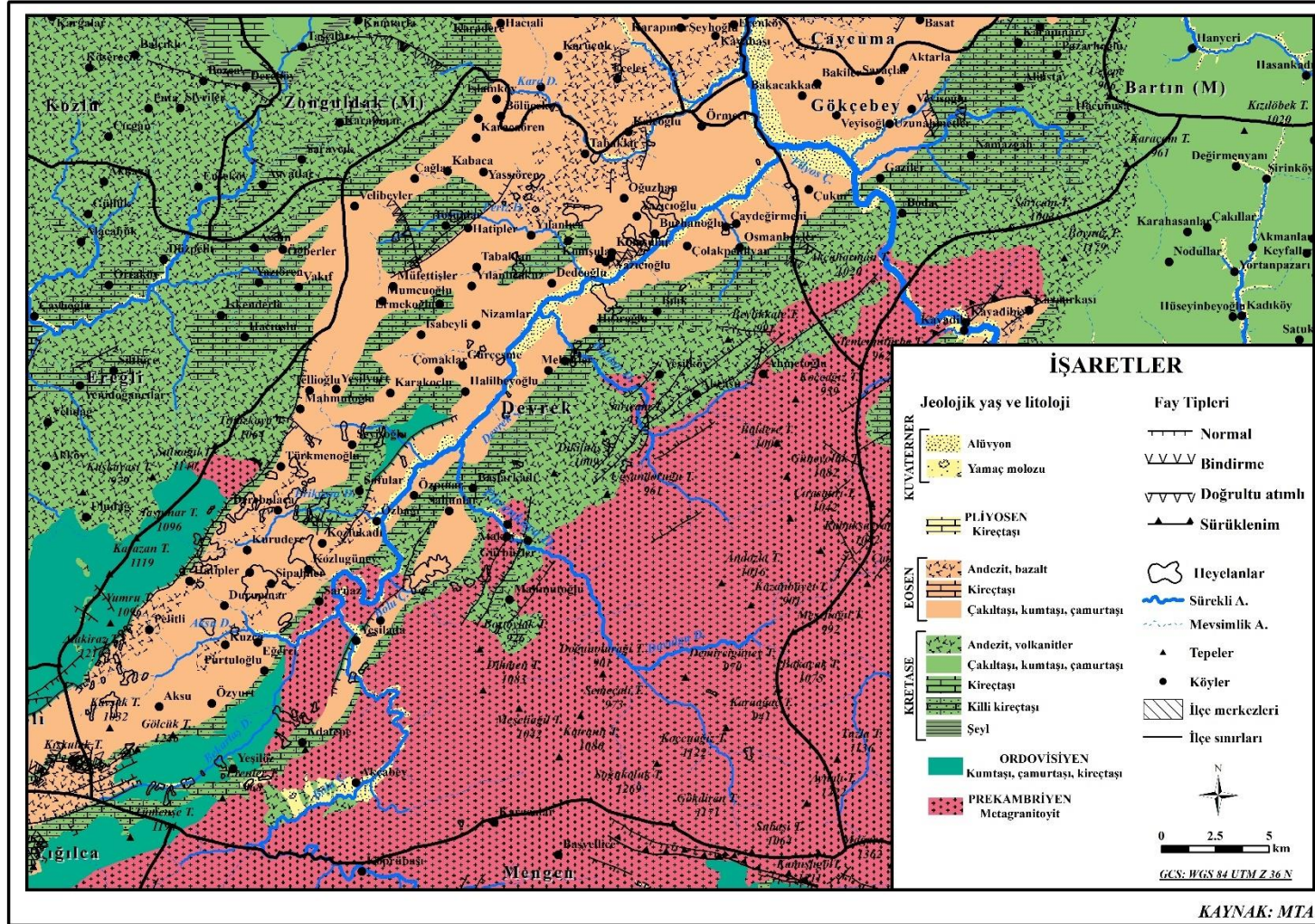
ARAŞTIRMA ALANININ GENEL FİZİKİ COĞRAFYA ÖZELLİKLERİ

1.1. Araştırma Alanının Genel Jeolojik Özellikleri

Devrek ve çevresinin jeolojik özelliklerinin anlatıldığı bu bölüm için literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş, MTA'dan temin edilen jeoloji verisinden faydalanılarak üretilen harita yorumlanmıştır.

Çalışma sahası ve yakın çevresinde Prekambriyen-Kuvaterner arası çeşitli jeolojik devirlere ait araziler bulunmaktadır. Sahanın doğu kesiminde bulunan Prekambriyen yaşlı metagranitoyit tabanlı arazi, karasal kökenlidir. Batı kesimdeki Eosen sedimanter arazi şelf-yamaç ve yamaç özelliği taşımaktadır. Mekekler, Yeşilköy, Akçasu köylerinin bulunduğu ve normal faylarla parçalanmış sahada yüzeyleyen Kretase volkanikleri ise yamaç kökenlidir. Sahanın doğu kesiminde bulunan Prekambriyen metagranitoyiti Batı Pontid kuşağının doğu kesiminde kalan Bolu masifinin parçasıdır (Aksay vd., 1991). Bu sert kütlelerin üzeri ormanlarla kaplıdır ve yerleşme bakımından seyreklerdir. Çalışma sahasında Sarnaz, Erçi köyleri ve Derebulaca köyünün batısında faylarla parçalanmış sahalarda masifin yüzeye çıktığı görülmektedir (Harita 3). Devrek ile Yığılca ilçesi sınırında Gölcük Tepesi ile Erenler Tepesi arasında Bekartaş Deresi'nin açtığı vadide ve Aksu Deresi'nin kaynağını teşkil eden yüksek tepelik sahada Ordovisyen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı bulunmaktadır. Devrek idari sınırları dahilinde Kretase killi kireçtaşları güneydoğu-kuzeybatı doğrultulu ince hatlar halinde yer yer görülmektedir. Özellikle ilçe merkezinin doğusundan Bartın'a doğru uzanan hatta yüzeye çıkmıştır. Ayrıca Ereğli, Kozlu, Zonguldak'ta bulunan Kretase andezit ve volkanitlerin devamı olan volkanik kayalar, sahada killi kireçtaşı hattı ile beraber kuzeydoğuya doğru uzanmaktadır. Çalışma alanında heyelanların en fazla görüldüğü sahanın temeli Eosen çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, miltaşı, çamurtaşı, kiltası gibi sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Devrek ilçe merkezinin yanı sıra Oğuzhan, Yazıcıoğlu, Yılanca, Yassıören, Kabaca, Karacaören köyleri bu temel üzerine kurulmuştur.

Sahada Kuvaterner'e ait arazileri ise akarsuların açtığı vadilerdeki alüvyonlar ve yamaç molozları oluşmaktadır. Özellikle geniş tabanlı vadilerde alüvyonlar, Bolu Çayı'nın açtığı vadide ise yamaç molozu görülmektedir.



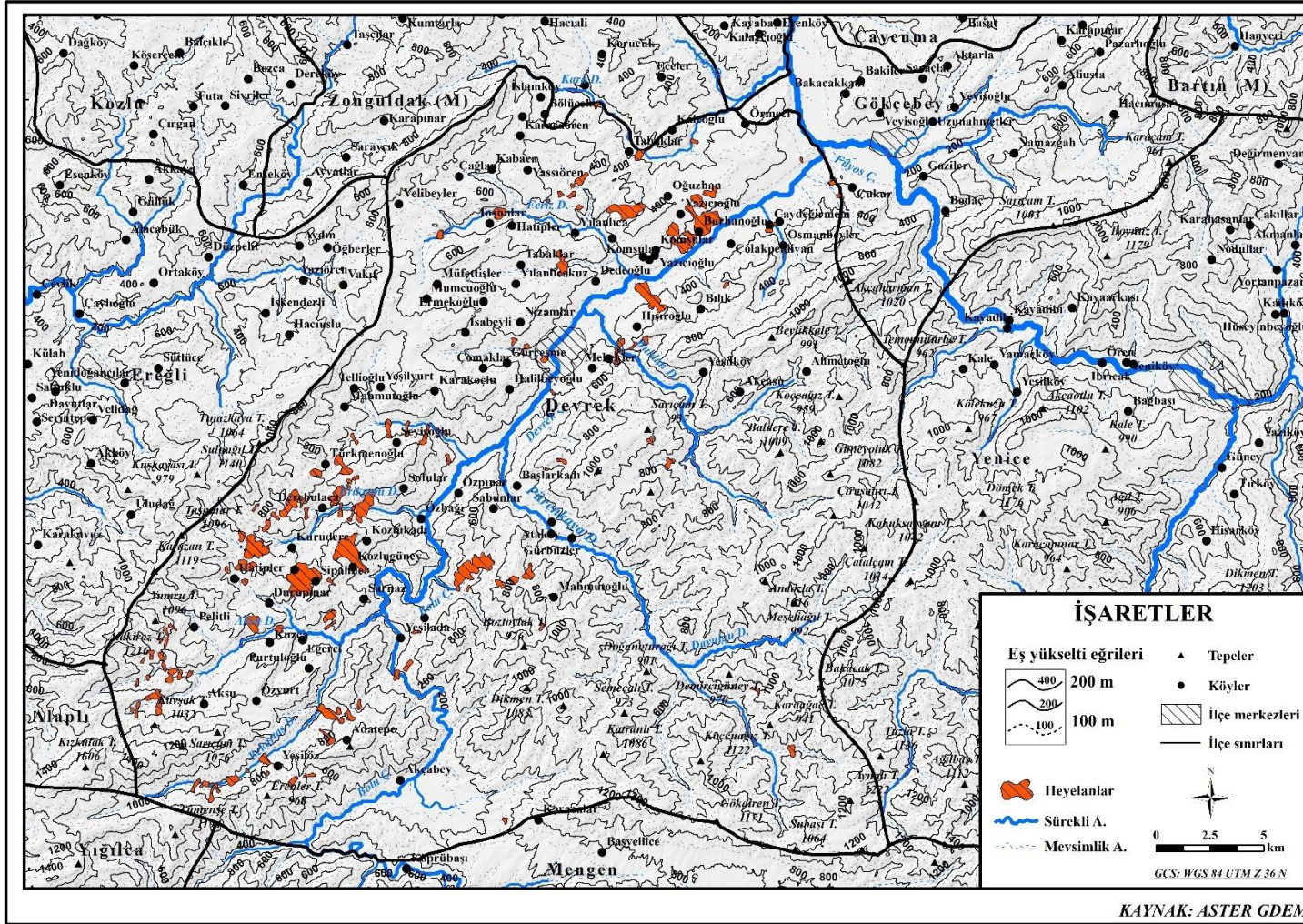
Harita 3. Devrek ilçesi ve çevresinin jeoloji haritası.

1.2. Araştırma Alanının Topografya Özellikleri

Bu bölümde çalışma alanının genel topografyasını karakterize eden yükselti, eğim ve bakı özellikleri açıklanmıştır. Bu özelliklerin sahadaki heyelanlara etkisi ve kurulan modellerdeki rolleri son bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde yalnızca sahanın genel topografik karakteri, harita ve grafikler yardımıyla tanımlayıcı bir üslupla yorumlanmıştır.

Sahanın topografik karakterinin analiz edilebilmesi amacıyla hazırlanan topografya (Harita 4) haritasında sahanın doğu kesimindeki izohipslerin batıya göre daha sık olduğu görülmektedir. Buna göre doğudaki tepelik alanın akarsular ile parçalandığı ve bu kesimin aynı zamanda jeomorfolojik bakımdan genç olduğu söylenebilir. Ayrıca doğuda; eğim derecelerinin dike yakın olduğu, nispeten yüksek ve arızalı kesimden kaynağını alan akarsuların akış hızı yüksek ve taşıdığı yük miktarı da fazladır. Akarsu ağı sisteminin fazla gelişmediği bu kesimde Devrek Çayı'na bağlanan iki tane yan kol (subsekant) bulunmaktadır. Buldan Deresi ve Pürenkaya Deresi isimli bu akarsular ve bunlara bağlanan küçük mevsimlik dereler, doğudaki tepelik sahayı jeomorfolojik bakımdan işleyen en önemli etkenlerdir.

Batı kesimde doğuya nazaran daha fazla akarsu bulunmaktadır. Bunların başında Bekartaş Deresi, Aksu Deresi, Erikyanı Deresi ve Feriz Deresi gelmektedir. Bu derelerin kaynağını aldıkları yüksek sahalara düşen yağış, akarsu yatağı boyunca aşındırdığı malzemeye beraber Devrek Çayı'na karışmaktadır. Batıdaki akarsu ağının doğu kesimdeki akarsu ağına göre daha yoğun olması litolojik farklılıklara dayanmaktadır. Batı kesimde ayrışması kolay çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı gibi tortul kayalar, doğu kesimde ise ayrışmanın zor olduğu yekpare halde uzanan metagranitoyit bloku bulunmaktadır. Batıdaki akarsular kolay ayrışan arazi üzerinde birçok yatak oluşturup ana akarsuya farklı konumlardan kanalize olabiliyorken, doğu kesimde sert magmatik kayalar üzerinde kurulmuş olan sınırlı sayıdaki akarsular, yüksek kesimlerden topladıkları suyu daha önce isimleri geçen iki akarsuyun yatakları boyunca Devrek Çayı'na taşımaktadır.

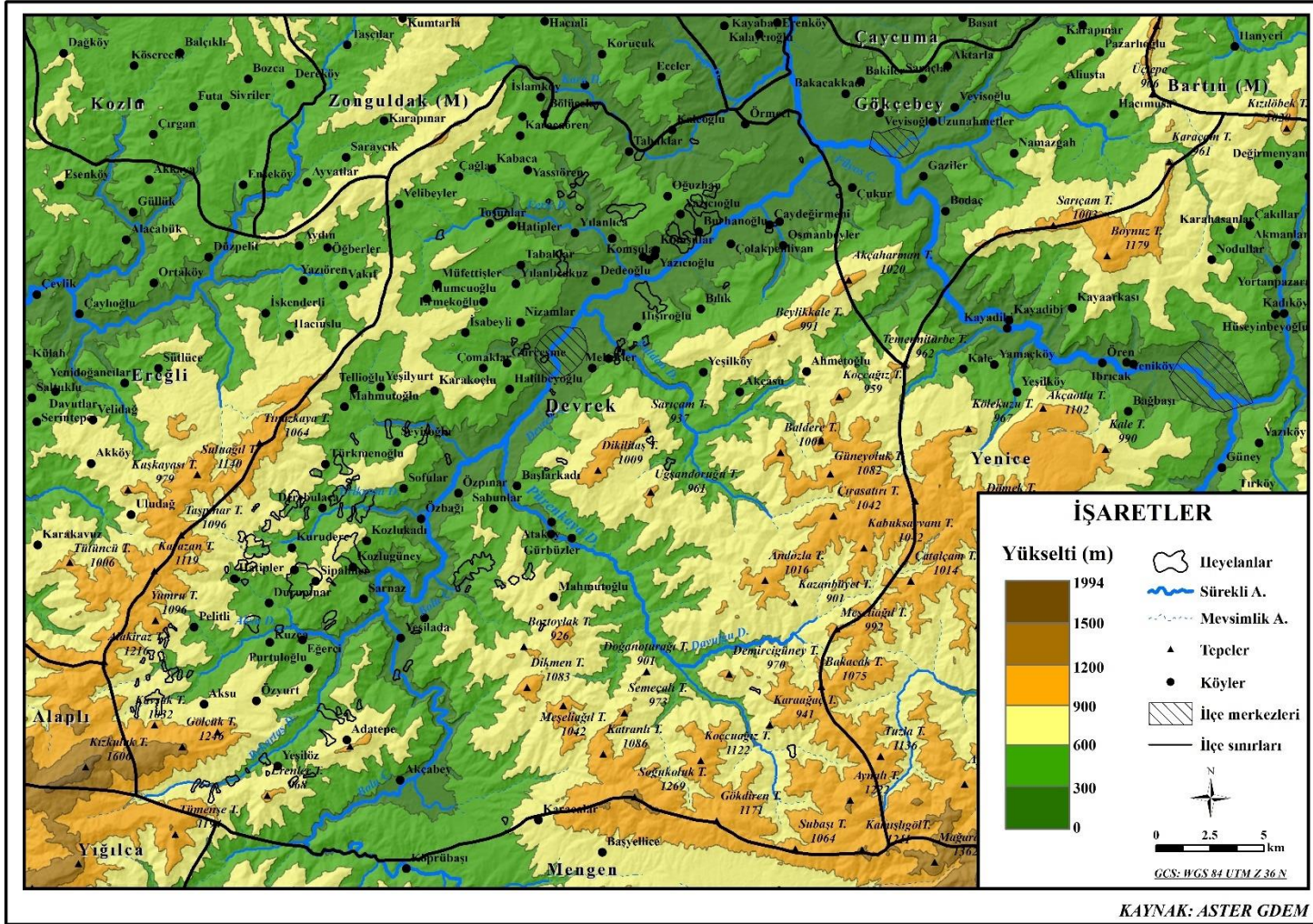


Harita 4. Devrek ilçesi ve çevresinin topografya haritası.

1.2.1. Yükselti

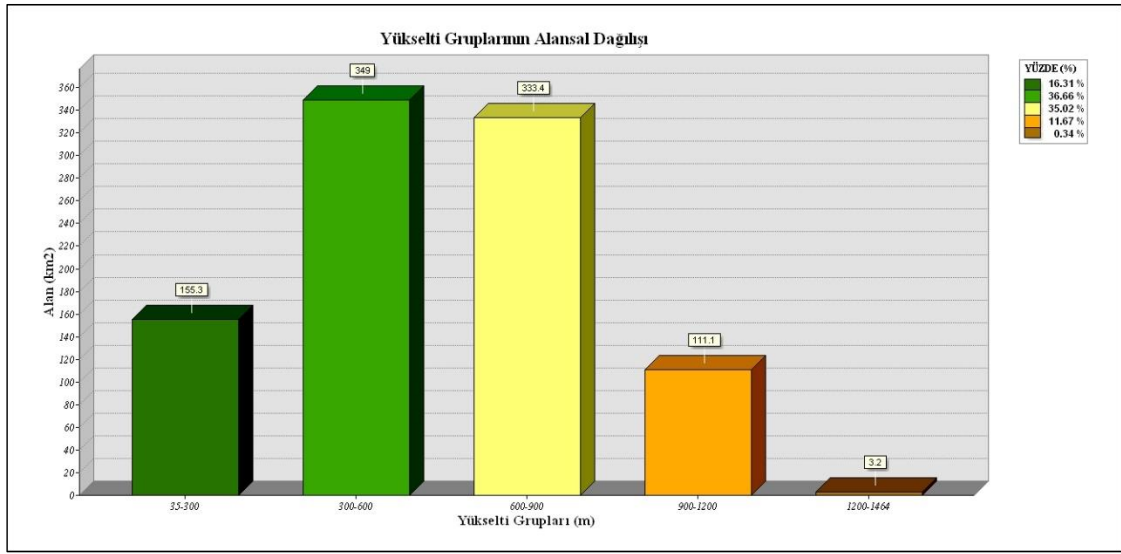
İlçe sınırının kuzeyinde kalan Devrek Çayı'nın, Filyos Çayı'na bağlandığı saha 35 metre yükseklik ile çalışma alanının en alçak kesimini oluşturmaktadır. İlçenin güneyinde Devrek ile Alaplı ilçesinin idari sınırları arasında bulunan tepelik saha ise araştırma alanının en yüksek bölümünü (1464 m) teşkil etmektedir. Sahadaki yükselti farkı 1429 metredir. Harita 5 incelendiğinde, arazinin genel itibariyle güneyden kuzeye doğru alçalması ve akarsu vadilerinin kuzeye doğru genişlemesi, aynı yönde akış gösteren Devrek Çayı ve ona bağlı yan kolların aşındırma-taşıma faaliyetleri sonucu olduğu göze çarpmaktadır. Burdan yola çıkarak batı ve doğuda bulunan tepelik alanların arasında bir oluk halinde kuzeye doğru uzanan Devrek Çayı'nın, ilçeyi iki parçaya ayırdığı ve sahanın topografyasını şekillendiren en önemli etken olduğu söylenebilir.

Sahanın batı ve doğusunda kalan tepelik alanlar Devrek Çayı'nı besleyen yan kollar tarafından parçalanmıştır. Batı kesimin doğuya göre daha fazla aşındırılması sonucu daha düz ve düze yakın alanlar ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak yerleşmeler de bu sahada kurulmuştur. Doğu kesimde ise yerleşmelerden ziyade tepelik orman alanları bulunmaktadır. İlçeyi, Devrek Çayı'nın talveg çizgisinden batı ve doğu olarak ikiye bölersek 1000 metre üzerinde toplamda 21 tane bulunan tepenin yalnızca 5 tanesinin (*Gölcük Tepesi (1246 m)*, *Alakiraz Tepesi (1216 m)*, *Yumru Tepesi (1096 m)*, *Sarıçam Tepesi (1076 m)*, *Kavşak Tepesi (1032 m)*) batı kesimde olduğu, geri kalan 16 tepenin (*Soğukoluk Tepesi (1269 m)*, *Aynalı Tepesi (1222 m)*, *Kamışlıgöl Tepesi (1211 m)*, *Gökdiiren Tepesi (1171 m)*, *Koçcucağz Tepesi (1122 m)*, *Katranlı Tepesi (1086 m)*, *Dikmen Tepesi (1083 m)*, *Güneyoluk Tepesi (1082 m)*, *Sarıçam Tepesi (1076 m)*, *Subaşı Tepesi (1064 m)*, *Kabuksayvanı Tepesi (1042 m)*, *Çırasatırı Tepesi (1042 m)*, *Meşeliağul Tepesi (1042 m)*, *Gergengere Tepesi (1034 m)*, *Andozla Tepesi (1016 m)*, *Baldere Tepesi (1009 m)* ve *Dikilitaş Tepesi (1009 m)*) ise doğu kesimde kaldığı görülmektedir. Bu durum sahanın doğu kesiminin batıya göre daha sert litolojik kütlelerden oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca batıdaki akarsuların doğudakilere göre daha kısa olması, doğudaki akarsuların uzun olmasına karşın sayılarının az olması bu duruma kanıt olarak sunulabilir. Doğuda bulunan metagranitoyit kütlesi aşınımı zor olduğundan akarsu yatağının, aşındırılması daha kolay olan sedimanter kayaçlar üzerine kurulduğu görülmektedir.



Harita 5. Devrek ilçesi ve çevresinin fiziki haritası.

Çalışma sahasında yükselti gruplarının alansal dağılışı grafiğine göre özellikle 300 ile 900 metre arasındaki yükseltilerdeki arazilerin yoğun olduğu göze çarpmaktadır (Grafik 3). Fiziki harita ve alan grafiğindeki yükselti gruplarının sınıflandırılması; Jenks'in doğal kırılımlar optimizasyonundan (*Jenks natural breaks optimization*) elde edilen sonuçların yuvarlanmasıyla oluşturulmuştur. Bu optimizasyon, haritalama uygulamalarında kullanılmak üzere elde edilen değer aralığının farklı sınıflara en iyi şekilde nasıl dağıtılacağını belirlemek için hazırlanmış bir veri kümeleme tekniğidir (Jenks, 1967).

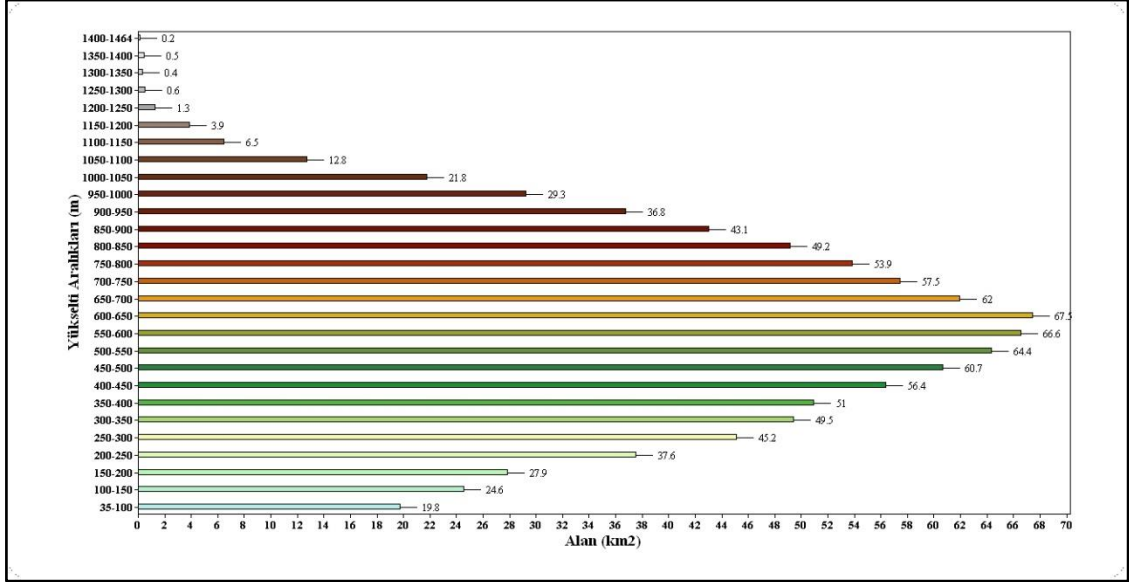


Grafik 3. Devrek ilçesinde yükselti gruplarının alansal dağılışı grafiği.

Yükselti gruplarının ikinci kategorisini oluşturan 300 ile 600 metre arasındaki yükseltiye sahip alanlar (%36) kabaca sahada bulunan vadi yamaçlarını temsil etmektedir. Bir diğer kategori olan 600 ile 900 metre arasında kalan sahalarda (%35) ise alçak plato yüzeylerine denk gelmektedir. En alçak kesimlerin bulunduğu 35 ile 300 metre arasında yükseltiye sahip alanlar (%16) ise vadi tabanları ve ovalık alanları olarak tasvir edilebilir. Sahanın batı ve doğusunu kuşatan tepelik alanlar ise 900-1200 metre aralığında (%11) bulunmaktadır. En az alan kaplayan 1200-1464 metre aralığındaki sahalarda (%3) ise ilçenin güneyinde özellikle Alaplı ve biraz da Mengen sınırındadır.

Sahadaki yükselti basamakları 50 m aralıkla incelendiğinde; en fazla yer kaplayan ve 600-650 m aralığında kalan yükseltiye sahip alanlar 67,6 km² (%7,1), 66,6 km² (%7) ile 550-600 aralığında bulunmaktadır. Ardından 64,5 km² (%6,8) ile 500-550 m aralığında, 62 km² (%6,5) ile 650-700 m aralığında, 60,8 km² (%6,4) ile 450-500 m

aralığında, 57,6 km² (%6) ile 700-750 m aralığında, 56,5 km² (%5,9) ile 400-450 m aralığında, 54 km² (%5,7) ile 750-800 m aralığında, 51,1 km² (%5,4) ile 350-400 m aralığında, 49,5 km² (%5,2) ile 300-350 m aralığında bulunan yükseltiye sahip sahalara yer almaktadır (Grafik 4).

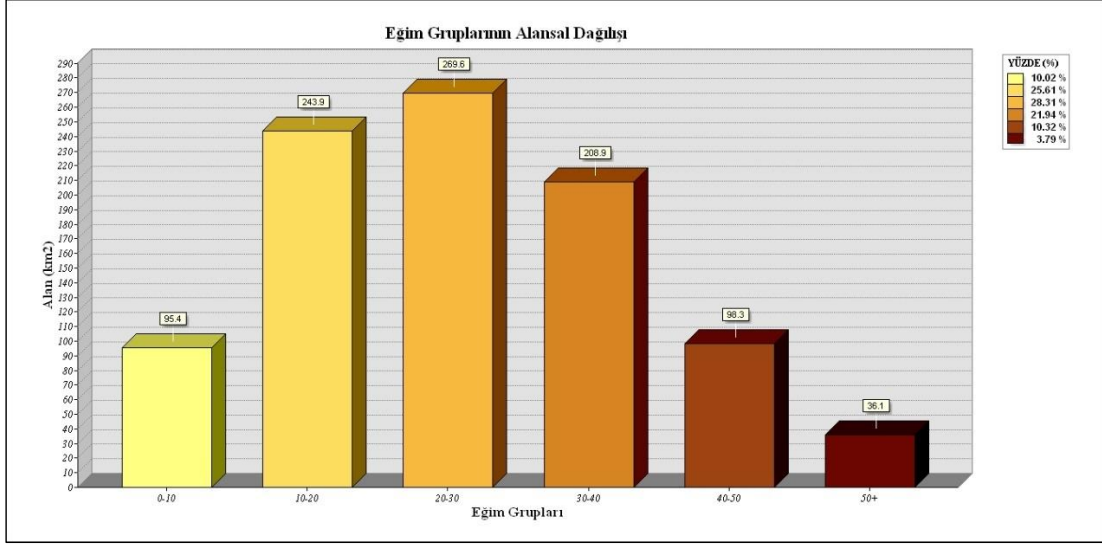


Grafik 4. Çalışma sahasının 50 m aralıklı yükselti frekans grafiği.

50 m aralıklı yükselti frekans grafiğinden yola çıkarak çalışma sahasının %62'sinin kabaca 300-800 m yükselti aralığında kaldığı söylenebilir.

1.2.2. Eğim

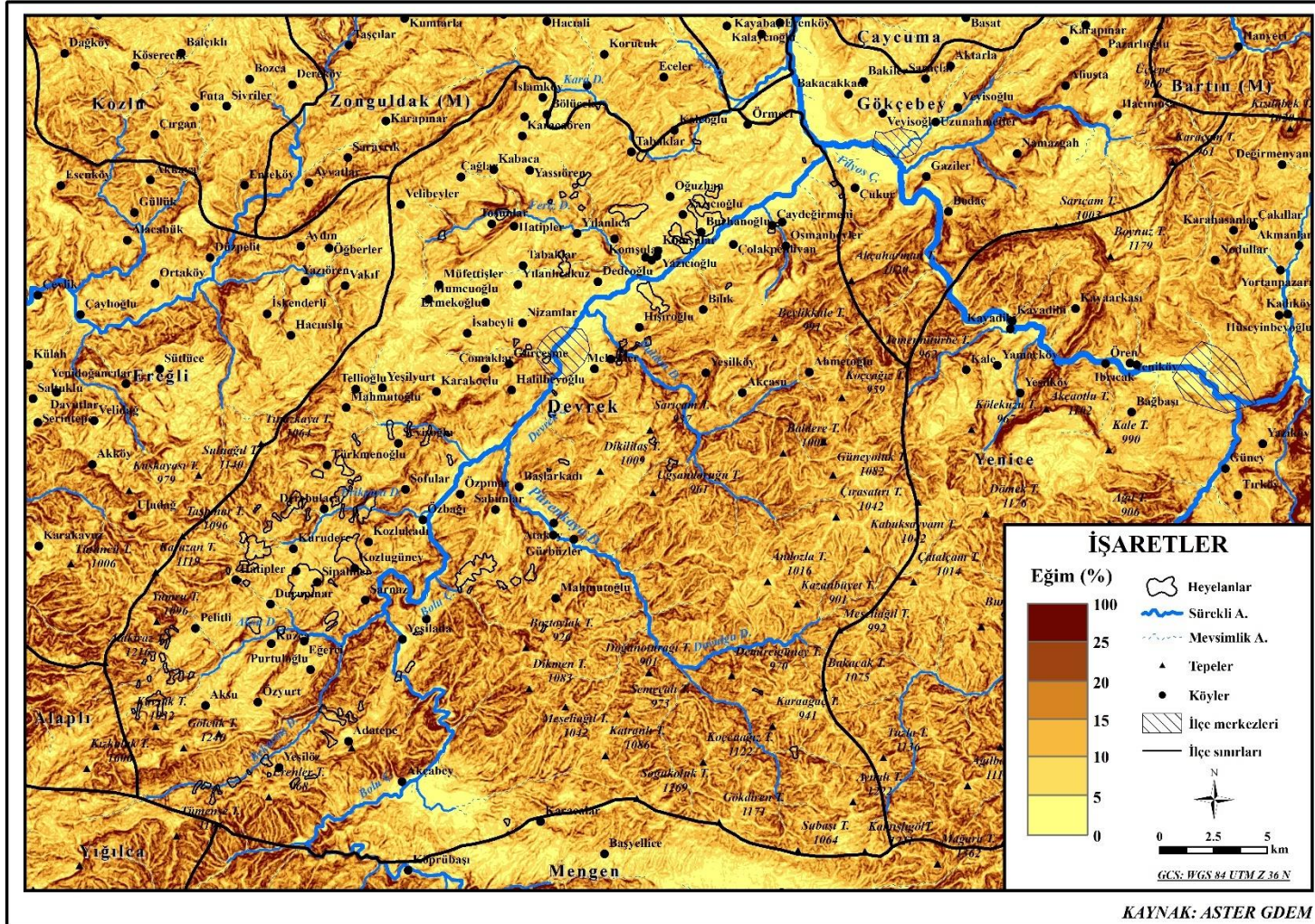
Devrek Çayı vadisi ve yan kollarının ana akarsuya kavuşma noktalarında eğimin diğer alanlara göre daha az olduğu görülmektedir. Yer yer bu alanların düz veya düze yakın olduğu söylenebilir (Harita 6). Vadi yamaçları ve sahada bulunan tepelik alanlarda eğim artmakta, plato yüzeylerinde ise hafif meyilli alanlar bulunmaktadır. Devrek'in kuzeybatısında yerleşmelerin yoğunlaştığı kesimde eğimin az olduğu dikkat çekmektedir. Eğimin az olması sebebiyle tarıma uygun arazilerin ortaya çıkmış ve yerleşmeler burada kurulmuştur. Eğim haritası ve eğim gruplarının alansal dağılımını içeren grafikte (Grafik 5) eğim gruplarının aralıkları belirlenirken Jenks optimizasyonu kullanılmıştır.



Grafik 5. Eğim gruplarının alansal dağılışı grafiği.

Toplamda 6 aralıkta sınıflandırılan eğim grupları arasında en fazla alan kaplayan grup %20-30 kategorisidir. Tüm alanın %28,3'üne tekabül eden bu değerler 269,6 km²'lik bir saha işgal etmektedir. En az alan ise 36,1 km²'lik alan ile %50+ grubudur. Eğim grupları grafiği incelendiğinde; 0-10 (95,4 km²) olan grubun sahanın %10'unu, %10-20 (243,9 km²) olan grubun sahanın %25,6'sını, %20-30 (269,5 km²) olan grubun sahanın %28,3'ünü, %30-40 (206,9 km²) olan grubun sahanın %21,9'unu, %40-50 (98,3 km²) olan grubun sahanın %10,3'ünü, %50+ (36,1 km²) olan grubun ise sahanın %3,7'sini kapladığı görülmektedir. Bu durumda en çok yığılmanın olduğu eğim gruplarının %10-40 arası olduğu sonucuna varılmaktadır. Burdan yola çıkarak çalışma sahasının yükseltisinin 1500 metrelere dahi ulaşmadığı halde arızalı bir topografyaya sahip olduğu söylenebilir.

Çalışma sahasının topografyasının çok yüksek olmadığı halde akarsular tarafından parçalanmış olması, tepelik alanların artmasına ve yükselti değişimlerinin kısa mesafelerde çok olmasına yol açmıştır. Bu sebeple sahada birçok beşerî faaliyeti kısıtlayan yüksek eğim değerleri görülmektedir. Eğimin etkisi yalnızca beşerî faaliyetleri kısıtlamamış aynı zamanda bu sahada gerçekleşen heyelanların frekansının artmasına, yanlış ağaç kesimi yüzünden erozyonun hızlanmasına yol açmıştır. Araziyi bir heykeltıraş gibi aşındıran Devrek Çayı ve ona katılan yan dereler sahadaki eğim dolayısıyla güçlü bir şekilde akmaya devam etmekte ve araziyi parçalamaktadır.



Harita 6. Devrek ilçesi ve çevresinin eğim haritası.

Eğim, toprak oluşumunu da kısıtlayan bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğimin arttığı yerlerde ana kayadan aşındırılan materyal sürekli taşınmaktadır. Eğim sebebiyle biriktirilemeyen toprak, hızla süpürülmekte ve pedojenez (toprak oluşumu) kesintiye uğramaktadır. Bunun sonucunda bu sahalarda birikim katından yoksun topraklar meydana gelmektedir. Bu topraklarda orman yetişmesi güç olduğundan, ağaçsız kalan araziler erozyondan daha çok etkilenmektedirler.

Yüksek dereceli eğim değerlerinin fazla alan kapladığı Devrek'te heyelanların oluşumunda eğim önemli bir faktördür. Eğimin etkisi özellikle suyun tutulabildiği, bitki örtüsünün zayıf olduğu topraklarda, yer çekimi etkisiyle kütlelerin eğim yönünde kaymasına yol açmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalaması için kullanılan verilerin hazırlanması ve tanıtımını içeren son bölümde eğimin, Devrek'teki heyelanların oluşum mekanizmasına etkisi üzerinde durulacağından bu bölümde ayrıntılandırılmaya gerek görülmemiştir.

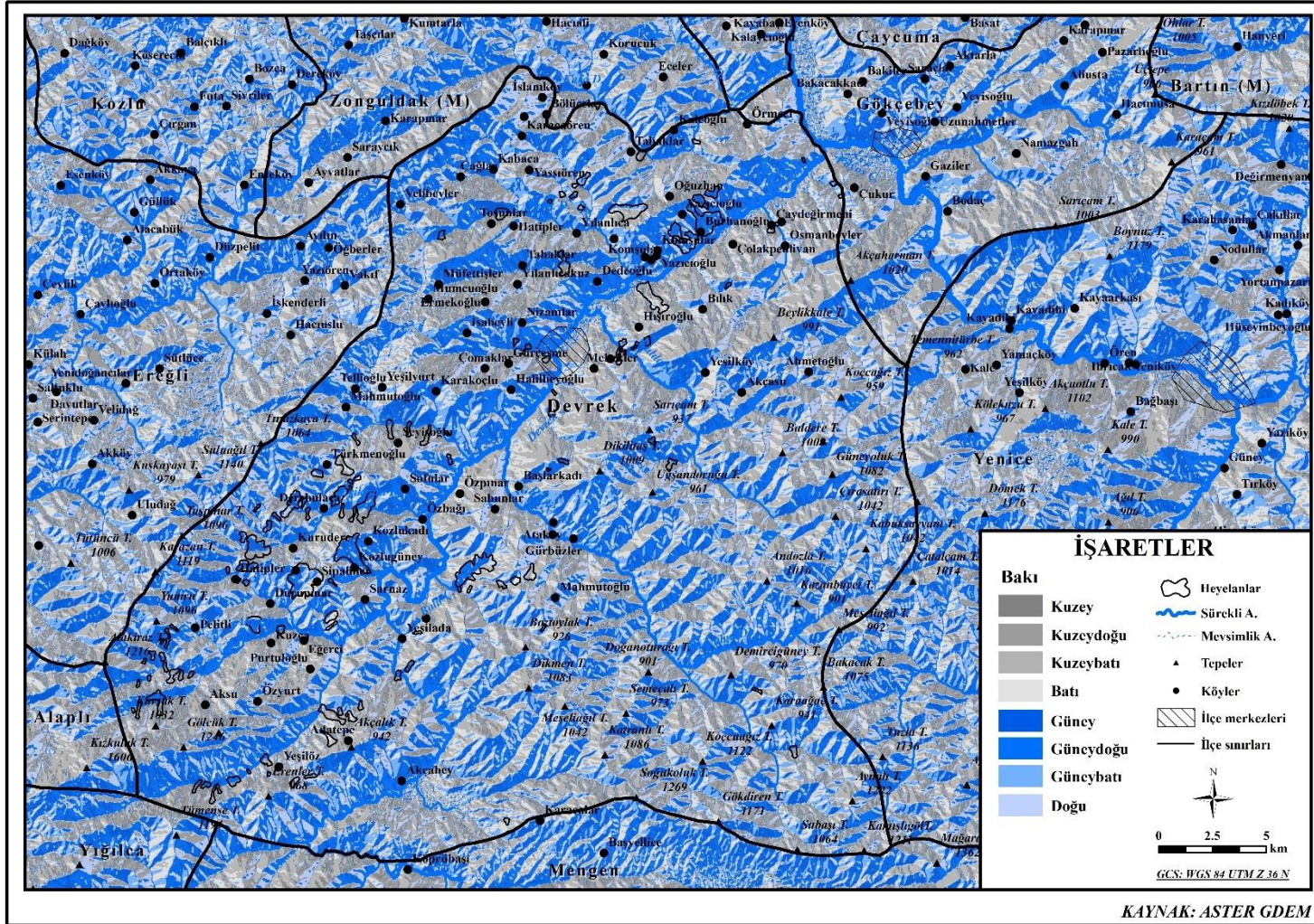
1.2.3. Bakı

Bir cismin güneşe göre konumu olarak tanımlanan bakı, bu çalışmada sahanın yüzeyinin güneşe göre konumunu değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Her bir raster hücrenin yönünün analiz edildiği bu yöntem, araziye üç boyutlu olarak temsil eden her hücrenin eğiminin yönü olarak düşünülebilir (Harita 7).

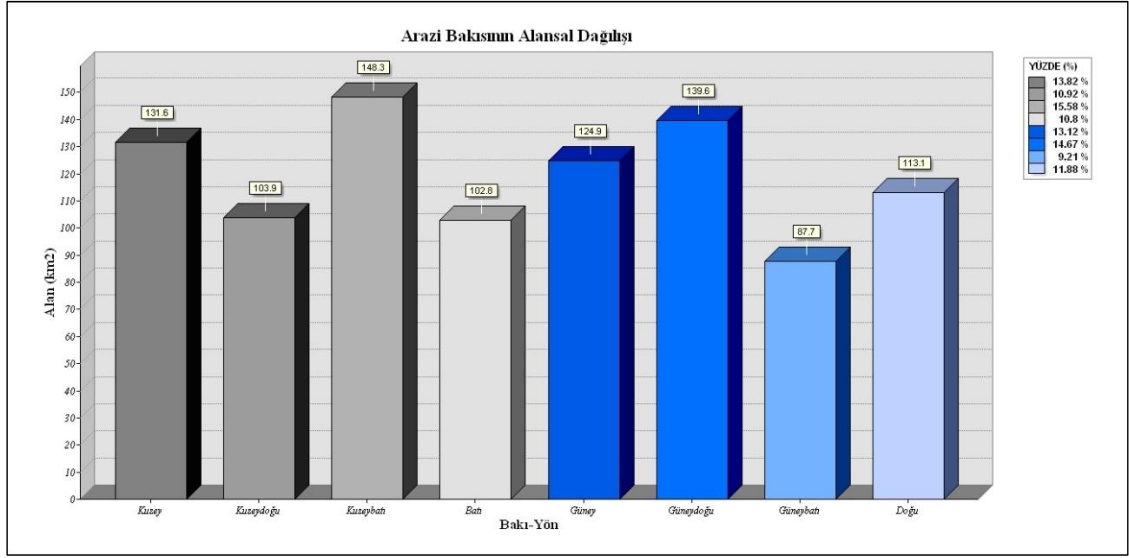
Bakı, heyelan oluşumunu doğrudan etkilemez. Arazinin bakısı, gelen güneş radyasyonunun geliş açısı üzerinde etkili olduğundan enerjinin tutulmasında rol oynar. Arazinin aldığı güneş, yüzey sıcaklığını artırır. Bu yolla toprakta tutulan su miktarında değişimler olur. Bu da heyelan oluşumunda en önemli faktör olan suya doygunluğun değişmesine yol açar.

Çalışma sahasının bakısı değerlendirildiğinde; arazinin %40,2'sinin kuzeyli (kuzey, kuzeydoğu, kuzeybatı) yönlere baktığı, %36,7'sinin ise güneyli (güney, güneydoğu, güneybatı) yönlere baktığı görülmektedir (Grafik 6).

Çalışma sahasında kuzey sektörlü yönlere bakan alanların daha fazla olması güneşten gelen radyasyonun sahanın büyük kısmında direkt olarak alınmadığını göstermektedir. Bu sebeple buharlaşma seyrinin nispeten yavaş oluşu toprakta tutulan suyun artmasına yol açmaktadır. Özellikle yağışlı dönemlerde hem toprak suyunun artması hem de bulutluluğun artması sonucu gelen güneş radyasyonunda olan azalma heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır.



Harita 7. Devrek ilçesi ve çevresinin baki haritası.



Grafik 6. Çalışma sahasının bakı yönlerinin alansal dağılışı.

Bitkiler topraktaki suyu kullanarak beslendiklerinden dolayı toprakta aşırı su tutulmasının önüne geçerler. Ayrıca kökleri ile toprağı tutarak derin olmayan kütle hareketlerini engellerler. Kuzeyli bakıların fazlalığının bir diğer sonucu ise bitki örtüsünün güneyli alanlara göre daha seyrek olmasıdır. Kuzeyli bakıya sahip alanlarda bitki örtüsünün seyrekliğinden dolayı topraktaki suyun kullanımı azalmakta ve toprak hızlıca suya doygun hale gelmektedir. Bunun sonucu olarak kütle hareketleri oluşmaktadır.

Çalışma sahasına yağış getiren hava akımlarının kuzeyden geldiği göz önünde tutularak, kuzeye bakan alanlarda yağış ihtimalinin daha fazla olduğu ve buraların güneyli alanlara göre daha fazla nemli hava ve yağışa maruz kalması yine toprakta tutulan suyun artmasına yol açmaktadır. Bu durum kuzey bakılarda heyelana olan duyarlılığı arttırmaktadır.

1.3. Araştırma Alanının Hidrografik Özellikleri

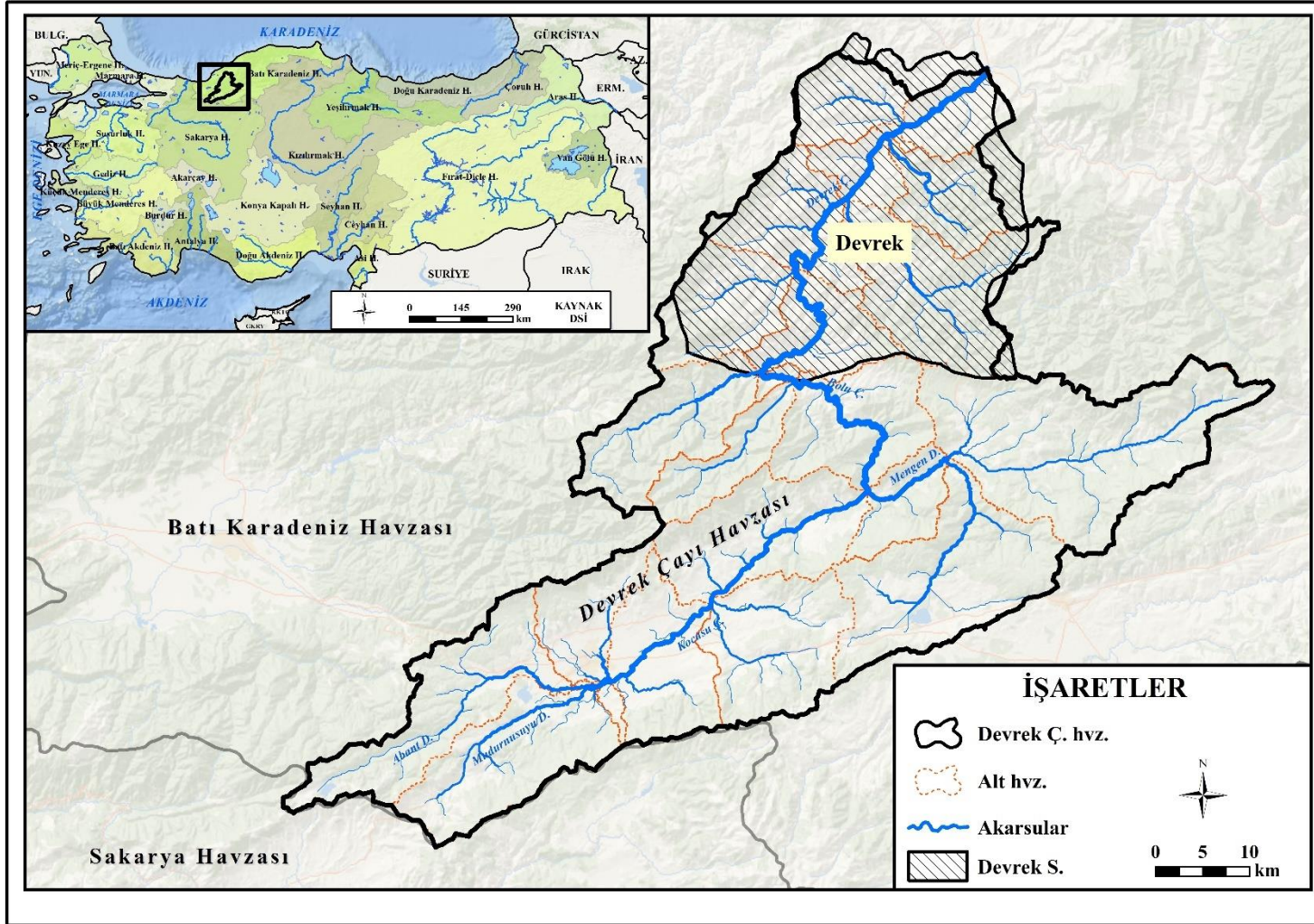
Çalışma alanı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)'nün belirlediği havza sınırlarına göre Batı Karadeniz Havzası'nın içerisinde bulunmaktadır. ArcMap ortamında eklenti olarak kurulan ArcHydro Tools kullanılarak Devrek Çayı havzası ve alt havzalarının sınırları belirlenmiştir (Harita 8). Akarsuların sınıflandırılması Strahler (1957)'e göre yapılmıştır. Mevsimlik dereler de dahil olmak üzere toplamda 43 alt havzası bulunan Devrek Çayı havzası 3235.1 km² alan kaplamaktadır. En büyük alt havzası bulunan Devrek Çayı havzası 407.6 km² alan kaplayan Mengen Çayı Havzası'dır.

Devrek ilçe sınırları, Devrek Çayı Havzası'nın aşağı çığırında yani kuzeyinde bulunmaktadır. Ayrıca ilçe idari sınırlarının Devrek Çayı Havzası'nın su bölümü çizgisi ile uyumlu olduğu görülmektedir. Devrek Çayı Havzası, Devrek dışında Bolu Merkez, Mengen, Yeniçağa, Yığılca, Gerede ilçelerini de kapsamaktadır. Devrek Çayı Havzası güneyde Elmacık Dağı, Abant Dağları, Koroğlu Dağları ile doğuda Gökçeler Dağı, Dikmen Dağı ile batı ve kuzeybatıda ise Bolu dağları ve Akçakoca Dağları'nın arasında kalmıştır. Bu yüksek yerlere düşen su, bu havzayı beslemektedir. Havzanın en büyük akarsuları güneyden kuzeye doğru *Abant Deresi, Kocasu Çayı, Bolu Çayı, Mengen Deresi ve Devrek Çayı'dır*. Güneyde Bolu Merkez civarında Abant Deresi ile başlayan su havzası, Devrek'in kuzeyinde Filyos Çayı ile birleşerek Karadeniz'e dökülmektedir.

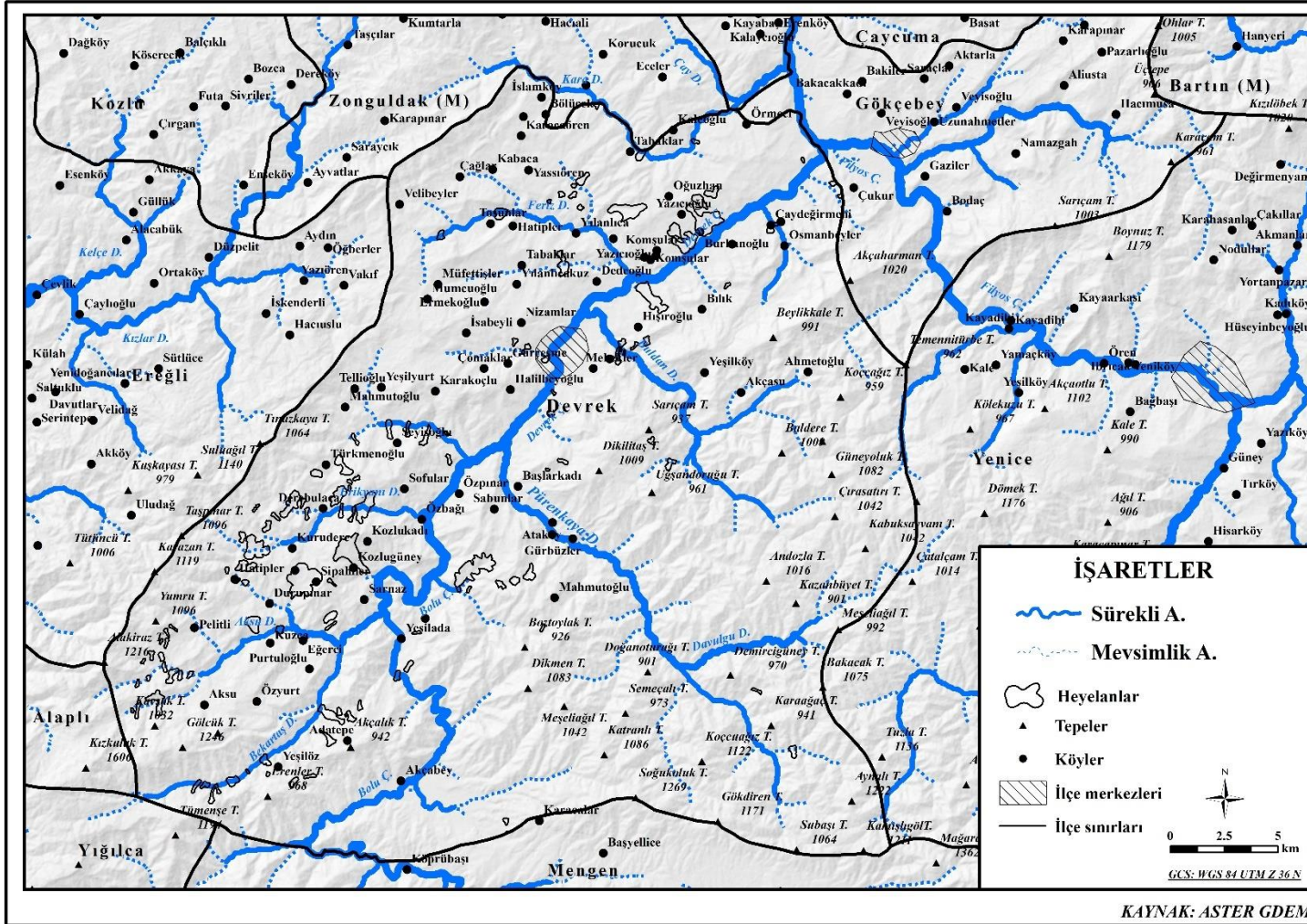
Çalışma sahasındaki akarsu ağı tipi kafesli drenajdır. Ana akarsu ise Devrek Çayı'dır. Devrek Çayı'nı besleyen yan kollar; Bolu Çayı, Pürenkaya Deresi, Erikyanı Deresi, Buldan Deresi ve Feriz Deresi'dir. Ana akarsu kabaca güneyden kuzeye doğru akmaktadır. Yan kollar ise doğu-batı, batı-doğu doğrultuludur (Harita 9). Devrek Çayı arazide yerel taban seviyesini oluşturmaktadır. Devrek Çayı vadisinin en yüksekte kalan noktası 106 m en alçak noktası ise 35 m'dir. DSİ rasatlar bilgi bankasından (2020) elde edilen aylık akım verilerine (1982-2001) göre akım değerlerinin en yüksek olduğu aylar ilkbahar aylarıdır (Tablo 2). Bunun sebebi kışın yağan karın, ilkbaharda eriyip akarsulara karışmasıdır.

Tablo 2. Devrek Çayı'na ait aylık akım değerleri (m³/sn, DSİ).

Kış		İlkbahar			Yaz			Sonbahar			
ARA	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS
22,302	27,244	34,978	47,457	49,208	27,755	18,238	10,892	7,944	6,374	9,443	15,129



Harita 8. Devrek Çayı havzası ve alt havzalarının lokasyon haritası.

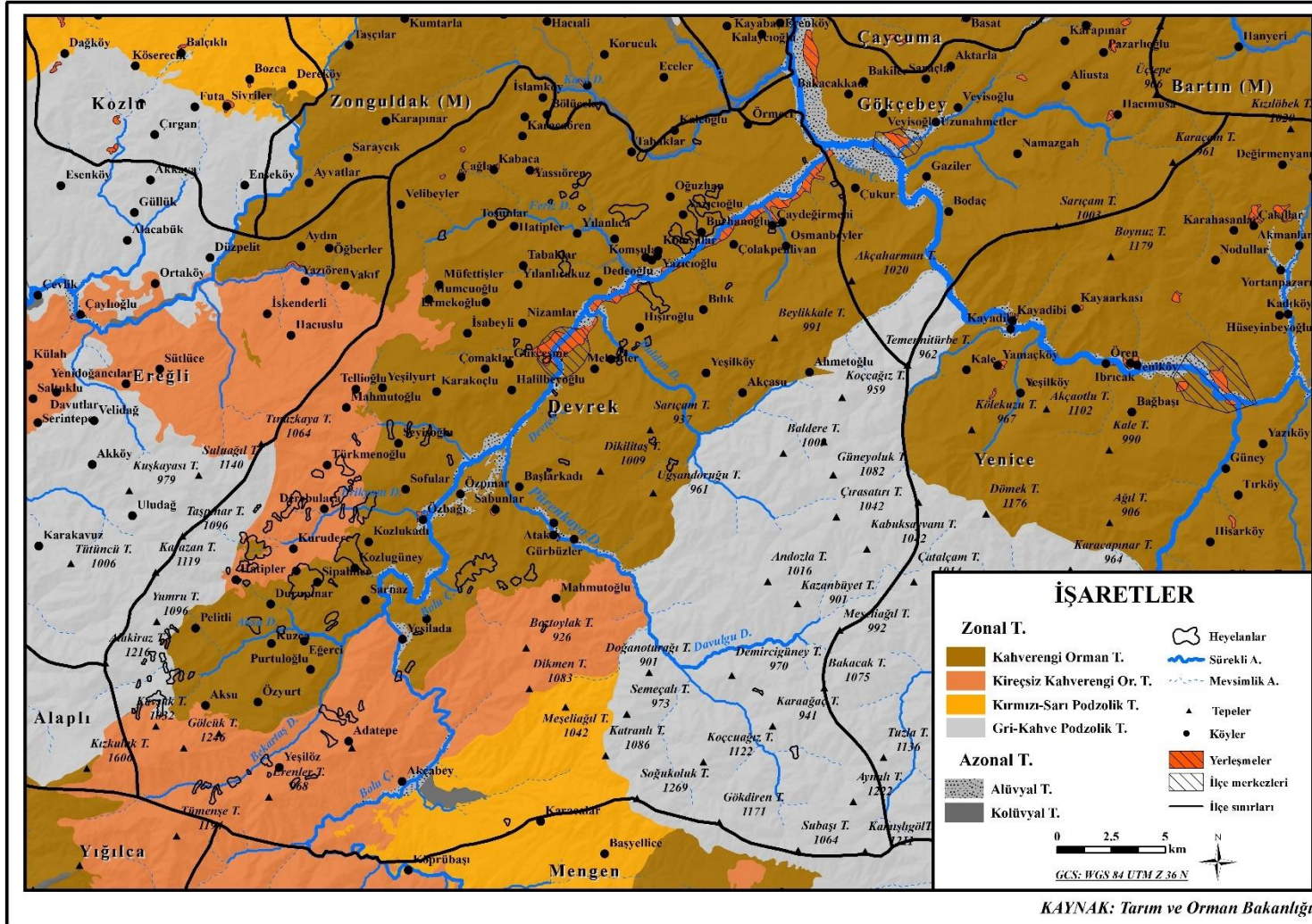


Harita 9. Devrek ilçesi ve çevresinin hidrografya haritası.

1.4. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

Toprak, yeryüzünün en üst katmanını oluşturur. Kayaçlara göre daha yumuşak yapıda olan topraklar genel olarak sert bir yapıya sahip değildirler. Toprağın derinlik ve yüzey dokusu, hidrolik iletkenliği, taşlılık oranı gibi özellikleri heyelan oluşumunda önemli rol oynar (Kitutu vd., 2009; Türk, 2017). Toprağın derinliği arttıkça nem tutabilme kapasitesi de artar ve suyun toprak altındaki akış hızı azalır. Sığ toprakların derin topraklara göre daha kararsız ve heyelana eğilimli olduğu düşünülmektedir. Bünyesinde kil içeren topraklar ayrışmaya dayanıklı agregatlar oluşturur. Kumlu ve tınlı bünyedeki toprakların ayrışmaya direnci düşüktür. Bu nedenle kumlu bünyedeki topraklar, killi topraklara göre heyelan oluşumuna daha yatkındır. Toprak yüzeyinin taşlı olması, yağış sırasında suyun derine sızmasını engelleyerek yüzeysel akıma geçmesini sağlayacaktır. Bu yüzden taşlı topraklar heyelan oluşumunu kısmen engellemektedir. Şiddetli yağışların ardından dik ve dike yakın eğimli yamaçlar suya doymun hâle geldiğinde veya sızan su, yeraltı suyu seviyesine hızlı bir şekilde ulaştığında arazide heyelan olması muhtemeldir. Bu yüzden toprağın drenajı heyelan oluşumunda önemli bir faktördür. Hidrolik iletkenlik arttıkça suyun topraktaki hareketi de artar. Bu yüzden hidrolik iletkenliği yüksek olan topraklar heyelan oluşumuna duyarlıdır (Sharma vd., 2012). Suyu bünyesinde tutabilen, alt katmanında geçirimsiz killi bir tabaka bulunan, eğimli yüzeylerdeki topraklar doğal olarak kaymaya/akmaya eğilimlidirler. Bir sahada bulunan toprağın tipi, bünyesi ve yapısı heyelan oluşumunu etkileyen ana faktörlerdendir. Ayrıca toprağın bu özellikleri oluşan heyelanın tipini de tayin eder. Kayma sırasında dağılma ve çamurlu toprağın çığa benzer şekilde hızlıca kayması toprak malzemeli kütle hareketlerinde görülmektedir.

Araştırma alanında görülen toprak tipleri sınıflandırılırken iklim, topografya, ana materyal, bitki örtüsü ve zaman faktörlerini gözeterek “1949 Toprak Sınıflandırma Sistemi” kullanılmıştır. Kurulan modellerde girdi olarak da kullanılan toprak tipleri verisi Tarım ve Orman Bakanlığı’ndan temin edilmiştir. Toprak dağılışı haritası da bu veri kullanılarak oluşturulmuştur. Buna göre çalışma sahası ve çevresinde zonal topraklardan; kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kırmızı-sarı podzolik topraklar, gri-kahverengi podzolik topraklar bulunmaktadır. Azonal toprak grubundan ise yalnızca alüvyal ve kolüvyal topraklar görülmektedir. İntrazonal topraklar sahada görülmemektedir (Harita 10).



Harita 10. Devrek ilçesi ve çevresinin toprak haritası.

1.4.1. Zonal Topraklar

Zonal gruptaki topraklar iklim ve bitki örtüsünün etkisiyle oluşan topraklardır. Yüzeyin düz, drenajın iyi olduğu sahalarda görülmektedir (Atalay, 2016). Bu topraklar buldukları yerin iklim ve bitki örtüsü özelliklerine bağlı olarak oluştuğundan, bu yerin özelliklerini yansıtırlar. Bu sebeple yerli topraklar da denilmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde zonal toprak grubuna dahil olan; kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kırmızı-sarı podzolik topraklar ve gri-kahverengi podzolik topraklar görülmektedir.

Kahverengi orman toprakları, orman altında kahverenginin çeşitli tonlarında gelişen bir toprak türüdür. Bu toprakların oluşumunda iklim, ana materyal ve bitki örtüsünün yanı sıra eğimin de rolü bulunmaktadır. Aşınma ve taşınmanın güçlü olduğu eğimli alanlarda toprak oluşum süreçleri kesintiye uğrar. Bu topraklarda genellikle B katı yeterince gelişmemiş veya çok az gelişmiş kireçli bünyededir. Üst toprak katı çoğunlukla organik maddenin birikmesine dayalı olarak taneli yapıya sahiptir (Atalay, 1992; 2012; 2016). Çalışma sahasında en fazla yer kaplayan topraklar kahverengi orman topraklarıdır. Toprak oluşumunun başlangıcı ana kayanın ufalanması ile olmaktadır (Coşkun ve Coşkun, 2019). Kahverengi orman toprakları özellikle ilçenin kuzeyindeki alçak kesimlerde orman örtüsü altındaki çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı tabakalarının üzerinde görülmektedir. Ayrıca organik madde yönünden zengin olan bu topraklar üzerinde tarım arazileri bulunmaktadır.

Kireçsiz kahverengi orman toprakları, yağışın 600 mm üzerinde olduğu orman altında görülmektedir. Yağıştan dolayı toprak yıkanmıştır ve kireç birikimi bulunmamaktadır. Ayrıca yıkanmadan dolayı toprak asit reaksiyon kazanmıştır. Bu sebeple asit karakterli kahverengi orman toprakları da denilmektedir (Atalay, 2016). Bu topraklar çalışma sahasının güneyinde ve batısındaki yüksek kesimlerde orman örtüsü altında görülmektedir. Daha çok 900 m üzerinde yıllık toplam yağışın 800 mm üzerine çıktığı sahalarda görülen bu toprakların B horizonunda, bolca yıkanmaya maruz kaldığından dolayı kireç birikimi görülmemektedir ve üzerinde gür ormanlar bulunmaktadır.

Kırmızı-sarı podzolik topraklar, yazı sıcak ve kışı ılıman yerlerde görülür. Bu iklim şartları altında bakteri faaliyeti fazla olduğundan organik madde birikimi görülmez. Bünyesindeki demirin oksitlenmesi sonucu kırmızı ve sarı renkler alır. Bu

toprakların oluşumunda hem podzolleşme hem de lateritleşme hakimdir (Atalay, 2016). Devrek'in güneyinde yükseltinin 300-1000 m arasında olduğu sahada görülen bu topraklar bolca yıkanmıştır. Kireç birikimi görülmemektedir.

Gri-kahverengi podzolik topraklar, soğuk iklimi temsil eden topraklardandır. Hakim pedojenez süreci podzolleşmedir. Asit reaksiyonlu bu topraklar üzerinde geniş yapraklı ormanlar iyi gelişim gösterir (Atalay, 2016). Devrek'in doğusunda ve batısında bulunan bu topraklar, yükseltisi 900 m olan yerlerde görülmektedir. Tamamen orman örtüsü ile kaplı bu alanlar aynı zamanda sahanın en fazla yağış alan bölgeleridir.

1.4.2. Azonal Topraklar

Azonal topraklar; aşınım, birikim süreçlerinin sürekli olarak devam ettiği eğimli yamaçlarda ve taşkın sahalarında bulunurlar. Erozyon ve akümülyasyonun sürekliliği dolayısıyla toprakta horizonlaşma görülmez (Atalay, 2016). Çalışma sahasında bu azonal topraklar grubundan değerlendirilen alüvyal ve kolüvyal topraklar bulunmaktadır.

Alüvyal topraklar; akarsu yataklarında özellikle Devrek Çayı vadisinde eğimin azaldığı yerlerde görülmektedir. Çalışma sahasında görülen alüvyal topraklar akarsuların kaynak noktasından itibaren izlediği yol boyunca koparıp taşıdığı kayalık parçaları ve bunların organik madde ile karışması sonucu oluşmuşlardır.

Kolüvyal topraklar; genellikle yamaçların eteklerinde bulunurlar. Yüksek kesimlerden dökülen enkaz, kum, kil boyutundaki her türlü materyalin biriktiği yerlere yamaç deposu denilmektedir. Belirli bir zaman sonra bu depolar üzerinde kolüvyal topraklar oluşur.

1.5. Araştırma Alanının İklim Özellikleri

Tropikal kuşak ve kutup kuşağında, coğrafi faktörlerin iklim üzerindeki belirleyiciliği sınırlıyken orta kuşakta yer alan bölgeler için iklim koşulları atmosferde hüküm süren hava dolaşımının yanında fiziki coğrafya faktörlerine bağlı olarak da şekillenmektedir. Bu sebeple çalışma sahasının iklim özellikleri tanıtılırken planetar faktörler ve coğrafi faktörler olarak iki başlıkta incelenmiştir. Özellikle sıcaklık, yağış gibi iklimsel parametreler toprakta tutulan su miktarı üzerinde değişikliklere neden olmakta ve heyelan oluşumunu etkilemektedir. Bu bölümde öncelikle araştırma alanının

bulunduğu Karadeniz bölgesinin iklim özellikleri literatürden elde edilen bilgiler derlenerek anlatılmıştır. Ardından Devrek ilçesinin genel iklimi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rasat verileri ile karakterize edilmiştir.

1.5.1. Planetar Faktörler

Türkiye, orta kuşakta Akdeniz iklim bölgesinde yer almaktadır. Bulunduğu konum itibariyle hiçbir hava kütesinin kaynağını teşkil etmemektedir. Yaz mevsiminde güneyden gelen tropikal kökenli hava kütlelerinin, kış mevsiminde ise kuzeyden gelen polar hava kütlelerinin etkisi altına girmektedir. Kuzey ve güneyden gelen bu hava kütleleri kat ettikleri yol boyunca üzerinden geçtikleri sahalardan nem kazanır veya bu yol boyunca yağış bırakarak nem kaybederler. Yaz aylarında güneyden, Sahra üzerinden gelen karasal kökenli tropikal hava kütlesi Akdeniz üzerinden geçerken nem toplar ve özellikle ülkemizin güney kesimine taşır. Aynı zamanda Azor yüksek basınç alanından kaynağını alan hava kütlesi yol boyunca nem kaybına uğrasa da ülkemizin kuzey kesimine nemli hava taşır. Kış mevsiminde ise hem maritime polar (mP) hem de continental polar (cP) hava kütlelerinin etkisi görülmektedir (Atalay, 2010). Bu hava kütlelerinin karakterleri ve izledikleri yol boyunca topladıkları nem kapasiteleri ülkemizin yağış rejiminde ve sıcaklık değişimlerinde önemli rol oynar.

Çalışma alanının bulunduğu saha, yaz aylarında Asor antisiklonunun genişlemesine bağlı olarak tropikal kökenli hava kütesinin etkisi altına girmektedir. Bu sebeple bölgede sıcaklıklar yükselir ve yağışlar düşer. Aynı dönemde kuzeye çekilmiş bulunan polar cephe zaman zaman Batı Karadeniz Bölümü'nü kısmen etkisi altına alarak kısa süreli yağışlara neden olabilir. Kış mevsiminde ise güneyden gelen tropikal hava kütlesi ile kuzeybatıdan ilerleyen polar hava kütlesi karşılaşarak “planetar polar cephe” meydana getirirler. Bunun sonucunda bölgenin kıyı kesimleri yağmur şeklinde, yüksek kesimleri ise kar şeklinde yağış alır. Yaz mevsimi başlayana kadar bu yağışlar devam eder (Atalay, 1992). Çalışma sahası, Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre kışları ılıman nemli orta enlem (C) ana iklim tipinde, yazları ılık (Cfb) ve her mevsim yağışlı alt iklim tipindedir (Öztürk vd., 2017). Karadeniz üzerinden gelen hava kütleleri, topladıkları nemi Akçakoca dağlarında kısmen bıraktığından dolayı yıllık toplam yağış tutarı kıyı kesime göre kısmen daha azdır.

1.5.2. Coğrafi Faktörler

Coğrafi faktörler iklim üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Bunlardan coğrafi konum, güneşlenme süresi ve güneş ışınlarının geliş açısının değişimi bakımından, yükselti, sıcaklık ve yağışın kısa mesafelerde değişimini sağlaması bakımından, dağların uzanış doğrultusu, sahaya gelen hava kütlelerinin hareketini kısıtlaması, önüne set çekmesi ve rüzgarların esiş yönlerini etkilemesi bakımından, dağların baktığı yön, güneyli ve kuzeyli bakılarda farklılıklar oluşturması bakımından, denizlere olan mesafe, karasallık veya denizellik bakımından iklim üzerinde etkiye sahiptir (Atalay, 2010). Bu sebeple her alanın kendine özgü yerel iklim koşullarının olduğunu söyleyebiliriz. Çalışma sahasında görülen yerel iklim üzerinde etkisi olan coğrafi faktörler aşağıda açıklanmıştır.

Devrek ilçe merkezi, Karadeniz kıyısına yaklaşık 30 km mesafededir. Bunun sonucu olarak deniz üzerinden gelen nemli hava kısa sürede buraya ulaşmaktadır. Devrek ve çevresinde iklimi etkileyen yüksek sahalar Devrek Çayı'nın akış yönüne paralel olarak batı, doğu ve güney kesimlerde bulunmaktadır. İlçenin batısında bulunan ve Akçakoca dağlarının uzantısı olan, ilçe merkezine göre nispeten yüksek saha kuzeybatıdan gelen nemli hava kütlelerinin vadi içerisine ulaşmasında engel olmaktadır. Bu yüksek tepelik alan nemli hava kütlelerini karşılayarak ilçe merkezinin bulunduğu orta kesimi yağış gölgesinde bırakmaktadır. Batıda Ereğli ilçe sınırında bulunan Acısu Tepesi Meteoroloji İstasyonu (1112 m)'nden elde edilen rasatlar yıllık toplam yağışın 1057,2 mm, Devrek Meteoroloji İstasyonu (100 m)'nden elde edilen rasatlar, ilçe merkezinde yıllık toplam yağışın 760,2 mm olduğunu göstermektedir. Bu durumda aralarında 1012 m yükselti farkı bulunan iki farklı istasyonda 297 mm yağış farkı bulunması, sahadaki yükselti faktörünün ve hava kütlelerinin geliş yönlerine bakan yamaçların yağış rejimine etkisini göstermektedir.

İlçenin doğusunda bulunan ve Devrek Çayı'nın su bölümü çizgisini oluşturan yüksek saha ise batıdaki tepelikleri aşan nemli havanın karşısına çıkan ikinci bir engel olmaktadır. Bu sayede ikinci kez engelle karşılaşan hava parseli yağış bırakır. Devrek Çayı'nı besleyen yan kollar vasıtasıyla bu yağış tekrar vadi içerisine taşınır.

1.5.3. İklim Elemanları

Bu bölümde iklim elemanlarından yalnızca heyelan oluşumu üzerinde doğrudan veya dolaylı etkisi olan sıcaklık ve yağış üzerinde durulacaktır. Çalışma sahasının sıcaklık ve yağışa ait uzun yıllar ortalama ve yıllık toplam verileri MGM'den elde

edilmiştir. Elde edilen veriler grafik, tablo ve haritalar şeklinde görselleştirilerek sunulmuştur.

Haritalama için, Devrek ilçesindekinin yanı sıra çevresindeki meteoroloji istasyonlarının verileri de kullanılarak mekânsal istatistik tekniği olan Co-kriging yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, ölçümün yapıldığı meteoroloji istasyonlarını ve arazinin üç boyutlu modelini içeren DEM verisi yardımıyla uygulanmaktadır. Bu yöntem sayesinde klimatolojik haritalar yapılırken topografik faktörlerinde haritalanan parametrelere etkisi hesaplanabilmektedir. Bu sebeple Devrek ve çevresindeki sahaya ait meteoroloji istasyonlarında yapılan ölçümler kullanılmıştır. Toplamda 14 meteoroloji istasyonundan (*Acısu Tepesi/Devrek, Akçakoca, Amasra, Bartın, Bolu, Bolu Dağı, Çaycuma Havaalanı, Çerkeş, Devrek, Düzce, Ereğli, Eskipazar, Gerede, Karabük*) elde edilen veriler ve bu istasyonların bulunduğu 15711,9 km² alan kaplayan bir DEM verisi kullanılarak haritalamalar yapılmıştır.

1.5.3.1. Sıcaklık

Çalışma alanının ortalama sıcaklığını değerlendirmek amacıyla Devrek ve çevresinden 6 meteoroloji istasyonuna ait aylık ve yıllık ortalama sıcaklıkları MGM'den elde edilmiştir (Tablo 3). Ortalama sıcaklığın Devrek ilçe merkezinde (100 m) 14,4 °C, Devrek-Ereğli sınırında 1112 m yükseltide bulunan Acısu Tepesi meteoroloji istasyonunda ise yıllık ortalama sıcaklığın 9,7 °C olduğu görülmektedir. Burdan yola çıkarak Devrek ilçe sınırları içerisinde yıllık ortalama sıcaklığın yükseltiye göre 4,7 °C'lik bir değişime sahip olduğu söylenebilir (Harita 11).

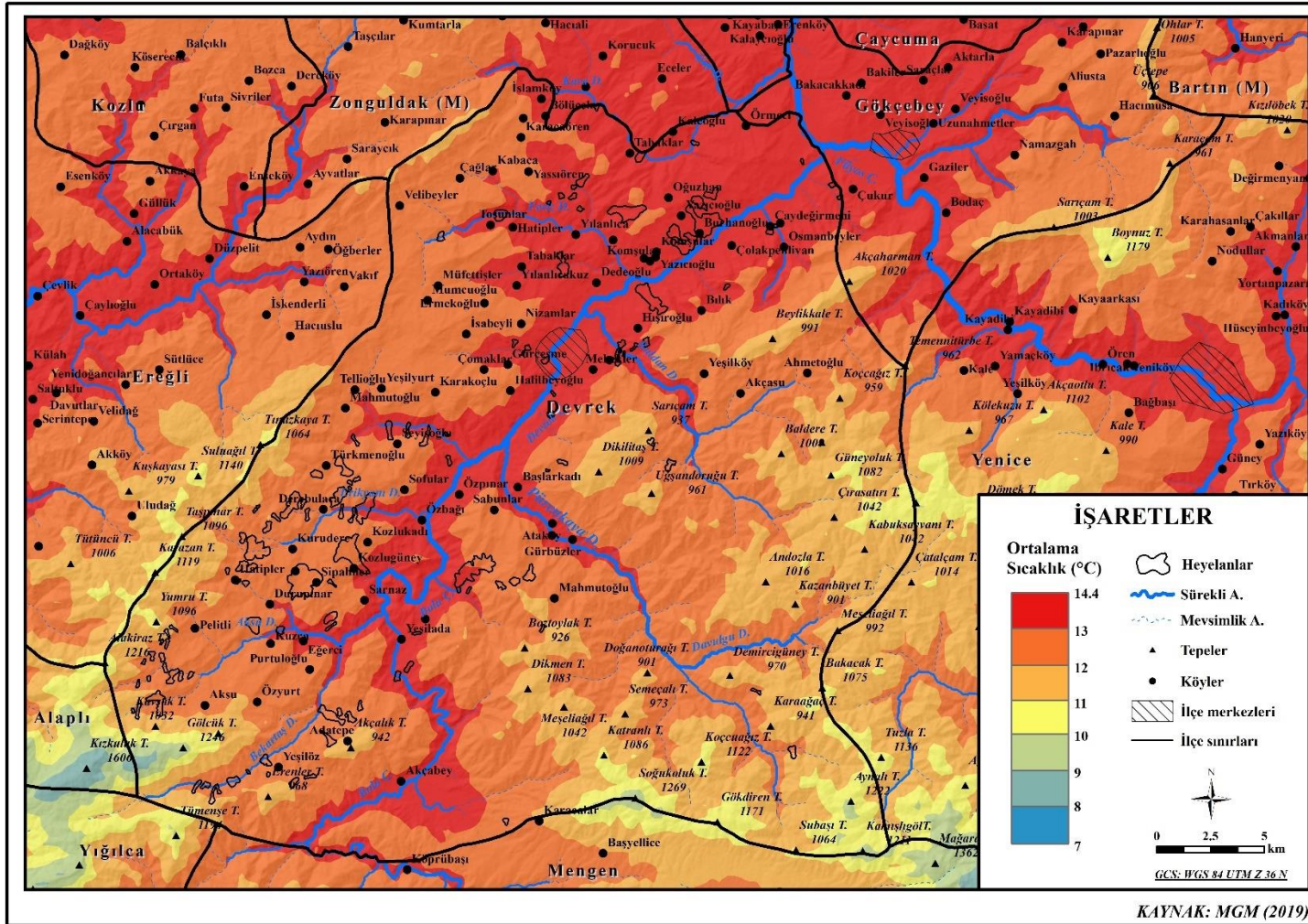
Tablo 3. Devrek ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarının aylık ve yıllık ortalama sıcaklık (°C) değerleri.

İstasyonlar	Yükselti (m)	Aylar												Yıllık
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
Devrek	100	4,7	6,6	9	12,9	17,7	21,7	24,1	24,2	20,1	14,9	10,2	6,1	14,4
Devrek/Acısu	1112	0,6	1,9	4	8,1	12,7	16,2	18,4	18,6	15,2	10,5	7,1	2,8	9,7
Ereğli	19	5,8	6,9	9	12,5	17,2	21,6	23,9	24	20,3	15,5	11,3	7,5	14,6
Yenice	150	5,3	5,9	8,9	13,1	17,2	21,1	24	23,7	19,6	15,3	9,4	5,5	14,1
Çaycuma H.L.	13	4,7	6,7	8,7	12	16	20,6	23	23,1	19,2	15	11,5	8,3	14,1
Eskipazar	757	0,8	2,9	5,9	10,1	14,7	18,4	21,4	21,4	17,4	11,9	6,7	2,5	11,2

MGM verilerinden üretilmiştir.

Karadeniz üzerinden sahaya gelen hava kütlelerinin coğrafi faktörler sonucu uğradığı değişikliklerle beraber etkileri de değişmektedir. Araştırma sahasının çevresinde

bulunan meteoroloji istasyonlarından sahanın batısında ve kuzeyinde kalan ve denize kısmen daha yakın olanlar; Ereğli ve aycuma Havaalanı istasyonlarıdır. Devrek'in doğu ve gúneydođu kesimindeki istasyonlar ise Yenice ve Eskipazar istasyonlarıdır. Bu istasyonların ölçüm değerlerinde görüldüğü üzere Karadeniz üzerinden gelen hava kütlelerinin coğrafî faktörlere göre ortalama sıcaklığa etkisi farklılaşmaktadır. Değerlendirilen istasyonlar arasında yıllık ortalama sıcaklığın en fazla olduğu Ereğli'dir. Deniz kıyısına yakın ve yükseltisi 19 m olan bu istasyonda yıllık ortalama sıcaklık 14,6 °C olarak ölçülmüştür. Hemen arkasından ikinci en yüksek sıcaklığa sahip yer olan Devrek'in yıllık ortalama sıcaklığı 14,4 °C'dir. Devrek'in kuzeyinde kalan aycuma Havaalanı ve doğuda kalan Yenice'de yıllık ortalama sıcaklık 14,1 °C'dir. Şehrin güneydoğusunda kalan ve diğer alanlara göre nemli hava kütle girişine nispeten uzakta kalan Eskipazar'da ise ortalama sıcaklık 11,2 °C olarak ölçülmüştür. Ortalama sıcaklığın en düşük ve yükseltinin en fazla olduğu istasyon olan Acısu Tepesi'nde yıllık ortalama sıcaklık 9,7 °C'dir.



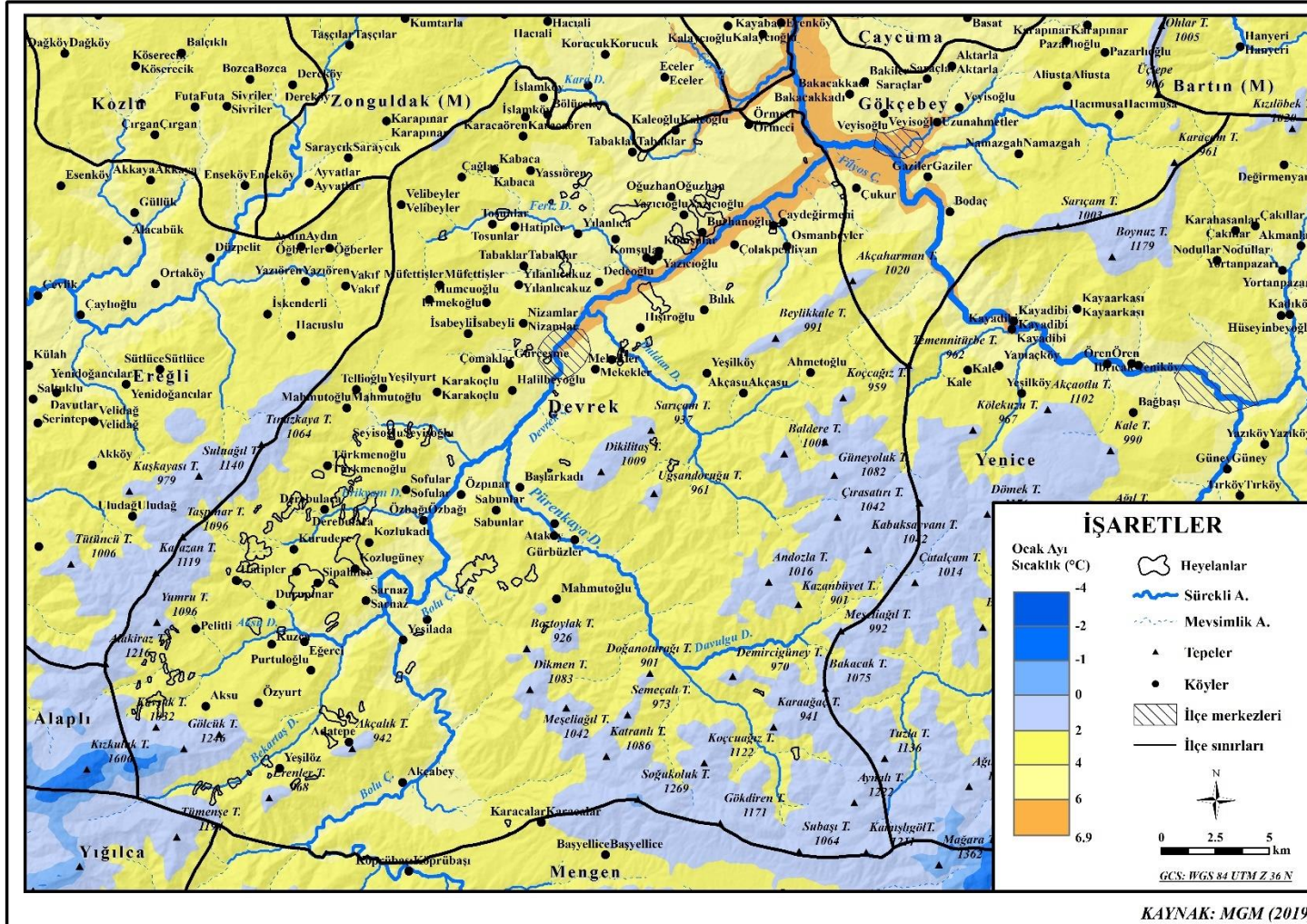
Harita 11. Devrek ilçesi ve çevresinin yıllık ortalama sıcaklık haritası.

Sıcaklığın en yüksek ve en düşük olduğu zamanları belirlemek amacıyla yaz ve kış mevsimlerinin ortanca ayları değerlendirilmiştir. Bu sebeple yaz mevsimini temsil etmek için temmuz ayının, kış mevsimini temsil amacıyla da ocak ayının ortalama sıcaklık değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

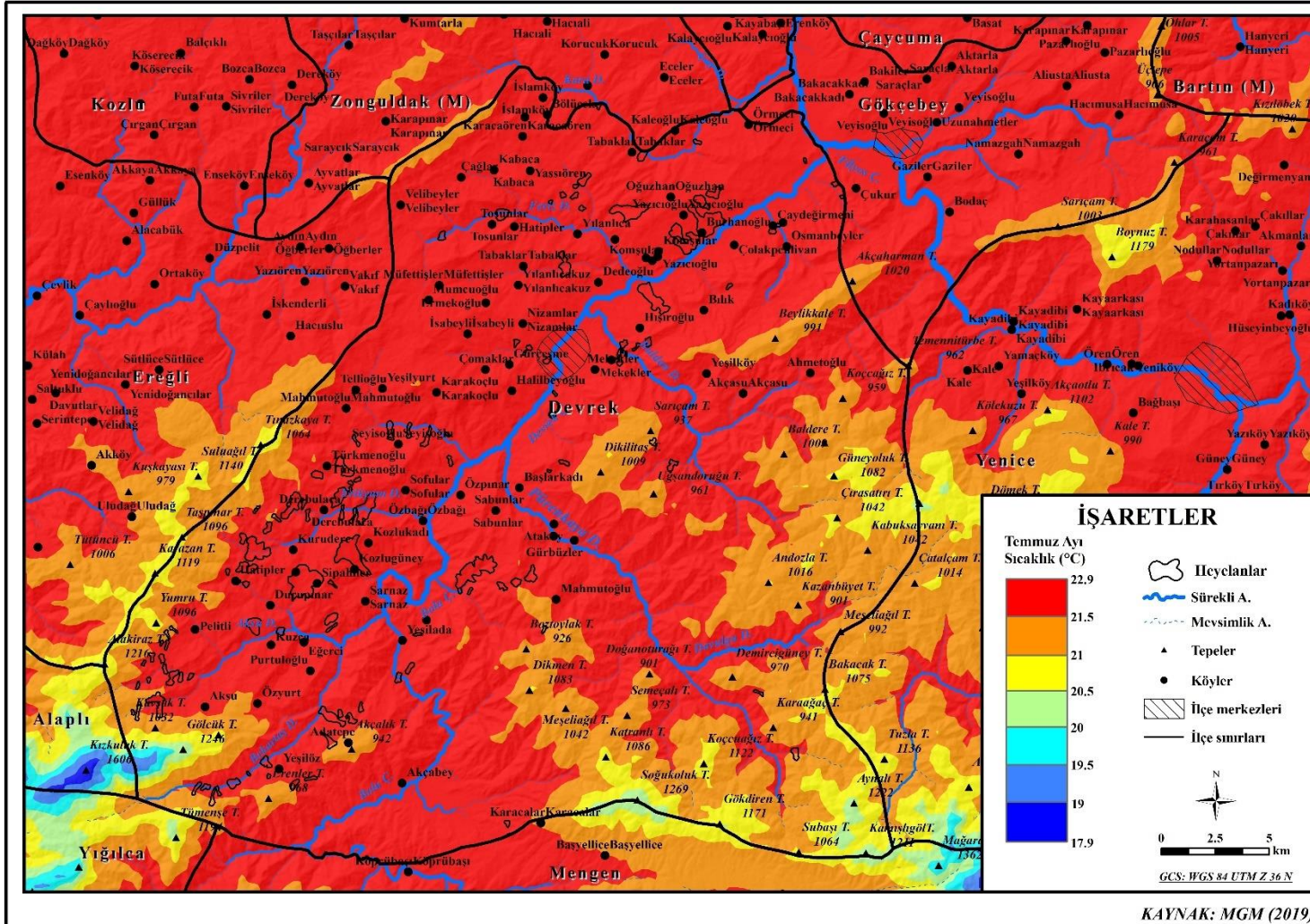
Ocak ayı ortalamalarında; en düşük sıcaklığın Acısu istasyonunda (0,6 °C) ve Eskipazar istasyonunda (0,8 °C) olduğu görülmektedir. Bu iki istasyon diğer istasyonlara göre yüksekte bulunduğundan (Acısu 1112 m, Eskipazar 757 m) ocak ayı sıcaklık ortalamaları 1 derecenin altındadır. Devrek ve Çaycuma Havaalanı istasyonlarında ocak ayı sıcaklık ortalamaları 4,7 °C iken, Yenice istasyonunda 5,3 °C'dir. Ocak ayı sıcaklık ortalamasının en yüksek (5,8 °C) olduğu yer ise Karadeniz'e en yakın olan ile Ereğli istasyonudur. Burdan yola çıkarak ocak ayı sıcaklık ortalamalarının kıyıda iç kesime doğru ilerledikçe ve yükselti arttıkça düştüğü sonucuna ulaşılmaktadır (Harita 12).

Yaz mevsimini temsilen seçilen temmuz ayının ortalamaları incelendiğinde; en yüksek temmuz ayı sıcaklık ortalaması 24,1 °C ile Devrek'te ardından 24 °C ile Yenice'de ve 23,9 °C ile Ereğli istasyonunda ölçülmüştür. Bu istasyonları takiben 23 °C temmuz ayı sıcaklık ortalamasına sahip Çaycuma Havaalanı istasyonu dördüncü en yüksek sıcaklık ortalamasına sahiptir. Karasallık ve kısmen de yükseltide dolayı Eskipazar istasyonunda temmuz ayı sıcaklık ortalaması 21,4 °C'dir. Yükseltinin fazla olmasından dolayı Acısu istasyonunda ortalama temmuz sıcaklığı 18,4 °C ile en düşüktür (Harita 13).

Temmuz ve ocak ayları ortalama sıcaklık değerleri göz önüne alındığında en fazla sıcaklık farkının 20,6 °C ile Eskipazar istasyonunda olduğu görülmektedir. Eskipazar'ın diğer istasyonlara göre denize daha uzak olması nemliliğinin de düşük olmasına yol açmakta bu yüzden yaz ve kış sıcaklıkları arasındaki farkın açılmasına sebep olmaktadır. Sıcaklık farkının en düşük olduğu istasyon ise 17,8 °C ile Acısu istasyonudur. Yükseltinin fazla olması dolayısıyla burada sıcaklık değişiminin diğer istasyonlar kadar olmasını engellemiştir. Devrek'te ise temmuz ve ocak ayı ortalamaları arasındaki sıcaklık farkı 19,4 °C'dir. Ardından 18,7 °C ile Yenice, 18,3 °C ile Çaycuma Havaalanı, 18,1 °C ile Ereğli istasyonları gelmektedir.



Harita 12. Devrek ve çevresinin ocak ayı ortalama sıcaklık haritası.



Harita 13. Devrek ve çevresinin temmuz ayı ortalama sıcaklık haritası.

1.5.3.2. Yağış

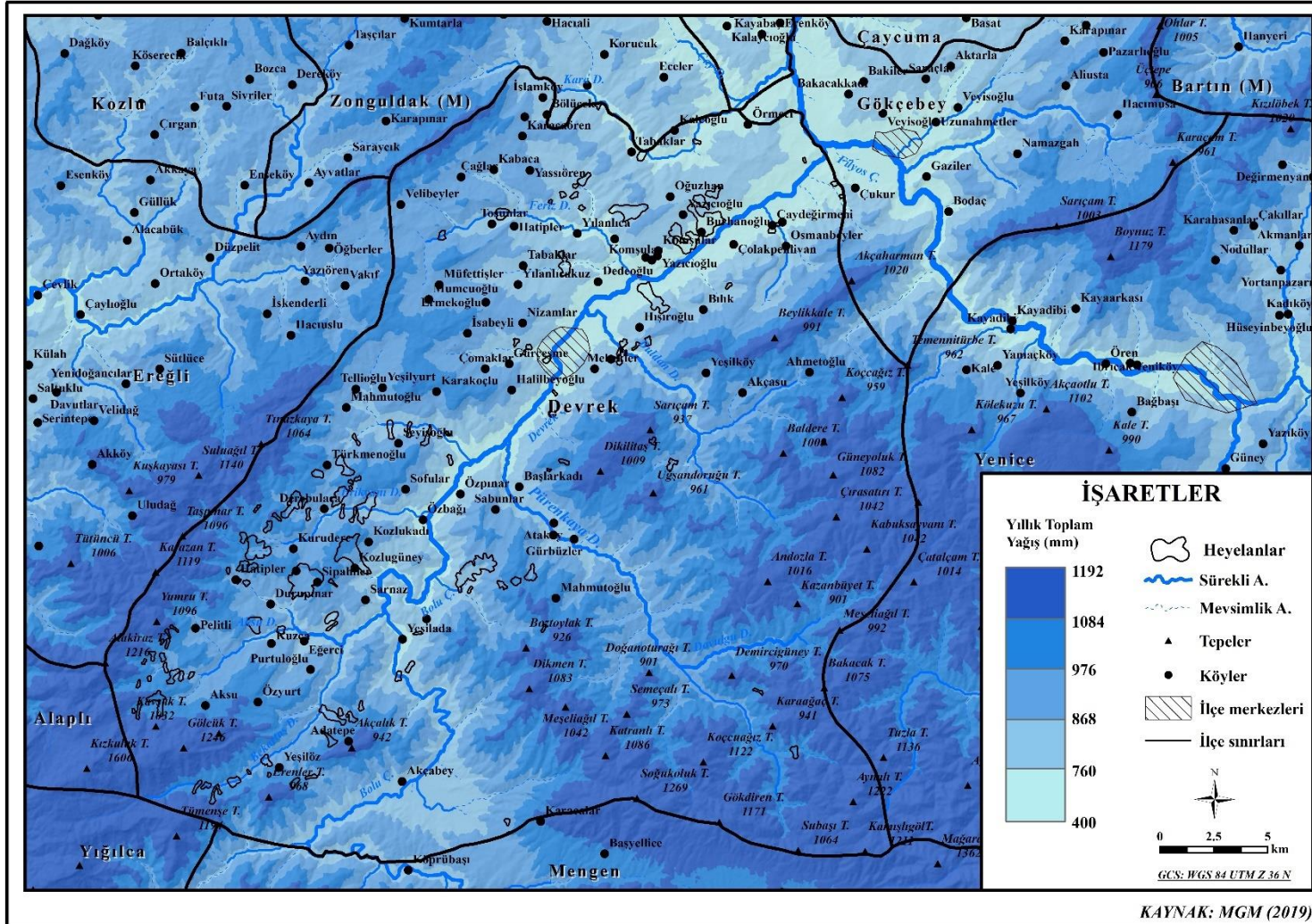
Değerlendirme için ele alınan 6 meteoroloji istasyonunda yıllık toplam yağışın kıyı kesimlerden iç kesimlere doğru azaldığı, yükseltinin artmasına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. İstasyonlar arasında en fazla yağışın düştüğü alan olan Ereğli istasyonunda yıllık toplam yağış 1120 mm'dir. Ereğli aynı zamanda Karadeniz kıyısına en yakın olan istasyondur ve deniz üzerinden gelen nemli hava öncelikle buraya yağış bırakmaktadır. Yağışın en yüksek olduğu ikinci istasyon ise yıllık toplam yağış değeri 1057,3 mm olan Acısu istasyonudur. Bu istasyon diğer meteoroloji istasyonlarına göre daha yüksek kesimde bulunmaktadır. Ardından sırasıyla Çaycuma Havaalanı (901,3 mm), Devrek (760,2 mm), Yenice (714,1 mm) gelmektedir. Yıllık toplam yağışın en düşük olduğu istasyon ise 440,1 mm ile Eskipazar'dır (Tablo 4).

Tablo 4. Devrek ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarının aylık ve yıllık toplam yağış (mm) değerleri.

İstasyonlar	Yükseklik (m)	Aylar												
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Devrek	100	82,6	64,1	79,4	53,3	60,6	69,3	37,4	47,4	56,8	82,2	48,7	78,6	760,2
Devrek/Acısu	1112	115,8	103,6	90,8	68,9	77,4	104,3	56,7	44,5	81,6	116,9	69,1	127,8	1057,3
Ereğli	19	149,5	88,9	101,8	54,7	55,8	93,2	57,1	62,9	102,9	129,8	72,9	150,4	1120,0
Yenice	150	53,1	59,1	49,4	70,3	55,4	81,9	47,3	59,6	42,2	68,6	65,6	61,6	714,1
Çaycuma H.L.	13	107,6	82,9	101,2	45,7	39,7	26,7	63,5	5,7	165,2	97,5	42,1	123,5	901,3
Eskipazar	757	37,4	28,2	39,6	45,5	60,1	63,9	18,5	28,9	28,6	35,4	23,4	30,7	440,1

MGM verilerinden üretilmiştir.

Devrek ilçe merkezinde 100 metre yükseklikte bulunan meteoroloji istasyonunda yıllık toplam yağış değeri 760,2 mm olarak kaydedilmiştir. İlçenin merkezinin güneybatısında 1112 metre yükseklikte bulunan Acısu istasyonunda ise yıllık toplam yağış 1057,3 mm'dir. Merkezin doğusunda 150 metre yükseklikte bulunan Yenice meteoroloji istasyonunda ise yıllık toplam yağış 714,1 mm'dir. Burdan yola çıkarak Devrek çevresinde 35-150 metre arasında değişen vadi tabanlarında yağışın yaklaşık 700-800 mm arasında değiştiği söylenebilir. Bu sahada yükselti arttıkça yağışında arttığı özellikle 1000 metrenin üzerindeki yüksek alanlarda yıllık toplam yağışın 1000 mm üzerine çıktığı sonucuna ulaşılabılır (Harita 14). Yağışın kabaca 700-1000 mm arasında değiştiği bu saha topografik şartların da etkisiyle heyelan oluşumu için yeterli toprak suyunun bulunduğu yağışlı bir bölgedir.

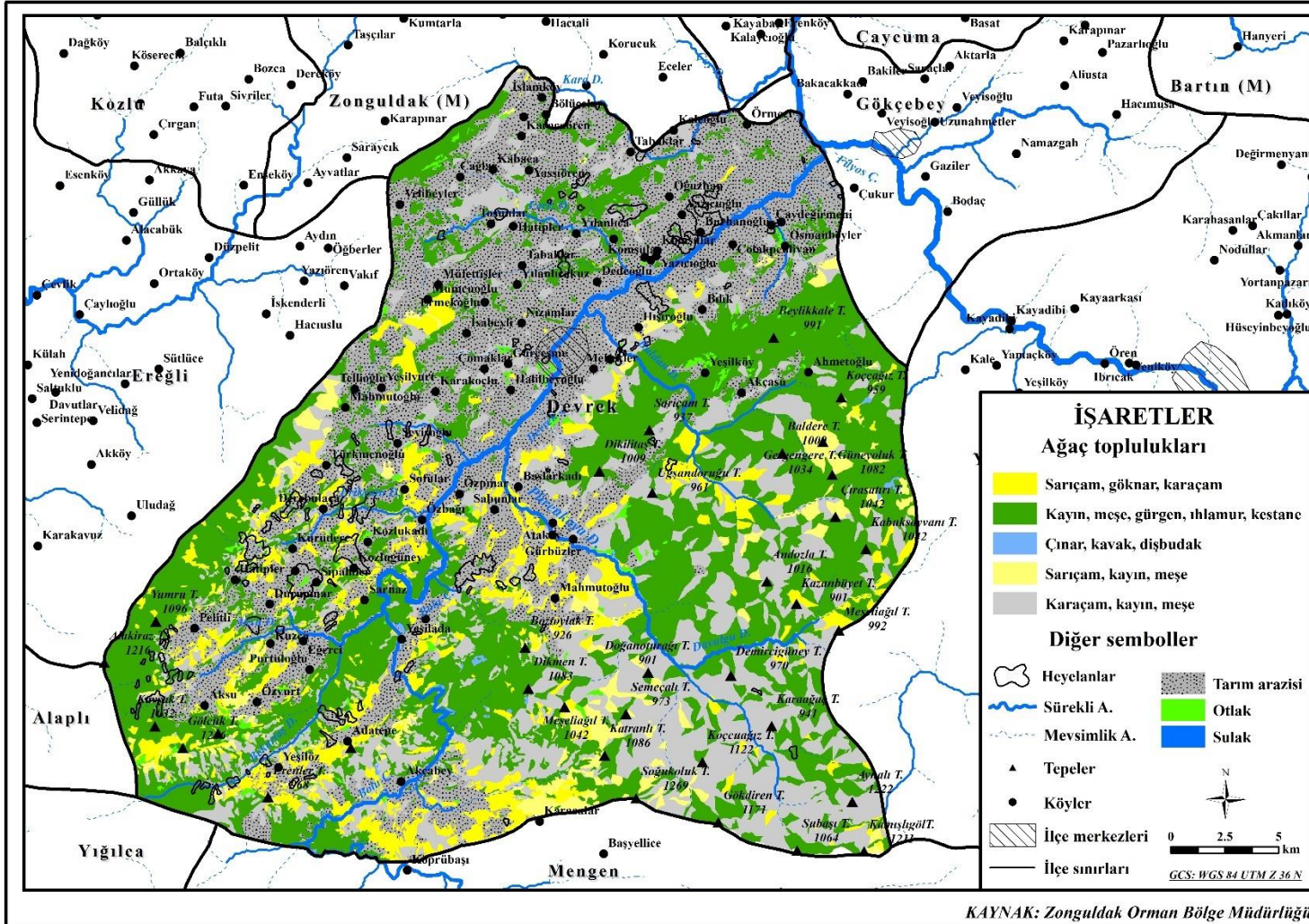


Harita 14. Devrek ve çevresinin yıllık toplam yağış haritası.

1.6. Araştırma Alanının Doğal Bitki Örtüsü Özellikleri

Çalışma sahası ülkemizin kuzey kesiminin dahil olduğu, nemcil yayvan yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlarla karakterize edilen Avrupa-Sibirya flora bölgesinin öksin bölümündedir (Avcı, 1993). Devrek ve çevresi Atalay (2014)'ın Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri sınıflandırmasına göre Karadeniz nemli-ılıman geniş yapraklı orman bölümüne dahildir. Bu bölüm Karadeniz kıyı kuşağından başlayarak kıyı dağlarının kuzey yamaçlarını kapsar. Yükselti olarak yaklaşık 1000-1500 m'ye kadar çıkar. Karadeniz kıyı kuşağı ayrıca yıllık toplam yağışın fazla olmasından dolayı bitki tür ve topluluklarının zengin olduğu bir sahadır. Kabaca Karadeniz iklim kuşağı; alçak kesimlerde genellikle meşe (*Quercus robur*, *Quercus petraea*), gürgen (*Carpinus betulus*), kestane (*Castanea sativa*), yüksek kesimlerde kayın (*Fagus orientalis*) gibi geniş yapraklı ağaçlar, yine yüksek kesimlerde sarıçam (*Pinus sylvestris*), göknar (*Abies nordmanniana*), karaçam (*Pinus nigra*) gibi iğne yapraklı, yıl boyu yapraklarını dökmeyen ağaçlarla temsil edilir. Ayrıca taban suyunun yüksek olduğu yerlerde özellikle dere boylarında, vadi tabanlarında çınar (*Platanus orientalis*), kavak (*Populus alba*, *Populus tremula*) dişbudak (*Fraxinus ornus*), söğüt (*Salix cordata*), kızılâğaç (*Alnus glutinosa*) gibi suyu seven (hidrofil) türler yayılış gösterir. Orman altı florasının ve orman meyvelerinin de çokça karşılaştığı bu kuşakta psödomaki türlerinden ormangülleri (*Rhododendron ponticum*, *Rhododendron luteum*), böğürtlen (*Rubus ssp.*), muşmula (*Mespilus germanica*), şimşir (*Buxus sempervirens*) gibi çalı tipinde bitkiler görülmektedir.

Çalışma sahası kuzeyde Karadeniz kıyısından, güneyde bulunan Bolu Dağları'nın kuzey yamaçları arasında kalan sahada olduğundan Karadeniz nemli-ılıman geniş yapraklı orman bölümünün batı kısmında bulunmaktadır. Sahadaki ağaçların dağılışını analiz etmek amacıyla Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'nden amenajman verileri temin edilmiştir. Bu veri içindeki meşcere bölümünde bulunan ağaç tür isim kodları düzenlenip, bitki topluluklarının dağılışını gösteren harita yapılmıştır. Haritalama yapılırken ekolojik istek bakımından birbirine yakın olan türler gruplandırılarak gösterilmiştir (Harita 15).



Harita 15. Devrek ilçesinde ağaç topluluklarının dağılışı.

Buna göre sahada kayın, meşe, gürgen, ıhlamur, kestane gibi Karadeniz iklim bölgesini karakterize eden nemli-ılıman iklimleri seven türler öne çıkmaktadır. Özellikle sahanın doğusundaki kuzey bakılı alanlarda ormanın sıklaştığı bölgelerde bu türler karşımıza çıkmaktadır. Geniş yapraklı ağaçların bulunduğu bu ormanlarda kışın dökülen yapraklar toprağa karışarak organik madde tabakasını oluşturur.

Güneşi direkt olarak alan ve sis olaylarının görülmediği 1000 m üzerindeki yüksek sahalarda ise sarıçamlar bulunmaktadır. Sarıçamlar saf topluluklar oluşturmakla birlikte yer yer istilacı tür olarak tanımlanan ve sarıçamların gölgesine yerleşen göknarlarla karışık meşcereler oluşturmaktadır. Yine 300-600 m yükseklik aralığına sahip sahalarda ekolojik istekleri bakımından soğuğa sarıçam kadar dayanıklı olmayan karaçamlar, kayın ve meşe ile karışmaktadır.

Devrek Çayı vadisi boyunca verimli alüvyal ovalarda ve ormanın tahrip ederek açılan alanlarda ise tarım arazileri görülmektedir. Tarım alanları Devrek Çayı'nın akış yönüne paralel olarak uzanmaktadır. Vadi tabanının genişlediği kuzey kesimlerde tarım arazilerinin ve yerleşmelerin arttığı görülmektedir. Ormanın sıklaştığı doğu kesimde ise yerleşmeler çok seyrek.

2. İKİNCİ BÖLÜM

HEYELAN, HEYELANLARIN SINIFLANDIRILMASI ve HEYELAN DUYARLILIĞI

Bu bölümde heyelanın ne olduğu, geometrik özelliklerine göre heyelanların tanımlanması ve heyelana etki eden faktörler açıklandıktan sonra heyelan sınıflandırması açıklanmıştır. Ayrıca heyelan duyarlılığı ve duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Genel itibariyle heyelan ve heyelan duyarlılığı hakkında teorik bilgileri içeren bir bölümdür ve ileride yapılacak araştırmalar için toplu bir derleme sunulmuştur.

2.1. Heyelan Nedir?

Heyelan terimini açıklamadan önce daha geniş bir kavram olan kütle hareketlerinin ne olduğu ve hangi tür kütle hareketlerinin heyelan olarak değerlendirildiği bilinmelidir. Kütle hareketi, yamaç dengesinin (şev stabilitesi) bozulması yani yamacın kayma gerilmesi ve kayma mukavemeti dengesinin bozulması sonucu yalnızca yer çekimi etkisi ile arazinin bir bölümünün eğim boyunca hareket ederek şekil ve yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir (Şahin & Sipahioğlu, 2002). Soliflüksiyon ve sürünme yavaş gelişen kütle hareketlerine, heyelan, çamur akması (lahar) ve taş düşmesi hızlı gelişen kütle hareketlerine dahil edilmektedir (Erinç, 2012). Başka bir ifadeyle enkaz, toprak ve/veya kaya parçalarının eğim boyunca ani gelişen hareketi heyelan olarak tanımlanabilir.

Heyelan, birçok süreci tanımlayan geniş bir terimdir. Bu tanımların hepsi eğim boyunca yer değiştirmiş kütle malzemesine ve hareketin şekline göre değişmektedir (Nordal ve Lindsay, 2017). Bu sebeple birçok araştırmacı heyelanlar hakkında çeşitli tanımlamalar yapmıştır. Belirli bir eğime sahip her yamaçta, malzemenin aşağı iniş hareketini destekleme eğilimi gösteren kuvvetler ve harekete direnme eğilimi gösteren karşıt kuvvetler vardır. Bir eğimin emniyet faktörünün genel tanımı, aşağı eğilme veya kayma gerilmesinin, varsayılan veya bilinen bir yırtılma yüzeyi boyunca toprağın kayma mukavemeti ile karşılaştırılması sonucu ortaya çıkar (Popescu, 2002). Varnes (1958), heyelanları “kayaç, toprak, yapay dolgular veya bu malzemelerin farklı kombinasyonlarının eğim aşağıya ve dışa doğru hareketi” olarak tanımlamıştır. Burada geçen hareket kelimesinin; düşme, akma, kayma veya bunların herhangi bir

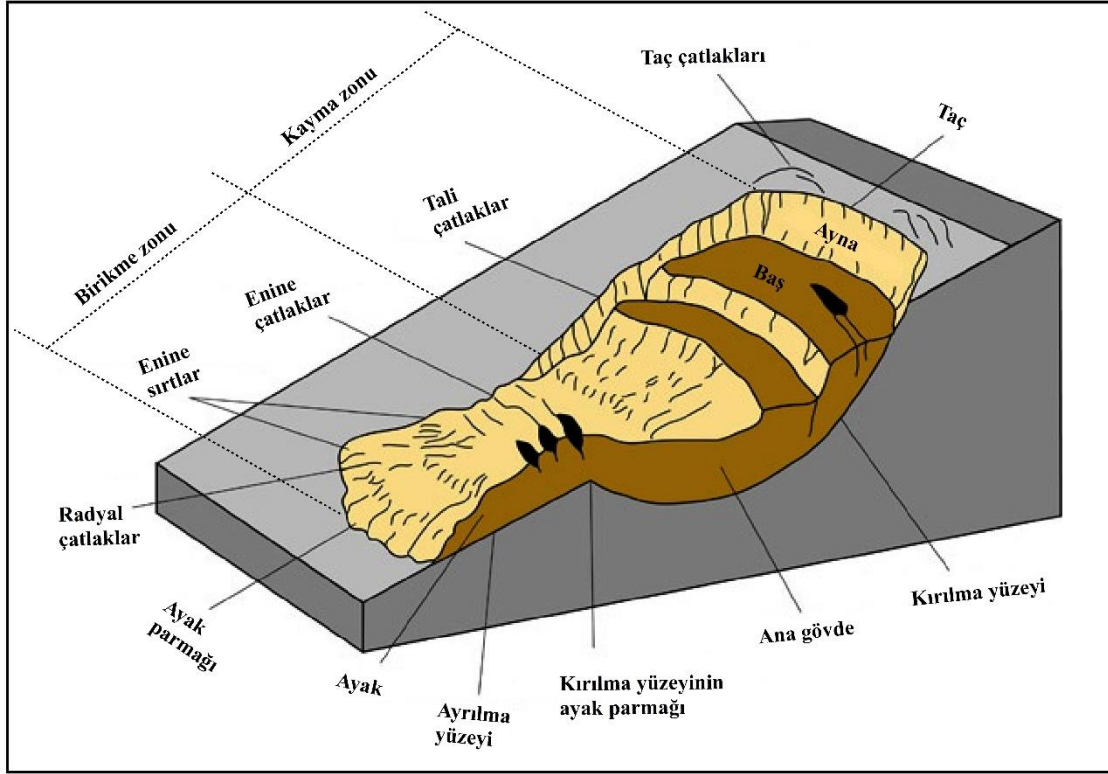
kombinasyonu olduğunu belirtmiştir. Erinç (2012), heyelanları “döküntü/enkaz, toprak, kayaktan oluşmuş kütlelerin yer çekiminin etkisi altında koparak yer değiştirmeleri” şeklinde tanımlamıştır. Cruden (1991), “*A simple definition of landslide*” isimli çalışmasında, heyelan (landslip/landslide) kelimesinin tarih boyunca gelişimini eski sözlükleri tarayarak incelemiştir. Sonuç olarak heyelanları “bir kaya, toprak veya yapay dolgu kütlelerinin eğim boyunca hızlı hareketi” olarak tanımlamıştır.

Yapılan tanımların özeti olarak heyelan “kaya, toprak, enkaz/döküntü gibi malzemelerin birinin veya birkaçının eğimli bir yamaçtan, yer çekiminin etkisiyle hızlıca hareket etmesi ve bu hareketle beraber malzemelerin taşınması sonucu yamacın şekil bakımından değişikliğe uğraması olayıdır” şeklinde tanımlanabilir.

Uzun yıllar boyunca heyelanları oluşturan malzemeler tanımlanırken kullanılan enkaz/döküntü (debris) kelimesi ile belirtilmek istenen kum, çakıl, parke taşları ve kayaların bir karışımıdır (Oldrich vd., 2014). Bu karışım doğal kökenli olabileceği gibi yapay da olabilmektedir. Hafriyat döküntüleri bu kategoride değerlendirilmektedir.

UNESCO Working Party for Word Landslide Inventory (WPWLI) (1990), uluslararası ölçekte “*Dünya Heyelan Envanteri*” oluşturmak amacıyla 1 milyon m³’ten büyük, can veya mal kaybına yol açan heyelanların; tarih, tip, hacim ve geometrik özelliklerine göre raporlanmasını önermiştir. Bunun için ülkemizde gerçekleşen heyelanların kayıt altına alınması ve belli standartlar altında bilgi bankasının oluşturulması amacıyla Ulaştırma ve Denizcilik Bakanlığı’na bağlı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2015 yılında “*Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu*” yayınlamıştır. Yayımlanan raporda, ülkemizde gerçekleşen heyelanlar kayıt altına alınırken “*IAEG Commission on Landslides (1990)*” tarafınca belirlenen heyelan bölümlerinin isimlendirilmesinin kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 3). Buna göre kayma ve birikme zonu olarak heyelan sahası iki bölüme ayrılmaktadır. Heyelan taç kısmından ana gövdeye kadar kayma zonu olarak, gövdeden ayak pamağına kadar olan kısım birikme zonu olarak isimlendirilir. Taç kısmı, heyelan aynasının en üst kısmıdır ve hareket etmemiş olan malzemenin konumlandığı yerdir. Taç kısmında, alttaki malzemenin hareketin dolayı çatlaklar bulunur. Bunlar taç çatlakları olarak adlandırılmaktadır. Kırılma yüzeyi, tali ve dikey çatlaklar yine heyelanın kayma zonunda bulunan diğer bölümlerdir. Birikme zonu ise malzemenin toplandığı bölümdür. Bu kısımda enine çatlaklar, enine sırtlar ve radyal çatlaklar bulunur. Heyelanın ayak

parmağı ise biriken malzemenin ulaştığı son noktadır. Ayak parmağı, aralarına enine çatlakların ve sırtların girdiği heyelan ayağını oluşturur. Oluşan bir heyelan sonrası ayırt edilmek istenen heyelan sahası, heyelanın taç kısmından başlayıp ayak parmağına kadar olan kısımdır.



Şekil 3. Genel kabul görmüş heyelan terminolojisi (Highland ve Bobrowsky, 2008'den düzenlenmiştir).

2.2. Heyelanların Oluşum Koşulları ve Tetikleyici Süreçler

Heyelan olayının meydana gelmesi birçok faktöre bağlıdır. Temelde eğimli bir yamaçta bulunan malzemelerin yer çekiminin etkisiyle hareket etmesi olarak tanımlanan heyelanların oluşumunu hazırlayan ve tetikleyen süreçler; *zemin koşulları*, *jeomorfolojik süreçler*, *fiziksel süreçler* ve *beşerî süreçler* olarak dört kategoride sınıflandırılmaktadır (Popescu, 1994). Zemin koşulları veya zeminin malzeme ve kütle özellikleri, heyelanın yüzeyinde ve çevresinin genel karakteristik özelliklerini temsil etmektedir. Jeomorfolojik süreçler veya yerin morfolojisindeki değişiklikler şev stabilitesinin denge değişimine yol açan doğal tetikleyicilerdir. Fiziksel süreçler ise iklimik şartları ve jeolojik özellikleri yani geniş anlamda çevre ile ilgili tetikleyici süreçleri tanımlamaktadır. Beşerî süreçler ise araziye yapılan yapay müdahaleleri içermektedir. Tablo 5'te alt başlıklara ayrılan heyelanı hazırlayıcı faktörlerden jeomorfolojik süreçler,

fiziksel süreçler ve beşerî süreçler aynı zamanda heyelanları tetikleyen faktörlerdir. Zemin koşulları ise heyelanın oluşmasına topografik olarak uygun ortamların özelliklerini içermektedir. Popescu (1994) tarafından, heyelan envanteri oluşturmada uluslararası bir standardizasyon getirme amacı taşıyan, zemin koşulları ve heyelan oluşumuna sebep olan süreçler dikkate alınarak hazırlanan sınıflandırma tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Heyelana oluşumuna neden olan süreçler ve zemin koşulları (Popescu, 1994).

Zemin Koşulları	Jeomorfolojik Süreçler	Fiziksel Süreçler	Beşerî Süreçler
1- Esnek zayıf malzeme	1- Tektonik yükselme	1- Kısa süreli sağanak yağış	1- Eğim ayak parmağının kazılması
2- Hassas malzeme	2- Volkanik yükselme	2- Derin karda hızlı erime	2- Eğim tepesinin yüklenmesi
3- Katlanabilir malzeme	3- Buzul süreçleri	3- Sel, gelgit, barajların boşaltılması	3- Yeraltı suyunun kullanılıp azalması
4- Havalandırılmış malzeme	4- Eğim parmağının flüvyal erozyonu	4- Deprem	4- Altyapı sistemlerinden su kaçakları
5- Makaslanmış malzeme	5- Eğim parmağının dalga erozyonu	5- Volkanik patlama	5- Bitki örtüsü tahribi (ormansızlaşma)
6- Çatlak malzemenin birleştirilmesi	6- Eğim parmağının buzul erozyonu	6- Permafrostun çözülmesi	6- Madencilik ve taş ocakları
7- Kitle süreksizlikleri	7- Yan kenar boşlukların erozyonu	7- Donma, çözülme ve ayrışma	7- Çok gevşek atıklardan çöplük oluşturulması
8- Geçirgenlik	8- Yeraltı erozyonu	8- Toprakların büzülüp kabarması	8- Yapay titreşim (trafik, kazık çakma, makineler)
9- Sertlik	9- Eğim tepesinin yüklenmesi 10- Bitki örtüsünün doğal tahribi (yangın, kuraklık, erozyon)		

Tez çalışmasında heyelanların oluşumunu açıklayan faktörler; jeolojik, iklimik, topografik, bitki örtüsü-toprak ve beşerî faktörler başlıkları altında ele alınmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Heyelanların oluşumunu açıklayan faktörler.

Jeolojik	Klimatik	Topografik	Bitki Örtüsü- Toprak	Beşerî
Ana kaya özelliği	Yağış	Eğim	Bitki örtüsü	Yol yapımı
Tektonizma	Sıcaklık	Bakı	Toprak özellikleri	Hafriyat
Volkanizma	Don olayları			Ormansızlaşma

2.2.1. Jeolojik Faktörler

Heyelanı tetikleyen jeolojik faktörler ana kayanın özelliği, depremler ve volkanik aktivitelerdir. Yamaçların dengede kalması, kayaçların plastisite (esneklik) ve likidite (suya doygunluk) sınırlarına bağlıdır. Likidite sınırları en düşük olan kaolinit kili, heyelan oluşmasını kolaylaştırmaktadır. Bu sebeple killi malzemelerin, marn, tuf ve flişin yaygın olduğu sahalarda heyelanlar yaygın olarak görülürken, bazalt ve kalker ana kayaya sahip alanlarda heyelanlar daha azdır (Erinç, 2012). Ayrıca killerin su alarak kaygan bir yüzey oluşturması ve/veya kumlu çakıllı depolar üzerinde de heyelan görülme olasılığı yüksektir (Atalay, 2013). Tabakaların duruş açısı da heyelan oluşumunu etkileyen faktörlerdendir. Yamaç eğimine paralel şekilde uzanan tabakalar özellikle killi katmanların suya doygun hale gelmesi sonucu kaymaya eğilimlidirler.

Jeolojik faktörlerden seizma ve volkanizma da heyelanı tetikleyici unsurlardandır. Deprem ve volkanik faaliyetlerin yol açtığı sarsıntılar, eğimli yamaçların şev stabilitesinin bozulmasına yol açarak malzemenin yer çekimi yönünde iniş hareketini destekler. Bu sebeple deprem ve volkanik patlamaların oluşturduğu sismik hareketler heyelanlara yol açmaktadırlar.

2.2.2. Klimatik Faktörler

İklimle ilgili faktörler heyelan oluşumuna dolaylı olarak etki ederler. Direkt olarak malzemenin su dengesi üzerinde yapılan değişiklikleri, toprak taneciklerinin arasındaki ve kayaçların kendi içindeki moleküler bağlarının bozulmasına ve gevşemesine yol açar. Yamaçta duran malzemenin hem moleküler bağlarının zayıflaması hem de su miktarındaki artış dolayısıyla ağırlaşması sonucu heyelanlar oluşmaktadır. Yağışın çok olduğu nemli iklime sahip yerlerde heyelan olayları sıkça görülmektedir. Sıcaklığın düşük olduğu sahalarda buharlaşmanın yeterli olmamasından

dolayı toprakta su birikmektedir. Bu da yamaçlarda eğim boyunca hareketi destekleyici bir faktördür.

Don olayları ise kış mevsiminde heyelanları tetiklemektedir. Kayalarda bulunan çatlakların arasına giren su donarak kayalardaki yarıkların hacminin genişlemesine yol açar ve yeni çatlaklar oluşturur. Bu sebeple kayalar parçalanarak yamaç boyunca hareket ederler (Sür, 1972).

2.2.3. Topografik Faktörler

Topografik faktörlerden eğim, heyelanın oluşabilmesi için ana faktörlerdendir. Bakı ise araziye yağış getiren hava kütlelerinin geliş yönlerini ve arazinin gelen güneş ışınlarını alışı yönünü belirtir ve buharlaşma ile ilgilidir. Bundan dolayı bakı, heyelana zemin hazırlayan dolaylı bir faktördür.

Eğim derecesinin çok yüksek olması, heyelan olasılığını arttırır. Bazı alanlarda faylar çok dik eğime sahip yamaçları oluşturarak heyelan oluşumunu kolaylaştırır (Erinç, 2012). Heyelanın oluşabilmesi için temel şart eğimli bir yamaçtır. Heyelanı meydana getiren tüm diğer şartlar uygun olsa dahi eğim olmadığı sürece heyelan oluşmaz. Arazinin bakı durumu yağış ve sıcaklık gibi iklim parametreleri üzerinde etkilidir. Örneğin Karadeniz Bölgesi'nde yağış getiren hava kütlelerinin kuzeyden gelmesinden dolayı kuzeyli bakıya sahip yamaçlar daha çok yağış almakta ve bu yüzden heyelan oluşumuna daha müsait olmaktadır. Aynı zamanda güneş ışınlarının güneyli bakıya sahip arazilere direkt olarak gelmesi zemindeki buharlaşmayı artırarak heyelan oluşumunu kısmen engellemektedir.

2.2.4. Bitki Örtüsü ve Toprak Özellikleri

Bu kategoride yer alan özellikler, heyelanın oluşma ortamı ile ilgili faktörler yani heyelana zemin hazırlayıcı şartlardır. Bitki örtüsünün varlığı yanlış bilinenin aksine toprağı bir arada tutuculuğı ile değil toprak suyunu kullandığından dolayı heyelanı önleyici bir faktördür. Özellikle orman alanlarında bitkilerin kökleriyle topraktaki suyu bünyelerine alması, toprakta su dengesinin sağlanmasına yol açar. Bu sebeple heyelan oluşumuna zemin hazırlayan toprak suyu fazlalığının önüne geçer.

Toprak özellikleri ise toprağın bünyesi, yapısı ve su tutma kapasitesi ile ilgilidir. Bilhassa killi topraklar suyu bünyelerine aldıklarında şişer ve kayganlaşmaya başlarlar.

Kayganlaşan ve aynı zamanda ağırlaşan toprak kütlesi, eğim boyunca kaymaya meyillidir ve heyelan oluşumunda önemli bir etkidir.

Toprağın yüzey taşlılığı da heyelan oluşumunu etkileyen bir faktördür. Zeminin üzerindeki taşlılık, düşen yağışın hızlıca sızmasını engelleyerek yüzeysel akıma geçmesine sebep olur ve toprakta aşırı su tutulmasının önüne geçer. Bu durum heyelanı ortaya çıkaran toprakta su birikimini engellemektedir.

2.2.5. Beşerî Faktörler

Heyelanlar genellikle doğal tehlikelerin tipik örnekleri olarak kabul edilmelerine rağmen, insan faaliyetlerinden etkilenebilirler. Özellikle Avrupa’da birçok kentsel alanda altyapı ve su kanalları oldukça eskidir. Su kanallarından sızan suların yamaçlarda toplanması toprağın ağırlaşmasına yol açarak heyelanları tetiklemektedir (Michoud vd., 2012). Heyelan oluşmasını tetikleyen beşerî faktörler genel anlamda heyelan sahasına yapılan müdahaleleri içermektedir. Yamaç eğiminin dengesinin bozulmasına yol açan müdahaleler; yol yapımı, kanalizasyondan sızan su kaçakları, patlayıcılar, orman tahribi, heyelan ayağına yapılan doldurma işlemleri, heyelan ayak parmağının boşaltılması, maden ve taş ocağı gibi işletmelerde çeşitli makinelerle yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan yapay titreşimlerdir.

Sıralanan tüm beşerî müdahaleler; yamaçtaki malzemenin hacmindeki değişiklikler, toprakta tutulan suyun artmasına yol açacak veya yamaç dengesini çeşitli şekillerde bozacak değişikliklerdir. Eğimli bir sahaya boşaltılan malzeme (hafriyat gibi) ağırlığı arttıracak ve kayma olayını tetikleyecektir. Kanalizasyon kaçakları toprak suyu seviyesini arttırdığı için heyelan oluşumuna davet çıkaracaktır. Ormanların tahribi, topraktan bitkiler yoluyla alınan suyun azalmasına yol açarak toprak suyunun artmasına yol açacak ve heyelan oluşumu tetiklenecektir. Heyelan ayak parmağındaki malzemenin alınması yamaçtaki dengeyi bozarak üstte tutulan malzemenin kolayca kaymasına yol açacaktır.

2.3. Heyelanların Sınıflandırılması

Heyelan terimi; kaya, toprak, yapay dolgu veya bunların bir kombinasyonu da dahil olmak üzere eğim oluşturan malzemelerin aşağı ve dışa doğru hareketiyle sonuçlanan çok çeşitli işlemleri tasnif etmektedir. Malzemeler düşerek, devrilerek, kayarak, yayılarak veya akarak hareket edebilir. Çeşitli heyelan türleri, ilgili malzeme

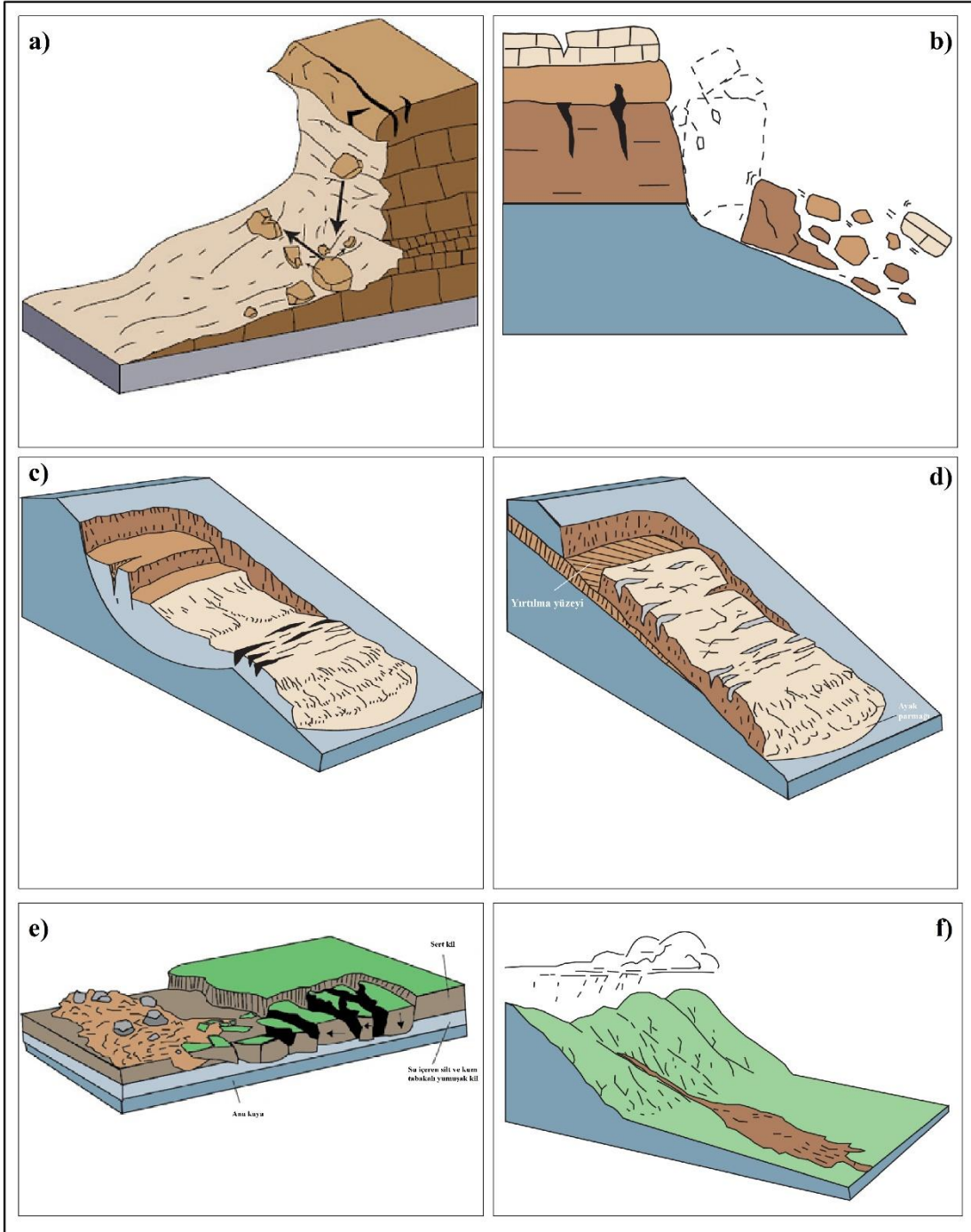
türleri ve hareket tarzı ile ayırt edilebilir. Bu parametrelere dayalı bir sınıflandırma Varnes (1978) tarafından yapılmıştır. Literatürde uzun yıllardır kullanılan bu sınıflandırma, heyelanı oluşturan malzeme ve hareketin türü dikkate alınarak yapılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Varnes (1978)'in heyelan sınıflandırma sistemi.

Hareketi Türü		Melzemenin Türü		
		Ana kaya	Toprak	
			Kaba malzeme ağırlıklı	Ayrılmış malzeme ağırlıklı
Düşme		Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak düşmesi
Devrilme		Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
Kayma	Dairesel	Kayaç kayması	Moloz kayması	Toprak kayması
	Ötelenmeli			
Yanal yayılma		Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
Akma		Kaya akması	Moloz akması	Toprak akması
		(derin krip)	(toprak krip)	
Karma		İki veya daha fazla hareket türünün kombinasyonu.		

Düşme türünde hareket sırasında kayma çok az görülür veya hiç görülmez. Kaya, moloz veya toprak yamaçtan ayrılıp serbest düşüş, sıçrama veya yuvarlanma şeklinde eğim boyunca hareket eder (Varnes, 1978). Devrilme, malzemenin taban kısmının nispeten sabit kaldığı ve taç kısmına yakın yerin eğim doğrultusunda yer değiştirmesidir. Dairesel kayma, heyelanın kayma zonunun basamaklı hale gelecek şekilde yer değiştirmesi iken ötelenmeli kayma hareketinde yırtılma yüzeyinden itibaren kütle halinde yer değiştirmesi söz konusudur. Yanal yayılmalar, düz veya düze yakın arazilerde ortaya çıkar. Yumuşak ve suya doymuş bir tabakanın üzerindeki sert tabakanın yayılarak hareketi sonucu oluşur. Çoğu zaman yüzeydeki çatlaklardan dolayı fark edilebilir. Akma, kayma yüzeyinin sürekli olduğu, sıvılara benzer bir hareket şeklidir. Su içeriğine göre değişen hıza bağlı olarak kayma ve akma hareketleri ayırt edilebilir.

Karma hareket ise birden fazla hareket türünün beraber ortaya çıkmasına denilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Heyelanların hareket türleri. A) düşme, b) devrilme, c) kayma, d) ötelenmeli kayma, e) yanıl yayılma, f) akma. Highland ve Bobrowsky (2008)'den düzenlenmiştir.

Daha sonradan Varnes (1978)'in sınıflandırmasındaki terminolojinin, jeoteknik olarak hatalı olduğunu düşünerek yeni bir heyelan sınıflandırması yapılmıştır (Tablo 8). Hungr vd. (2014), Varnes sınıflandırmasındaki kaya ve toprak ayrımının doğru yapılamadığı özellikle moloz/enkaz (debris) kelimesinin bilimsel bir tabir olmadığını vurgulamışlardır. Ayrıca karma heyelanlar şeklinde ayrı bir kategorinin yapılamayacağını, bunun en fazla iki tür heyelanın adının birleştirilerek yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Tablo 8. Hungr vd. (2014)'nin heyelan sınıflandırması.

Hareketin türü	Kaya	Toprak
Düşme	Kaya veya Buz	Blok kaya, moloz, silt düşmesi
Devrilme	Kaya blok devrilmesi Kaya eğilme devrilmesi	Çakıl, kum, silt devrilmesi
Kayma	Kayanın dairesel kayması	Kil ve siltin dairesel kayması
	Kayanın düzlemsel kayması	Kil ve siltin düzlemsel kayması
	Kayanın kama kayması	Çakıl, kum, moloz kayması
	Birleşik kaya kayması	Kil ve silt birleşik kayması
	Kayanın düzensiz kayması	
Yayılma	Kayanın yayılması	Kum, silt sıvılaşma yayılması Hassas kil yayılması Kum, silt, moloz kuru akışı Kum silt, moloz akması Hassas kil yayılması Moloz yayılması
Akma	Kaya veya buz çığları	Çamur akması Moloz taşkını Moloz çığları Toprak akması Turba akışı
Şev deformasyonu	Dağ şev deformasyonu Kaya şev deformasyonu	Toprak şev deformasyonu Toprak krip Toprak akması (soliflüksiyon)

2.4. Heyelan Duyarlılığı ve Heyelan Duyarlılık Analizleri

Heyelan duyarlılığı, bir sahanın jeolojik, jeomorfolojik, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerini dikkate alarak sahanın heyelan oluşum olasılığına göre ayrılmasıdır (Guzzetti vd., 2005; Tseng vd., 2015; Reichenbach vd., 2018). Heyelanın oluşum mekanizmasının karmaşık ve her bir alan için özgün koşulları barındırmasından dolayı heyelan envanterlerinden yardım alınarak saha için heyelan oluşturan faktörler ve bu faktörlerin ağırlıkları belirlenebilir. Heyelan duyarlılığı, heyelanın nerede oluşacağını kesin olarak belirtmez. Terim hangi sahaların heyelan oluşumuna yatkın olduğunu vurgulamaktadır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin amacı istatistiksel analizler, veri madenciliği ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak eğimli yamaçları mekânsal anlamda işleyip heyelan yerleri ile ilgili faktörler arasındaki ilişkiyi kurmaktır (Pourghasemi vd., 2018). Analiz çıktıları heyelan duyarlılığını, düşükten yükseğe doğru sınıflandıran bir harita sunmaktadır. Analiz için kullanılan yöntemler sezgisel, deterministik ve istatistiksel olarak kategorize edilebilir (Tablo 9).

Tablo 9. Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan bazı yöntemler (Pourghasemi vd., 2018).

	İstatistiksel	Sezgisel	Deterministik
Lojistik regresyon	Diskriminant analiz	Analitik hiyerarşi süreci	Kararlılık indeks haritalaması
Frekans oranı	Genelleştirilmiş katkı modeli	Mekânsal çok kriterli değerlendirme	Sonsuz şev stabilitesi modeli
Kanıt ağırlıkları	Çok değişkenli uyarlamalı regresyon spline modeli	Ağırlıklı doğrusal kombinasyon	Sığ heyelan stabilite modeli
Yapay sinir ağları	Kümeleme analizi	Çok kriterli karar verme	Nemark deplasmanı
Bulanık/Bulanık mantık	Naive bayes	Göreceli etki	Kaya mühendisliği sistemi
İstatistiksel indeks (Bilgi değeri)	İki değişkenli istatistiksel analiz	Ağırlıklı bindirme modeli	Topografik stres
Entropi indeksi	Temel bileşenler analizi	Vaka-olay sistemi	
Destek vektör makinesi	Olasılık oranı	Karar destek sistemi	
Keskinlik faktörü	Analitik ağ süreci	Coğrafi ağırlıklı lojistik regresyon	
Dempster-Shafer	Genetik algoritma	Heyelan nominal risk faktörü	
Karar ağacı	Genetik programlama	Ortalama ağırlık analizi	
Rastgele orman		Ağırlıklı faktör	
Kanıt inanç fonksiyonu		Ağırlıklı sınıf modeli	

3. ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI

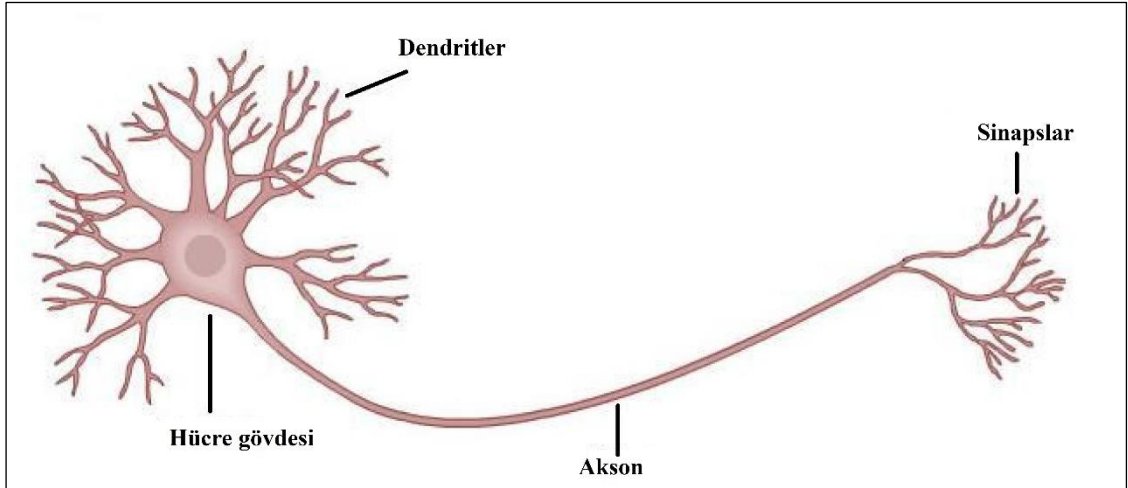
İlk kez İngiliz matematikçi ve bilgisayar bilimcisi olan Alan Mathison Turing (1950)'in meşhur, “makinelere düşünebilir mi?” sorusuyla ortaya çıkan yapay zekâ; bilgisayarların kontrolünde olan bir makineye yalnızca düşünebilen/zeki canlıların becerebildiği işlevleri kazandırmak olarak tanımlanmaktadır. Yapay zekâ teknikleri bilgisayarların çeşitli bilgileri öğrenmesine ve daha sonra öğrendiği bilgilerle karar verme, yeni çıkarımlar yapabilme, karşılaştırma ve analiz edebilme gibi insani fonksiyonları kazandırılmaya yönelik yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Yapay zekâ kendi içerisinde çok farklı teknolojileri ortaya çıkarmıştır (Chen vd., 2008). Günlük olayların ve problemlerin farklılıkları ve bu problemleri çözmeye çalışan insanların farklı yaklaşımları dolayısıyla problem çözüm odaklı çalışan teknolojilerin de olaylara ve problemlere farklı bakış açıları ile yaklaşmasına yol açmıştır. Günümüzde 60'ın üzerinde yapay zekâ teknolojisi vardır (Öztemel, 2006). Son zamanlarda klasik yöntemlere nazaran, yapay zekâyâ ve bilgi işleme dayalı teknikler; pazarlama (Wirth, 2018), sağlık hizmetleri (Jiang vd., 2017), tarım (Liakos vd., 2018), çevre sistemlerinin modellenmesi (Haupt vd., 2008) gibi alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Bu bölümde yapay zekâ tekniği olan Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın tanımı ve çalışma mekanizması açıklandıktan sonra tarihsel gelişimi sunulmuştur. Ardından YSA'nın temel bileşenleri açıklanmış, bölümün sonunda ise makine öğrenmesi tekniklerinin coğrafya bilimi içerisinde kullanımına göz atılmıştır.

3.1. Yapay Sinir Ağları

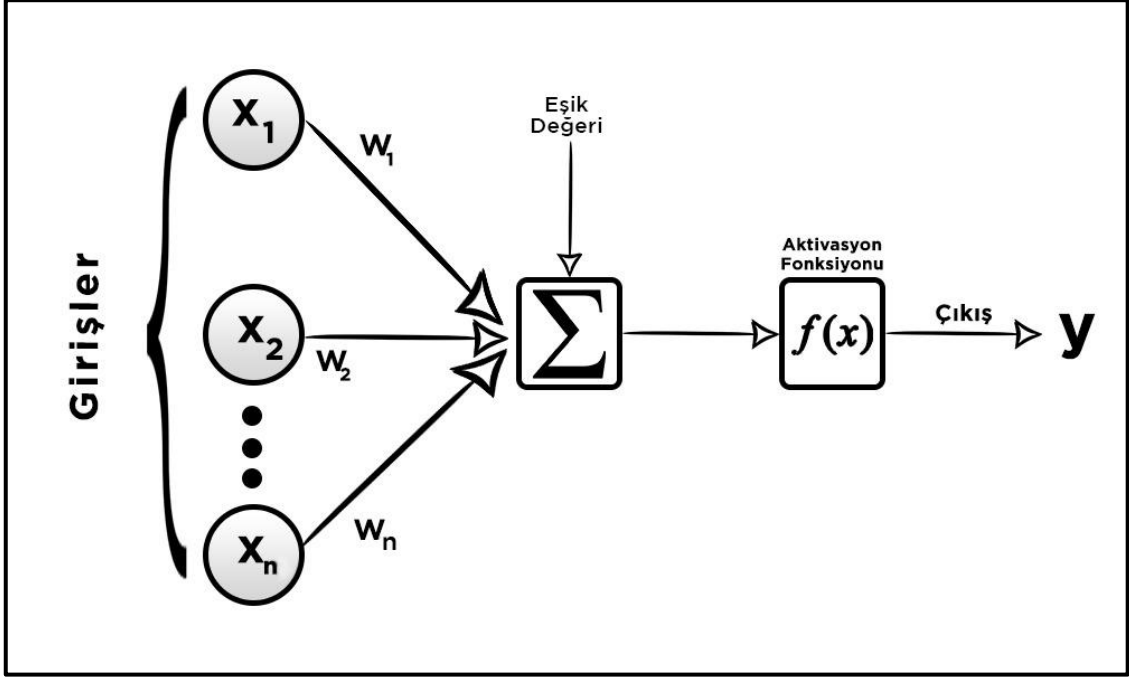
Yapay sinir ağları, biyolojik bir sinir ağının çalışma sisteminden esinlenerek oluşturulmuş, veri sınıflandırması, zaman serisi analizleri, kümeleme, örüntü tanıma gibi belirli bilgi işleme görevlerini yerine getirebilmek için tasarlanmış hesaplamalı modellerdir (Gopal, 2017). İnsan beyninin öğrenme sürecinin modellenmesi uğraşı sonucu ortaya çıkmıştır. İlk yapay sinir ağı modeli nörolog Warren McCulloch ve matematikçi Walter Pitts tarafından ortaya çıkarılmıştır. Biyolojik sinir sisteminin “ya hep ya hiç” şeklindeki karakterinden yola çıkarak sinirsel aktivitelerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin önermeli mantık yoluyla ele alınabileceğini belirtmişlerdir (McCulloch & Pitts, 1943).

Beynimizin temel işlem birimi nöronlar yani sinir hücreleridir. İnsan beyinde yaklaşık 100 milyar nöron olduğu tahmin edilmektedir. Her bir nöronun da 50.000-250.000 başka nöronla bağlantısı bulunmaktadır. Canlıların beyindeki her bir sinir hücresi, koordineli bir şekilde çalışıp karar verme, anlama, görüntüleri analiz etme, vücudun denge kontrolü gibi her türlü faaliyeti gerçekleştirilmesini sağlayan birimlerdir (Erdener, 2016). Nöron iki özel uzantısı bulunan beyin hücresidir. Bilgi, nöronlar arasında elektrik sinyalleri şeklinde dolaşmaktadır. Uzantılardan birisi elektriksel sinyalleri almaya (dendritler) diğeri ise aktarmaya (sinapslar) yarar (Şekil 5). Her bir nöron başka bir nörona sinapslar yoluyla bağlıdır. Diğeri nörondan gelen elektriksel sinyaller dendritlerle alınarak hücre gövdesine gönderilir. Hücre gövdesi dendritlerden gelen bu bilgiyi işledikten sonra akson ile sinapslara gönderir (Plotnik, 2009). Bütün nöronlar bu şekilde bilgiyi elektriksel sinyaller yardımıyla iletirler.



Şekil 5. Biyolojik sinir ağı.

YSA insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit eden sayısal modellerdir. Nöron adı verilen basit işlem elemanlarından oluşurlar. YSA temel olarak ağırlıklar, transfer fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu olmak üzere üç ana bölüme oluşur (Şekil 6). Ayrıca sinir ağı giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olarak ayrılan üç ana gövdeden oluşur. Biyolojik sinir ağı ile eşleştirilirse görev bakımından; toplam fonksiyonunu dendritlere, transfer fonksiyonunu hücre gövdesine, çıkış katmanını aksonlara, ağırlıkları da sinapslara benzetmek mümkündür.



Şekil 6. Tipik bir yapay sinir hücresi.

Giriş düğümleri kullanıcıdan veri alır ve gizli katmanlar aracılığıyla çıktı katmanına iletir. Eğitim ve test, YSA'nın iki ana işlem aşamasıdır. YSA'nın eğitimi, uygun bir mimari uygulayarak çıktıyı elde etmek için ağırlıkların ve eşik değerinin (bias) değiştirilmesini içerir. YSA'nın işleyişi, ağın mimarisi ve diğer ağ parametreleri tarafından belirlenir. YSA modellerinde en önemli nokta ağdaki katman sayısı ve gizli katmanlardaki nöronlardır. YSA uygulanmasından önce, girişteki nöron sayısını, ağ mimarisini, gizli katmanı, çıkış katmanını, öğrenme algoritmasını ve transfer fonksiyonunu içeren YSA parametrelerinin belirlenmesi gerekir (Shaikh vd., 2019). Girdi katmanından gelen her değer transfer fonksiyona iletilirken belirli ağırlıklarla çarpılır. Ardından tüm değerler toplanıp tek bir değer elde edilir ve bu toplam, bias değeri ile toplanır. Elde edilen değer, eşik değerinden yüksekse aktivasyon fonksiyonuna 1 olarak atışılır. Eşik değerinin altında kalan değerler 0 olarak atışılır. Aktivasyon fonksiyonu -türüne göre- gelen değerleri işleyerek çıktı verir. Özetle bir nöron, kendisine bağlı olan komşu nöronlardan gelen sinyalleri taşıyıcılar üzerindeki ağırlıklarla çarpıp çıkan sonuçları toplar ardından eşik değerinin gönderdiği sinyaller aktivasyon fonksiyonuna göre bir aksiyon oluşturur. Sonuç olarak çıktı katmanından bir sinyal atışılır.

YSA uygulamaları özellikle veri sınıflandırma, tahminleme, ilişkilendirme, yorumlama ve filtreleme işlemlerinde kullanılmaktadır. YSA; eksik verilerle

çalışabilme, genelleme, esneklik, hata toleransı, çok sayıda parametre ile işlem yapabilme özelliklerinden dolayı veri analizlerinde yüksek doğruluğa sahip sonuçlar üretebilmektedir (Öztürk & Şahin, 2018).

3.2. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

YSA'nın tarihsel gelişim süreci sinirbilim ve yapay zekâ alanlarında yapılan çalışmaları takip etmiştir. Sinirbilim, beynin işleyişi, nöronların çalışma mekanizması, gibi konuları gün yüzüne çıkardıkça yapay zekâ üzerine çalışan araştırmacılar bu gelişimlerden ilham alarak beynin sayısal olarak modellenmesi ve makinelere düşünme yeteneğinin kazandırılması için uğraş vermişlerdir.

YSA'nın tarihsel gelişim süreci kronolojik olarak 4 dönemde incelenmektedir (Kriesel, 2007). 1943-1950 arası "*başlangıç dönemi*", 1951-1969 yılları arası "*altın çağ*" olarak değerlendirilmektedir. 1972-1983 yılları arası bu alandaki çalışmaların yeterli fonları alamamasından dolayı araştırmacılar bireysel çalışmalar yapmış ve ortak uygulamalar geliştirilmemiştir. Bu yüzden bu dönem "*uzun sessizlik ve yavaş rekonstrüksiyon*", 1985'ten günümüze kadar olan dönem ise "*Rönesans*" olarak adlandırılmıştır.

1943'te McCulloch ve Pitts ilk yapay nörolojik ağ modelini tanıtmışlardır. Ürettikleri basit ağların o dönem için neredeyse her türlü mantık ve aritmetik fonksiyonları hesaplayabileceğini göstermişlerdir.

1947'de yine Pitts ve McCulloch, görsel formların sinir ağları tarafından tanındığını belirten bir uygulama geliştirmişlerdir.

1949'da Donald O. Hebb, davranışların organizasyonu ve çalışma mekanizması hakkında nörolojik süreçlere dayalı yeni bir teori ortaya koymuştur. Birbirine bağlı iki nöron aktif olduğunda nöronlar arasındaki bağlantının güçlendiğini savunmuştur. O dönemlerde nörolojik araştırmaların yetersizliğinden dolayı bu savını kanıtlayamamıştır. Daha sonraları bu teori deneylerle kanıtlanmış ve "*Hebb kuralı*" olarak literatüre girmiştir.

1950'de Karl Lashley, beyinde bilgilerin dağınık şekilde depolandığını kanıtlamıştır. Bu varsayımını, labirentte çıkış yolunu bulmaya çalışan fareler üzerinde yaptığı deneyle ispatlamıştır.

1951’de Marvin Minsky, ağırlıklarını otomatik olarak kendisi ayarlayabilen “Snark” isimli bir nörobilgisayar geliştirdi.

1956’da tanınmış bilim insanları ve öğrenciler Dartmouth Yaz Araştırma Projesi’nde bir araya gelip kabaca bir beyni nasıl simüle edebilecekleri üzerine çalışmalar yaptılar. **1957-1958’de** ise Frank Rosenblatt, Charles Wightman ve arkadaşları 20*20 piksel görüntü sensörü sayesinde basit sayısal ifadeleri tanıyabilen “Mark I” isimli ilk başarılı nörobilgisayarı geliştirdiler (Kriesel, 2007).

1959’a gelindiğinde **Frank Rosenblatt** algılayıcıların (perceptron) farklı çeşitlerini tanımlamıştır. Ayrıca algılayıcı yakınsama teoremini (*Perceptron Convergence Theorem*) ilk kez tanıtmış ve kanıtlamıştır. Retinayı taklit eden nöron katmanlarını, eşik değerlerini ve bağlantı ağırlıklarını ayarlayan bir öğrenme kuralı geliştirmiştir.

1960’ta Bernard Widrow ve Marcian Hoff, ticari olarak kullanıma uygun ilk sinir ağı olan uyarlanabilen bir öğrenme sistemi olan ADALINE (Adaptive Linear Neuron)’ı tanıtmıştır.

1961’de Karl Steinbuch, çağrışımsal belleğin teknik altyapısını açıklamıştır. Ayrıca nöral tekniklere ait kavramları tanımlayarak olasılıklarını ve sınırlarını analiz etmiştir.

1965’te Nils Nilsson, “*Learning Machines*” adlı kitabında sinir ağı araştırma dönemini inceleyerek genel bir bakış sunmuştur. Sinir ağı çalışmalarının, akıllı sistemlerin temel prensipleri olduğunu belirtmiştir.

1972’de Teuvo Kohonen, çağrışımsal bir bellek modeli ortaya koymuştur. Kohonen haritalarının temelini bu çalışmayla atmıştır.

1973’te Christoph von der Malsburg, doğrusal olmayan ve biyolojik olarak uyarlanmış bir sinir ağı modeli kullanmıştır.

1974’te Paul Werbos, hatanın geri yayılması (*backpropagation of error*) adı verilen bir öğrenme prensibi geliştirmiştir.

1982’de Teuvo Kohonen, Kohonen haritaları olarak da bilinen ve kendi kendini düzenleyen özellik haritalarını (*self-organizing feature maps*) geliştirmiştir. Çalışmanın amacı beynin içindeki öz-organizasyonu bulmak olduğunu belirtmiştir.

1985'te John Hopfield, Hopfield ağılarını kullanarak seyahat acentalarının sorunlarına kabul edilebilir çözümler bulan bir uygulama geliştirmiştir.

1986'da Rumelhart, Hinton ve Williams, delta kuralını genelleştirerek doğrusal olarak ayrılamayan problemlerin çok katmanlı algılayıcılar kullanarak çözülebilir olduğunu kanıtlamışlardır. Bu çalışma ile yapay zeka çalışmaları daha da hız kazanmıştır.

1990'lerden günümüze kadar gelen süreçte YSA çalışmaları hız kazanmıştır. Yıllar içerisinde neredeyse tüm araştırma alanlarında YSA kullanılabilir hale gelmiştir. Heyelan duyarlılığını modellemek amaçlı yapılan çalışmalarda YSA kullanımı ise 2001 yılında başlamıştır. 2010'dan sonra kurulan modellerin performanslarını arttırmak amacıyla hibrit modeller geliştirilmiş ve çeşitli eğitim algoritmalarının karşılaştırmalı çalışmaları yapılmıştır.

3.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri ve Temel Bileşenleri

YSA'nın ağ modelleri, mimari yapı başlığı altında incelenecektir. Öğrenme algoritması ve aktivasyon fonksiyonu ise YSA'nın temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Mimari yapı temel olarak tek katmanlı YSA, çok katmanlı YSA, ileri beslemeli YSA ve geri beslemeli YSA olmak üzere dört grupta ele alınmaktadır. Öğrenme algoritmaları; ağın öğrenme sürecinin gerçekleşmesi için ağırlıkların en uygun değerleri bulmasını sağlayan eşitliklerdir. Aktivasyon fonksiyonu; girdi parametrelerini işlemden geçirerek net çıktı sonucuna etki eder. Fonksiyonun türü sonucu doğrudan etkileyeceği için modele göre uygun olanın seçilmesi önemlidir.

3.3.1. Mimari Yapı

YSA'nın mimari yapısı, sahip olduğu katmanlara ve yapılan işleme göre değişmektedir. Buna göre YSA modeli, tek veya çok katmanlı olabilirken ileri veya geri beslemeli şekilde tasarlanabilmektedir.

Tek katmanlı YSA modelleri aynı zamanda “perceptron” olarak adlandırılmaktadır. Bu tarz modellerde girdiler direkt olarak toplam fonksiyonunun bulunduğu nörondan aktivasyon fonksiyonuna geçerek çıktılara bağlanır ve çıktı sayısı kadar nöron olur. Ağırlıklar ise bağlantıların sayısı kadardır. Sonuçta çıkan değer hata oranı delta kuralına göre hesaplanır ve ağırlıklar tekrar düzenlenerek yeniden işlem gerçekleştirilir.

Perceptronlar, XOR problemi gibi doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılmasına uygun değildir. Farklı anlatımla, dağınık haldeki çıktılardan bir doğru ile ayıramayacağı durumlarda tek katmanlı YSA'lar başarısızlardır. Bu problemin aşılması amacıyla çok katmanlı YSA modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde çıktılar dışında gizli katmanlar da bulunur. Gizli katmanlar, girdilerden gelen bilgileri işler ve sonraki katmana gönderir. Bazı modellerde birden fazla gizli katman olabilir ve her gizli katman farklı işlem süreçleri içerebilir. Gizli katmanda işlenen bilgiler çıkışlara gönderilir.

Çok katmanlı ağlar, danışmanlı öğrenme (supervised learning) stratejisi kullanarak öğrenme işlemini gerçekleştirir. Ağa eğitim amacıyla örnekler sunularak ulaşması gereken sonuçlar öğretilir. Ağ kendisine verilen örneklerden genellemeler yaparak bir sonraki benzer problem için çözüm üretebilir. Başka ifadelerle; ağa eğitim veri seti sunulur. Verinin içerisinde ağa sunulacak girdiler ve bu girdiler sonucu ulaşması gereken çıktılar verilir. Çok katmanlı ağlarda iki çeşit öğrenme kuralı vardır. Bunlar; ileri beslemeli (Feedforward) ve geri beslemeli (Back propagation) ağlar olarak tanımlanmaktadır (Kabalıcı, 2014). İleri beslemeli YSA'da giriş parametrelerindeki değerler ilk katmana geçerken belirli ağırlıklarla çarpılır. Bir sonraki katmana yeni bir giriş olarak verilir. Bilgi, gizli katmanlarda işlenerek çıkışa iletilir. Bu sebeple ileri beslemeli ağlarda bilgi statiktir. Geri beslemeli YSA'da ise en az bir gizli katmanın çıkışı tekrar kendisine veya diğer gizli katmanlara giriş olarak tekrar döndürülür. Ağa sunulan test veri setine göre ağın çıkardığı sonuç ile gerçek değer test edilir ve hata oranı hesaplanır. Burdan çıkan hata oranına göre bir dahaki tekrar (iterasyon) sırasında ağırlıklar yeniden belirlenir. Katmanlarda olduğu gibi hücreler arasında da geri besleme olabilmektedir. Bu sebeple geri beslemeli ağlar dinamik bir yapıya sahiptir. Geri beslemeli ağlarda işlem süresi, ileri beslemeli ağlara göre daha uzundur.

3.3.2. Öğrenme Algoritmaları

YSA'nın tasarımında önemli noktalardan birisi öğrenme algoritmasının belirlenmesidir. Bilgi, YSA bağlantılarının ağırlıklarında tutulur. Bilgi, ağın her bir düğümünde saklandığından dolayı ağırlıkların en uygun değere sahip olması gerekmektedir. Ağırlıkların optimal değerlere ulaşılması için yapılan işlemlere ağın eğitilmesi denilmektedir. Ağa sunulan eğitim veri setinden öğrenmenin en iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için kurulan modelin niteliğine göre farklı öğrenme algoritmaları bulunmaktadır. Her bir öğrenme algoritması, ağın eğitiminin gerçekleştirilebilmesi için

ağa sunulan girdilerin, nöronlara iletilirken en uygun ağırlık ve bias değerlerinin belirlenmesini farklı şekillerde formüle etmektedir. Bu araştırma kapsamında Bayesian Regularization Backpropagation (BR) ve Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG) eğitim algoritmaları kullanılmıştır.

3.3.2.1. Bayesian Regularization Backpropagation (BR)

Çalışmada kullanılan eğitim algoritmalarından ilki Bayesian Regularization Backpropagation (BR) algoritmasıdır. Bu algoritma literatürde sıklıkla karşılaşılan Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre ağırlık ve yanlılık değerlerini güncelleyen bir ağ eğitim sürecini içermektedir. Kareli hataların ve ağırlıkların kombinasyonunu en aza indirir ve ardından iyi genelleyen bir ağ üretmek için doğru kombinasyonu belirler. Bu sürece Bayes düzenlenmesi denilmektedir (Foresee & Hagan, 1997). BR algoritması temelde en küçük kareler hata fonksiyonunun toplamını “düzenleştirme” adı verilen bir terimle birleştiren bir geri yayılım ağıdır. Bayesci çerçevede öğrenme süreci, ağırlıklara farklı değerlerde görelî inanç derecelerini temsil eden bir olasılık dağılımı atayarak ağırlık vektöründeki belirsizliği dikkate alır (Bui vd., 2012).

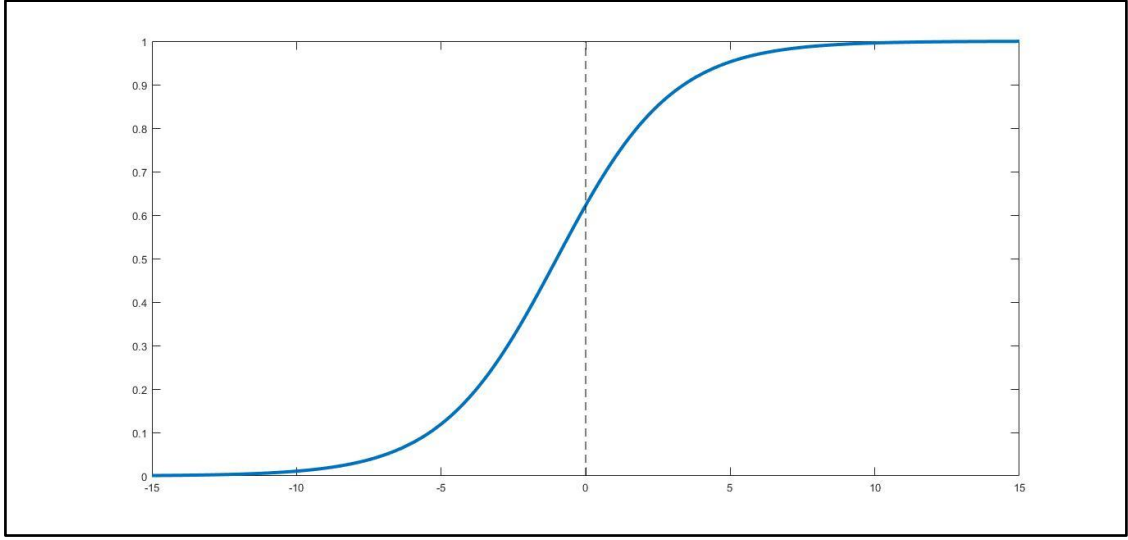
3.3.2.2. Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG)

Çalışmada kullanılan diğer eğitim algoritması ise Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG) algoritmasıdır. Bu algoritma ağırlık ve yanlılık değerlerini güncelleyen bir yöntemdir. Denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. İlk kez Moller (1993) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Standart algoritmalarından daha etkili bir öğrenme sunmak amacıyla bu algoritmada optimizasyon yaklaşımı kullanılmaktadır. SCG, öğrenme sürecinde kullanıcıya bağlı parametreleri içermez. Ayrıca öğrenme yinelenmesi başına harcanan zamandan kaçındığından dolayı öğrenme hızlı gerçekleşir.

3.3.3. Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu; ağ girişine ve eşik değerine bağlı olarak bir nöronun aktivasyonunu belirler. Belli bir zamanda bir nöronun aktivasyonu, nöronun önceki aktivasyon durumuna ve harici girdiye bağlıdır (Kriesel, 2007). Başka kelimelerle aktivasyon fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi işler ve bu girdiye uygun çıktıyı üretir. En uygun fonksiyonun belirlenmesi ağı tasarlayan kişinin denemeleri sonucu bulunur (Öztemel, 2006). Çalışmalarda çok katmanlı ağlar için en çok kullanılan aktivasyon

fonksiyonu çıktılarının 0 ile 1 arasında alındığı sigmoid fonksiyonudur (Şekil 7). Sigmoid fonksiyonu grafiğinin MATLAB kodları tezin ekler bölümünde verilmiştir (bk. EK-2).



Şekil 7. Sigmoid fonksiyonu.

$$F(NET) = \frac{1}{1+e^{-NET}}$$

Yukarıdaki eşitlikte, NET hücreye toplam fonksiyonundan iletilen NET girdi değerini belirtmektedir.

Aktivasyon fonksiyonunun işlemi sonrası elde edilen değer ya başka bir nörona ya da direkt olarak çıktıya gönderilir. Hücrenin birden fazla girdisi olmasına rağmen tek bir çıktısı bulunmaktadır.

3.4. Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Coğrafya Çalışmalarında Kullanımı

Veriler 21. Yüzyılın “petrolü” olarak kabul edilir ve veri bilimi kavramı son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu eğilimler esas olarak elde edilen verilerin, hacim, çeşitlilik ve hız açısından büyük olanlarının fazlaşmasından kaynaklanmaktadır (Wilkening, 2019). Günümüzde yüksek miktarda coğrafi referanslı veri bulunmaktadır. Coğrafi referanslı veriler aynı zamanda mekânsal veri olarak isimlendirilirler. Dünya üzerinde olup biten herhangi bir olayın veya direkt olarak yeryüzünün fiziki özellikleri hakkındaki bilgileri içerirler. Örnekler arasında GPS yörüngeleri, uzaktan algılama görüntüleri, konuma dayalı sosyal medya paylaşımları, binaların, yolların ve parsellerin mekânsal ayak izleri, küresel yükseklik verileri, arazi

kullanımı ve arazi örtüsü verileri, nüfus dağılımı gibi veriler bulunmaktadır. Bu coğrafi referanslı veriler insan toplumu ve doğal çevre ile ilgili geniş bir yelpazedeki sorunları ele alan birçok model için kritik girdilerdir. Coğrafi Bilgi Sistemleri bu büyük coğrafi verilerin etkili bir şekilde işlenmesi, yönetilmesi ve görselleştirilmesi için gereklidir. Buna ek olarak, birçok yapay zekâ modelinin farklı kaynaklardan heterojen verileri sentezlemesi gerekirken, coğrafi konum genellikle bu tür heterojen veri kümelerini bağlayabilen tek faktördür.

Kraterler, volkanlar ve kum tepeleri gibi doğal arazi özellikleri, yeryüzünün jeolojik sürecinin önemli göstergeleridir. Nerede olduklarını tespit etmek ve jeomorfolojik özelliklerini çıkarmak, coğrafyacılar ve jeologlar için farklı arazi özelliklerinin oluşum sürecini anlama, benzer manzaraları ayırt etme yeryüzüne ait bilgilerimizi zenginleştirme açısından büyük önem taşımaktadır. Araştırma yöntemleri önceki zamanlarda yalnızca arazi çalışmalarına dayalıyken artık uydu fotoğraflarının görüntü tabanlı analizleri sayesinde yere ait jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri daha hızlı ve kolay şekilde tespit edilmektedir. Uzaktan algılama teknolojileri yardımıyla yeryüzü örtüsünü de analiz edip riskli alanlara göre koruma stratejileri geliştirilmektedir (Hu vd., 2019). Yapay zekanın yardımıyla yapılan coğrafi çalışmalar yalnızca yeryüzünün özellikleri ile ilgili değil üzerinde yaşayan canlı toplumlarının şimdiki ve gelecekteki dağılımlarının modellenmesi (tür dağılım modellemeleri) hakkında çalışmalar da yapılmaktadır (Zimmermann vd., 2010). Bunlar dışında bir yerde bulunan toprak tiplerinin tahmin edilmesi, tanımlanması ve sınıflandırılması amacı ile yapılan sayısal toprak haritalama çalışmaları da yapay zekâ kullanılarak gerçekleştirilen coğrafya araştırmalarına örnek olarak verilebilmektedir (Heung vd., 2016). Coğrafya ve yapay zekânın entegrasyonu doğal çevre ve insan arasındaki çeşitli sorunların ele alınması için yeni bir yaklaşım olan GeoAI (*Geography and Artificial Intelligence*) çalışma alanını ortaya çıkarmıştır (Hu vd., 2019). GeoAI coğrafya ve yapay zekanın ortak paydasında bulunan disiplinler arası bir çalışma alanıdır. Bu bağlamda GeoAI alanında yapılan çalışmalar aynı zamanda Coğrafi Bilgi Sistemleri veya Coğrafi Bilgi Bilimi (CBB) kapsamında değerlendirilmektedir. CBB'nin gerçekten bir bilim olup olmadığı her zaman tartışma konusu olmuştur. Bu konu hakkında bazı araştırmacılar, daha büyük resme odaklanmak gerektiğini ve CBB'nin mekânsal veri biliminin küçük bir parçası olduğunu belirtmişlerdir (Raubal, 2019). Mekânsal veri bilimi, yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknikleri ile işlenen büyük coğrafi referanslı verilere dayanarak

mekâna ait her türlü bilginin ortaya çıkarılmasını içermektedir. Analiz edilen ham verinin mekâna ait olduğu ve analiz çıktılarının insan hayatına etkisinin incelendiği bu çalışmalar coğrafya biliminin modern paradigması olarak gösterilmektedir (Fischer, 2006). Özetle günümüzde coğrafi verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için en önemli araç coğrafi bilgi sistemleridir. Verilerin ön işlem ve analiz edilmesi bölümlerinde kullanılan yapay zekâ teknikleri coğrafya ile yapay zekânın ortak kümesinde bulunan *GeoAI*, *mekânsal veri bilimi*, *mekânsal veri madenciliği*, *bilişimsel (hesaplamalı) coğrafya*, *coğrafi bilgi bilimi*, *konumsal/mekânsal zekâ* gibi çalışma alanlarını ortaya çıkarmıştır.

Openshaw (1994) coğrafyada kantitatif devrimi 3 bölüme ayırmıştır. 1960-1970 yılları arasını istatistiksel devrim, 1970'ten 1990'a kadar olan dönemi matematiksel devrim, 1990'ların başında başlayan ve günümüze kadar olan dönemi ise nöro-hesaplama devrimi olarak adlandırmıştır. Özellikle nöro-hesaplamanın coğrafya için çok önemli bir araştırma yöntemi olduğunu vurgulamıştır.

Coğrafya bilimindeki paradigma değişikliği beraberinde mekân kavramının algılanış biçimini de değiştirmiştir. Mekân artık yalnızca üzerinde yaşanan ve betimsel olarak açıklanan yer değil aynı zamanda sayısallaştırılabilen, matematik ve istatistiki olarak analiz edilebilen bu yolla planlama stratejileri üretilebilen bir veri kaynağı olarak düşünülmeye başlanmıştır.

4. DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

GİRDİ PARAMETRELERİ, KURULAN MODELLER ve HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI

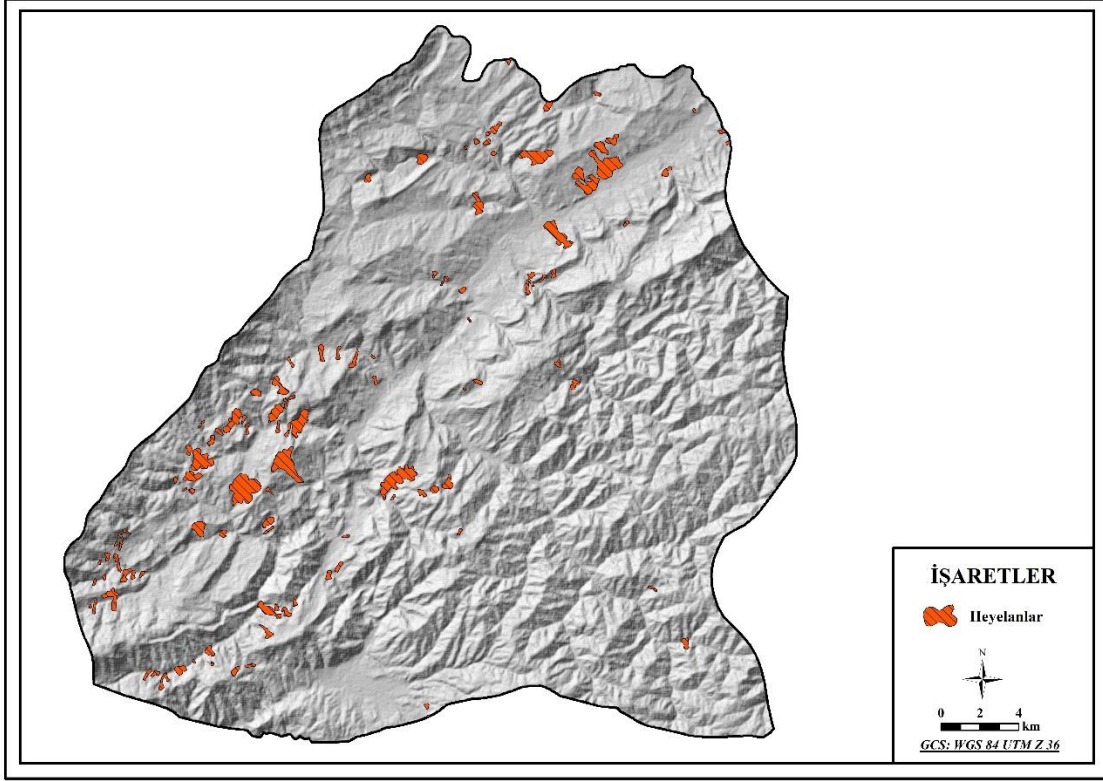
Bu bölümde; Devrek İlçesi'nin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan modellerin arka planı sunulmuştur. Verilerin temini, ön hazırlık işlemleri, girdi parametreleri, parametre grupları, kurulan modellerin ayrıntıları ve son olarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları başlıklar altında anlatılmıştır.

4.1. Verilerin Temini ve Ön Hazırlık Aşamaları

Hazırlanan modellerde kullanılan tüm veriler ArcMap 10.7 programı ile hazırlanmıştır. Bu verileri kategorik ve nümerik olarak iki grupta incelemek mümkündür. Kategorik veriler, çalışma sahasında görülen toprak tipleri, litolojik özellikler ve faylar katmanlarından oluşmaktadır. Toprak tiplerinin dağılışı shapefile formatında Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan, sahada bulunan kayaçların dağılışı ve faylar ise yine shapefile formatında Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Nümerik veriler, çalışma sahasının topografya özelliklerini yansıtan verilerden oluşmaktadır. Topografik veriler NASA'nın ASTER projesi kapsamında elde edilen 30*30 m hücre boyutuna sahip DEM verisi kullanılarak oluşturulmuştur. DEM verisi, çalışma alanının sınırları dikkate alınarak kesilmiştir. Bu faktörler hazırlanırken "*Geomorphometry and Gradient Tools*", "*Topography Tools*" ve ArcMap programında gömülü olarak bulunan "*Spatial Analysis Tools*" araçları kullanılmıştır.

4.2. Heyelan Envanteri

Heyelan envanteri, bir yerde daha önce meydana gelmiş olan heyelanların bilgisini içermektedir. Devrek ilçesine ait aktif-kayma türü heyelanların envanteri Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. İlk edinilen envantere bulunan heyelanlar uzaktan algılama görüntüleri ve hava fotoğrafları ile kontrol edilmiş, filtreleme yapılarak envantere bulunan heyelan alanları düzenlenmiştir (Harita 16).



Harita 16. Çalışma sahasının heyelan envanteri.

Sahada toplam 115 heyelan haritalanmıştır. Çalışma sahasında daha önce gerçekleşmiş olan heyelan alanları var-bulunma verisine dönüştürülerek modellerin eğitiminde kullanılmıştır. Bulunma verisine dönüştürülen heyelan sahaları, eğitimin test bölümünde hedef olarak modellere tanıtılmıştır. Heyelan alanlarından 250, heyelan olmayan alanlardan 250 olmak üzere eğitim için seçilen toplamda 500 adet nokta da heyelan envanter haritasına göre oluşturulmuştur.

Çalışma sahasının toplam alanı 952,5 km²'dir. Heyelan envanteri üzerinden yapılan metrik alan hesaplamalarına göre Devrek'in yaklaşık %2 sine denk gelen 20,6 km²'lik alanın heyelan sahası olduğunu göstermektedir. İlçeyi adeta ortadan ikiye bölen Devrek Çayı'nı sınır olarak kabul edersek batı kesimde heyelanların yoğunlaştığı görülmektedir. Çalışma sahasında en büyük alana yayılmış heyelan 1.6 m²'lik bir alan kaplayan Eğerci ve Sarnaz köylerinin batısında bulunan toprak kayması tipinde gerçekleşen heyelandır.

4.3. Modellerde Kullanılan Girdi Parametreleri

Heyelan olaylarının karmaşık bir sistem olması ve her heyelanın kendine özgü bir oluşum mekanizmasının bulunması heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde

parametre seçimini zorlaştıran bir unsurdur. Uzun yıllardır süregelen heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarının her birinde araştırmacılar farklı parametreleri kullanmışlardır. Araştırmacılar seçtikleri parametreleri heyelan envanterlerine ve arazi gözlemlerine göre belirlemişlerdir. Yalnızca eğim, litoloji, arazi kullanımı ve bitki örtüsüne ait parametrelerde araştırmacılar arasında fikir birliği olduğu belirtilmektedir (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001).

Bu tez çalışmasında heyelan duyarlılık analizleri için yirmi bir girdi parametresi farklı kombinasyonlarla kullanılarak toplamda beş model hazırlanmış bu modellerin eğitilmesinde ise iki farklı eğitim algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak 10 ayrı heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu başlık altında modellerde kullanılan girdi parametreleri; jeolojik faktörler, toprak ve nemlilik, eğim ve topografya ile ilgili faktörler olmak üzere dört başlık altında incelenecektir (Tablo 10).

Tablo 10. Modellerde kullanılan girdi parametreleri.

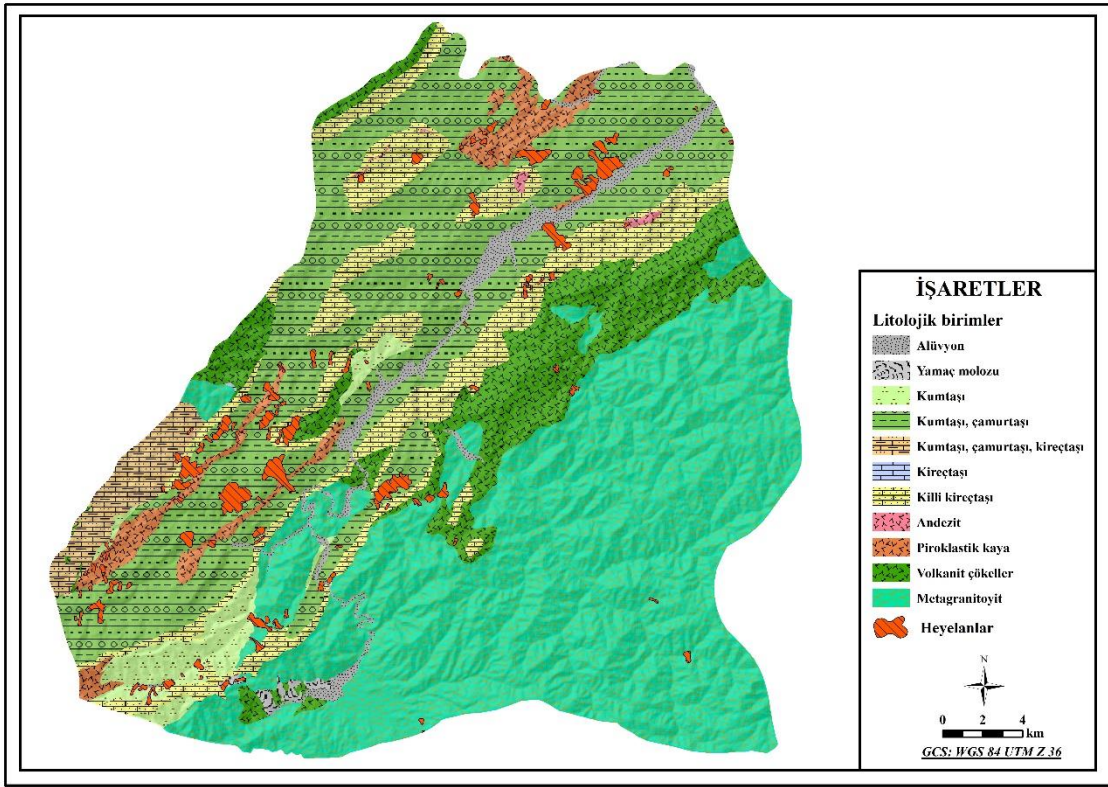
Jeolojik	Toprak ve nemlilik	Eğim	Topoğrafya	
Litoloji	Toprak tipleri	Eğim	Topografik yükseklik	Yüzey alan oranı (SAR)
Faylara uzaklık	Bakı	Yamaç yönelimi	Topografik nemlilik indeksi (TWI)	Topoğrafik konum indeksi (TPI)
	Akarsulara yakınlık	Ortalama eğim (MS)	Düzlemsel eğrisellik (plan)	Birleşik topoğrafik indeks (CTI)
	Drenaj yoğunluğu	Eğim konumu sınıflandırması (SPC)	Teğetsel eğrisellik (profil)	Yüzey sınıflandırması (LC)
	Birleşik nemlilik indeksi (IMI)		Yüzey kabartma oranı (SRR)	
	Maruziyet indeksi (SEI)			

4.3.1. Jeolojik Parametreler

Modellerde kullanılan jeolojik parametreler arasında litolojik özellikler ve faylara uzaklık bulunmaktadır.

4.3.1.1. Litoloji

Sahanın litolojisine ait veri MTA'dan temin edilmiştir. Bu veri 5 farklı modelde kullanılmıştır. Sahanın litolojik özellikleri on farklı birimden oluşmaktadır. Bunlar akarsu yatakları ve çevresinde bulunan alüvyonlar, Devrek Çayı'nın üzerinde kurulduğu kumtaşı-çamurtaşı birlikleri, ilçenin güney kesiminde az da olsa görülen yamaç molozları, ilçenin güneyinden kuzeyine doğru yer yer yüzeylenen kumtaşı ve killi kireçtaşı birlikleri, sahanın batı kesiminde Bolu masifinin parçası olan metagranitoyitler, Devrek Çayı'na paralel şekilde uzanan volkanik çökeller, andezitler ve piroklastiklerden oluşan magmatik kayalardır (Harita 17).



Harita 17. Çalışma sahasının litoloji haritası.

Heyelanlar en fazla kumtaşı, çamurtaşı birliklerinin bulunduğu alanlarda görülmektedir. Heyelan sahalarının %63'ünü kapsayan 13 km²'lik alanda bu birlikler bulunmaktadır. Heyelan sahalarının yaklaşık %12'sini kapsayan 2,4 km²'lik alanda killi kireçtaşları bulunmaktadır (Tablo 11). Toplamda heyelan sahalarının %75'inde görülen kumtaşı, çamurtaşı ve killi kireçtaşı birlikleri tortul kayalar grubundadır. Bu kayaların bağlayıcı unsurunun yani çimentosunun kil olmasından dolayı kayalar ayrıştığında killi

malzeme ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan killi malzeme bu kayaçların görüldüğü sahaları heyelanlara duyarlı hale getirmiştir.

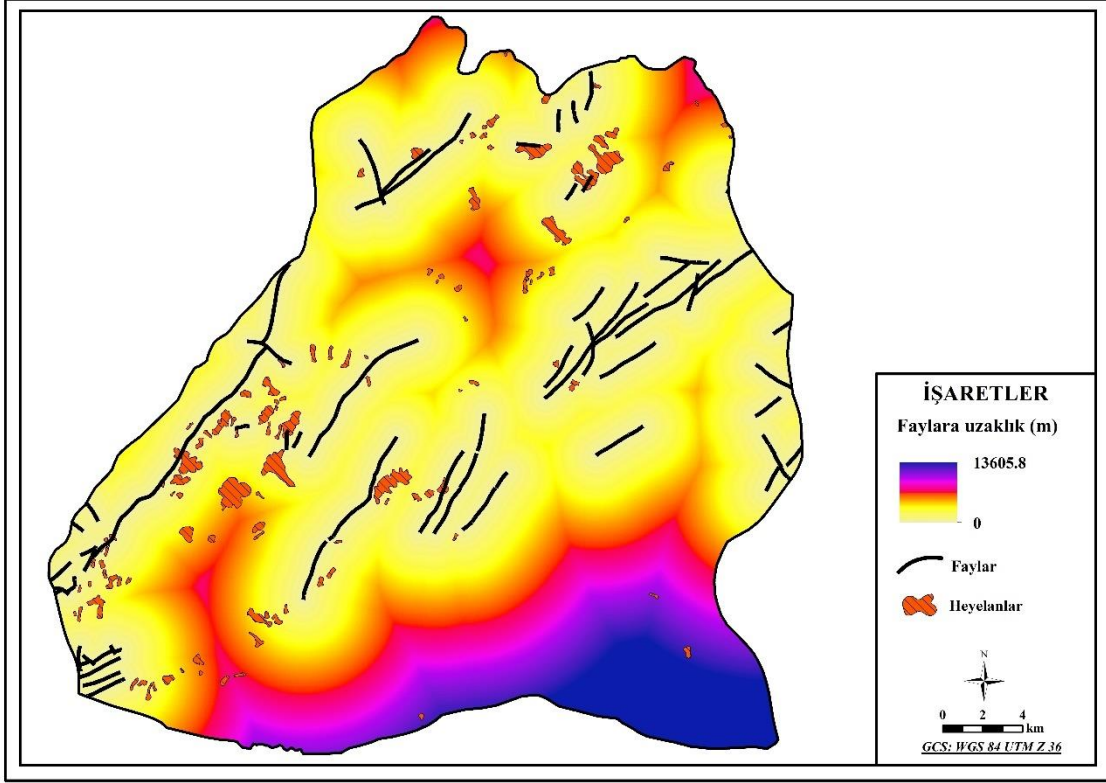
Tablo 11. Heyelan sahalarında görülen litolojik birimlerin alansal ve yüzdelik oranları.

Litolojik birimler	Alan (km²)	Yüzde (%)
Kumtaşı, çamurtaşı	13	63,2
Killi Kireçtaşı	2,4	11,9
Piroklastik kaya, andezit, bazalt	1,4	6,8
Metagranitoyit	1,3	6,4
Volkanit, çökel kaya	1,1	5,2
Kumtaşı	0,7	3,3
Alüvyon	0,3	1,4
Birikinti konisi	0,2	0,8
Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	0,2	0,8
Andezit	0,05	0,3

4.3.1.2. Faylara Uzaklık

Fayların bulunduğu sahalar olası bir depremin ortaya çıkaracağı sarsıntı sonucu heyelan oluşumuna meyilli alanlardır. Deprem sonucu oluşan yeryüzü titreşimleri yamaçlardaki şev stabilitesinin bozulmasına yol açacağından faylar, heyelanları tetikleyici faktörlerdendir. Bu yüzden heyelan alanlarının faylara uzaklık ve yakınlığı ifade eden faylara uzaklık parametresi heyelan duyarlılığının açıklanmasında girdi olarak kullanılmıştır.

Çalışma sahasında normal faylar, bindirme fayları, doğrultu atımlı faylar ve sürüklenme fayları olmak üzere dört farklı fay tipi bulunmaktadır. Heyelan sahalarının faylara uzaklığı ortalama olarak 1474,2 metredir (Harita 18). Çalışma sahasında bulunan faylara ait veri MTA'dan temin edilmiştir.



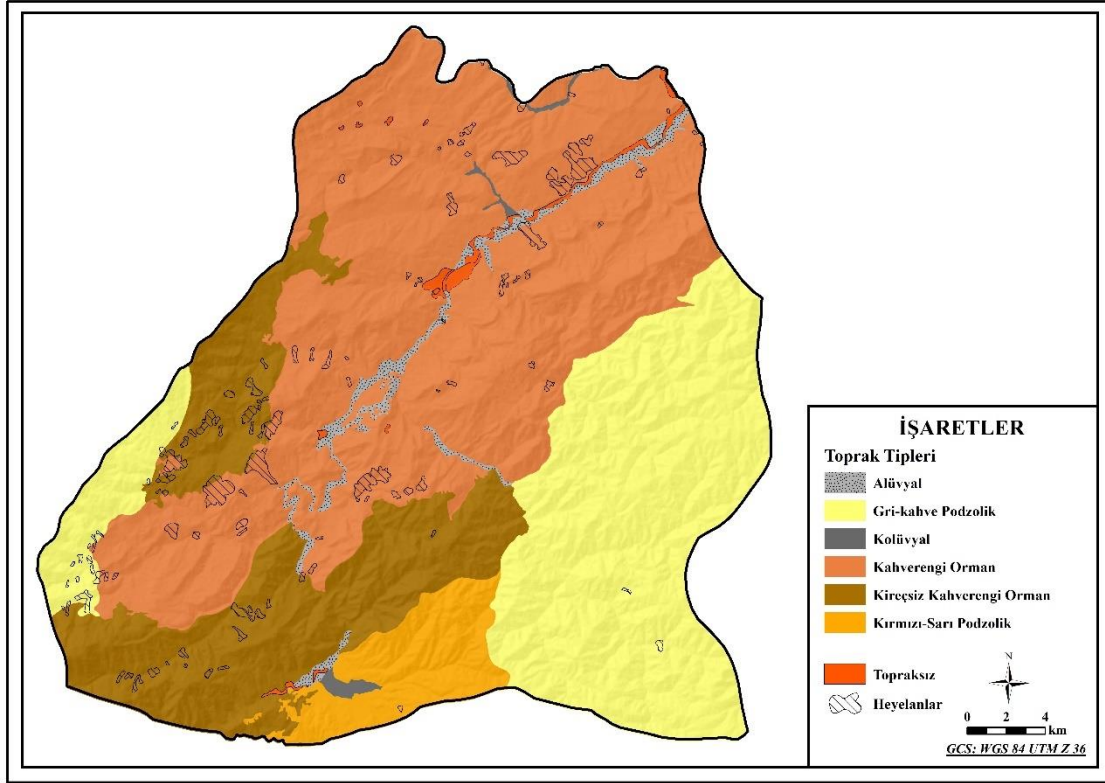
Harita 18. Çalışma sahasının faylara uzaklık haritası.

4.3.2. Toprak ve Nemlilik ile İlgili Parametreler

Bu başlık altında toprak tipleri ve toprağın nemlilik durumunu açıklayan faktörler incelenecektir. Bakı ve maruziyet indeksi direkt olarak gelen güneş radyasyonunun oranıyla ilgili iken akarsulara yakınlık su kaynaklarına yakınlık-uzaklık olarak değerlendirilebilir. Birleşik nemlilik indeksi ise arazinin yapısal olarak suyu tutabilme durumunu ifade etmektedir. Toprak tipleri ise içerdikleri kil ve tabakalanma durumlarına göre heyelana ortam hazırlayıcı faktörlerdendir.

4.3.2.1. Toprak Tipleri

Sahaya ait toprak verisi Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan temin edilmiştir. Toprağın kil oranı, su tutma kapasitesi üzerinde etkili olduğundan bir sahanın toprak özellikleri heyelan oluşumuna ortam hazırlayıcı faktörlerdendir. Bu sebepten ötürü toprak tipleri verisi 5 farklı modelde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Kategorik bir veri olduğundan dolayı yeniden sınıflandırılarak sahada bulunan toprak tiplerine ve yerleşme alanlarına 1'den 7'ye kadar değer verilmiştir. Harita anlaşılabilir olması amacıyla kategorik şekliyle sunulmuştur (Harita 19).



Harita 19. Çalışma sahasının toprak haritası.

Heyelan sahalarının %66,6'sına denk gelen 13,6 km²'lik alanda kahverengi orman toprakları, %25,5'ine denk düşen 5,2 km²'lik alanda ise kireçsiz kahverengi orman toprakları görülmektedir. Heyelan sahalarında en az görülen toprak tipi ise kolüvyal topraklardır (Tablo 12).

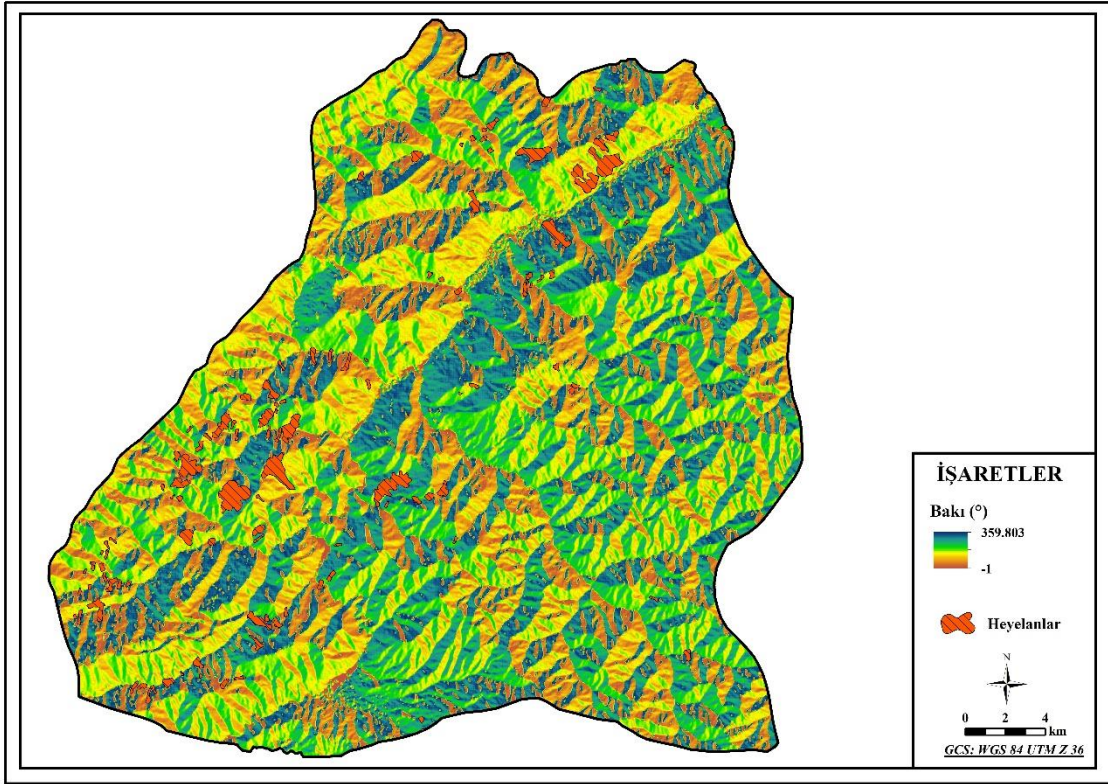
Tablo 12. Heyelan sahalarında görülen toprak tiplerinin alansal ve yüzdeler oranları.

Toprak tipleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Kahverengi orman	13.6	66.6
Kireçsiz kahverengi orman	5.2	25.5
Gri-kahverengi podzolik	1.3	6.5
Alüvyal	0.1	0.6
Yerleşme	0.08	0.4
Kırmızı sarı podzolik	0.06	0.3
Kolüvyal	0.02	0.09

4.3.2.2. Bakı

Bakı, bir noktadaki eğim yüzeyinin kuzey ile yaptığı açıdır. Kuzeyde sıfır olarak kabul edilen bakı değerleri azimut açısı şeklinde saat yönünde artar. Açı olarak tanımlanan yönler 0-360 derece arasında değer alır (Bolstad, 2016). Düz alanların yönü olmadığından -1 ile tanımlanır. Eğim yüzeylerinin yönleri; kuzey 337,5-360-0-22,5, kuzeydoğu 22,5-67,5, doğu 67,5-112,5, güneydoğu 112,5-157,5, güney 157,5-202,5, güneybatı 202,5-247,5, batı 247,5-292,5, kuzeybatı 292,5-337,5 derece olarak ifade edilmektedir (Harita 20).

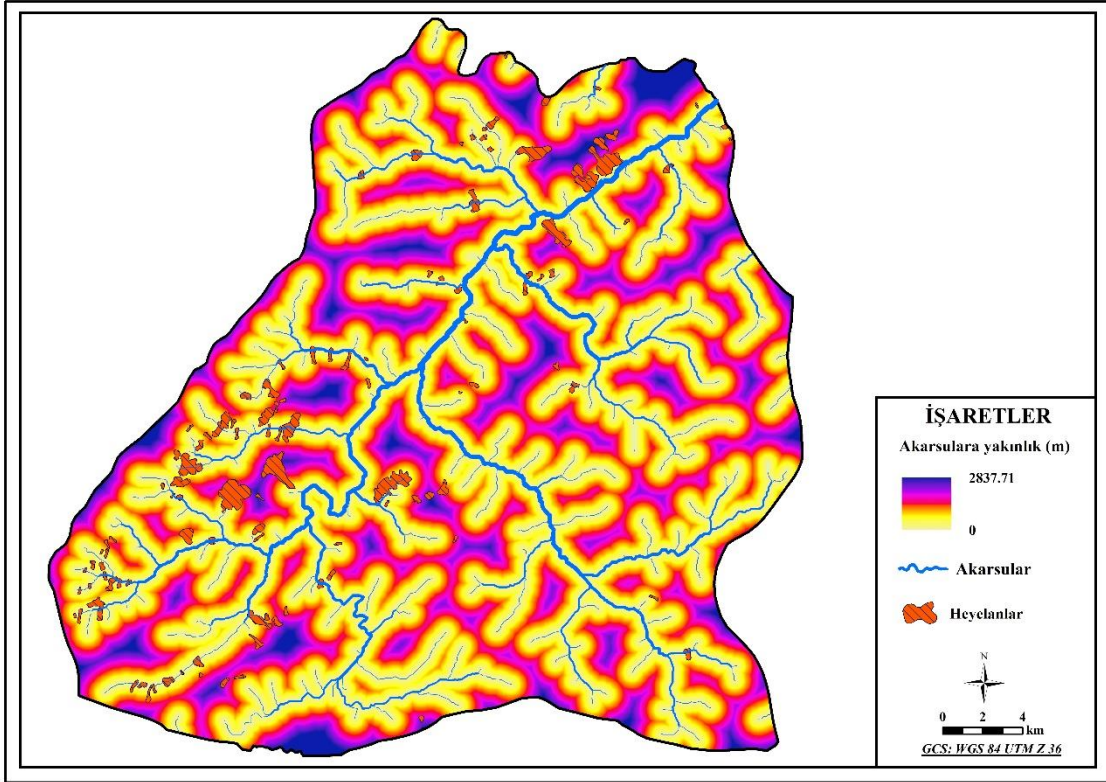
Bakı parametresi, eğim yüzeylerine gelen güneş ışınlarının geliş yönünün bir göstergesi olması bakımından seçilmiştir. Güneş gören güney sektörlü yüzeylerde buharlaşma daha fazla olacağından toprağın nem kapasitesi düşecek ve heyelana yol açabilecek su fazlalığının önüne geçilmesi daha da kolaylaşacaktır. Doğrudan güneş radyasyonu alamayan kuzeyli bakıya sahip yüzeylerde ise toprak suyu artacağından ve karın yerde kalma süresinin uzamasından dolayı toprakta su artacak bu yüzeyler heyelan oluşumuna daha duyarlı hale gelecektir.



Harita 20. Çalışma sahasının bakı haritası.

4.3.2.3. Akarsulara Yakınlık

Akarsulara yakınlık, arazi parçalarının drenaj ağına olan yakınlık-uzaklık durumunu metre olarak ifade etmektedir. Akarsulara yakın olan arazilerde toprakta tutulan suyun miktarı da diğer alanlara göre fazla olacağından heyelan olaylarının yaşanması daha muhtemeldir. Çalışma sahasının akarsu haritası, DEM verisi kullanılarak Strahler sınıflandırmasına göre oluşturulmuştur. Ardından akarsu ağına göre akarsulara uzaklık-yakınlık parametresi hazırlanmıştır (Harita 21).



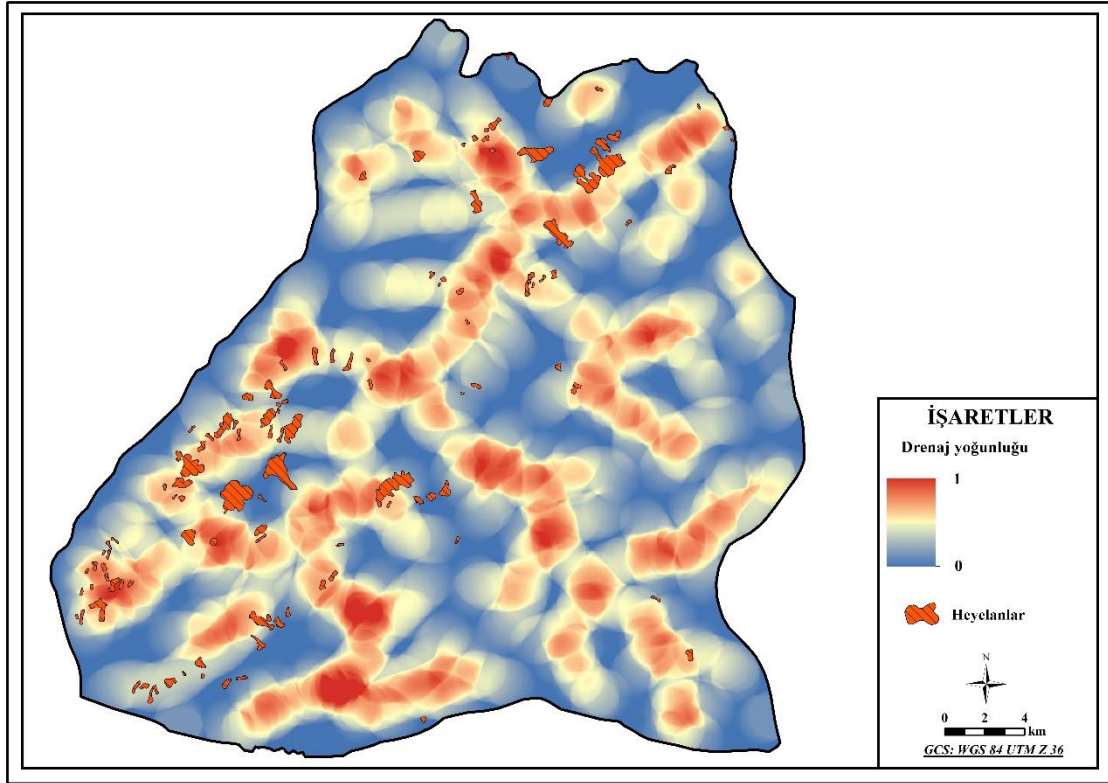
Harita 21. Çalışma sahasının akarsulara yakınlık haritası.

Çalışma sahasında bulunan heyelan alanlarının akarsulara ortalama uzaklığı 529,7 metredir. Akarsulara en uzak mesafede gerçekleşen heyelan 1743 metre uzaklıkta bulunmaktadır.

4.3.2.4. Drenaj Yoğunluğu

Sahadaki akarsu ağının yoğunlaştığı yerleri göstermektedir. Parametrenin hazırlanmasında öncelikle sayısal yükseklik modelinden Strahler yöntemi kullanılarak elde edilen akarsu sistemi oluşturulmuş ardından yoğunluk (density) analizi yapılmıştır. Geçirimsizliğin düşük olduğu sahalarda yüzeysel akışa geçen sular toprak nemliliğini artırarak heyelan oluşumuna ortam hazırlamaktadır. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlar, seyrek olan sahalara göre nispeten toprak nemliliğinin fazla olduğu yerlerdir ve heyelan oluşum olasılığı daha yüksektir.

Çalışma sahasında heyelan sahalarının drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde dağıldığı görülmektedir (Harita 22).



Harita 22: Çalışma sahasının drenaj yoğunluğu haritası.

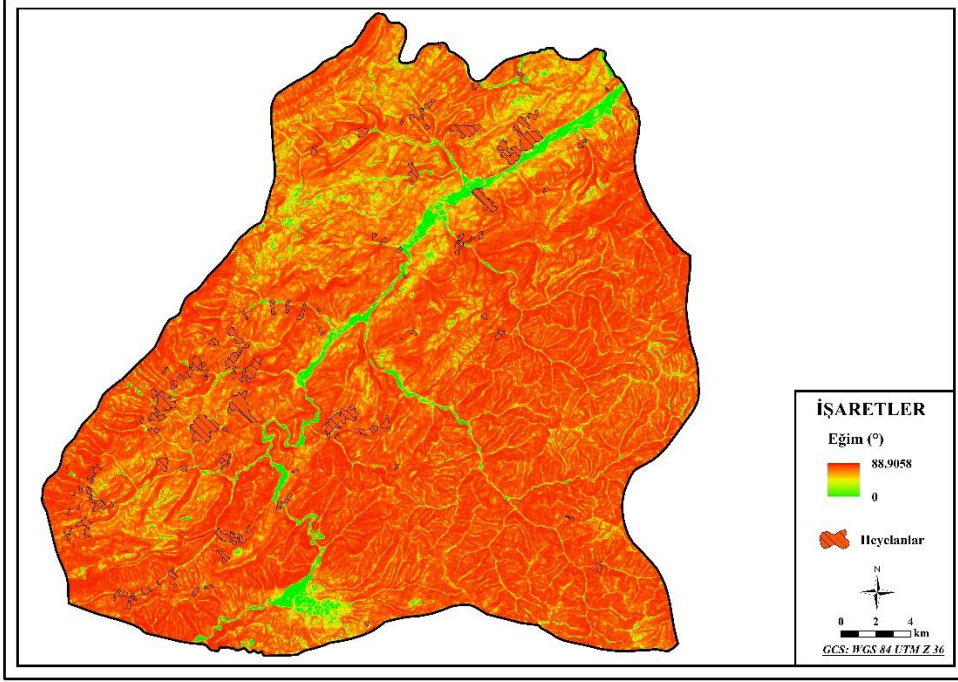
4.3.3. Eğim ile İlgili Parametreler

Heyelanlar, tetikleyici unsurların gözetiminde eğimli sahalarda oluşmaktadır. Bu yüzden eğim, heyelan oluşumunda en önemli faktördür. Araştırma kapsamında heyelan duyarlılığının belirlenmesi amacıyla kurulan modellerde eğim, eğim açısı, ortalama eğim ve eğim konumu sınıflandırması olmak üzere dört farklı eğimle ilgili parametre kullanılmıştır.

4.3.3.1. Eğim

Eğim, yatay konumun değişikliğiyle beraber yüksekliğin değişimi olarak tanımlanabilir. Eğim değerleri, arazide karmaşık bir şekilde değişime uğramaktadır. CBS ile eğim hesaplanırken merkezi bir raster hücresinin çevresindeki yüksekliklere göre değişimi değerlendirilir. Bir noktadaki eğimin yönü, yükseklik değişimindeki en dik kesim ele alınarak ölçülür (Bolstad, 2016). Eğim genel olarak 0° düz, 90° dik olmak üzere derece cinsinden ifade edilir. Yatay konum değişikliği ile yükseltinin değişimi eşit ise eğim 45 derecedir.

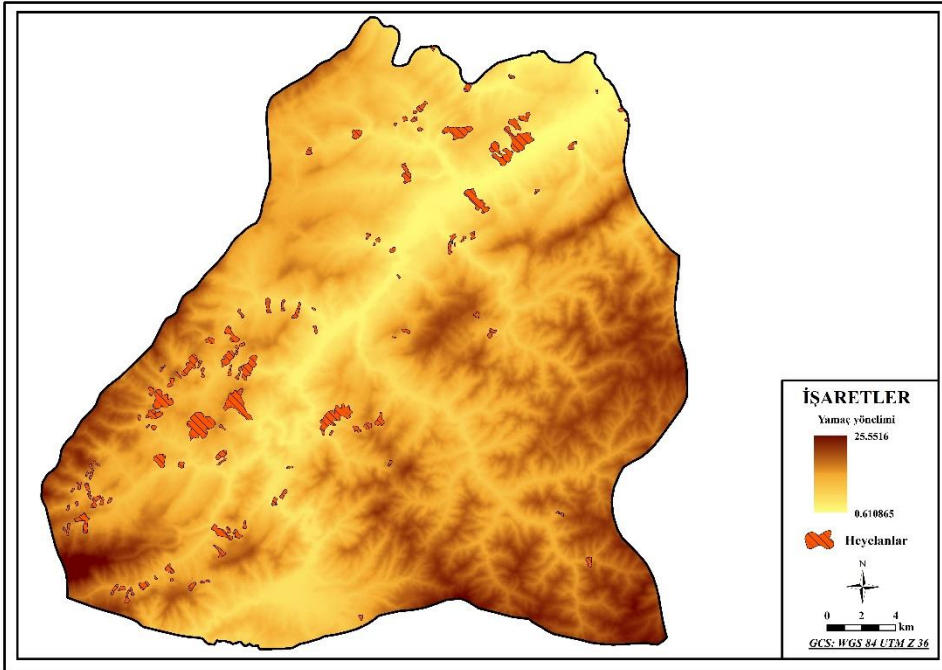
İlçenin ortasından geçen Devrek Çayı'na doğu ve batıdaki yüksek tepelerden akan suların kavuşması, arazinin flüvyal süreçlerle parçalanmasına ve sonuç olarak arızalı bir topografya karakterinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu durum eğim değerlerinde de görülmektedir. Çalışma sahasının eğim durumu derece cinsinden hesaplanmıştır. Sahada 89 dereceye kadar eğimli arazi yüzeyleri bulunmaktadır (Harita 25). Ayrıca heyelan sahalılarının bulunduğu alanlardaki eğim dereceleri özellikle 65° ile 78° arasında yığılmıştır.



Harita 25. Çalışma sahasının eğim haritası.

4.3.3.2. Yamaç Yönelimi

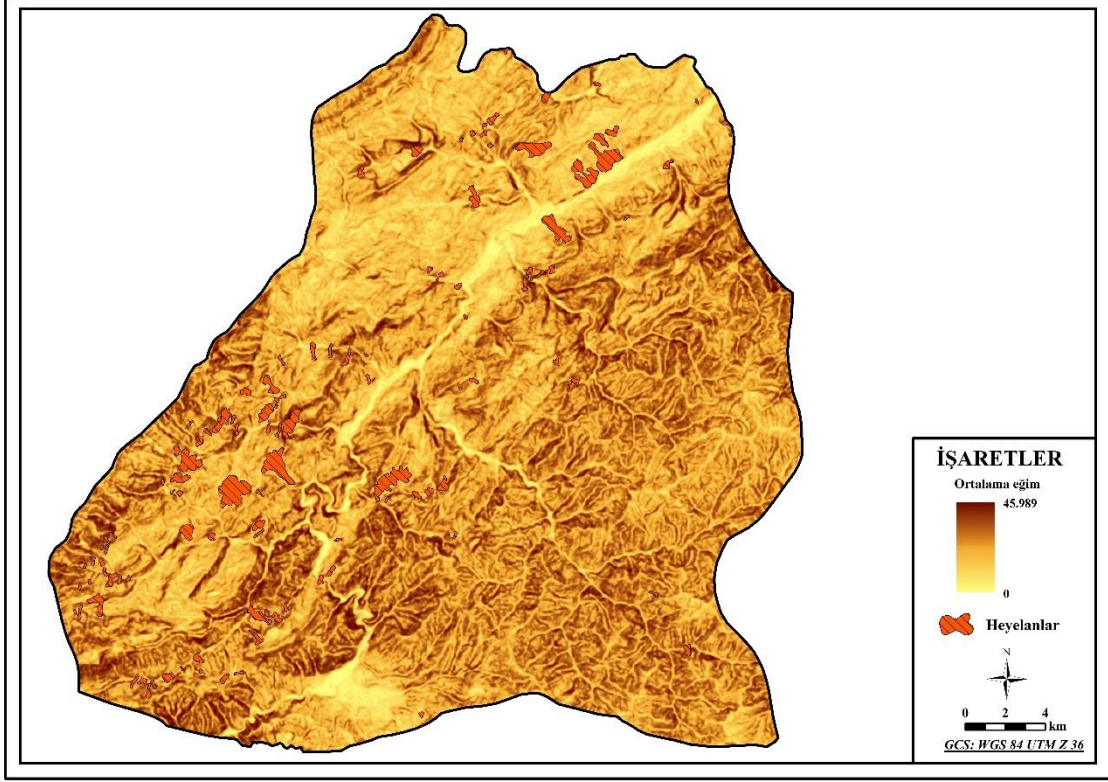
Parametrenin üretilmesi için “Geomorphometry ve Gradient Metrics toolbox” kullanılmıştır. Çalışma sahasının yamaç yönelim değerleri gradyan cinsinden 0,61 ile 25,55 arasında değişmektedir (Harita 26).



Harita 26. Çalışma sahasının yamaç yönelimi haritası.

4.3.3.3. Ortalama Eğim

Araziyi temsil eden raster yüzeyinin eğim ortalamasını içermektedir. Çalışma sahasında ortalama eğim değerleri 0° ile $45,98^{\circ}$ arasında değişmektedir (Harita 27).



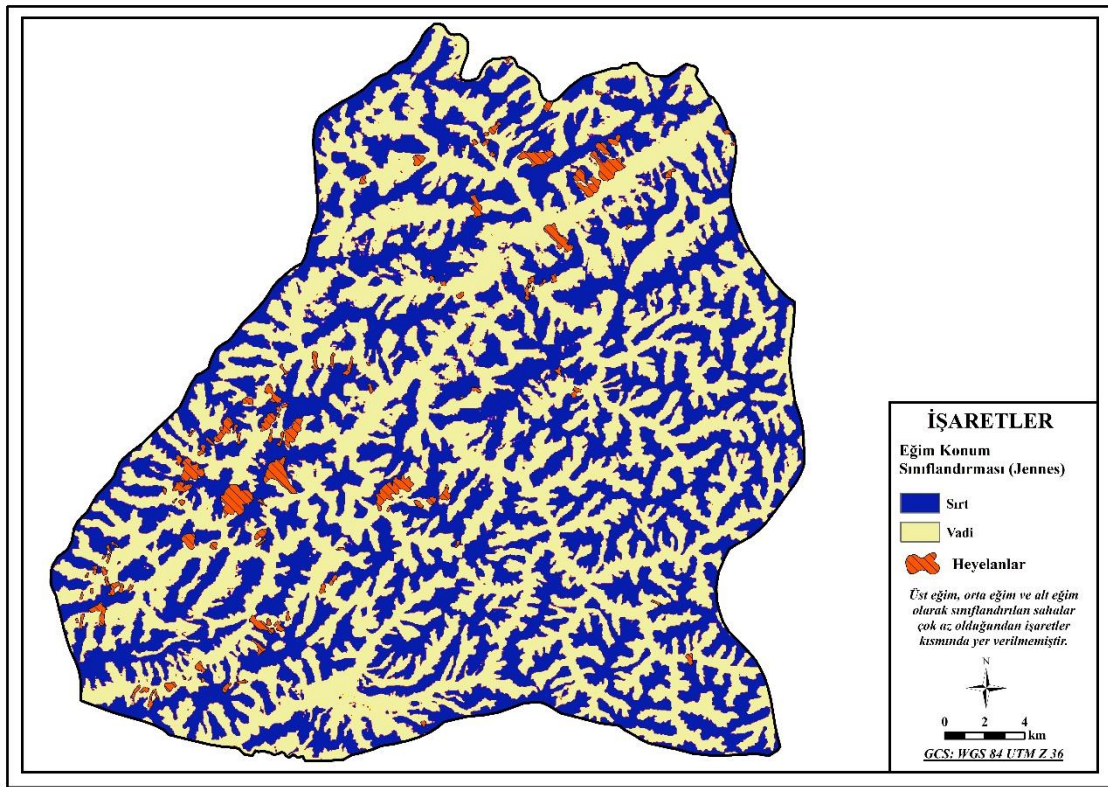
Harita 27. Çalışma sahasının ortalama eğim haritası

4.3.3.4. Eğim Konumu Sınıflandırması (SPC)

Eğim koşullarının sınıflandırılması, raster hücrelerde tutulan yükseklik değerleri üzerinden hesaplanmaktadır. Yükseklikten oluşturulan eğim değerleri SPC parametresinin hesaplanmasında kullanılır ve eğim, altı farklı sınıfta değerlendirilir. 1 ile 6 arasında nümerik olarak alınan çıktılar Jenness (2006)'e göre 1-2 arası vadi, 2-3 arası alt eğim, 3-4 arası düz eğim, 4-5 arası üst eğim, 5-6 arası ise sırt olarak değerlendirilmiştir (Harita 28). Çalışma sahasının %50,8'i vadi, %47'si ise sırt olarak değerlendirilmiştir (Tablo 13).

Tablo 13. Çalışma sahasının Jennes'in eğim konum sınıflandırmasına göre alansal ve yüzdelik oranları.

Değer	Sınıflandırma	ALAN (km2)	Yüzde (%)
1	Vadi	484.2	51
2	Alt eğim	4.1	0.4
3	Düz eğim	0.4	0.04
4	Orta eğim	7.8	0.8
5	Üst eğim	3.9	0.4
6	Sirt	452.0	47



Harita 28. Çalışma sahasının eğim konumu sınıflandırması haritası.

4.3.4. Topografya ile İlgili Parametreler

Topografyanın şekilsel karakteri heyelanların oluşumunda önemli bir unsurdur. Arazinin topografik şekli heyelana etki bakımından; topografik yükseklik, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik, yüzeyin-rölyef oranı, yüzey-alan oranı, topografik nemlilik indeksi (TWI) topografik konum indeksi, birleşik topografik indeks ve arazi şekil indeksi parametreleri kullanılarak incelenmiştir. Bu parametreler araziye ait DEM verisinin ArcMap programında çeşitli şekillerde mekânsal analizlere tabii tutulmasıyla

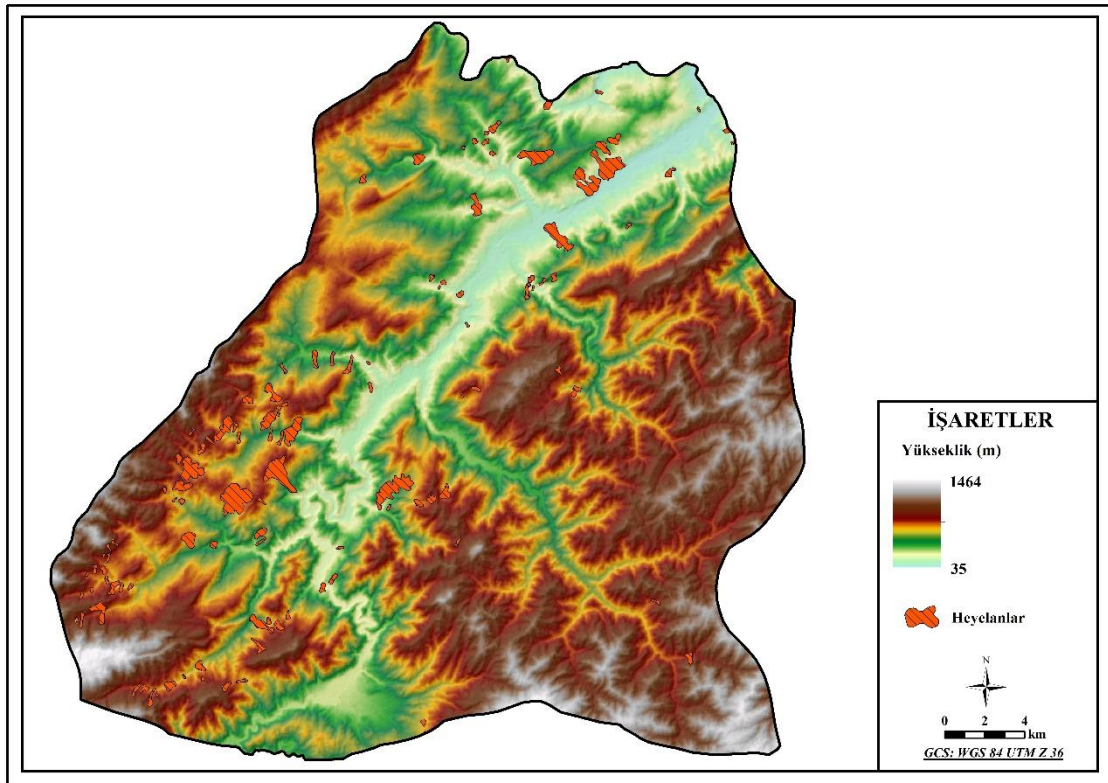
üretimiştir. Sayısal yükseklik modelinden üretilmiş olan bu parametrelerin hepsi arazinin morfolojik yapısının farklı şekillerde açıklanması olarak düşünülebilir.

4.3.4.1. Topografik Yükseklik

Topografik yükseklik, heyelanların hangi yükselti aralığında dağıldığını anlamak için önemli bir parametredir. Çalışma sahasında heyelanlar 63-951 metre aralığında yayılış göstermektedir (Harita 29). Zonal istatistik sonuçlarına göre heyelanlar en çok 553 metre, en az 63 metre yükseklikte tekrar etmiştir (Tablo 14).

Tablo 14: Heyelan sahaslarındaki yükselti değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları.

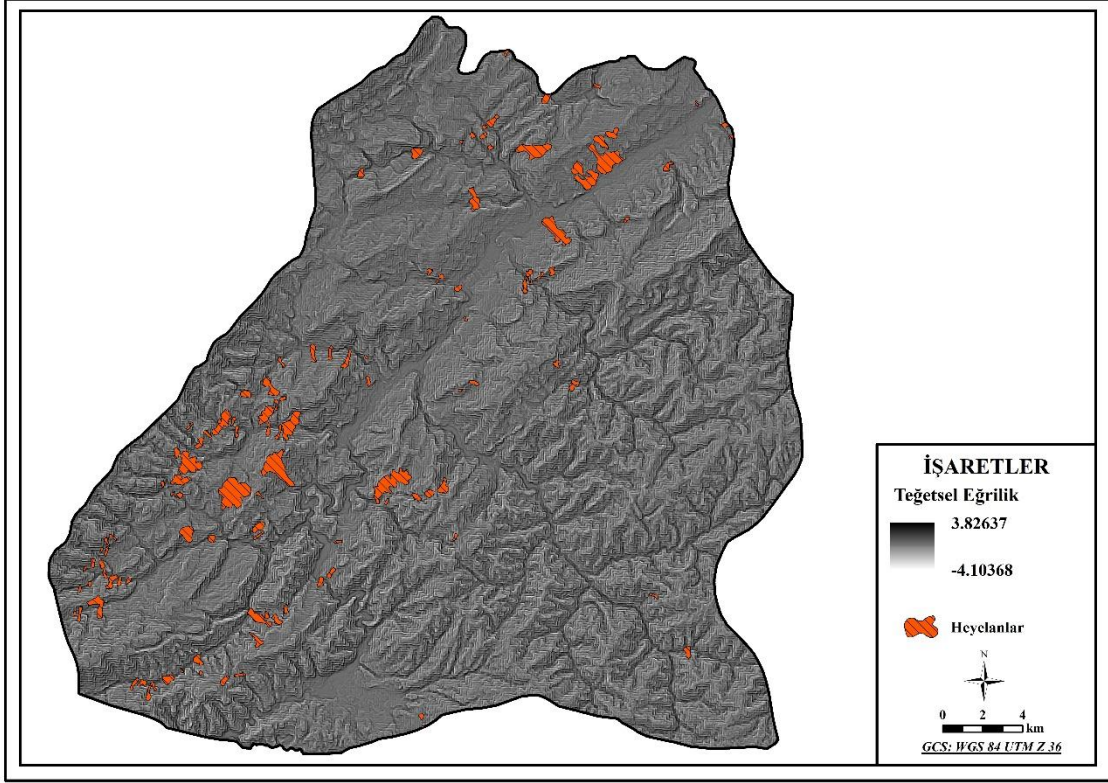
Minimum (m)	Maksimum (m)	Ortalama	Medyan
63	951	444.3	460
Ranj	St. Sapma	En çok tekrar (m)	En az tekrar (m)
888	196.6	553	63



Harita 29: Çalışma sahasının topografik yükseklik haritası.

4.3.4.2. Düzlemsel (Plan) Eğriliği

Plan eğriliği, en dik eğimi yerel seviye yönünde kesen profil şeklindedir. Bu, plan eğriliğinin profil eğriliğine doğru bir açıda ölçüldüğü anlamına gelir. Negatif değerler



Harita 31. Çalışma sahasının teğetsel eğrilik haritası.

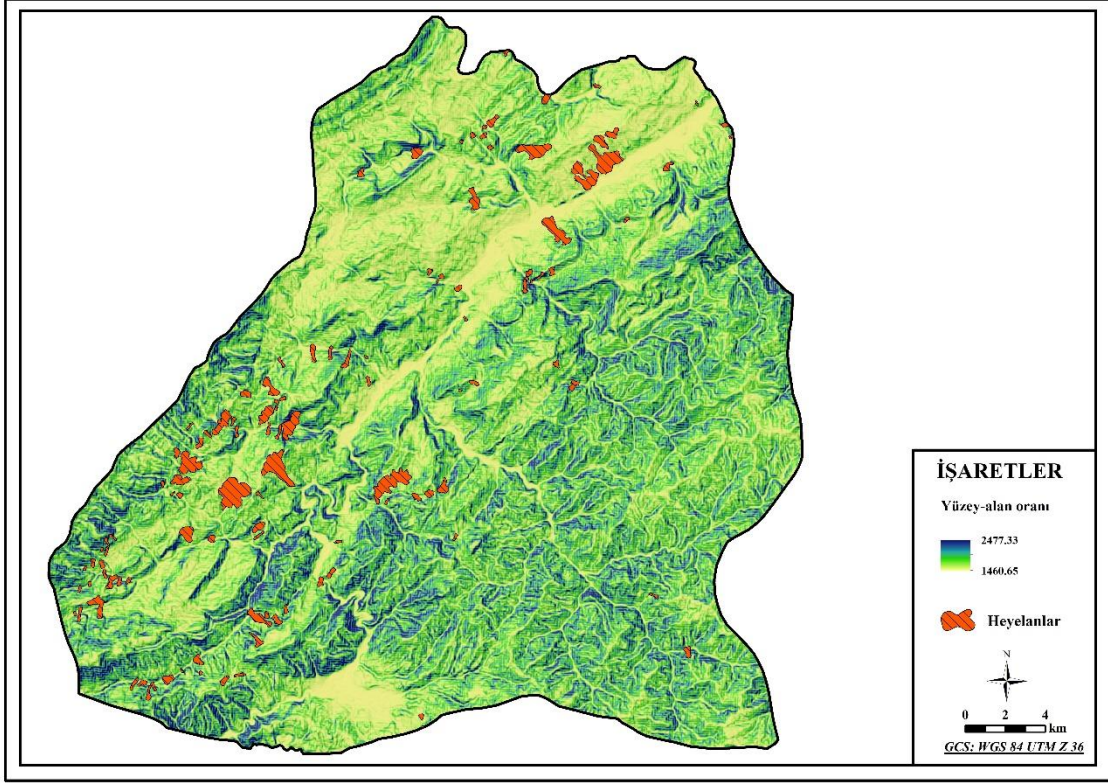
4.3.4.4. Yüzey-Rölyef Oranı (SRR)

Yüzey-rölyef oranı (SRR), Strahler (1952)'in, bir arazinin tüm kara kütlesi hacminin bir referans katı hacim oranına eşdeğer olduğunu gösteren hipsometrik integral çalışmasının genişletilmiş bir versiyonudur (Pike & Wilson, 1971). Bu indeks belirli bir sahanın yükseklik değerlerinin kabarıklığı ifade eden eğim değerlerinin oranını açıklamaktadır.

$$SRR = \frac{\left(\sum \sum \frac{Z(S)_j}{n} \right)_{n_j = i + 1}^{n - 1} \quad i = 1}{Z(S)_{max} - Z(S)_{min}}$$

Eşitlikteki Z(S), yüksekliği tanımlamaktadır.

Çalışma sahasının SRR değerleri 0 ile 0,88 arasında değişmektedir (Harita 32). Vadilerde ve nispeten düz alanlarda düşük değerler görülmektedir.



Harita 33. Çalışma sahasının yüzey-alan oranı haritası.

4.3.4.6. Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)

DEM verisinden üretilen havza alanı ve yamaç eğimi gibi faktörler kullanılarak üretilen TWI, yer altı suyu ile ilgili veri olmadığı durumlarda kullanılır. Göreceli olarak yüksek değerlerin olduğu sahalarda, suyun daha çok birikerek heyelan oluşumuna karşı duyarlı hale gelen yerlerdir (Ortiz vd., 2018; Can vd., 2019; Sameen vd. 2020). Modelleme için, çalışma sahasının TWI değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir.

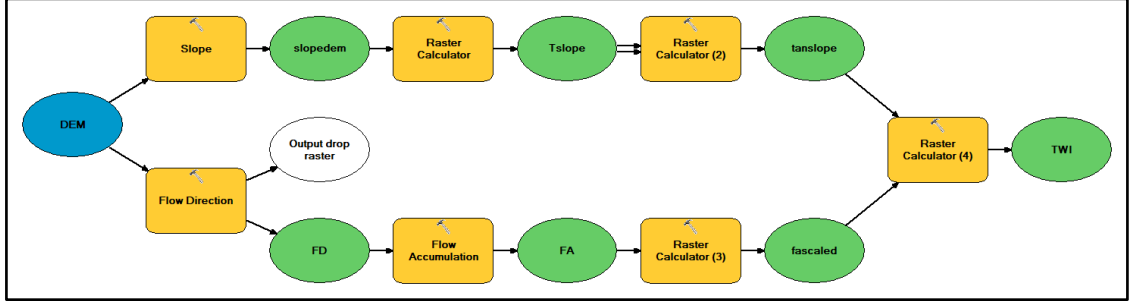
TWI aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right)$$

Eşitlikteki A_s ; çalışma sahasının alanını,

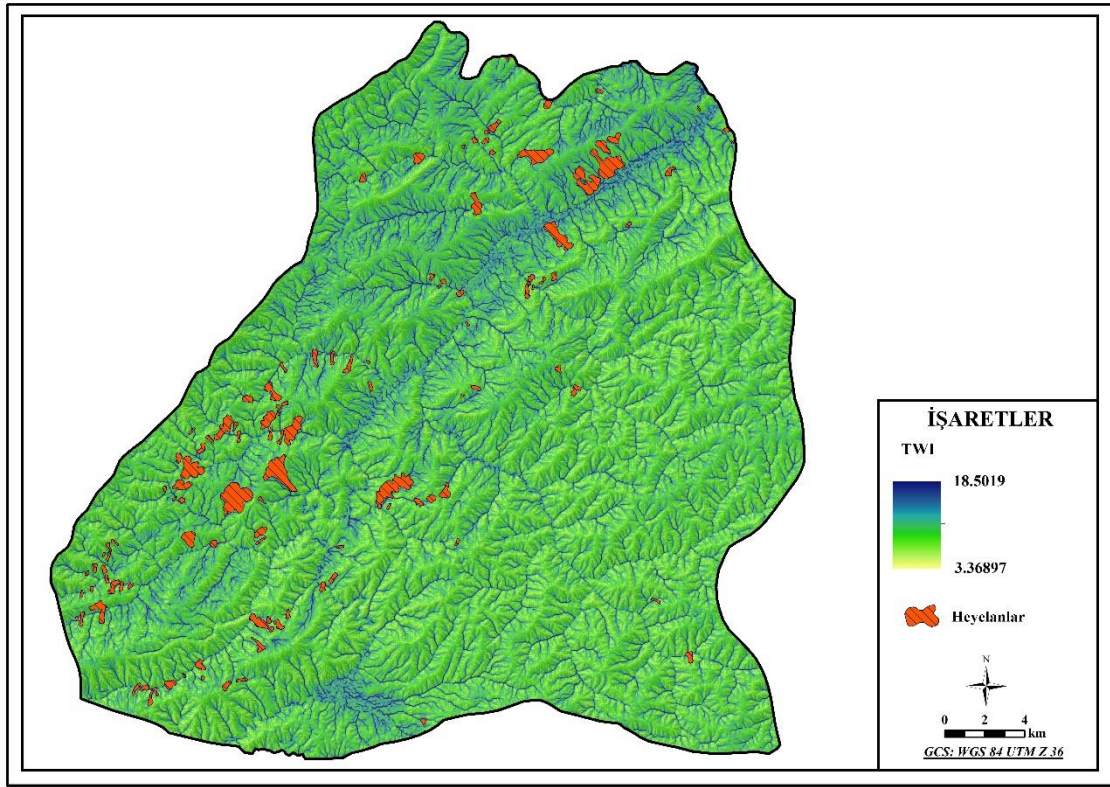
$\tan \beta$ ise yamaç eğriliğini temsil eder.

TWI parametresinin üretiminde ArcMap Model Builder aracı kullanılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8: TWI parametresinin üretimi için ArcMap ortamında kurulan model.

Çalışma sahasında TWI değerleri; 3,3-18,5 arasında değişmektedir (Harita 34). Heyelan sahalarında ise 3,6-15,8 arasında değişmektedir (Tablo 15).



Harita 34: Çalışma sahasının TWI haritası.

Tablo 15: Heyelan sahalarının TWI değerlerinin tanımlayıcı istatistik tablosu.

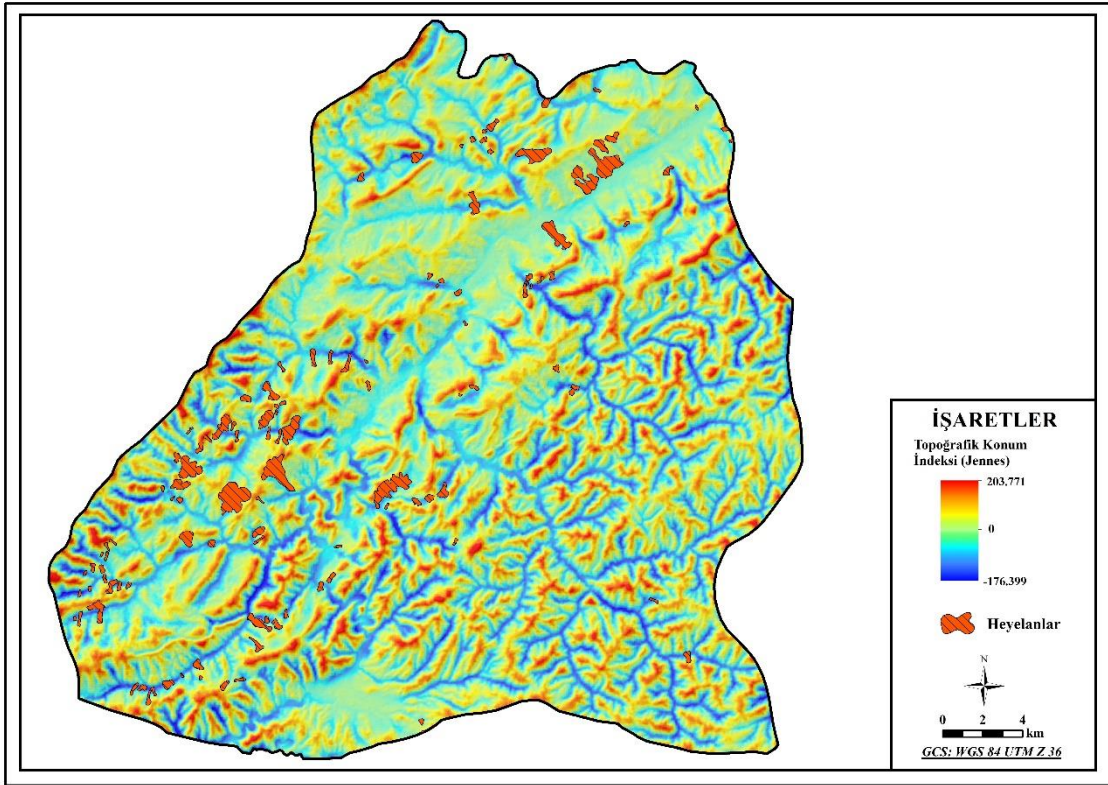
Minimum	Maksimum	Ranj	Ortalama	St. Sapma
3.6	15.8	12.2	6.7	1.7

4.3.4.7. Topografik Konum İndeksi (TPI)

Topografik konum indeksi (TPI) farklı ölçeklerde kullanılarak arazinin hem eğim konumuna (sırt, vadi tabanı, orta eğim vb.) hem de morfolojik karakterine (dik dar

kanyon, vadi, yamaç, mesa vb.) göre sınıflandırılmasını sağlar. İndeksin çalışma mantığı raster hücreleri şeklinde karakterize edilen arazi yüzeylerinin analizine dayanmaktadır. Her bir hücrenin yükseklik değerlerinin komşu hücrelerin yükseklik değerlerinin ortalamasıyla farkının hesaplanmasıyla yeni değerler üretilir. Pozitif değerler, hücrenin çevresinden daha yüksekte olduğu, negatif değerler ise daha alçakta olduğu anlamına gelir. Yani raster hücre değeri çevresinden önemli ölçüde daha yüksekse tepe, sırt gibi alanları temsil ettiği veya bu alanların yakınlarında olduğu sonucuna ulaşılabilir. Değer önemli ölçüde düşükse hücrenin bir vadi tabanında veya yakınında olduğu düşünülebilir. Sıfıra yakın değerler ise düz veya orta eğimli bir alanları temsil etmektedir (Jennes, 2006).

Çalışma sahası topografik konum indeksine göre sınıflandırılmıştır (Harita 35). Sahanın indeks değerleri -176,3 ile 203,7 arasında değişmektedir. Frekansı en fazla olan değer ise -13'tür. Bu değer sahanın büyük kısmının akarsu vadilerinden oluştuğu ifade etmektedir.



Harita 35. Çalışma sahasının topografik konum indeksi haritası.

ve koylar) görüşümüz bitişik kara kütleleri tarafından engellenir ve ufuk noktası görülmemektedir. Dışbükey ve düz yer biçimleri (sırtlar ve yaylalar) üzerinde durduğumuzda ufuk göz hizasında gibi görünmektedir. Eğimli, düzlemsel yeryüzü şekillerinde ise (eğimler ve teraslar) ufuk çizgisi genellikle üzerimizde kalmaktadır. Ufkun, yer şeklinin üzerindeki konumumuzla ilgili görülme biçimi, arazi şekil indeksinin temelini oluşturmaktadır (McNab, 1992).

Çalışma sahası arazi şekil indeksine göre sınıflandırılmıştır (Harita 37). İndeks değerleri vadi içlerinde düşükken sırt ve eğimli yamaçlarda yüksektir.



Harita 37. Çalışma sahasının arazi şekil indeks haritası.

4.4. Modellerde Kullanılan Parametre Grupları

Heyelan duyarlılık çalışmalarında parametre seçimi analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından anahtar rodedir. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), yamaç eğimi, litolojik özellikler, arazi kullanımı ve bitki örtüsüne dayalı parametrelerin heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılması hakkında araştırmacıların fikir birliğinde olduğunu ancak yamaç yönü, yamaç şekli, yükselti gibi parametrelerin kullanımının ise araştırmacılar tarafından henüz tam olarak kabul görmediğini belirtmişlerdir. Yükseklik parametresi çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (Zeng-wang, 2001; Al-batah vd., 2015;

Pradhan ve Kim, 2016; Ortiz ve Martinez-Grana, 2018; Qui, vd., 2018; Can vd., 2019; Luo vd., 2019; Tekin ve Çan, 2019; Bragagnolo vd., 2020). Yükselti parametresinin üretiminin kolay olması, birçok parametrenin üretilmesinde altlık olması bu parametrenin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Çellek, 2020). Bazı parametrelerin kullanımı konusunda araştırmacıların aynı düşüncede olmasına rağmen heyelan olayının birçok faktörü olması ve her arazi için farklı ortam koşulları altında gerçekleşmesi, hatta aynı arazideki heyelanların farklı oluşum süreçlerinin olması parametre seçimini zorlaştıran bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada tek bir parametre grubuna bağlı kalmaktansa birden fazla parametre grubu ile modeller üretmek tercih edilmiştir (Tablo 16). Parametre seçiminde mevcut literatürde kullanılan parametreler ve topografyanın karakterini farklı şekillerde yansıtan indeksler göz önünde tutulmuştur. Parametre gruplarının seçiminde ise yapılan birçok denemenin ardından en yüksek doğruluk veren modeller göz önünde bulundurulmuştur.

1. parametre grubunun oluşturulmasında AFAD'ın Afet Risk Analiz Sistemi (ARAS)'nde kullanıcılara tarafından en çok tercih edilen parametreler (Demir vd., 2018) seçilmiştir. 5. Parametre grubu ise Yılmaz vd. (2012)'nin Devrek ilçesi için iki değişkenli istatistiksel analiz kullanarak ürettiği heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan ve öne çıkan parametrelerden oluşturulmuştur.

Tablo 16. Parametre grupları.

1. Grup	2. Grup	3. Grup	4. Grup	5. Grup
Litoloji	Toprak	Toprak	Toprak	Litoloji
Topografik yükseklik	Litoloji	Litoloji	Litoloji	Topografik yükseklik
Eğim	Eğim	Arazi şekil indeksi (LC)	Akarsulara yakınlık	Eğim
Bakı	Ortalama eğim	Topografik konum indeksi (TPI)	Ortalama eğim	Akarsulara yakınlık
TWI	Eğim açısı	Birleşik topografik indeks (CTI)	Yüzey-rölyef oranı (SRR)	Drenaj yoğunluğu
Akarsulara yakınlık	Eğim konumu sınıflandırması (SPC)	Birleşik nemlilik indeksi (IMI)	Maruziyet indeksi (SEI)	Düzlemsel eğrisellik (plan)
Faylara uzaklık	Maruziyet indeksi (SEI)	Yüzey-alan oranı (SAR)	Topografik konum indeksi (TPI)	Teğetsel eğrisellik (profil)

4.5. YSA Modellerinin Özellikleri

Kurulan modellerde YSA'nın örüntü tanıma (pattern recognition) ve sınıflandırma (classification) özelliklerinden yararlanılmıştır. Hazırlanan 5 parametre grubu Bayesian Regularization Backpropagation (BR) ve Scaled Conjugate Gradient Backpropagation (SCG) eğitim algoritmaları kullanılarak modellenmiştir. Modellerin hepsinde on nörona sahip bir adet gizli katman kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak 0 ile 1 arasında değer üreten sigmoid fonksiyonu tercih edilmiştir. Sonuç olarak 10 model kurulmuş ve çıktılar haritalandırılmıştır.

4.6. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

Heyelan envanterinin ve heyelana etki eden parametrelerin ArcMap 10.7 ortamında hazırlanmasının ardından bu parametreler yine bu yazılım kullanılarak nümerik verilere dönüştürülmüştür. Çalışma sahasından örnek alan seçmek amacıyla heyelan sahalara 250, heyelan olmayan sahalara 250 olmak üzere rastgele 500 örnek alan oluşturulmuştur. Bu yolla heyelan alanları var/bulunma verisine dönüştürülmüş ve buralara karşılık gelen diğer katmanlar tablo haline getirilmiştir. Bu tablo MATLAB programına aktarılmış ve burada önceden seçilmiş parametre gruplarına göre modeller oluşturulmuştur. Ardından sahadaki tüm raster hücreler örnek alanlarda olduğu gibi nümerik hale dönüştürülmüş ve modellerin hazırlandığı parametre gruplarına göre sahaya ait tüm hücre değerleri eğitilen ağlar yardımıyla tahminlenmiştir. Tahmin çıktıları tekrar ArcMap ortamında raster formata dönüştürülüp heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Modeller tek tek sunulmuş ve en sonunda bu modeller doğruluk oranlarına göre karşılaştırılmıştır.

Haritalar, modellerin çıktısı olan 0-1 arasındaki tahmin değerlerinden üretilmiştir. Duyarlılık zonları, değerlerin eşit aralıklarla beş sınıfa ayrılarak sınıflandırılmasıyla belirlenmiştir. Buna göre aralık değerlerine karşılık gelen duyarlılık zonları; 0-0,2 aralığı "çok düşük duyarlılık", 0,2-0,4 aralığı "düşük duyarlılık", 0,4-0,6 aralığı "orta duyarlılık", 0,6-0,8 aralığı "yüksek duyarlılık", 0,8-1 aralığı ise "çok yüksek duyarlılık" olarak belirlenmiştir.

Bu başlık altında haritalar ve modeller; modellerin eğitim ve test performansları, model çıktısı olan heyelan duyarlılık haritaları, çalışma sahasının heyelan duyarlılık zonları bakımından yüzdeler oranları ele alınarak değerlendirilmiştir. Modellerin eğitim

performansları BR algoritması için en düşük MSE (Mean Squared Error) değerine ulaştığı iterasyon (tekrar) sayısı dikkate alınarak, SCG algoritması için cross-entropy yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kurulan ağlar, her iterasyon sırasında ağırlıklarını ve yanlılık (bias) değerlerini güncelleyerek tahmin yapar. Bu tahminleri test ve doğrulama veri seti üzerinden gerçekleştirir. Her iterasyon bir öncekinden farklı olarak ağırlık ve yanlılık değerlerini günceller. Sonuç olarak MSE değeri en küçük olan iterasyondaki ağırlık ve bias değerleri kullanılarak modeller oluşturulur. Model isimleri; kullanılan parametre grubu ve eğitim algoritmasına göre düzenlenmiştir (Tablo 17).

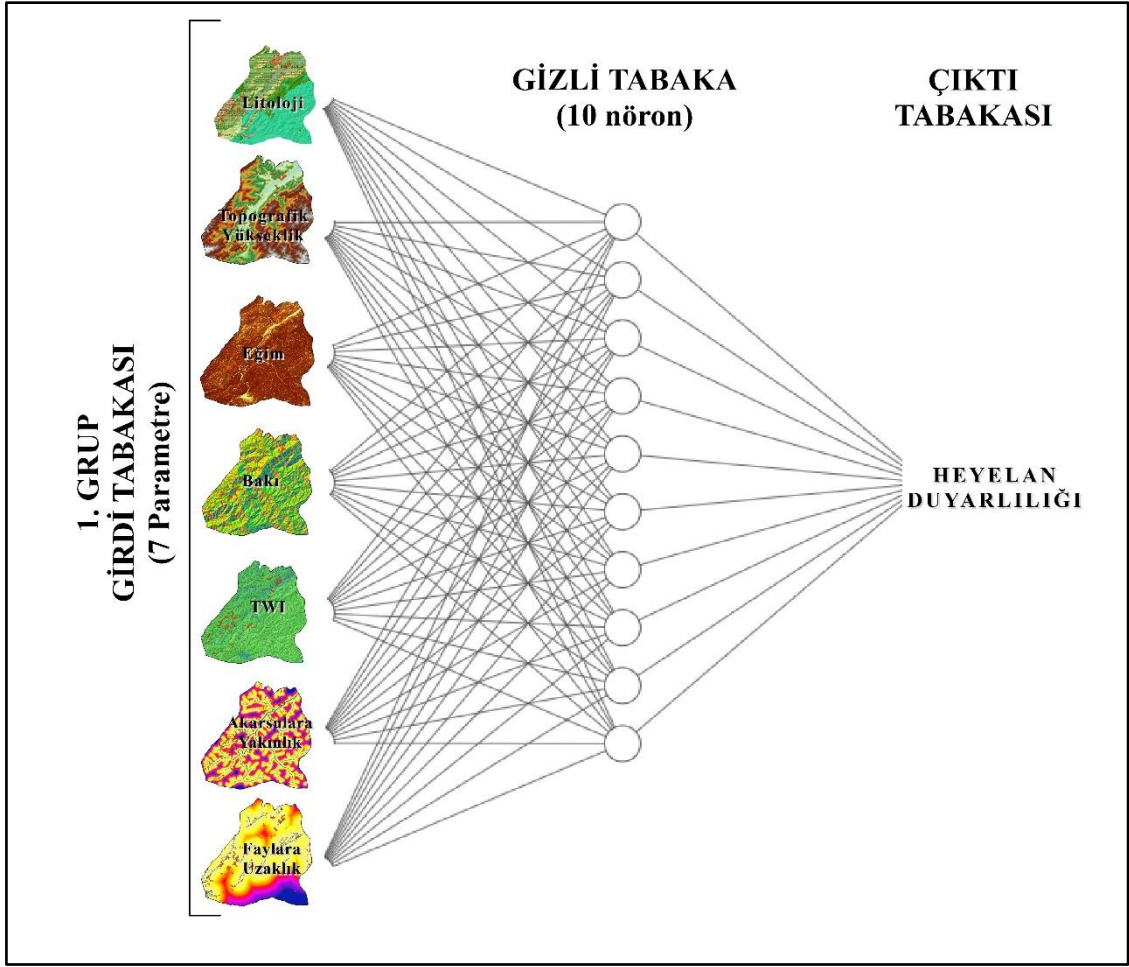
Tablo 17. Model isimleri ve açıklamaları.

Model ismi	Eğitim algoritması	Parametreler
P1ModelBR	Bayesian Regularization Backpropagation	Litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık
P1ModelSCG	Scaled Conjugate Gradient Backpropagation	
P2ModelBR	Bayesian Regularization Backpropagation	Toprak, litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim
P2ModelSCG	Scaled Conjugate Gradient Backpropagation	
P3ModelBR	Bayesian Regularization Backpropagation	Toprak, litoloji, LC, TPI, CTI, IMI, SAR
P3ModelSCG	Scaled Conjugate Gradient Backpropagation	
P4ModelBR	Bayesian Regularization Backpropagation	Toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI
P4ModelSCG	Scaled Conjugate Gradient Backpropagation	
P5ModelBR	Bayesian Regularization Backpropagation	Litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık
P5ModelSCG	Scaled Conjugate Gradient Backpropagation	

4.6.1. 1. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları

1. parametre grubu; AFAD'ın oluşturduğu ARAS (Afet Risk Analiz Sistemi)'ta heyelan duyarlılık analizleri için en çok kullanılan parametreler dikkate alınarak oluşturulmuştur (AFAD, 2017). Grupta; litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık ve faylara uzaklık parametreleri bulunmaktadır (Şekil 9). Bu başlık

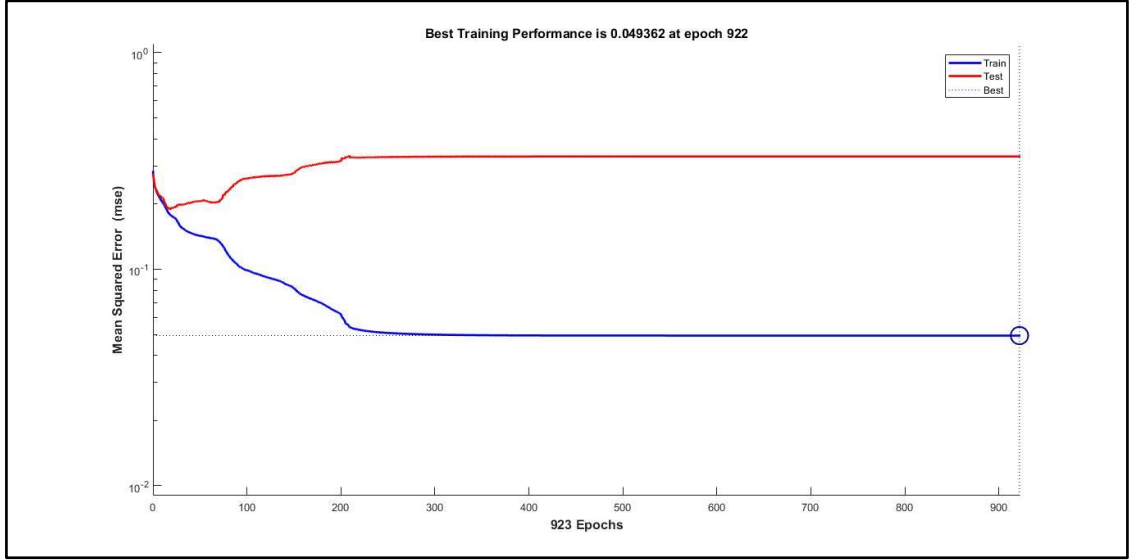
altında 1. Parametre grubu kullanılarak oluşturulan P1ModelBR ve P1ModelSCG modellerinden üretilen heyelan duyarlılık haritaları incelenecektir.



Şekil 9: 1. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.

4.6.1.1. P1ModelBR

P1ModelBR; çalışma sahasının heyelan duyarlılığının 1. Grupta bulunan litoloji, yükselti, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı ve BR eğitim algoritmasının kullanıldığı işlem adımları sonucu oluşturulmuştur. Modelin eğitim performansı incelendiğinde en düşük MSE değerinin (0.049362) görüldüğü 922. Tekrar sırasında en iyi öğrenmenin gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 7).

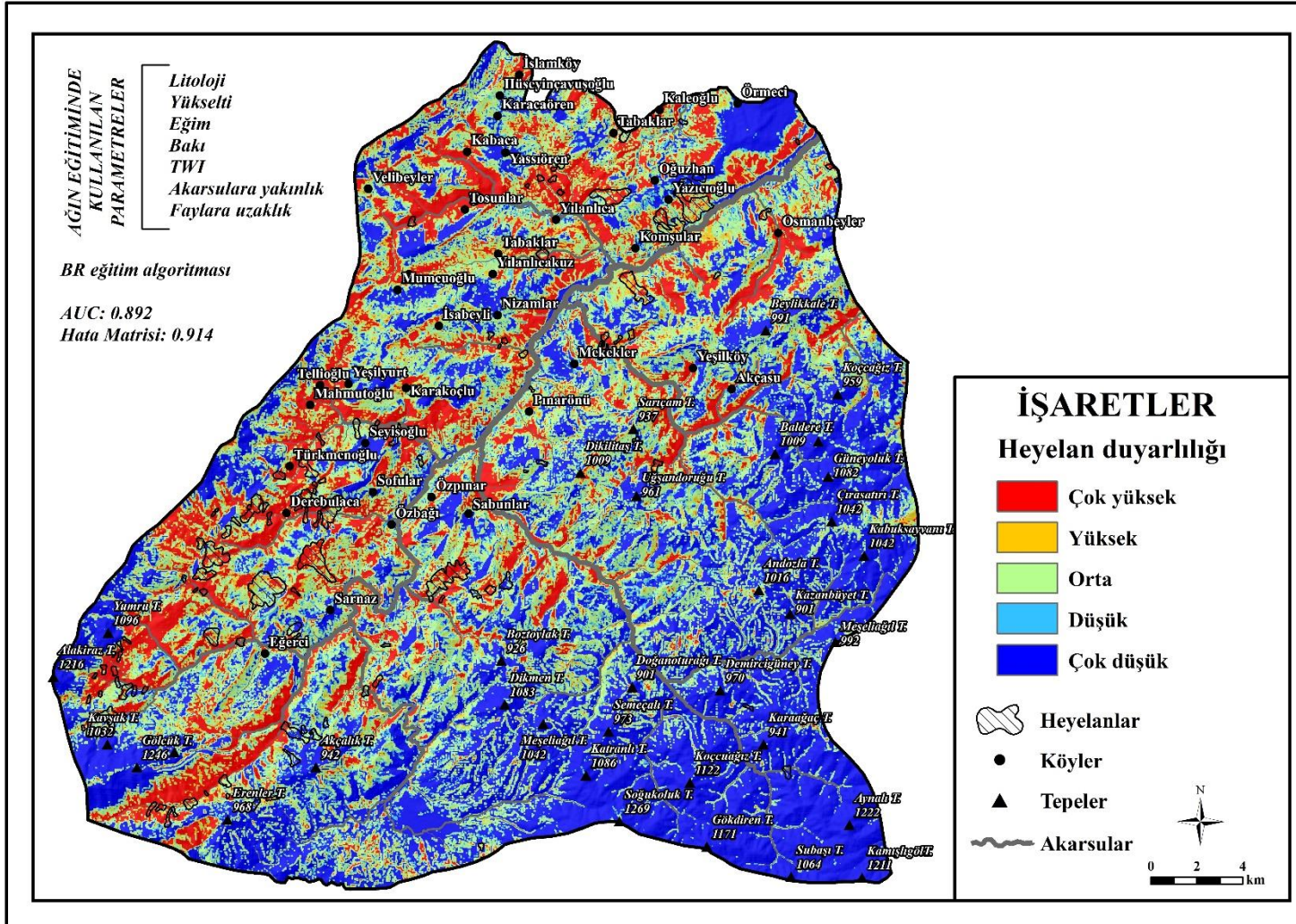


Grafik 7: P1ModelBR için eğitim-test grafiği.

Model çıktıları haritalandığında çalışma sahasının %48'inin "çok düşük" (461,1 km²), %7'sinin "düşük" (68,2 km²), %13'ünün "orta" (126,7 km²), %6'sının "yüksek" (61,5 km²), %25'inin "çok yüksek" (235 km²) heyelan duyarlılığına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Heyelan envanterinden elde edilen heyelan sahaları ile P1ModelBR çıktılarının karşılaştırılmasına göre; heyelan alanlarının %16'sı "çok düşük" (3,2 km²), %6'sı "düşük" (1,2 km²), %16'sı "orta" (3,3 km²), %11'i "yüksek" (2,4 km²), %51'i "çok yüksek" (10,5 km²) olarak sınıflandırılmıştır.

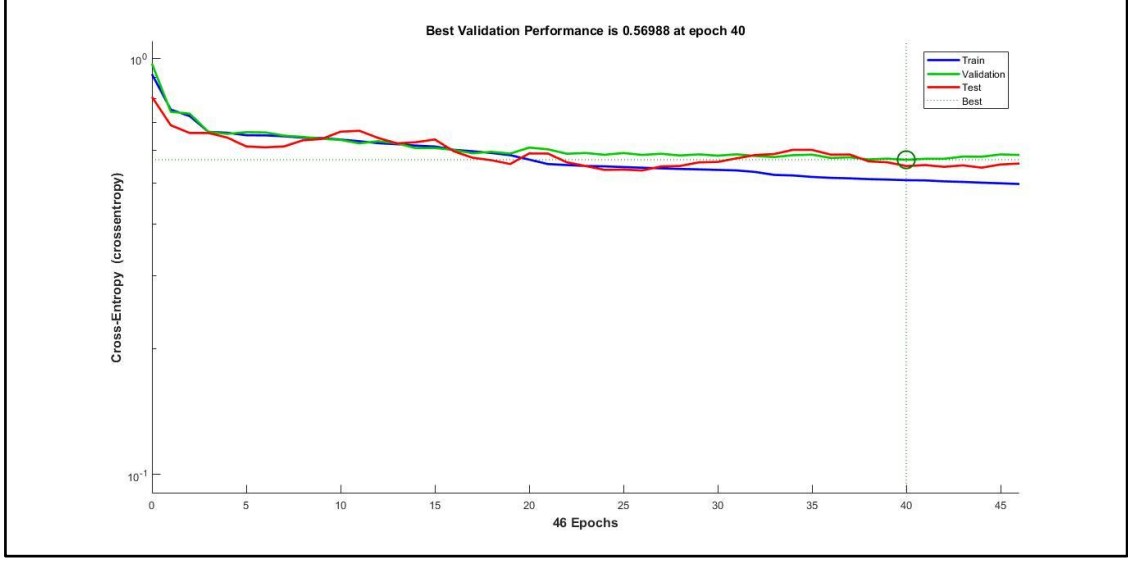
Litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık parametrelerini içeren 1. Parametre grubu ve BR eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan P1ModelBR'nin çıktısı harita 38'de sunulmuştur.



Harita 38. P1ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.1.2. P1ModelSCG

P1ModelSCG isimli modele 1. Parametre grubunda bulunan litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık katmanları girdi olarak sunulmuştur. Eğitim için ise SCG algoritması kullanılmıştır. Modelin eğitim-doğrulama performansı 0,56988 ile en düşük cross-entropy değerinin görüldüğü 40. Tekrar sırasında en iyi öğrenmenin gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 8).

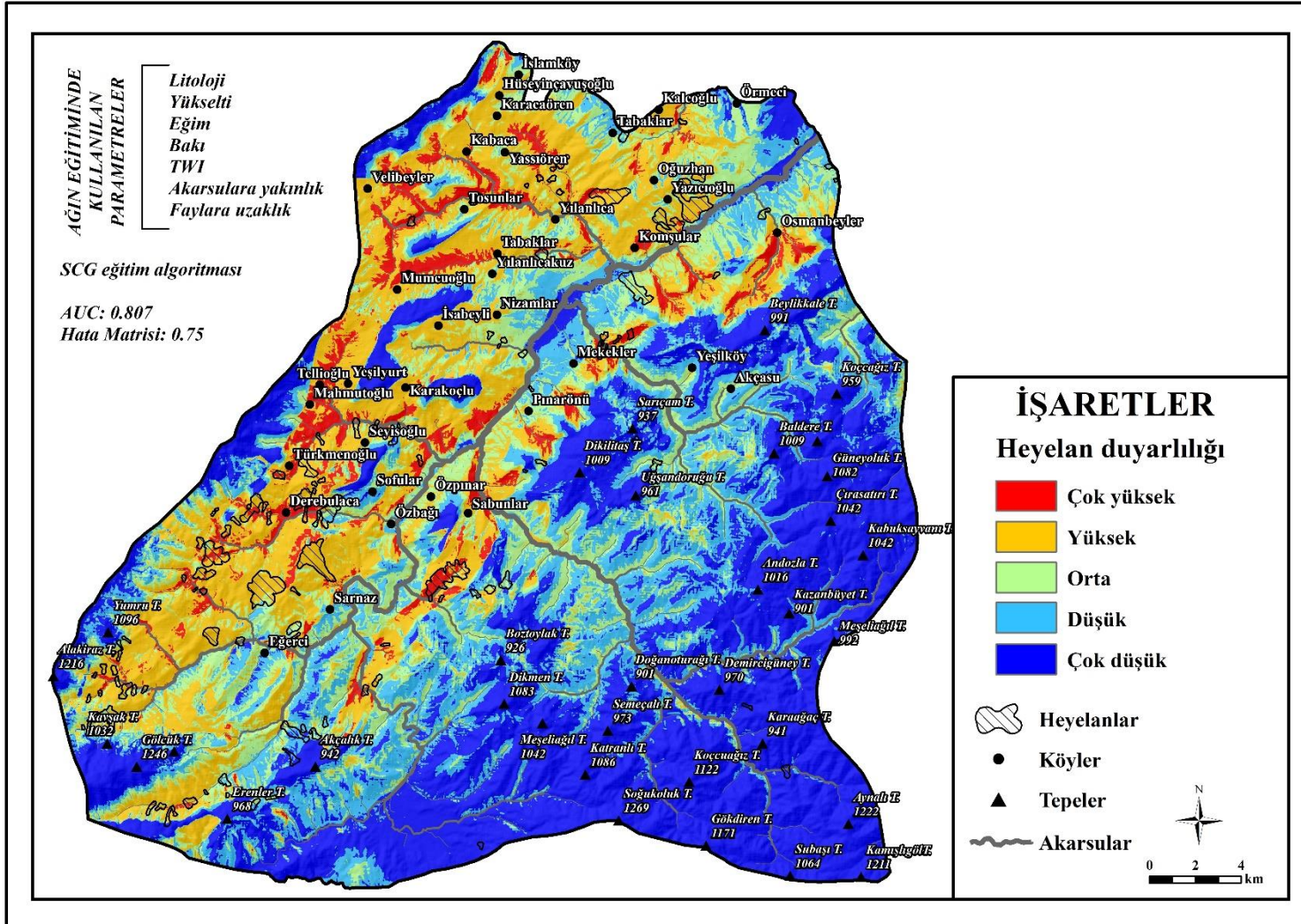


Grafik 8: P1ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.

P1ModelSCG'ye göre çalışma sahasının %36'sı "çok düşük" (342,6 km²), %21'i "düşük" (195,6 km²), %17'si "orta" (160,1 km²), %21'i "yüksek" (202,8 km²), %5'i "çok yüksek" (51,3 km²) heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırılmıştır.

Heyelan sahaları ile P1ModelSCG'nin karşılaştırılması sonucu, heyelan sahalarının; %4'ü "çok düşük" (0,8 km²), %8'i "düşük" (1,7 km²), %18'i "orta" (3,8 km²), %55'i "yüksek" (11,3 km²), %15'i "çok yüksek" (3,1 km²) heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırılmıştır.

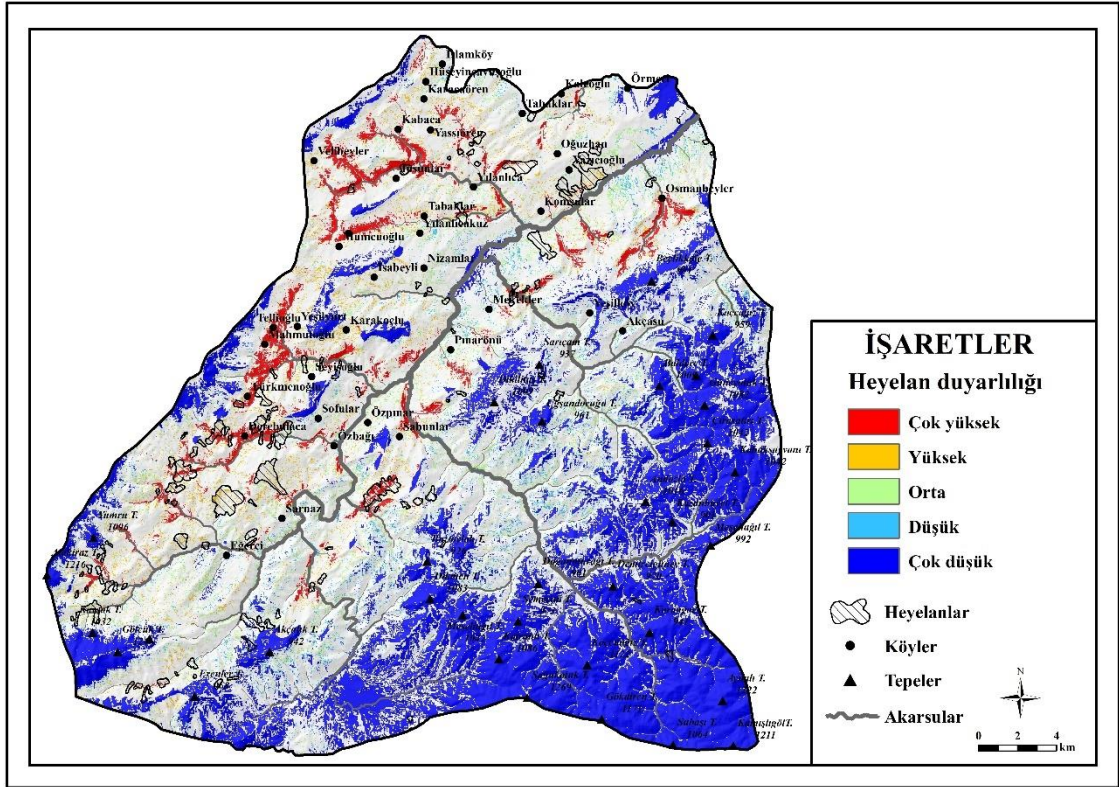
Litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık parametrelerinin SCG algoritması kullanılarak eğitildiği P1ModelSCG'nin çıktılarını harita 39'da sunulmuştur.



Harita 39. P1ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.1.3. P1ModelBR ve P1ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar

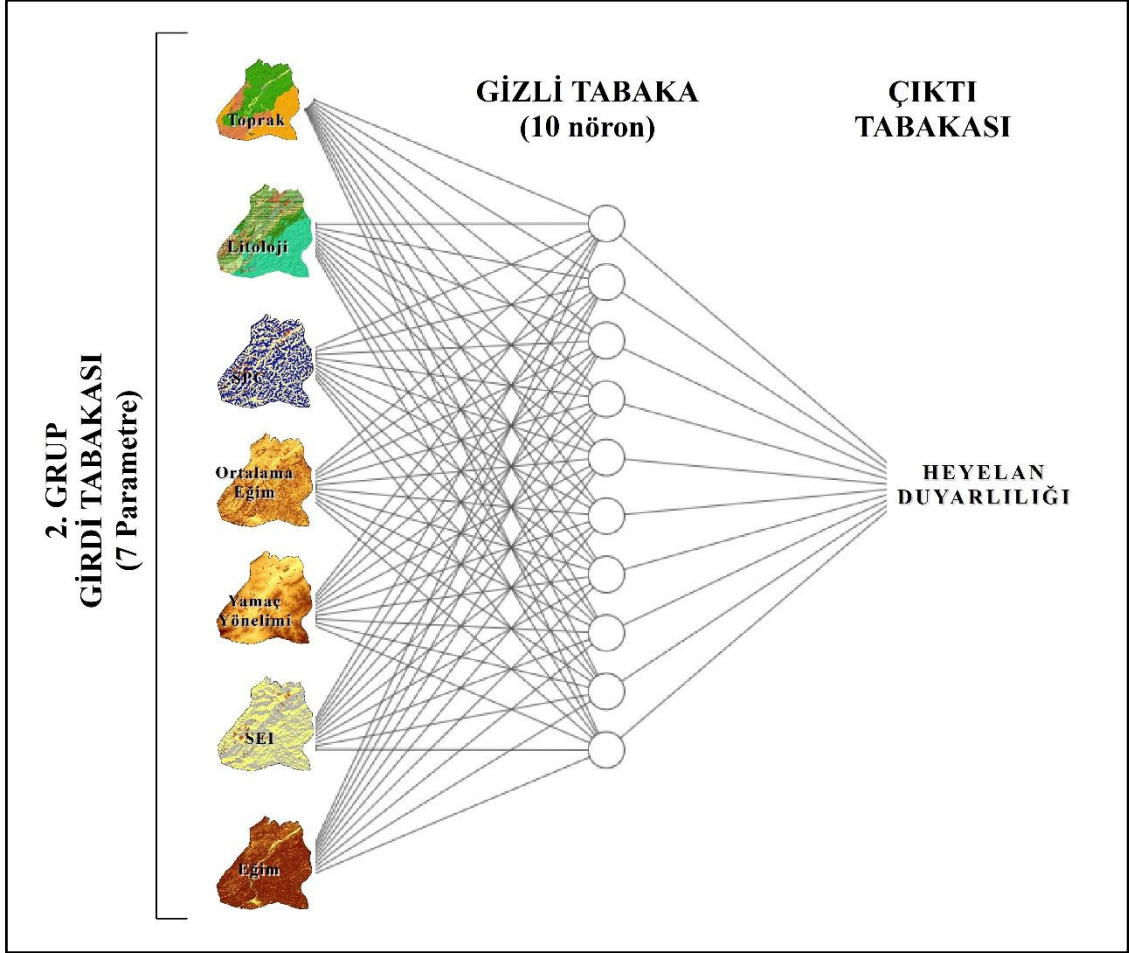
1. parametre grubunun BR ve SCG algoritmalarına göre ortak sınıflandırdığı alanlardan yola çıkarak; litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık parametrelerine bağlı olarak çalışma sahasının doğu ve batı kesimleri “çok düşük” heyelan duyarlılığında sınıflandırılmıştır. Ayrıca iki modelde de Osmanbeyler, Velibeyler, Mumcuoğlu, Mekekler, Kabaca, Telliöğü, Mahmutoğu, Türkmenoğu, Derebulaca, Sabunlar köylerinin büyük kısmı “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak kategorize edilmiştir (Harita 40).



Harita 40. P1ModelBR ve P1ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.

4.6.2. 2. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları

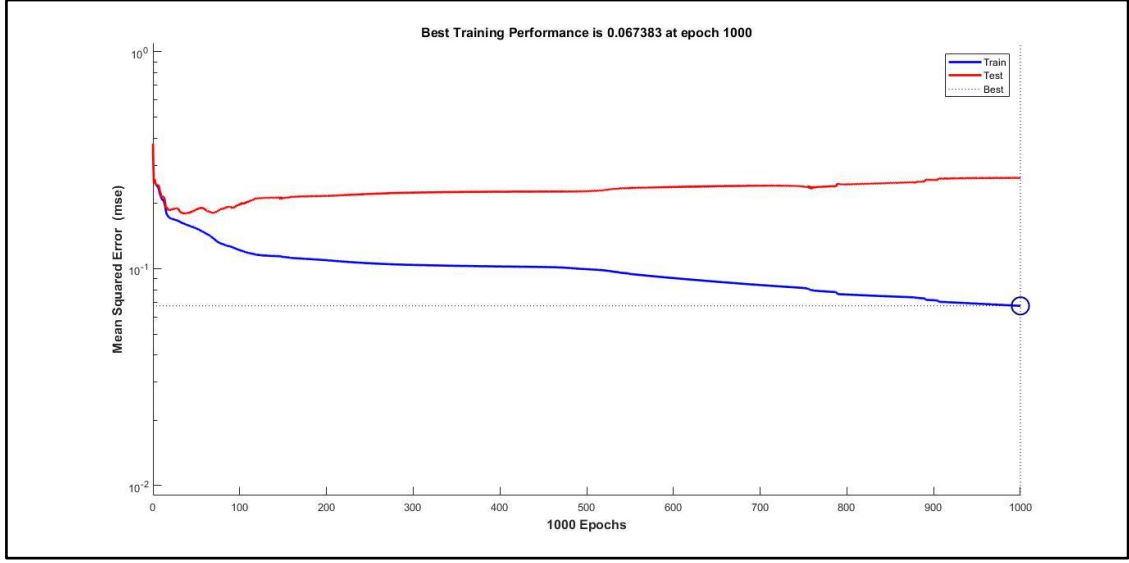
Kategorik değişkenlerin dışında eğim ile ilgili çeşitli parametreleri içeren 2. Parametre grubunda toprak, litoloji, SPC, ortalama eğim, yamaç yönelimi, SEI ve eğim değerleri bulunmaktadır (Şekil 10). Bu parametre grubu kullanılarak P2ModelBR ve P2ModelSCG modelleri oluşturulmuştur.



Şekil 10. 2. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.

4.6.2.1. P2ModelBR

Çalışma sahasının heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan ve litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim parametrelerinin girdi olarak sunulduğu, eğitimin ise BR algoritması kullanılarak gerçekleştirildiği P2ModelBR'nin eğitim performansı incelendiğinde en düşük MSE değerinin (0,067383) görüldüğü 1000. İterasyon sırasında en iyi öğrenmenin gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 10).

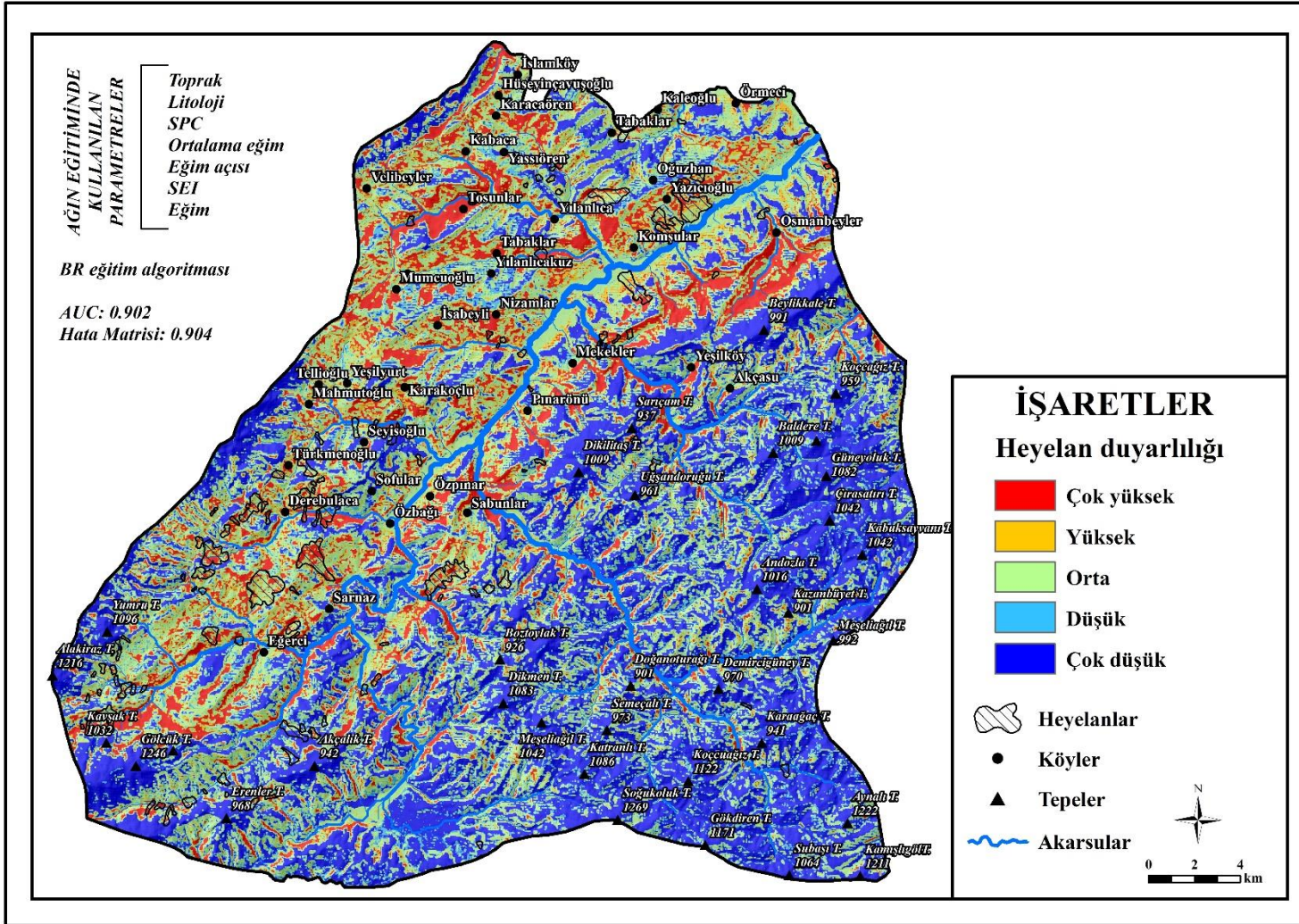


Grafik 9. 2. P2ModelBR için eğitim-test performans grafiği.

P2ModelBR'den üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre çalışma sahasının; %46'sı (434,8 km²) “çok düşük”, %9'u (81 km²) “düşük”, %17'si (165,4 km²) “orta”, %7'si (67,3 km²) “yüksek”, %21'i ise (203,9 km²) “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, heyelan sahaları ile karşılaştırıldığında envanterde bulunan heyelan alanlarının %14'ü “çok düşük”, %6'sı “düşük”, %23'ü “orta”, %14'ü “yüksek”, %42'si ise “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırılmıştır.

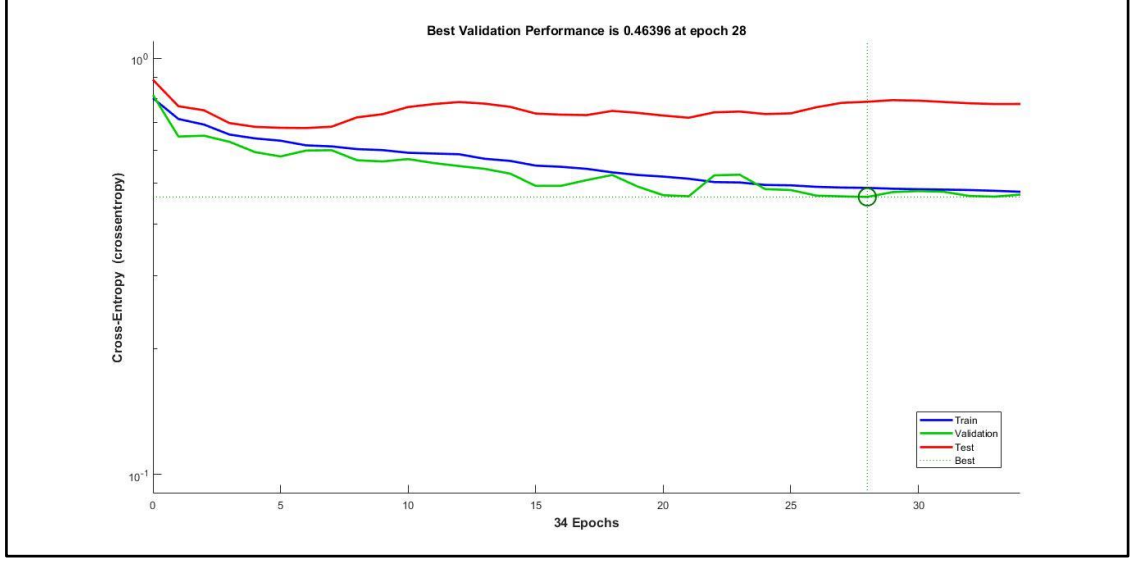
4. grupta bulunan litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim parametrelerinin kullanıldığı ve BR algoritması ile eğitilen P2ModelBR'nin çıktıları harita 41'de sunulmuştur.



Harita 41. P2ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.2.2. P2ModelSCG

2. grupta bulunan **litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim** parametrelerinin girdi olarak verildiği, eğitimin ise **SCG** algoritması kullanılarak gerçekleştirildiği **P2ModelSCG'nin** eğitim-doğrulama performansı 0,46396 ile en düşük cross-entropy değerinin görüldüğü 28. Tekrar sırasında en iyi öğrenmenin gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 11).

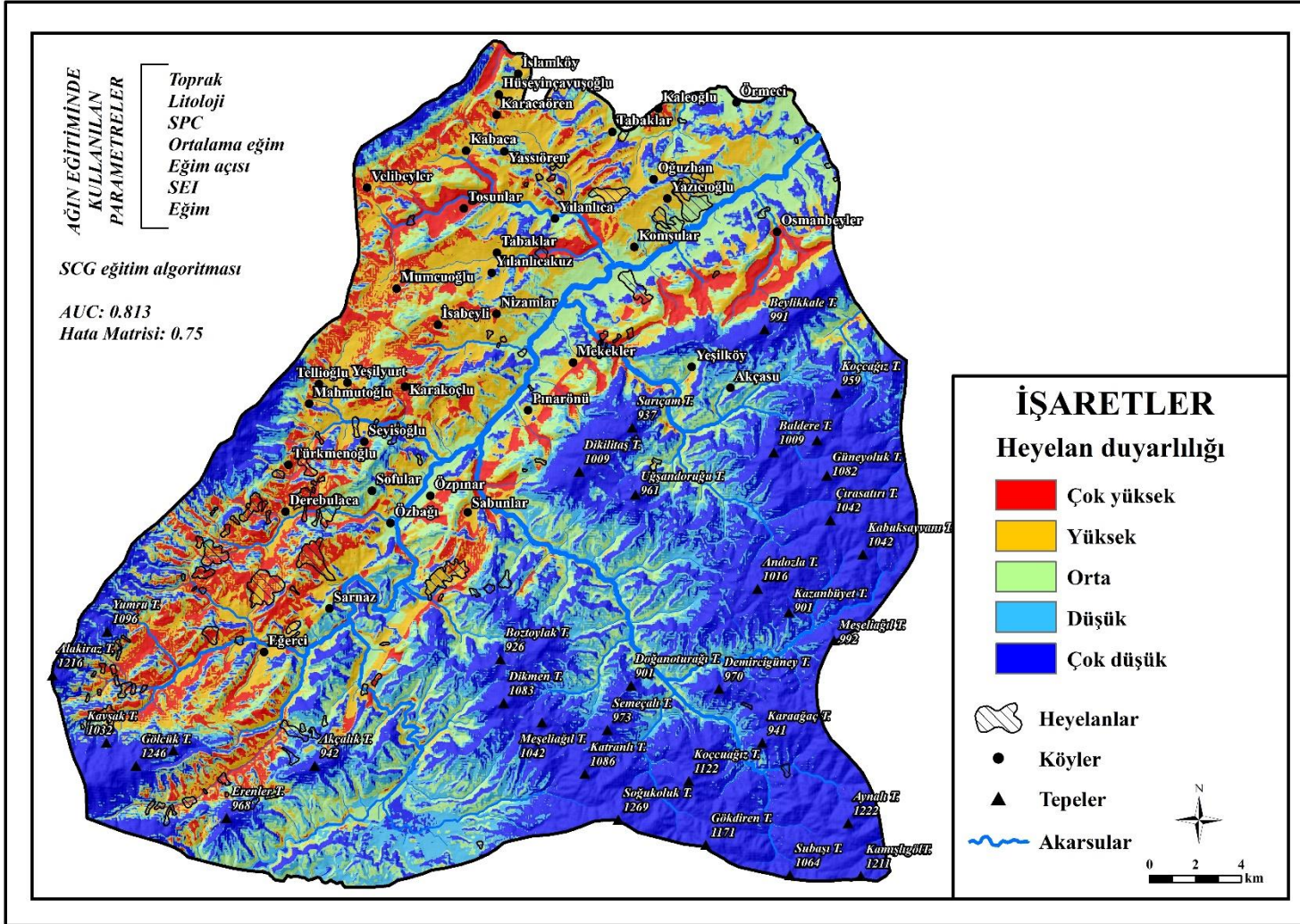


Grafik 10. P2ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.

P2ModelSCG'ye göre çalışma sahasının; %38'i (357,6 km²) “çok düşük”, %16'sı (154,3 km²) “düşük”, %18'i (175,1 km²) “orta”, %17'si (160,8 km²) “yüksek”, %11'i (104,6 km²) “çok yüksek” heyelan duyarlılığı olarak sınıflandırılmıştır.

Sonuçlar heyelan envanterindeki heyelan alanları ile karşılaştırıldığında, çalışma sahasındaki heyelan sahaları; %7'si “çok düşük”, %7'si “düşük”, %20'si “orta”, %38, “yüksek”, %29'u ise “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırılmıştır.

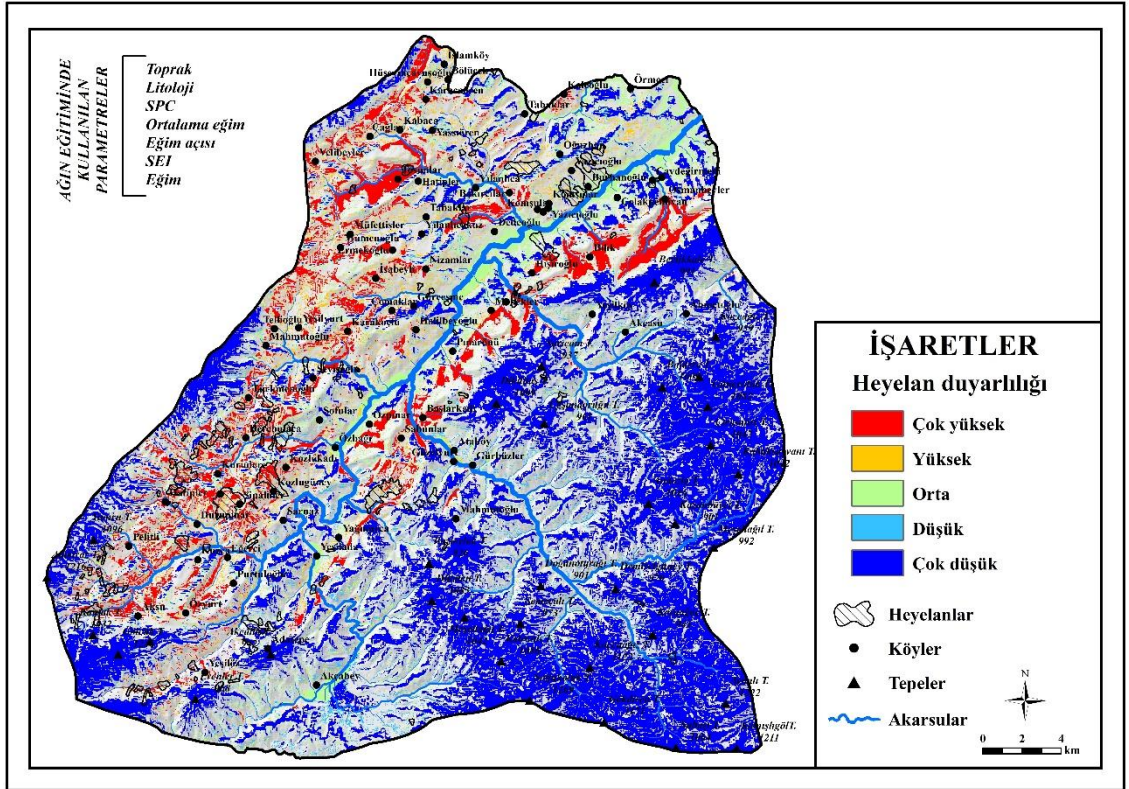
Harita 42'de; 2. Grupta bulunan litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim parametrelerinin kullanıldığı ve SCG algoritması ile eğitilen P2ModelSCG'nin çıktıları sunulmuştur.



Harita 42. P2ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.2.3 P2ModelBR ve P2ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar

Toprak, litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim parametrelerinin yer aldığı 2. gruptan kullanılarak üretilen P2ModelBR ve P2ModelSCG çalışma sahasının 446 km²'sini aynı heyelan duyarlılık kategorisinde sınıflandırmıştır. Bu iki modelin karşılaştırılmasına göre sahanın doğu kesimi ve batıdaki tepelik alanlarda heyelan duyarlılığı “çok düşük” olarak değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılığının “çok yüksek” olduğu alanlar ise Pelitli, Aksu, Özyurt, Sipahiler, Kurudere, Kozluköy, Kozlukadı, Derebulaca, Türkmenoğlu, Özpınar, Sabunlar, Başlarkadı, Pınarönü, İsabeyli, Ermenekoğlu, Mumcuoğlu, Tosunlar, Mekekler, Hışiroğlu, Bılık köylerinin bulunduğu sahalardır (Harita 43).

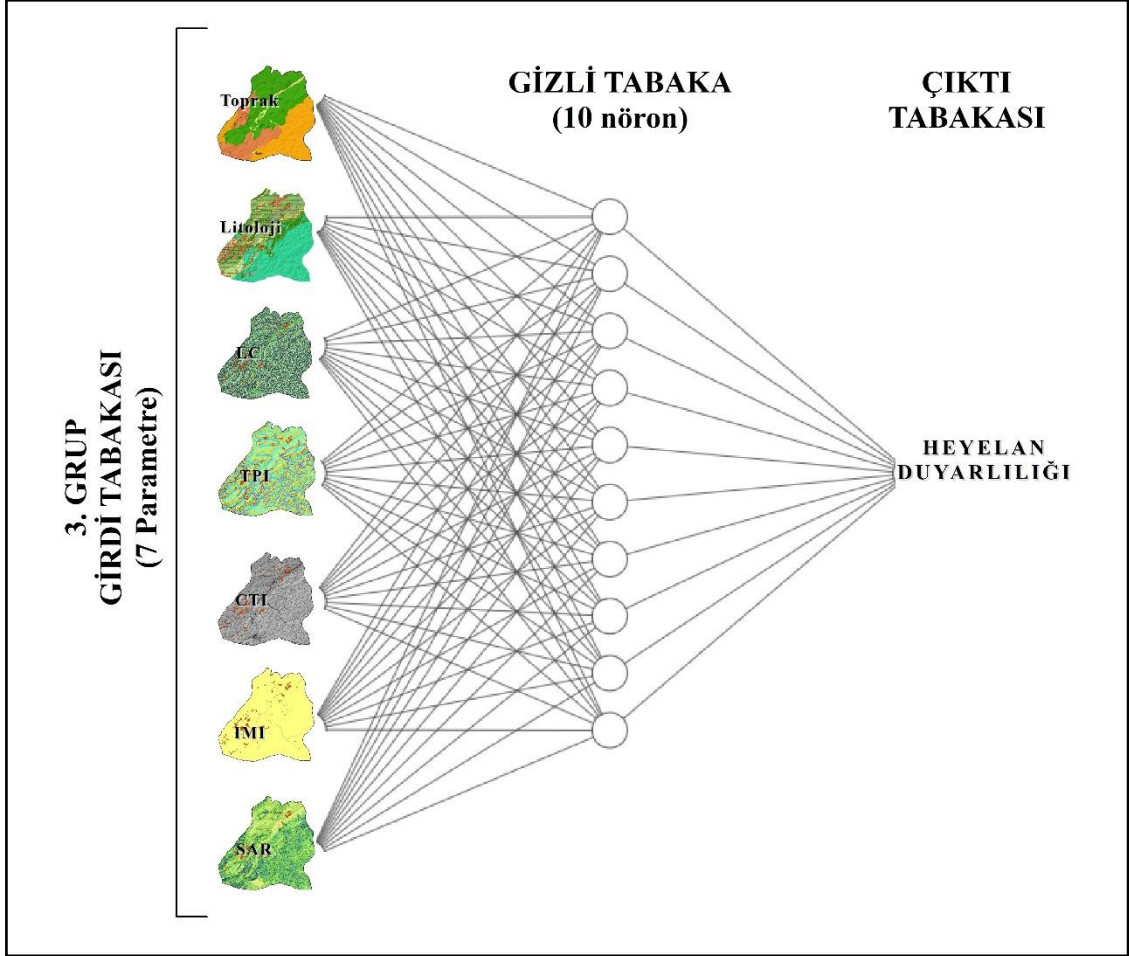


Harita 43. P2ModelBR ve P2ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.

4.6.3. 3. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık

Haritaları

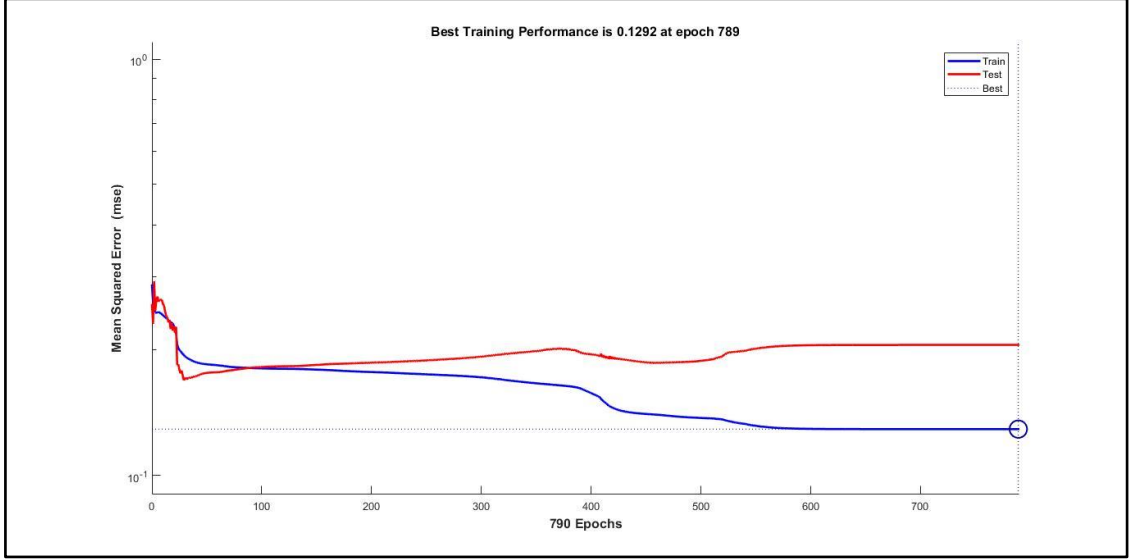
Kategorik değişkenlerin dışında topografik indekslerden oluşan 3. Grupta toprak, litoloji, LC, TPI, CTI, IMI ve SAR parametreleri bulunmaktadır (Şekil 11). Bu parametreler kullanılarak P3ModelBR ve P3ModelSCG isimli iki heyelan duyarlılık modeli üretilmiş ve haritalanmıştır.



Şekil 11. 3. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.

4.6.3.1. P3ModelBR

P3ModelBR; toprak, litoloji, LC, TPI, CTI, IMI ve SAR parametreleri girdi olarak kullanılmış ve BR algoritması ile eğitilmiştir. Modelin eğitim performansı incelendiğinde en düşük MSE değerinin (0,1292) görüldüğü 789. Tekrar sırasında en iyi öğrenmenin gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 12).

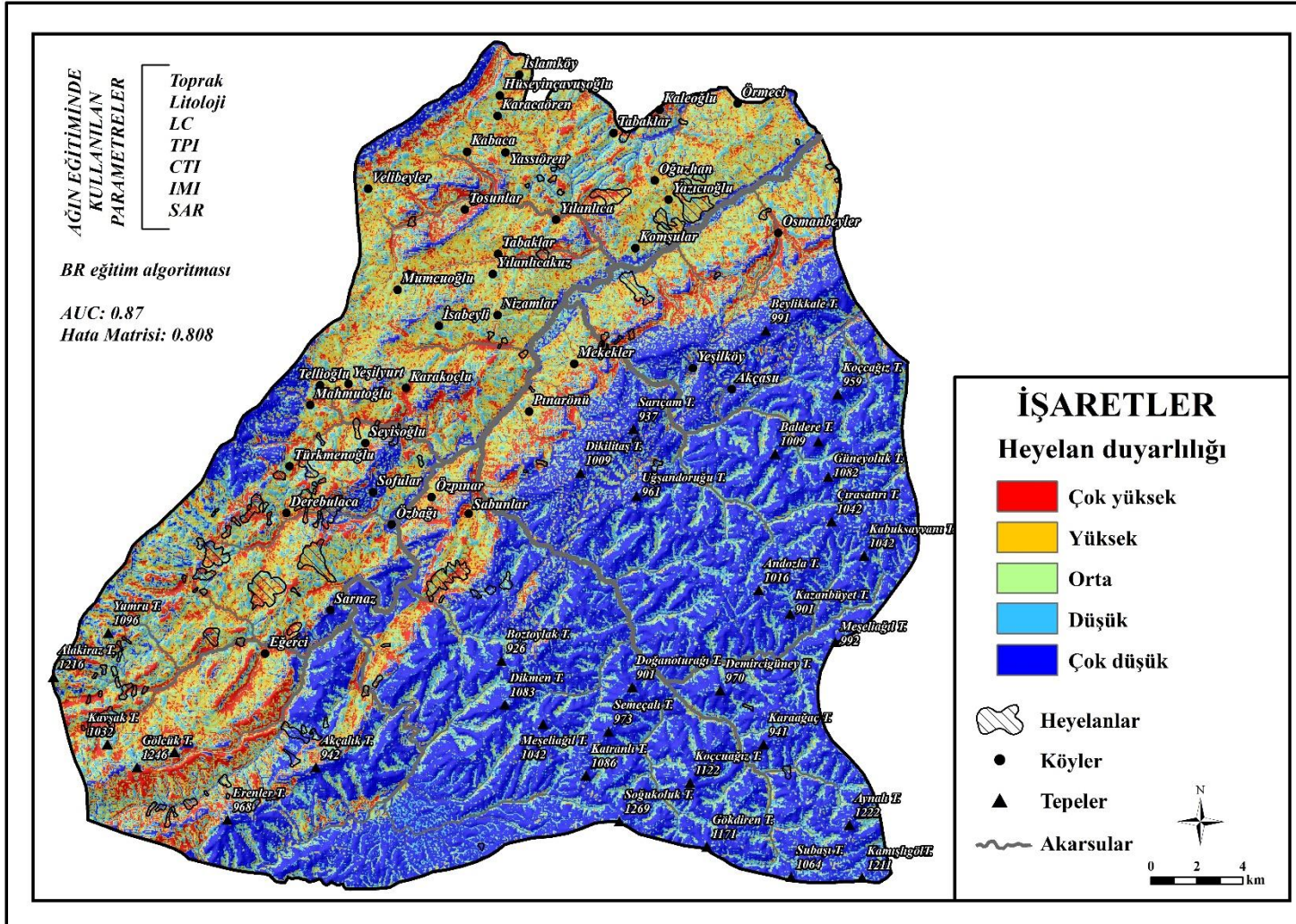


Grafik 11.3. P3ModelBR için eğitim-test performans grafiği.

P3ModelBR'nin çıktıları haritalanıp duyarlılık sınıfları belirlenmesinin ardından çalışma sahasının; %43'ü (405,6 km²) "çok düşük", %16'sı (156 km²) "düşük", %13'ü (125,4 km²) "orta", %12 (110,9 km²) "yüksek", %16'sı (154,6 km²) "çok yüksek" heyelan duyarlılığına sahip olduğu görülmektedir.

Heyelan duyarlılık haritasının, heyelan sahaları ile karşılaştırılması sonucu heyelan alanlarının; %14'ü "çok düşük", %16'sı "düşük", %19'u "orta", %20'si "yüksek", %32'si "çok yüksek" duyarlı olarak sınıflandırılmıştır.

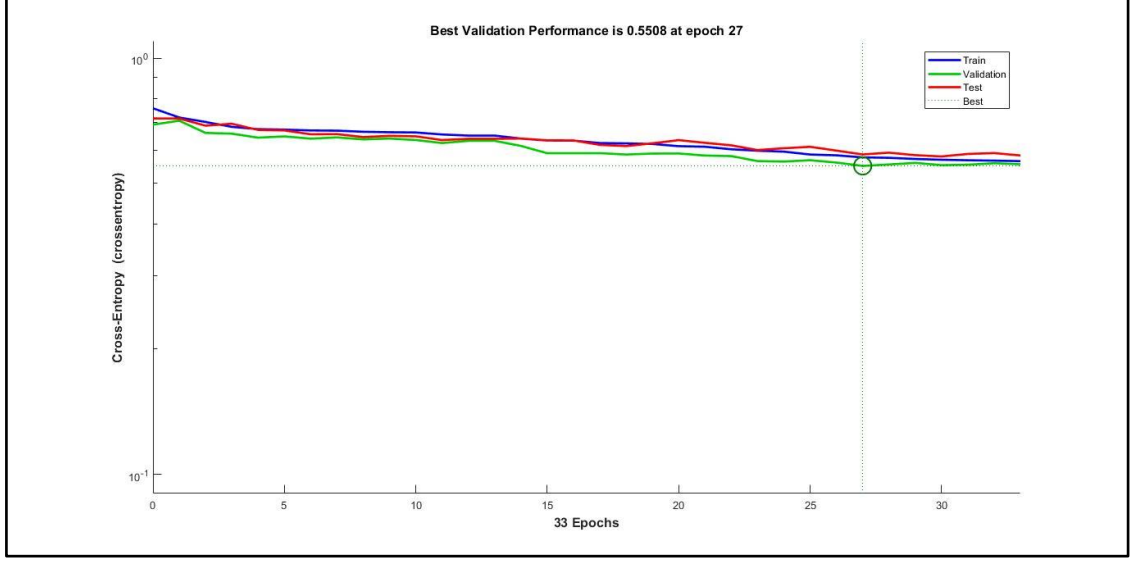
Harita 44'te litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim parametrelerinin kullanıldığı ve BR algoritması ile eğitilen P3ModelBR'nin çıktısı olan harita sunulmuştur.



Harita 44. P3ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.3.2. P3ModelSCG

Toprak, litoloji, LC, TPI, CTI, IMI ve SAR parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı ve SCG algoritmasıyla eğitimin yapıldığı P3ModelSCG'nin eğitim-doğrulama performansı incelendiğinde en düşük cross-entropy değerinin (0,5508) görüldüğü 27. Tekrar sırasında en iyi öğrenmenin gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 13).

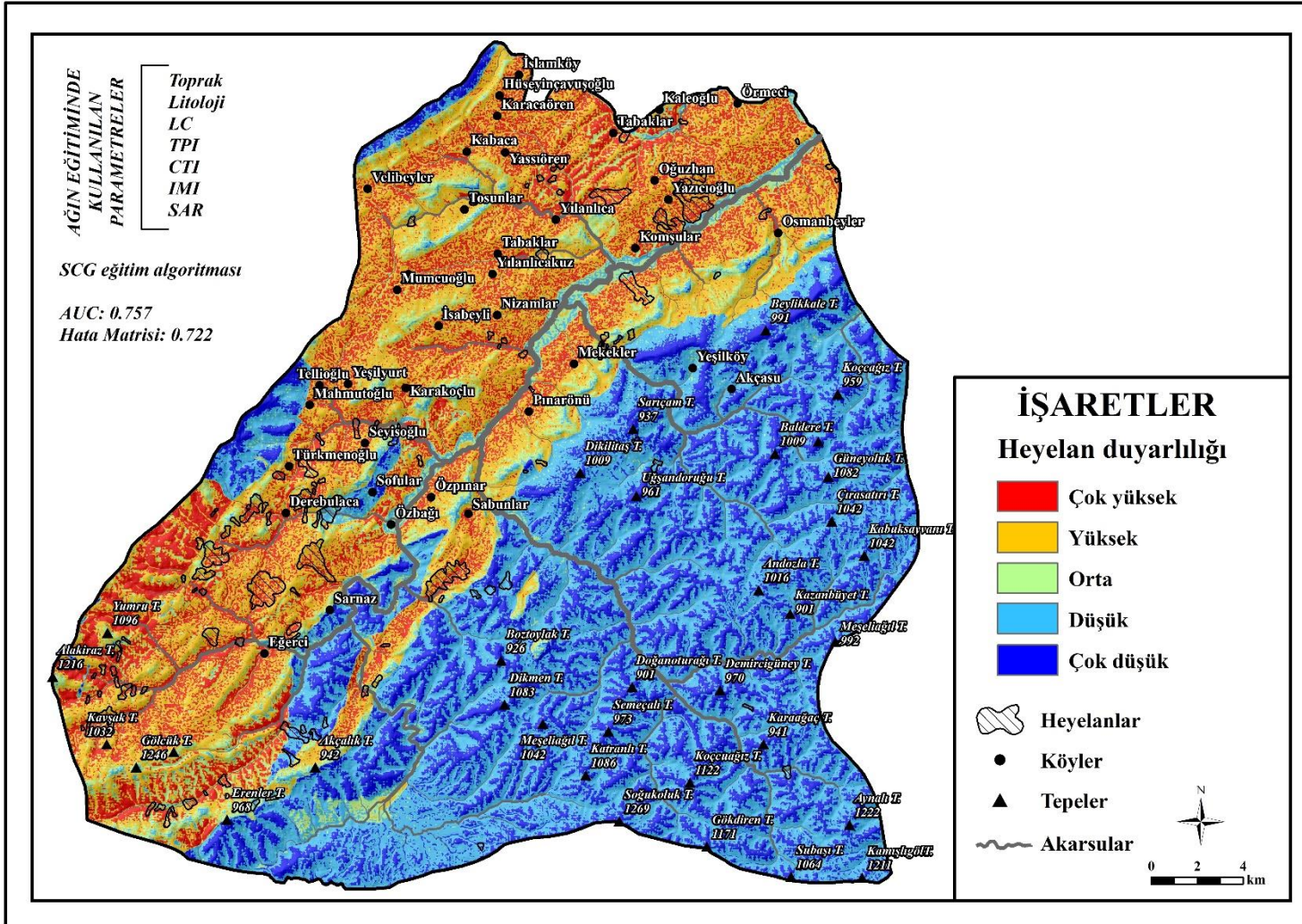


Grafik 12. P3ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.

P3ModelSCG'nin sonuçlarına göre çalışma sahasının; %21'i (198,7 km²) “çok düşük”, %33'ü (310,5 km²) “düşük”, %9'u (81,7 km²) “orta”, %22'si (212,4 km²) “yüksek”, %16'sı (149,2 km²) “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak değerlendirilmiştir.

P3ModelSCG'nin çıktılarının sahada gerçekleşen önceki heyelanlarla karşılaştırılmasıyla heyelan alanlarının; %3'ü “çok düşük”, %10'u “düşük”, %11'i “orta”, %43'ü “yüksek”, %33'ü ise “çok yüksek” heyelan duyarlılık sınıflarına dahil olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

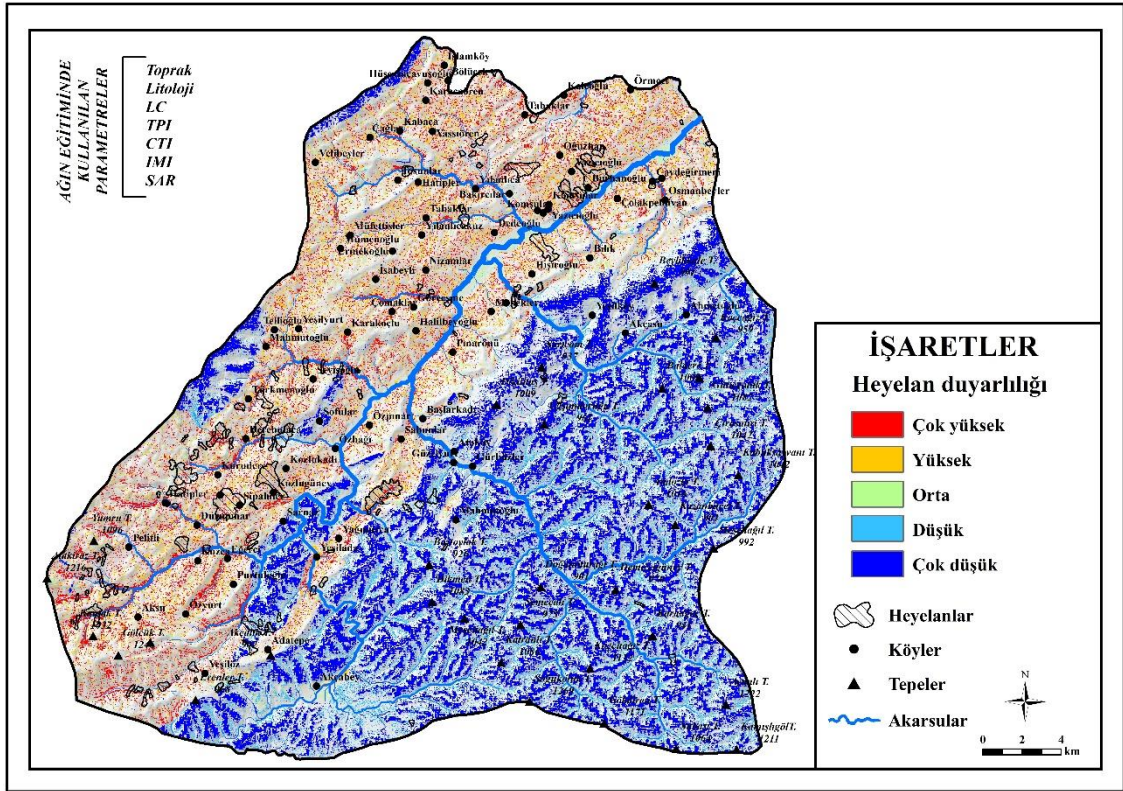
Girdi olarak litoloji, SPC, ortalama eğim, eğim açısı, SEI, eğim parametrelerinin kullanıldığı ve SCG algoritması ile eğitilen P3ModelSCG'nin çıktısı harita 45'te sunulmuştur.



Harita 45. P3ModelSCG’den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.3.3. P3ModelBR ve P3ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar

Toprak, litoloji gibi kategorik değişkenlerin olduğu ve LC, TPI, CTI, IMI, SAR gibi topografik indislerinin bulunduğu 3. parametre grubundan üretilen P3ModelBR ve P3ModelSCG çalışma sahasının 344 km²'sini aynı heyelan duyarlılık sınıfında değerlendirmiştir. Bu iki model çıktısının karşılaştırılması sonucu çalışma sahasının doğu bölümünün "çok düşük" olarak sınıflandırıldığı görülmüştür. Heyelan duyarlılığının "çok yüksek" olduğu alanlar ise Yeşilöz, Özyurt, Yeşilada, Yağmurca, Kuzca, Eğerci, Hatipler, Derebulaca, Kurudere, Sipahiler, Özpınar, Sabunlar, Başlarkadı, Pınarönü, Karakoçlu, Türkmenoğlu, Çomaklar, Karakoçlu, Gürçeşme, Nizamlar, Mekekler, Hışıroğlu, Bılık, Yulanlıca, Oğuzhan, Tosunlar köylerinin bulunduğu yerlerdir (Harita 46).

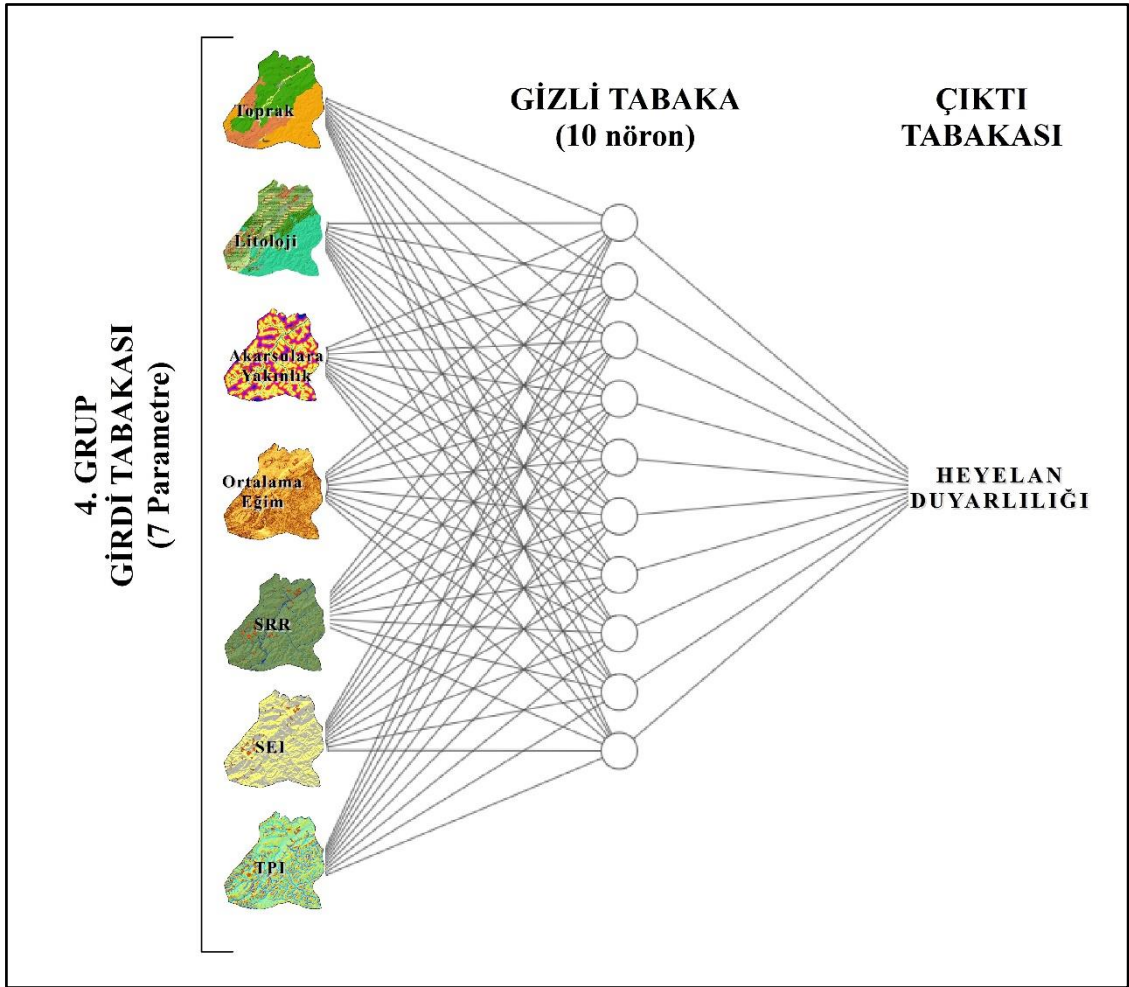


Harita 46. P3ModelBR ve P3ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.

4.6.4. 4. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık

Haritaları

Birçok farklı karakterdeki parametrelerin karma olarak kullanıldığı 4. Parametre grubunu oluşturmak için toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI ve TPI parametreleri seçilmiştir (Şekil 12). Bu parametrelerin girdi olarak verildiği, BR ve SCG algoritmaları kullanılan iki farklı heyelan duyarlılık modeli kurulmuş ve sonuçlar haritalanmıştır.



Şekil 12. 4. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.

4.6.4.1. P4ModelBR

P4ModelBR; toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI parametrelerinin BR algoritması ile eğitilmesiyle oluşturulmuştur. Modelin eğitim-test performansı incelendiğinde 640. iterasyon sırasında MSE değerinin 0,15826 olduğu görülmektedir. Yani model için en uygun ağırlık değerleri bu iterasyon sırasında belirlenmiştir (Grafik 13).

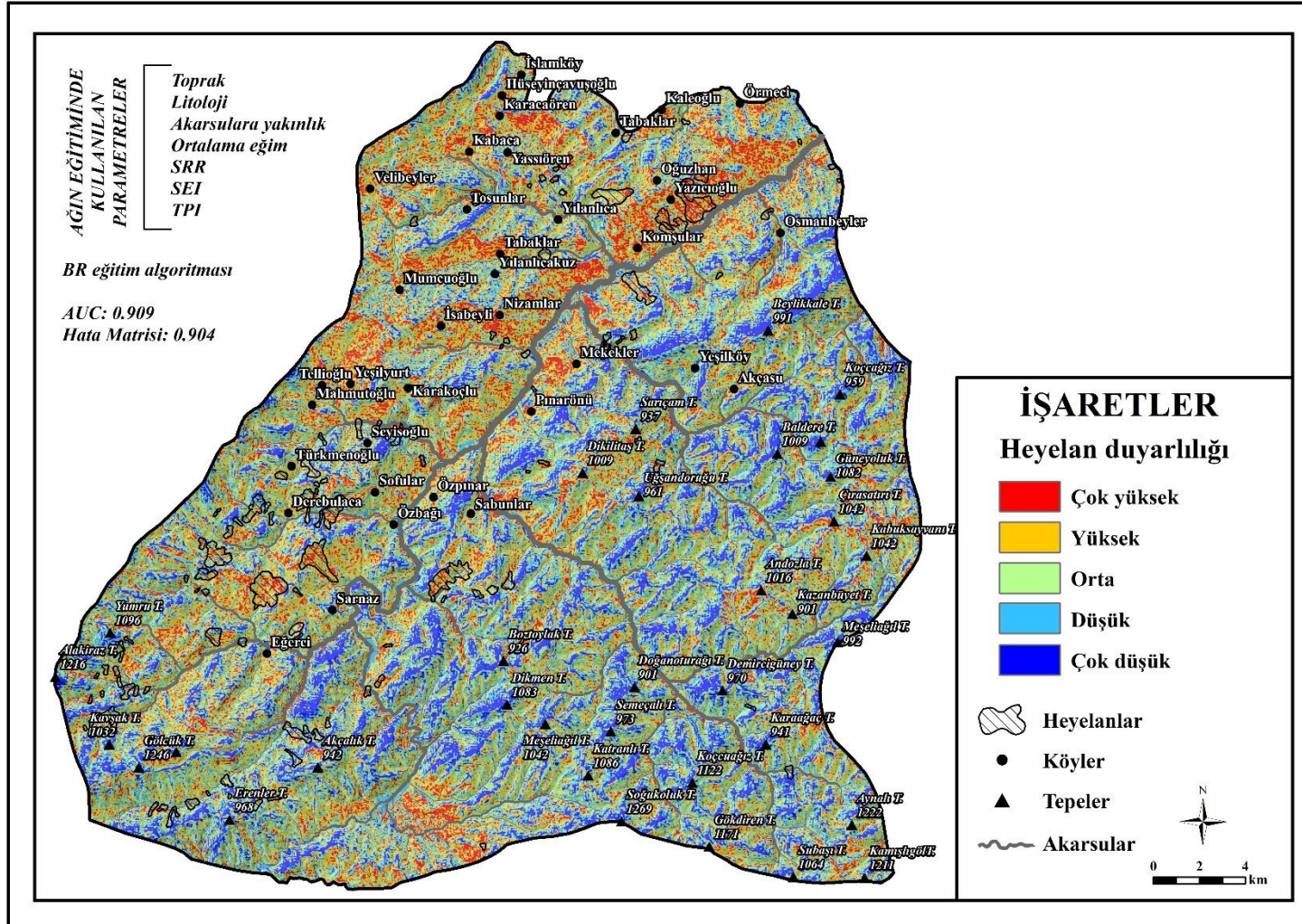


Grafik 13. P4ModelBR için eğitim-test performans grafiği.

P4ModelBR'nin haritalanmasının ardından yapılan hesaplamalar çalışma sahasının; %19'unun (183,9 km²) "çok düşük", %21'inin (196,5 km²) "düşük", %22'sinin (213,5 km²) "orta", %21'inin (195,9 km²) "yüksek", %17'sinin (162,6 km²) "çok yüksek" heyelan duyarlılığı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Model çıktısı olan haritanın envanter haritası ile karşılaştırılması, heyelan alanlarının; %8'inin "çok düşük", %16'sının "düşük", %23'ünün "orta", %26'sının "yüksek", %26'sının ise "çok yüksek" olduğunu göstermektedir.

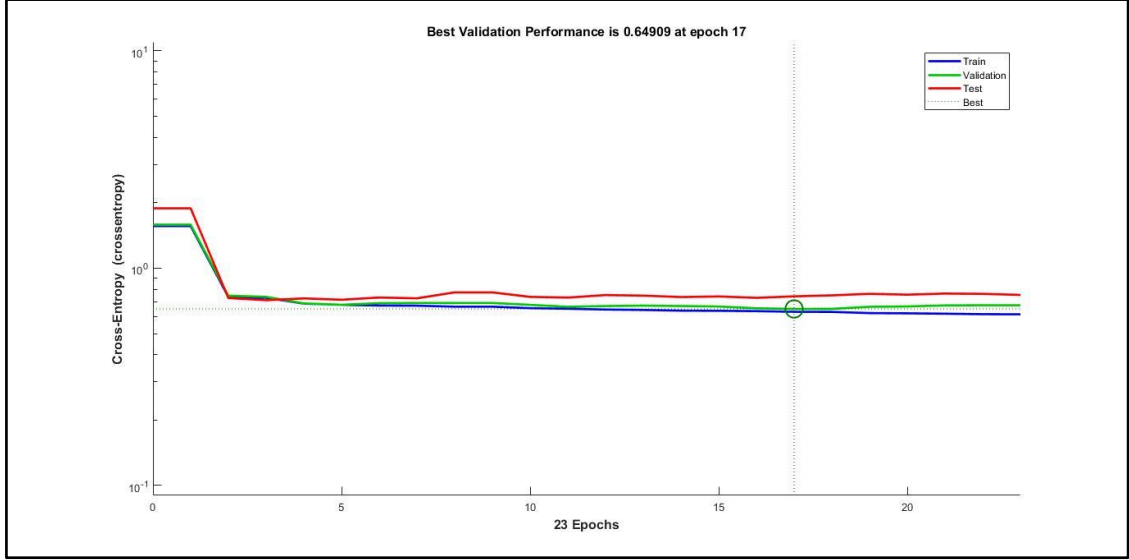
P4ModelBR'nin çıktısı harita 47'de sunulmuştur.



Harita 47. P4ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.4.2. P4ModelSCG

Toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI parametrelerinin girdi olarak seçildiği ve SCG algoritmasıyla eğitilen bu ağ 17. İterasyon sırasında en iyi test-doğrulama performansına ulaşmıştır (Grafik 14).

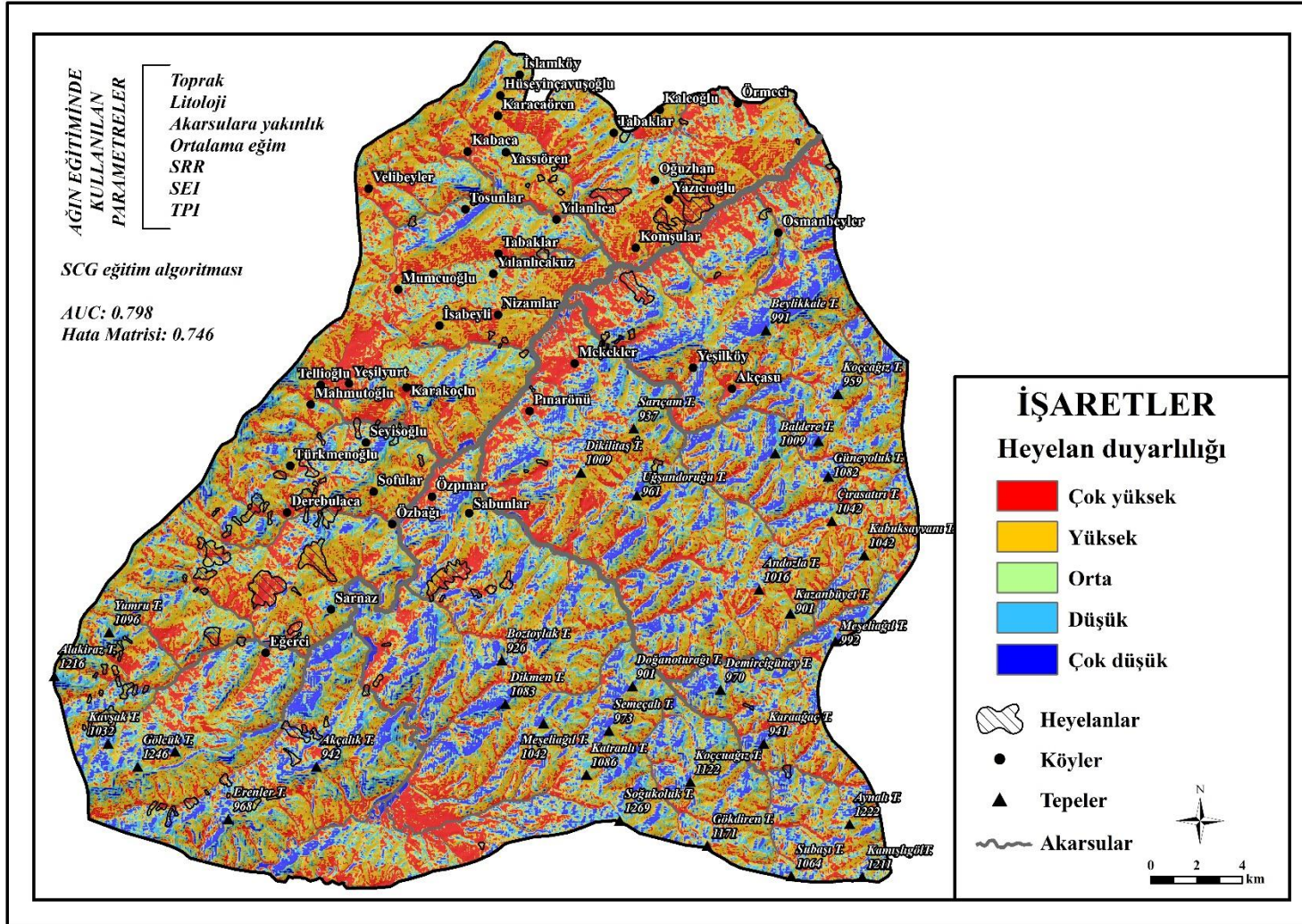


Grafik 14. P4ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.

Modelden üretilen haritaya göre çalışma sahasının heyelan duyarlılığı; %12'si (110,6 km²) “çok düşük”, %15'i (143,9 km²) “düşük”, %11'i (105,4 km²) “orta”, %37'si (355,1 km²) “yüksek”, %25'i (237,4 km²) “çok yüksek” olarak sınıflandırılmıştır.

P4ModelSCG sonuçları envanter haritası ile karşılaştırılınca heyelan alanlarının; %4'ü “çok düşük”, %8'i “düşük”, %8'i “orta”, %41'i “yüksek”, %38'i “çok yüksek” heyelan duyarlılığı olarak sınıflandırılmıştır.

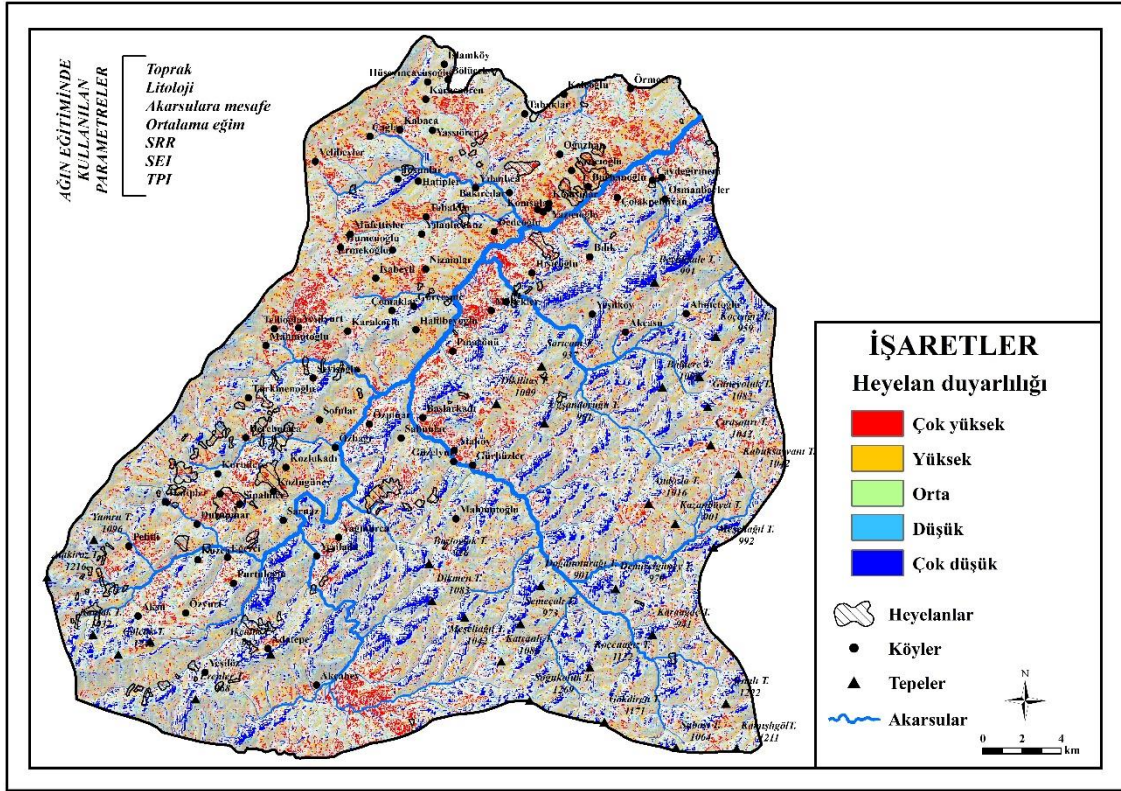
Model çıktısı harita 48'de sunulmuştur.



Harita 48. P4ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası

4.6.4.3. P4ModelBR ve P4ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar

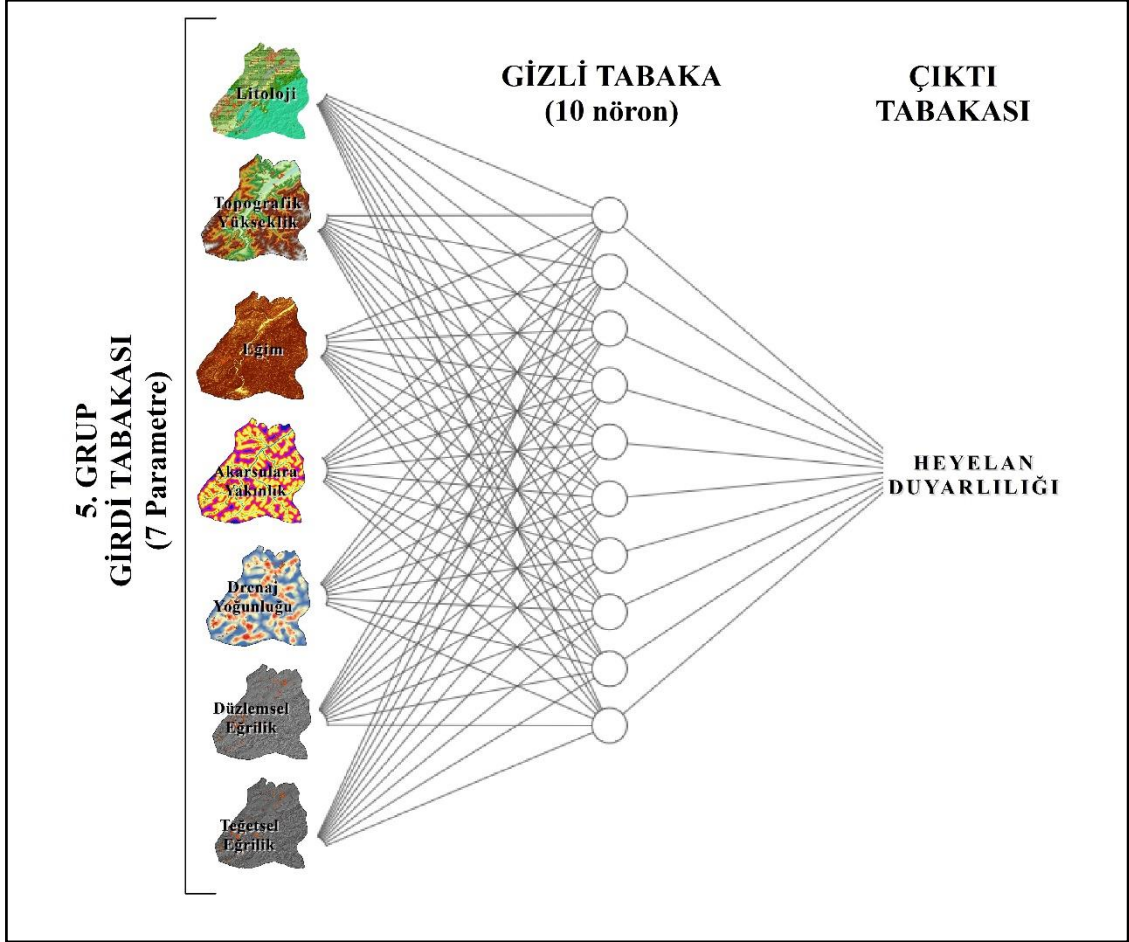
Toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI değişkenlerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı P4ModelBR ve P4ModelSCG çıktıları karşılaştırıldığında bu iki modelin, çalışma sahasının 287 km²'sinin aynı heyelan duyarlılık kategorisinde sınıflandırdığı görülmektedir (Harita 49). Sonuç olarak Akçabey, Adatepe, Aksu, Pelitli, Durupınar, Sipahiler, Kozlukadı, Yeşilada, Yağmurca, Kurudere, Hatipler, Güzelyurt, Ataköy, Başlarkadı, Yeşilyurt, Mahmutoğlu, Pınarönü, Mumcuoğlu, Ermekeoğlu, Nizamlar, Hışiroğlu, Tabaklar, Velibeyler, Çağlar, Komşular, Oğuzhan, Çolak ve Çağlar köylerinin bulunduğu sahaların heyelan duyarlılığı hem P4ModelBR hem de P4ModelSCG'de "çok yüksek" olarak sınıflandırılmıştır.



Harita 49. P4ModelBR ve P4ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.

4.6.5. 5. Parametre Grubundan Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritaları

Litoloji, topografik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik girdilerinin bulunduğu 5. Parametre grubundan (Şekil 13) P5ModelBR ve P5ModelSCG olmak üzere iki adet heyelan duyarlılık modeli kurulmuştur.

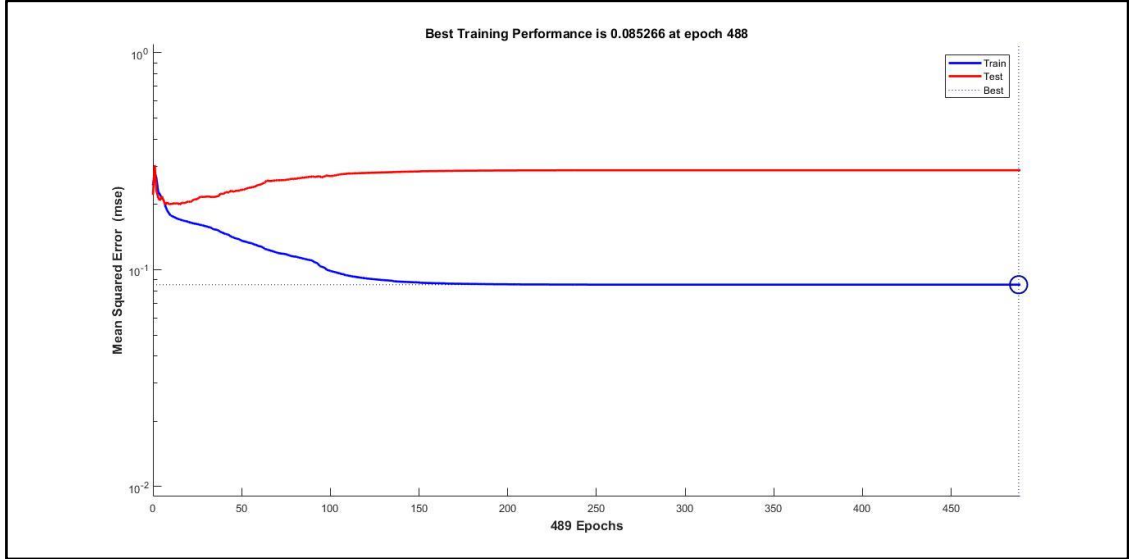


Şekil 13. 5. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.

Parametre grubunun oluşturulmasında Yılmaz vd. (2012)'nin Devrek'in heyelan duyarlılığının analizi için yaptıkları çalışma temel alınmıştır. Araştırmacılar, sunulan yedi parametrenin dışında bakı, sırtlara uzaklık, yollara uzaklık, çizgisel güç ağı değişkenlerini de kullanmışlardır. Tez çalışması kapsamında oluşturulan diğer modellerle karşılaştırma kolaylığı sağlaması açısından öne çıkan yedi parametre alınarak benzer bir model kurulmuştur.

4.6.5.1. P5ModelBR

Bu modelde; litoloji, topografik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik parametreleri girdi olarak kullanılmış ve BR algoritmasıyla eğitilmiştir. MSE değerinin 0,085266 olduğu 488. İterasyonda eğitim tamamlanmıştır (Grafik 15).

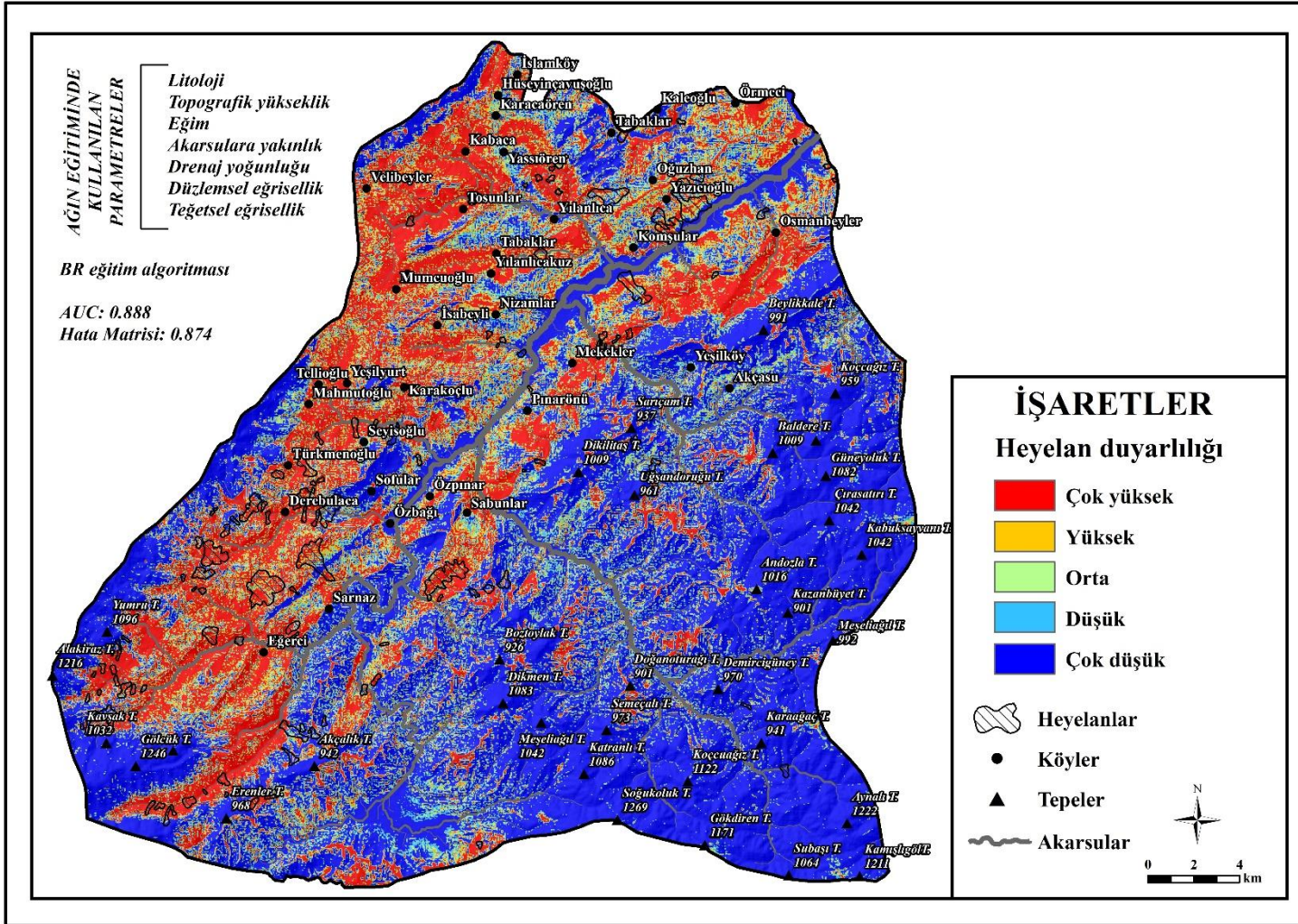


Grafik 15: P5ModelBR için eğitim-test performans grafiği.

Model çıktıları haritalandığında çalışma sahasının; %54'ü “çok düşük” (516,1 km²), %6'sı “düşük” (61,4 km²), %5'i “orta” (50,6 km²), %6'sı “yüksek” (57,8 km²), %28'i “çok yüksek” (266,4 km²) heyelan duyarlılığına sahip olduğu görülmüştür.

Heyelan duyarlılık haritası ile heyelan sahaları karşılaştırıldığında, envanterde bulunan heyelan sahalarının; %22'sinin “çok düşük” (4,6 km), %7'sinin “düşük” (1,5 km), %7'sinin “orta” (1,4 km), %54'ünün “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

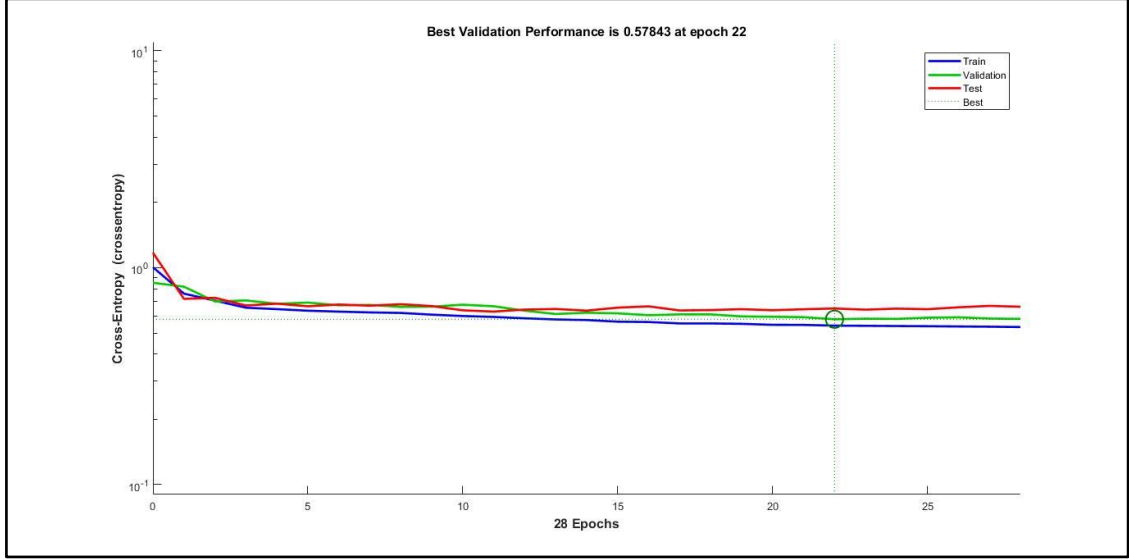
P5ModelBR'nin çıktısı harita 50'de sunulmuştur.



Harita 50: P5ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.5.2. P5ModelSCG

P5ModelSCG isimli modelde; litoloji, topografik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik değişkenleri girdi olarak kullanılmış, ağırlık eğitimi ise SCG algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Ağırlık eğitimi 22. iterasyondaki ağırlık ve bias değerlerine göre tamamlanmıştır (Grafik 16).

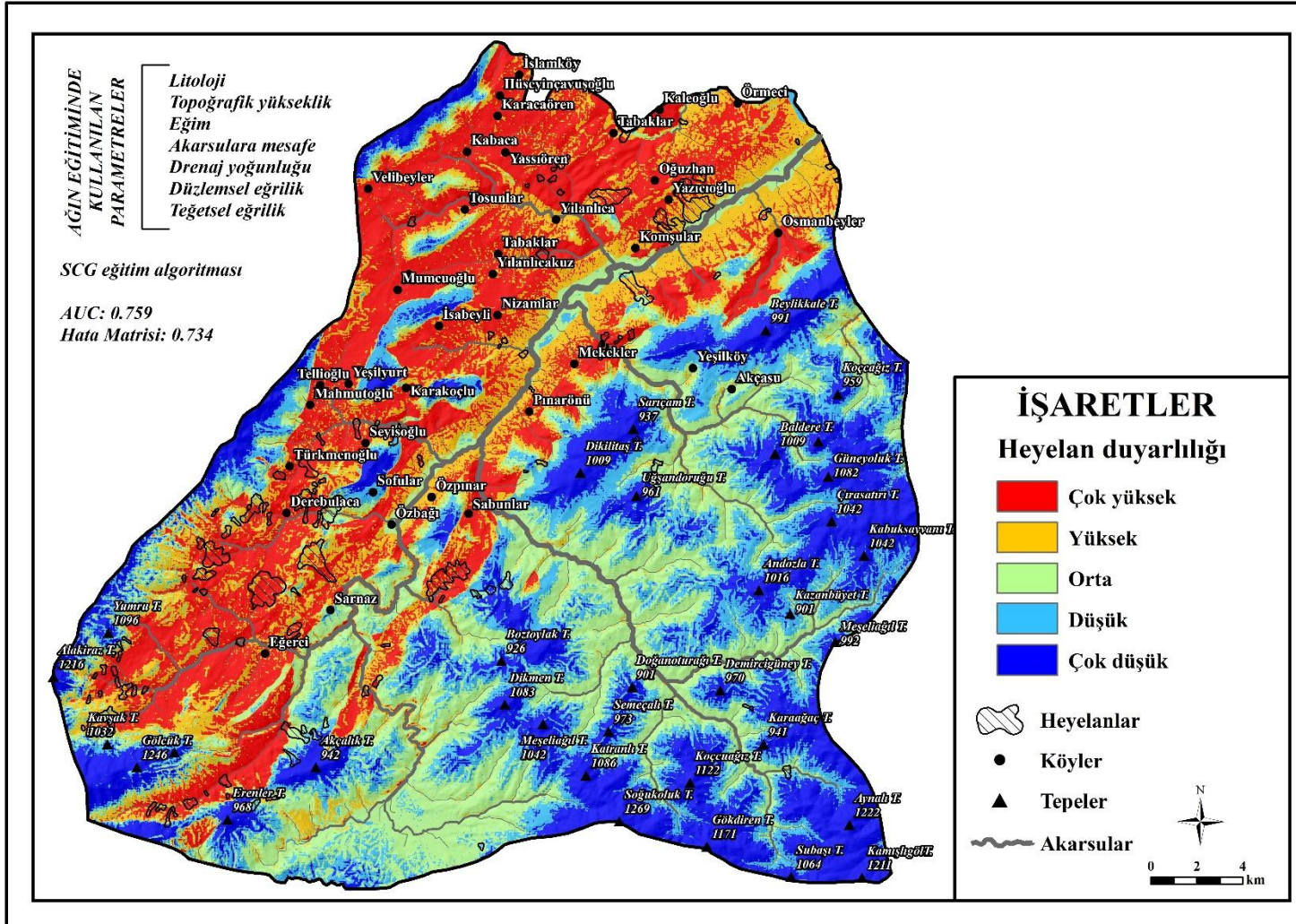


Grafik 16. P5ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.

P5ModelSCG'ye göre çalışma sahasının; %21'i "çok düşük" (202,1 km²), %13'ü "düşük" (120,7 km²), %24'ü "orta" (226,9 km²), %20'si "yüksek" (189,8 km²), %22'si "çok yüksek" (212,9 km²) heyelan duyarlılığına sahip olarak kategorize edilmiştir.

Çalışma sahasındaki heyelan sahalarının %2'si "çok düşük" (0,4 km²), %3'ü "düşük" (0,6 km²), %10'u "orta" (2,1 km), %38'i "yüksek" (7,8 km), %47'si "çok yüksek" (9,6 km) heyelan duyarlılığına sahip olarak sınırlandırılmıştır.

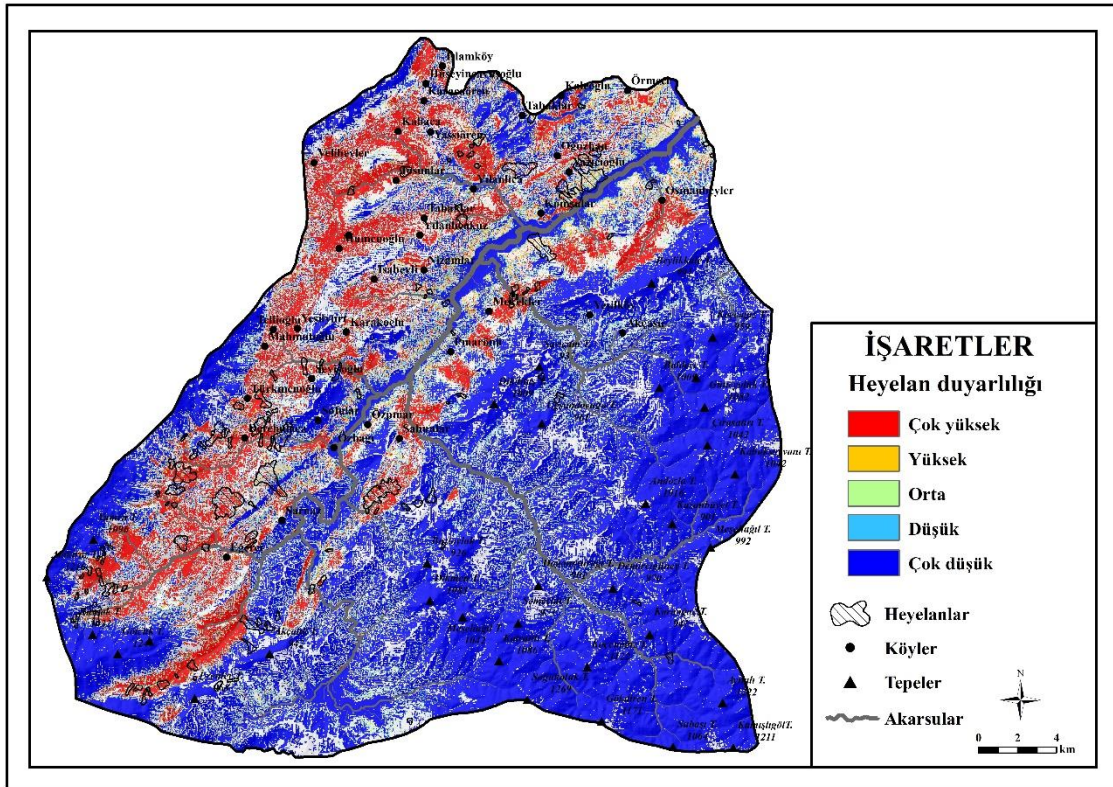
P5ModelSCG'nin çıktıları harita 51'de sunulmuştur.



Harita 51. P5ModelSCG'den üretilen Devrek ilçesi heyelan duyarlılık haritası.

4.6.5.3. P5ModelBR ve P5ModelSCG'nin Ortak Sınıflandırdığı Alanlar

Litoloji, topoğrafik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik değişkenlerinin girdi olarak kullanıldığı P5ModelBR ve P5ModelSCG çıktıları karşılaştırıldığında çalışma sahasının 700,1 km²'si ortak sınıflandırıldığı görülmektedir (Harita 52). İki modelde de Mekekler, Pınarönü, Osmanbeyler, Sabunlar, Özpınar, Oğuzhan, Yılanlıca, Kabaca, Velibeyler, Mumcuoğlu, Nizamlar, İsabeyli, Telliöğlü, Seyisoğlü, Türkmenoğlü, Derebulaca, Yeşilyurt, Eğerci köylerinin “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olarak sınıflandırılmıştır.



Harita 52. P5ModelBR ve P5ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.

4.7. Heyelan Duyarlılık Modellerinin Doğruluk Değerlendirmeleri

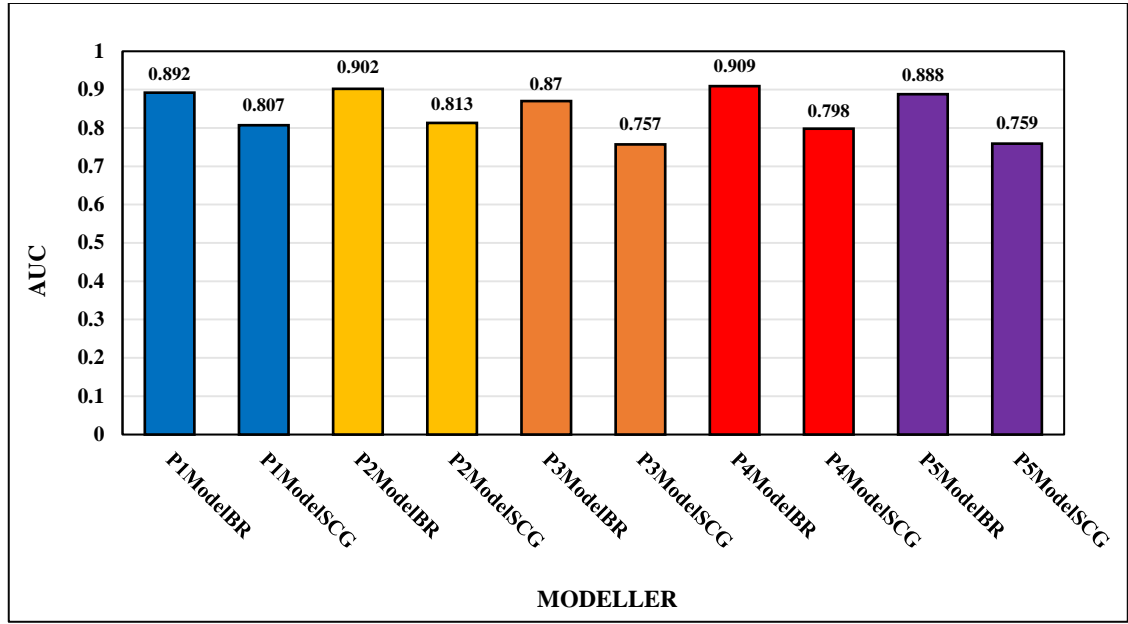
Kurulan modellerin kestirim kapasitelerini saptayabilmek amacıyla makine öğrenmesi ve istatistik çalışmalarında sıklıkla kullanılan ROC (Receiver Operating Characteristic) ve hata matrisi/karışıklık matrisi (confusion matrix) yöntemleri kullanılmıştır.

ROC eğrisi, örüntü tanımada doğru pozitif ve yanlış pozitif tahmin sınıfları arasındaki çakışma hakkında bilgi sağlamada önemlidir. Sonuçlar grafik şeklinde gösterilir. Genellikle farklı sınıfların ortalama değerleri önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Ancak varyans değerleri doğru sınıf ayırımını yapmayı engelleyecek derecede büyük olur (Baese & Schmid, 2014). ROC eğrisinde x ve y eksenlerinde 0-0 ile 1-1 noktalarından geçen bir çizgi olduğu varsayılmaktadır. Sınıflar arası çakışma azaldıkça eğrinin referans çizgisi ile arasındaki alan büyür. Referans çizgisi ile eğrinin arasında kalan alan, AUC (Area Under the Curve) olarak ifade edilir. Bu alanın hesaplanmasıyla AUC değeri elde edilir. Mükemmel bir sınıflandırıcının doğru pozitif oranı 1,0 ve yanlış pozitif oranı 0,0 olup AUC değeri 1,0'dır. Rastgele tahmin, 0,5 AUC ile sonuçlanır.

Literatürde, YSA ile yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarında AUC değerlerinin hesaplanması ile doğruluk değerlendirmelerinin gerçekleştirildiği görülmektedir (Gomez ve Kavzoğlu, 2005; Lee, 2007; Dou vd, 2015; Ortiz ve Martinez-Grana, 2018; Tekin ve Çan, 2019). Bu çalışmada, literatürde bulunan diğer çalışmalar ile doğrudan karşılaştırılma yapılabilmesi amacıyla oluşturulan on YSA modelinin MATLAB programı ile ROC eğrileri çizilip (Grafik 18, 19), AUC değerleri hesaplanmıştır (Grafik 17).

Genel itibarıyla tüm modeller incelendiğinde; BR eğitim algoritması ile kurulan modellerin AUC değerlerinin SCG algoritmasıyla eğitilen modellere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek AUC değeri P4ModelBR (0,909) modelinde yakalanmıştır. Ardından, ikinci en yüksek AUC değerine sahip olan ağın 0,902 AUC değeri ile P2ModelBR olduğu görülmektedir. En düşük değerler ise P3ModelSCG (0,757), P5ModelSCG (0,759) ve P4ModelSCG (0,798) modellerinde görülmüştür. Bunun dışında P1ModelBR (0,892), P1ModelSCG (0,807), P3ModelBR (0,87),

P2ModelSCG (0,813) ve beşinci parametre grubu kullanılarak oluşturulan P5ModelBR (0,888) modellerinin de tatmin edici sonuçlar verdiği söylenebilir (Grafik 17).

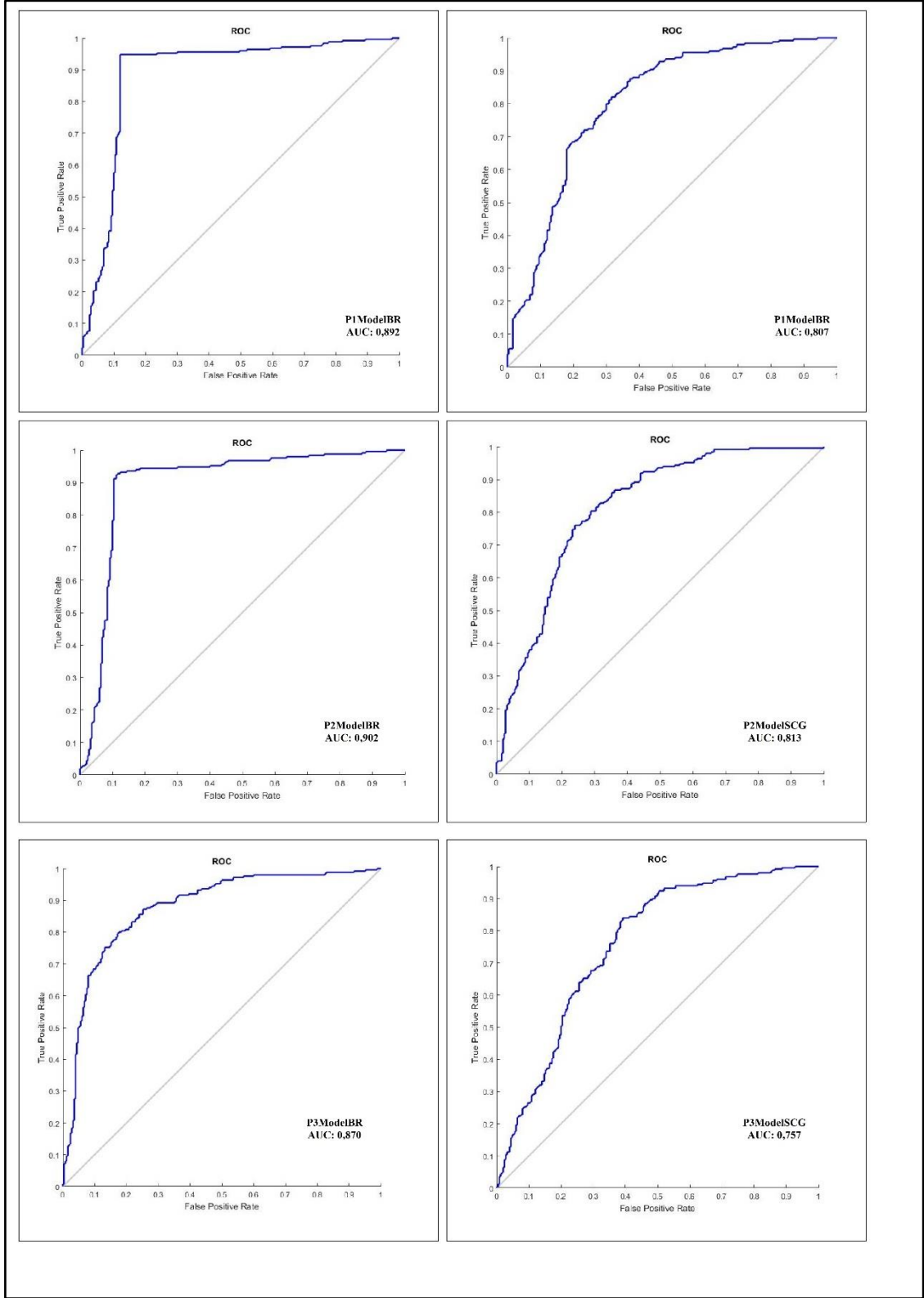


Grafik 17. Modellerin AUC değerleri.

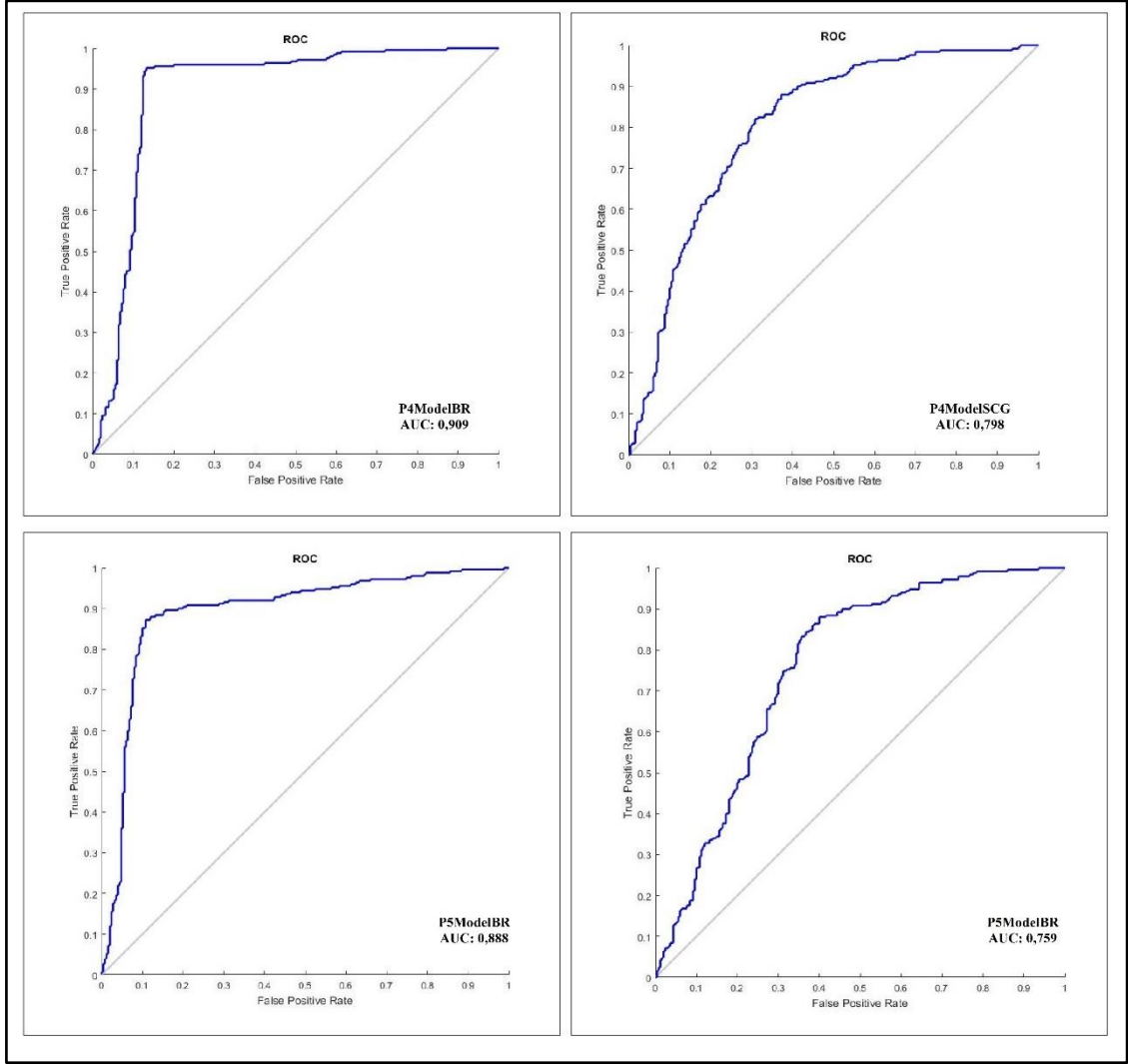
Tüm modelleri, AUC değerlerine göre sınıflandırabilmek amacıyla Holmes ve Lemeshow (2000)'un istatistiki çalışmalar için geliştirdiği ve kullanılmasını önerdiği AUC değer ölçeği tercih edilmiştir. Önerilen ölçeğe göre AUC değerleri; 0,7-0,8 arası kabul edilebilir ayırım, 0,8-0,9 arası mükemmel ayırım, 0,9'dan büyük ise olağanüstü ayırım olarak kabul edilmiştir. Buna göre P3ModelSCG, P5ModelSCG ve P4ModelSCG kabul edilebilir düzeyde ayırma sahiptir. P1ModelSCG, P2ModelSCG, P3ModelBR, P5ModelBR ve P1ModelBR mükemmel ayırma, P4ModelBR ve P2ModelBR ise olağanüstü ayırma sahip olarak sınıflandırılabilir (Tablo 18).

Tablo 18. Modellerin AUC değerlerinin ayırım düzeyleri (Hosmer ve Lemeshow (2000)'a göre).

AUC Aralığı	Ayırım Düzeyi	Modeller
0.7-0.8	Kabul edilebilir	P3ModelSCG, P5ModelSCG, P4ModelSCG
0.8-0.9	Mükemmel	P1ModelSCG, P2ModelSCG, P3ModelBR, P5ModelBR, P1ModelBR
> 0.9	Olağanüstü	P4ModelBR, P2ModelBR



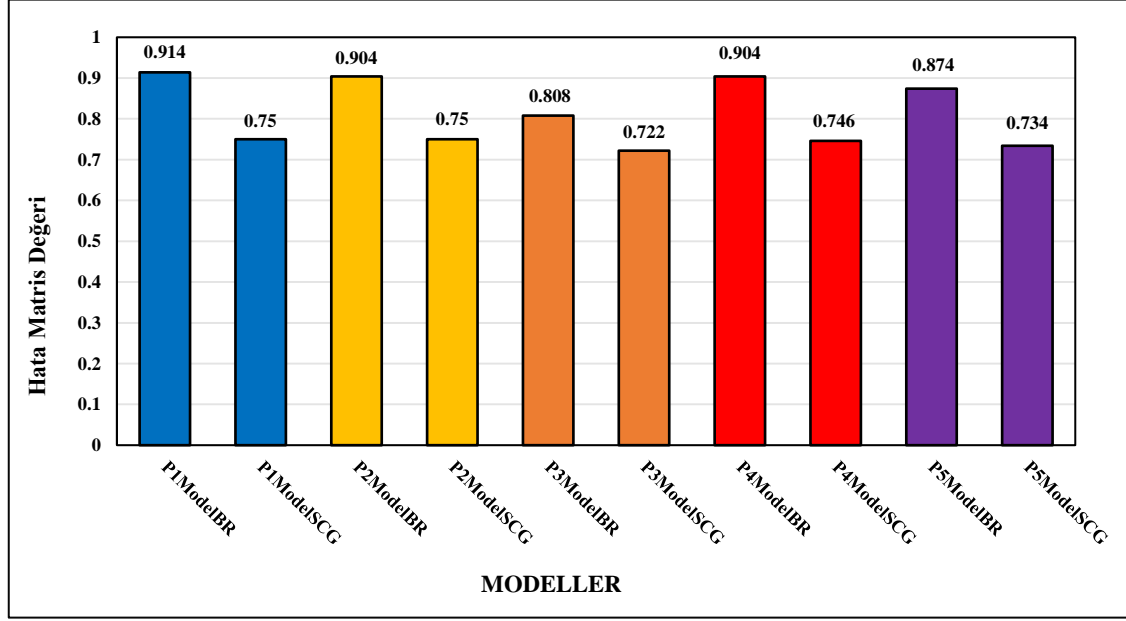
Grafik 18: 1,2 ve 3. parametre gruplarından üretilen modellerin ROC grafikleri.



Grafik 19.4 ve 5. parametre gruplarından üretilen modellerin ROC grafikleri.

Hata matrisi veya karışıklık matrisi, tahmin edilen değerler ile gerçek değerlerin ilişkisine dayalıdır. Gerçek değere göre tahmin edilen değer dört farklı kombinasyonda temsil edilebilir. Bunlar; doğru pozitif, yanlış pozitif, yanlış negatif, doğru negatif durumlarıdır. Sonuç olarak doğru negatif ve doğru pozitif değerler toplanır ve hata matrisi için değer üretilir. Bu değer modelin, eğitim veri setine göre doğru sınıflandırdığı örneklerin oranını vermektedir. Değer 1 ise model mükemmel performans göstermektedir ve tahminleri %100 başarılıdır. Ancak böyle bir tahmin başarısına ulaşmak özellikle birçok farklı sürecin dahil olduğu doğa bilimi modellerinde imkansızdır. Bu sebeple değer, 1'e yaklaştıkça başarısı artmaktadır denilebilir.

Çalışma kapsamında hazırlanan heyelan duyarlılık modellerinin hata matrisi değerleri karşılaştırıldığında genel olarak BR algoritması ile eğitilen modellerin daha yüksek performansla tahmin yaptığı görülmektedir. Aynı parametre gruplarının farklı algoritmalar ile eğitilerek hazırlanmış modellerine göre SCG algoritmasının doğruluk değerleri her parametre grubu için BR algoritmasından düşüktür (Grafik 20).



Grafik 20. Modellerin hata matrisi değerleri.

Hata matrisi değerlerine göre sırasıyla P1ModelBR (0,914), P2ModelBR (0,904) ve P4ModelBR (0,904)'nin kestirim kabiliyetinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca P5ModelBR (0,874) ve P3ModelBR (0,808)'nin tatmin edici sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. P1ModelSCG (0,75), P2ModelSCG (0,75), P4ModelSCG (0,746), P5ModelSCG (0,734) ve P3ModelSCG (0,722)'nin kestirim kabiliyetinin diğer modellere göre düşük olduğu görülmüştür.

AUC ve hata matrisi değerlerinin karşılaştırması yapıldığında genel olarak hata matrisi değerlendirmesinin, AUC değerlendirmesine göre daha düşük değerler verdiği görülmektedir (Tablo 19).

Tablo 19. Heyelan duyarlılık modellerinin AUC ve hata matrisi değerleri.

Model	AUC	Hata Matrisi
P1ModelBR	0.892	0.914
P1ModelSCG	0.807	0.75
P2ModelBR	0.902	0.904
P2ModelSCG	0.813	0.75
P3ModelBR	0.87	0.808
P3ModelSCG	0.757	0.722
P4ModelBR	0.909	0.904
P4ModelSCG	0.798	0.746
P5ModelBR	0.888	0.874
P5ModelSCG	0.759	0.734

5. BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında heyelanların sıklıkla görüldüğü ve yerel halkın heyelanlardan ciddi anlamda zarar gördüğü Devrek İlçesi'nin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Devrek İlçesi'nin heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla makine öğrenmesi tekniği olan YSA yöntemi tercih edilmiştir. Araştırmanın konu kapsamını ve model çeşitliliğini genişletmek için tercih edilen YSA yöntemine ait iki farklı eğitim algoritması seçilmiş, girdi olarak da beş farklı parametre grubu belirlenmiştir. Sonuç olarak üretilen on modelden ayrı ayrı heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Üretilen on heyelan duyarlılık haritasının doğruluklarının karşılaştırılması ile algoritmalar arasında ve parametre gruplarının arasında bir kıyaslama yapabilmek mümkün olmuştur. Bu sayede hangi algoritmanın heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımının uygun olduğu hakkında bir sonuca ulaşılmıştır. Doğruluk değerlendirmeleri dışında düzenlenen envanter yardımıyla elde edilen heyelan sahalarının, modellere göre nasıl sınıflandırıldığına bakılarak modeller farklı şekilde yeniden değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Birden fazla parametre grubu ile yapılan modellerin karşılaştırılması sonucu hangi parametre grubunun Devrek ve benzer heyelan oluşum karakterizasyonuna sahip alanlarda gerçekleşen heyelan olaylarını açıklamada daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu yönüyle araştırma, Devrek ve benzer sahalar için yerel ölçekte geliştirilecek heyelan duyarlılık haritalarında kullanılmak üzere hangi parametrelerin kullanılacağına dair fikir sunmaktadır.

Sahadaki heyelan alanları, temeli oluşturan litolojik birimlerle doğrudan ilişkili bulunmaktadır. Heyelan sahaları, litoloji katmanı ile karşılaştırıldığında toplam heyelan alanının, %63,2'sinin kumtaşı, çamurtaşı birlikleri üzerinde, %11,9'unun ise killi kireçtaşı üzerine gerçekleştiği görülmektedir. Bu sedimanter birimlerin çimentosu kilden oluşmaktadır. Ayrıştığında ortaya çıkan killi toprak, yamaç üzerindeki malzemenin dengede durmasını zorlaştırmaktadır.

Sahadaki toprak tiplerinin de heyelan oluşumu ile doğrudan ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde toprak katmanının heyelan sahaları ile karşılaştırılması

sonucu toplam heyelan alanının %67'sinin kahverengi orman toprağı, %25'inin ise kireçsiz kahverengi orman toprağı üzerinde gerçekleştiğı görülmüştür. Sahanın büyük kısmını da kaplayan bu topraklar sahadaki heyelan oluşumuna duyarlı alanları meydana getirmektedir. Ayrıca bu toprakların kil oranı ana kaya etkisinden dolayı fazladır. Kil oranının fazlalığı kahverengi orman ve kireçsiz kahverengi orman toprakları üzerinde heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

Eğim bakımından değerlendirildiğinde heyelan sahalarının eğim katmanı ile karşılaştırılması sonucu, heyelanların özellikle eğimin 65° ile 78° olduğu dike yakın yamaçlarda gerçekleştiğı görülmüştür.

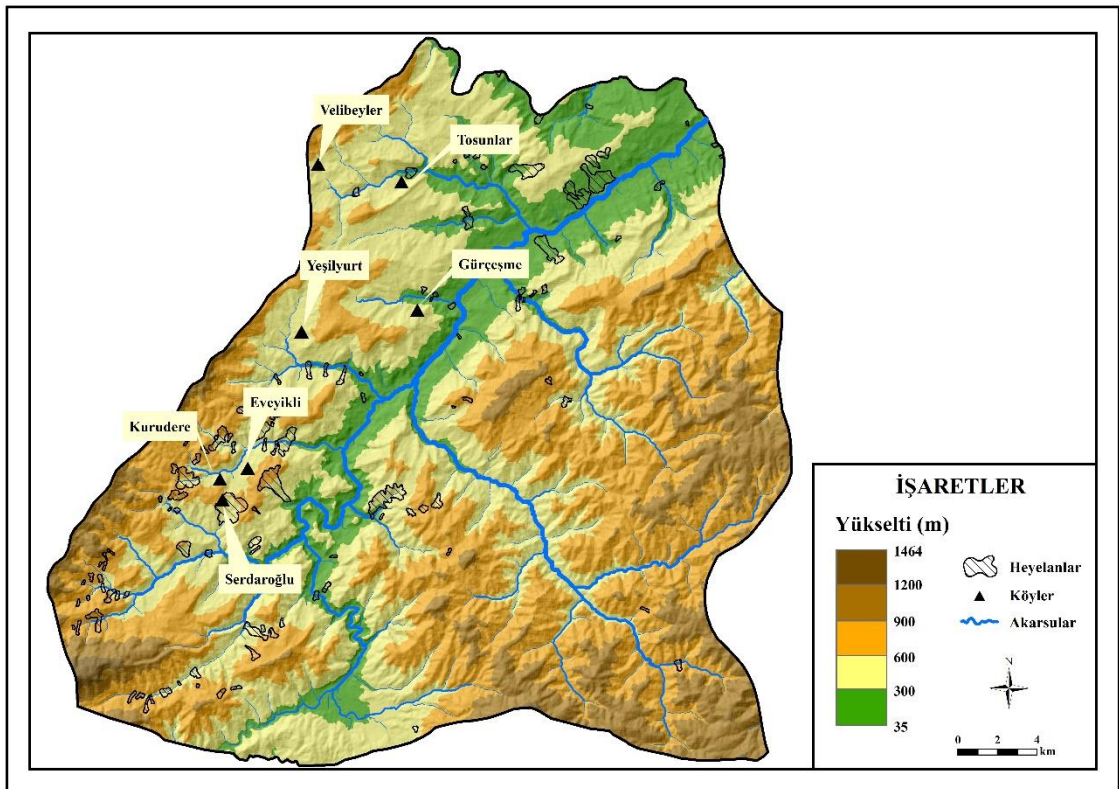
Genel olarak on modelin çıktısından oluşan heyelan duyarlılık haritaları incelendiğinde kabaca çalışma sahasının doğu kısmında heyelan duyarlılığının “çok düşük” ve “düşük” olduğu görülmektedir. Heyelan envanterinde çalışma sahasının doğu kenarındaki heyelanların az olmasının modellere yansıdığı düşünülmektedir. Aynı zamanda burada bulunan orman örtüsünün yoğunluğu eğim dengesinin bozulmasının önüne geçmektedir. Litolojik olarak incelendiğinde ise temeli oluşturan sert metagranitoyit kütlesi heyelan oluşumuna izin vermemektedir. Heyelana duyarlı sahalar daha çok envantere bulunan heyelan sahalarına paralel olarak vadi kenarlarındaki yamaçlarda yoğunlaşmaktadır.

Her parametre grubunun iki farklı eğitim algoritması ile modellenmesi, eğitim algoritmaları arasında karşılaştırma yapma imkânı sunmuştur. Tüm parametre grupları için BR eğitim algoritmasının, SCG algoritmasına göre daha yüksek doğruluğa sahip sonuçlar verdiği görülmüştür. Haritalara bakarak algoritmalar arası yapılacak karşılaştırmaya göre SCG algoritmasının çıktıları ile hazırlanan haritaların, BR algoritmasının çıktı haritalarına göre daha genelleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır. BR algoritması kullanılarak üretilen model çıktısı olan haritaların hücresel düzeyde daha ayrıntılı olduğu görülmüştür.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında parametre seçimi için genel bir kural bulunmamaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Çellek, 2020). Araştırmacının yapacağı arazi çalışmaları, literatür taraması ve heyelan envanterinden yardım alınarak parametrelere karar verilir. Bu tez çalışmasında parametre belirsizliğinin aşılması ve gelecekte Devrek ve benzer sahalar için yapılacak heyelan duyarlılık çalışmalarında fikir vermesi amacıyla çoklu parametre grupları belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak sahanın

heyelan duyarlılığını tahminlemede en iyi performansı yakalayan parametre grupları belirlenmiştir. Buna göre en yüksek AUC ve hata matris değerlerine sahip olan 1, 2, 4. grupta bulunan litoloji, toprak, topoğrafik yükseklik, TWI, TPI, eğim, ortalama eğim, SPC, SRR, yamaç yönelimi, bakı, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık ve SEI parametrelerinin sahadaki heyelan oluşumunu açıklamada iyi sonuçlar verdiği ulaşılmıştır. Bu parametrelerden yola çıkarak çalışma sahasının heyelan duyarlılığının; toprak, litoloji, topografik karakter-eğim ilişkisini farklı şekillerde yansıtan indeksler kullanılarak belirlenmesinin doğru bir yaklaşım olacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 20’de tüm modellerin; girdi parametreleri, AUC değeri ve alansal olarak en az %50’si “çok yüksek” heyelan duyarlılık sınıfına dahil edilen köyler sunulmuştur. Sonuç olarak birden fazla modelde “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahip olan alanlar arasında bazı yerleşmeler öne çıkmaktadır. Özellikle Tosunlar, Gürçeşme, Kurudere, Eveyikli, Velibeyler, Serdaroğlu, Yeşilyurt köylerinin bulunduğu sahaların yarısından fazlası, heyelan oluşma olasılığı yüksek olan alanlar olarak sınıflandırılmıştır (Harita 53).



Harita 53. Birden fazla modelde en az %50'si "çok yüksek" heyelan duyarlılık olarak sınıflandırılan köyler.

Tablo 20. Modeller, kullanılan parametreler, AUC değerleri ve alansal olarak en az %50'si çok yüksek heyelan duyarlılık olarak sınıflandırılan köyler.

Parametreler	Model	AUC	Büyük Kısmı Çok Yüksek Duyarlılık Gösteren Yerleşmeler
Litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık	P1ModelBR	0,892	Tosunlar, Bakırcılar, Gürçeşme, Taşkesen, Kurudere, Kozlukadı, Kozlugüney, Türkmenoğlu
	P1ModelSCG	0,807	Tosunlar, Eveyikli, Velibeyler
Toprak, litoloji, SPC, ortalama eğim, yamaç yönelimi, SEI, eğim	P2ModelBR	0,902	Tosunlar, Gürçeşme, Serdaroğlu
	P2ModelSCG	0,813	Tosunlar, Serdaroğlu
Toprak, litoloji, LC, TPI, CTI, IMI, SAR	P3ModelBR	0,87	Gürçeşme, Tosunlar
	P3ModelSCG	0,757	Gürçeşme, Kurudere
Toprak, litoloji, akarsulara yakınlık, ortalama eğim, SRR, SEI, TPI	P4ModelBR	0,909	Komşular, Bük, Çobanpehlivan, Burhanoğlu
	P4ModelSCG	0,798	Yeşilyurt, Mustakimler, Karacaören
Litoloji, topografik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik	P5ModelBR	0,888	Tosunlar, Müfettişler, Eveyikli, Kuzca, Seyisoğlu, Çomaklar, Velibeyler, Ermekoğlu, Serdaroğlu, Yeşilyurt, İsabeyli, Purtuloğlu, Mumcuoğlu, Yassiören, Çağlar, Sipahiler, Kozlukadı, Kabaca, Durupınar, Kurudere
	P5ModelSCG	0,759	Yassiören, Karacaören, Kuzca, Müfettişler, Yılancağuz, Serdaroğlu, Çomaklar, Eveyikli, Bakırcılar, Oğuzhan, Sipahiler, Tabaklar, Ermekoğlu, Tosunlar, Seyisoğlu, Purtuloğlu, Mumcuoğlu, Yeşilyurt, Bük, Taşkesen, Komşular, İsabeyli, Kozlugüney, Nizamlar, Yeniköy, Yazıcıoğlu, Velibeyler, Hatipler, Kurudere, Sarnaz, Kabaca, Yılanlıca, Hüseyin Çavuşoğlu, Çağlar, Durupınar

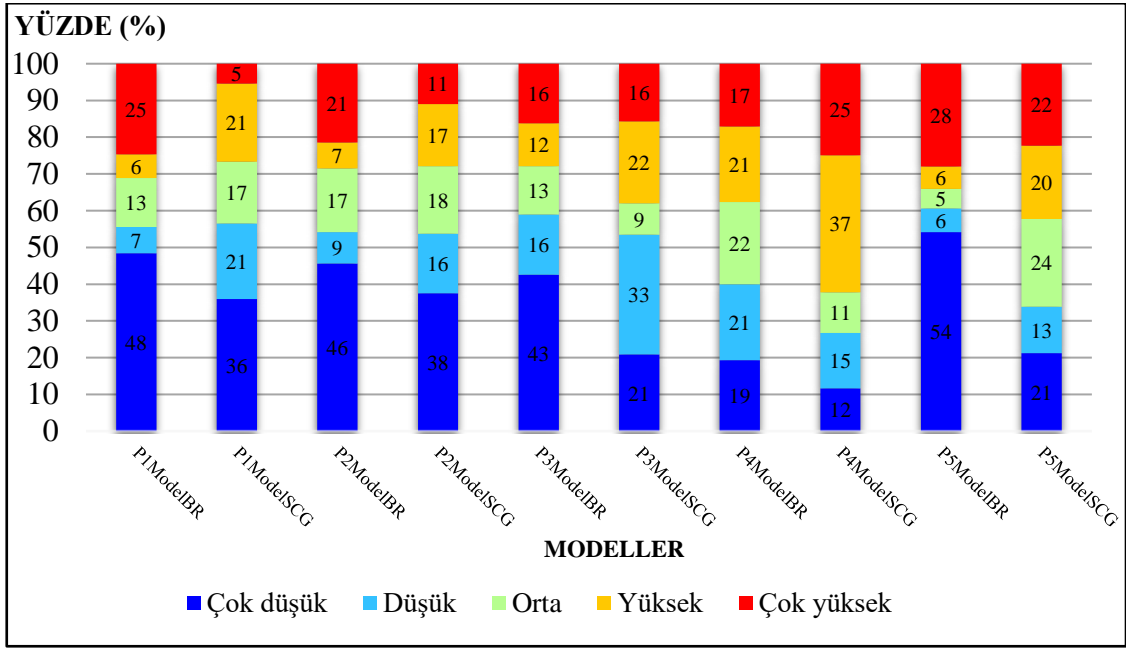
5.2. TARTIŞMA

Devrek'in heyelan duyarlılığının iki değişkenli istatistiksel analiz kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla Yılmaz vd. (2012)'nin litoloji, topografik yükseklik, eğim, bakı, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, sırtlara mesafe ve yollara uzaklık parametrelerini kullandığı çalışmanın sonuçları çekirdek hücre alan indeksine göre değerlendirilmiş ve heyelanların taç kısmından alınan örnekler alınarak hazırlanan haritanın diğerlerine göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 5. parametre grubu ilgili çalışma temel alınarak oluşturulmuş ve diğer modellerle karşılaştırılabilir üzere öne çıkan yedi parametre göz önünde bulundurulmuştur. Bu parametre grubu kullanılarak hazırlanan modellerin doğruluk oranları diğer modellerle karşılaştırıldığında düşük kalmıştır. Sonuç olarak litoloji, topografik yükseklik, eğim, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu, düzlemsel eğrilik, teğetsel eğrilik parametrelerinin Devrek için yapılacak heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yeterli olmayacağı düşünülmektedir.

AFAD'ın Türkiye'deki heyelan, taş düşmesi, çığ düşmesi gibi doğal afetleri analiz etmek amacıyla kurduğu Afet Risk Analiz Sistemi'nde kullanıcıların en fazla kullandıkları litoloji, topoğrafik yükseklik, eğim, bakı, TWI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık parametreleri (AFAD, 2017; Demir vd., 2018) ile hazırlanan modellere göre çalışma sahasının heyelan duyarlılığı oldukça yüksek doğruluğa (0,892-0,807) sahip sonuçlar vermiştir. Burdan yola çıkarak 5. parametre grubunun Devrek'teki heyelan duyarlılığını açıklamada yeterli olduğu kanısına varılmıştır.

En yüksek doğruluğun elde edildiği 2. ve 4. gruplar dikkate alınırsa çalışma sahasının heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde litoloji ve toprak tiplerinin yanı sıra eğim ile ilişkili parametrelerin kullanılmasının da model performansını yükselttiği görülebilir.

Model sonuçlarına göre çalışma sahasının heyelan duyarlılık sınıfları incelendiğinde çalışma sahasının; %54'ü P5ModelBR, %48'i P1ModelBR, %46'sı P2ModelBR, %43'ü P3ModelBR modelleri ile "çok düşük" olarak sınıflandırılırken aynı şekilde sahanın; %28'i P5ModelBR, %25'i P4ModelSCG, %25'i P1ModelBR ile "çok yüksek" olarak sınıflandırılmıştır (Grafik 21).

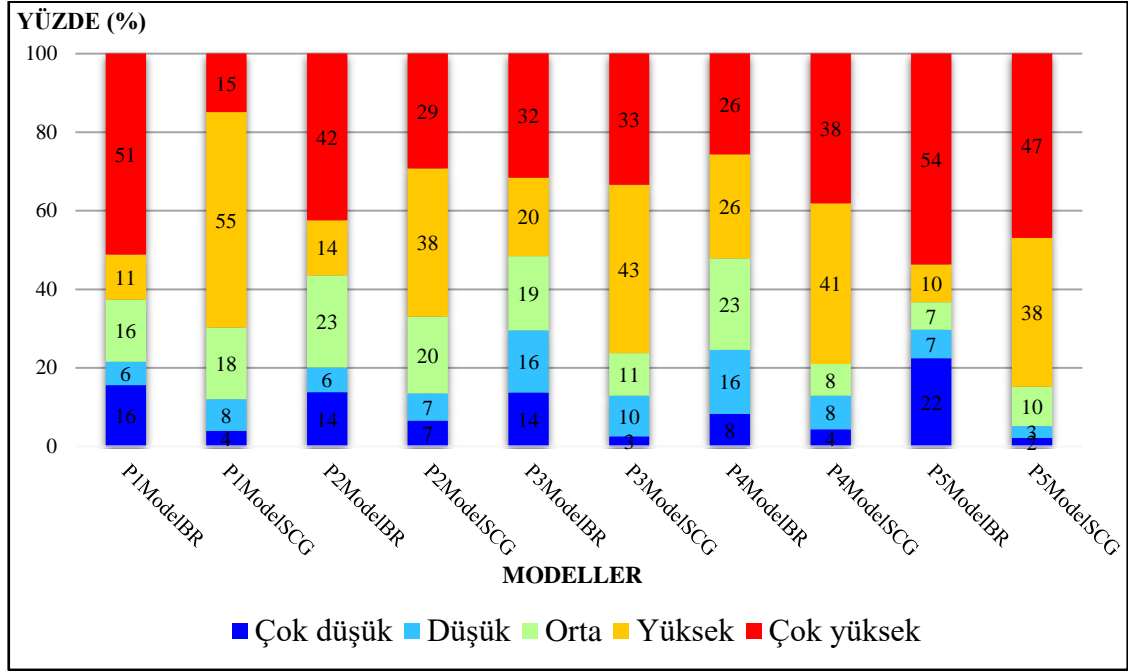


Grafik 21. Modellere göre çalışma sahasının yüzdeler olarak heyelan duyarlılık sınıfları.

Model çıktılarının MTA envanter haritasında bulunan heyelan sahaları ile karşılaştırılması sonucu sahadaki heyelan alanlarının model çıktılarına göre sınıflandırılmaları incelemiştir. Model çıktılarının, heyelan sahalarını “çok yüksek” olarak sınıflandırması beklenmektedir. AUC ve hata matris değerlendirmeleri dışında üçüncü bir doğruluk değerlendirmesi bu yolla yapılmıştır. Heyelan sahalarının; %54’ü P5ModelBR, %51’i P1ModelBR, %47’si P5ModelSCG, %42’si P2ModelBR, %38 P4ModelSCG, %33’ü P3ModelSCG, %32’si P3ModelBR, %29’u P2ModelSCG, %26’sı P4ModelBR, %15’i P1ModelSCG modelleri ile “çok yüksek” olarak sınıflandırılmıştır (Grafik 22). Bundan yola çıkarak AUC değerlerinin diğer modellere göre düşük olduğu P5ModelBR ve P5ModelSCG’nin heyelan sahalarını sınıflandırmada diğer modellere göre daha başarılı olduğu söylenebilir.

Heyelan oluşumunda ani ve sağanak yağışların önemli bir rolü vardır. Gün içerisinde gerçekleşen sağanak yağışlar sonucu eğimli bir yüzeydeki malzemenin suya doymuşluğu heyelan oluşumunu tetiklemektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan yıllık ortalama yağış parametresi (Al-batah vd., 2015; Kumar vd., 2015; Wang vd., 2016; Qiu vd., 2018; Luo vd., 2019) ekstrem günlük yağışları yansıtmamaktadır. Ayrıca yağışın, arazi üzerindeki dağılımında topografik özelliklerin etkili olduğu düşünülürse birçok ölçüm istasyonundan alınmış yağış verisinin dağılımının yapılması gerekmektedir. Bu verinin üretilmesi için birden fazla noktaya konumlanmış

ve uzun süreler ölçüm yapmış olan cihazlar gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı mevcut tez çalışmasında yağış parametresi kullanılmamıştır. Bunun yerine kullanılan topografik yükselti parametresi, yükselti basamaklarına göre yağışın arttığını yansıtırken, TWI, TPI, IMI gibi topografik indeksler de topografik koşullara göre toprak nemliliğinin fazla olduğu sahaları yansıtmaktadır.



Grafik 22. Modellere göre çalışma sahasındaki heyelan sahalarının yüzdelerik olarak heyelan duyarlılık sınıfları.

5.3. ÖNERİLER

Heyelan envanterindeki hatalı olduğu düşünülen sahalardaki düzeltmelerden yola çıkılarak Türkiye'nin daha sağlam ve gerçekçi bir heyelan envanteri üretimine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Envantere katkı sağlayacak kurumların heyelan envanterlerini sistematik bir şekilde düzenlemeleri ve heyelanlara ait her türlü bilginin eklenmesi gerekmektedir. Bu şekilde hazırlanan heyelan duyarlılık haritaları daha güvenilir olacaktır.

Gelecekte Devrek için yapılacak heyelan duyarlılık kullanılacak parametreler en yüksek performans alınan modellere göre belirlenmiştir. Buna göre; toprak, litoloji, eğim, ortalama eğim, SPC, yamaç yönelimi, SEI, akarsulara yakınlık, faylara uzaklık SRR, TPI, TWI parametreleri çalışma sahası için ileride hazırlanacak heyelan duyarlılık haritalarında girdi olarak kullanılabilir.

Birçok modelde çok yüksek derecede heyelan duyarlılığına sahip olan yerleşmeler Tosunlar, Gürçeşme, Kurudere, Eveyikli, Velibeyler, Serdaroğlu, Yeşilyurt köyleri olarak belirlenmiştir. Bu köylerde heyelan oluşabilecek eğimli yamaçların yakınlarında yapılacak yol, bina, sulu tarım, ağaç kesimi gibi aktivitelerden kaçınılması gerekmektedir.

BR algoritması ile hazırlanan modellerin çıktısı olan haritaların SCG modellerinden üretilen haritalara göre daha ayrıntılı ve hücresele düzeydedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak bölgesel ölçekte yapılacak heyelan duyarlılık haritalarında SCG algoritmasının kullanılması, yerel ölçekte yapılacak haritalamalarda ise BR algoritmasının kullanılması önerilmektedir.

Devrek için hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu hakkında istatistiki bir değerlendirme yeterli olmayacaktır. Gelecekte oluşacak heyelanlar takip edilmeli ve haritalarla karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

Adition, A., ve Kubota, T. (2017). Causative Factors Optimization Using Artificial Neural Network for GIS-based Landslide Susceptibility Assessments in Ambon, Indonesia. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 120-129.

AFAD, (2017). Afet Risk Analiz Sistemi (ARAS) Uygulama Dökümanı Versiyon 1. *Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Planlama ve Zarar Azaltma Dairesi Başkanlığı*.

Aksay, A., Temren, A., Oral, A., Tunay, G., Kuşçu, İ., ve Erendil, M. (1991). *Bolu Masifi ve Çevresinin Jeolojisi*. Ankara: Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı.

Al-batah, M. S., Alkhasawneh, M. S., Tay, L. T., Ngah, U. K., Lateh, H. H., ve Isa, N. A. (2015). Landslide Occurrence Prediction Using Trainable Cascade Forward Network and Multilayer Perceptron. *Mathematical Problems in Engineering*.

Arnone, E., Francipane, A., Noto, L. V., Scarbaci, A., ve Loggia, G. L. (2014). Strategies Investigation in Using Artificial Neural Network for Landslide Susceptibility Mapping: Application to a Sicilian Catchment. *Journal of Hydroinformatics*, 502-515.

Arora, M. K., Chauhan, S., ve Sharma, M. (2014). A Comparative Assessment of Neural Network, Fuzzy and Neuro-Fuzzy Approaches for Landslide Susceptibility Zonation in Garhwal Himalayas. *Blucher Mechanical Engineering Proceedings*.

Atalay, İ. (1992). *Kayın (Fagus orientalis Lipsky.) Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Transferi Yönünden Bölgelere Ayrılması*. (1 b.). Ankara: Orman Bakanlığı.

Atalay, İ. (2010). *Uygulamalı Klimatoloji* (1 b.). İzmir, Bornova: META Basım Matbaacılık Hizmetleri.

Atalay, İ. (2012). *Sarıçam (Pinus sylvestris L var. sylvestris) Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Nakli Açısından Bölgelere Ayrılması*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.

Atalay, İ. (2013). *Doğa Bilimleri Sözlüğü (Biyoloji, Coğrafya, Ekoloji, Jeoloji, Orman ve Toprak)* (2 b.). İzmir: META Basım Matbaacılık Hizmetleri.

Atalay, İ. (2014). *Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri (Ecoregions of Turkey)* (2 b.). İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.

Atalay, İ. (2016). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası* (5 b.). İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.

Avcı, M. (1993). Türkiye'nin Flora Bölgeleri ve Anadolu Diyagonaline Coğrafi Bir Yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*(28), 225-248.

Baese, A. M., ve Schmid, V. (2014). Foundations of Neural Networks. A. M. Baese, ve V. Schmid. *Pattern Recognition and Signal Analysis in Medical Imaging* (Second Edition) içinde (s. 197-243). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409545-8.00015-7>.

Bahadır, H., Uçku, R. (2018). Uluslararası Acil Durum Veri Tabanına Göre Türkiye Cumhuriyeti Tarihindeki Afetler. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*. 4(1): 28-33. doi:10.21324/dacd.348117.

Balice, R. G., Miller, J. D., Oswald, B. P., Edminister, C., ve Yool, S. R. (2000). *Forest Surveys and Wildfire Assessment in The Los Alamos; 1998–1999*. Los Alamos, NM, USA Los Alamos National Laboratory. Los Angeles: LA 13714-MS.

Bell, R., Glade, T., Granica, K., Heiss, G., Leopold, P., Petschko, H., Schweigl, J. (2013). Landslide Susceptibility Maps for Spatial Planning in Lower Austria. C. Margottini, P. Canuti, ve K. Sassa içinde, *Landslide Science and Practice* (s. 467-472). Berlin: Springer.

Berry, J. K. (2002). Use surface area for realistic calculations. *Geoworld*, 15(9), 20-1.

Bhardwaj, A., ve Venkatachalam, G. (2014). Landslide Hazard Evaluation Using Artificial Neural Networks and GIS. K. Sassa, P. Canuti, ve Y. Yueping, *Landslide Science for a Safer Geoenvironment* içinde (s. 397-403). Springer International Publishing Switzerland.

Bi, R., Schleier, M., Rohn, J., Ehret, D., ve Xiang, W. (2014). Landslide Susceptibility Analysis Based on ArcGIS and Artificial Neural Network for a Large Catchment in Three Gorges Region, China. *Environmental Earth Science*, 1925–1938.

Blaszczynski, J. S. (1997). Landform Characterization with Geographic Information Systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(2), 183-191.

Bolstad, P. (2016). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems* (5 b.). Minnesota: Eider Press.

Bragagnolo, L., da Silva, R. V., ve Grzybowski, J. M. (2020). Artificial Neural Network Ensembles Applied to the Mapping of Landslide Susceptibility. *Catena*.

Brenning, A. (2005). Spatial Prediction Models for Landslide Hazards: Review, Comparison and Evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 853-862.

Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., ve Dick, O. B. (2012). Landslide Susceptibility Assessment in the Hoa Binh Province of Vietnam: A Comparison of the Levenberg–Marquardt and Bayesian Regularized Neural Networks. *Geomorphology*, 171-172, 12-29.

Can, A. (2014). Yapay Sinir Ağları ile Heyelen Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Farklı Algoritmaların Kullanımının Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi: Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Can, A., Dağdelenler, G., Ercanoğlu, M., ve Sönmez, H. (2019). Landslide Susceptibility Mapping at Ovacık-Karabük (Turkey) Using Different Artificial Neural Network Models: Comparison of Training Algorithms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 89-102.

Chen, S. H., Jakeman, A. J., ve Norton, J. P. (2008). Artificial Intelligence Techniques: An Introduction to Their Use for Modelling Environmental Systems. *Mathematics and Computers in Simulation*(78), 379-400.

Costanzo, D., Rotigliano, E., Irigaray, C., Jiménez-Perálvarez, J. D., ve Chacón, J. (2012). Factors Selection in Landslide Susceptibility Modelling on Large Scale Following the Gis Matrix Method: Application to the River Beiro Basin (Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 327-340.

Coşkun, M., ve Coşkun, S. (2019). Yerkabuğu'nu Oluşturan Maddeler: Mineraller, Kayaçlar ve Topraklar. M. Alım, ve S. Doğanay, *Yer Bilimi* içinde (s. 193-244). Ankara: Pegem Akademi.

Cruden, D. M. (1991). A Simple Definiton of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*(43), 27-29.

Çellek, S. (2020). Heyelana Neden Olan Parametreler: Yükseklik Örneği. *MTA Dergisi*, 161. Ön baskı. <https://dergi.mta.gov.tr/index.php?id=makalegorvedil=trvemid=2309> adresinden alındı (E.T. Nisan 18, 2020).

Demir, S., Aydın, F., Aydemir, S., Üçok, B., Arık, M., Çetinkaya, F., Deveci, G., Ercanoğlu, M., Balcılar, M. (2018). İstatistiksel Modelleme Teknikleri ile CBS Temelli Heyelan Duyarlılık ve Tehlike Analizi Oluşturulması ve Afet Risk Azaltma Sistemi (ARAS). 2. *Ulusal Heyelan Sempozyumu 2018*. 1.

Dou, J., Yamagishi, H., Pourghasemi, H. R., Yunus, A. P., Song, X., Xu, Y., ve Zhu, Z. (2015). An Integrated Artificial Neural Network Model for the Landslide Susceptibility Assessment of Osado Island, Japan. *Natural Hazards*, 1749–1776.

DSİ-SVT Rasatlar Bilgi Bankası: <http://svtbilgi.dsi.gov.tr/Sorgu.aspx> adresinden alındı. (E.T: 2020, Mart 25).

EMDAT, 2020. The EM-DAT database. https://www.emdat.be/emdat_db/ (E.T: 23 Temmuz 2020).

Ercanoğlu, M. (2005). Landslide Susceptibility Assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by Artificial Neural Networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 979–992.

Erdener, Ö. (2016). Modeling and Implementation of Biological Neural Systems. Yayınlanmamış doktora tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erener, A., ve Düzgün, Ş. (2012). Landslide Susceptibility Assessment: What are the Effects of Mapping Unit and Mapping Method? *Environmental Earth Sciences*, 859–877.

Ergünay, O. (2002). Afete Hazırlık ve Afet Yönetimi. Türkiye Kızılay Derneği Genel Müdürlüğü Afet Operasyon Genel Merkezi (AFOM) 3-17 Ankara.

Erinç, S. (2012). *Jeomorfoloji I*. (Güncelleyenler: A. Ertek, ve C. Güneysu) İstanbul: Der Yayınları.

Ermini, L., Catani, F., ve Casagli, N. (2005). Artificial Neural Networks Applied to Landslide Susceptibility Assessment. *Geomorphology* 66, 327-343.

Evans, J. S., Oakleaf, J., Cushman, S. A., ve Theobald, D. (2019, 11 5). *An ArcGIS Toolbox for Surface Gradient and Geomorphometric Modeling, version 2.0-0*. <https://evansmurphy.wixsite.com/evansspatial/arcgis-gradient-metrics-toolbox>: <http://evansmurphy.wix.com/evansspatial> adresinden alındı (E.T. 1 Nisan 2020).

Fan, X., van Westen, C.J., Korup, O., Gorum, T., Xu, Q., Dai, F.C., Huang, R.Q., Wang, G., (2012). Transient water and sediment storage of the decaying landslide dams induced by the 2008 Wenchuan earthquake, China. *Geomorphology* 171-172, 58-68.

Fan, X., Rossiter, D., G., Westen, C., J., Xu, Q., Görüm, T. (2014). Empirical Prediction of Coesmic Landslide Dam Formation. *Earth Surface Processes and Landforms*. 39, 1913-1926.

Fidan, S., (2019). Türkiye'deki Ölümüne Sebep Olan Heyelanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Değerlendirilmesi (yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Fischer, M. M. (2006). Spatial Analysis in Geography. M. M. Fischer, *Spatial Analysis and GeoComputation* içinde (s. 17-28). Berlin: Springer.

Foresee, F. D., ve Hagan, M. T. (1997). Gauss-Newton Approximation to Bayesian Learning. *Proceedings of the 1997 International Joint Conference on Neural Networks*. 3, s. 1930-1935. ICNN97.

Gessler, P. E., Moore, I. D., McKenzie, N. J., ve Ryan, P. J. (1995). Soil-Landscape Modelling and Spatial Prediction of Soil Attributes. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 421-432.

Gomez, H., ve Kavzoğlu, T. (2005). Assesment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology* 78, 11-27.

Gong, Q.-h., Zhang, J.-x., ve Wang, J. (2018). Application of GIS-Based Back Propagation Artificial Neural Networks and Logistic Regression for shallow Landslide Susceptibility Mapping in South China-Take Meijiang River Basin as an Example. *The Open Civil Engineering Journal*, 21-34.

Gopal, S. (2017). Artificial neural networks in geospatial analysis. D. Richardson, N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu, ve R. A. Marston, *The International Encyclopedia of Geography* içinde (s. 1-7). Boston: John Wiley ve Sons.

Görüm, T., Carranza, E., J., M. (2015). Control of Style-of-faulting on Spatial Pattern of Earthquake-Triggerred Landslides. *International Journal of Environmental Science and Techology*. 12, 3189-3212.

Görüm, T., Fan, X., van Westen, C.J., Huang, R., Xu, Q., Tang, C., Wang, G. (2011). Distribution Pattern of Earthquake-induced Landslides Triggerred by the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake. *Geomorphology* 133, 152–167.

Görüm T., (2013). Towards a Better Understanding of Earthquake Triggerred Landslides: An Analysis of The Size, Distribution Pattern and Characteristics of Coesmic Landslides in Different Tectonic and Geomorphie Environments. (yayımlanmamış doktora tezi). University of Twente, Faculty of Geo-information Science and Earth Observation.

Gökçe, O., Özden, Ş., ve Demir, A. (2008). *Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri*. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı.

Gökçeoğlu, C., ve Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189-206.

Gurney, K. (1997). *An introduction to neural networks*. Londra: UCL Press.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., ve Ardizzone, F. (2005). Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale. *Geomorphology*(72), 272-299.

Haupt, S. E., Lakshmanan, V., Marzban, C., Pasini, A., ve Williams, J. K. (2008). Environmental Science Models and Artificial Intelligence. S. E. Haupt, A. Pasini, ve C. Marzban, *Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences* içinde (s. 3-13). Springer.

Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavoir; A Neuropsychological Theory*. New York: Wiley.

Heung, B., Ho, H. C., Zhang, J., Knudby, A., Bulmer, C. E., ve Schmidt, M. G. (2016). An Overview and Comparison of Machine-Learning Techniques for Classification Purposes in Digital Soil Mapping. *Geoderma* (265), 62-77.

Highland, L., ve Bobrowsky, P. T. (2008). *The Landslide Handbook: a Guide to Understanding Landslides*. Reston: US Geological Survey.

Hosmer, D., W., ve Lemeshow, S. (2000). Applied Logistic Regression. *John Wiley and Sons*, New York.

Hu, Y., Li, W., Wright, D., Aydin, O., Wilson, D., Maher, O., ve Raad, M. (2019). Artificial Intelligence Approaches. J. P. Wilson, *The Geographic Information Science ve Technology Body of Knowledge içinde (3rd Quarter edition)* (s. 1-12).

Hungr, O., Leroueil, S., ve Picarelli, L. (2014). The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Landslides* (11), 167-194.

Işık, Ö., Aydınlioğlu, H., M., Koç, S., Gündoğdu, O., Korkmaz, G., Ay, A. (2012). Afet Yönetimi ve Afet Odaklı Sağlık Hizmetleri. *Okmeydanı Tıp Dergisi*. 28 (Ek sayı 2): 82-123. doi: 10.5222/otd.sup2.2012.082.

Iverson, L. R., Dale, M. E., Scott, C. T., ve Prasad, A. (1997). A GIS-Derived Integrated Moisture Index to Predict Forest Composition and Productivity of Ohio Forests (U.S.A.). *Landscape Ecology*, 12, 331–348.

Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*(7), 186–190.

Jennes, J. (2006). *Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2*. Nisan 8, 2020 tarihinde Jenness Enterprises: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm> adresinden alındı (E.T: Nisan 15, 2020).

Jenness, J. (2010). *Surface Area and Ratio for ArcGIS (surface_area.exe) v. 1.0.138*. Jenness Enterprises. Nisan 15, 2020 tarihinde http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm adresinden alındı.

Jenness, J. S. (2004). Calculating Landscape Surface Area from Digital Elevation Models. *Wildlife Society Bulletin*, 32(3), 829–839.

Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y. (2017). Artificial Intelligence in Healthcare: Past, Present and Future. *Stroke and Vascular Neurology*(2), 230-243.

Kabalcı, E. (2014). Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks). *Ders notları*. Jeoloji Mühendisliği A.B.D. Esnek Hesaplama Yöntemleri II.

Kalantar, B., Ueda, N., Al-Najjar, H. A., Idrees, M. O., Motevalli, A., ve Pradhan, B. (2018). Landslide susceptibility mapping at Dodangeh watershed, Iran, using LR and ANN models in GIS. Berlin/Almanya: SPIE Remote Sensing.

KGM. (2015). *Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.

Kirschbaum, D. B., Adler, R., Hong, Y., Hill, S., and LernerLam, A. (2010). A global landslide catalog for hazard applications: method, results, and limitations. *Natural Hazards*. 52, 561–575. doi:10.1007/s11069-009-9401-4.

Kitutu, M. G., Muwanga, A., Poesen, J., ve Deckers, J. A. (2009). Influence of Soil Properties on Landslide Occurrences in Bududa District, Eastern Uganda. *African Journal of Agricultural Research*(4), 611-620.

Kohonen, T. (1972). Correlation Matrix Memories. *Computer Science, Mathematics*. 21. IEEE Transactions on Computers.

Kohonen, T. (1982). Self-organized Formation of Topologically Correct Feature. *Biological Cybernetics*, 49, 59–69.

Kriesel, D. (2007). *A Brief Introduction of Neural Networks*. <http://www.dkriesel.com> (E.T: Nisan 25, 2020).

Kumar, K., Annadurai, R., ve Arumugam, K. (2015). Modeling of Landslide Susceptibility Using Based Back-Propagation Neural Network and GIS in Kothagiri Region, India. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 18-26.

Lashley, K. S. (1950). In Search of the Engram. *Physiological Mechanisms in Animal Behavior* içinde (s. 454–482). New York: Academic Press.

Lee, S. (2007). Landslide Susceptibility Mapping Using Artificial Neural Networks in the Gangneung Area, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 4763–4783.

Lee, S., Ryu, J., Min, K., ve Won, J. (2001). Development of Two Artificial Neural Network Methods for Landslide Susceptibility Analysis. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2001* (s. 2364-2366). Avusturalya, Sidney: IEEE.

Lee, S., Ryu, J.-H., Lee, M.-J., ve Won, J.-S. (2003). Use of an Artificial Neural Network for Analysis of the Susceptibility to Landslides at Boun, Korea. *Environmental Geology*, 820-833.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., ve Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*(18), 1-29.

Luo, X., Lin, F., Zhu, S., Yu, M., Zhang, Z., Meng, L., ve Peng, J. (2019). Mine Landslide Susceptibility Assessment Using IVM, ANN and SVM Models Considering the Contribution of Affecting Factors. *Plos One*.

Malsburg, C. v. (1973). Self-organizing of Orientation Sensitive Cells in Striate. *Kybernetik*, 14, 85–100.

Mandal, S., ve Mondal, S. (2019). *Statistical Approaches for Landslide Susceptibility Assessment and Prediction*. Bengal: Springer.

March, G. (2002). Natural Disasters and the Impacts on Health. Health, Disasters and Risk içinde, (s. 1-18). <https://www.eird.org/isdr-biblio/PDF/Natural%20disasters%20and%20the%20impacts.pdf> (E.T: 23 Temmuz 2020).

McCulloch, W. S., ve Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bullettin of Mathematical Biophysics*(5), 115-133.

McNab, W. H. (1989). Terrain Shape Index: Quantifying Effect of Minor Landforms on Tree Height. *Forest Science*, 35(1), 91-104.

McNab, W. H. (1992). A Topographic Index to Quantify the Effect of Mesoscale Landform on Site Productivity. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 1100-1107.

Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., ve Zanchi, A. (2008). Artificial Neural Networks and Cluster Analysis in Landslide Susceptibility Zonation. *Geomorphology*, 379–400.

Michoud, C., Jaboyedoff, M., Nadim, F., Leroi, E., ve Derron, M. H. (2012). New Classification of Landslide-inducing Anthropogenic Activities. *Geophysical Research Abstracts*, 1(14).

Milevski, I., Dragičević, S., ve Zorn, M. (2019). Statistical and Expert-based Landslide Susceptibility Modeling on a National Scale Applied to North Macedonia. *Open Geosciences*, 11(1), 750-764.

Moller, M. F. (1993). A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning. *Neural Networks*, 6, 525-533.

Moore, I. D., Lewis, A., ve Gallant, J. C. (1993). Terrain Attributes: Estimation Methods and Scale Effects. A. J. Jakeman, M. B. Beck, ve M. M. Wiley, *Modeling Change in Environmental Systems* içinde (s. 189 - 214). Londra.

Nilsson, N. (1965). *Learning Machines; Foundations of Trainable Pattern-Classifying Systems*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Nordal, S., ve Lindsay, E. (2017). *Detection of Landslides*. Norveç: Norwegian University of Science and Technology.

Nordal, S., ve Lindsay, E. (2017). *Detection of Landslides by Satellite Remote Sensing*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Oldrich, H., Leroueil, S., ve Picarelli, L. (2014). The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Journal of the International Consortium on Landslides*(11), 167-194.

Oliveira, G. G., Ruiz, L. F., Guasselli, L. A., ve Haetinger, C. (2019). Random Forest and Artificial Neural Networks in Landslide Susceptibility Modeling: A Case Study of the Fão River Basin, Southern Brazil. *Natural Hazards*, 1049-1073.

Openshaw, S. (1994). Neuroclassification of Spatial Data. B. C. Hewitson, ve R. G. Crane, *Neural Nets: Applications in Geography* içinde (s. 53-70). Helmstedt: Kluwer Academic Publishers.

Ortiz, J. A., ve Martinez-Grana, A. M. (2018). A Neural Network Model Applied to Landslide Susceptibility Analysis (Capitanejo, Colombia). *GEOMATICS, Natural Hazard and Risk*, 1106-1128.

Özdemir, M., A. ve Kulaksız, E., E. (2019). Devrek (Zonguldak/Türkiye) Heyelanı. *Social Sciences Studies Jurnal*. 5(47). s. 5852-5864.

Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2 b.). İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim.

Öztürk, K., ve Şahin, M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekaya Genel Bir Bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.

Öztürk, M., Z., Çetinkaya, G., Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Coğrafya Dergisi*. 35. 17-27. doi: 10.26650/JGEOG295515.

Pamela, P., Arifianti, Y., Sadisun, I. A., ve Kartiko, R. D. (2018). The Selective Causative Factors on Landslide Susceptibility Assessment: Case Study Takengon, Aceh, Indonesia. *International Symposium on Earth Hazard and Disaster Mitigation*. ISDM.

Pascale, S., Parisi, S., Mancini, A., Schiattarella, M., Conforti, M., Sole, A., Sdao, F. (2013). Landslide Susceptibility Mapping Using Artificial Neural Network in the Urban Area of Senise and San Costantino Albanese (Basilicata, Southern Italy). B. Murgante, B. Misra, S. Carlini, M. Torre, C. M. Nguyen, H. Q. Taniar, O. Gervasi, *Computational Science and Its Applications -- ICCSA 2013* içinde (s. 473–488). Berlin: Springer-Verlag.

Petley, D. (2012). Global Patterns of Loss of Life from Landslides. *Geology*, 927–930.

Pike, R. J., ve Wilson, S. E. (1971). Elevation-Relief Ratio, Hypsometric Integral, and Geomorphic Area-Altitude Analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 1079-1084.

Pitts, W., ve McCulloch, W. S. (1947). How We Know Universals the Perception of Auditory and Visual Forms. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 9, 127-147.

Plotnik, R. (2009). *Introduction to Psychology* (1 b.). (T. Geniş, Çev.) İstanbul: Kaknüs Yayınları.

Popescu, M. E. (1994). A Suggested Method for Reporting Landslide Causes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*(50), 71-74.

Popescu, M. E. (2002). Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options. *Proceedings 3rd International Conference on Landslide, Slope Stability and Safety of Infrastructures*, (s. 1-21). Chicago.

Pourghasemi, H. R., ve Rahmati, O. (2018). Prediction of the Landslide Susceptibility: Which Algorithm, Which Precision? *Catena*, 177-192.

Pourghasemi, H. R., Yansari, Z. T., Panagos, P., ve Pradhan, B. (2018). Analysis and Evaluation of Landslide Susceptibility: A Review on Articles Published During 2005–2016 (periods of 2005–2012 and 2013–2016). *Arabian Journal of Geosciences*, 1-12.

Pradhan, A. M., ve Kim, Y.-T. (2016). Landslide Susceptibility Mapping of Phewa Catchment Using Multilayer Perceptron Artificial Neural Network. *Nepal Journal of Environmental Science*.

Qui, H., Cui, P., Regmi, A. D., Hu, S., ve Hao, J. (2018). Loess Slide Susceptibility Assessment Using Frequency Ratio Model and Artificial Neural Network. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38-45.

Raubal, M. (2019). It's the Spatial Data Science, Stupid! *2019 Spatial Data Science Symposium*, (s. 1-3).

Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., ve Guzzetti, F. (2018). A Review of Statistically-Based Landslide Susceptibility Models. *Earth-Science Reviews*, 60-91.

Riley, S. J., DeGloria, S. D., ve Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5, 1-4.

Roessner, S., Wetzel, H., U., Kaufmann, H., Sarnagoev, A. (2005). Potential of Satellite Remote Sensing and GIS for Landslide Hazard Assessment in Southern

Kyrgyzstan (Central Asia). *Natural Hazards* 35(3): 395-416. doi:[10.1007/s11069-004-1799-0](https://doi.org/10.1007/s11069-004-1799-0).

Rumelhart, D., Hinton, G., ve Williams, R. (1986). Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 323, 533–536.

Sameen, M. I., Pradhan, B., ve Lee, S. (2020). Application of Convolutional Neural Networks Featuring Bayesian Optimization for Landslide Susceptibility Assessment. *Catena*.

Saro, L., Woo, J. S., Kwan-Young, O., ve Moun-Jin, L. (2016). The Spatial Prediction of Landslide Susceptibility Applying Artificial Neural Network and Logistic Regression Models: A Case Study of Inje, Korea. *Open Geosciences*, 117-132.

Shaikh, M. B., Raja, S., Ahmed, M., Zubair, M., Khan, A., ve Ali, M. (2019). Rice Husk Ash Reinforced Aluminium Matrix Composites: Fabrication, Characterization, Statistical Analysis and Artificial Neural Network Modelling. *Materials Research Express*, 6(5), 1-39.

Sharma, L. P., Patel, N., Debnath, P., ve Ghose, M. K. (2012). Assessing Landslide Vulnerability from Soil Characteristics - a GIS Based Analysis. *Arabian Journal of Geosciences*(5), 789–796.

Steinbuch, K. (1961). Die Lernmatrix. *Biological Cybernetics*, 1, 36-45.

Strahler, A. M. (1952). Hypsometric Area-Altitude Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.

Strahler, A. N. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions of the American Geo-physical Union*, 38, 913-920.

Sür, Ö. (1972). Heyelan Olaylarına Sebep Olan Faktörler ve Bunların Türkiye’de Etkili Bulunduğu Alanlar. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*(5-6), 215-222.

Şahin, C., ve Sipahioğlu, Ş. (2002). *Doğal Afetler ve Türkiye*. Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.

Tekin, S., ve Çan, T. (2019). Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Ermenek Havzası'nın (Karaman) Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 21-28.

Tseng, C. M., Lin, C. W., ve Hsieh, W. D. (2015). Landslide Susceptibility Analysis by Means of Event-Based Multi-Temporal Landslide Inventories. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 1137-1173.

Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*(49), 433-460.

Türk, Y. (2017). The Effect of Soil Properties on Landslides Along Forest Road. *European Journal of Forest Engineering*, 3(1), 1-6.

Twigg, J. (2007). Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction, Social Impact Assessment. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies Provention Consortium. http://www.proventionconsortium.org/mainstreaming_tools (E.T: 23 Temmuz 2020).

Varnes, D. J. (1958). Landslides Types and Processes. E. B. Eckel, *Landslides and Engineering Practice* içinde (s. 20–47). Washington: NAS-NRC Publication 544.

Varnes, D. J. (1978). Slope Movements Types and Processes. R. L. Schuster, ve R. J. Krizek, *Landslides, Analysis and Control* içinde (s. 11-33). Washington: Transportation Research Board, National Academy of Sciences.

Wang, H. B., Li, J. M., Zhou, Y., Yuan, Z. Q., ve Chen, Y. P. (2017). Application of A Hybrid Model of Neural Networks and Genetic Algorithms to Evaluate Landslide Susceptibility. *Geoenvironmental Disasters*.

Wang, Q., Wenping, L., Maolin, X., Yanli, W., Yabing, P., Dongdong, Y., ve Hanying, B. (2016). Landslide Susceptibility Mapping at Gongliu County, China Using Artificial Neural Network and Weight of Evidence Models. *Geosciences Journal*, 705-718.

Werbos, P. J. (1974). Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Harvard Üniversitesi (Yayımlanmamış doktora tezi).

Widrow, B., ve Hoff, M. E. (1960). Adaptive Switching Circuits. *IRE WESCON* içinde (s. 96-104). New York: Institute of Radio Engineers.

Wilkening, J. (2019). Towards Spatial Data Science: Bridging the Gap Between GIS, Cartography and Data Science. *29th International Cartographic Conference (ICC 2019)*. Tokyo: Abstracts of the International Cartographic Association.

Wirth, N. (2018). Hello Marketing, What Can Artificial Intelligence Help You With? *International Journal of Market Research*, 5(60), 435-438.

Yılmaz, Ç. (2007). GIS Based Landslide Susceptibility Mapping in Devrek (Zonguldak-Turkey). Orta Doğu Teknik Üniversitesi (yayımlanmamış yüksek lisans tezi).

Yılmaz, Ç., Topal, T., Süzen, M., L. (2012). GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Bivariate Statical Analysis in Devrek (Zonguldak-Devrek). *Environmental Earth Sciences*. 65:2161-2178. doi: 10.1007/s12665-011-1196-4.

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.

Zeng-wang, X. (2001). GIS and ANN Model for Landslide Susceptibility Mapping. *Journal of Geographical Sciences*, 374-381.

Zhou, C., Yin, K., Cao, Y., Ahmed, B., Li, Y., Catani, F., ve Pourghasemie, H. R. (2018). Landslide Susceptibility Modeling Applying Machine Learning Methods: A Case Study from Longju in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Computers and Geosciences*, 112, 23-37.

Zimmermann, N. E., Edwards, T. C., Graham, C. H., Pearman, P. B., ve Svenning, J.-C. (2010). New Trends in Species Distribution Modelling. *Ecography*, 6(33), 985-989.

Zine el Abidine, R., ve Abdelmansour, N. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using Information Value and Frequency Ratio for the Arzew Sector (North-Western of Algeria). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 160, 197-211.

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Önceki çalışmaların listelendiği tablo.....	37
Tablo 2. Devrek Çayı'na ait aylık akım değerleri (m ³ /sn, DSİ).....	67
Tablo 3. Devrek ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarının aylık ve yıllık ortalama sıcaklık (°C) değerleri.....	76
Tablo 4. Devrek ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarının aylık ve yıllık toplam yağış (mm) değerleri.	82
Tablo 5. Heyelana oluşumuna neden olan süreçler ve zemin koşulları (Popescu, 1994).	90
Tablo 6. Heyelanların oluşumunu açıklayan faktörler.	91
Tablo 7. Varnes (1978)'in heyelan sınıflandırma sistemi.	94
Tablo 8. Hungr vd. (2014)'nin heyelan sınıflandırması.	96
Tablo 9. Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan bazı yöntemler (Pourghasemi vd., 2018).	97
Tablo 10. Modellerde kullanılan girdi parametreleri.	111
Tablo 11. Heyelan sahalarında görülen litolojik birimlerin alansal ve yüzdelik oranları.	113
Tablo 12. Heyelan sahalarında görülen toprak tiplerinin alansal ve yüzdelik oranları.	115
Tablo 13. Çalışma sahasının Jenness'in eğim konum sınıflandırmasına göre alansal ve yüzdelik oranları.	124
Tablo 14: Heyelan sahalarındaki yükselti değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları.	125
Tablo 15: Heyelan sahalarının TWI değerlerinin tanımlayıcı istatistik tablosu.	130
Tablo 16. Parametre grupları.....	134
Tablo 17. Model isimleri ve açıklamaları.	136
Tablo 18. Modellerin AUC değerlerinin ayırım düzeyleri (Hosmer ve Lemeshow (2000)'a göre).	168
Tablo 19. Heyelan duyarlılık modellerinin AUC ve hata matrisi değerleri.	172
Tablo 20. Modeller, kullanılan parametreler, AUC değerleri ve alansal olarak en az %50'si çok yüksek heyelan duyarlılık olarak sınıflandırılan köyler.	176

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Model girdi parametrelerinin hazırlanması ve normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla ArcMap Model Builder ortamında kurulan model.	34
Şekil 2. Analizin akış şeması.	36
Şekil 3. Genel kabul görmüş heyelan terminolojisi (Highland ve Bobrowsky, 2008'den düzenlenmiştir).	89
Şekil 4. Heyelanların hareket türleri. A) düşme, b) devrilme, c) kayma, d) ötelenmeli kayma, e) yanal yayılma, f) akma. Highland ve Bobrowsky (2008)'den düzenlenmiştir.	95
Şekil 5. Biyolojik sinir ağı.	99
Şekil 6. Tipik bir yapay sinir hücresi.	100
Şekil 7. Sigmoid fonksiyonu.	106
Şekil 8: TWI parametresinin üretimi için ArcMap ortamında kurulan model.	130
Şekil 9: 1. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.	137
Şekil 10. 2. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.	143
Şekil 11. 3. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.	149
Şekil 12. 4. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.	155
Şekil 13. 5. Grupta bulunan parametreler ve tek gizli katmanlı YSA tasarımı.	161

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. 1900-2020 (Temmuz) arası dünyada gerçekleşen doğal afetlerin kökenlerine göre sayısı ve yüzdesi (EM-DAT veri tabanından düzenlenmiştir).	18
Grafik 2. 1900-2020 (Temmuz) arası dünyada gerçekleşen doğal afetlerin, türlerine göre yüzdesi (EM-DAT veri tabanından düzenlenmiştir).	19
Grafik 3. Devrek ilçesinde yükselti gruplarının alansal dağılışı grafiği.	60
Grafik 4. Çalışma sahasının 50 m aralıklı yükselti frekans grafiği.	61
Grafik 5. Eğim gruplarının alansal dağılışı grafiği.	62
Grafik 6. Çalışma sahasının bakı yönlerinin alansal dağılışı.	66
Grafik 7: P1ModelBR için eğitim-test grafiği.	138
Grafik 8: P1ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.	140
Grafik 9. 2. P2ModelBR için eğitim-test performans grafiği.	144
Grafik 10. P2ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.	146
Grafik 11. 3. P3ModelBR için eğitim-test performans grafiği.	150
Grafik 12. P3ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.	152
Grafik 13. P4ModelBR için eğitim-test performans grafiği.	156
Grafik 14. P4ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.	158
Grafik 15: P5ModelBR için eğitim-test performans grafiği.	162
Grafik 16. P5ModelSCG için eğitim-doğrulama performans grafiği.	164
Grafik 17. Modellerin AUC değerleri.	168
Grafik 18: 1,2 ve 3. parametre gruplarından üretilen modellerin ROC grafikleri.	169
Grafik 19. 4 ve 5. parametre gruplarından üretilen modellerin ROC grafikleri.	170
Grafik 20. Modellerin hata matrisi değerleri.	171
Grafik 21. Modellere göre çalışma sahasının yüzdeler olarak heyelan duyarlılık sınıfları.	178
Grafik 22. Modellere göre çalışma sahasındaki heyelan sahalarının yüzdeler olarak heyelan duyarlılık sınıfları.	179

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1. Dünya üzerinde meydana gelen heyelanların noktasal dağılışı (Kirschbaum vd., 2010'dan düzenlenmiştir).	20
Harita 2. Devrek ilçesinin lokasyon haritası.....	23
Harita 3. Devrek ilçesi ve çevresinin jeoloji haritası.....	55
Harita 4. Devrek ilçesi ve çevresinin topografya haritası.....	57
Harita 5. Devrek ilçesi ve çevresinin fiziki haritası.	59
Harita 6. Devrek ilçesi ve çevresinin eğim haritası.	63
Harita 7. Devrek ilçesi ve çevresinin bakı haritası.	65
Harita 8. Devrek Çayı havzası ve alt havzalarının lokasyon haritası.	68
Harita 9. Devrek ilçesi ve çevresinin hidrografya haritası.	69
Harita 10. Devrek ilçesi ve çevresinin toprak haritası.....	71
Harita 11. Devrek ilçesi ve çevresinin yıllık ortalama sıcaklık haritası.	78
Harita 12. Devrek ve çevresinin ocak ayı ortalama sıcaklık haritası.	80
Harita 13. Devrek ve çevresinin temmuz ayı ortalama sıcaklık haritası.	81
Harita 14. Devrek ve çevresinin yıllık toplam yağış haritası.	83
Harita 15. Devrek ilçesinde ağaç topluluklarının dağılışı.	85
Harita 16. Çalışma sahasının heyelan envanteri.....	110
Harita 17. Çalışma sahasının litoloji haritası.....	112
Harita 18. Çalışma sahasının faylara uzaklık haritası.	114
Harita 19. Çalışma sahasının toprak haritası.	115
Harita 20. Çalışma sahasının bakı haritası.	116
Harita 21. Çalışma sahasının akarsulara yakınlık haritası.....	117
Harita 22: Çalışma sahasının drenaj yoğunluğu haritası.....	118
Harita 23. Çalışma sahasının birleşik nemlilik indeksi haritası.....	119
Harita 24. Çalışma sahasının maruziyet indeksi haritası.....	120
Harita 25. Çalışma sahasının eğim haritası.	122
Harita 26. Çalışma sahasının yamaç yönelimi haritası.....	122
Harita 27. Çalışma sahasının ortalama eğim haritası	123
Harita 28. Çalışma sahasının eğim konumu sınıflandırması haritası.	124
Harita 29: Çalışma sahasının topografik yükseklik haritası.....	125
Harita 30. Çalışma sahasının düzlemsel eğrilik haritası.....	126
Harita 31. Çalışma sahasının teğetsel eğrilik haritası.....	127

Harita 32. Çalışma sahasının yüzey-rölyef oranı haritası.....	128
Harita 33. Çalışma sahasının yüzey-alan oranı haritası.....	129
Harita 34: Çalışma sahasının TWI haritası.	130
Harita 35. Çalışma sahasının topografik konum indeksi haritası.	131
Harita 36. Çalışma sahasının birleşik topografik indeks haritası.	132
Harita 37. Çalışma sahasının arazi şekil indeks haritası.....	133
Harita 38. P1ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.....	139
Harita 39. P1ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.	141
Harita 40. P1ModelBR ve P1ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.....	142
Harita 41. P2ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.....	145
Harita 42. P2ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.	147
Harita 43. P2ModelBR ve P2ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.....	148
Harita 44. P3ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.....	151
Harita 45. P3ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.	153
Harita 46. P3ModelBR ve P3ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.....	154
Harita 47. P4ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.....	157
Harita 48. P4ModelSCG'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.	159
Harita 49. P4ModelBR ve P4ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.....	160
Harita 50: P5ModelBR'den üretilen Devrek İlçesi heyelan duyarlılık haritası.	163
Harita 51. P5ModelSCG'den üretilen Devrek ilçesi heyelan duyarlılık haritası.	165
Harita 52. P5ModelBR ve P5ModelSCG modellerinin ortak sınıflandırdığı alanların haritası.....	166
Harita 53. Birden fazla modelde en az %50'si "çok yüksek" heyelan duyarlılık olarak sınıflandırılan köyler.....	175

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 1. İlçe merkezine bağlı Karşiyaka mahallesinde meydana gelen heyelan. ...	22
Fotoğraf 2. Karşiyaka mahallesinde Çomaklar Deresi'nin güneye bakan yamacında gerçekleşen heyelan.	24
Fotoğraf 3. Devrek-Ereğli karayolunun alt kesiminde gerçekleşen heyelan.	24
Fotoğraf 4. Nizamlar civarında eğimli yamaçta gerçekleşen heyelan.	25
Fotoğraf 5. Yeşilköy civarında yol kenarında gerçekleşmiş küçük bir heyelan.	25
Fotoğraf 6. Yeşilköy karayolu kenarında gerçekleşmiş bir kaya düşmesi.	26
Fotoğraf 7. 16 Temmuz 2015'te gerçekleşen Devrek heyelanında zarar gören binalar.	26

EKLER

EK 1. MATLAB için YSA Kurulum, Eğitim ve Tahmin Kodları

```
x = input; % Eğitim için girdilerin tanımlanması

t = target; % Eğitim için çıkışın tanımlanması

% Eğitim algoritmasının seçimi. 'BR' ve 'SCG' ayrı ayrı kullanılmıştır.
trainFcn = 'trainbr'; % Bayesian Regularization Backpropagation
% ve
trainFcn = 'trainscg'; % Scaled Conjugate Gradient Backpropagation

% 10 nörona sahip gizli katman 'j' için döngü oluşturulur.
for j=10:10

% Döngüye sokulan 'j' nin gizli katman boyutu olduğu tanımlanır.
hiddenLayerSize = j;

% Örüntü tanıma ağının oluşturulması
net = patternnet(hiddenLayerSize, trainFcn);

% Eğitim, doğrulama ve test için verinin bölünmesi
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Ağın eğitilmesi
[net,tr] = train(net,x,t);

% Ağın test edilmesi
y = net(x);

% Ağı görüntüle
view(net)

% Ağın performans grafiği
figure, plotperform(tr)

% Ağın hata grafiği
figure, ploterrhist(e)

% Hata matrisi değerleri
misc = confusion(t,y)

% ROC eğrisinin çizilmesi
figure, plotroc(t,y)

end

% Eğitilmiş ağ ile tüm sahanın heyelan duyarlılığının tahminlenmesi
y = net (fullsamples);
y2 = double (y);
```

EK 2. MATLAB için Sigmoid Fonksiyonu Grafiği Çizdirme

Kodları

```
a= 1;
b= 0.5;
c = -1;
x = linspace (-15,15,400);
sigmoid = a./(1+exp(-b*(x-c)));
figure (5),clf
plot (x,sigmoid,'linew',3)
hold on
plot ([0 0],get(gca,'ylim'),'k--');
plot ([c c],get (gca, 'ylim'), 'z--');
xlabel ('x'), ylabel('f(x));
```

ÖZGEÇMİŞ

Enes TAŞOĞLU, 1994 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretim eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2013-2018 tarihleri arasında Karabük Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya bölümünde lisans eğitimi aldı. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Coğrafya bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. İlgili alanları arasında coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama ve makine öğrenmesi teknikleri kullanarak mekânsal analiz, modelleme ve tahmin haritalamaları yer almaktadır.

Enes Taşoğlu'nun tek amacı, çok büyük hayranlık duyduğu bilimsel düşünceyi yaşamının her alanında öne çıkarmak ve ömür boyu bilim yapmaktır.