

PAPER DETAILS

TITLE: Frekans orani, kanit agirligi ve lojistik regresyon yöntemleri kullanilarak heyelan duyarlilik haritalarinin CBS tabanli karsilastirilmesi

AUTHORS: Aslan Cihat BASARA,Yasemin SISMAN

PAGES: 647-660

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2221531>



Frekans oranı, kanıt ağırlığı ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının CBS tabanlı karşılaştırılması

Comparison of landslide susceptibility maps using frequency ratio, weight of evidence and logistic regression methods based on GIS

Aslan Cihat Başara^{1,*} , Yasemin Şişman² 

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği, 55270, Samsun, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 55270, Samsun, Türkiye

Öz

Heyelan ülkemizde meydana gelme sayısı bakımından incelendiğinde sıkça karşılaştığımız doğal afetlerden biridir. Çalışmada eğim, bakı, yükseklik, eğrisellik, topoğrafik nemlilik indeksi, bitki indeksi, yıllık toplam yağış, tektonik unsura yakınlık, litoloji ve arazi kullanım durumu parametreleri kullanılmıştır. Parametreler frekans oranı yöntemi, kanıt ağırlığı yöntemi ve lojistik regresyon yöntemi kullanılarak heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilmiş ve analiz edilmiştir. Analizler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen haritalar “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Analizler sonucunda oluşan modellerin performanslarının değerlendirilmesinde ROC eğrisi ve AUC değerleri kullanılmış, model doğruluklarının değerlendirilmesinde eski heyelan olaylarının risk gruplarıyla uyumu incelenmiştir. Çalışma sonucunda Frekans Oranı Yöntemi %82.9 oranında, Kanıt Ağırlığı Yöntemi %83.5 oranında ve Lojistik Regresyon Yöntemi %77.1 oranında doğruluk göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Heyelan duyarlılık haritası, Frekans oranı yöntemi, Kanıt ağırlığı yöntemi, Lojistik regresyon yöntemi

1 Giriş

Afetler, toplumun bir kısmında ya da bütününde fiziksel hasarlara, ekonomik kayıplara ve sosyal problemlere sebep olan, gündelik yaşamı ve insan etkinliklerini sona erdiren ya da yavaşlatan, etkisi altında kalan toplumun başa çıkamayacağı teknoloji kaynaklı, insan kaynaklı ve doğa kaynaklı olaylardır [1]. Afetler ayrıca etkisini gösterdiği toplumda maddi-manevi zararlara ve günlük hayatın akışında büyük problemlere neden olur [2].

Doğal afetler, insan etkileri dışında gerçekleşen can ve mal kaybına sebebiyet veren tehlikeli ve geneli itibariyle büyük alanlarda etkisini gösteren olaylardır. Ülkemizde doğal afetlerin sebep olduğu hasarlar incelendiğinde, deprem olaylarının ardından en fazla mal kaybına ve can kaybına sebebiyet veren doğal afetin heyelan olduğu görülmektedir [3]. Afetlerden kaynaklanabilecek maddi ve manevi

Abstract

When examined in terms of the number of occurrences in our country, one of the natural disasters which we encounter frequently is landslides. slope, aspect, elevation, curvature, topographic wetness index, NDVI, annual total precipitation, proximity to fault lines, lithology and land use status parameters were used in the study. Parameters were correlated and analyzed with the landslide inventory map using the frequency ratio method, the weight of evidence method and the logistic regression method. landslide susceptibility maps were produced as a result of the analysis. The maps produced are divided into 5 classes as "very low, low, medium, high and very high". The ROC curve and AUC values were used to evaluate the performance of the models created as a result of the analysis, the compatibility of the old landslide events with the risk groups was examined in the evaluation of the model accuracy. As a result of the study, accuracy rates of 82.9% for the Frequency Ratio Method, 83.5% for the Weight of Evidence Method and 77.1% for the Logistic Regression Method were obtained.

Keywords: Landslide susceptibility map, Frequency ratio method, Weight of evidence method, Logistic regression method

kayıpların önüne geçmek için duyarlılık haritaları çok önemlidir. Heyelan duyarlılık haritaları, gelecekteki heyelanların tahmin edilmesinde ve arazi kullanım planlamasının sağlanmasında büyük önem taşımaktadır [4-5].

Bu çalışmayla arazi kullanımı, bakı, eğim, eğrisellik, tektonik unsura yakınlık, litoloji, bitki indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, yıllık yağış ve yükseklik parametreleri kullanılarak Frekans Oranı, Kanıt Ağırlığı ve Lojistik Regresyon yöntemleriyle elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının CBS tabanlı karşılaştırılması amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılık analizi sonucunda üretilen haritaların doğrulukları test edilmiştir. Çalışma sonucunda Frekans Oranı Yöntemi %82.9 oranında, Kanıt Ağırlığı Yöntemi %83.5 oranında ve Lojistik Regresyon Yöntemi %77.1 oranında doğruluk göstermiştir.

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: aslancihatbasara@gmail.com (A. C. Başara)

Geliş / Received: 30.01.2022 Kabul / Accepted: 12.04.2022 Yayınlanma / Published: 18.07.2022

doi: 10.28948/ngumuh.1065284

2 Metot

Heyelan duyarlılık haritaları, teknolojiye ve coğrafi bilgi sistemlerinde meydana gelen gelişmelerle bağlantılı olarak heyelan duyarlılık değerlendirilmesinde kullanılan başlıca yöntemler, niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır. Niceliksel yöntemler sınıfında yer alan istatistiksel yöntemler çalışmalarda yaygın kullanıma ve yüksek doğruluğa sahiptir [2,5,8,10]. Bu sınıflandırmada kullanılan envantere dayalı yöntemin, oluşturulan haritaları doğrulamada kullanılması ve değerlendirme çalışmalarına girdi oluşturması sebebiyle diğer bütün yöntemler için ilk adım olarak gerekli olduğu söylenebilir [6].

Çalışmadan anlamlı bir sonuç elde edilmesi için yöntem seçimi çok önemlidir. Bu nedenle bölgesel olarak değişim gösterebilen heyelanı etkileyen parametreleri en iyi irdeleyen yöntem belirlenmelidir. Daha önceden yapılmış çalışmalarda kullanılan yöntemlerin doğruluk oranları karşılaştırılmalıdır. Niceliksel yöntemler en çok kullanılan yöntemler arasında yer alır [7]. İstatistiksel analizler, geçmişte meydana gelmiş heyelan özelliklerinin farklı parametreler kullanarak analiz edilmesi ve değerlendirilmesini kapsamaktadır [8]. Konumsal analizlerin yapılabildiği Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin kullanımının artmasıyla bu yöntemlerin kullanımı da artmıştır [9]. CBS, nesnelerin coğrafi verilerinin toplanması, işlenmesi ve analizine imkan sağlar. Konumsal analizler ile verileri coğrafi bilgiye dönüştürmek ve coğrafi verileri görüntülemek, gündelik faaliyetlerin planlanmasına yardımcı olur [10-12].

Niceliksel yöntemlerin içerisinde yer alan istatistiksel yöntemler; iki değişkenli ve çok değişkenli parametre analizi olarak iki grupta toplanmaktadır. Çalışmalar uygulanan yöntem bakımından incelendiğinde; en fazla uygulanan analiz yöntemlerinin Frekans Oranı (FR), Kanıt Ağırlığı (WoE), Lojistik Regresyon (LR), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Destek Vektör Makinası (SVM) olduğu görülmektedir [13-14]. Bu çalışmada istatistiksel yöntemler arasında dünya genelinde yaygın kullanıma sahip FR, WoE Yöntemi ve LR yöntemleri kullanılmıştır.

2.1 Frekans oranı yöntemi (FR)

FR uygulanması ve anlaşılması kolay bir olasılık modeline sahip olması açısından çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir. FR yönteminin temeli yoğunluk analizine dayanmakta olup, temel prensibi dikkate alınacak tüm parametrelerin CBS ortamına aktarılıp, heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilerek, yoğunluk analizlerinin yapılması esasına dayanmaktadır [15]. FR yöntemi için heyelan duyarlılık analizi Denklem (1) ile hesaplanır.

$$FO = \frac{A1}{A2} \quad (1)$$

Bu eşitliğe göre FO, Frekans Oranı değerine; A1, parametre alt grubundaki heyelanlı alanların toplam heyelanlı alanlara oranına; A2, parametre alt grubundaki alanın toplam alana oranına karşılık gelmektedir.

Yöntem her bir parametre alt grubu için hesaplanan FR değerlerinin normalleştirme ve parametre haritalarına atanmasıyla oluşturulan yeni parametre haritalarının birbirleri ile toplanmasıyla heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasına dayanmaktadır. FR yöntemine göre değerin >1 olması, heyelan oluşumunda daha etkin olduğunu, <1 olması heyelan oluşumunda daha az etkiye sahip olduğu anlamına gelmektedir. Heyelan duyarlılık indeksi ise Denklem (2) ile hesaplanır.

$$LSI = \sum FO \quad (1)$$

Bu eşitliğe göre LSI, Landslide Susceptibility Index (Heyelan Duyarlılık İndeksi); ΣFO, dikkate alınan alandaki her bir parametre sınıfı için hesaplanan FR değerlerinin matematiksel toplamını ifade etmektedir [15].

2.2 Kanıt ağırlığı yöntemi (WoE)

Kanıt Ağırlığı (WoE) yöntemi istatistiksel yöntemlerden olup, ilk olarak maden araştırmalarında kullanılmıştır ve bu yöntemle yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır [16-20]. WoE yöntemi Bayes olasılık teoreminin log-linear biçimine dayanmaktadır. Bu teorem, bir olayın gerçekleşme olasılığı ile ilgili öncül olasılık beklentilerinin, olayın gerçekleşmesi durumunda elde edilen yeni bilgilerle güncelleştirilerek, soncul olasılıkların bulunmasını sağlayan bir olasılık teoremidir [16].

Bu çalışmada, heyelanı etkileyen faktörlerin alt kategorilerinin ağırlıkları Denklem (3-5) kullanılarak hesaplanır [19-21].

$$(W+) = \ln[(A1/(A1 + A2))/(A3/(A3 + A4))] \quad (3)$$

$$(W-) = \ln[(A2/(A1 + A2))/(A4/(A3 + A4))] \quad (4)$$

$$C = (W+) - (W-) \quad (5)$$

Bu eşitliklere göre A1, seçilen bir alt kategorideki heyelanlı alanları; A2, seçilen kategori dışındaki toplam heyelanlı alanları; A3, seçilen kategorideki heyelansız alanları; A4, seçilen kategori dışındaki toplam heyelansız alanları; A1+A2, toplam heyelanlı alanları; A3+A4, çalışma alanındaki toplam heyelansız alanları, C ise ağırlıkların farkını ifade etmektedir [20]. C heyelan olayı ile tahmin değişkeni arasındaki nihai konumsal ilişkiyi gösterir. Sıfıra eşit bir fark değeri heyelana neden olan faktörün alt kategorisinin analiz için önemli olmadığını gösterirken. pozitif ya da negatif fark ise pozitif ya da negatif bir konumsal ilişkiyi göstermektedir.

2.3 Lojistik regresyon yöntemi (LR)

Heyelan duyarlılığını modellemek için kullanılan Lojistik Regresyon (LR) olasılıklı istatistiksel bir yöntemdir. LR yönteminde sınıflandırılmış bağımlı bir değişken ile birden çok bağımsız değişken arasındaki ilişki belirlenir. LR yönteminin en avantajlı yönü diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin gerektirdiği varsayımsal kabullenmeleri dikkate almaması ve daha az teorik varsayım gerektirmesidir [22].

LR'nin temel ilkesi, 0-1 ya da yanlış-doğru gibi ikili değişkenlerle ölçülen sonuçlarda, bir veya daha fazla bağımsız faktörün analiz edilmesine dayanır. Geleneksel

heyelan olma ihtimallerinin birbirine yakın olması durumunda yamaç eğiminin çalışma yapılacak alanlarda etkili bir parametre olmadığını da göstermiştir [21].

Eğim haritasının üretilmesinde, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “https://earthexplorer.usgs.gov/” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Slope” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir. Çalışma alanında Eğim parametresi 6 alt sınıfta incelenmiştir. (Tablo 3, Şekil 2).

Tablo 3. Eğim sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
0 – 2 derece	1 730,037	17.81%
2 – 5 derece	1 284,435	13.23%
5 – 10 derece	1 896,264	19.53%
10 – 15 derece	1 682,291	17.32%
15 – 20 derece	1 386,938	14.28%
20 – 71 derece	1 731,387	17.83%

3.2 Litoloji

Litoloji, kohezyon denilen cisimlerin suya yapışma oranı ile yamacın duraylılığını etkileyen çok fazla öneme sahip olan parametrelerden biridir. Malzemelerin dayanım, geçirimsizlik, sertlik gibi çeşitli özellikleri ile ilişkilidir [26-27]. Heyelanlar, litolojik çeşitliliklerin gözlemlendiği alanlarda daha fazla meydana gelmektedir [28].

Litoloji haritasının üretilmesi için gerekli veriler “https://orrbodies.com/” adresinden indirilmiştir. Türkiye’ye ait veriler ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde bulunan “Analysis Tools-> Extract -> Clip” işlemi uygulanarak çalışma alanına uygun olacak şekilde kırılmış ve Samsun iline ait vektör veri üretilmiştir. Üretilen veriler litolojik kodlarına göre haritalanmıştır. Çalışma alanında Litoloji parametresi 12 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 4, Şekil 3).

Tablo 4. Litoloji sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
Üst Kretase	4 637,472	48.10%
Mesozoyik	219,632	2.28%
Kuvaterner	1,009	0.01%
Jura	333,797	3.46%
Neojen	573,219	5.95%
Eosen	1 336,226	13.86%
Permiyen	9,952	0.10%
Oligosen	20,746	0.22%
Holosen	1 612,706	16.73%
Pleyistosen	25,046	0.26%
Kretase	85,272	0.88%
Diğer	786,211	8.15%

3.3 Bakı

Bakı (Yamaç eğim açısı), arazi yüzeyinin güneş ışınlarını almasına göre yönünü gösteren parametredir. Yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yöndür [8]. Çalışmacılar bakı kavramının heyelanın meydana

gelmesinde etkili bir parametre olduğunu, yamacın nem tutmasının ve bitki örtüsünün bakı tarafından denetlendiğini belirtmektedir [29].

Bakı haritasının üretilmesinde, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “https://earthexplorer.usgs.gov/” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Aspect” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir. Çalışma alanında Bakı parametresi 3 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 5, Şekil 4).

Tablo 5. Bakı sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
Kuzey	3 297,772	33.96%
Düz	3 280,286	33.78%
Güney	3 133,295	32.26%

3.4 Yükseklik

Rüzgar, dalga, gel-git, ısı değişimi, akıntılar gibi dış bozucu etkilerden arınmış olarak düşünülen ortalama okyanus yüzeyinden ve bunun karalar altından da devam ettiği varsayımıyla oluşan kapalı denge yüzeyine jeoid adı verilir. Yeryüzündeki herhangi bir noktanın çekül doğrultusu boyunca jeoide olan uzaklığına ortometrik yükseklik denir ve pratikte kullanılan yükseklik kavramına denk gelir [30-31].

Yüksekliğin, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında en fazla kullanılan parametre olmasına karşı, litolojik yapı, bitki örtüsü, eğim durumu ve bakı gibi diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmesi gereklidir [2].

Araştırmacılar çok yüksek yamaçlarda bulunan birimlerin, genelde kayaç tipi malzemelerden meydana geldiğini ve alçak yamaçlarda bulunan malzemelere kıyasla heyelan olaylarına karşı daha düşük duyarlılığa sahip olduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca, orta yükseklikte bulunan yamaçlarda, yüksek yamaçlardan gelmiş olan malzeme sebebiyle meydana gelecek toprak örtüsünün heyelan olaylarına karşı duyarlılığı arttıracağını, çok düşük yüksekliklerdeki yamaçlarda ise heyelan olaylarına karşı duyarlılığın daha az olacağını belirtmişlerdir [32-33].

Yükseklik haritasının üretilmesinde, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “https://earthexplorer.usgs.gov/” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisi yükselti değerleri belirgin olacak şekilde renklendirilmiştir. Çalışma alanında Yükseklik parametresi beş alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 6, Şekil 5).

Tablo 6. Yükseklik sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
-27 – 100 m	2 055,003	21.13%
100 – 400 m	1 730,900	17.80%
400 – 700 m	2 295,427	23.60%
700 – 1000 m	2 660,269	27.36%
1000 – 1982 m	982,916	10.11%

3.5 Arazi kullanımı

Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde bazen pozitif bazen negatif etkileri olmaktadır. Özellikle büyük ve güçlü köklere sahip bitkilerin yoğun olduğu yerlerde yamaç duraylılığını pozitif etkilediği görüşü yaygındır. Bitkiler yaprakları aracılığıyla suyu emmekte ve buharlaştırarak, yağışın süzülme etkisini düşürmektedir ayrıca bitkinin kök ve gövdeleri zemin yüzeyinin geçirgenliğini yükselterek, yüzeyde bulunan suyun zemin içerisine direkt olarak geçebilmesinin önünü açmaktadır [34]. Arazi kullanımı parametresinde; yerleşim alanları, ormanlık alanlar, tarım alanları, seyrek ve yoğun bitki örtüsü içeren alanlar gibi alanların heyelanlarla olan bağlantısı değerlendirilmiştir.

Arazi Kullanımı haritasının üretilmesi için gerekli veriler “<https://land.copernicus.eu/>” adresinden “ESRI Geodatabase” formatında vektör biçimde indirilmiştir. Veriler 2018 yılına ait olup tüm Avrupa ülkelerini içermektedir. Veriler ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde bulunan “Analysis Tools-> Extract -> Clip” işlemi uygulanarak çalışma alanına uygun olacak şekilde kırılmış ve CORINE arazi örtüsü sınıfları standardına göre renklendirilmiştir. Çalışma alanında Arazi Kullanımı parametresi 11 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 7, Şekil 6).

Tablo 7. Arazi kullanımı sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
100 - Yerleşim Yerleri	194,336	2.00%
211 - Susuz Tarım Alanları	1 375,378	14.14%
212 - Sulu Tarım Alanları	536,893	5.52%
213 - Çeltik Tarlaları	39,308	0.40%
222 - Meyve Bahçeleri	581,342	5.98%
231 - Mera Alanları	88,493	0.91%
240 - Karışık Tarım Alanları	2 460,672	25.30%
310 - Orman Alanları	3 899,160	40.10%
330 - Kumsal Ve Kayalıklar	239,655	2.46%
400 - Bataklık Ve Tuz Sahaları	98,632	1.01%
500 - Su Kütleleri	210,677	2.17%

3.6 Eğrisellik

Eğrisellik parametresi, çoğunlukla arazi yüzeyiyle bir düzlemin kesişimi sonucu oluşan bir hattın ikinci türevinin alınmasıyla belirlenmektedir [35]. Geleneksel olarak yamaç eğriselliği; pozitif (+) ise dışbükey yamaç, negatif (-) ise içbükey yamaç, sıfır (0) değeri ise düz yamaç olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Yaygın görüş; iç bükey olan yamaçlarda genellikle dairesel kayma türü heyelanların, dış bükey yamaçlarda ise akma türü heyelanların oluştuğu yönündedir [36].

Eğrisellik haritasının üretilmesinde, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır.

Veriler “<https://earthexplorer.usgs.gov/>” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Curvature” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir. Çalışma alanında Eğrisellik parametresi 3 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 8, Şekil 7).

Tablo 8. Eğrisellik sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
İç Bükey Yamaç	3 118,244	32.07%
Düz	3 366,546	34.62%
Dış Bükey Yamaç	3 239,726	33.32%

3.7 Tektonik unsura yakınlık

Tektonik unsurlara yakın mesafelerde daha fazla heyelan oluşmasının nedeni, depremlerin malzemeyi zayıflatmasıdır. Tektonik unsurlara yakınlık parametresi kullanırken, farklı yakınlıklar dikkate alınarak, birden fazla tampon bölge oluşturulmalıdır [37].

Fay Hatları haritasının üretilmesi için gerekli veriler ATAG’ın (Aktif Tektonik Araştırma Grubu) “<https://atag.itu.edu.tr/>” internet adresinden temin edilmiştir. Türkiye’ye ait veriler ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde bulunan “Analysis Tools-> Extract -> Clip” işlemi uygulanarak çalışma alanına uygun olacak şekilde kırılmış ve Samsun iline ait vektör veri üretilmiştir. Fay verilerine tampon analizi yapılarak, çalışma alanında Tektonik Unsura Yakınlık parametresi 5 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 9, Şekil 8).

Tablo 9. Tektonik unsur sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
0 – 1 km	676,635	6.96%
1 - 2,5 km	671,933	6.91%
2,5 – 5 km	834,976	8.59%
5 – 10 km	1 705,980	17.54%
10+ km	5 835,115	60.00%

3.8 Bitki indeksi (NDVI)

Bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisi ile ilgili olarak araştırmacılar arasında farklı görüşler mevcut olup, genellikle bitki örtüsünün hem olumlu, hem de olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir Bitki örtüsü değerlendirmesinde -1 ile +1 arasında değişen bitki indeksi (NDVI -Normalized Difference Vegetation Index) değerleri haritası üretilerek değerlendirmeler yapılır. NDVI değerinde, negatif değerler çoğunlukla çıplak / kayalık alanları, 1’e yakın pozitif değerler ise sağlıklı bitki örtüsünü ifade eder [38].

Bitki İndeksi haritasının üretilmesinde, 30 metre çözünürlüğe sahip (Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1) uydu görüntüsü verileri kullanılmıştır. Veriler “<https://earthexplorer.usgs.gov/>” internet adresinden temin edilmiştir. Haritanın üretilmesi için gerekli Band4 ve Band5 verileri ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde

bulunan “Spatial Analyst Tools-> Map Algebra -> Raster Calculator” kısmından “float(Band5-Band4) / float(Band5+Band4)” işlemi uygulanarak üretilmiştir. Çalışma alanında Bitki İndeksi parametresi 3 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 10, Şekil 9).

Tablo 10. NDVI sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
Zayıf Bitki Örtüsü	352,168	3.62%
Geçiş Alanı	3 625,509	37.28%
Güçlü Bitki Örtüsü	5 746,826	59.10%

3.9 Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI)

Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritaları, yüzey akış modeline bağlı olarak üretilen ve bir alanın bağlı nemliliğine bakarak ne kadar ıslak olduğunu gösteren verilere sahiptir. Eğime bağlı olarak yamaçlardaki su muhtevasının artma ihtimalinin ve dolayısıyla suya doygun, kaymaya karşı duyarlı hale gelen zeminlerin belirlenmesinde bir değerlendirme parametresidir. Yüksek TWI değerleri, suyun birikerek heyelan oluşumuna karşı duyarlı hale geldiği yerlerdir [2].

Topoğrafik Nemlilik Haritasının üretilmesinde, 25 metre çözünürlüğe sahip (SRTM 1 Arc-Second Global) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinden yararlanılmıştır. Veriler “https://earthexplorer.usgs.gov/” internet adresinden temin edilmiştir. SYM verisine ArcMap uygulamasının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Hydrology -> Flow Direction -> Flow Accumulation” işlemleri ve “Spatial Analyst Tools -> Surface -> Slope” işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler “Raster Calculator” yardımıyla işlenmiş ve harita üretilmiştir. Çalışma alanında Topoğrafik Nemlilik İndeksi parametresi 7 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 11, Şekil 10).

Tablo 11. TWI Sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
2,37 - 5,12	1 325,817	13.65%
5,12 - 5,72	1 499,493	15.44%
5,72 - 6,23	1 432,049	14.75%
6,23 - 6,83	1 497,107	15.42%
6,83 - 7,52	1 381,274	14.22%
7,52 - 8,72	1 320,621	13.60%
8,72 - 24,26	1 255,045	12.92%

3.10 Yıllık yağış

Heyelanların oluşmasındaki en önemli parametrelerden birinin yağış olduğu bilinmektedir. Ayrıca şiddetli yağışlar volkanik birimlerin ayrışma derecelerinin çok fazla olmasından dolayı, ayrışmış malzemenin su içeriğini artırmakta ve heyelan oluşumunu hızlandırmaktadır [39].

Yıllık Yağış haritasının üretilmesi için gerekli veriler “http://tr.climate-data.org/” adresinden temin edilmiştir. Çalışmada Samsun ilinin 17 ilçesine ve 30 farklı lokasyona ait yıllık ortalama toplam yağış miktarı verileri

kullanılmıştır. ArcMap programıyla ArcToolbox menüsünde bulunan “Geostatistical Analyst Tools-> Interpolation -> IDW” işlemi uygulanarak harita üretilmiştir. Çalışma alanında Yıllık Yağış parametresi 5 alt sınıfta incelenmiştir (Tablo 12, Şekil 11).

Tablo 12. Yıllık yağış sınıflarının alansal dağılımı

Sınıflar	Toplam Alan (km ²)	Yüzdelik Dilim
448 – 500 mm	804,730	8.30%
500 – 575 mm	3 010,807	31.05%
575 – 650 mm	1 452,067	14.97%
650 – 725 mm	2 666,217	27.49%
725 – 919 mm	1 763,693	18.19%

3.11 Heyelan envanteri

Heyelan envanteri, bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, aktivitesi ve fiziksel özellikleri gibi konulara ilişkin bilgileri içeren veri topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yapılacak ilk aşama geçmişte olmuş olan heyelanlar hakkında bilgi edinmektir. Çünkü, gelecekte olabilecek heyelanların geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır [40].

Bu bilgilerden de yola çıkarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) bünyesinde kayıtlı 01.01.1950-01.08.2020 yıllarını kapsayan heyelan verilerinden yararlanılarak çalışma alanına ait Heyelan Envanter Haritası oluşturulmuş ve Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 2. Eğim haritası



Şekil 3. Litoloji haritası



Şekil 4. Bakı haritası



Şekil 8. Tektonik unsura yakınlık haritası



Şekil 5. Yükseklik haritası



Şekil 9. NDVI haritası



Şekil 6. Arazi kullanımı haritası



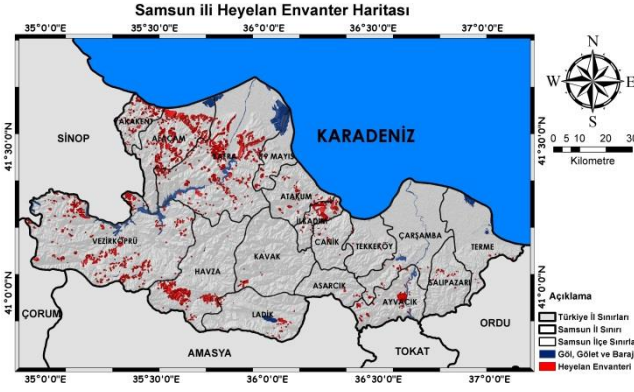
Şekil 10. TWI haritası



Şekil 7. Eğrisellik haritası



Şekil 11. Yıllık yağış haritası



Şekil 12. Heyelan envanter haritası

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesini anlatan iş akışı Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. İş akışı

4 Bulgular

4.1 FR Yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretimi

FR yönteminin uygulanması için çalışma bölgesinde seçilen 10 parametre ve alt sınıfları incelenmiştir. Yönteme ilişkin parametre verileri ArcGIS yazılımının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Zonal -> Tabulated Area” işlemi kullanılarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler yönteme uygun olarak işlenmiş ve Tablo 13'te verilmiştir.

FR değerleri hesaplanan parametre alt sınıfları, parametrelerin birbirlerine göre heyelanı etkileme öncelikleri dikkate alınmadan eşit ağırlıklı olarak ArcGIS programıyla Ağırlıklı Çakıştırma işlemi uygulanarak işlenmiş ve Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere “Natural Breaks” sınıflandırma işlemi uygulanarak 5 sınıfta yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 14).

4.2 WoE yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretimi

WoE yönteminin uygulanması için çalışma bölgesinde seçilen 10 parametre ve alt sınıfları incelenmiştir. Yönteme ilişkin parametre verileri ArcGIS yazılımının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Zonal -> Tabulated Area” işlemi kullanılarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler yönteme uygun olarak işlenmiş ve Tablo 13'te verilmiştir.

WoE değerleri hesaplanan parametre alt sınıfları, parametrelerin birbirlerine göre heyelanı etkileme öncelikleri dikkate alınmadan eşit ağırlıklı olarak ArcGIS programıyla Ağırlıklı Çakıştırma işlemi uygulanarak işlenmiş ve Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere “Natural Breaks” sınıf ayırma yöntemiyle 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 15).

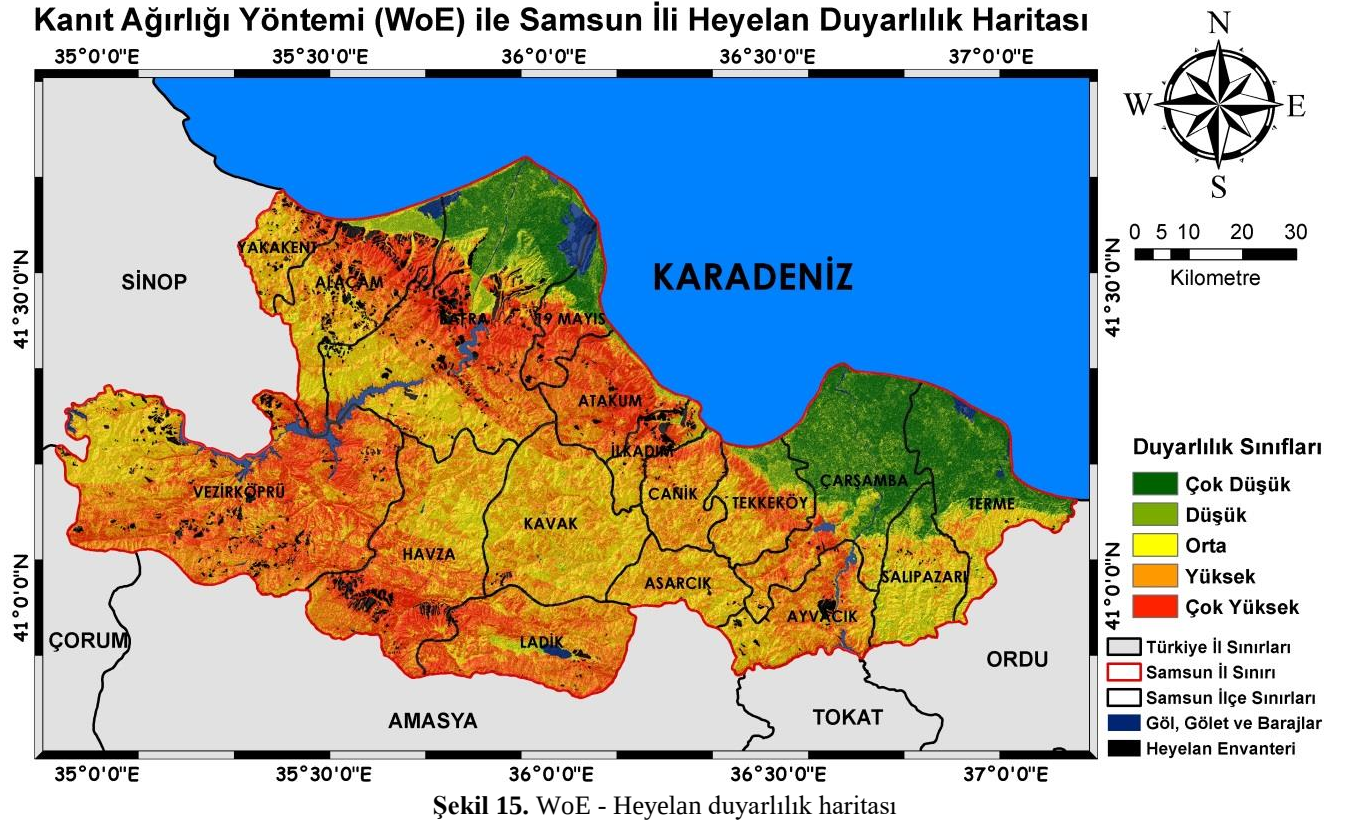
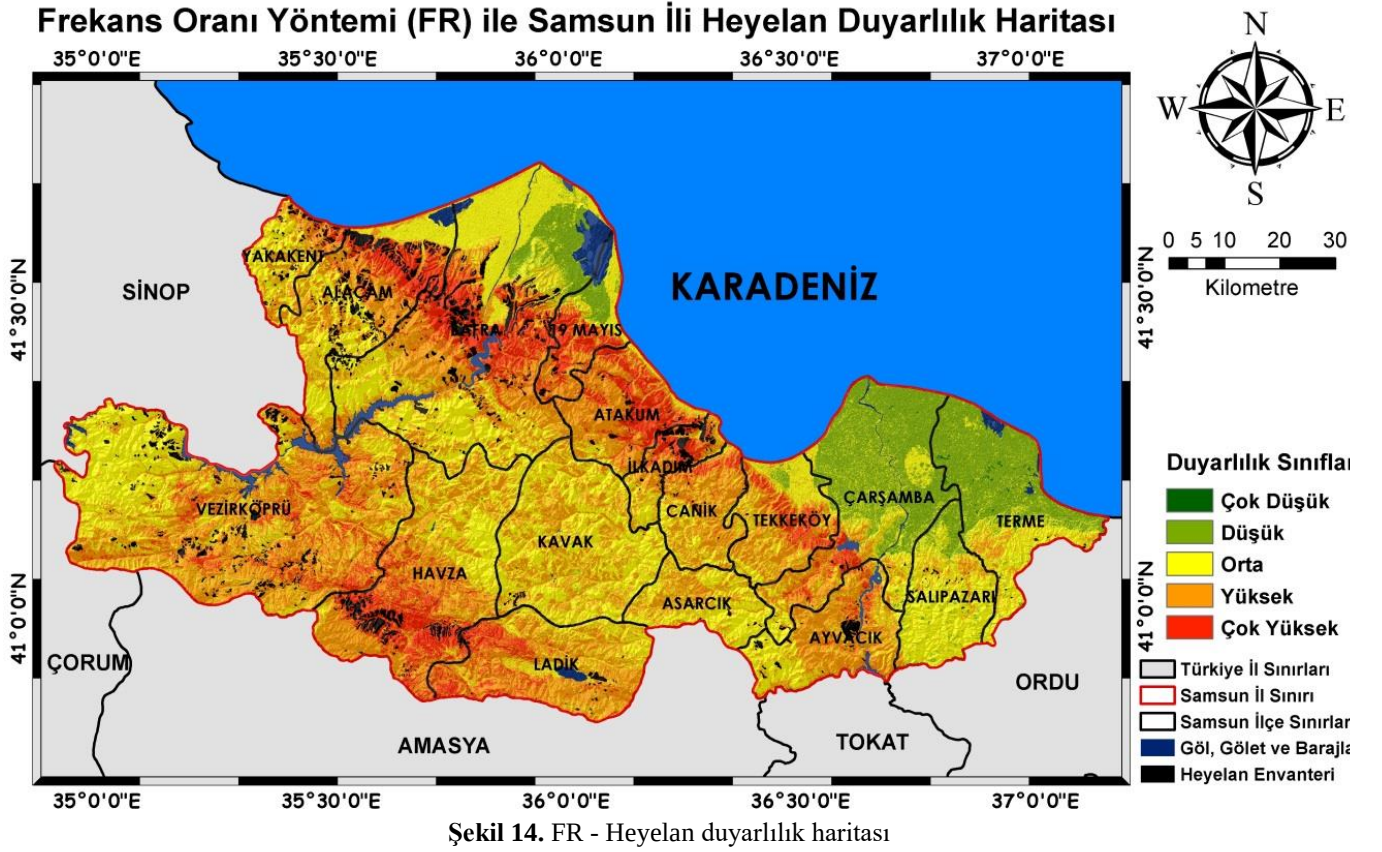
4.3 LR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretimi

LR yönteminin uygulanması için çalışma bölgesinde seçilen 10 parametre incelenmiş, parametrelere ait alt sınıflar için ise WoE yöntemi için hesaplanan veriler kullanılmıştır. Lojistik Regresyon yöntemine ilişkin parametre verileri ArcGIS yazılımının ArcToolbox menüsünde yer alan “Spatial Analyst Tools -> Zonal -> Tabulated Area” işlemi kullanılarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler Minitab yazılımı kullanılarak yönteme uygun olarak işlenmiş ve Tablo 13'te verilmiştir.

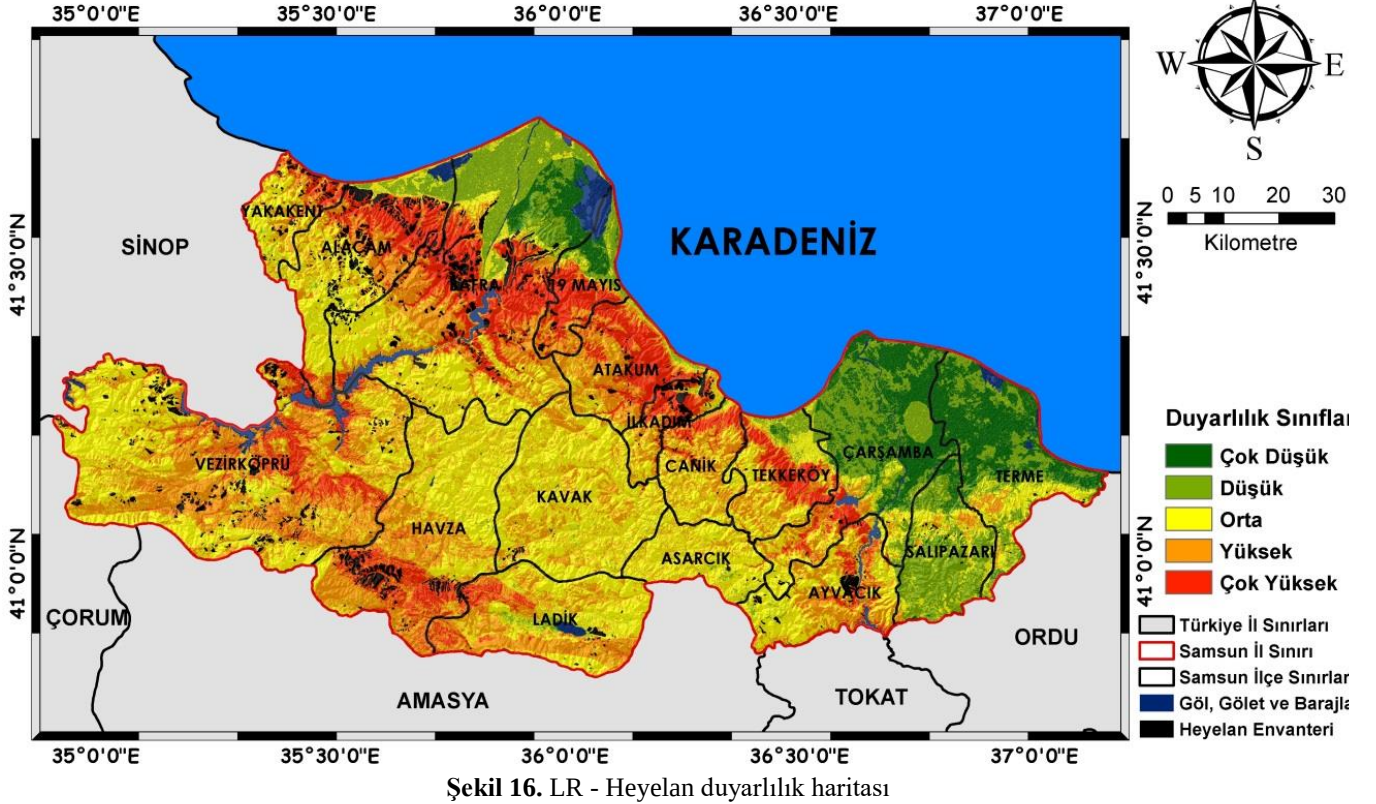
Lojistik regresyon yöntemine ait katsayıları hesaplanan parametreler, ArcGIS programıyla Raster Hesaplayıcı kullanılarak işlenmiş ve Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere “Natural Breaks” sınıf ayırma yöntemiyle 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 16).

Tablo 13. Analiz verileri (FR, WoE, LR)

Parametre	Alt Sınıf	FR	WoE	LR
Regresyon Sabiti				-3.3247
Yükseklik	-27 - 100	0.623	-0.589	0.05778
	100 - 400	1.866	0.875	
	400 - 700	0.915	-0.119	
	700 - 1000	0.895	-0.155	
	1000 - 1982	0.744	-0.335	
Eğim	0 - 2	0.166	-2.000	0.1592
	2 - 5	1.117	0.135	
	5 - 10	1.758	0.806	
	10 - 15	1.251	0.290	
	15 - 20	0.988	-0.015	
	20 - 71	0.682	-0.466	
Bakı	Kuzey	1.246	0.371	0.01678
	Düz	0.696	-0.525	
	Güney	1.059	0.089	
Bitki İndeksi	Zayıf Bitki Örtüsü	0.611	-0.524	-0.1034
	Geçiş Alanı	1.169	0.273	
	Güçlü Bitki Örtüsü	0.917	-0.208	
Yıllık Yağış	448 - 500	1.508	0.480	0.2699
	500 - 575	0.692	-0.516	
	575 - 650	0.985	-0.019	
	650 - 725	1.780	0.970	
	725- 919	0.128	-2.273	
Topoğrafik Nemlilik İndeksi	2.37 - 5.12	0.845	-0.199	-0.01743
	5.12 - 5.72	1.066	0.079	
	5.72 - 6.23	1.140	0.163	
	6.23 - 6.83	1.087	0.104	
	6.83 - 7.52	0.935	-0.081	
	7.52 - 8.72	0.952	-0.059	
	8.72 - 24.26	0.942	-0.071	
Eğrisellik	İç Bükey Yamaç	1.072	0.108	0.00455
	Düz	0.950	-0.080	
	Dış Bükey Yamaç	0.983	-0.027	
Arazi Kullanımı	100 - Yerleşim Yerleri	0.817	-0.214	0.23356
	211 - Susuz Tarım Alanları	1.825	0.787	
	212 - Sulu Tarım Alanları	0.375	-1.042	
	213 - Çeltik Tarlaları	0.000	-14.286	
	222 - Meyve Bahçeleri	0.239	-1.513	
	231 - Mera Alanları	0.615	-0.506	
	240 - Karışık Tarım Alanı	1.503	0.622	
	310 - Orman Alanları	0.614	-0.744	
	330 - Kumsal ve Kayalık	2.187	0.864	
	400 – Bataklık. Tuz Sahası	0.000	-15.213	
Litoloji	500 – Su Kütleleri	0.213	-1.598	0.2623
	Üst Kretase	0.772	-0.468	
	Mesozoyik	1.645	0.540	
	Kuvaterner	9.748	2.721	
	Jura	0.707	-0.370	
	Neojen	2.706	1.186	
	Eosen	1.653	0.645	
	Permıyen	0.000	-12.918	
	Oligosen	5.907	2.011	
	Holosen	0.254	-1.547	
Tektonik Unsuru Yakınlık	Pleyistosen	1.120	0.119	0.09523
	Kretase	1.418	0.370	
	Diğer	1.287	0.291	
	0 - 1	2.361	1.027	
	1 - 2.5	1.973	0.798	
	2.5 - 5	1.629	0.577	0.09523
	5 - 10	1.137	0.164	
	10+	0.600	-1.021	



Lojistik Regresyon Yöntemi (LR) ile Samsun İli Heyelan Duyarlılık Haritası



Şekil 16. LR - Heyelan duyarlılık haritası

5 Tartışma

5.1 Model performanslarının irdelenmesi

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmelerinde hata matrislerinden faydalanılmaktadır [41]. ROC eğrileri model performansını test etmek için birçok alanda uygulanır. ROC eğrileri ile iki sınıf arasındaki ayrımı ve sınıflandırıcının performansını görselleştirmek mümkündür [42]. ROC eğrileri analizlerde test ve eğitim verilerinden faydalanan ve işlemlerde ayırt ediciliği göstermekle beraber, farklı modellerin performans açısından karşılaştırılmasında, eğri altında kalan alana (AUC) gereksinim olur. AUC bir olayın meydana gelme ya da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir [38]. AUC değerinin 1'e yakınlığı ideal durumu

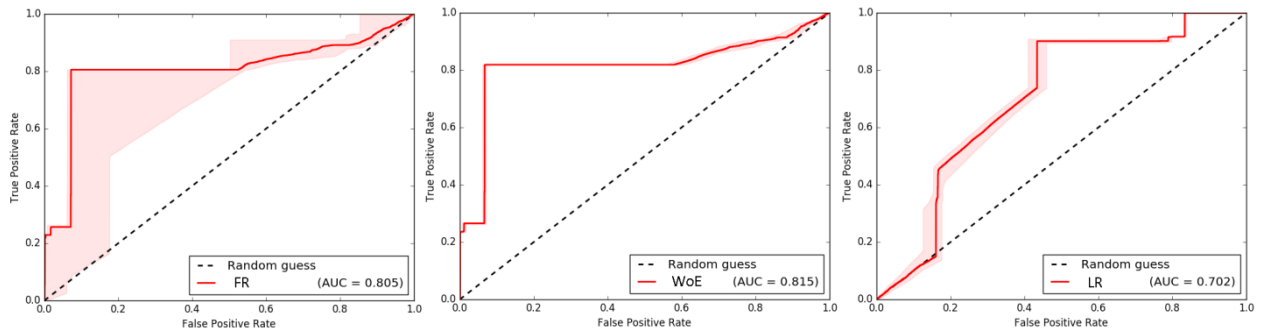
gösterirken, 0.5'e yakın bir değer ise söz konusu modelin performansının oldukça az olduğunu işaret etmektedir.

Model performanslarına ilişkin veriler Şekil 17'de verilmiştir.

5.2 Model doğruluklarının irdelenmesi

Heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer yöntem de genel doğruluk değeridir. Bu değer hesaplanması için üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılır. Bu işlem sonucunda eski heyelan olaylarının hangi heyelan duyarlılık sınıfından kaldığı alansal olarak incelenerek yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfından yer alan heyelan verileri doğruluğun belirlenmesinde kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının yüksek ve çok yüksek sınıfında kalan alanlar ise riskli alanlar olarak kabul edilmiştir.

Model doğruluklarına ilişkin veriler Tablo 14'te verilmiştir.



Şekil 17. Model performansları (FR, WoE, LR)

Tablo 14. Model Doğrulukları (FR, WoE, LR)

Duyarlılık Sınıfları	Heyelanlı Alan		
	FR	WoE	LR
Çok Düşük	%0.00	%0.24	%0.03
Düşük	%0.33	%2.03	%0.96
Orta	%16.76	%14.23	%21.96
Yüksek	%41.94	%30.30	%34.04
Çok Yüksek	%40.97	%53.20	%43.01
Doğruluk	%82.91	%83.50	%77.05

6 Sonuçlar

Samsun ili ve ilçelerini kapsayan 9376 km²'lik bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında daha önce meydana gelmiş heyelanlara ait Heyelan Envanter Haritası T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Seçilen parametreler heyelan envanter haritasıyla ilişkilendirilerek çalışmada kullanılan yöntemler ile analiz edilmiştir.

Heyelan Duyarlılık analizleri sonucunda üretilen haritalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1- Heyelan duyarlılık haritalarına ait model performansları ROC eğrisi kullanılarak incelendiğinde FR Yöntemi %80.5 oranında, WoE Yöntemi %81.5 oranında ve LR Yöntemi %70.2 oranında performans göstermiştir.

2- Heyelan duyarlılık haritalarına ait model doğrulukları heyelan envanter haritası ile karşılaştırma işlemi uygulanarak incelendiğinde FR Yöntemi %82.9 oranında, WoE Yöntemi %83.5 oranında ve LR Yöntemi %77.1 oranında doğruluk göstermiştir.

3- Modellerin performansları ve doğrulukları birlikte irdelendiğinde en uygun modelin WoE Yöntemi kullanılarak üretildiği tespit edilmiştir. Yöntem Türkiye'de gerçekleştirilen heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaması açısından da önemlidir.

4- Seçilen modele göre Samsun ilinin %11.36'sı çok düşük risk grubunda, %9.13'ü düşük risk grubunda, %22.43'ü orta risk grubunda, %32.63'ü yüksek risk grubunda ve %26.37'si çok yüksek risk grubunda bulunmaktadır.

5- Çalışmada kullanılan parametreler analiz sonucunda elde edilen 3 model (FR, WoE, LR) ile birlikte değerlendirilmiştir.

- Eğim parametresinin her 3 model de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin 5 – 10 derece aralığında olduğu görülmüştür.

- Litoloji parametresinin her 3 modelde de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin kuvaterner sınıfında olduğu görülmüştür.

- Bakı parametresinin her 3 modelde de çalışma alanının için anlamlı olduğu ancak kuzey ve güney yönelimli alanların risk değerlerinin birbirine yakın olması ayırt ediciliği düşürmüştür.

- Yükseklik parametresinin her 3 modelde de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin 100 – 400 metre aralığında olduğu görülmüştür.

- Arazi kullanımı parametresinin her 3 modelde de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin susuz tarım alanlarında olduğu görülmüştür.

- Eğrisellik parametresinin alt sınıfları incelendiğinde risk değerlerinin her 3 modelde de genel olarak birbirine yakın olması parametrenin ayırt ediciliğini düşürmüştür ve çalışma alanı için parametrenin uygun olmadığını göstermiştir.

- Tektonik unsura yakınlık parametresinin her 3 model de çalışma alanı için anlamlı olduğu ve en yüksek riskin 0 – 10 km aralığında olduğu 10 km üzerindeki alanlarda heyelanlara nadiren rastlandığı görülmüştür.

- NDVI parametresinin her 3 model de anlamlı olduğu ve en yüksek riskin zayıf bitki örtüsünden güçlü bitki örtüsüne geçiş alanlarında olduğu görülmüştür.

- TWI parametresi incelendiğinde nemlilik indeksi değerlerinin artış ve azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin her 3 modelde de olmayışı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

- Yıllık yağış parametresi incelendiğinde yağış değerlerinin artış ve azalışıyla risk değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin her 3 modelde de olmayışı parametrenin çalışma alanı için uygun olmadığını göstermiştir.

Elde edilen bütün sonuçlar ışığında insan yaşamını çok yakından ilgilendiren yerleşim alanları, okul alanları, sağlık tesisleri, alış-veriş merkezleri gibi konut alanlarının planlanmasında, ulaşımında kullanılan yolların planlanmasında, tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği arazilerinin planlanmasında, hayvancılık faaliyetlerinin gerçekleştirildiği mera alanlarının planlanmasında ve daha birçok planlama faaliyetinde bu çalışmayla oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının önemi yüksektir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üzerinde tehlike oluşturan sahalarda gerekli önlemlerin alınmasında ve yeni alt ve üst yapı tesislerinin belirlenmesinde altlık olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının doğru ve güncel olarak üretilmesi afet planlaması başta olmak üzere heyelan kaynaklı maddi ve manevi kayıpların önlenmesi amacıyla gerçekleştirilen planlama faaliyetleri açısından son derece önemlidir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken en önemli husus ise, bu haritaların güncel verilerle değişen şartlara göre yeniden üretilmesi gerekliliğidir.

Teşekkür

Bu çalışma Aslan Cihat Başara tarafından Yasemin Şişman danışmanlığında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanan yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %19

Kaynaklar

- [1] AFAD, Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2014.
- [2] A. C. Başara, İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve Konumsal Hassasiyetlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye, 2021.
- [3] B. Ildır, Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. 2nd National Landslide Symposium, Sakarya, Türkiye, Eylül 1995.
- [4] A. C. Başara and Y. Şişman, Landslide Susceptibility Mapping of Tokat (Turkey) Province Using Weight of Evidence and Random Forest. *Advanced GIS*, 1(1), 1-7, 2021.
- [5] R. Karagüzel, Y. Mahmutoglu, M. Erdoğan Topcuoglu, G. Şans and A. Dikbaş, Susceptibility mapping for sinkhole occurrence by GIS and SSI methods: A case study in Afsin-Elbistan coal basin. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(8), 1353-1359, 2020. <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.69812>.
- [6] B. Balaban, Gölpazarı (Bilecik) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [7] P. Aleotti and R. Chowdhury, Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44, 1999. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>.
- [8] S. Dağ, Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2007.
- [9] A. C. Başara, M. E. Tabar and Y. Şişman, Landslide Susceptibility Mapping of Samsun (Turkey) Province Using Frequency Ratio and AHP Methods. *Turkish Journal of Geographic Information Systems*, 3(1), 24-30, 2021.
- [10] A. Akgun and N. Türk, Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61(3), 595-611, 2010. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0373-1>.
- [11] M. Çeliker, O. Yıldız and N. N. Koçer, Evaluating solid waste landfill site selection using multi-criteria decision analysis and geographic information systems in the city of Elazığ, Turkey. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 683-691, 2019. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.70493>.
- [12] M. Uyan, Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351, 2017. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.59489>.
- [13] Ç. Tetik Biçer, Heyelan Risk Haritalaması Üzerine Yarı Sayısal Bir Değerlendirme. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2017.
- [14] E. Akyol, M. Alkan and H. Akgündüz, Determining Settlement Suitability by Geographic Information Systems and Analytical Hierarchy Process. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (6) , 254-259, 2016. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.40412>.
- [15] S. Lee and J. A. Talib, Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental geology*, 47(7), 982-990, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1228-z>.
- [16] G. F. Bonham Carter, F. P. Agterberg and D. F. Wright, Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 54(11), 1585-1592, 1988.
- [17] W. Chen, W. Li, E. Hou, Z. Zhao, N. Deng, H. Bai and D. Wang, Landslide susceptibility mapping based on GIS and information value model for the Chencang District of Baoji, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(11), 4499-4511, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1369-z>.
- [18] S. Doğan, H. Akıncı ve C. Kılıçoğlu, Bayes olasılık teoremi kullanılarak Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 2012.
- [19] A. Ozdemir and T. Altural, A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.12.014>.
- [20] N. R. Regmi, J. R. Giardino and J. D. Vitek, Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1-2), 172-187, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.10.002>.
- [21] C. J. Van Westen, N. Rengers and R. Soeters, Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30(3), 399-419, 2003. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007097.42735.9e>.
- [22] M. Ercanoglu and F. Temiz, Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 949-964, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0912-4>.
- [23] H. Tatlıdil, Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz. Türkiye, Akademi Matbaası, Ankara, 1996.
- [24] J. Eastman, Idrisi Taiga, guide to GIS and image processing, user’s guide (Ver. 15). Press Clark University, Worcester, USA, 328, 2009.
- [25] R. L. Ott and M. Longnecker, An introduction to statistical methods and data analysis. 5th ed. Belmont, California, USA, Duxbury Press, 2001.

- [26] C. Baeza and J. Corominas, Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26(12), 1251-1263, 2001. <https://doi.org/10.1002/esp.263> .
- [27] J. Remondo, A. González, J. R. D. De Terán, A. Cendrero, A. Fabbri and C. J. F. Chung, Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in Northern Spain. *Natural Hazards*, 30(3), 437-449, 2003. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007201.80743.fc> .
- [28] M. Komac, A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1-4), 17-28, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.005> .
- [29] F. C. Dai and C. F. Lee, Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3) .
- [30] W. Torge, *Geodesy*. Berlin, Germany, Walter de Gruyter, 1991.
- [31] P. Vanicek and E. Krakiwsky, *Geodesy: The Concepts*. Amsterdam, Netherlands, North Holland Publ. Company, 1982.
- [32] D. Caniani, S. Pascale, F. Sdao and A. Sole, Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. *Natural Hazards*, 45(1), 55-72, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9169-3> .
- [33] P. V. Gorsevski and P. Jankowski, Discerning landslide susceptibility using rough sets. *Computers, environment and urban systems*, 32(1), 53-65, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2007.04.001> .
- [34] C. Gökçeoğlu ve M. Ercanoğlu, Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri Dergisi*, 22(23), 189-206, 2001.
- [35] S. Lainas, N. Sabatakakis and G. Koukis, Rainfall thresholds for possible landslide initiation in wildfire-affected areas of western Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 75(3), 883-896, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0762-5> .
- [36] J. P. Wilson and J. C. Gallant, *Terrain analysis: principles and applications*. USA, John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [37] D. J. Wachal and P. F. Hudak, Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal*, 51(3), 245-253, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1017524604463> .
- [38] J. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell and D. W. Deering, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351(1974), 309, 1974.
- [39] R. Selçuk, T. Bayrak, A. Yalçın, M. Atasoy, R. Nişancı ve S. Ekercin, Rize Bölgesinde Yağış Heyelan İlişkisi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (99), 5-9, 2008.
- [40] D. J. Varnes, *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Paris, France, United Nations, 1984.
- [41] K. Şahin, Heyelan duyarlılık haritası için adımsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Dergisi*, 159, 1-15, 2018.
- [42] J. A. Swets, Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293, 1988. <https://doi.org/10.1126/science.3287615> .

