



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Pro Suitability Model ile Yalova-Çınarcık Bölgesinin Heyelan Duyarlılık Analizi

Zeliha TAŞ^{a,*}, Özkan CORUK^b

^a Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tasszeliha@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1265598

Öz

Bu çalışmada Türkiye'nin batısında yer alan Yalova-Çınarcık bölgesinde, yaklaşık 11 km² olan inceleme alanında heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bölgede geniş yayımlı 20 heyelan bölgesi incelenmiştir. Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Pro Uygunluk Modeli ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Verilerin %80'i analiz, %20'si test için kullanılmıştır. Analizin doğruluğunu test etmek için Alıcı İşletim Karakteristik (Receiver Operating Characteristic-ROC) eğrisi ve Eğrinin Altında Kalan Alan (Area Under the Curve-AUC) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %5,41'i çok düşük, %10,32'si düşük, %31,22'si orta, %24,98'i yüksek ve %28,05'i çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfındadır ve AUC sonucu ise %78,8'dir. Frekans Oranı için ise inceleme alanının %30,8'i çok düşük, %14,48'i düşük, %4,5'i orta, %24,02'si yüksek ve %26,2'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında olup AUC sonucu %64,4'tür. ArcGIS Pro Uygunluk Modeli için ise %4,42'si çok düşük, %20,57'si düşük, %27,9'u orta, %23,42'si yüksek ve %23,67'si çok yüksek ve AUC değeri %69,7'dir. Bu çalışmada elde edilen duyarlılık analizi verileri ile yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındaki bölgeler için gerekli önlemlerin ve bölgede yapılacak arazi planlaması için bu sonuçların dikkate alınması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan Duyarlılık Haritası, Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı, ArcGIS Pro Suitability Modeli, Yalova, Çınarcık

Landslide Susceptibility Analysis of Yalova-Çınarcık Region with Logistic Regression, Frequency Ratio, and ArcGIS Pro Suitability Model

ABSTRACT

In this study, landslide susceptibility analysis was carried out approximately 11 km² in Yalova-Çınarcık region, which is located in the west of Turkey. 20 landslide areas that are spread were examined. Landslide susceptibility analysis was performed with Logistic Regression, Frequency Ratio and ArcGIS Pro Suitability Model. 80% of the data was used for analysis and 20% for testing. The Receiver Operating Characteristic (ROC) curve and Area Under Curve (AUC) were used to test the accuracy of the analysis. As a result of the analysis, in the study area, according to the Logistic Regression method, 5,41% very low, 10,32% is low, 31,22% is medium, 24,98% is high and 28,05% is very high landslide susceptibility classes and AUC result is 78,8%. Frequency Ratio, 30,8% very low, 14,48% low, 4,5% medium, 24,02% high, and 26,2% very high landslide susceptibility classes and the AUC result was 64,4%. ArcGIS Pro Suitability Model, 4,42% very low, 20,57% low, 27,9% medium, 23,42% high, and 23,67% very high landslide susceptibility classes and AUC of 69,7%. According to the result of this landslide susceptibility analysis, it is recommended to take the necessary precautions for the regions that are in high and very high susceptibility classes and to consider these results for the land planning to be made in the region.

Keywords: Landslide Susceptibility Mapping, Logistic Regression, Frequency Ratio, ArcGIS Pro Suitability Model, Yalova, Çınarcık

I. GİRİŞ

İnsanlığın ilk zamanlarından beri, insan doğal afetlerle birlikte yaşamaktadır. Geçmişe göre teknolojinin ve analiz yöntemlerinin gelişmesiyle afet kaynaklı hayat kaybında bir azalma vardır. Ülkemizde doğal afetler hakkında ilk kez 4373 sayılı “Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Korunma Hakkında Kanun” ile 1944 yılında 4623 sayılı “Yer Sarsıntılarından Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun” çıkarılmıştır. Dünyayı ve ülkemizi en fazla etkileyen doğal afetler sıralamasında ilk sırayı deprem alırken, onu heyelan takip etmektedir [1]. Heyelan ile ilgili yapılan çalışmaları incelediğinde en fazla çalışmanın heyelan duyarlılığı için yapıldığını ve ülkemizde bu alanda ilk kez 1996 yılında çalışma yapıldığını belirtmiştir [2]. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı’nın (AFAD) 2019 yılında yaptığı çalışmada ülkemizde 1950-2019 yılları arasında meydana gelen tüm kütle hareketlerinin haritası oluşturulmuştur. Bu haritaya göre Yalova ilinde 1950-2019 yılları arasında 107 adet heyelan meydana gelmiştir [3].

Heyelan, hiçbir taşıyıcı (rüzgâr, su, buzul) olmaksızın yeryüzünün yüzey veya yüzeye yakın bölümünün aşağıya (yer çekimi merkezine) doğru hareket etmesi, şekil ve yer değiştirmesi şeklinde tanımlanabilir. Heyelan yamaç yenilmesiyle meydana gelir. Bu nedenle heyelanı önlemek için yamaç duraylılığını sağlamak gerekmektedir. Bunun sağlanması için de duraylılığa olumsuz yönde etki eden parametrelerin doğru belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Parametrelerin belirlenmesi her inceleme alanında değişiklik göstermektedir. Literatürde 1996-2010 yılları arasında yapılan çalışmalar incelendiğinde yamaç eğimi, litoloji, bakı ve yükseklik en çok kullanılan parametreler olmuştur [4]. Heyelan duyarlılığının iyi bir şekilde değerlendirilmesi için, heyelanın nerede, nasıl oluşacağı ve hangi yenilmelerin meydana gelmesine neden olacağı sorularının sorulması gerektiği üzerinde durulmuştur [5]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri ile literatürdeki farklı istatistiksel analiz yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla heyelan çalışmalarında önemli bir ilerleme sağlanmıştır. Literatürde Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Frekans Oranı, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon ve Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi gibi yöntemler heyelan çalışmalarına katkı sağlamaktadır [6, 7, 8, 9, 10].

Bir bölgenin heyelana duyarlı olması doğal veya yapay etmenlerle yamaç dengesinin bozulmasıyla heyelan meydana gelme ihtimali olarak açıklanabilir. Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, saha gözlemleri yapılmış, bölge hakkında önceki çalışmalar ve literatür incelemeleri sonucunda, jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı, yükseklik, bakı, yola uzaklık ve faya yakınlık parametrelerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu parametreler ile 7.1x7.1 piksel çözünürlüğüne sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi ile katman haritaları hazırlanmıştır. Bu katman haritalarını ve heyelan envanterini kullanarak Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Suitability Model ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır.

II. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde heyelan duyarlılığı ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında son yıllarda istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de son 20 yılda bu alandaki çalışmaların sayısı oldukça fazladır.

Abay vd., (2019) Etiyopya’da 165 adet farklı tip ve büyüklükte heyelanlardan oluşan inceleme alanı için litoloji, faya yakınlık, arazi kullanımı, drenaja yakınlık, yamaç eğriselliği, bakı ve yükseklik parametreleri ile heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Heyelanların oluşumunu etkileyen parametreler ise, litoloji (%37,2), faylara yakınlık (%24,5), drenaja yakınlık (%16,2); bunu bakı (%7,5), eğim (%7,4), arazi kullanımı (%7,2) izlemektedir. İnceleme alanı çok yüksek (%29), yüksek (%44), orta (%20) ve düşük (%7) olmak üzere dört duyarlılık bölgesi belirlemiştir [6].

Biçer ve Ercanoğlu (2020) Kahramanmaraş'ta yapılan çalışmada yamaç eğimi, litoloji, bakı, topografik yükseklik, drenaj özelliği, arazi kullanımı, eğrisellik, tektonik unsura uzaklık ve NDVI olmak üzere 9 parametre ve Lojistik Regresyon (LR), Frekans Oranı (FR) ve Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) olmak üzere 3 farklı analiz yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmesi için ROC yöntemi kullanılmıştır. AUC değerleri LR: 0.828, FR: 0.862 ve AHP: 0.793 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda inceleme alanı için heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında en uygun yöntemin FR olduğu belirtilmiştir [7].

Yıldız ve Çan (2021), Aydın-Germencik'te Frekans Oranı (FR) yöntemi kullanılarak bölgede toplam alanı 6.85 km² olan 59 heyelandan oluşan daha önce hazırlanmış olan heyelan envanter haritasını güncelleştirir. FR yöntemi ile hesaplanan parametreler için eğrinin altında kalan alan (AUC) yaklaşımıyla heyelan envanter haritası üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre inceleme alanının, %13,76'sı çok düşük, %27,34'ü düşük, %21,33'ü orta, %26,12'si yüksek ve %11,44'ü çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır. Heyelanların %93,08'si yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır [8].

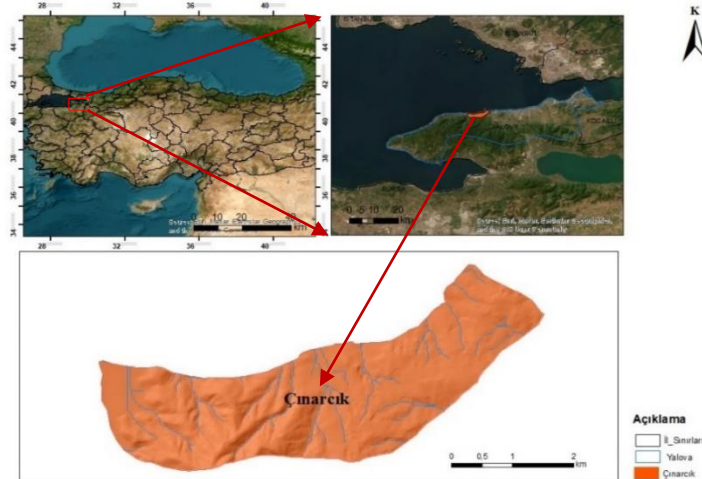
Yiğittepe vd. 2021 yılında Yenice-Karabük bölgesinde yaptıkları çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş sınıfa ayrılan heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası Frekans Oranı yöntemi ile jeoloji, eğim, bakı ve akarsulardan uzaklık parametreleri kullanılarak hazırlanmıştır. Analiz sonucunda inceleme alanı %9 çok düşük, %13 düşük, %17 orta, %38 yüksek ve %23 çok yüksek duyarlı bölgelerde yer almaktadır [9].

Zengince tarafından 2020'de yapılan çalışmada Kocaeli-Gölcük bölgesinin güney köylerini kapsayan 28,03 km² alan üzerinde 3 farklı senaryo ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Jeoloji, eğim, bakı, yükseklik, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, yollara uzaklık, aktif faya uzaklık parametreleri ile Ağırlıklı Çakıştırma yöntemi ile Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında yapılan analizde senaryo 2 daha doğru sonuç vermiştir. İnceleme alanının %2,39'u çok yüksek, %6,88'i yüksek, %33,70'i orta, %2,97'si az, %0,044'ü ise duysarsız alanlardan oluşmaktadır [10].

III. İNCELEME ALANI

A. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

İnceleme alanı Marmara Bölgesi'nde Yalova ili sınırları içindedir. G22D1 ve G22D2 paftaları içerisinde yer almaktadır. Yaklaşık olarak 11 km² alanı kaplamaktadır (Şekil 1). Arazide genel eğim yönü güneydoğuya doğru olup muhtelif yamaç eğimlerine sahiptir. Bölgedeki en önemli akarsular Armutlu Deresi ve Koca Deredir.



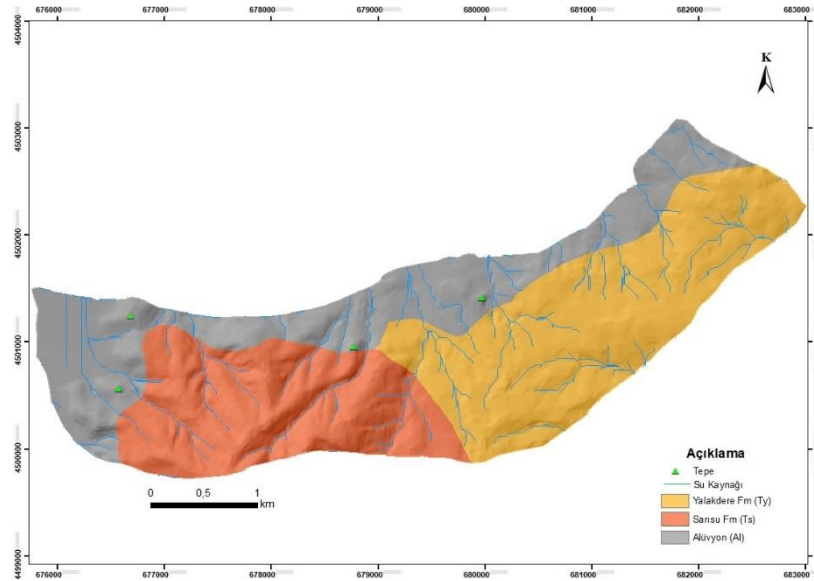
Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

A. 1. Bölgesel Jeoloji ve Jeomorfoloji

Yalova ili Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda yer almaktadır. Yalova'nın güneyinde ise ilin en yüksek kesimlerini oluşturan batıdan doğuya doğru İzmit-Sapanca arasında Kocaeli Sıradağları ile birleşen Samanlı Dağları ile çevrilidir. Bölgede Samanlı Dağları'nın en yüksek noktası olan Beşpınar Tepesi (926 m.) yer almaktadır.

İnceleme alanı ve yakın dolayında Kuvaterner çökelleri, Pliyosen yaşlı Yalakdere Formasyonu ve Eosen yaşlı Sarısu Volkanitleri yüzeylenmektedir. Bölgedeki en eski ve kapsamlı çalışma Akartuna, (1968) [11] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada en doğuda Gevye Boğazı, en batıda Armutlu Burnu'nu içeren Samanlı Dağları yükseliminin jeolojisi 1:100.000 ölçeğe haritalanmıştır.

Kuvaterner Çökeller inceleme alanında en geç birimdir ve kıyı şeridinde yüzeylenmektedir. Holosen yaşlı olan çökeller alüvyondan oluşmaktadır [12]. Yalakdere formasyonu Bargu ve Sakınc [13] tarafından adlandırılmıştır. Formasyon sarı, boz renkli, silt aralanmalarından, kıltaşı, ile kireçtaşı ve karbonatlı kumtaşından oluşmaktadır. Yalakdere Formasyonu, Mudanya formasyonun Yalova'daki karşılığıdır, yaşı Erken Pliyosen olarak belirlenmiştir [12]. Sarısu volkanitleri, Çınarcık'ın güneybatısında yüzeylenmektedir. Metamorfik kayalar üzerinde konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan bir çökelleme düzeyi ile başlamaktadır. Volkanitlerdeki lav akıntısını bazalt ve bazaltik andezit türü kayalar oluşturmaktadır, birimin yaşı Eosen olarak belirlenmiştir [12]. İnceleme alanının jeoloji haritası Şekil 2'de verilmiştir. İnceleme alanında kıyı şerdi boyunca ve vadi tabanlarında alüvyon, batı kesimde Yalakdere formasyonu, doğu kesimde ise Sarısu formasyonu yüzeylenmektedir.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası

IV. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında ArcGIS Pro 2022 yazılımı, uzaktan algılama ve hava fotoğrafları için PALSAR uydu görüntüleri, Google Earth görüntüleri ve 1:25 000 topografik haritaları kullanılmıştır. İnceleme alanında heyelan duyarlılık analizi yapmak için Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Pro Suitability Model yöntemlerinden yararlanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında aynı bölge için dahi farklı araştırmacılar ve farklı yöntemler kullanıldığında sonuçlarda değişim gözlemlenmektedir [14]. Bu nedenle birden fazla yöntem kullanılmış ve bu yöntemler için doğruluk analizi yapılmıştır. Yapılan doğruluk analizlerinde inceleme alanı için en doğru sonuç veren yöntemin Mantıksal Regresyon olduğu görülmüştür. Yapılan literatür taraması sonuçları ve arazi gözlemleri göz önünde bulundurulduğunda; inceleme alanı için yukarıda

belirtilen yöntemlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Mantıksal Regresyon yöntemi için heyelanlı ve heyelansız alanlar için %80 analiz, %20 test olacak şekilde veri seti rasgele belirlenerek SPSS programı üzerinden elde edilen sonuçlara göre CBS ortamında analiz yapılmıştır. Frekans Oranı yöntemi için de aynı şekilde veri seti %80 analiz, %20 test verisi olacak şekilde rastgele ayrılmıştır, parametrelerin etki ağırlıklarına göre duyarlılık analizi yapılmıştır. ArcGIS Pro Suitability Modeli için de aynı adımlar izlenmiştir. Kullanılan tüm yöntemler için parametrelerin katman haritaları oluşturulmuş ve alt sınıflarının etki ağırlıkları belirlendikten sonra CBS ortamında analizler yapılmıştır (Şekil 4). Test verileri için kullanılan doğruluk analizi ise ROC analizi ile sağlanmıştır. Jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı, yükseklik, bakı, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık olmak üzere 8 farklı parametre kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında 1:25 000 ölçekli topografik haritanın 10 metre aralıklı eş yükselti eğrileri sayısallaştırılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü olması ve eğim, bakı haritalarının en doğru sonucu vermesi için piksel boyutu 7.1x7.1 m çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli haritası referans alınarak bakı ve eğim katman haritaları oluşturulmuştur. “MTA Yer Bilimleri Görüntüleyici” portalından alınan veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında sayısallaştırılarak inceleme alanının jeoloji haritası oluşturulmuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden alınan veriler ve istasyon bilgileri ile Kriging yöntemi ile inceleme alanının yağış yoğunluğu haritası oluşturulmuştur. Arazi kullanımı katman haritası için CORINE verileri kullanılmıştır. MTA Diri Fay Haritası ve OpenStreetMap verileri de sayısallaştırılarak Olası Kuvaterner fayından ve yollardan uzaklık katman haritaları oluşturulmuştur. Tüm katman haritaları ve heyelan duyarlılık haritaları WGS_1984_UTM_Zone_35N projeksiyon sistemine göre oluşturulmuştur.

Heyelan Envanteri

İnceleme alanı ve çevresinde yağış ve sıcaklık değişimleri gibi dönemsel değişimler diğer parametreler ile incelendiğinde bölgedeki heyelan türünün krip veya akma olduğu görülmektedir. Heyelan envanteri verileri duyarlılık analizlerin için baz alınan veridir. Heyelanın alansal olabilirliği ve dağılımını göstermektedir [15]. İnceleme alanında geniş yayılım gösteren 20 adet heyelan incelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritaları arazi gözlemleri, “MTA Yer Bilimleri Görüntüleyici” portalından alınan heyelanlı bölge verileri ve AFAD Yalova Müdürlüğü tarafından belirlenen heyelan bölgeleri verileri kullanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanındaki duyarlılık analizi jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı, yükseklik, bakı, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık olmak üzere 8 farklı parametreden oluşan katman haritaları ve heyelan envanteri ile yapılmıştır. Bu katmanlar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Jeoloji

İnceleme alanındaki litoloji, jeolojik birimlerin mühendislik jeolojisi özellikleri ve litolojik özelliklere bağlı ayrışma yamaç duraysızlıkları açısından en çok kullanılan parametredir. Jeolojik istifteki birimlerin bu özellikleri ise her birimin kendi içinde yamaç duraysızlığına etki eden temel faktörlerdir. Yapılan saha gözlemleri sonucunda inceleme alanındaki yamaç duraysızlıkları sonucu meydana gelen heyelanların oluşmasında, en etkin parametrelerin litoloji-ayrışma ile Yalakdere ve Sarısu formasyonlarındaki heterojen jeolojik istif olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde meydana gelen yamaç duraysızlıkları bölgedeki litoloji üzerinde diğer parametrelerin katılımıyla meydana gelmektedir.

Yağış

Yamaç malzemesinin doygunluk derecesi duraylılığı doğrudan etkilemektedir. Duraysız bölgenin topuk kısmındaki su yoğunluğu nedeniyle doygunluk derecesi artmaktadır böylece stabilite bozulmaktadır. Suyun taneler arasına girmesiyle yamaç yükünde de bir artış olmaktadır. Böylece çok fazla su girişi yamacın yük dengesini değiştirerek ve duraylılığını bozarak heyelanın oluşumuna neden olmaktadır. İnceleme alanının aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm) özellikle aralık ve ocak aylarında oldukça fazladır. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 124.2 iken aylık toplam yağış miktarı ortalama olarak 756.9 mm'dir.

Eğim

Yapılan birçok çalışmada eğim ile yamaç duraysızlığı arasında doğrudan bir ilişki olduğu savunulmuştur. Bazı araştırmacılar ise eğim derecesinin yüksek olmasının tek başına heyelana neden olacağı düşünülmektedir. Zemin ortamlarında heyelanın gerçekleşmesi için en az 1-2 metre kalınlığa ihtiyaç duyulduğunu fakat çok yüksek eğimli yerlerde erozyon ile bu kalınlığa her zaman ulaşamayacağı belirtilmiştir [14]. Litolojinin gevşek olması ve yamacın eğimli olması herhangi bir yük değişiminde heyelan oluşma sürecini hızlandırabilir. İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modeline göre oluşturulan eğim haritası 0° - 10° , 10° - 20° , 20° - 30° , 30° - 40° ve $> 40^{\circ}$ şeklinde 5 alt parametreye ayrılmış ve hesaplanmıştır.

Arazi Kullanımı

İnceleme alanında arazi, yerleşim alanları, ormanlık alanlar, bitki örtüsü içeren alanlar, yollar vb. şekilde yamaç duraysızlığını neden olan etmenler şeklinde kullanılmıştır. Karakaş ve Coruk tarafından 2011 yılında yapılan çalışma gösteriyor ki Kocaeli'nin bazı bölgelerinde de heyelan nedeni ile yollarda çökme, istinat duvarlarının yıkılması gibi durumlar görülmüştür [16].

Daha önce belirtildiği gibi gevşek malzemeden oluşan yamaç üzerinde herhangi bir yük değişikliği yamacın stabilitesini bozarak heyelanın meydana gelmesine neden olmaktadır. Yerleşim alanları heyelan duyarlılığı olan yamaçların topuk kısmında bulunmaktadır. Topuk kısmındaki zemin malzemesinin tahliye edilerek yerine yapılar yapılması stabiliteye zarar vermektedir. İnceleme alanında daha önce meydana gelen heyelanlar nedeniyle bazı evlerde gözle görülen hasarlar meydana gelmiştir ve tahliye edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. 2019 yılında meydana gelen heyelan nedeniyle yıkılan istinat duvarı [17].

İnceleme alanında yapılan yollarda zamanla yer yer çökme ve göçme meydana gelmiştir. Açılan yol yarmaları yamacın duraylılığını bozarak yük azalmasına, ardından yol yapım işlemi tamamlandıktan sonra ise trafik oluşmasıyla yük artışına neden olmaktadır. Bu yük dengesi değişiminin nasıl giderileceği doğru hesaplanmazsa daha büyük hasarlara ve kayıplara neden olabilir. İnceleme alanı ve çevresi için arazi kullanımı/örtüsü için CORINE verileri ile CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. İnceleme alanı arazi kullanımı bakımından Kesikli Şehir Yapısı, Karışık Tarım Alanı, Karışık Orman, Geniş Yapraklı Orman, Doğal Bitki Örtüsü ve Bitki Değişim Alanları olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır.

Sayısal Yükseklik Modeli

Yamaç duraysızlığı analizlerinde en çok kullanılan parametrelerden biri de yamacın deniz seviyesinden yüksekliğini ifade eden topografik yüksekliktir. Yüksekliğin heyelanın meydana gelmesinde doğrudan bir etkisinin olup olmadığı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. İnceleme alanındaki yükseklik 2,6 ile 371,28 metre arasında değişiklik göstermektedir ve CBS ortamında 0-50 m, 50-100 m, 100-150 m, 150-200 m, 200-371,28 metre olacak şekilde 5 sınıfa ayrılmıştır.

Bakı

Bakı, yamaçların yönü hakkında bilgi verir ve inceleme alanı için önemli olan parametredir. Bakı yamacın yönüne göre günlemeye maruz kalma, yağış ve rüzgâr gibi litolojiyi zayıflatır ve ayrışmaya neden olur. Bu etmenler ile zayıflayan ve ayrışan litoloji ise yamacın duraylılığının kaybetmesi ile heyelana neden olur. Bakı düz (-1), kuzey (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°) ve (337,5°-360°) şeklinde sınıflandırılmıştır. İnceleme alanındaki jeolojik birimler bakı yönüne göre günlenmeye maruz kalmıştır.

Yollara Uzaklık

Yamaç duraylılığının bozulup heyelanın meydana gelmesindeki en önemli etkenlerden biri yamaç üzerindeki doğal yük dengesinin bozulmasıdır. Yol yapım sürecinde ve daha sonra araçların sürekli yamaç dengesi üzerinde değişikliğe neden olması heyelan oluşumunu tetikleyebilir. Ayrıca inceleme alanı yağış alan bölgelerdendir. Özellikle yağışın yoğun olduğu zamanlarda gevşek malzeme ve yüksek eğimle birlikte yollarda çökme gibi istenmeyen durumlar geçmişte meydana gelmiştir. İnceleme alanı için yollara olan mesafenin de heyelan oluşumu üzerinde etkisi olduğu düşünülerek analize dahil edilmiştir. İnceleme alanı “Öklid Uzaklığı” ile yolların yakınlık mesafesine göre 0-50 m, 50-100 m, 100-400 m, 400-1082,2 metre olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır.

Faya Uzaklık

MTA Yer Bilimleri Görüntüleyici portalında bu hattın devamı olan Olası Kuvaterner Fayı'na olan uzaklık değerlendirilmiştir. Aktif olan bu fay 18 Eylül 1963 yılında meydana gelen 6.4 büyüklüğünde deprem üretmiş Çıncarcık havzasının kuzeydoğusunda kırığa neden olmuştur. Örgülü 2011, bu olayı havzanın çek-ayır modeline uygun olduğunu vurgulamıştır [18]. İnceleme alanındaki litoloji gevşek malzemeden oluştuğu için deprem dalgalarından daha çok etkilenecek ve daha çok zarar görecektir. Aktif tektonizmaya sahip olan bölgelerdeki malzemeler tektonizma nedeniyle zarar gördüğü için duraysızlık bakımından yüksek riskli bölgeler olmaktadır. İnceleme alanı ve çevresinin bu faylara uzaklığı ~170 m ile ~ 3 km arasında değişiklik göstermektedir. CBS ortamında “Öklid Uzaklığı” yaklaşımıyla faya uzaklık katman haritası oluşturulmuştur ve yakınlık mesafesine göre 0-200 m, 200-300 m, 300-800 m, 800-3000 m, 3000-4387,1 metre olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır.

V. BULGULAR

İnceleme alanında geniş yayılım gösteren 20 heyelanın jeoloji, yağış, eğim, arazi kullanımı, sayısal yükseklik modeli, bakı, yollara uzaklık ve faya uzaklık olmak üzere oluşturulan katman haritaları ile CBS ortamında duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan heyelan envanter haritasında farklı tipte heyelanların olduğu görülmektedir. Abay vd. (2019) yapılan çalışmada da olduğu gibi farklı çeşit olan ve geniş yayılım gösteren 20 heyelan aynı haritada üzerinde gösterilmiştir [6]. İnceleme alanında da akma, krip ve kayma türü hareketler birbirini tetikleyen veya birbiri ardına gelişen heyelanlar olarak izlenmektedir. İnceleme alanı için duyarlılık haritasında bu karmaşık hareket türü değerlendirilmiştir.

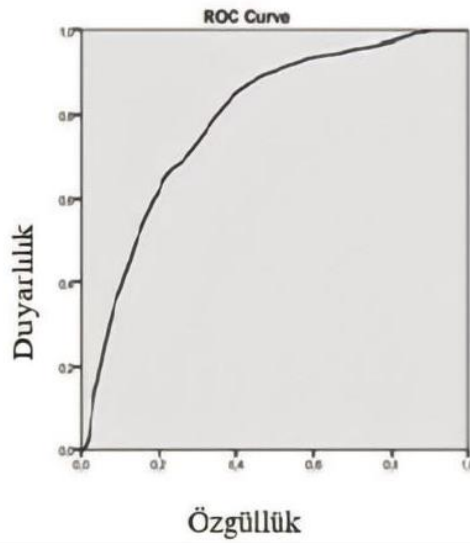
İnceleme alanı heyelan duyarlılık analizi için CBS ortamında 7.1x7.1 metre çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli verisi kullanılarak inceleme alanına ait eğim, jeoloji, yağış, yükseklik, arazi kullanımı/örtüsü, bakı, yollara uzaklık ve faya uzaklık parametrelerine ait katman haritaları hazırlanarak elde edilen tüm veriler sonucunda Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Pro Suitability Model ile heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Verilerin tahmin edilebilirliğini test etmek amacıyla Alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrisi kullanılmıştır. Şekil 10'da kullanılan yöntemlerin analiz değerleri gösterilmiştir. ROC eğrisi oluşturulduktan sonra eğrinin altında kalan alanın (AUC) değerine göre yapılan analizin doğruluğu belirlenmektedir. Yapılan analizin kabul edilebilir olması için eğrinin altında kalan alanın en az %60 olması gerekmektedir. Bu

çalışmada yapılan analizlerde eğrinin altında kalan alan Mantıksal Regresyon yöntemi için %78,8, Frekans Oranı için %64,7 ve ArcGIS Pro Suitability Model için %69,4 olarak hesaplanmıştır.

Mantıksal Regresyon ile Heyelan Duyarlılık Haritası

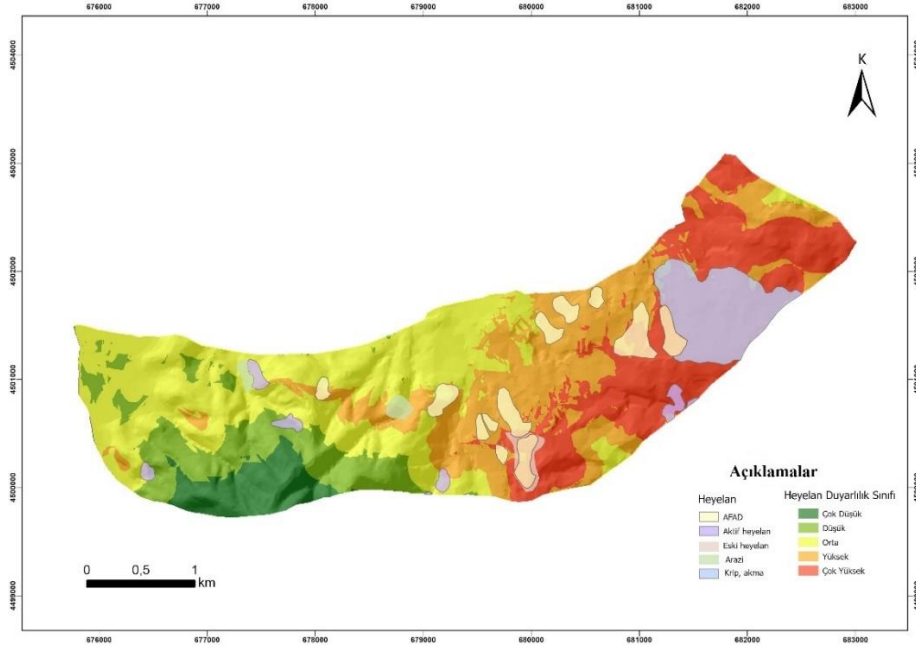
İnceleme alanı heyelan duyarlılık analizi için CBS ortamında 7.1x7.1 metre çözünürlüğe sahip SYM verisi kullanılarak inceleme alanına ait eğim, jeoloji, yağış, yükseklik, arazi kullanımı/örtüsü, bakı, yollara uzaklık ve faya uzaklık parametrelerine ait katman haritalar hazırlanarak elde edilen tüm verilerin %80'i, analiz, %20'si ise elde edilen duyarlılık değerlerini test etmek amacıyla kullanılmıştır. Verilerin tahmin edilebilirliğini test etmek amacıyla ROC eğrisi kullanılmıştır. Mantıksal Regresyon analizi için doğruluğu 1 değerine yaklaştıkça artarken 0.5 değerinin altında kalması başarılı olmadığı anlamına gelir.

Analiz için elde edilen verilerin %80'i analiz, %20'si ise test amacıyla kullanılmıştır. SPSS üzerinde test için ROC eğrisi ve AUC kullanılmıştır ve ROC eğrisi analizi ile eğrinin altında kalan alan (AUC) %78,8 olarak bulunmuştur. Şekil 4'de doğruluk analizi sonucu gösterilmiştir.



Şekil 4. Mantıksal Regresyon ROC Analizi

Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %5,41'i düşük, %10,32'si düşük, %31,22'si orta, %24,98'i yüksek ve %28,05'i çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 5).

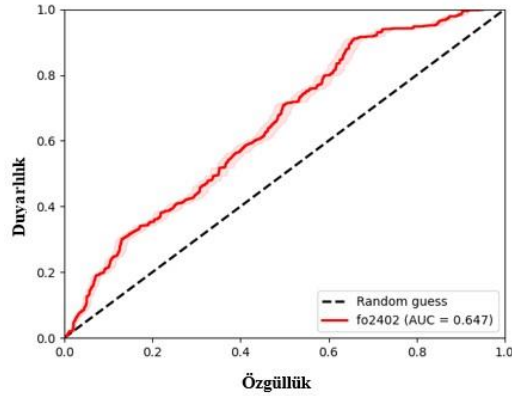


Şekil 5. Mantıksal Regresyon Yöntemi ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası

Frekans Oranı ile Heyelan Duyarlılık Haritası

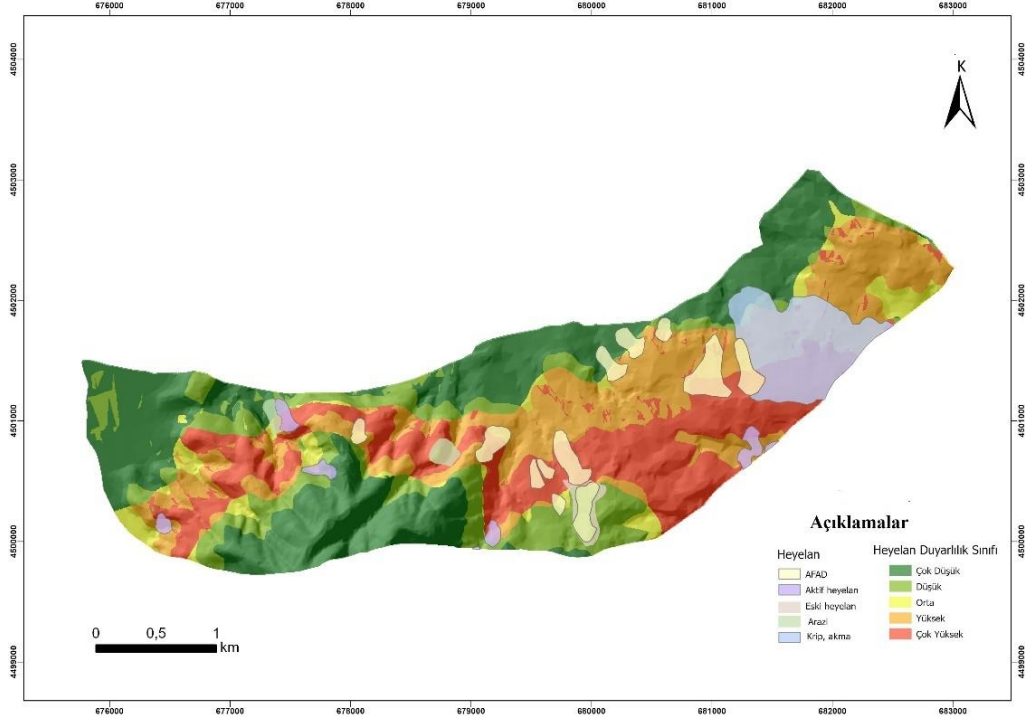
Belirlenen parametrelerin katman haritaları hazırlandıktan CBS ortamında ArcToolBox menüsünden “Spatial Analyst Tools”- “Zonal”- “Tabulate Area” komutu ile her parametrenin piksel değerlerinin heyelanlı alandaki piksel değerinin oranları hesaplanarak frekans oranları bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar CBS ortamında parametre değerlerine tekrar sınıflandırma yapılarak atanmıştır ve son olarak öngörülen oran (PR) değerlerin toplanmasıyla heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu çalışma için Heyelan Duyarlılık İndeksi (Landslide Susceptibility Index-LSI) 5,40 olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda heyelan duyarlılık sınıfları çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak beş sınıfa ayrılmıştır.

Yapılan analizin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi CBS ortamında oluşturulmuştur ve sonucu %64,7 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Frekans Oranı ROC Eğrisi Analizi

Frekans Oranı için ise inceleme alanının %30,8'i çok düşük, %14,48'i düşük, %4,5'i orta, %24,02'si yüksek ve %26,2'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 7).

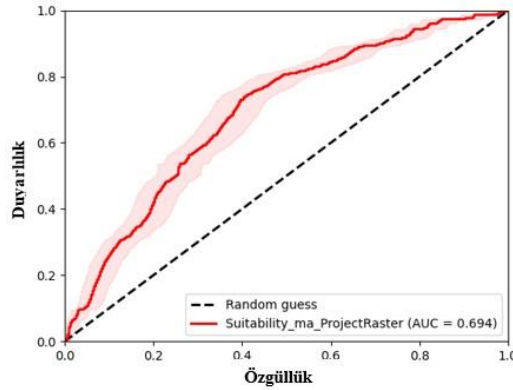


Şekil 7. Frekans Oranı Yöntemi ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası

ArcGIS Pro Uygunluk Modeli ile Heyelan Duyarlılık Haritası

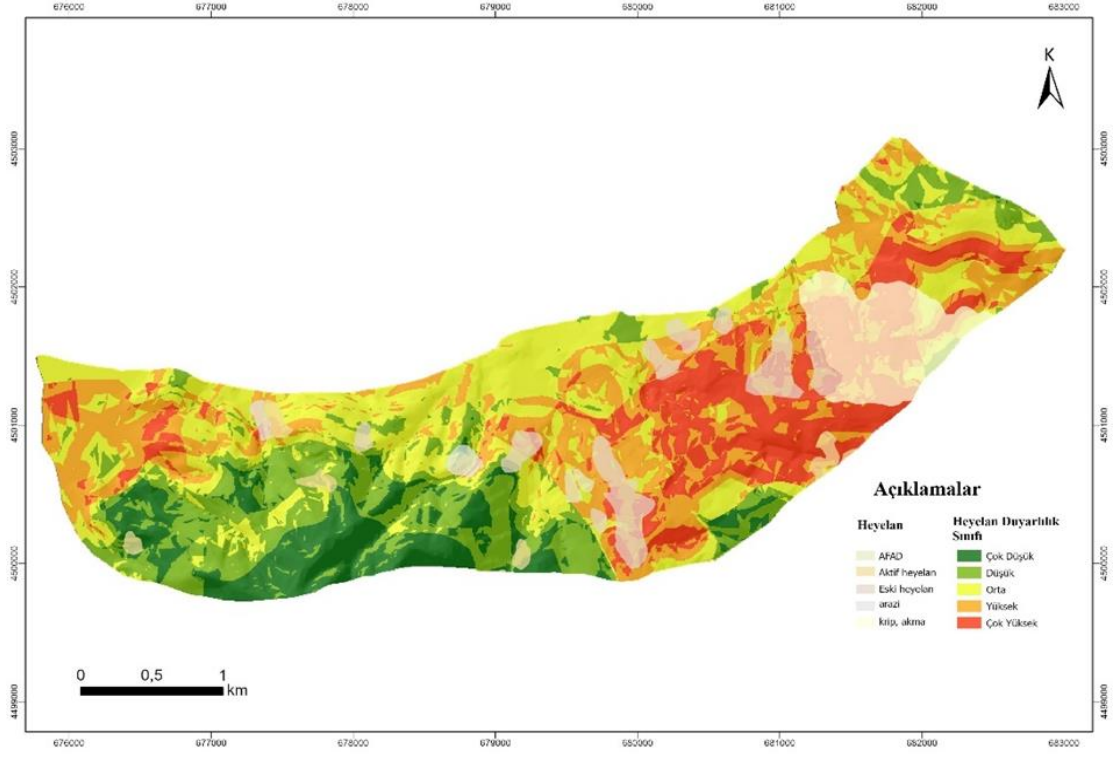
Analiz için belirlenen eğim, yağış, jeoloji, yükseklik, arazi kullanımı, bakı, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık parametrelerinin katman haritaları ile heyelan envanteri karşılaştırılmıştır. Daha sonra her parametre ve alt sınıfları için 1 ile 10 arasında; 1 en az, 10 en çok etkili olacak şekilde atama yapılarak yeniden sınıflandırılmıştır ve her parametre için ağırlık yüzdesi tanımlanmıştır.

Yapılan analizin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi CBS ortamında oluşturulmuştur ve sonucu %69,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. ArcGIS Pro Suitability Model ROC Eğrisi

ArcGIS Pro Suitability Model için ise % 4,42'si çok düşük, %20,57'si düşük, %27,9'u orta, %23,42'si yüksek ve %23,67'si çok yüksek ve AUC değeri %69,7'dir (Şekil 9).



Şekil 9. ArcGIS Pro Suitability Model ile hazırlanan Heyelan Duyarlılık Haritası

Parametre	Alt Sınıf	Mantıksal Regresyon	Frekans Oranı	ArcGIS Pro Suitability Model
Eğim	≤10°	-0,001	0,185	3
	10°-20°		0,114	4
	20°-30°		0,059	5
	30°-40°		0,094	6
	>40°		0,197	8
Jeoloji	Yalakdere	.000	0,378	8
	Alüvyon		0,06	7
	Sarısu		0,033	3
Bakı	Düz	.001	0,117	1
	Kuzey		0,163	10
	Kuzeydoğu		0,153	9
	Doğu		0,116	8
	Güneydoğu		0,049	7
	Güney		0,091	5
	Güneybatı		0,031	4
	Batı		0,16	3
Arazi Kullanımı	Karışık Tarım Alanı	.0.069	0,204	10
	Karışık Orman		0,046	8
	Doğal Bitki Örtüsü		0,206	9
	Kesikli Şehir Yapısı		0,107	7
	Bitki Değişim Alanla		0,045	6
	Geniş Yapraklı Orman		0,021	2
Faydan Uzaklık (m)	0-200	.001	0,032	10
	200-300		0,001	9
	300-800		0,056	8
	800-3000		1,871	5
	3000-4387,10		0,516	4
Yoldan Uzaklık (m)	0-50	-0,009	0,184	10
	50-100		0,191	9
	100-400		0,071	7
	400-1.082,19		0,003	4
Yağış	734,33-756,39	.021	0,052	1
	756,39-779,82		0,215	5
	779,82-808,07		0,214	8
	808,07-846,67		0,091	9
	846,67-910,07		0,002	10
Sayısal Yükseklik Modeli (m)	2,7-50	.000	0,054	3
	50-100		0,185	5
	100-150		0,244	6
	150-200		0,132	7
	200-370,85		0,005	9

Şekil 10. Frekans Oranı, Mantıksal Regresyon ve ArcGIS Pro Suitability Model analizleri için Kullanılan tüm parametreler ve etki ağırlıkları

VI. SONUC

Bu çalışma kapsamında geniş yayılım gösteren 20 heyelan incelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması için Mantıksal Regresyon, Frekans Oranı ve ArcGIS Pro Suitability Model olmak üzere üç farklı yöntemle analiz yapılmıştır. Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %5,41'i düşük, %10.32'si düşük, %31,22'si orta, %24,98'i yüksek ve %28.05'i çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Yapılan analizin doğruluğunu test etmek için ROC eğrisi ve AUC kullanılmıştır. AUC %78,8 olarak bulunmuştur. Frekans Oranı yöntemine göre ise inceleme alanının %30,8'i çok düşük, %14.48'i düşük, %4,5'i orta, %24.02'si yüksek ve %26,2'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında olup AUC sonucu %64,4'tür. ArcGIS Pro Suitability Model için ise %4.42'si çok düşük, %20.57'si düşük, %27,9'u orta, %23.42'si yüksek ve %23,67'si çok yüksek ve AUC değeri %69,7'dir. Mantıksal Regresyon yöntemine göre inceleme alanının %53,03'ü yüksek ve çok yüksek duyarlılık, Frekans Oranı yöntemine göre %50,22'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık, ArcGIS Pro Suitability Model için 51,32'si yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Analizler sonucunda inceleme alanı için en uygun heyelan duyarlılık analizinin Mantıksal Regresyon yöntemi analizi olduğu söylenebilir.

İnceleme alanının kuzeyinde bulunan heyelanlar, heyelan envanterine göre eski heyelan olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ise bu alanın yüksek veya çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritası ile bölgenin heyelan bakımından duyarlılık düzeyi saptanmıştır. Elde edilen duyarlılık analizi verileri ile yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındaki bölgeler için gerekli önlemlerin mutlaka alınması gerekmektedir. Heyelan modelleri dikkate alınarak bölgede yapılacak arazi planlaması için bu çalışmada elde edilen sonuçların dikkate alınması önerilir.

VII. KAYNAKLAR

[1] B. Ildır, "Distribution of landslides in Turkey and applications regarding the natural disaster Regulation," *In Proceedings of 2nd National Landslide Symposium Sapanca*, Türkiye, 1995, pp. 1-9.

[2] L. D. Cengiz, "Farklı analitik hiyerarşi süreci yöntemlerinin heyelan duyarlılığı haritalamalarındaki etkinliğinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2021.

[3] Afet İstatistikleri 2020, AFAD.

[4] Ç. Tetik Biçer, "Heyelan risk haritalaması üzerine yarı sayısal bir değerlendirme," Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2017.

[5] P. Aleotti, & R. Chowdhury, "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 58, no. 1, pp. 21-44, 1999.

[6] A. Abay, G. Barbieri, & K. Woldearegay, "Gis-based landslide susceptibility evaluation using analytical hierarchy process (AHP) approach: the case of tarmaber district, ethiopia". *Momona Ethiopian Journal of Science*, vol. 11, no.1, pp. 14-36, 2019.

[7] Ç. T. Biçer, & M. Ercanoglu, "A semi-quantitative landslide risk assessment of central karamanmaraş city in the eastern mediterranean region of turkey," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13, pp. 1-26, 2020.

[8] A. Yıldız, & T. Çan, "Germencik-İncirliova (Aydın) bölgesinin heyelan duyarlılık değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana,

Türkiye, 2021.

[9] A. G. Yiğittepe, H. K. Çıtıroğlu, A. Karakaş, C. Mekik, “Investigation of slope movements and landslide susceptibility analysis of karabük-yenice area in nw of turkey,” *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 14, no. 12, pp. 1144, 2021.

[10] M. Zengince, A. Karakaş, “Kocaeli gölcük’te oluşan heyelanların nedenleri, etkileri ve alınan önlemler,” *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 39-54, 2018.

[11] M. Akartuna, “Armutlu yarımadasının jeolojisi,” *İstanbul Üniversitesi. Fen Fakültesi Monografileri (Tabii İlimler Kısmı)*, c. 20, 1968.

[12] Ö. Emre, T. Erkal, A. Tchepalyga, N. Kazancı, M. Keçer, & E. Ünay, “Doğu marmara bölgesinin neojen-kuvaternerdeki evrimi,” *MTA dergisi*, c. 120, ss. 289-314, 1998.

[13] S. Bargu, & M. Sakıncı, “İzmit körfezi ile iznik gölü arasında kalan bölgenin jeolojisi ve yapısal özellikleri,” *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, c. 6, s. 1-2, ss. 47-76, 1989.

[14] C. Gökçeoğlu, & M. Ercanoğlu, “Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler”, *Yerbilimleri*, c. 23, ss. 189–206, 2001.

[15] A. Yalçın, S. Reis, A. C. Aydınoglu, & T. Yomralıoğlu, “A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in trabzon, ne turkey,” *Catena*, vol. 85, no. 3, pp. 274-287, 2007.

[16] A. Karakaş, & Ö. Coruk, “Impact of mass movements in the kocaeli province, turkey,” *Geology Today*, vol. 27, no. 2, pp. 70-73, 2011.

[17] S. Gözdereliler, (2019, 4 Mart). *Yalova'da heyelan riski tedirgin ediyor* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.cnnturk.com/yerel-haberler/yalova/cinarcik/yalovada-heyelan-riski-tedirgin-ediyor-950382>

[18] G. Örgülü, “Seismicity and source parameters for small-scale earthquakes along the splays of the north anatolian fault (naf) in the marmara sea,” *Geophysical Journal International*, vol. 184, no. 1, pp. 385-404, 2011.

Bu çalışmada ArcGIS Pro 2022 sürümü kullanılarak 0722639_LearnArcGIS kullanıcı adı ile 21 günlük deneme sürümü lisansı ile duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.