

FREKANS ORANI VE KANIT AĞIRLIĞI METOTLARI KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ, KAYSERİ KÜPELİ MAHALLESİ ÖRNEĞİ

Talha TAŞKANAT¹

¹Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38030, Melikgazi, Kayseri, talhataskanat@erciyes.edu.tr

ÖZET

Heyelan duyarlılık analizi veya heyelan duyarlılık haritalama, belirli bir bölgeye ait gelecekte olması beklenen heyelanların mekânsal olabilirliği üzerine yapılan incelemeler ve haritalardır. Bu çalışma kapsamında, Kayseri ili Özvatan ilçesine bağlı Küpeli Mahallesi'ne ait heyelan duyarlılık haritası üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 6 adet parametre (yükseklik, eğim, baki, litoloji, topografik nemlilik indeksi (TNI) ve drenaj ağına olan uzaklık) kullanılarak frekans oranı (FR) ve kanıt ağırlığı (KA) metotları ile çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Kullanılan yöntemlerin performans değerlendirilmesi amacı ile genel doğruluk ve eğri altında kalan alan (AUC) değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, frekans oranı metodunun genel ağırlık ve AUC değerlerinin (%81.04 ve 0.7851) kanıt ağırlığı yöntemine göre (%71.63 ve 0.7681) daha iyi sonuç verdikleri tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Frekans Oranı, Heyelan Duyarlılık Haritalama, Kanıt Ağırlığı, Kayseri

ABSTRACT

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS USING FREQUENCY RATIO AND WEIGHT OF EVIDENCE METHODS: A CASE STUDY IN KUPELI NEIGHBORHOOD, KAYSERİ

Landslide susceptibility analysis or landslide susceptibility mapping is the studies and maps of the spatial possibility of landslides expected to occur in a certain region in the future. In this study, it is aimed to produce landslide susceptibility map of Küpeli District, Özvatan, Kayseri. For this purpose, the landslide susceptibility maps of the study area have been produced by frequency ratio (FR) and weight of evidence (WOE) methods using 6 parameters (elevation, slope, aspect, lithology, topographic wetness index (TWI) and distance to drainage network). In order to evaluate the performance of the methods used, the general accuracy and area under the curve (AUC) values were examined. As a result, it was determined that the overall weight and AUC values of the frequency ratio method (81.04% and 0.7851) gave better results than the weight-of-evidence method (71.63% and 0.7681).

Keywords: Frequency Ratio, Landslide susceptibility mapping, Weight of Evidence, Kayseri

1. GİRİŞ

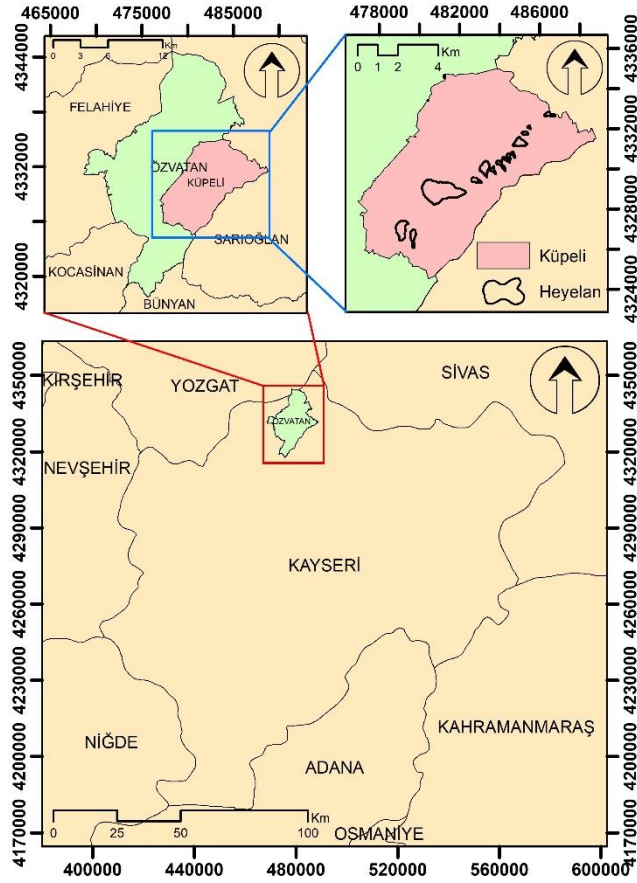
Heyelan duyarlılık haritaları, genel anlamda heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametreler göz önünde bulundurularak gelecekte heyelan gelişmesi muhtemel alanların göreceli olarak heyelana olan hassasiyetinin sınıflandırılmasıdır. Ülkemizde, depremlerden sonra hayatı en fazla olumsuz etkileyen doğal afet türü heyelan olmasından dolayı (İldır 1995) heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması yardımıyla daha sağlıklı arazi kullanım planları oluşturularak bu olumsuz etkiler en aza indirmek mümkündür.

Bu çalışma kapsamında, Kayseri İli Özvatan ilçesine bağlı Küpeli Mahallesi'nin heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır ve bu doğrultuda yükseklik, eğim, baki, litoloji, topografik nemlilik indeksi ve drenaj ağına olan uzaklık parametreleri dikkate alınarak literatürde oldukça sık kullanılan frekans oranı ve kanıt ağırlığı yöntemleri kullanılmıştır.

2. UYGULAMA

2.1 Çalışma Alanı ve Heyelan Envanteri

Küpeli mahallesi Kayseri ilinin kuzey doğusunda, Kızılırmak yakınlarında Özvatan ilçesine bağlı; 39°06'00.6" Kuzey boylamında ve 35°46'29.3" Doğu enleminde olan bir mahalledir. Yaklaşık 61.23 km² olan alanıyla çevrenin en büyük köylerinden ve en eski mahallerinden biri olmakla birlikte önceki çağlardan beri yerleşim yeri olarak kullanıldığı bilinmektedir. Küpeli, bir dağ mahallesi olup deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1367.5 metredir ve yakınından Türkiye'nin en uzun akarsuyu olan Kızılırmak geçmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru ve heyelan envanter haritası

Çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından sunulan “Yerbilimleri Harita Görüntüleyici” (MTA 2022) portalından sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Çalışma alanı içerisinde geçmişte 16 adet heyelan olayı meydana gelmiş ve alsansal olarak en büyüğü 1,06 km² dir. Çalışma bölgesine ait lokasyon haritası ve heyelan envanter haritası Şekil 1’de sunulmuştur.

2.2 Parametrelerin Temini ve Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında heyelan duyarlılık değerlendirilmesinde kullanılmak üzere 6 adet heyelana etki eden parametre seçilmiştir. Bunlar; yükseklik, eğim, bakı, topografik nemlilik indeksi, drenaj ağına olan uzaklık ve litoloji haritalarıdır (Şekil 2). Bu parametrelerden ilk 5’i SRTM uydu verisine ait sayısal yükseklik modelinden ArcGIS platformu kullanılarak üretilmiştir. Litoloji haritası ise MTA tarafından üretilen 1/100000 ölçekli Yozgat – J35 paftasından (Dalkılıç, 2009) sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Vektör veri olarak elde edilen litoloji raster veri formatına dönüştürülerek analizlerde kullanılmıştır. Tüm katmanların proje koordinat sistemleri ED_1950_Transverse_Mercator olup raster haritaların piksel boyutları 30m×30m şeklindedir. Elde edilen parametre haritaları, duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılacak olan yöntemler için “natural break” metodu ile sınıflara bölünerek yeniden sınıflandırılmıştır.

Yükseklik parametresi, heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında araştırmacılar tarafından sıklıkla dikkate alınan parametrelerden birisidir (Akıncı vd., 2010; Dağ ve Bulut, 2012; Özşahin, 2015). Çalışma bölgesi 1103 - 1632 metre aralıklarında yüksekliğe sahip olup 5 sınıfa bölünmüştür. Bu sonuca göre, en fazla heyelanın 1204 – 1316 metre aralıklarında olduğu görülmektedir (Şekil 2a).

Eğim parametresi heyelan duyarlılık analizlerinde tercih edilen bir diğer parametredir. Eğimin fazla olduğu bölgelerde heyelanların daha fazla olduğunu savunan çalışmaların yanında (Öztürk, 2002) düşük eğim değerlerine sahip alanlarda da heyelan oluşumunun varlığını gösteren araştırmalarda mevcuttur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Çalışma bölgesine ait eğim haritası 5 sınıfa bölünmüştür ve en fazla heyelanın 14.43 – 21.47 dereceleri arasında olduğu görülmektedir (Şekil 2b).

Bakı parametresi eğim yönü olarak düşünülebilir. Dolayısıyla güneş ışığını alma süresi, yağış ve rüzgara maruz kalma ve nemlilik oranı gibi etkenler üzerinde belirleyici olmasından dolayı heyelan duyarlılık haritalamada dikkate alınmaktadır (Avcı, 2016; Dağdelenler, 2020). Çalışma kapsamında eğim haritası -1 – 360 derece aralığındaki değerler

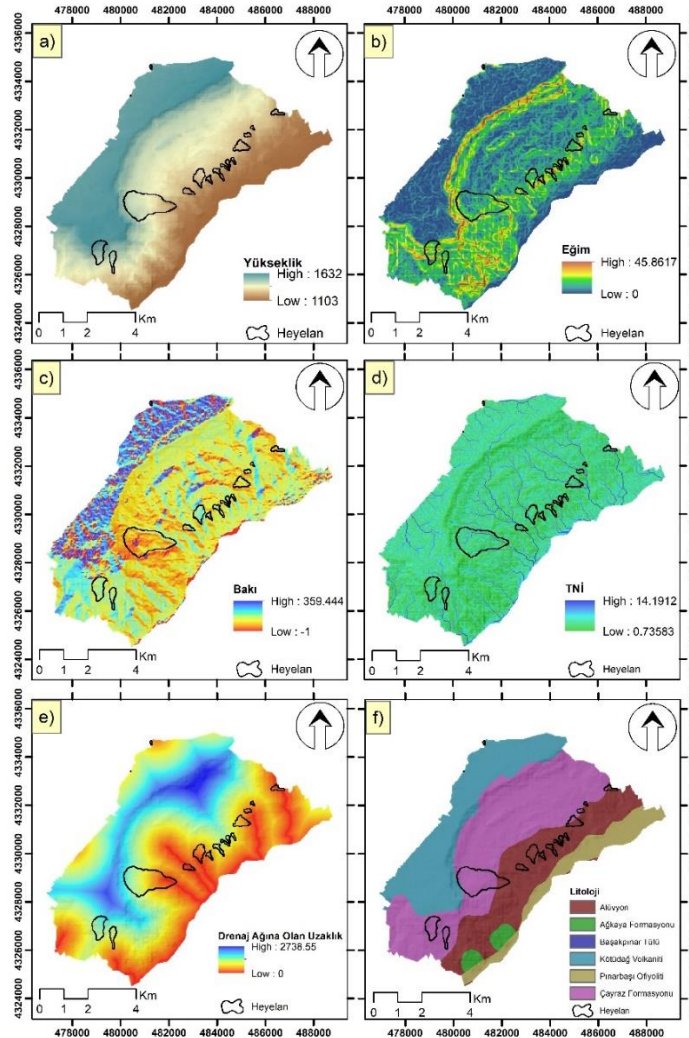
10 sınıfa bölünmüştür. (-1 – 0) değerleri arası düzlük bölgeleri (göl, deniz, vs.), 0-360 derece arasında kalan sınıflarda 9 coğrafi yönü (Batı, Güney, Kuzey Batı vs.) temsil etmektedir (Şekil 2c). Bakı haritasında, en fazla heyelan olan sınıf (22.5 – 67.5) değerleri arasında meydana geldiği görülmektedir.

Topografik Nemlilik İndeksi (TNİ) Beyen ve Kirkby (1979) tarafından geliştirilmiştir. TNİ, suya doymuş ve kaymaya karşı duyarlı hale gelen zeminlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek pozitif TNİ değerleri daha nemli alanları, düşük negatif TNİ değerleri daha kuru alanları temsil etmektedir ve aşağıda sunulan Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$TNİ = \ln(A_s / \tan \beta) \quad (1)$$

Burada A_s , su toplama havzasını, β ise derece cinsinden arazi eğimini ifade etmektedir. Çalışma alanına ait TNİ haritası Şekil 2d’de sunulmuştur. En fazla heyelan ise 8.40 – 14.19 değerleri arasında meydana geldiği görülmektedir.

Drenaj ağının heyelan duyarlılığı üzerindeki etkilerinin araştırılmasında literatürde drenaj yoğunluğu ve drenaj ağına olan uzaklık haritaları kullanılmaktadır (Üzel Günini ve Öztürk, 2021; Kılıçoğlu, 2020). Bu çalışma kapsamında drenaj ağına olan uzaklık haritası üretilmiş olup (Şekil 2e) 0 – 1000 metre arası 100 metre aralıklarla 10 sınıf ve 1000 metreden büyük alanlar ise ayrı bir sınıf olmak üzere toplam 11 sınıfa bölünmüştür. 900 – 1000 metre aralığında en fazla heyelan olayının gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 2. Heyelan duyarlılık haritalamada kullanılan parametreler: a) Yükseklik, b) Eğim, c) Bakı, d) Topografik nemlilik indeksi, e) Drenaj ağına olan uzaklık, f) Litoloji

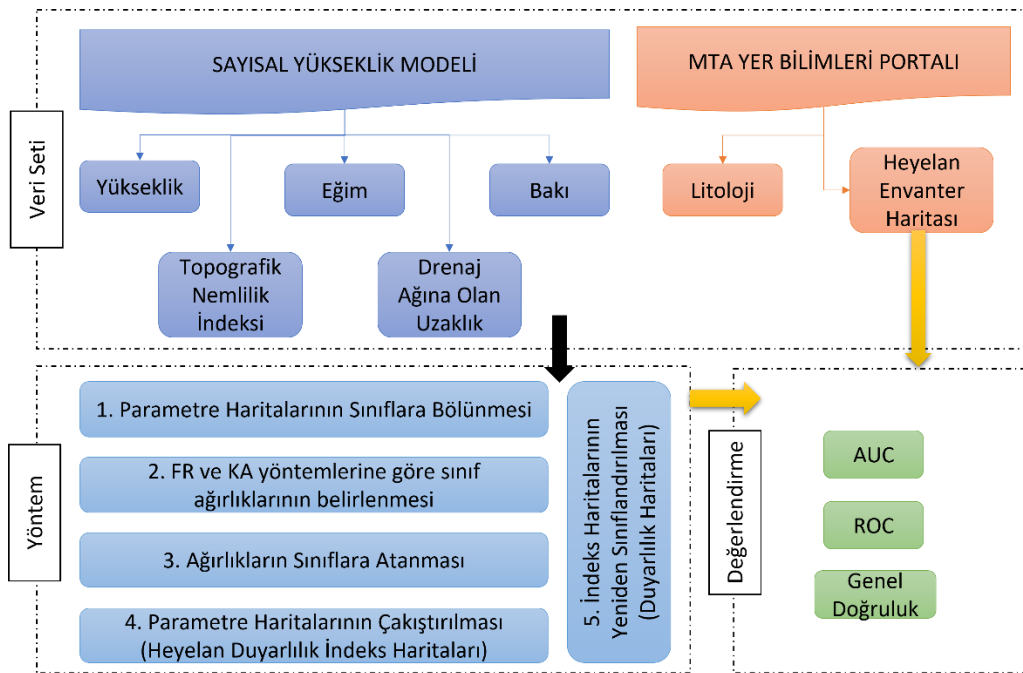
Litoloji parametresi heyelan duyarlılığı analizleri için bölgenin zemin özelliklerini göstermesi açısından araştırmacılar tarafından en fazla incelenen ve kullanılan parametrelerden biridir (Aydınöğlu ve Altürk, 2021; Hepdeniz ve Soyaslan, 2018). Çalışma alanına ait litoloji haritası MTA tarafından üretilen 1/100000 ölçekli Yozgat – J35 paftasından (Dalkılıç, 2009) sayısallaştırılarak elde edilmiştir (Şekil 2f). İnceleme bölgesinin temelini Kırşehir masifi olarak adlandırılan Paleyozik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde;

- Çakıtaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından meydana gelmiş **Ağkaya formasyonu (Tpa)**,
- Sarı, beyaz, gri, pembe, kahverengi ve kırmızı renklerde, bazen çapraz katmanlı tüflerden oluşan **Başakpınar tüfü (Tplp)**,
- Riyolitik, riyodasitik lav ve tüfler içeren **Kötüdağ volkanitleri (Kkö)**,
- Harzburjit, dünit, gabro ve serpantinileri kapsayan **Pınarbaşı ofiyolitleri (Kpo)**,
- Kumtaşı, kıltaşı, silttaşı ve kireçtaşlarından oluşan **Çayraz formasyonu (Teç)** ve
- Tutturulmuş çakıl, kum, silt ve az kilden oluşan **Alüvyon (Qal)** birimleri bulunmaktadır.

2.3 Çalışma Yöntemi

Bu çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla 6 adet parametreye ilişkin haritalar üretilmiş olup bunların yanında geçmişte olan heyelanlar poligon (alan) veri tipinde elde edilmiştir. Parametre haritaları “natural break” sınıflandırma yöntemine göre yeniden sınıflandırılmıştır ve heyelan duyarlılık haritalama için literatürde sıklıkla kullanılan frekans oranı metodu ve kanıt ağırlığı metodu olmak üzere 2 farklı yöntem seçilmiştir. Çalışmanın genel iş akışı **Şekil 3**’de sunulmuş olup kullanılan yöntemlere ilişkin genel bilgiler alt başlıklar halinde sunulmuştur.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan iş-akış diyagramı

2.3.1 Frekans Oranı Metodu

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan Frekans Oranı Metodu (Akıncı vd., 2010; Avcı, 2016; Demir, 2017), geçmişte olan heyelanların konumları ile duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılacak olan parametreler arasındaki ilişkiyi ortaya koyar. Frekans Oranı Metoduna ilişkin formülasyonlar **Eşitlik 2**'de verilmiştir.

$$FR = PLO/PIF \quad (2a)$$

$$PLO = A/B \quad (2b)$$

$$PIF = C/D \quad (2c)$$

Burada; FR bir parametredeki her bir sınıfın frekans oranını, PLO heyelanı etkileyen bir parametrenin her bir sınıfı içerisinde heyelan varlığının yüzdesini, PIF heyelanı etkileyen bir parametrenin her bir sınıfının yüzdesini, A bir parametredeki sınıflarda bulunan heyelanlı piksel sayısını, B çalışma alanındaki toplam heyelanlı piksel sayısını, C bir parametredeki her bir sınıfın piksel sayısını, D ise çalışma alanındaki toplam piksel sayısını ifade etmektedir.

Hesaplanan frekans oranları 1'den büyük olanlar yüksek ilişkiyi, 1'den küçük olanlar ise düşük ilişkiyi ifade etmektedir. Son olarak ise frekans oranı değerlerinden Normalize Edilmiş Frekans Oranı Değerleri (NFR) aşağıda sunulan **Eşitlik 3**'e göre hesaplanmıştır.

$$NFR = (FR - MIN_{FR}) / (MAX_{FR} - MIN_{FR}) \times 100 \quad (3)$$

Burada MIN_{FR} ve MAX_{FR} , sırasıyla bir parametredeki sınıflar arasında en düşük frekans oranına sahip olan değeri ve en yüksek frekans oranına sahip değeri ifade etmektedirler.

2.3.2 Kanıt Ağırlığı Yöntemi

Kanıt ağırlığı yöntemi, temelde iki değişkenli istatistiksel bir yöntem olup önceki ve sonraki olasılık kavramına dayalı olasılığı hesaplamak için kullanılan Bayes teoreminin log-linear bir versiyonudur (Elmoulat vd., 2015). Bu yaklaşım, heyelana neden olan faktörler ile heyelan dağılımı arasındaki karşılıklı ilişkiden elde edilen bilgilere dayanmaktadır (Kusnadi vd., 2012). Bu yöntem, heyelana neden olan faktörler (F) ile heyelanların dağılımları (E) arasındaki konumsal ilişkiyi pozitif (W^+) ve negatif (W^-) ağırlıklar şeklinde hesaplar (Arifianti ve Agustin, 2017). Bu ağırlıklar hesaplanırken dikkate alınacak olasılık önermeleri (Doğan vd., 2012) ve formülasyonu (**Eşitlik 4**) (Bonham-Carter, 1994; Elmoulat vd., 2015) aşağıdaki gibidir.

$$W^+ = \ln \left(\frac{P(F/E)}{P(F/\bar{E})} \right) \quad (4a)$$

$$W^- = \ln \left(\frac{P(\bar{F}/E)}{P(\bar{F}/\bar{E})} \right) \quad (4b)$$

- Dikkate alınan alanın, geçmişte heyelan alanı olması durumunda, gelecekte de heyelan olma olasılığı $P(F/E)$ nedir?
- Dikkate alınan alanın, geçmişte heyelan alanı olmaması durumunda, gelecekte heyelan olma olasılığı $P(F/\bar{E})$ nedir?
- Dikkate alınan alanın, geçmişte heyelan alanı olması durumunda, gelecekte de heyelan olmaması olasılığı $P(\bar{F}/E)$ nedir?
- Dikkate alınan alanın, geçmişte heyelan alanı olmaması durumunda, gelecekte de heyelan olmaması olasılığı $P(\bar{F}/\bar{E})$ nedir?

Buna göre pozitif ve negatif ağırlıklar aşağıdaki gibi tekrar ifade edilebilir (**Eşitlik 5**).

$$W^+ = \ln \left(\frac{A1/(A1 + A2)}{A3/(A3 + A4)} \right) \quad (5a)$$

$$W^- = \ln \left(\frac{A2/(A1 + A2)}{A4/(A3 + A4)} \right) \quad (5b)$$

Burada; A1 seçilen bir alt sınıftaki heyelanlı piksel sayısını, A2 seçilen sınıf dışındaki toplam heyelanlı piksel sayısını, A3 seçilen sınıftaki heyelansız piksel sayısını ve A4 seçilen sınıf dışındaki toplam heyelansız piksel sayısını ifade etmektedir. A1+A2 toplam heyelanlı piksel sayısını, A3+A4 ise çalışma alanındaki toplam heyelansız piksel sayısını ifade etmektedir.

Heyelana neden olan faktörler ile heyelan dağılımı arasındaki nihai konumsal ilişkinin ne kadar önemli olduğunu tanımlamak için ağırlığın kontrastı (Wf) hesaplanır (Dahal vd., 2008). Bu değer, pozitif ve negatif ağırlıkların farkı alınarak hesaplanır (**Eşitlik 5**).

$$Wf = W^+ - W^- \quad (5c)$$

Sıfıra eşit bir kontrast değeri heyelana neden olan faktörün alt sınıfının analiz için önemli olmadığını gösterir. Pozitif kontrast pozitif bir konumsal ilişkiyi, negatif kontrast ise tersini ifade etmektedir. Son olarak ise elde Wf değerlerinden ise **Eşitlik 6**'da verilen denkleme göre Normalize edilmiş Wf değerleri (NWf) elde edilmiştir.

$$NWf = (Wf - MIN_{Wf}) / (MAX_{Wf} - MIN_{Wf}) \times 100 \quad (6)$$

Burada MIN_{Wf} ve MAX_{Wf} , sırasıyla bir parametredeki sınıflar arasında en düşük kontrast değerine sahip olan değeri ve en yüksek kontrast değerine sahip değeri ifade etmektedirler.

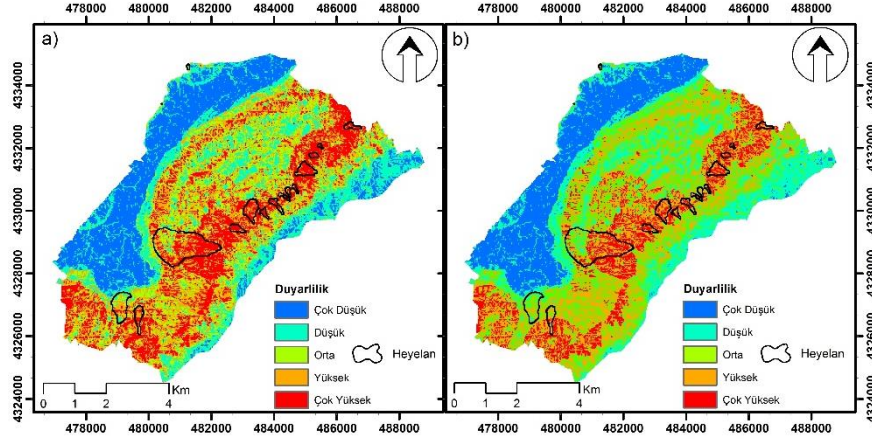
Duyarlılık haritalarının üretilmesi için dikkate alınan frekans oranı ve kanıt ağırlığı yöntemlerine göre elde edilen parametrelerin alt sınıflarına ait FR, Wf ve 0-100 arasına normalize edilmiş değerleri **Çizelge 1**'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Yöntemlere ilişkin analiz verileri

Parametre	Kategori	FR	NFR	Wf	NWf
Yükseklik (m)	1103 - 1204	0.11	0	-2.41	0
	1204 - 1316	2.61	100	1.26	100
	1316 - 1411	1.13	41	0.16	70
	1411 - 1525	1.94	73	0.86	89
	1525 - 1632	0.23	5	-1.73	18
Eğim (°)	0 - 4.43182	0.24	0	-1.82	0
	4.43182 - 9.064293	1.31	68	0.38	85
	9.064293 - 14.434094	1.75	96	0.76	100
	14.434094 - 21.474258	1.82	100	0.70	98
	21.474258 - 45.861698	0.70	29	-0.37	56
Bakı (°)	-1-0	0.09	2	-2.44	15
	0-22.5	1.00	47	0.00	79
	22.5-67.5	2.07	100	0.81	100
	67.5-112.5	1.56	75	0.58	94
	112.5-157.5	0.81	38	-0.27	72
	157.5-202.5	1.31	62	0.35	88
	202.5-247.5	0.62	28	-0.52	65
	247.5-292.5	0.06	1	-2.79	6
	292.5-337.5	0.05	0	-3.01	0
Topografik Nemlilik İndeksi	337.5-360	0.25	10	-1.39	42
	0.73583 - 2.89518	1.27	97	0.35	100
	2.89518 - 4.155568	0.82	0	-0.31	0
	4.155568 - 5.892192	0.85	6	-0.20	16
	5.892192 - 8.398252	1.11	63	0.12	65
Drenaj Ağına Olan Uzaklık (m)	8.398252 - 14.191153	1.28	100	0.26	86
	0 - 100	1.46	95	0.40	98
	100-200	1.00	31	0.00	53
	200-300	1.08	43	0.08	62
	300-400	1.28	70	0.26	82
	400-500	1.48	98	0.41	99
	500-600	1.37	83	0.33	90
	600-700	1.08	43	0.08	62
	700-800	0.99	30	-0.01	52
Litoloji	800-900	1.21	61	0.20	75
	900-1000	1.49	100	0.42	100
	1000 - 2738.547677	0.78	0	-0.47	0
	Çayraz Formasyonu	1.68	100	1.14	100
	Kötüdağ Volkaniti	0.06	3	-3.16	0
	Başakpınar Tüfü	0.00	0	0.00	73
	Alüvyon	1.31	78	0.37	82
Pınarbaşı Ofiyoliti	0.00	0	-0.10	71	
Ağkaya Formasyonu	0.00	0	-0.02	73	

3. BULGULAR

Frekans oranı ve kanıt ağırlığı yöntemlerinden elde edilen ağırlık değerleri parametre haritalarına yeniden sınıflandırma yardımıyla atanarak tüm parametreler üst üste çakıştırılmıştır. Sonrasında “Natural Break” yöntemine göre 5 sınıfa (Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek) bölünerek çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritaları elde edilmiştir ve Şekil 4’de sunulmuştur.



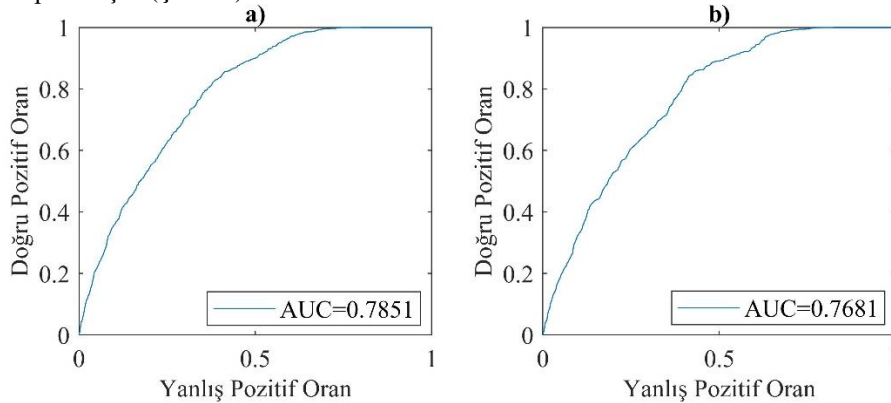
Şekil 4. Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritaları: a) Frekans Oranı Yöntemi, b) Kanıt Ağırlığı Yöntemi

Performans analizi için genel doğruluk ve AUC kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Genel doğruluk, heyelan duyarlılık haritalarında Yüksek ve Çok Yüksek duyarlılıklı sınıflar içerisindeki mevcut heyelanların dağılımının hesaplanması ile elde edilmektedir. Buna göre, frekans oranı ve kanıt ağırlığı yöntemlerinin genel doğruluk değerleri sırasıyla %81.04 ve %71.63 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Heyelanların ve duyarlılık sınıflarının alansal dağılımı

Sınıf	Alandaki Piksel Sayısı		Oran		Heyelanlı Piksel Sayısı		Oran	
	FR	KA	FR	KA	FR	KA	FR	KA
Çok Düşük	13869	12937	20.39	19.02	1	1	0.03	0.03
Düşük	13644	12281	20.06	18.05	150	180	4.51	5.41
Orta	13575	17707	19.96	26.03	480	763	14.42	22.93
Yüksek	13522	17570	19.88	25.83	996	1304	29.93	39.18
Çok Yüksek	13411	7526	19.72	11.06	1701	1080	51.11	32.45

Değerlendirme kriteri olarak hesaplanan diğer bir kriter ise AUC değeri olup, bir olayın oluşması veya oluşmaması durumunu güvenli bir şekilde tahmin etme kabiliyetini tanımlayarak kullanılan yöntemin kalitesini belirlemek için kullanılmaktadır (Akgün ve Türk, 2010). AUC değerinin 1'e yakınlığı kullanılan yöntem performansının yüksekliğini göstermektedir. Buna göre, frekans oranı metodunun AUC değeri 0.7851 iken kanıt ağırlığı yönteminin AUC değeri 0.7681 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. AUC değerleri: a) Frekans Oranı Metodu, b) Kanıt Ağırlığı Yöntemi

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Kayseri ili, Özvatan ilçesine bağlı Küpeli Mahallesi'nin frekans oranı ve kanıt ağırlığı metotları kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bu amaçla heyelana etki eden faktörlerden yükseklik, eğim, baki, topografik nemlilik indeksi, drenaj ağına olan uzaklık ve litoloji haritası olmak üzere 6 adet parametre kullanılmıştır ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için literatürde sıklıkla kullanılan frekans oranı ve kanıt ağırlığı yöntemleri tercih edilmiştir.

Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarına göre, çalışma bölgesinin frekans oranına göre yaklaşık %40'ı, kanıt ağırlığı yöntemine göre ise yaklaşık %37'si Yüksek ve Çok Yüksek duyarlılık sınıfları içerisinde kalmaktadır. Bu alanlar içerisindeki geçmişte meydana gelen heyelanların dağılım oranları ise kullanılan yöntemlerin performansı hakkında bilgi vermektedir. Bu oran genel doğruluk olarak ifade edilmekte ve frekans oranı yöntemi sonucunda bu değer %0.8104 ve kanıt ağırlığı yöntemi sonucunda ise %0.7163 olarak elde edilmiştir.

Bir diğer performans değerlendirme kriteri ise AUC değeri olup ROC eğrileri altında kalan alanın hesaplanması sonucunda elde edilmektedir. AUC değerleri frekans oranı ve kanıt ağırlığı yöntemlerine göre sırasıyla %0.7851 ve %0.7681 olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, her iki performans değerlendirme kriteri göz önünde bulundurulduğunda çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde frekans oranı yönteminin kanıt ağırlığı yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

Akncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C. ve Keçeci, S. B., 2010. Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3): 13-27.

Akgün, A., Türk, N., 2010, Landslide susceptibility mapping for Ayvalık (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61 (3): 595-611.

Arifianti, Y., Kristianto, Pamela, Solikhin, A., 2016. A Review on Mechanism of Landslides Induced by Earthquake in Sumatra, *Proc. Jogja Earthquake in Reflection (Jogja)*.

Avcı, V., 2016. Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl Güneybatısı) Frekans Oranı Metoduna Göre Heyelan Duyarlılık Analizi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 34: 160-177.

Aydinoğlu, A. Ç. ve Altürk, G., 2021. Heyelan Duyarlılık Haritalarının İstatistik ve Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Üretilmesi: Taşlıdere Havzası Örneği (Rize), *Coğrafya Dergisi*, 43: 159-176.

Beven, K. J. ve Kirkby, M. J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1): 43-69.

Bonham-Carter, G. F., 1994, Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. Merriam, D. F. (Ed.), *Computer Methods in the Geosciences*, 13, Pergamon / Elsevier, New York, 398.

Dağ, S. ve Bulut, F., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye), *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1): 35-62.

Dağdelenler, G., 2020. İki Farklı Örneklem Tekniği Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Karşılaştırılması, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44: 19-38.

Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T. ve Nishino K, 2008. GIS-Based Weights-of-Evidence Modelling of Rainfall-Induced Landslides in Small Catchments for Landslide Susceptibility Mapping, *Environ Geol*, 54(2): 311-324.

Dalkılıç, H., 2009. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Kayseri-K35 Paftası. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, No:123

Demir, G., 2017. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1): 96-112.

Doğan, S., Akncı, H., Kılıçoğlu, C., 2012. Bayes Olasılık Teoremi Kullanılarak Samsun İl Merkezinin Heyelan

Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, 65. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara.

Elmoulat, M., Brahim, L. A., Mastere, M. ve Jemmah, A. I., 2015. Mapping of Mass Movements Susceptibility in the Zoumi Region Using Satellite Image and GIS Technology (Moroccan Rif), *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(2): 210–217.

Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri/Earth Sciences*, 23: 189-206.

Hepdeniz, K. ve Soyaslan, İ., 2018. CBS ve Frekans Oranı Yöntemi Kullanılarak Isparta-Burdur Dağ Yolu Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2): 179-186.

Ildır, B., 1995. Türkiye'de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar, 2. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*, Sakarya.

Kılıçoğlu, C., 2020. Frekans Oranı Metodu ve Bayesyan Olasılık Modeli Kullanılarak Samsun İli Vezirköprü İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20: 138-154.

Kusnadi, Torizin, J., Fuch, M. ve Arifianti, Y., 2012. Geo-faktor Maps sebagai Parameter dalam Analisis Tanah Longsor dengan Metode Statistik Bivariat di Lombok, *Jurnal Gunungapi dan Bencana Geologi*, 4(2): 23–31.

MTA, 2022. Yerbilimleri Harita Görüntüleyici. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, [Erişim Tarihi: 15.08.2022].

Özşahin, E., 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1): 47-63.

Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2): 35-50.

Üzel Günini, N. ve Öztürk, D., 2021. Van İli Heyelan Duyarlılığının Frekans Oranı Yöntemiyle Analizi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3): 865-884.