

[1351]

HEYELANLI ÖRNEKLEM SEÇİMİNDEKİ FARKLI YAKLAŞIMLARIN HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ BAŞARI TAHMİN DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİ

Senem TEKİN¹, Tolga ÇAN²

¹Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana, senemtekin01@gmail.com
². Doç.Dr. Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana, tolgacan@cukurova.edu.tr

ÖZET

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde niteliksel ve niceliksel olarak farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Niceliksel heyelan duyarlılık yöntemlerinde geçmişte heyelanlara neden olan faktörlerin gelecekte heyelanların mekansal dağılımında etkili olacağı varsayımı yapılmaktadır. Buna göre duyarlılık haritalarının başarı ve tahmin kapasitesi genel olarak heyelan envanter haritasının doğruluğu ve heyelanların oluşumunda etkili olduğu düşünülen faktörlerin seçimine bağlı olarak değişmektedir. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan mantıksal regresyon yöntemi niceliksel heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde en fazla kullanılan yöntemler arasındadır. İstatistiksel değerlendirmelerde uygun haritalama ünitesi, heyelanlı ve heyelandan etkilenmemiş alanların oranı, analiz ve doğrulama veri setlerinin seçimi duyarlılık haritaları üzerinde etkili olmaktadır. Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında sayısal arazi modeli ve buradan üretilen türev haritaların çevresel değişkenler olarak çoğunluğu oluşturması bakımından haritalama ünitesi olarak piksel hücreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Heyelanlı alanlara ilişkin veriseti oluşturmada ise kök hücre, poligon seçimi, heyelanlı piksel seçimi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki % 3'üne karşılık gelen heyelanlı alanlar, 25 m mekansal çözünürlüğe sahip 21749 adet piksel ile temsil edilmektedir. Bu çalışmada duyarlılık değerlendirmelerinde heyelanlar % 78-83 analiz ve % 16-22 doğrulama veri setleri olarak iki farklı rastgele seçim yöntemi kullanılarak seçilmiştir. Poligonlara dayalı rastgele seçim yönteminde heyelan numaraları dikkate alınarak heyelanlı poligonların tamamının seçimine dayalı veri seti oluşturulmuş. Piksel tercihli seçim yönteminde ise; poligonlara dayalı rastgele seçim yöntemi ile eşit sayıda rastgele heyelanlı piksel seçimi uygulanmıştır. Heyelanlı verisetlerine karşılık üçer adet heyelansız piksel seçilerek verisetleri oluşturulmuştur. Heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak, jeoloji, arazi sınıflaması, arazi kullanımı, yamaç eğrisellikleri, yamaç eğimi, topografik nemlilik indeksi, nehir aşındırma indeksi, sediman taşıma kapasitesi, pürüzlülük indeksi, eğim/yamaç yönelimi haritaları coğrafi bilgi sistemleri ortamında hazırlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritaları performans sonuçlarında, çok yüksek-yüksek duyarlı alanların çalışma alanında düşük mevcut heyelanlar da ise yüksek yüzdelere sahip olması amaçlanmaktadır. Heyelan poligonlarına ait pikseller ile düzensiz rastgele seçim yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen duyarlılık harita sonuçları karşılaştırıldığında poligonlara dayalı rastgele seçim yönteminin daha avantajlı olduğu görülmüştür. İkinci yöntemde yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanında % 20, tüm heyelanlarda ise % 35'e varan artışlar gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Heyelan Duyarlılık, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Sayısal Arazi Modeli

ABSTRACT

LANDSLIDE THE PREDICTION SUCCESS RESPONSES OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS UNDER DIFFERENT LANDSLIDE SAMPLING STRATEGIES

Numerous qualitative and quantitative methods are used for landslide susceptibility assessments. In the quantitative landslide susceptibility methods, it is assumed that the landslide causal factors in the past will be the same for the spatial prediction of the future landslides. Accordingly, the prediction and success rate of the landslide susceptibility methods mostly relies on the accuracy of the landslide inventory and the selection of the appropriate landslide preparatory factors. Logistic regression is a multivariate statistical and one of the most widely used method in quantitative landslide susceptibility mapping. The proportion of the analyses and validation dataset, landslide affected and landslide free areas and statistical mapping units have influence on final susceptibility maps. In recent years, the Geographical Information Systems based digital elevation models and their derivative maps constitute the majority of the environmental parameters. The grid cells are widely used as mapping unit in statistical evaluations. During the selection of the data from the landslide affected areas seed cells, polygons and partially selected grid cells are generally used. Landslides are represented by 21749 pixels of 25 m spatial resolution which corresponds 3 % of the study area. In susceptibility assessments two different random selection method ranging 78-83% for the analysis and 16-22 % validation set in landslide affected areas were applied. For the first random selection the landslides were selected considering the whole individual polygon while in the second selection random grid cells of equal size of the former one were selected in any part of the landslide polygons. Three random selections for the landslide free grid cells of equal proportion were also applied for each of the landslide affected data set. Among the landslide conditioning factors; lithology, landform classification, landuse classification, curvature, slope, topographic wetness index, stream power index, slope position index, roughness index, slope/aspect ratio have been prepared in Geographical Information Systems. In the performance evaluation of the landslide susceptibility maps it would generally expected that the portion of the high and very high susceptible areas should be minimum covering majority of the substantial landslides. It has seen that the random selection of the entire landslide affected polygon is more advantageous than the other method. In the second choice the increase of the high and very high susceptible zone reach up to % 20 for the entire study area and 35 % for the landslides affected areas.

Keywords: Landslide Susceptibility, Geographical Information Systems, Digital Elevation Models

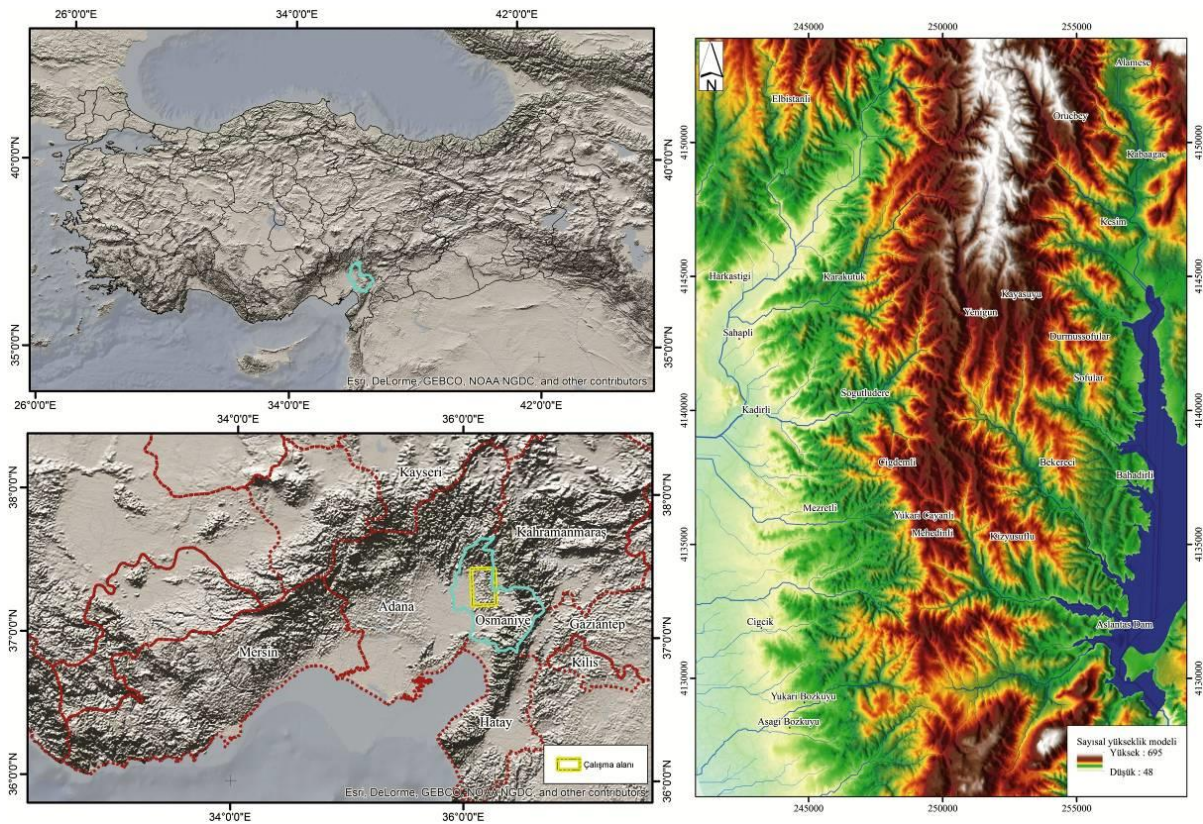
1.GİRİŞ

Heyelanlar başlıca jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insan etkisi gibi faktörlerin etkisi altında oluşmaktadır. Bu nedenle, heyelan tipleri mekânsal ve zamansal olarak geniş bir aralıkta farklılıklar sunabilmektedir. Heyelanların tipi ve mekânsal dağılımını gösteren heyelan envanter haritaları, bölgesel anlamda heyelan olaylarını anlamada, ayrıntılı çalışma yapılması gerekli hedef bölgelerin seçimine yardımcı olan ve heyelan zarar azaltma çalışmalarının temelini oluşturan haritalardır (Çan vd; 2013).

Heyelanların mekansal dağılımı ile oluşumuna sebep olan çevresel faktörlerin anlaşılmasını sağlamak amacıyla MTA Genel Müdürlüğü tarafından sayısal heyelan veritabanı oluşturulmuştur (Duman vd., 2005; Çan ve Duman 2008; Duman vd., 2011, Çan vd., 2013). Mevcut veri tabanı heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasında öncelikli hedef bölgelerin belirlenmesinde önemli katkı sağlamakla birlikte, heyelan duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirme çalışmalarının tamamında en önemli girdi parametresini oluşturmaktadır (Çan vd., 2013, Tekin vd., 2015).

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, mevcut heyelan veri tabanı ile heyelanlara sebep olan çevresel değişkenler arasında ilişki kurarak ileride potansiyel heyelan gelişiminin meydana geleceği bölgeleri belirlemesi amacıyla, olası tehlike ve risk çalışmalarının temel altlık parametresini oluşturmaktadır. Duyarlılık değerlendirmelerde uygun haritalama ünitesi, heyelanlı ve heyelandan etkilenmemiş alanların oranı, analiz ve doğrulama veri setlerinin seçimi duyarlılık haritaları üzerinde etkili olmaktadır (Süzen ve Doyuran 2004, Çan vd., 2005, Nefeslioğlu vd., 2008, Heckmann vd., 2014, Regmi vd., 2014, Hussin vd., 2016).

Bu çalışmada Çukurova bölgesi içinde Kadiri ilçesi (Osmaniye) ile Aslantaş Barajı arasında toplam 523 km²'lik alanda farklı şekilde heyelanlı örneklem seçimleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Şekil 1). Heyelan duyarlılık haritalarında değerlendirme kriteri olarak çok yüksek-yüksek duyarlı sınıfların çalışma alanında düşük yüzdeye, mevcut heyelanların ise bu sınıflar içerisinde yüksek yüzdelere sahip olması şeklinde yapılmıştır.

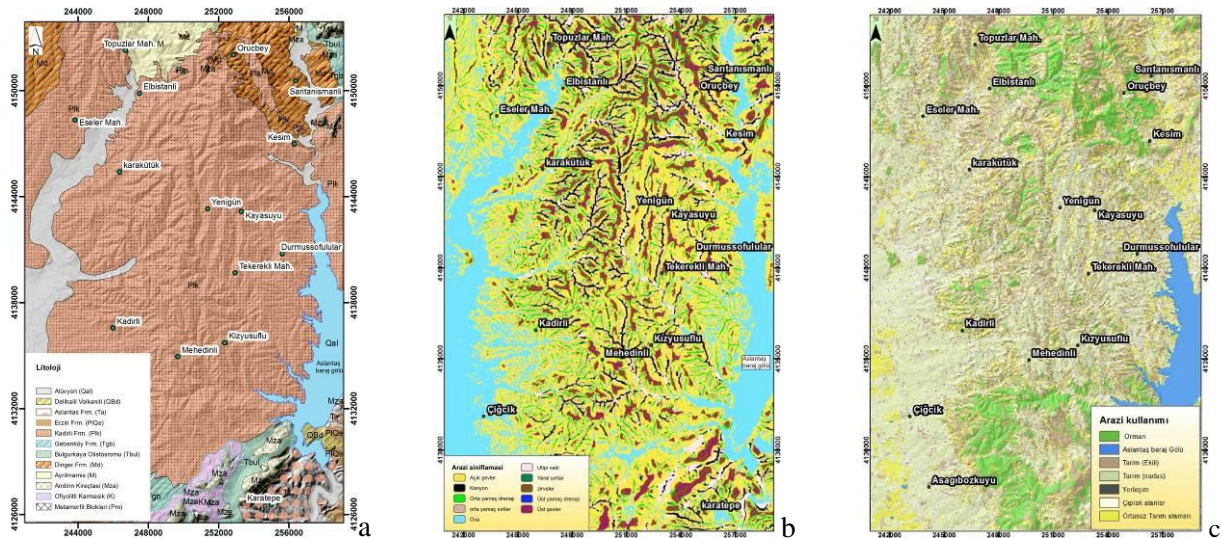


Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

2.ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Çukurova morfolojik olarak yataya yakın engebesiz bir arazi yapısı ile temsil edilmekte olup bu yapı içerisinde engebeli araziler KD-GB uzanımlı Misis Andırın Tektonik Kuşağı ile temsil edilmektedir. Çalışma alanı bölgesel jeolojik konum açısından Misis Andırın Kuşağı içerisinde yer almaktadır (Kozlu 1997). Çalışma alanının % 65 gibi oldukça büyük bir bölümü Geç Pliyosen yaşlı Kadırlı formasyonu ile temsil edilmektedir (Şekil 2a). Yamaç eğimlerinin dağılımına bakıldığında; 10 dereceden düşük eğimli yamaçların çalışma alanının % 50'sine karşılık geldiği, 20° üstündeki yamaçların ise çalışma alanının % 15'ine karşılık geldiği görülmektedir. Topoğrafik durum indeksi (Weiss, 2001) kullanılarak oluşturulan arazi kullanım haritasında çalışma alanı morfolojik açıdan ova, etek düzlükleri ve alçak tepeliklerden oluşmaktadır (Şekil 2b). Deniz seviyesine göre ova tabanı yükseklik değerleri 40 - 90 m, etek düzlükleri 90 - 150 m arasında, alçak tepelikler ise en fazla 700 m'ye ulaşmaktadır (Tekin, 2014). Landsat 2010 uydü görüntüleri kullanılarak uzaktan algılama yazılımlarıyla oluşturulan arazi kullanımı haritasına göre çalışma alanının % 40'ı nadas ve ekili tarım arazilerinden oluşmaktadır (Şekil 2c). Jeoloji, arazi kullanımı ve sınıflaması parametreleri yanısıra diğer çevresel değişkenler olarak sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, kesit, teğetsel, düzlemsel yamaç eğrisellikleri, topoğrafik nemlilik indeksi, nehir aşındırma indeksi, sediman taşıma kapasitesi, pürüzlülük indeksi, eğim/yamaç yönelimi haritaları kullanılmıştır (Çizelge 1).

Osmaniye ili Kadırlı ilçesi Akdeniz iklimi özelliklerine ve meteorolojik şartlarına sahiptir. Kıyıya yakın alanlarda yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı Akdeniz iklimi, iç kesimlerde ve yükseklerde ise karasal iklim şartlarına geçiş gözlenmektedir. Osmaniye meteoroloji istasyonu verilerine göre; yıllık sıcaklık ortalaması 21,9°C'dir. Uzun yıllar verilerine göre yıllık yağış toplam miktarı 790 mm'dir. En çok yağış Aralık-Mart ayları arasında en az yağış ise Ağustos ayında gerçekleşmektedir.



Şekil 2: Çalışma alanına ait jeolojik haritası (Kozlu 1997) (a), arazi sınıflaması (b) ve arazi kullanımı haritası(c)

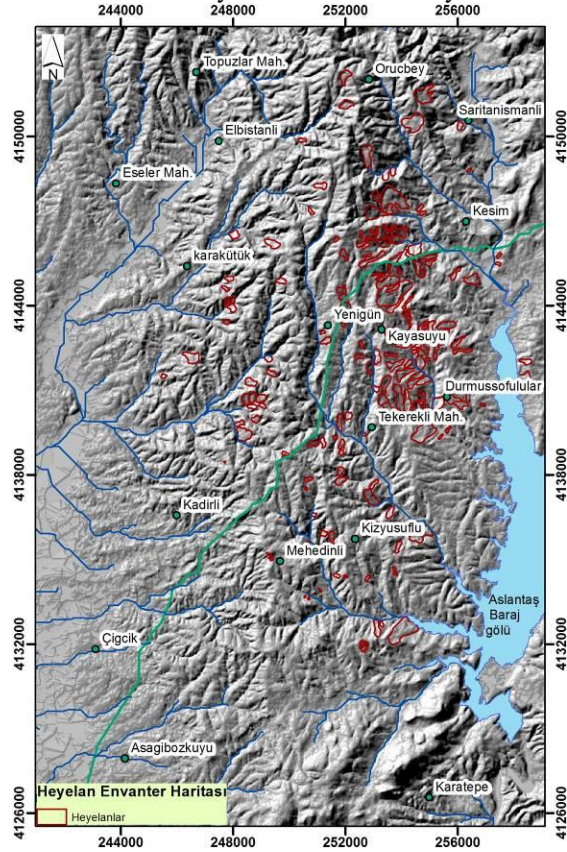
Çizelge1. Çevresel değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiksel veriler.

Çevresel değişkenler	En düşük	En yüksek	ortalama	Standart sapma
Sayısal yükseklik modeli (m.)	48.069	695	244.45	112.31
Yamaç eğimi (°)	0	63.39	10.84	8.00
Kesit yamaç eğriselliği	-14.08	11.74	0.000009	0.89
Teğetsel eğrilik	-5.78	6.98	0.014	0.48
Düzlemsel yamaç eğriselliği	-8.35	8.30	0.014	0.55
Pürüzlülük	0	7.37	2.40	1.02
Topoğrafik nemlilik indeksi	-0.49	24.02	4.46	4.96
Nehir aşındırma gücü indeksi	0	10.90	0.59	0.98
Sediman taşıma gücü	0.2	9.47	0.80	0.97
Eğim/yamaç yönelimi	625	1395.32	643.37	24.16

3.HEYELAN ENVANTERİ

Türkiye Heyelan Envanter haritasında (Duman vd., 2009) bölgede yer alan heyelanlar temel alınarak çeşitli zamanlarda yapılan arazi çalışmaları ile mevcut heyelan envanter haritası ilave 18 heyelan ile güncellenmiştir (Tekin, 2014). Revize edilen envanter haritasında, toplam alanı 14 km² olan 185 adet kompleks ve dairesel kayma tipi heyelan bulunmaktadır (Şekil 3). Heyelanların % 86,4'ü gevşek yapıli kum dolgulu iri çakıltaşı, kalın tabakalı

çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, düşük dayanımlı kiltası ve çamurtaşlarının düzensiz ardalanmasından oluşan Kadırlı formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bakü-Tiflis-Ceyhan petrol boru hattının yaklaşık 30 km'lik bölümü çalışma alanı içerisinde geçmekte olup belirli bölümleri heyelanlardan olumsuz yönde etkilenmektedir.



Şekil 3: Heyelan envanter haritası

4. HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMELERİ

Heyelanların hangi bölgelerde meydana gelebileceği hakkında yaklaşımlar sunan heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, bölgenin mevcut heyelan envanter haritaları ve heyelanları hazırlayıcı çevresel faktörleri göz önünde bulundurularak hazırlanmaktadır. Heyelan duyarlılık ve risk değerlendirmeleriyle ilgili yaklaşımlar Varnes, 1984; Soeters ve vanWesten, 1996; Aleotti ve Chowdhury, 1999; Guzzetti vd., 1999; Dai vd., 2002; vanWesten, 2006; Fell vd., 2008; Corominas vd., 2014 tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir. Buna göre heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan yöntemler niteliksel ve niceliksel yaklaşımlar olarak iki ana başlık altında toplanmaktadır. Niceliksel heyelan duyarlılık yöntemlerinde geçmişte heyelanlara neden olan faktörlerin gelecekte heyelanların mekansal dağılımında etkili olacağı varsayımı yapılmaktadır. Niceliksel yöntemler veri güdümlü ve fiziksel tabanlı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Corominas vd; 2014). Fiziksel tabanlı yöntemler kendi içerisinde, statik yöntemler (yamaç profili, sonsuz şevler, 3 boyutlu modelleme), dinamik yöntemlerden (sismik aktivite durumu) oluşmaktadır. Kayma direnci parametresi, boşluk suyu basıncı, güvenlik katsayısı parametreleri gibi veriler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Veri güdümlü yöntemler bölgesel ölçekte yapılacak planlama çalışmalarında tercih edilmekte ve iki değişkenli istatistiksel yöntemler (değişkenlerin ağırlıklı ortalaması, sıklık oranlaması), çok değişkenli istatistiksel yöntemler (mantıksal regresyon, matris analizi, ayırma analizi, kümeleme analizi) ve yapay sinir ağları yöntemlerini içermektedir (Corominas vd., 2014). Bölgesel anlamda morfolojiyi kontrol altında tutan çevresel parametreler ile heyelanlar arasında ilişkileri ortaya çıkarmaktadır.

Duyarlılık değerlendirmelerde uygun haritalama ünitesi, heyelanlı ve heyelandan etkilenmemiş alanların oranı, analiz ve doğrulama veri setlerinin seçimi duyarlılık haritaları üzerinde etkili olmaktadır (Süzen ve Doyuran 2004, Çan vd., 2005, Nefeslioğlu vd., 2008, Heckmann vd., 2014, Regmi vd., 2014, Hussin vd., 2016). Bu çalışmada; çevresel faktörler olarak başta jeoloji ve arazi kullanımı yanısıra bölgenin sayısal yükseklik modelinden üretilen birincil ikincil türev haritaları olmak farklı tematik haritalar Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında hazırlanmıştır. Model yapılandırma teknikleri uygulanarak tüm çalışma alanı için mantıksal regresyon yöntemi için veri matrisi oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması aşamasında ilk olarak uygun haritalama biriminin seçilmesi gerekmektedir. Harita birimi seçilirken; çalışma alanındaki heyelanların alansal büyüklüğü, çalışma alanının büyüklüğü, çözünürlük, ölçek ve kullanılan parametre haritalarının türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu

çalışmada haritalama birimi olarak 25x25m boyutlarında pikseller kullanılmıştır. Buna göre çalışma alanı toplam 830479 adet piksel ile temsil edilmektedir. Çalışma alanındaki heyelandan etkilenmiş alanlar ise toplam 21749 adet pikselden oluşmaktadır.

4.1.Mantıksal regresyon

Mantıksal regresyon yöntemi bağımlı değişkenin (heyelanlar) ikili gözlemlendiği durumlarda, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin (heyelana sebep olan fiziksel, çevresel vb., faktörler) neden sonuç ilişkisini Eşitlik 1'deki gibi belirlemede kullanılan, bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkeninin beklenen değerlerinin olasılık olarak elde edildiği çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biridir.

$$Z_1 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (1)$$

Eşitlikte X değerleri bağımsız değişkenleri (heyelanları hazırlayıcı faktörler), β 'lar ise bağımsız değişkenlere ait regresyon katsayılarını vermektedir.

Eşitlik 1 ile hesaplanan Z değeri $-\infty$ ile $+\infty$ arasında değişim gösterdiğinden, olasılık hesaplaması yapılması amacıyla lojit dönüşüm uygulanmaktadır (Eşitlik 2). Mevcut heyelan envanteri ve çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlere olan ilişkiyi ortaya koyabilmek için olasılık değerleri hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, P bir olayın gerçekleşme olasılığını sunmaktadır. Hesaplanan P değerleri bölgede meydana gelebilecek heyelanların olma olasılığını göstermektedir.

$$P = 1 / (1 + e^{-z}) \quad (2)$$

Bu dönüşüm esasen P olasılık değerinin 0'a yaklaştığında durum olasılığı $-\infty$, 1'e yaklaştığında ise $+\infty$ 'a yaklaşmaktadır (Hosmer vd., 2013).

4.2.Örnekleme Seçim Yöntemleri

Mantıksal regresyon yönteminde kullanılacak verisetlerinde iki değerli (1, 0) bağımlı değişkenin birbirine oranı genel doğruluk sınıflaması sonuçları üzerinde etkili olmaktadır. Bu durumda mantıksal regresyon modeli yüksek değerlere sahip sınıf lehine sonuçlar vermektedir (Hosmer vd., 2013). Bu nedenle mantıksal regresyon yönteminde genel olarak heriki sınıfa ait eşit sayıda bağımlı değişken seçilerek modelleme yapılmaktadır (Ayalew ve Yamagishi 2005; Duman vd., 2006; Heckmann vd., 2014; Hosmer vd., 2013; Suzen ve Doyuran 2004; Yesilnacar ve Topal 2005; Nefeslioglu vd., 2008). Çalışma alanında heyelanlar genel olarak kompleks ve dairesel kayma şeklinde gözlenmektedir. Bu tür heyelanlarda heyelanın ana ayna, taç, göçme, kabarma ve topuk gibi bölgelerinde yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç eğriliği gibi çevresel değişkenler farklılıklar göstermektedir. Heyelanlı alanlar yaklaşık olarak %80 analiz ve %20 doğrulama veri seti olarak heyelan poligonlarının tamamı ve poligonlar içerisindeki piksellerden kısmen seçim yapılmak koşulu ile iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Heyelandan etkilenmeyen alanlar içerisinde analizlerde kullanılmak üzere analiz ve doğrulama setlerinde seçilen heyelan değerlerine karşılık gelen heyelansız veri kümesi (0 olayı) rastgele seçim yöntemi ile seçilmiş ve veri setleri oluşturularak duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır.

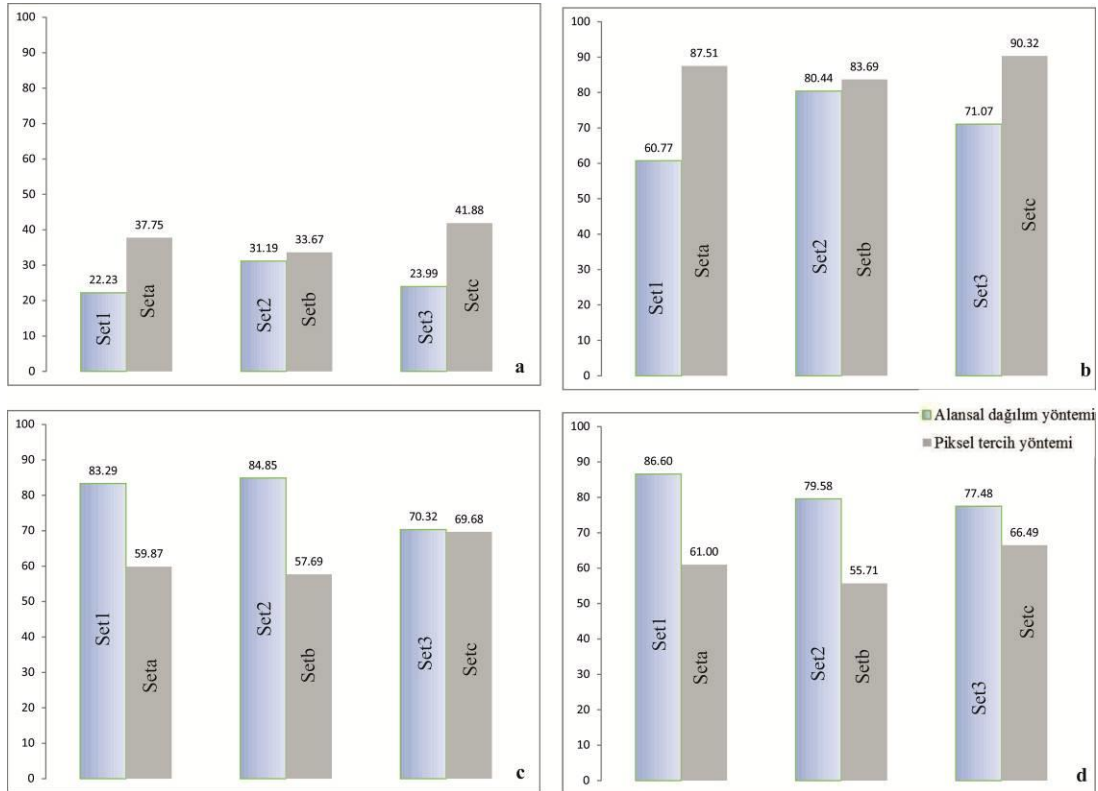
Çalışma alanında bulunan 185 adet heyelan poligon alanlarına kimlik numaraları verilmiş ve her bir heyelanın alanları hesaplanmıştır. Rastgele seçim heyelan numaraları baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre üç farklı veri seti oluşturulmuştur. Buna göre toplam 21749 adet pikselden oluşan heyelanlar analiz ve doğrulama veri setleri olarak sırasıyla 1 nolu verisetinde % 79.80 - %20.20, 2 nolu verisetinde % 77.48 - % 22.52 ve son olarak 3 verisetinde % 84.16 - % 15.84 olarak elde edilmiştir.

Bu yöntemde ise poligonlara dayalı veri setleri ile eşit sayıda piksel rastgele seçim tekniği ile heyelanlı alanların herhangi bir bölümünden seçilmiştir. Analiz ve doğrulama yüzdelere karşılık gelen piksel değerleri kullanılarak 3 farklı veriseti oluşturulmuştur. Heyelanlı piksellerden sırasıyla analiz/doğrulama verisetleri olarak set-a 17355/4394, set-b 16851/4898, set-c 18303/3445 üç farklı set oluşturulmuştur.

4.3.Heyelan Duyarlılık Haritaları

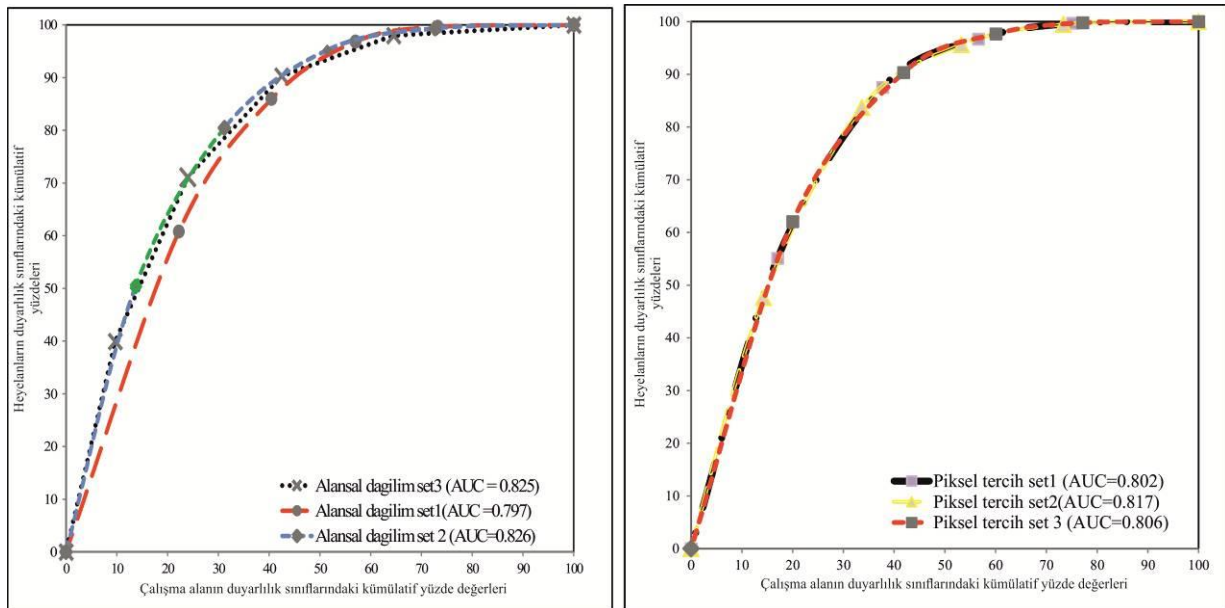
İki farklı rastgele seçim yöntemi kullanılarak Kadirli (Osmaniye) civarı 523 km²'lik çalışma alanında mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık değerlendirilmesi yapılmıştır. Heyelan poligonlarının alansal dağılımları göz önünde bulundurularak oluşturulan setlere (set1, set2, set3) karşılık gelen rastgele heyelanlı pikseller kullanılarak oluşturulan setlerin (seta, setb, setc) analiz sonuçlarına göre yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlar Şekil 4'de görülmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarında yüksek-çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanında düşük, mevcut heyelanlar da ise yüksek yüzdelere sahip olması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda Şekil

4a'da poligon alanları kullanılarak elde edilen 3 duyarlılık haritası diğer seçim yöntemine göre daha düşük yüzdelerde yer almaktadır. Setler arasında % 15-20 lik farklar görülmektedir. Mevcut heyelanlarda fark yaklaşık % 30 ve bu heyelanlardan seçilen doğrulama, analiz heyelanlarında ise yaklaşık olarak % 35'lik farklar ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. Heyelan duyarlılık haritaları yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıf çalışma alanı (a), tüm heyelanlar (b), doğrulama (c) ve analiz (d) heyelanları dağılımları

Yapılan duyarlılık değerlendirmelerinin performansları alıcı işletim karakteristik eğrileriyle test edilmiştir. Tüm setlerin eğri altında kalan alanları (AUC) çok iyi sınıf aralığına denk gelmekte fakat tüm sonuçlar içerisinde en yüksek performans alansal dağılım set2'de görülmektedir (Şekil 5). Bu sete ait aşamalı mantıksal regresyon analiz sonucu denkleme giren değişkenler Çizelge 2'de verilmiştir. Pürüzlülük indeksi, Kadırlı formasyonu, ekili ve nadas tarım arazileri ve yamaç eğimi bölgede heyelan oluşumuna sebep olan parametreler olarak denkleme öne çıkmaktadır.

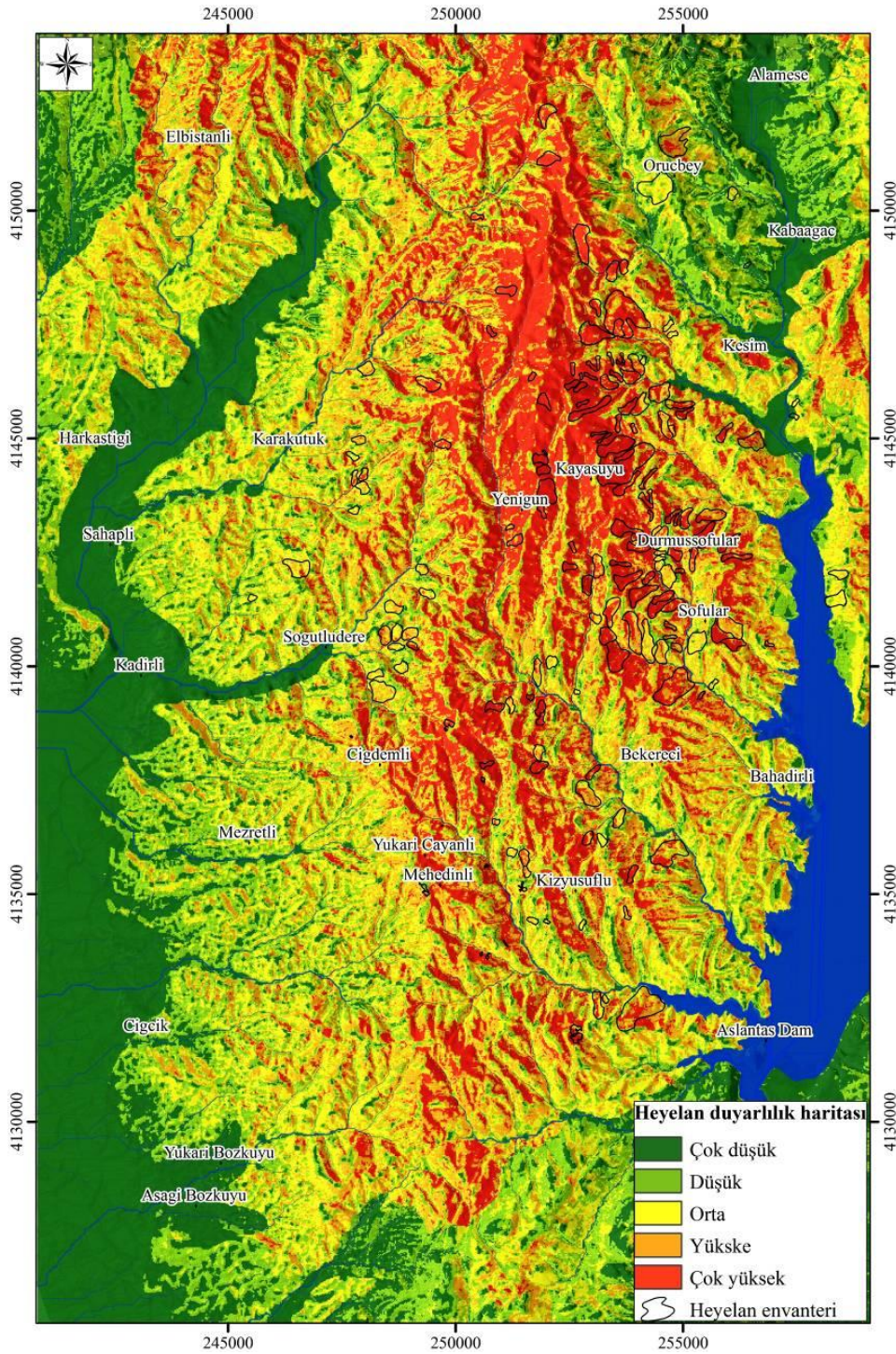


Şekil 5. Duyarlılık verisetleri alıcı işletim karakteristik eğri sonuçları.

Çizelge 2 . Mantıksal regresyon alandal dağılım set2veri seti analiz sonuçları.

Değişken	Anlamlılık				
	(B)	Standart hata	Wald	(P)	Exp(B)
Yükseklik	0,008	0	1714,316	0,001	1,007
Eğim	0,026	0,007	12,586	0,005	1,027
Kesitsel yamaç eğriselliği	-0,155	0,036	18,236	0,002	0,960
Sediman taşıma kapasitesi	-0,061	0,009	43,98	0,002	0,94
Nehir aşındırma gücü	0,321	0,037	75,298	0,007	1,378
Topoğrafik Nemlilik indeksi	-0,081	0,015	28,55	0,000	0,922
Orman	0,455	0,08	32,218	0,003	1,576
Ekili tarım	1,251	0,578	4,682	0,026	3,494
Nadas tarım	1,348	0,073	344,482	0,005	3,848
Çıplak alanlar	0,604	0,049	150,641	0,001	1,83
Pürüzlülük	3,514	0,131	721,007	0,000	33,579
Kadirli formasyonu	1,852	0,123	20,707	0,001	0,571
Alüvyon	-3,267	0,018	516,759	0,005	0,658
Sırt	-0,335	0,111	9,149	0,002	0,716
Yerel sırtlar	-0,691	0,035	380,362	0,007	0,501
Orta yamaç	-0,38	0,041	87,428	0,0035	0,684
Sabit	-5,403	0,211	658,695	0,0011	0,005

Çalışma alanı sonuç duyarlılık haritası doğal sınıf aralıklarına göre oluşturulmuştur ve bu haritaya göre çalışma alanının % 31.19'u mevcut heyelan envanterinin ise %80'i yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası.

5.SONUÇLAR

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan mantıksal regresyon yöntemi ile gerçekleştirilerek farklı örneklem seçim yöntemlerinin duyarlılık performansları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla piksel haritalama birimi kullanılmış ve heyelanlar % 78-83 analiz ve % 16-22 doğrulama veri setleri olarak heyelanlı poligonların tamamından ve belirli bir bölümünden seçimine dayalı iki farklı rastgele seçim yöntemi kullanılarak seçilmiştir. Heyelan poligonlarına ait pikseller ile düzensiz rastgele seçim yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen duyarlılık harita sonuçları karşılaştırıldığında poligonlara dayalı yöntemin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Rastgele heyelanlı piksel yönteminde yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanında % 20 tüm heyelanlarda ise % 35 ye varan artışlar gösterdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aleotti P., Chowdury R.**, 1999, Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 21-44.
- Ayalew, L, Yamagishi, H**, 2005, The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65:15-31.
- Çan, T. and Duman, T, Y.** 2008, General evaluation of historical landslide inventory of Turkey, Proceedings in Symposium of Paleoenvironmental Reconstruction and Material Circulation by Water System, Abstracts book, pp,6-8, Hakozaiki Campus Kyushu Univ. Fukuoka Japan, Aralık 22-25.
- Çan, T. Duman, T,Y. Çil, E. Ve Mazman, T.** 2009, Mersin Merkez ve Erdemli ilçeleri kuzeyinin Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan envanter, duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirmesi, TÜBİTAK-ÇAYDAG:107Y138, Adana.
- Çan, T. Duman, Ty. Olgun, Ş. Çörekçiöğlü, Ş, Gülmez Karakaya, F. Elmacı, H. Hamzaçebi, S. Emre, Ö.** 2013, Türkiye Heyelan Veri Tabanı, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 11-13 Kasım 2013, Ankara.
- Dai, F. C., Lee, C. F., Ngai, Y. Y.**, 2002, Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64,65-87.
- Duman, T, Y. Çan, T. Emre, Ö. Kecer, M. Doğan, A. Ateş, S. And Durmaz, S.** 2005, Landslide inventory of northwestern Anatolia, *Engineering Geology*, 77, 1/2, 99–114.
- Duman, T. Y., Çan, T., Gökçeöğlü, C., Nefesliöğlü, H. A., Sönmez, H.**, 2006, Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 241-256,.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö.**, 2011. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası - 1/1,500,000 Ölçekli, MTA Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, 23.
- Duman, T.Y., T. Çan, Ş. Olgun, H.A. Nefesliöğlü, S. Durmaz, S. Hamzaçebi, H. Elmacı Ve Ş. Çörekçiöğlü,** 2009, Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1/500000 ölçekli Hatay Paftası, MTA Özel Yay. Serisi-24, Ankara, 23 s.
- Fell R, Corominas J, Bonnard Ch, Cascini L, Leroi E**, 2008, Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Comment Eng Geol* 102:99–111.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., ve Reichenbach, P.**, 1999, Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Heckmann, T, Gegg, K, Gegg, A, Becht, M**, 2014. Sample size matters: investigating the effect of sample size on a logistic regression susceptibility model for debris flows. *Nat Hazard Earth Sys* 14:259-278.
- Hosmer D, Stanley Lemeshow S, Sturdivant R**, 2013, Applied Logistic Regression. John Wiley & Sons, Inc.
- Hussin, H Y, Zumpano, V, Reichenbach, P, Sterlacchini, S, Micu, M, Van Westen, C, Balteanu, D**, 2016, Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility model. *Geomorphology* 253:508-523.
- Kozlu, H.** 1997. Doğu Akdeniz Bölgesinde yeralan Neojen basenlerinin (İskenderun-Misis-Andırın) tektono-stratigrafi birimleri ve bunların tektonik gelişimi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bil. Enst., 189 s., Adana.
- Nefeslioglu, H A, Gokceoglu, C, Sonmez, H**, 2008, An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Eng Geol* 97:171-191.
- Regmi, N R, Giardino, J R, McDonald, E V, Vitek, J D**, 2014, A comparison of logistic regression-based models of susceptibility to landslides in western Colorado, USA. *Landslides* 11:247-262.
- Soeters, R., Van Westen, C. J.**, 1996, Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides: investigation and mitigation*. Transp Res. Board, Nat Res. Counc Spec Rep 247,129-177.

Süzen, M. L. Doyuran, V., 2004, Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303-321.

Tekin S., Çan, T., 2013, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemleri ile Kadirli-Aslantaş (Osmaniye) Arasının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013, 11-13 Kasım 2013, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Bildiriler İnteraktif CD, Bildiri No: 216, Ankara.

Tekin, S., 2014, Kadirli-Aslantaş (Osmaniye) Dolaylarının Cbs Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s., Adana.

Tekin, S., Çan, T., Mazman, T., Duman, T.Y., Doğu Akdeniz Bölgesinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Trabzon, S,137-145. 3-4 Eylül 2015.

Van Westen, C. J., Van Asch, T. W., Soeters, J. R., 2006, Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. *Bull Eng Geol Env* 65: 167–184. DOI 10.1007/s10064-005-0023-0.

Varnes, D.J., 1984, Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. In *Natural Hazards*, Vol. 3, UNESCO, Paris, 63 pp.

Weiss, A., 2001, Topographic Position and Landforms Analysis. ESRI User Conference, San Diego, CA.

Yesilnacar, E, Topal, T, 2005, Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Eng Geol* 79:251-266.