

**HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ  
ÜRETİLMESİNDE ÖRNEKLEM VE DOĞRULAMA  
STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (GELİBOLU  
YARIMADASI'NIN DOĞU KESİMİ)**

**ASSESSMENT OF SAMPLING AND VALIDATION  
STRATEGIES IN PRODUCTION OF LANDSLIDE  
SUSCEPTIBILITY MAPS (EASTERN PART OF  
GALLIPOLI PENINSULA)**

**GÜLSEREN DAĞDELENLER**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

JEOLOJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

DOKTORA TEZİ

olarak hazırlanmıştır

**2013**

# HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİNDE ÖRNEKLEM VE DOĞRULAMA STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (GELİBOLU YARIMADASI'NIN DOĞU KESİMİ)

**Gülseren Dağdelenler**

## ÖZ

Bu çalışma kapsamında, literatürdeki mevcut heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında kullanılan örneklem stratejilerinin ve doğrulama yaklaşımlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, kök hücre örneklem stratejisi ve tüm heyelan kütlesi (yer değiştirme+birikme alanı) örneklem stratejileri kullanılarak oluşturulan her iki modelin doğrulama indeksleri incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Çanakkale Gelibolu Yarımadası'nın doğusu çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar 6 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar, (1) arazi çalışmalarından, inceleme alanına ait hava fotoğraflarından ve Google Earth uydu görüntülerinden yararlanılarak heyelanların haritalanması ve çalışma alanına ait heyelan envanter haritasının oluşturulması, (2) heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılacak hazırlayıcı faktörlerin değerlendirilmesi, (3) yer değiştirme+birikme alanından yapılan örneklemler ve farklı d mesafelerinde (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) tampon alan oluşturularak yapılan kök hücre örneklemleri kullanılarak heyelan duyarlılık modellerinin geliştirilmesi, (4) oluşturulan her iki model için heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi, (5) modellerin doğrulama indekslerinin hesaplanması ve karşılaştırılması, (6) kök hücre örneklem stratejisinin önermiş olduğu tampon alan oluşturulurken kullanılan d mesafesinin modifikasyonudur. Her iki modele ilişkin doğrulama indeksleri kontrol veri seti kullanılarak hesaplanan eşik değerine bağımlı (hata matrisi ve Kappa indeksi) ve eşik değerinden bağımsız (ROC eğrisi ve AUC) olmak üzere ve alıştırma veri seti kullanılarak hesaplanan diğer doğrulama indeksleri (RMSE) olmak üzere 3 grupta incelenmiştir. İki modelin de doğrulama indeksleri oldukça yakın olarak hesaplanmıştır. Bu durum her iki modelin de kestirim kapasitesinin ve sahayı genelleme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Kök hücre örneklem stratejisi modelinin kontrol verisinden birbirinden bağımsız rastgele seçilmiş veri setleri ve d tampon

mesafelerine göre belirlenen ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerlerinin dağılımına bakıldığında kök hücre örneklem stratejisinde önerilen 100 m olan d mesafesinin yaklaşık 48-52 m arasında alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Duyarlılık, heyelan, kök hücre örneklem stratejisi, doğrulama, tampon mesafesi, Çanakkale Gelibolu Yarımadası

Danışman: Prof.Dr. Candan GÖKÇEOĞLU, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan A. NEFESLİOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

# **ASSESSMENT OF SAMPLING AND VALIDATION STRATEGIES IN PRODUCTION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS (EASTERN PART OF GALLIPOLI PENINSULA)**

**Gülseren Dağdelenler**

## **ABSTRACT**

The purposes of this study are to evaluate the sampling strategies used in landslide susceptibility mapping studies in the literature and to assess validation indices. In addition, validation indices of the models created by using seed cell sampling strategy and whole landslide mass (displacement + accumulation area) sample strategy have been analysed and compared. In line with this purpose, the east of Canakkale Gallipoli Peninsula has been selected as the study area. The research in the scope of this study has been conducted in 6 phases. These are; 1) mapping of the landslides and compilation of inventory map of the study area by using the field studies, the aerial photos and the Google Earth satellite images; 2) evaluation of conditioning factors to be employed in landslide susceptibility analyses; 3) development of landslide susceptibility models using seed cell samples established by buffer areas defined with different distances and samples from displacement and accumulation areas; 4) mapping of landslide susceptibility for both models constructed; 5) calculation and comparisons of validation indices of the models; 6) the modification of distance used to define the buffer area suggested by the seed cell approach. Validation indices of both models have been analyzed under three groups. Calculated using the train data set on dependent threshold value (confusion matrix and Kappa index) and independent threshold value (ROC curve and AUC) and calculated the test data set on other validation indices (RMSE). The calculated validation indices of the both models are approximate which indicates that the prediction capacity and generalization of both models are high. The distance of 100 m, suggested by the seed cell sample strategy has been proposed as approximately 48-52 m upon observation of the distribution of values below the ROC curve, determined by different sensitivity buffer distances and independent data sets randomly selected from control data of the seed cell sample strategy model.

**Key Words:** Susceptibility, landslide, seed cell sampling strategy, validation, buffer distance, Çanakkale Gallipoli Peninsula

Advisor: Prof.Dr. Candan GÖKÇEOĞLU, Hacettepe University, Department of Geological Engineering

Co-advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan A. NEFESLİOĞLU, Cumhuriyet University, Department of Geological Engineering

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın başından beri desteğini esirgemeyen, bilgi, öneri ve tecrübeleriyle beni yönlendiren özellikle tezin sonuca ulaşmasında bilimsel katkıda bulunan Tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Candan Gökçeoğlu'na,

Tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve tecrübelerinin yanı sıra manevi desteğini de benden esirgemeyen, çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasındaki yardımlarından dolayı tez eş danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan Ahmet Nefeslioğlu'na,

Tez çalışması süresince aydınlatıcı yorumları ve manevi desteğinden dolayı Tez İzleme Komite Üyesi Sayın Prof. Dr. Murat Ercanoğlu'na,

Yapıcı eleştirileri ile tezime katkıda bulunan Tez İzleme Komite Üyesi Sayın Doç. Dr. Aykut Akgün'e,

Çalışmam süresince beni teşvik eden, yorumlarını ve manevi desteğini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Harun Sönmez'e,

Tez çalışması süresince gerçekleştirilen arazi çalışmalarına katkıda bulunan aynı zamanda manevi desteğini benden esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Celal Tunusluoğlu'na,

Tezin yazım aşamasının özellikle son bölümünde gerekli ortamın sağlamasında verdiği destekten dolayı Sayın Prof. Dr. Işık Yılmaz'a,

Haritalama çalışmalarında yardımlarından dolayı Sayın Bülent Topuz'a,

Tezin yazım aşamasında yardımını esirgemeyen ve aynı zamanda tez çalışmam süresince manevi desteğini hep üzerimde hissettiğim sevgili arkadaşım Araş. Gör. Nazlı Tunar Özcan'a,

Haritalama çalışmalarında yoğun iş temposuna rağmen bana vakit ayıran ve yardım eden, program kullanmadaki yeteneğinden tezimin her aşamasında yararlandığım sevgili arkadaşım Hidrojeoloji Müh. Gamze Koç'a,

Tezin istatistiksel analizle ilgili bölümlerindeki yardımlarından dolayı Araş. Gör. Burcu Darend'e,

Tezin yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı arkadaşım Gözde Çobanoğlu'na ve kuzenim Doruk Cinoğlu'na,

Manevi destekleriyle bana güç veren sevgili dostlarım Serap Zerener, Ayşe Doğrul ve Aycan Coşkun'a,

H.Ü. Hidrojeoloji Mühendisliği'ndeki tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve burada ismini saymadığım maddi manevi katkısı olan tüm arkadaşlarıma,

Tez çalışması süresince gösterdikleri sabır, maddi ve manevi destekten dolayı sevgili aileme,

Son olarak, tezimin her aşamasında yanımda olan ve bu süreç boyunca gösterdiği anlayış için sevgili eşim Erdem DAĞDELENLER ve canım kızım Defne DAĞDELENLER'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gülseren DAĞDELENLER

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	1
1.2. Önceki Çalışmalar .....	3
1.2.1. Örneklem stratejilerine yönelik önceki çalışmalar .....	3
1.2.2. Heyelan duyarlılık modellerinin doğrulamasına yönelik önceki çalışmalar .....	16
1.2.3. 2009-2012 yılları arasında yapılmış heyelan duyarlılık analizleri, kullanılan yöntemler ve kullanılan doğrulama tekniklerine ilişkin önceki çalışmalar .....	20
2. İNCELEME ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ .....	24
2.1. İnceleme Alanının Tanıtımı.....	24
2.2. İnceleme Alanının Jeolojisi.....	26
2.2.1. Stratigrafi .....	27
2.2.1.1. Ofiyolit (of) .....	27
2.2.1.2. Fıçitepe Formasyonu (Tef) .....	27
2.2.1.3. Dededağ Volkanitleri (Ted).....	27
2.2.1.4. Korudağ Üyesi (Teck).....	27
2.2.1.5. Ceylan Formasyonu (Tec) .....	28



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2.1.6. Kanlıbent Üyesi (Tomk) .....	28
2.2.1.7. Kirazlı Üyesi (Tmki).....	28
2.2.1.8. Çamrakdere Üyesi (Tmçd).....	28
2.2.1.9. Alçıtepe Üyesi (Tmal) .....	29
2.2.1.10. Bayramiç Formasyonu (Tplb) .....	29
2.2.1.11. Traverten (Qtr).....	29
2.2.1.12. Eski Akarsu Çökelleri (Qea).....	29
2.2.1.13. Alüvyon (Qal).....	29
2.3. İnceleme Alanının Tektonik Özellikleri ve Depremselliği .....	31
3. HEYELAN ENVANTERİ .....	34
4. VERİ ÜRETİMİ .....	39
4.1. Üretilen Verilerin Genel Özellikleri .....	39
4.1.1. Sayısal yükseklik modeli (SYM) ve SYM'den türetilen parametreler. ....	39
4.1.1.1. Topoğrafik yükseklik .....	41
4.1.1.2. Yamaç eğimi.....	46
4.1.1.3. Yamaç yönelimi .....	49
4.1.1.4. Plan ve profil yamaç eğriselliği .....	53
4.1.1.5. Topoğrafik nemlilik indeksi.....	56
4.1.1.6. Akarsu aşındırma gücü indeksi.....	58
4.1.1.7. Sediman taşıma kapasitesi indeksi.....	60
4.1.2. Litoloji.....	62
4.1.3. Arazi kullanımı .....	64

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ .....	69
5.1. Heyelan Duyarlılığına İlişkin Temel Kavramlar .....	69
5.2. Heyelan Duyarlılık Haritalamasında Kullanılan Analizler .....	70
5.2.1. Yer değiştirme + birikme alanı (heyelan kütlesi) özelliklerine ilişkin lojistik regresyon modeli.....	74
5.2.2. Kök hücre örneklemelerine ilişkin lojistik regresyon modeli ve farklı "d" mesafelerindeki analizleri (d=25 m; 50 m; 75 m; 100 m) .....	88
5.2.3. Heyelan duyarlılık haritalarının dokusal karşılaştırmaları .....	133
6. HEYELAN DUYARLILIK MODELLERİNİN DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ .....	137
6.1. Doğrulama İndeksleri .....	137
6.1.1. Eşik değerine bağımlı (threshold dependent) doğrulama indeksleri.....	139
6.1.1.1. Hata matrisi (confusion matrix) ve hata matrisinden türeyen doğrulama istatistikleri .....	139
6.1.1.2. Cohen'in Kappa indeksi .....	148
6.1.2. Eşik değerinden bağımsız (threshold independent) doğrulama indeksleri .....	151
6.1.2.1. ROC eğrisi ve ROC eğrisi altında kalan alan (AUC).....	151
6.1.3. Diğer doğrulama indeksleri .....	157
6.1.3.1. RMSE indeksi ve doğru sınıflandırma yüzdesi (%).....	157
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	164
8. KAYNAKLAR .....	171
ÖZGEÇMİŞ .....	185

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

- Şekil 1.1. Kök hücresi yaklaşımının şekilsel gösterimi (A) heyelanın blok diyagramı (B) Havza sınırları ve heyelan kütlesi kontur çizgilerini gösteren harita (C) Kök hücresinden oluşturulan tampon bölgesinin gösterimi. Gri hücreler analizlerdeki geçerli kök hücrelerini gösteriyor (Süzen and Doyuran, 2004a'dan alınmıştır)..... 5
- Şekil 1.2. Ağırlıklandırılmış Ters Mesafe Aradeğerleme (Interpolation) Tekniği (IDW) ve yeniden oluşturma yöntemi için kullanılan ölçüt; (a) Mevcut DEM'in IDW kullanılarak aradeğerlemesi, (b) Yeniden oluşturulmuş DEM'in IDW kullanarak aradeğerlemesi, (c) Mevcut DEM'in Kriging yöntemi'nde aradeğerlemesi (enterpolasyonu), (d) Kriging yöntemi'nde yeniden oluşturulmuş DEM'in aradeğerlemesi (Görüm et al., 2008'den alınmıştır)..... 8
- Şekil 1.3. Yer değiştirme + birikme bölgesinden yapılan örneklemeler kullanılarak geliştirilen lojistik regresyon model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (a); Kök hücrelerinden yapılan örneklemeler kullanılarak geliştirilen lojistik regresyon model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (b); Yer değiştirme + birikme bölgesinden yapılan örneklemeler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağları model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (c); Kök hücrelerinden yapılan örneklemeler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağları model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (d). Heyelan duyarlılık değeri "gri"den "kırmızı"ya doğru artmaktadır (Nefeslioğlu et al., 2008'den değiştirilerek alınmıştır)..... 11
- Şekil 1.4. Haritalama birimleri içerisinde toprak akmalarını ifade edecek olan varlık (1) bilgilerinin girdi hücrelerine atanması; şematik gösterim (Nefeslioğlu, et al., 2011'den alınmıştır) ..... 13
- Şekil 1.5. Modellerde kullanılan örneklem stratejileri (Yılmaz, 2010)..... 15
- Şekil 1.6. Üç örneklem stratejisi kullanılarak üretilen iki modelden üretilen heyelan duyarlılık haritaları (Yılmaz, 2010'dan alınmıştır)..... 15
- Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ..... 25
- Şekil 2.2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan aylık ortalama yağış miktarları (mm) (MGM, 2007)..... 26
- Şekil 2.3. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (MTA, 2008'den değiştirilerek alınmıştır)..... 30

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.4. Ganos fay segmenti ve çalışma alanının haritada gösterimi ( <a href="http://www.mta.gov.tr/v2.0/duyuru/duyurular/25-TEMmuz-2011-MARMARA-DENIZI-DEPREMI-BILGI-NOTU">http://www.mta.gov.tr/v2.0/duyuru/duyurular/25-TEMmuz-2011-MARMARA-DENIZI-DEPREMI-BILGI-NOTU</a> 'ndan değiştirilerek alınmıştır).....	33
Şekil 2.5. Gelibolu yarımadası Kavaklı ilçesini merkez alan 100 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgeye ait sismoteknik harita ( <a href="http://deprem.gov.tr/sarbis/veritabanı">http://deprem.gov.tr/sarbis/veritabanı</a> ) .....	34
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki heyelanların alansal dağılımları .....	35
Şekil 3.2. Çalışma alanı içerisindeki heyelanların mekânsal dağılımları ....	36
Şekil 3.3. (a,b,c) Çalışma alanı içerisinde meydana gelen heyelanlara ait örnek fotoğraflar .....	38
Şekil 4.1. (a) Üçgen şeklinde düzensiz ağ ve (b) düzenli grid yapısına biri örnek gösterim.....	40
Şekil 4.2. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli.....	42
Şekil 4.3. Çalışma alanına ait yamaç eğimi haritası .....	48
Şekil 4.4. Çalışma alanına ait yamaç yönelimi haritası .....	52
Şekil 4.5. Çalışma alanına ait plan yamaç eğriselliği haritası .....	54
Şekil 4.6. Çalışma alanına ait profil yamaç eğriselliği haritası .....	55
Şekil 4.7. Çalışma alanına ait topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritası ....	57
Şekil 4.8. Çalışma alanına ait akarsu aşındırma gücü indeksi haritası .....	59
Şekil 4.9. Çalışma alanına ait sediman taşıma kapasitesi indeksi haritası.....	61
Şekil 4.10. Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası ( <a href="http://aris.ormansu.gov.tr">http://aris.ormansu.gov.tr</a> ).....	68
Şekil 4.11. Sahanın geneli için arazi kullanımının çalışma alanı içerisindeki % dağılımı .....	69
Şekil 5.1. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001'den alınmıştır).....	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.2. Yer değiştirme + birikme alanından (heyelan kütesinden) yapılan model için her üç rastgele örnekleme ait varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları.....	76
Şekil 5.3 (a). Kök hücresi modelinin şematik gösterimi, (b) kök hücresi modelinin d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m hassasiyetteki örneklem için belirlenen tampon bölgelerin gösterimi.....	89
Şekil 5.4 (a). Kök hücresi modeline ait d=25 m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları.....	91
Şekil 5.4 (b). Kök hücresi modeline ait d=50 m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları.....	92
Şekil 5.4 (c). Kök hücresi modeline ait d=75 m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları.....	93
Şekil 5.4 (d). Kök hücresi modeline ait d=100 m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları.....	94
Şekil 5.5 (a). Yer değiştirme + birikme alanı örneklem modeli ile üretilen heyelan duyarlılık haritaları .....	134
Şekil 5.5 (b). Kök hücre örneklem modelinin farklı tampon mesafelerindeki örneklem ile üretilen heyelan duyarlılık haritaları.....	135
Şekil 5.6. Yer değiştirme + birikme alanı örnekleme ve kök hücrelerinin farklı tampon mesafelerindeki örneklem setleri (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) kullanılarak geliştirilen lojistik regresyon model sonucuna ilişkin duyarlılığın örnek harita görünümü (Heyelan duyarlılık değeri “mavi”den “kırmızı”ya doğru artmaktadır) .....	136
Şekil 6.1. Begueria (2006)'ya göre belirlenen doğrulama indekslerinin hesaplanmasını gösteren akış şeması .....	138
Şekil 6.2. Olasılık model taslağının şematik gösterimi, (a): örnekleme, (b):modelin oluşturulması, (c): model doğrulaması (Begueria, 2006'dan alınmıştır) .....	139

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.3. Doğru ve yanlış (negatif) gözlemlerin frekans dağılım grafiği (a: doğru pozitif, b: yanlış pozitif, c: yanlış negatif, d: doğru negatif;) (Begueria, 2006'dan alınmıştır) .....	140
Şekil 6.4. Hata matrisinde; a, doğru pozitif; b, yanlış pozitif; c, yanlış negatif ve d, doğru negatiflerin gösterimi .....	141
Şekil 6.5 (a, b). Yer değiştirme + birikme alanı (heyelan kütlesi) modelinin üç farklı rastgele örnekleme için (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 oluşturulan hata matrisi .....	141
Şekil 6.5 (c). Yer değiştirme + birikme alanı (heyelan kütlesi) modelinin üç farklı rastgele örnekleme için (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 oluşturulan hata matrisi .....	142
Şekil 6.6.1. d=25 m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi .....	142
Şekil 6.6.2. d=50 m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi .....	143
Şekil 6.6.3 (a, b). d=75 m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi .....	143
Şekil 6.6.3 (c). d=75 m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi .....	144
Şekil 6.6.4. d=100 m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi .....	144
Şekil 6.7. Heyelan kütlesi örneklem modelinin (a) birinci rastgele seçilen veri seti (Rnd1), ikinci rastgele seçilen veri seti (Rnd2) ve üçüncü rastgele seçilen veri seti (Rnd3) için oluşturulan ROC eğrileri .....	153
Şekil 6.8 (a). Farklı tampon mesafelerindeki (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) kök hücre örneklem setlerinin birinci rastgele seçilen veri seti (Rnd1) için çizilen ROC eğrileri .....	154
Şekil 6.8 (b). Farklı tampon mesafelerindeki (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) kök hücre örneklem setlerinin ikinci rastgele seçilen veri seti (Rnd1) için çizilen ROC eğrileri .....	155

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.8 (c). Farklı tampon mesafelerindeki ( $d=25$ m, $d=50$ m, $d=75$ m ve $d=100$ m) kök hücre örneklem setlerinin üçüncü rastgele seçilen veri seti (Rnd1) için çizilen ROC eğrileri .....	156
Şekil 6.9. Yer değiştirme + birikme alanı (heyelan kütlesi) modeli için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları .....	159
Şekil 6.10 (a). Kök hücre örneklem modelinde $d=25$ m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları ...	160
Şekil 6.10 (b). Kök hücre örneklem modelinde $d=50$ m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları ...	161
Şekil 6.10 (c). Kök hücre örneklem modelinde $d=75$ m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları ...	162
Şekil 6.10 (d). Kök hücre örneklem modelinde $d=100$ m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları ...	164
Şekil 7.1. Tampon alan oluştururken kullanılan $d$ mesafesinin 3 farklı rastgele seçilmiş örneklem setinin AUC değerleri ile olan değişimi .....	169
Şekil 7.2. Heyalan duyarlılık haritalarının ve modellerin doğrulama indekslerinin değerlendirilmesine yönelik oluşturulan akış diyagramı .....	170

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Analizlerden elde edilen AUC değerleri (Yılmaz, 2010) .....	16
Çizelge 1.2. 2009-2012 yılları arasında yapılmış araştırmalardan seçilen 32 adet çalışma .....	21
Çizelge 1.2. (devam ediyor) 2009-2012 yılları arasında yapılmış araştırmalardan seçilen 32 adet çalışma .....	22
Çizelge 1.2. (devam ediyor) 2009-2012 yılları arasında yapılmış araştırmalardan seçilen 32 adet çalışma .....	23
Çizelge 4.1. Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin genel sahadaki dağılımları.....	43
Çizelge 4.2. Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin yer değiştirme+birikme alanındaki dağılımları .....	43
Çizelge 4.3. Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m tampon mesafesi için oluşturulan kök hücrelerindeki dağılımları .....	44
Çizelge 4.3. (devam ediyor) Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m tampon mesafesi için oluşturulan kök hücrelerindeki dağılımları .....	45
Çizelge 4.4. SYM'den türetilen bazı parametrelerin tanımlanması (Wilson and Gallant, 2000'den alınmıştır).....	47
Çizelge 4.5. Piksel sayısına göre yamaç yönelim sınıflarının genel saha içerisindeki dağılımları .....	50
Çizelge 4.6 (a). Yamaç yönelim sınıflarının yer değiştirme+birikme alanı ve kök hücre örnekleminde piksel olarak % dağılımları (kendi yamaç yönelim sınıfı içine düşen heyelanlı alanın tüm sahaya oranı).....	51
Çizelge 4.6 (b). (kendi yamaç yönelim sınıfı içine düşen heyelanlı alan sayısının toplam heyelanlı alana oranı) .....	51
Çizelge 4.7. Litolojik birimlerin genel saha içerisindeki dağılımları .....	62
Çizelge 4.7. (devam ediyor) Litolojik birimlerin genel saha içerisindeki dağılımları.....	63
Çizelge 4.8. Litolojik birimlerin yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) ve kök hücre örnekleminde piksel olarak % dağılımları.....	63



## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.9. Çalışma alanı içerisinde görülen arazi kullanım sınıflarının genel saha ve örneklem modellerindeki % dağılımları.....	67
Çizelge 5.1. Yer değiştirme + birikme alanından (heyelan kütesinden) yapılan modele uygulanan lojistik regresyon analizi rastgele seçilen farklı veri set sonuçlarının piksel sayısına bağlı oranları ve doğru sınıflandırma yüzdelerinin doğru sınıflandırma % matrisinde gösterimi.....	77
Çizelge 5.2. Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerin kısaltmaları ve açıklamaları .....	80
Çizelge 5.2. (devam ediyor) Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerin kısaltmaları ve açıklamaları.....	81
Çizelge 5.3. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	81
Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	82
Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	83
Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	84
Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	85
Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	86

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

Çizelge 5.4. Yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) örneklem stratejisi modelinin lojistik regresyon analizi performans indeksleri .....	88
Çizelge 5.5 (a). d= 25 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri.....	95
Çizelge 5.5 (b). d= 50 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri.....	96
Çizelge 5.5 (c). d= 75 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri.....	97
Çizelge 5.5 (d). d=100 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri.....	98
Çizelge 5.6. Farklı d tampon mesafelerindeki kök hücrelerinin % doğruluk değerleri.....	98
Çizelge 5.7. Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta (b) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri.....	103
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	104
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	105

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	106
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	107
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	108
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	109
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	110
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	111
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	112
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	113
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	114

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	115
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	116
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	117
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	118
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	119
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	120
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	121
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	122
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	123

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	124
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	125
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	126
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	127
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	128
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	129
Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri .....	130
Çizelge 5.8. Kök hücre örneklem modelinin lojistik regresyon analizi performans indeksleri .....	132
Çizelge 6.1. Hata matrisinden türetilen doğrulama istatistiklerinin formülasyonu ve anlamı (Begueria, 2006'dan alınmıştır) .....	145
Çizelge 6.2. Yer değiştirme + birikme alanı örneklem strateji modeli (Model 1) ve kök hücre örneklem strateji modelinin (Model 2) hata matrisinden türeyen doğrulama istatistik değerleri .....	146

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

Çizelge 6.2. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem strateji modeli (Model 1) ve kök hücre örneklem strateji modelinin (Model 2) hata matrisinden türeyen doprulama istatistik değerleri.....	147
Çizelge 6.3. Landis and Koch (1977) tarafından önerilen Kappa indeksi (k) sınıflaması.....	149
Çizelge 6.4. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli (Model 1) ve kök hücre örneklem modelinin (Model 2) doğru sınıfı tahmin etme, varlık (1) ve varlık (0) tahmin etme olasılıkları ve Kappa indeks değerleri .....	150
Çizelge 6.5. Model 1 ve Model 2 için ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerleri.....	152
Çizelge 6.6. Model 1 ve Model 2'ye ait RMSE ve Doğru sınıflandırma % değerleri .....	158

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANN	Artificial Neural Network
$A_s$	Özgül havza alanı
AUC	Area Under Curve (Eğri altında kalan alan)
$\beta$	Yamaç eğimi; Beta katsayısı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CP	Koşullu olasılık
d	uzaklık (mesafe)
DEM	Digital Elevation Model
DEMAT	Dem Analysis Tool
IAEG	International Association for Engineering Geology
IDW	Inverse Distance Weighted
ISRM	International Society for Rock Mechanics
ISSMGE	International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
k	Kappa indeksi
KAF	Kuzey Anadolu Fay Hattı
KKD-GGB	Kuzey kuzeydoğu-Güney güneydoğu
$L_s$	Landslide (heyelan)
LR	Logistic Regression
LS	Sediman taşıma kapasite indeksi
m	metre
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama
P	Doğruluk değeri
Ppos	Varlık (1) verisini tahmin etme olasılığı

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)**

Pneg	Yokluk (0) verisini tahmin etme olasılığı
RMSE	Root Mean Square Error
Rnd1	Random1 (Birinci rastgele seçilen veri seti)
Rnd2	Random2 (İkinci rastgele seçilen veri seti)
Rnd1_LR	Birinci rastgele veri seti için yapılan lojistik regresyon analizi
Rnd2_LR	İkinci rastgele veri seti için yapılan lojistik regresyon analizi
Rnd3_LR	Üçüncü rastgele veri seti için yapılan lojistik regresyon analizi
ROC	Receiver-Operating Characteristics
SC	Seed Cell
SC25	d=25 m tampon alan için oluşturulan kök hücresi
SC50	d=50 m tampon alan için oluşturulan kök hücresi
SC75	d=75 m tampon alan için oluşturulan kök hücresi
SC100	d=100 m tampon alan için oluşturulan kök hücresi
SPI	Stream Power Index
SPOT	“Système Pour l’Observation de la Terre” (System for Earth Observation)
SVM	Support Vector Machine
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	Triangular Irregular Networks
TWI	Topographic Wetness Index
TIN	Triangular Irregular Networks



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Doğal afetler, büyük oranda veya tamamen insanların kontrolü dışında gerçekleşen, mal ve can kaybına neden olabilecek tehlikeli ve genellikle büyük çaplı olay olarak tanımlanabilir. Türkiye’de doğal afetlerin yol açtığı kayıplar dikkate alındığında, depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına neden olan doğal afet türünün kütle hareketleri olduğu bilinmektedir (İlçir, 1995). Doğal afetler içerisinde yer alan heyelanlar, dünyanın her yerinde can ve mal kayıplarının yanısıra, ormanlık ve tarım alanları gibi çevresel unsurlara zarar vererek ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedirler (Brown, 1983; Schuster and Fleming, 1986; Brabb, 1989; Schuster, 1996; Kato et al., 1997; Lee, 2000). Heyelanlardan kaynaklı tarım ve orman alanlarında meydana gelen üretim kayıpları, bu alanlardaki gayrimenkul değerlerinin düşmesi ve heyelanları önlemek için yapılan çalışmalarla ilgili harcamalar ve iş gücü kayıpları gibi dolaylı etkiler doğrudan etkilere göre ülke ekonomisine daha çok zarar vermektedirler (Schuster and Fleming, 1986; Rosenfeld, 1994; Alexander, 1995; Guzzetti, 2000’den). Bu açıdan değerlendirildiğinde ülkemizdeki heyelanlar ve neden oldukları olumsuz etkiler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Heyelanların neden olduğu zararlar dikkate alındığında öncelikli olarak mevcut kütle hareketlerinin mekânsal dağılımları yani envanter bilgisi ortaya çıkarılmalıdır. Mevcut envanter bilgisinden yola çıkarak heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri yapılabilmektedir (Guzzetti et al., 1999; Van Westen et al., 2008; Fell et al., 2008). Gelecekte olabilecek heyelanlara karşı duyarlı alanları ortaya koyan heyelan duyarlılığı, herhangi bir alanın heyelan oluşumuna karşı eğilimini ifade eder (Guzzetti et al., 2006). Literatürde heyelan duyarlılığı konusunda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda örneklem stratejisi sorunuyla karşılaşmaktadır. Birçok araştırmacı çalışmada envanter içerisinde örneklem yaparken varlık (1) bilgilerinin nereden alındığı belirsiz olmakla beraber ya yer değiştirme+birikme alanından (heyelan külesinden) ya da heyelanın taç kısmına noktasal kaynaklar koyarak örneklem yapmaktadırlar. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında yapılan bu örneklemelerin çoğunun tartışmalı olduğu ve gerçekleştirilen çalışmaya bağlı olarak

değişiklik göstermesi gerektiği farklı araştırmacılar gündeme getirmişlerdir (Süzen and Doyuran , 2004a; Clerici et al., 2006; Görüm et al., 2008; Nefeslioğlu, et al., 2008; Yılmaz, 2010; Nefeslioğlu et al., 2011).

Süzen and Doyuran (2004a) heyelan duyarlılık çalışmalarında duraysızlık öncesi koşulların değerlendirilebilmesi amacıyla kök hücre yaklaşımını önermişlerdir. Araştırmacılar kök hücre örneklem stratejisini heyelanın tepesine ve kanatlarına tampon alanlar yaratarak uygulamışlardır. Bu tampon alanları oluştururken uzaklık değeri olarak 100 m (4 kök hücresi)'lik mesafeyi baz alarak, çalışmalarındaki analizleri eğer kayma sınırı ve mikrohavza bölüm çizgisi uzaklığı 100 m'den küçükse mikrohavza bölüm çizgisinin kullanılabileceği; eğer uzaklık 100 m'den büyükse bu seferde 100 m'lik tampon (4 kök hücresi) çizgisini kullanmak gerektiğini vurgulamışlardır. Süzen and Doyuran (2004a) tarafından tampon alan için önerilen mesafe, 100 m'lik uzaklığın heyelan duyarlılık haritalama çalışmaları için oldukça yüksek bir değer olduğu düşünülmektedir (Nefeslioğlu et al., 2008). Doktora tez çalışması kapsamında öncelikli olarak kök hücre örneklem stratejisinde kullanılan bu uzaklığın değerlendirilmesi ve modifikasyonu amaçlanmıştır. Buna göre, hem Süzen and Doyuran (2004a)'nın önerdiği kök hücre örneklem stratejisi kullanılarak elde edilen verilerin hem de yer değiştirme+birikme alanından (heyelan kütlesi) alınan verilerin heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi ve heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen tez çalışmasının bir diğer amacı ise, değerlendirilen örneklem strateji modelleri için birden fazla birbirinden bağımsız rastgele örneklemin yapılması ve modellerin sahayı genelleme kapasitesitelerinin çıkarılmasına yönelik yaklaşımların tartışılmasıdır.

Bu amaçla, doktora tez çalışması kapsamında, oluşturulacak her iki modelin kontrol ve alıştırma verisi ayrı ayrı değerlendirilerek doğrulama indeks değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin farklı modeller ve kök hücre örneklem stratejisindeki farklı uzaklıktaki tampon alanlar içerisindeki değişimleri incelenmiştir.

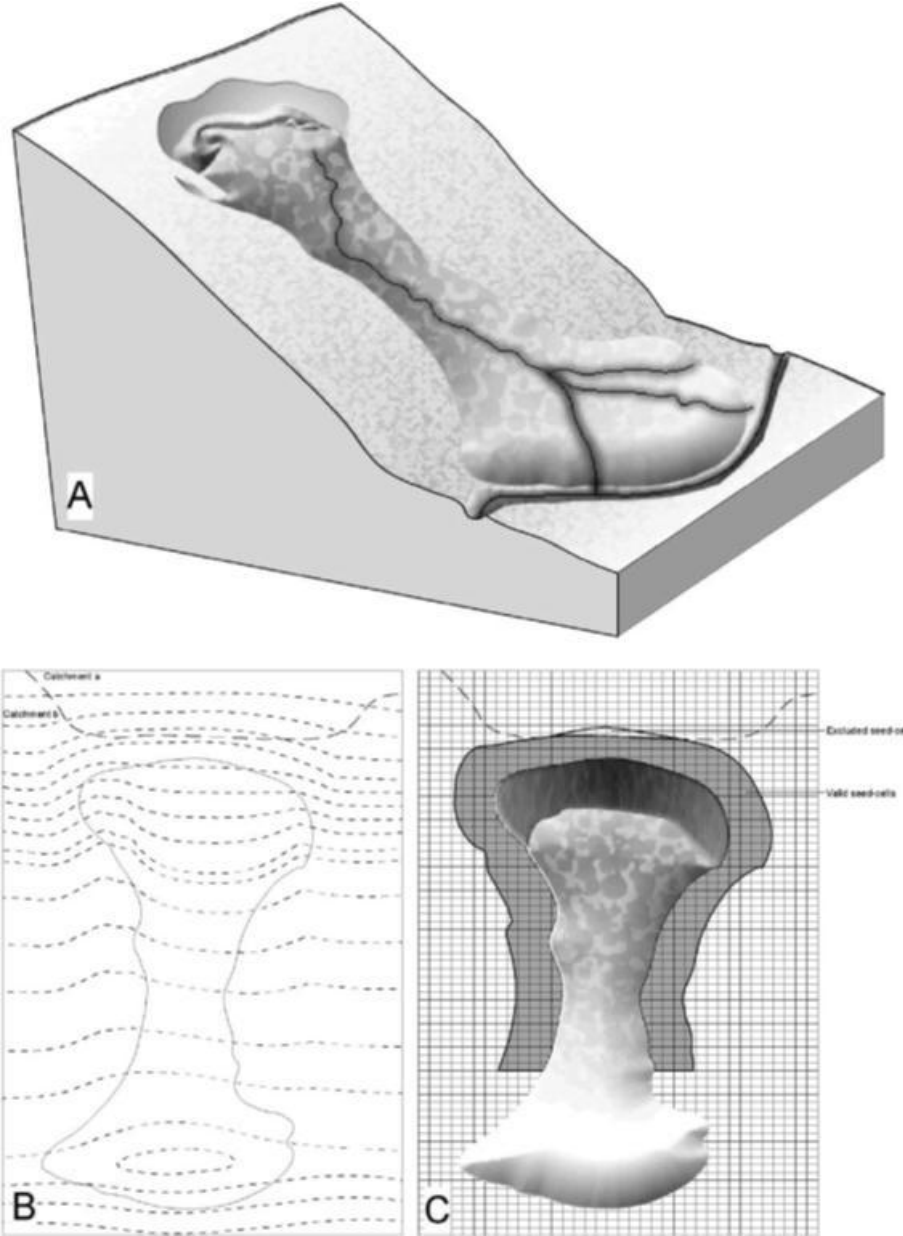
## **1.2. Önceki Çalışmalar**

Yukarıda anlatılan amaçlar doğrultusunda, farklı araştırmacıların heyelan duyarlılık çalışmalarında kullandıkları örneklem stratejilerine ve heyelan duyarlılık modellerinin doğrulanmasına yönelik farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalara aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde değinilmiştir.

### **1.2.1. Örneklem stratejilerine yönelik önceki çalışmalar**

Süzen and Doyuran (2004a) yaptıkları çalışmada, GIS tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemlerinden çok değişkenli ve iki değişkenli analiz yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bu iki yöntemi de çalışma alanı olarak seçtikleri Asarsuyu su toplama havzasına uygulamışlar ve her iki model için de heyelan duyarlılık haritalarını üretmişlerdir. Kullandıkları bu iki yöntemi kök hücre (seed cell) örneklem stratejisine göre değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda, her iki yöntemin de çalışma alanının %80'nini açıklayabildiğini fakat sonuç heyelan envanter haritasındaki ağırlıklandırılmamış tehlike sınıflarının birleştirilememesinden dolayı iki değişkenli analiz yöntemindeki ağırlıklı yordamda bazı eksikliklerin olduğunu belirtmişlerdir. Böylelikle, çok değişkenli yöntemin (lojistik regresyon) tekniğinin daha doğru heyelan duyarlılık haritaları ürettiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, haritalama birimi olarak grid hücrelerini (25x25 m<sup>2</sup>) kullanmakta ve hazırlayıcı faktörler olarak arazi örtüsü, litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğim yönü, topoğrafik eğim, drenaj yoğunluğu, çizgiselliklere olan uzaklık, çizgisellik yoğunluğu, topoğrafik sırtlara olan uzaklık, ara yollara olan uzaklık, ana yola olan uzaklık ve yerleşimlere olan uzaklık parametrelerini değerlendirmektedirler. Süzen and Doyuran (2004a) gerçekleştirmiş oldukları çift değişkenli istatistiksel analizlerde sürekli değişkenlere ilişkin sınıf aralıklarının kestirilmesi ve standartlaştırılmasına yönelik "yüzdeler (percentile)" yöntemini kullanmaktadırlar. Bununla birlikte araştırmacılar, kütle hareketlerine ilişkin duraysızlık öncesi koşulların değerlendirilebilmesi amacıyla kök hücre yaklaşımını önermekte ve söz konusu duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla kütle hareketlerine yönelik örneklemeler kök hücreleri içerisinden yapılmaktadır. Araştırmacılar, kök hücre örneklem stratejisini, heyelanın tepesine ve kanatlarına

tampon alanlar yaratarak kullanmışlardır (Şekil 1.1). Tampon alan sınırlarının oluşturulması için uygulan bu yöntemi (a) eğer kayma sınırı ve mikrohavza bölüm çizgisi uzaklığı 100 m'den küçükse mikrohavza bölüm çizgisinin kullanılacağı; eğer uzaklık 100 m'den büyükse bu seferde 100 m'lik tampon (4 kök hücresi) çizgisini kullanmak gerektiği şeklinde özetlemişlerdir. Geliştirdikleri bu yöntemi, parametre haritalarının etkinliğini yansıtabilmek için, tüm sahadaki heyelanlı piksellere uygulamışlardır. Araştırmacılar, 25 m'lik çözünürlüğe göre oluşturulan kök hücre alanları ve heyelan çokgenleri (poligonları) ve 13 adet haritadan elde edilen bilgilerin hepsi hücrelere dönüştürmüş ve her biri istatistiksel modellerde kullanılmak üzere "kök hücresi veri tabanı" adı altında depolamışlardır. Süzen and Doyuran (2004a) üretmiş oldukları sonuç harita üzerinde çalışma sahasının %48'nin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfları içerisinde yer aldığını ve kök hücrelerinin %98.3'ünün bu sınıflar tarafından karşılandığını belirtmektedirler. Oluşturdukları sonuç duyarlılık haritasını 12 Kasım 1999 Kaynaşlı depreminden sonra meydana gelen şev duraysızlıklarının görüldüğü alanlarda test etmişler ve 20 adet sığ toprak akmasının oluşturulan duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek sınıfta yer aldığını belirtmişlerdir.



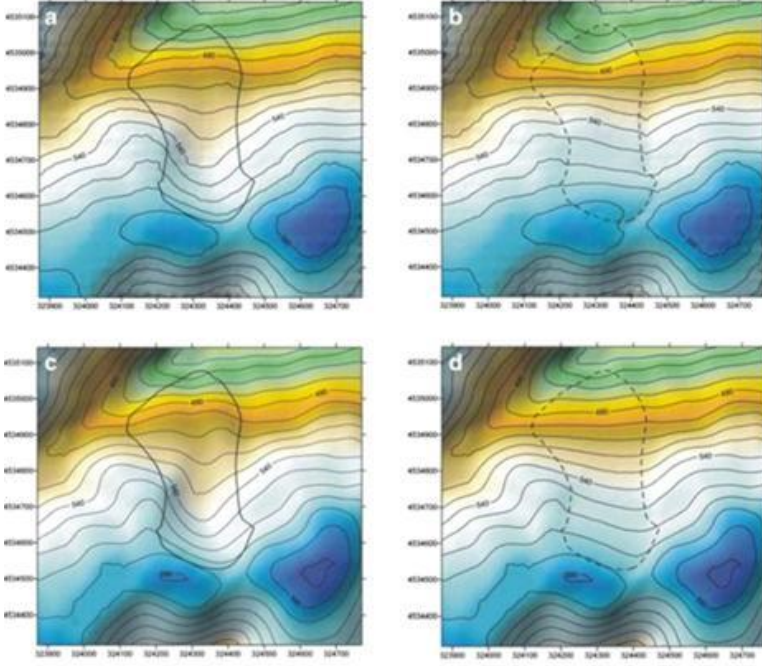
Şekil 1.1 Kök hücresi yaklaşımının şekilsel gösterimi (A) heyelanın blok diyagramı (B) Havza sınırları ve heyelan kütlesi kontur çizgilerini gösteren harita (C) Kök hücresinden oluşturulan tampon bölgesinin gösterimi. Gri hücreler analizlerdeki geçerli kök hücrelerini gösteriyor (Süzen and Doyuran, 2004a'dan alınmıştır).

Clerici et al. (2006) heyelan duyarlılık haritalaması için GIS tabanlı geliştirmiş olduğu Koşullu Analiz Yöntemi (Conditional Analysis Method)'ni Baganza Vadisi'ndeki heyelanlara uygulamışlardır. Bu yöntemde heyelan duyarlılığını, kararsızlık faktör sınıflarının farklı kombinasyonları ile oluşturulan heyelan yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Yöntemi çalışma alanlarına uygularken

kullandıkları algoritmanın karmaşıklığının ve uzunluğunun üstesinden gelebilmek ve bunlardan kaynaklanan hataları azaltabilmek için araştırmacılar bilgisayarda GRASS GIS adını verdikleri bir kod geliştirmişlerdir. Bu kodu kullanarak, heyelan envanter haritası ve etken parametre haritalarından başlayarak, farklı duyarlılık sınıflarını içeren heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Bu yöntemi toplam 1.137 heyelan ve litoloji, yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik ve yamaç/tabakalanma ilişkileri olmak üzere 5 parametreyi kullanarak yaklaşık 167 km<sup>2</sup> küçük bir havzaya uygulamışlardır. Gerçekleştirilen heyelan duyarlılık doğrulaması da heyelan duyarlılık haritalamasının güvenilirliğini ve heyelan yoğunluk değerlerini ayırt etmek için koşullu analiz yönteminin kapasitesini tahmin eden pratik bir indeks olduğunu göstermektedir. Gelecekteki kaymaların tahmini için sonuç haritasının güvenilirliği varlık (1) bilgisine ilişkin örneklemenin nereden yapılacağına bağlı olduğunu ve araştırmacılara göre heyelanın kopma (taç) kısmından veya ona yakın yerdeki hücreler kullanılarak yapılan değerlendirmelerin heyelan öncesi koşulu daha iyi yansıtacağını vurgulamışlardır.

Görüm et al. (2008) Melen Boğazı ve çevresinde yaptıkları çalışmada, yeniden oluşturulmuş topoğrafyadan türeyen jeomorfolojik parametrelerin kullanılabilirliğini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılığının belirlenmesinde yeniden oluşturulmuş (reconstructed) morfometrik ve jeomorfolojik birimleri etkin parametre olarak dikkate almışlar ve iki farklı veri seti oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılık haritalarının performansı üzerinde kayma öncesi orijinal topoğrafyanın etkisini incelemek amacıyla yeniden oluşturma (reconstruction) sürecinin uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır. Yeniden oluşturmaya (reconstruction), yamaç yönelimleri ve kontur yönelimlerini dikkate alarak kayma öncesi topoğrafya koşullarını çıkarmaktadırlar. Yamacın oluşum mekanizması üzerindeki erozyon ve aktif tektonik süreçlerinin göz ardı edilmemesi gerektiğini çünkü bu tür süreçlerin yeniden oluşturma yöntemini etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Fakat çalışma alanı içerisinde, son yıllarda meydana gelen heyelan aktivitesinin erozyon ve aktif tektonik süreçlere göre daha etkili olduğu için araştırmacılar çalışmalarında bu etkileri ihmal etmişlerdir. Görüm et al. (2008) yenilme öncesi topoğrafyanın tahmini için yapılan yeniden oluşturma süreçleri boyunca Ağırlıklandırılmış Ters Mesafe Aradeğerleme Tekniği (IDW),

Kriging, Komşuluk Tekniği, En Yakın Komşuluk Tekniği ve doğrusal aradeğerleme ile üçgenlere ayırma gibi farklı teknikleri test etmişlerdir (Şekil 1.2.). IDW ve Kriging aradeğerleme tekniklerinin benzer sonuçlar gösterdiğini buna rağmen yamaç yönelimleri ve kontur yönelimleri göz önüne alındığında IDW'nin daha uygun sonuçlar gösterdiğini görülmüştür. Görüm et al. (2008) heyelan duyarlılığına ilişkin olasılık değerlerinin hesaplanması amacıyla çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan lojistik regresyon yöntemini kullanmışlar ve çalışmalarında bu yöntemi iki ayrı veri kümesine (jeomorfolojinin bulunduğu veri kümesi ve jeomorfoloji olmaksızın oluşturulan veri kümesi) ayırarak değerlendirilmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, yeniden oluşturulan morfometrik parametrelerin kullanıldığı veri kümesiyle yapılan analizlerin daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Kontrol veri gruplarına ait doğrulama analizleri sonucunda, ROC eğrisi altında kalan alanın (AUC) ve RMSE değerlerinin 0.863 ve 0.35 şeklinde olduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak jeomorfolojinin bir değişken olarak veri kümesi içinde yer almasının heyelan duyarlılık haritalarının geçerliliğini ve performansını belirgin bir şekilde arttırdığını vurgulamışlar ve yapılacak ileriki çalışmalarda heyelan duyarlılık haritalarını üretirken yeniden oluşturma yönteminin kullanılmasının daha iyi olabileceğini belirtmişlerdir.

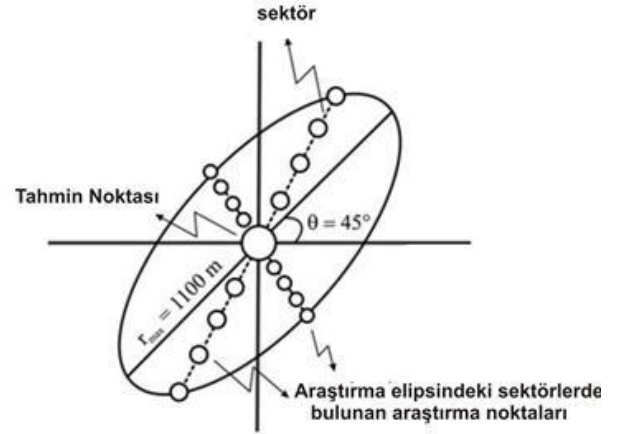


#### Yeniden oluşturma (reconstruction) yöntemi için uygulanan ölçütler

- Araştırılacak sektörlerin sayısı : 32
- Sektörlerin tümünden kullanılacak maksimum veri sayısı : 64
- Her bir sektörden kullanılacak maksimum veri sayısı : 6
- Her bir sektör içerisindeki minimum veri sayısı (bu sayının altında ise blank node kabul edilir) : 8
- Bu miktardan fazlasının boş olması durumunda blank node sayılacak sektör sayısı : 16
- Araştırma elipsinin yarıçapı : 1100 m
- Sırtların yönelimi : 0-360°

#### Yamaç Yönelimi Grubu (YYG)

- YYG-1: Yamaç yönelimi (0-45°);  $\theta = 45^\circ$
- YYG-2: Yamaç yönelimi (45-90°);  $\theta = 0^\circ$
- YYG-3: Yamaç yönelimi (90-135°);  $\theta = 45^\circ$
- YYG-4: Yamaç yönelimi (135-180°);  $\theta = 90^\circ$
- YYG-5: Yamaç yönelimi (180-225°);  $\theta = 45^\circ$
- YYG-6: Yamaç yönelimi (225-270°);  $\theta = 0^\circ$
- YYG-7: Yamaç yönelimi (270-315°);  $\theta = 45^\circ$
- YYG-8: Yamaç yönelimi (315-360°);  $\theta = 90^\circ$



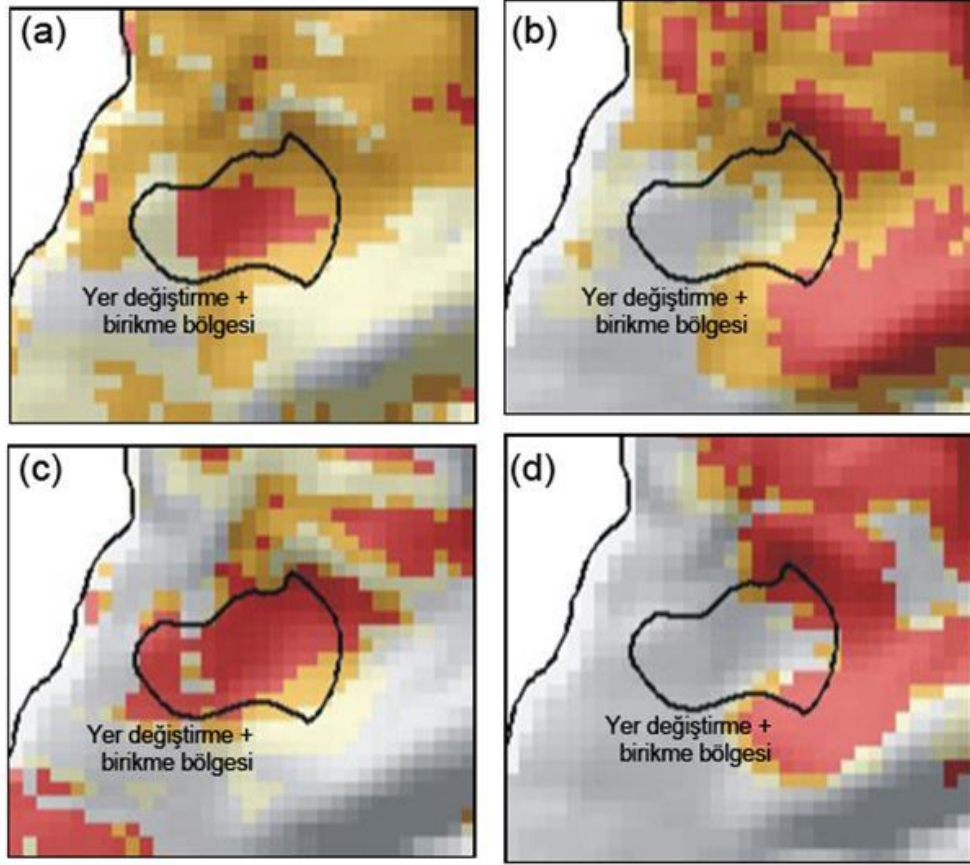
Şekil 1.2. Ağırlıklandırılmış Ters Mesafe Aradeğerleme (Interpolation) Tekniği (IDW) ve yeniden oluşturma yöntemi için kullanılan ölçüt; (a) Mevcut DEM'in IDW kullanılarak aradeğerlemesi, (b) Yeniden oluşturulmuş DEM'in IDW kullanarak aradeğerlemesi, (c) Mevcut DEM'in Kriging yöntemi'nde aradeğerlemesi (enterpolasyonu), (d) Kriging yöntemi'nde yeniden oluşturulmuş DEM'in aradeğerlemesi (Görüm et al., 2008'den alınmıştır).



Nefeslioğlu et al. (2008), farklı örneklem stratejileri (heyelanın yer değiştirme+birikme alanından yapılan örneklem ve kök hücresinden alınarak yapılan örneklem) kullanılarak oluşturulan duyarlılık modelleri arasındaki farklılıkları değerlendirdikleri çalışmalarında, İspir ve çevresini içerisine alan heyelana duyarlı bir bölgeyi çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, son yıllarda yaygın olarak kullanılan analiz yöntemlerinden lojistik regresyon ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Hem kök hücrelerinden yapılan örneklem hem de heyelan kütlesinden (yer değiştirme+birikme alanı) yapılan örneklem değerleri kullanılarak yapılan lojistik regresyon ve yapay sinir ağları modellerinin ROC eğrileri çizilmiş ve eğri altında kalan alan (AUC) değerleri belirlenmiştir. Heyelan kütlesinden yapılan örneklem kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağları modelleri için AUC değerlerinin 0.949 ile 0.915 arasında, lojistik regresyon modelleri için ise AUC değerlerinin ise 0.886 ile 0.884 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Aynı şekilde kök hücrelerinden alınan örneklemle oluşturulan yapay sinir ağları modellerine ilişkin AUC değerlerinin 0.944 ile 0.938 arasında, lojistik regresyon modeli AUC değerlerinin ise 0.869 ile 0.862 arasında değişmekte olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılar, rneklem yöntemlerindeki farklılıkların lojistik regresyon analizinde açık bir şekilde göründüğünü, eşitliklerdeki bağımsız değişken sayılarında farklar olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak, doğruluk ve hassasiyet tahminlerinde ise elde edilen sonuçların tamamen farklı olduğunu vurgulamışlardır. Yer değiştirme+birikme alanından yapılan rastgele örneklemlerden elde edilen duyarlılık haritalarını “yarı-otomatik hazırlanmış heyelan duyarlılık haritaları” olarak ve heyelan duyarlılık haritalaması yerine de “yarı-otomatik heyelan haritalaması” olarak adlandırmışlardır. Diğer yandan, her ne kadar kök hücresi ile yapılan örneklem birçok sınırlaması olsa da, kök hücreleri esas alınarak yapılan rastgele örneklemle oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının daha gerçekçi duyarlılık tahminleri yaptığını belirtmişlerdir (şekil 1.3). Nefeslioğlu et al. (2008) kök hücreleri gibi farklı örneklem stratejilerinin, gelecekteki heyelanlarla ilişkili geçmiş jeomorfolojik özelliklerin tahmini için önemine dikkat çekmişlerdir. Litoloji ve arazi kullanımı gibi kategorik değişkenler için kök hücresi rneklemının rastgele kullanımı özellikle farklı değişken sınıflarının sınırlarında hatalara neden olduğunu

belirtmişlerdir. Araştırmacılar gerçekleştirmiş oldukları çalışmanın, kök hücreyi örneklem stratejisinin iyileştirmesine yönelik yapılamadığını belirtmişler fakat ileriki zamanlarda böyle bir çalışmanın yapılmasının gerekliliğini vurgulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, doğruluk ve hassasiyet tahminlerini dikkate alarak yapay sinir ağları modelinin tahmin kapasitesinin lojistik regresyon modeline göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ancak, nihai duyarlılık değerlerinin mekânsal dokusuna bakıldığında, yapay sinir ağları modelinin ıktıları kullanılarak üretilen haritaların daha iyimser; lojistik regresyon eşitlikleri ile üretilen olasılık haritalarının ise daha kötümser olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 1.3). Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda, sorulması gereken en önemli sorunun heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk ve hassasiyet seviyelerinin ne olması gerektiği olduğunu vurgulamaktadırlar. Nefeslioğlu et al. (2008) bu sorunun cevaplanması için en iyi yordam ve en uygun doğruluk ve hassasiyet seviyelerinin bulunmasına yönelik çalışmaların sürdürülmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.



şekil 1.3. Yer değiştirme+birikme bölgesinden yapılan örneklemler kullanılarak geliştirilen lojistik regresyon model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (a); Kök hücrelerinden yapılan örneklemler kullanılarak geliştirilen lojistik regresyon model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (b); Yer değiştirme+birikme bölgesinden yapılan örneklemler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağları model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (c); Kök hücrelerinden yapılan örneklemler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağları model sonucuna ilişkin örnek harita görünümü (d). Heyelan duyarlılık değeri “gri”den “kırmızı”ya doğru artmaktadır (Nefeslioğlu et al., 2008’den değiştirilerek alınmıştır).

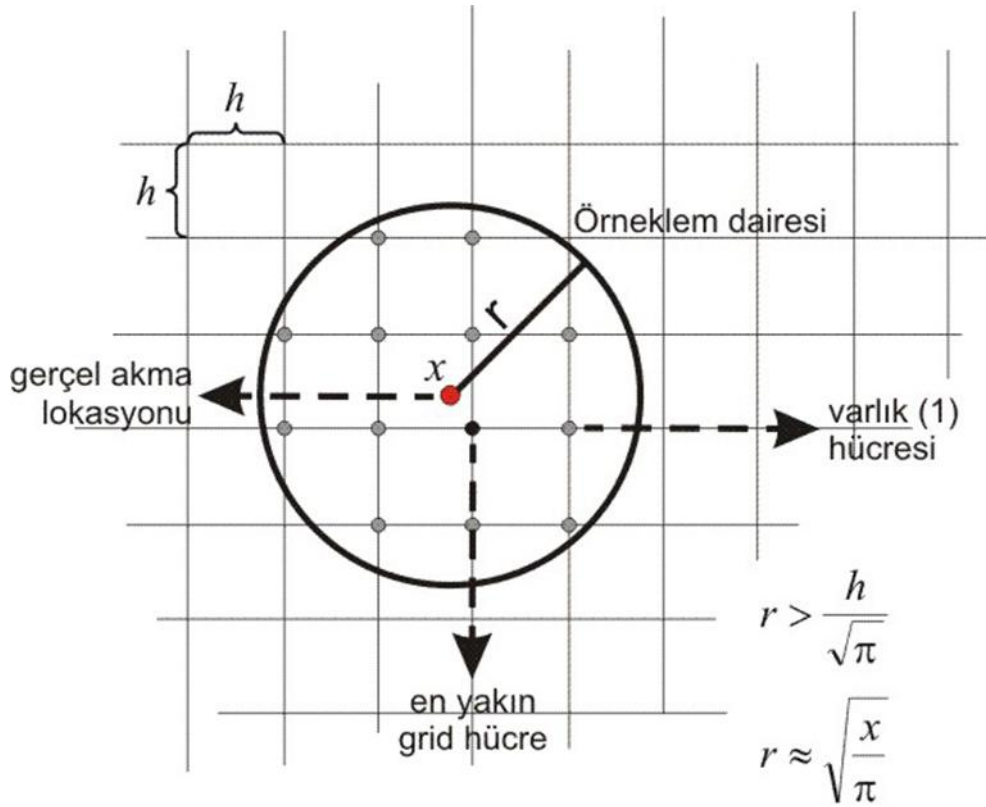
Nefeslioğlu et al. (2011), Rize ilinin doğusunda, Çayeli ilçesinin güneyinde yer alan Büyükköy su toplama havzasında yaptıkları çalışmada heyelan tehlike haritalarının oluşturulmasına yönelik özellikle toprak akmalarına ilişkin sınırlamaları dikkate alan yeni bir yaklaşım önermiştir. Araştırmacılar, kütle hareketleri eğer alansal olarak haritalanabiliyor ise hazırlayıcı faktörlere ilişkin yenilme öncesi koşulların güncel literatürde var olan yöntemler (Süzen and Doyuran, 2004a; Clerici et al., 2006; Görüm et al., 2008) kullanarak çıkarılabileceğini fakat alansal olarak haritalanamadığı durumlarda ise değerlendirilebilecek bir yöntemin olmadığını belirtmişlerdir. Buradan yola çıkarak, yersel çalışma ölçeğine bağlı olarak

haritalanması mümkün olmayan toprak akmalarının haritalama birimlerine varlık (1) bilgisi olarak atanmasına yönelik örneklem dairesi yaklaşımını geliştirmişlerdir (Şekil 1.4). Atanma işlemlerinde yarıçap değerleri olarak  $r=10$  m, 12.5 m ve 25 m değerini kullanmışlar ve bu yarıçap değerlerine karşılık gelen toprak akmasının çalışma alanı içerisinde kapladığı alanları  $314 \text{ m}^2$ ,  $491 \text{ m}^2$  ve  $1963 \text{ m}^2$  olarak belirlemişlerdir. Ayrıca farklı yarıçap değerlerinin kullanılmasına bağlı olarak su toplama havzasında varlık (1) bilgisine ilişkin grid hücre sayılarının 10m, 12.5m ve 25m için sırasıyla 774, 1199 ve 4763 olarak elde etmişlerdir. Geliştirdikleri dairenin farklı yarıçap değerlerine bağlı olarak hazırlanan farklı varlık (1) örneklemeleri içerisinde, toprak akmalarına ilişkin hazırlayıcı faktörlerin değişimlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, farklı yarıçaplar için özellikle topoğrafik nemlilik, nehir aşındırma gücü ve sediman taşıma kapasitesi parametrelerinin varyans değerlerinin yarıçapın artmasına bağlı olarak genel saha varyansına yaklaşma eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Yarıçap değerinin artmasına bağlı olarak, varlık (1) bilgilerinin mevcut toprak akmalarına ilişkin olay öncesi koşullarını yansıtma kapasitesini kaybetme eğilimine girdiğini vurgulamışlar bu nedenle de, yarıçap değerini sınırlandıran yersel çözünürlüğe ve ortalama toprak akması alan değerine bağlı bir eşitlik önermişlerdir (Eş. 1.1).

$$r > \frac{h}{\sqrt{\pi}} \quad \text{olmak üzere;} \quad r \approx \sqrt{\frac{x}{\pi}} \quad (1.1)$$

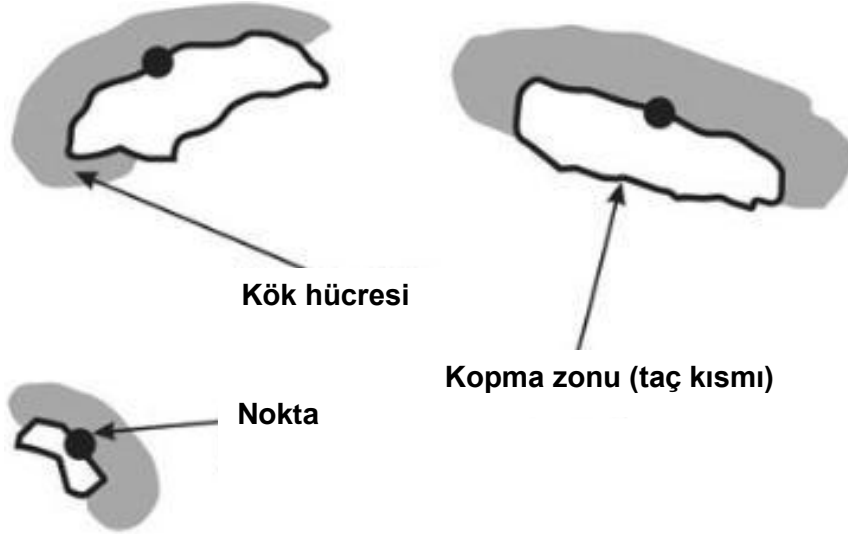
Bu eşitlikte;  $r$ , örneklem dairesinin yarıçap değeri;  $h$ , değerlendirilen grid hücresinin kenar uzunluğu ve  $x$ , ortalama toprak akması alanı olarak verilmiştir. Bu ifadede örneklem dairesine ait alan değerinin yersel çözünürlükten büyük olması durumunda önerdikleri eşitliğin kullanılabileceğini eğer alan değeri yersel çözünürlükten küçük veya eşit olursa mevcut varlık (1) bilgisinin tek bir grid hücresiyle temsil edilebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları lojistik regresyon analizlerinde varlık (1) bilgisinin doğru sınıflandırma değerleri %85-%90 arasında değişim gösterdiğini ve kontrol veri kümeleri ile yapılan doğrulamada ise bu değerlerin %80-%88 arasında değiştiğini vurgulamışlardır. Lojistik regresyon eşitliğindeki parametreleri ve beta ( $\beta$ ) katsayılarını incelediklerinde, toprak akmaları ile hazırlayıcı faktörler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu

görmüşlerdir. Örneklem dairesine ait farklı yarıçap değerlerine bağlı olarak oluşturulan farklı örneklemelerden itibaren hem lojistik regresyon hem de yapay sinir ağları analizleriyle oluşturdukları modellerde, yarıçap değerinin artmasıyla modelin eşitliği içerisinde yer alan parametre sayısının arttığını belirtmişlerdir. Heyelan duyarlılık analizleri kapsamında yapay sinir ağları model çalışmalarına ilişkin AUC değerlerinin lojistik regresyon analizlerinden elde edilen AUC değerlerine oldukça yakın olduğunu ancak, hesaplanan RMSE değerlerine göre ise yapay sinir ağlarının oldukça yüksek genelleme kapasitesine sahip olduğunu görmüşlerdir. Nefeslioğlu et al. (2011) tehlike haritalarının üretilmesinde tetikleyici faktör olarak günlük yağış (mm) değerini dikkate almışlardır. Sonuç olarak, Nefeslioğlu et al. (2011) önerdikleri örneklem dairesi yaklaşımını dikkate alarak Büyükköy su toplama havzasına ait toprak akması tehlike haritalarını 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıl için ayrı ayrı üretmişlerdir.

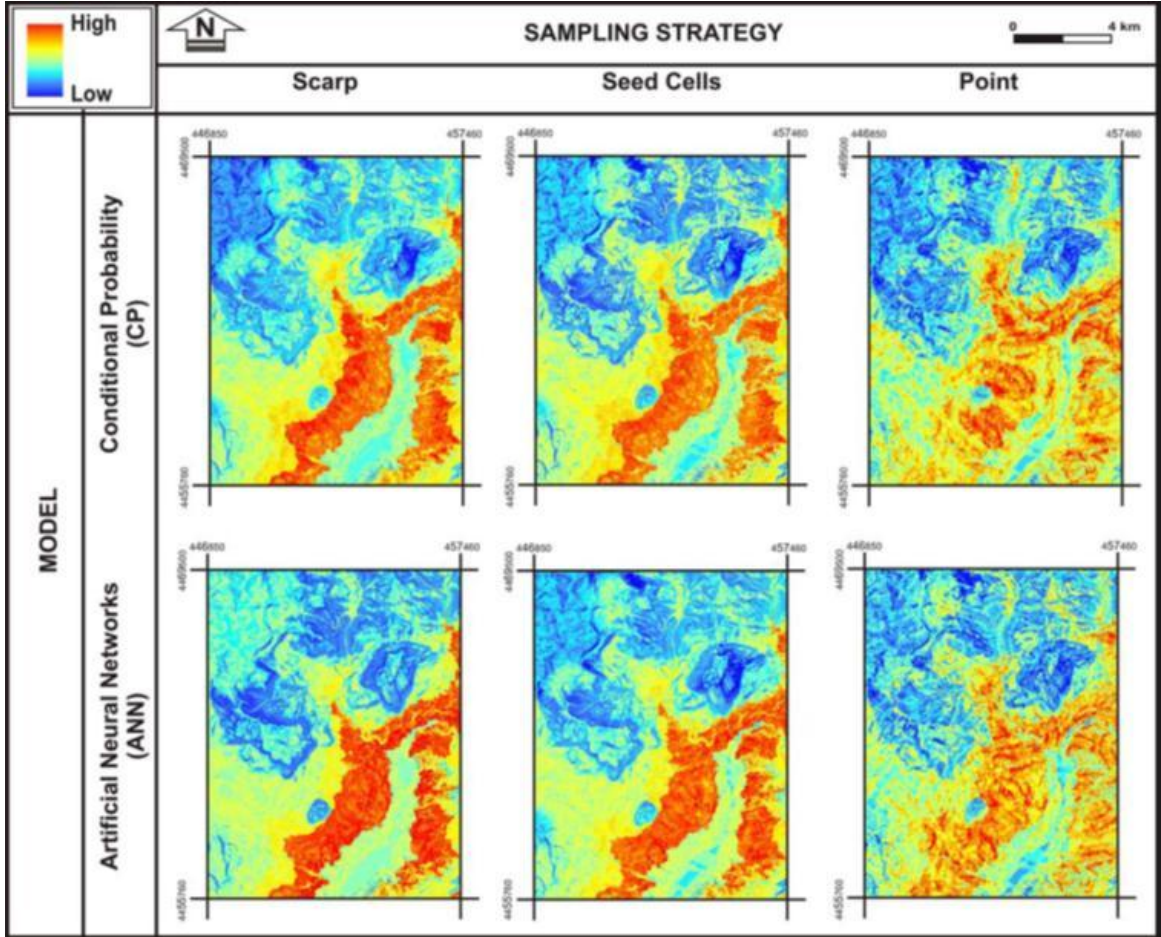


Şekil 1.4. Haritalama birimleri içerisinde toprak akmalarını ifade edecek olan varlık (1) bilgilerinin girdi hücrelerine atanması; şematik gösterim (Nefeslioğlu, et al., 2011'den alınmıştır)

Yılmaz (2010), Şebinkarahisar (Giresun)'daki heyelan duyarlılık çalışmasında koşullu olasılık ve yapay sinir ağları modelini kullanarak her iki model için de örneklem stratejilerinin heyelan duyarlılık haritalamasındaki etkilerini karşılaştırmıştır. Araştırmacı, uydu görüntülerinden, hava fotoğraflarından ve saha çalışmalarından yararlanarak çalışma alanının heyelan envanter haritasını oluşturmuştur. Çalışmasında heyelanın taç kısmından (kopma zonu), Süzen and Doyuran (2004a)'nın önerdiği kök hücreleri yaklaşımını kullanarak, bir de heyelanın kopma zonundan noktasal olarak yapılan örnekleme olmak üzere 3 farklı örneklem stratejisinin (Şekil 1.5) kullanıldığı 3 farklı heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Her üç örneklem stratejisi için de yaptıkları heyelan duyarlılık analizlerinde çalışma alanının sayısal yükseklik modelinden (DEM) drenaj sistemi, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, topoğrafik nemlilik indeksi parametrelerini üretmiş ve parametre haritalarını oluşturmuştur. Haritaların doğruluklarına bakıldığında kopma zonundan yapılan örnekleme sonuçlarının daha gerçekçi olduğu diğer yandan da kök hücre örnekleminin de benzer sonuçlar verdiğini vurgulamıştır. Araştırmacı bunun nedeninin analizlerdeki bu örneklem stratejilerinin uygulandığı alanların birbirine çok yakın olmasından kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Daha sonra her bir örneklem stratejisi için koşullu olasılık (CP) ve yapay sinir ağları (ANN) modelini kullanarak heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuştur (Şekil 1.6). Modellerin performansının değerlendirmesi için ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerlerini belirlemiş ve bu değerlere göre taç kısmından örnekleme yapılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritalamasında uygulanan iki modelden yapay sinir ağları modelinin koşullu olasılık modeline göre daha yüksek performans (AUC=0.921) gösterdiğini vurgulamıştır (Çizelge 1.1). Yapay sinir ağlarının daha gerçekçi sonuçlar vermiş olmasına rağmen diğer yandan, koşullu olasılık modelinin de girdi, çıktı ve hesaplama aşamalarının çok basit ve kolayca anlaşılabilir olduğu belirtmiştir.



Şekil 1.5. Modellerde kullanılan örneklem stratejileri (Yılmaz, 2010)



Şekil 1.6. Üç örneklem stratejisi kullanılarak üretilen iki modelden üretilen heyelan duyarlılık haritaları (Yılmaz, 2010'dan alınmıştır)

Çizelge 1.1. Analizlerden elde edilen AUC değerleri (Yılmaz, 2010)

Model	Örneklem Stratejisi		
	Kopma zonu	Kök hücresi	Nokta
Koşullu olasılık (CP)	0.908	0.886	0.827
Yapay sinir ağları (ANN)	0.921	0.902	0.848

### 1.2.2. Heyelan duyarlılık modellerinin doğrulamasına yönelik önceki çalışmalar

Remondo et al. (2003) heyelan duyarlılık haritalamasına ilişkin bir yaklaşım önerdikleri çalışmalarında, haritaların hazırlanmasında kullanılan hazırlayıcı faktörlerin homojen özellikte olmadıklarını ve sürekli, kesikli ve kategorik veri gruplarının bir arada değerlendirildiğini ve yapılan bu değerlendirmelerin yarattığı sorunlardan kurtulabilmek için farklı veri gruplarını normalize etmek gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, bunun için Chung and Fabbri (1993) tarafından önerilen uygunluk fonksiyonunu kullanmışlardır (Eş. 1.2).

$$\text{Uygunluk değeri} = 1 - (1 - 1/\text{sınıf alanı})^{\text{heyelana maruz kalmış sınıf alanı}} \quad (1.2)$$

Remondo et al. (2003) bu eşitliği kullanarak yapmış oldukları çalışmayı 4 aşamada gerçekleştirmişlerdir. Bu aşamalar, tek koşul birimlerinin üretilmesi, sürekli, kesikli ve kategorik veri gruplarına ilişkin alt sınıflara ait uygunluk değerlerinin hesaplanması, koşullu olasılık yaklaşımı, kesinlik fonksiyonu ve bulanık fonksiyonlara ilişkin modellerin geliştirilmesidir. Son aşama ise, üretilen sonuç duyarlılık haritasının 200 adet alt duyarlılık sınıfına ayrılmasıdır. Araştırmacılar bu üç model için oluşturdukları duyarlılık haritalarının doğruluk değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Beguiria (2006) doğal tehlike analizlerinde matematiksel modellerin geçerliliği ve değerlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada, genel sınıflandırma modellerinde birçok ortak araç ve istatistiğin kullanılabilir olmasına rağmen, tehlike



değerlendirmelerinde bazı özel durumların (farklılıkların) ortaya çıktığını ifade etmiştir. Araştırmacı bu farklılıkların, doğrulama amacının ve tehlike özelliklerinin belli olmamasından ve genellikle bunların oldukça küçük örnek gruplarından yola çıkılarak tahmin edilmesinden kaynaklandığını belirtmiştir. Begueria (2006) bunun da iki farklı hata türüne (yanlış pozitiflik ve yanlış negatiflik) farklı anlamlar yüklenmesi gerektiği anlamına geldiğini vurgulamışlardır. Buna ilişkin olarak sık karşılaşılan bir diğer durum ise örnek grupta gözlemlenen tekrarlanma sıklığıdır (pozitif ve negatif durumların farklı oranları) (Begueria, 2006). Örneklem tekrarlanma sıklığının, yaygın kullanılan birçok doğrulama istatistiği (hata (confusion) matrisi ve model etkililiği gibi) üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır (Begueria, 2006). Araştırmacı yaptığı bu çalışmada, hata matrisine dayanan etkinlik (efficiency), yanlış sınıflama oranı, odds oranı, pozitif tahmin gücü ve negatif tahmin gücü gibi istatistikleri tartışmış ve eşik değerinden bağımsız yaklaşımların (özellikle ROC eğrisinin) kullanımını göstermiştir. Ayrıca araştırmacı, threshold-independent yöntemlerde kullanılacak doğrulama örneklemeden başlayarak sırasıyla model oluşturma, model doğrulaması (ROC eğrisi oluşturma) ve model tahmini (doğruluk istatistikleri) olmak üzere alternatif şematik bir yöntem sunmuştur. Begueria (2006) önerdiği bu şemada, eşik değerinden bağımsız yöntemlerin doğrulama aşamasında kullanılması gerektiğini, değerlendirme (tahmin) aşamasında ise bir ya da daha fazla alternatif karar eşik değerlerinin kullanıcıya sunulması gerektiğini belirtmiştir. Daha sonra, verilen bu belirli eşik değerlerindeki modelin güvenilirliğini göstermek için birçok doğruluk istatistiklerinin hesaplanması gerektiğini vurgulamıştır.

Guzzetti et al. (2005) havza ölçeğinde heyelan tehlike tahmini için olasılığa dayanan bir model önermişler ve heyelanların nerede olacağını, ne sıklıkta olacağını ve ne büyüklükte olacağını tahmin eden bu modeli, İtalya'daki Statffora nehri havzasına uygulamışlardır. Araştırmacılar havzayı 2243 jeo-morfo-hidrolojik birimlere ayırmışlar ve morfolojik, litolojik, yapısal ve arazi kullanımı gibi değişkenler üzerinde ayırma (diskriminant) analiz yöntemini uygulayarak heyelanların mekânsal olabilirliklerini belirlemişlerdir. Araştırılan zaman aralığındaki birimler içerisinde envanteri çıkarılmış heyelanların toplam sayısını bölerek heyelanların tekrarlanma sıklığını belirlemişlerdir. Guzzetti et al. (2005)

heyelanların gelecekte aynı zamanda olacağını varsayarak Poisson olasılık yöntemini kullanmışlar ve farklı zaman aralıklarında oluşmuş bir ya da birden fazla heyelanın her bir haritalama birimi için aşılma olasılıklarını belirlemişlerdir. Heyelanların boyutlarının olasılığını, çoklu-geçici envanter haritasından elde edilmiş heyelanların frekans-alan değerlerini analiz ederek belirlemişlerdir.

Guzzetti et al. (2006) çalışmalarında, Orta İtalya'nın Collazzone bölgesi için heyelan duyarlılık modeli oluşturmuşlar ve modelin güvenilirliğini ve tahmin performansını değerlendirmek için bir çalışma planı önermişlerdir. Araştırmacıların yaptığı bu çalışma planı, bir takım deney setlerini ve ilgili kabul edilmiş heyelan duyarlılık değerlendirme sınıflarının belirlenmesini, model uyum derecesini, girdi parametrelerindeki herhangi bir değişikliğe olan dayanıklılığını, olasılıksal tahminler ile hatayı ilişkilendirme kabiliyetini ve model tahmin kabiliyetini esas alan bir ölçüte dayanmaktadır. Guzzetti et al. (2006) çalışmasında, daha önce yapılmış heyelan duyarlılık modellerinde iki önemli düzeltme önermişlerdir. Bunlardan ilk düzeltme, haritalaması yapılan her bölge için heyelanın mekânsal oluşma olasılığı (duyarlılık gibi) ile ilişkili hata tahminin yapılmasıdır. Diğer düzeltmenin ise heyelan duyarlılık sınıflarını belirlemek için kabul edilebilir sınır (eşik) değerlerinin belirlenmiş olmasıdır. Heyelan duyarlılık modelini oluştururken diskriminant analizleri ve bağımlı değişken olarak sığ heyelanların alındığı istatistiksel analizleri kullanmışlardır. Doğru sınıflandırılmış ve yanlış sınıflandırılmış harita birimlerinin sayısını karşılaştırdıklarında, modelin haritalanmış birimlerinin %77 doğru sınıflandırıldığını görmüşlerdir. Aynı heyelanı kullanarak 350 adet heyelan duyarlılık modelini farklı haritalama birimleri için karşılaştırarak model uyum performansını araştıran araştırmacılar, bu genel uyumun model güvenilirliğini ve girdideki değişikliklerin sorgulandığı model duyarlılığını araştırmak için kullanıldığını belirtmişlerdir. Guzzetti et al. (2006) model duyarlılık tahminlerindeki değişiklikleri çalışarak, her haritalama birimine ait duyarlılık değerlendirmesi için hatayı belirlemişlerdir. Duyarlılık modelinin tahmin kabiliyeti iki adet güncel envanter haritaları ile karşılaştırılarak tahmin edilmiştir. Oluşturdukları heyelan duyarlılık modelinin yeni tetiklenen heyelanları tahmin edebilir nitelikte olduğunu belirlemişler ve duyarlılık modelini test etmek için önerdikleri çalışma planının,

heyelan duyarlılık sınıflandırmaları için düzenli bir planı (şemayı) içerir nitelikte olduğunu vurgulamışlardır.

Lee (2005) Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve uzaktan algılamayı kullanarak, Malezya'nın Penang Bölgesinde heyelan tehlike tahmini için yaptığı çalışmada, topoğrafik ve jeolojik veri ve uydu görüntülerini CBS ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak mekânsal veri analizi içerisine toplamıştır. Araştırmacı heyelan oluşumuna etki eden faktörleri yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç eğriselliği, drenaja olan uzaklık, litoloji, çizgisellikten uzaklık, Landsat TM uydu görüntülerinden arazi kullanımı ve SPOT 4 uydu görüntülerinden bitki örtüsü indeksi olarak seçmiştir. Daha sonra heyelan tehlike alanlarını lojistik regresyon modeli ile heyelan oluşum faktörlerini kullanarak analiz etmiş ve haritalamıştır. Lee (2005) elde ettiği analiz sonuçlarını heyelan lokasyon verileri ile doğrulamış ve olasılık modeli ile karşılaştırmıştır. Doğrulama sonuçlarına göre lojistik regresyon modelinin olasılık modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Frattini et al. (2010) yaptıkları çalışmada, heyelan duyarlılık modellerinin performansının değerlendirilmesi risk yönetimi ve toprak kullanımı planlamasına güvenilir bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli olduğunu ve vurgulayarak, daha iyi çalışan modeli belirlemek için modellerin performanslarının karşılaştırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, model performanslarının değerlendirilmesine ilişkin farklı teknikleri tartışmış ve Carrara et al. (2008) tarafından literatüre yeni girmiş olan sığ heyelan/moloz akması duyarlılık modellerini kullanılarak test etmişlerdir. Ayrıca, modelin toprak yönetimi kontrol edici aracı olarak uygulanmasından doğan maliyetin asgariye indirgenmesine dayanan bir değerlendirme modelini de çalışmalarında vermiştir. Yaptıkları uygulamanın sonuçları, doğruluk, Threat skoru (sayısı), Gilbert's skill skoru (sayısı), Pierce's skill skoru (sayısı), Heidke skill skoru (sayısı) ve Yule's Q gibi basit istatistiklerin, önceden belirlenmiş duyarlılık eşik değeri tanımlayarak sınıflandırılmış nesnelerin iki ayrı gruba ayırarak sınıflandırılması gerekliliğinden dolayı sorun yarattığını göstermektedir. Araştırmacılar, ROC eğrileri ve başarı oran eğrilerinin modellerin performanslarını göstermede ve karşılaştırmada

kullanılabileceğini bununla birlikte başarı oran eğrilerinin bazı koşullarda grid hücre modellere uygulandığında yanıltıcı olabileceğini belirtmişlerdir.

### **1.2.3. 2009-2012 yılları arasında yapılmış heyelan duyarlılık analizleri, kullanılan yöntemler ve kullanılan doğrulama tekniklerine ilişkin önceki çalışmalar**

Doktora tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık çalışmaları ile ilgili güncel literatür incelenmiş ve 2009-2012 yılları arasında gerçekleştirilen 32 adet çalışma, bölge, araştırmacı, kullanılan yöntem ve yöntemde kullanılan doğrulama teknikleri dikkate alınarak Çizelge 1'de sunulmuştur. Çizelge 1'de verilen araştırmalar içerisinde kullanılan yöntemler değerlendirildiğinde en çok kullanılan yöntemin çok değişkenlik istatistik ve yapay zeka yöntemleri olduğu ve performans değerlendirmesinde ise en fazla kullanılan doğrulama matrisinin AUC (ROC eğrisinin altında kalan alan, Area Under Curve) olduğu görülmektedir. Araştırmacılar son yıllarda heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan istatistiksel yöntemlerin yanı sıra vektör destek makineleri gibi veri madenciliği tekniklerini de kullanmaya başlamışlardır.

Çizelge 1.2. 2009-2012 yılları arasında yapılmış araştırmalardan seçilen 32 adet çalışma

Araştırmacı	Bölge	Örneklem Stratejisi	Yöntem	Doğrulama yöntemi
Kawabata and Bandibas (2009)	Niagata, Japonya	Heyelan kütlesi	Yapay sinir ağları (ANN)	Doğruluk (%)
Nandi and Shakoor (2009)	Kuzeydoğu Ohio, A.B.D	Heyelan kütlesi	Tek değişkenli istatistik, Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Wang et al. (2009)	Guizhou, Japonya	Heyelan kütlesi	Bulanık mantık	ROC eğrisi ve AUC
Chauhan et al. (2010)	Chamoli and Rudraprayag Bölgesi, Uttarekhand, Hindistan	Heyelan kütlesi	ANN	ROC eğrisi ve AUC
Das et al. (2010)	Himalaya, Hindistan	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Ercanoğlu and Temiz (2010)	Azdavay, Kastamonu, Türkiye	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon, Bulanık mantık	ROC eğrisi ve AUC
Pradhan and Lee (2010)	Klang Valley, Malezya	Heyelan kütlesi	İki değişkenli istatistik, Frekans oranı	Başarı oran eğrisi (success rate curve)
Pradhan et al. (2010)	Penang, Cameron ve Selangor, Malezya	Heyelan kütlesi	ANN, Frekans oranı, lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Bai et al. (2010)	Three Gorges Area, Çin	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon	Doğru sınıflandırma yüzdesi (%) ve RMSE
Vahidnia et al. (2010)	İran	Heyelan kütlesi	Bulanık mantık, ANN	Doğruluk (%), korelasyon katsayısı
Yeon et al. (2010)	Kwangwon, Kore	Heyelan kütlesi	Karar ağacı	Doğruluk (%)

Çizelge 1.2. (devam ediyor) 2009-2012 yılları arasında yapılmış araştırmalardan seçilen 32 adet çalışma

Yılmaz (2010)	Tokat, Türkiye	Kopma zonu, kopma zonundaki nokta, kök hücresi	Frekans oranı-Çok değişkenli istatistik- ANN	ROC eğrisi ve AUC
Dong et al. (2011)	Merkezi Güney Çin	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Oh and Pradhan (2011)	Penang Adası, Malezya	Heyelan kütlesi	ANFIS	ROC eğrisi ve AUC
Lucà (2011)	Calabria, Güney İtalya	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Marjanović et al. (2011)	Fruška Gora Dağı, Sırbistan	Heyelan kütlesi	Destek vektör makinesi (SVM), Karar ağacı, Lojistik regresyon	Kappa indeksi (k), AUC
Ruette et al. (2011)	İsviçre Alpleri	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Sezer et al. (2011)	Klang Vadisi, Malezya	Heyelan kütlesi	ANFIS	ROC eğrisi ve AUC
Sterlacchini et al. (2011)	Lombardy Bölgesi, İtalya	Heyelan kütlesi	Veriye dayalı Bayes yöntemi	Kappa indeksi (k), AUC, başarı oran eğrisi
Yalçın et al. (2011)	Trabzon, Türkiye	Heyelan kütlesi	Frekans oranı-İki değişkenli istatistik, Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Akgün et al. (2012)	Sinop ve çevresi	Heyelan kütlesi	Bulanık Mantık	ROC eğrisi ve AUC
Aksoy and Ercanoğlu (2012)	Azdavay Bölgesi, Kastamonu, Türkiye	Heyelan kütlesi	Bulanık mantık	Hata (confusion) matrisi
Choi et al. (2012)	Boun, Kore	Heyelan kütlesi	Frekans oranı-Çok değişkenli istatistik-ANN	Doğru sınıflandırma yüzdesi (%), ROC eğrisi ve AUC

Çizelge 1.2. (devam ediyor) 2009-2012 yılları arasında yapılmış araştırmalardan seçilen 32 adet çalışma

Das et al. (2012)	Hindistan Himalayaları	Heyelan kütlesi	Bayesian lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
He et al. (2012)	Hubei, Çin	Heyelan kütlesi	Kernel Fisher diskriminant analizi	ROC eğrisi ve AUC
Nefeslioglu et al. (2012)	Kelemen su toplama havzası, Batı Karadeniz, Türkiye	Kopma bölgesi 1 mekânsal çözünürlük gerisi	ANN	ROC eğrisi ve AUC, RMSE, Doğru sınıflandırma yüzdesi (%)
Özdemir (2012)	Sultan Dağları, Akşehir, Türkiye	Heyelan kütlesi	Lojistik regresyon	ROC eğrisi ve AUC
Pradhan et al. (2012)	The Penang Adası	Heyelan kütlesi	Karar ağacı, SVM, ANFIS	ROC eğrisi ve AUC
Schicker and Moon (2012)	Waikato Bölgesi, Yeni Zelanda	Heyelan kütlesi	Çok değişkenli istatistik	ROC eğrisi ve AUC
Song et al. (2012)	Boun Bölgesi, Kore	Heyelan kütlesi	ANN, ANFIS	Doğru sınıflandırma yüzdesi (%)
Bui et al. (2012)	Hoa Binh, Vietnam	Heyelan kütlesi	ANFIS	VAF, RMSE, $R^2$ , AUC
Xu et al. (2012)	Sichuan, Çin	Heyelan kütlesi	İki değişkenli istatistik, lojistik regresyon, ANN, SVM	Başarı oran eğrisi (success rate curve), ROC eğrisi ve AUC

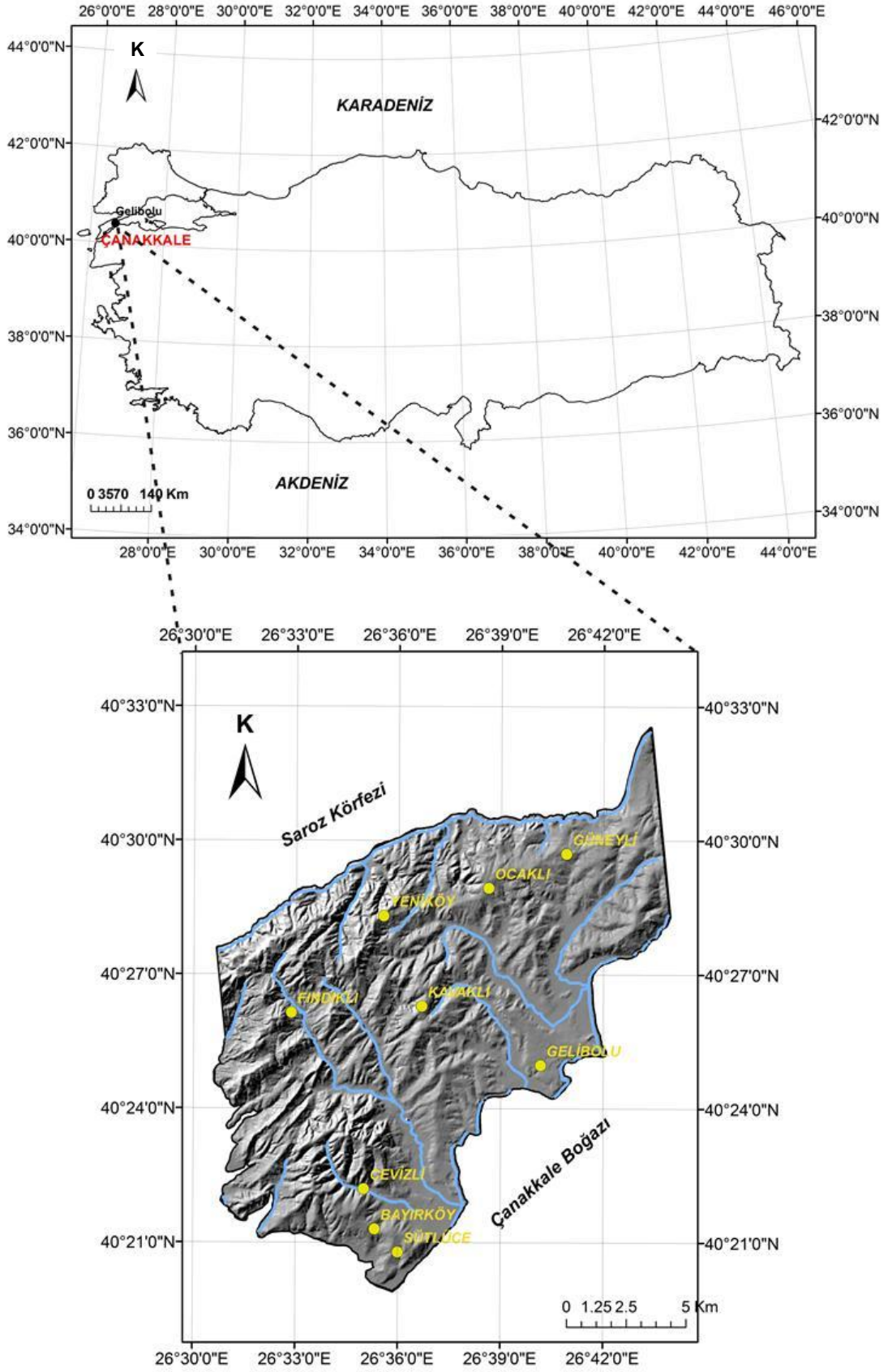
## 2. İNCELEME ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

### 2.1. İnceleme Alanının Tanıtımı

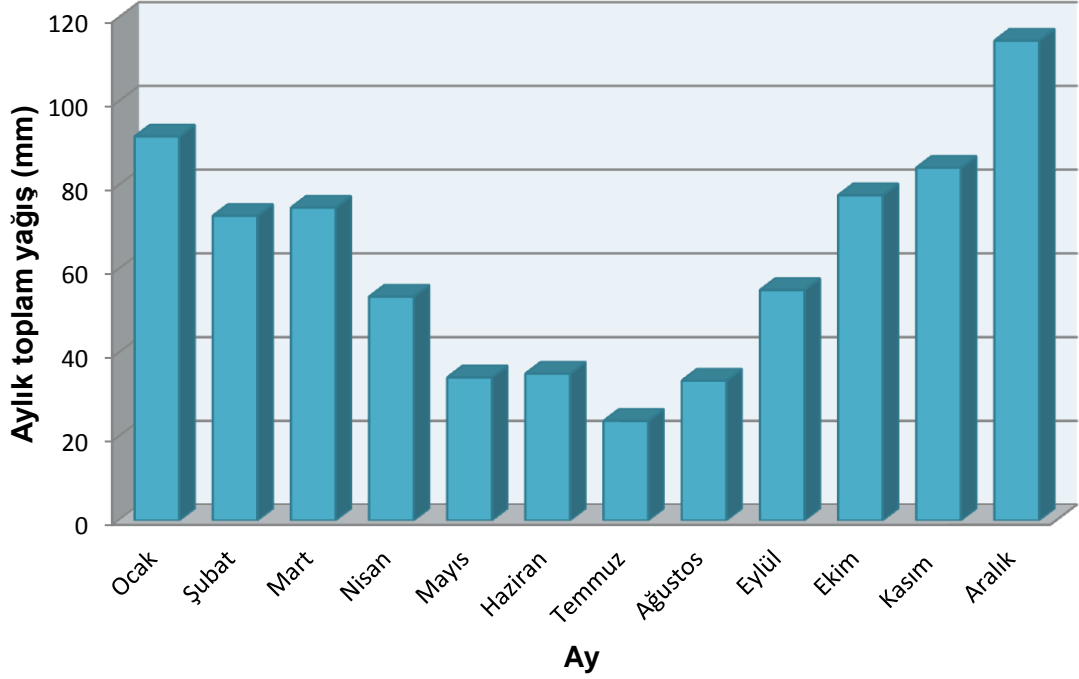
Doktora tezi kapsamında, H-17 (a1,a2,a4) paftalarını içine alan Çanakkale Gelibolu Yarımadası'nın doğusu (Gelibolu, Kavaklı, Yeniköy, Ocaklı, Güneyli) çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil1). Çalışma alanı, kuzeyde Saroz Körfezi güneyde Çanakkale Boğazı, batıda alüvyal vadi tabanı ve doğuda ise 1/25000 pafta sınırı ile sınırlandırılmış yaklaşık 233 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Çalışma alanı Böyle bir sınır belirlenmesinin nedeni, heyelan yoğunluğunun bu sınırlar içinde fazla olması ve böylelikle oluşturulacak modellerin daha doğru kestirim kapasitesine sahip olacağı düşüncesidir.

Çalışma alanının sıcaklık ve yağış değerleri bakımından Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında geçiş özelliği gösteren Marmara Geçiş Tipi'nin etkisi altındadır. Çalışma alanının iklim özelliklerini ortaya koymada yararlanılan Gelibolu Meteoroloji İstasyonu'nun 1958-2009 yılları arasında ölçülmüş verilere göre 50 yıllık ortalama sıcaklık 14.8 °C ve yıllık ortalama yağış 696 mm'dir (MGM, 2007). Akdeniz makroklimasının etkisiyle yağışların önemli bir kısmı kış aylarında düşerken, tarımsal faaliyetlerin yoğunluk kazandığı yaz mevsiminde yağışlar minimum değerlere inmektedir. Aylık toplam yağışa bakıldığında aylık yağışın en yüksek olduğu ay Aralık ayı, en düşük ay ise Temmuz ayı olarak gözlemlenmiştir (Şekil 2.2).





Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Şekil 2.2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan aylık ortalama yağış miktarları (mm) (MGM, 2007).

## 2.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanının da içinde yer aldığı Gelibolu Yarımadası jeolojik olarak kuzeyde Ganos fayı ve bu fayın Saros Körfezi'ndeki güneybatıya doğru uzanan kısmı ile sınırlanır. Yarımada kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı bir monoklinal kıvrım yapısıyla temsil edilir. Yarımada boyunca uzanan monoklinal kıvrım ekseninin ön kesimlerinde dikleşen ve hatta devrik duran kanatta kuzeybatı kesim ters faylanmayla güneydoğu blok üzerine itilmiştir. Yarımadanın ana yapısı bu monoklin ile ters faydır. Ortaköy-Şarköy-Mürefte kuzeyinde eksenleri kuzeydoğu güneybatı uzanımlı olan ofiyolit yüzlekleri vardır. Eski çalışmalarda bunlar faylarla yükselmiş horstlar halindeki temel yüzlekleri olarak yorumlanmışlardır. Halbuki, Alt Eosen-Oligosen çökeltme dönemi esnasında çökeller arasına tektonikle ve çekim kaymasıyla yerleşmiş bloklardır. Ortaköy kuzeyindeki ofiyolit yüzleklerinin Miyosen çökelleri ile dokanağında kuzeydoğu güneybatı gidişli faylar görülür (MTA, 1995).

### **2.2.1. Stratigrafi**

Gelibolu Yarımadasının kuzey tarafındaki birimler Tersiyer-Kuvaterner yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Tersiyer kayalarını; temel kayaları kesmiş ve/veya uyumsuz olarak üzerlemiş sedimanter, volkanik ve volkanosedimanter kayalar oluşturur (MTA, 2008). MTA (2008)' e göre çalışma alanında 13 farklı litolojik formasyon (birim) belirlenmiştir. Çalışma alanının stratigrafik istifi Şekil 2.3'te verilmiştir.

#### **2.2.1.1. Ofiyolit (of)**

Yer yer ofiyolitik yüzleklere rastlanmaktadır. Çalışma alanı içerisinde, Ortaköy kuzeyindeki ofiyolit yüzleklerinin Miyosen çökelleri görülmektedir.

#### **2.2.1.2. Fıçitepe Formasyonu (Tef)**

Fıçitepe Formasyonu, çamurtaşı, kumtaşı ve çakıl taşlarından kuruludur. Gilbert tipi delta, ağız barı tipi delta ve kıyı yüzü çökellerinden oluşan Fıçitepe Formasyonu havzaya akarsu girdilerinin olduğu kıyı kuşağında meydana gelen bir çökeltme ortamını yansıtmaktadır.

#### **2.2.1.3. Dededağ Volkanitleri (Ted)**

Andezitik, riyolitik lav ve piroklastiklerden (egemen olarak ignimbritlerden) oluşan kayalar Dededağ volkanitleri olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve diğ., 2005).

#### **2.2.1.4. Korudağ Üyesi (Teck)**

Trakya ve Gelibolu Yarımadası'nda yüzeyleyen ve kumtaşı-kiltaşı aralanması ile bunlar arasında yer alan çakıltaşlarından oluşan Geç Eosen yaşlı kayalar Kellog (1973) tarafından Korudağ formasyonu olarak adlandırılmıştır.

### **2.2.1.5. Ceylan Formasyonu (Tec)**

Biga Yarımadası'nda yüzeyleyen, kiltası-kumtaşı ardalanması ile kırıntılı kireçtaşı, mavi yeşil renkli tüflerden ve seyrek oranda çakıltaşlarından oluşan, Geç Eosen yaşlı litoloji topluluğu, Siyako ve diğ. (1989) tarafından Ünal (1967)'e atfen "Ceylan Formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

### **2.2.1.6. Kanlıbent Üyesi (Tomk)**

Gelibolu Yarımadası'nda yüzeyleyen ve Mezardere Formasyonu üzerinde altta kiltası-çamurtaşı ile başlayıp üste doğru kumtaşlarına ve çakıltaşlarına geçen kayaç topluluğu Sümengen ve diğ. (1987) tarafından Kanlıbent formasyonu olarak adlandırılmıştır.

### **2.2.1.7. Kirazlı Üyesi (Tmki)**

Egemen olarak ufak-kaba taneli kumtaşı işle daha az oranda çakılcık-ufak çakıllı konglomera, silttaşı ve çamurtaşından oluşan denizel birim Saltık (1974) tarafından Kirazlı formasyonu olarak tanımlanmıştır. Kumtaşı ve çakıltaşı tabakalarının tabanında gecikme çökeli çamur intraklastları mevcuttur. Üyeyi oluşturan kumtaşlarının sedimanter yapılarını düzlemsel paralel katmanlanma, dalga ripili çapraz katmanlanma, düzlemsel ve tekne türü çapraz katmanlanmalar, çift yönlü çapraz katmanlanma, tümseksi çapraz katmanlanma, birleşik akıntı ripilları, yuvarlanan tane ripilları, flaser, lentiküler ve dalgalı tabakalanmalar oluşturmaktadır. Bu çökeller içinde zaman zaman derinliği birkaç metreye ulaşan kanal dolgusu kumtaşları ve ufak çakıllı konglomeralar yer almaktadır.

### **2.2.1.8. Çamrkdere Üyesi (Tmçd)**

Biga Yarımadası'nda Çanakkale Boğazı'nın doğu kıyısında yüzeyleyen ve çamurtaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakılcıklı konglomera ile kalkarenitten oluşan kayaç topluluğu ilk defa Şentürk ve Karaköse (1987) tarafından Çanakkale formasyonunun Çamrkdere üyesi olarak adlandırılmıştır. Gri yeşil renkli çamurtaşları, bol miktarda fosil ya da kırılmış kavkı parçası içerirler. Çamurtaşları

içinde genelde birkaç mm-cm kalınlıkta lentiküler tabakalı kumtaşları yer almaktadır.

### **3.2.1.9. Alçitepe Üyesi (Tmal)**

Başlıca kireçtaşlarından oluşan litoloji topluluğu ilk olarak Druitt (1961) tarafından Alçitepe birimi olarak tanımlanmıştır. Alçitepe Üyesi stromatolit yapılı kireçtaşlarından, oolitlerden, kalkarenitlerden, fosilli kireçtaşları ile silttaşı ve marnlardan oluşur.

### **2.2.1.10. Bayramiç Formasyonu (Tplb)**

Gelibolu Yarımadası'nda gözlenen Pliyosen yaşlı flüviyal çökeller Siyako ve diğ. (1989) tarafından birimin en iyi gözlendiği yer olan Bayramiç Çayı'na atfen Bayramiç Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon, kızıl kahve renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşur. Bu çökelleri oluşturan konglomeralar, düzlemsel paralel ya da erozyonal tabaka yüzeylerine sahiptirler. Konglomera ve kumtaşları masif ya da kabaca katmanlı, düzlemsel paralel katmanlıdır. Çamurtaşları ise genelde masif ya da kabaca paralel katmanlıdır.

### **2.2.1.11. Traverten (Qtr)**

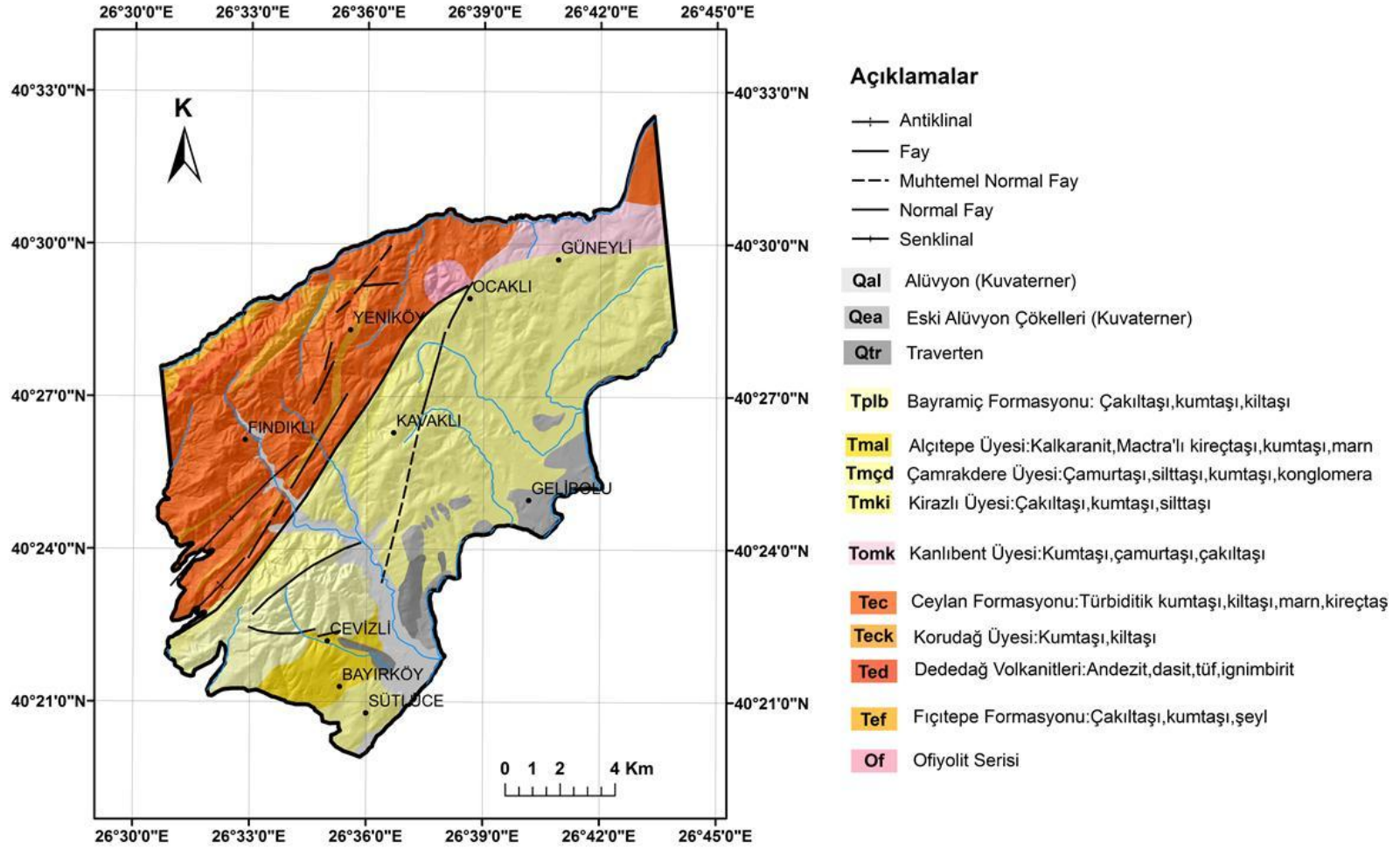
Kuvaterner yaşlı alüvyon ve traverten çökelleri

### **2.2.1.12. Eski Akarsu Çökelleri (Qea)**

Eski dere, nehir yatakları ve taşkın düzleri boyunca yüzeylenen kum, çakıl, kil, silt vb. kayalardır.

### **2.2.1.13. Alüvyon (Qal)**

Kuvaterner, en genç oluşumlar olan alüvyonlarla temsil edilir. Kırmızı renkte toprak, silt ve kil karışımından oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (MTA, 2008'den değiştirilerek alınmıştır)

### 2.3. İnceleme Alanının Tektonik Özellikleri ve Depremsellığı

Gelibolu Yarımadası jeolojik olarak kuzeyde Ganos fayı ve bu fayın Saros Körfezi'ndeki güneybatıya doğru uzanan kısmı ile sınırlanır. Yarımada kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı bir monoklinal kıvrım yapısıyla temsil edilir. Yarımada boyunca uzanan monoklinal kıvrım ekseninin ön kesimlerinde dikleşen ve hatta devrik duran kanatta kuzeybatı kesim ters faylanmayla güneydoğu blok üzerine itilmiştir. Yarımadanın ana yapısı bu monoklin ile ters faydır. Ortaköy-Şarköy-Mürefte kuzeyinde eksenleri kuzeydoğu güneybatı uzanımlı olan ofiyolit yüzlekleri vardır.

Literatürde Gelibolu yarımadası ve çevresinin tektonik ve depremselliğini konu alan birçok araştırmaya rastlanmaktadır. Bunlardan bazılarında aşağıda değinilmiştir.

Önem (1974), Üst Kretase ve Alt Eosen'in Gelibolu Yarımadası'nda bulunduğunu ve Eosen-Oligosen-Miyosen yaşlı genç Tersiyer istifinin, KD-GB genel doğrultusu ile yarımadanın konumuna uyan bir şekilde ve güneydoğuya doğru monoklinal olarak yatan, kalın bir sediman gövdesi oluşturduğundan bahsetmektedir.

Saner (1980) Gelibolu ve çevresinde yaptığı çalışmada, eski sismik ve jeolojik kesitlerden yararlanarak, bölgenin paleocoğrafik evrimini yorumlamıştır. Yaptığı çalışmanın sonucunda, inceleme alanının doğusundaki Eosen yaşlı ve filiş nitelikli tortullar içerisinde bulunan, ofiyolitik kütlelerin bloklar halinde olduğunu ileri sürmüştür.

Önal (1984) çalışmasında, Gelibolu Yarımadası ve çevresindeki Tersiyer kayaların çökeliminin Erken Eosen'de başladığını vurgulamış ve istifin havzada tipik bir transgressif-regresif devir gösterdiğini, önce sığ sonra derin tortulların çökeldiğini belirtmiştir. Araştırmacıya göre, Gelibolu Yarımadası Miyosen başında KB-GD yönlü sıkışma ve buna dik KD-GB yönlü bir gerilmenin etkisi altında oluşunu söylemiştir. Doğrultu atımlı faylar, normal ve ters faylar ile kıvrımların bu sıkıştırma kuvvetleri ile oluşturduğunu vurgulamıştır.

Önal (1986) yaptığı çalışmada, Gelibolu yarımadasının orta bölümünün sedimanter fasiyeslerini belirlemiş ve tektonik evrimini ortaya koymuştur. Çalışma alanında farklı zamanlardaki çekme tektoniğine bağlı olarak, beş tortul istif geliştiğini belirterek, bölgenin Erken Miyosen yaşlı faylar, kıvrımlar ve eklem takımlarının birbiri ile olan geometrik ilişkileri bölgenin KB-GD yönlü bir sıkışma tektoniği etkisinde kaldığını vurgulamıştır.

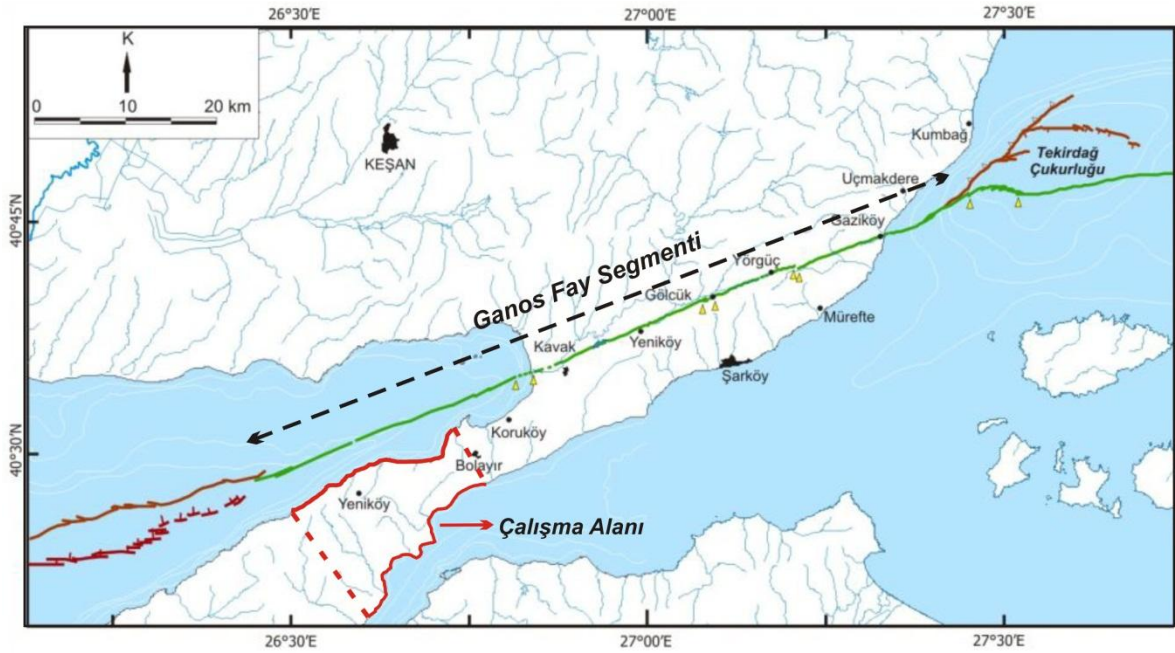
Erol (1992), Çanakkale yöresinin jeomorfolojisi ve neotektonizması ile ilgili olan çalışmasında, Orta Miyosen'de çalışma alanı içerisinde karasal, sığ su ve acı su tortullarının dönüşümlü olarak çökeldiği KD-GB uzanımlı bir havzanın var olduğunu ve bu havzanın KB-GD kenarlarında nemli sıcak iklimin etkisi altında aşınma yüzeylerinin oluştuğundan bahsetmektedir. Orta Miyosen sonundaki faylanmalar sonucunda yükselme gerçekleşmiş ve çukurlaşan havza ortasında Üst Miyosen birimleri çökelmiştir. Üst Miyosen'de havza ortasında gösel ve acısu fasiyesli tortullar, onların çevresinde de karasal birimlerin oluştuğunu belirtmiştir.

Yaltırak ve diğ. (1998), Ganos Fayı, doğudan batıya Ganos çukurunun güney kenarından Saroz Çukuru'nun kuzey kenarından geçen bir sağ yanal doğrultu atımlı fay olduğunu, fakat geçmişte bu fayın evrimi dikkate alındığında sağ yanal yapıların erken Miyosen sonunda gelişmeye başladığını belirtmiştir. Aynı zamanda sağ yanal hareketle birlikte saatin ters yönüne dönen Ganos Fay Sistemi geç Pliyosen'de (3,7 my önce) Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Marmara'ya ulaşmasıyla yaklaşık GBB-KDD konumuyla KAF'ın hareketini üzerine almış ve batıya kaçışın sürmesine neden olduğunu söylemiştir. Yaptıkları çalışmada, GPS hızları Trakya-Eskişehir Fayı'nın parçaları dikkate alındığında Gelibolu Yarımadasında bulunan Alçıtepe ve Conkbayırı arasındaki diskordastan üretilen atım miktarı 57-63 km 3,7-3,4 milyon yıl aralığını gösterdiğini belirtmişlerdir.

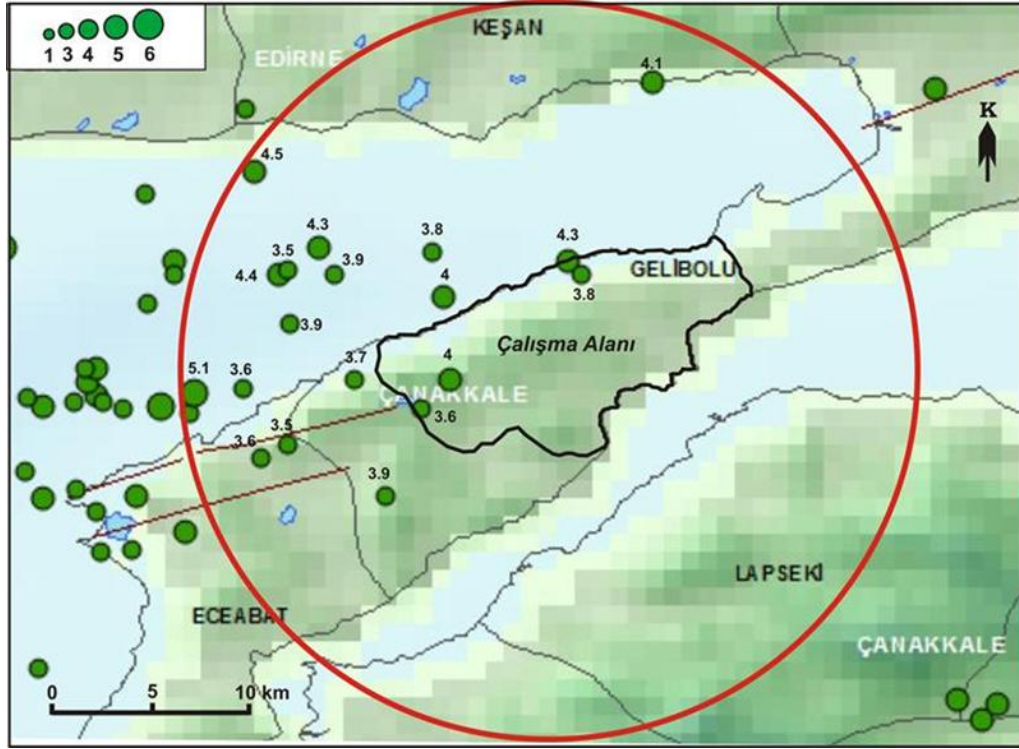
Yaltırak et al. (2000) Çanakkale Boğazı'nın bölgesel tektoniğini inceledikleri çalışmalarında, Eceabat ve Çanakkale arasındaki fay sisteminin etkisiyle bölgede NNE-SSW yönlü bir sıkışmanın hakim olduğunu belirtmişler, ayrıca Çanakkale Boğazının jeolojik tarihçesinin Gelibolu Yarımadası'nın Anadolu Bloğunun sıkışma etkisi altında olduğunu vurgulamışlardır.



Gelibolu yarımadası Kavaklı ilçesini merkez alan 100 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgeye ait sismoteknik haritaya bakıldığında (Şekil 2.5), çalışma alanı içerisinde 1900'den günümüze  $M_w > 3$ 'ten büyük deprem çok az görülmüştür. Bununla birlikte, çalışma alanına en yakın fay sistemi sahanın hemen kuzeyinden geçen sağ yanal harekete sahip yaklaşık olarak 15 km mesafedeki aktif Ganos Fayı'dır. Ganos fayının çalışma alanı içerisinde geçmemesi deformasyona bağlı herhangi bir makaslama zonunun da bulunmadığını göstermektedir (Şekil 2.4). Bir başka ifadeyle çalışma alanı içerisinde mekânsal duyarlılık anlamında yapısal bir süreksizliğin olmadığı anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, yağışın bölgede çok düşük olması ve Ganos Fayı'nın çalışma alanının hemen kuzeyinden geçmesi çalışma alanındaki heyelanların genellikle depremlerle tetiklendiğine işaret etmektedir. Yapılan heyelan duyarlılık çalışmasına ek olarak ileride heyelan tehlike haritalaması da yapılacak olursa, tetikleyici faktör olarak Ganos Fayı'nın yaratacağı depremi girdi parametresi olarak kullanmak gereklidir.



Şekil 2.4. Ganos fay segmenti ve çalışma alanının haritada gösterimi (<http://www.mta.gov.tr/v2.0/duyuru/duyurular/25-TEMmuz-2011-MARMARA-DENIZI-DEPREMI-BILGI-NOTU>'ndan değiştirilerek alınmıştır).

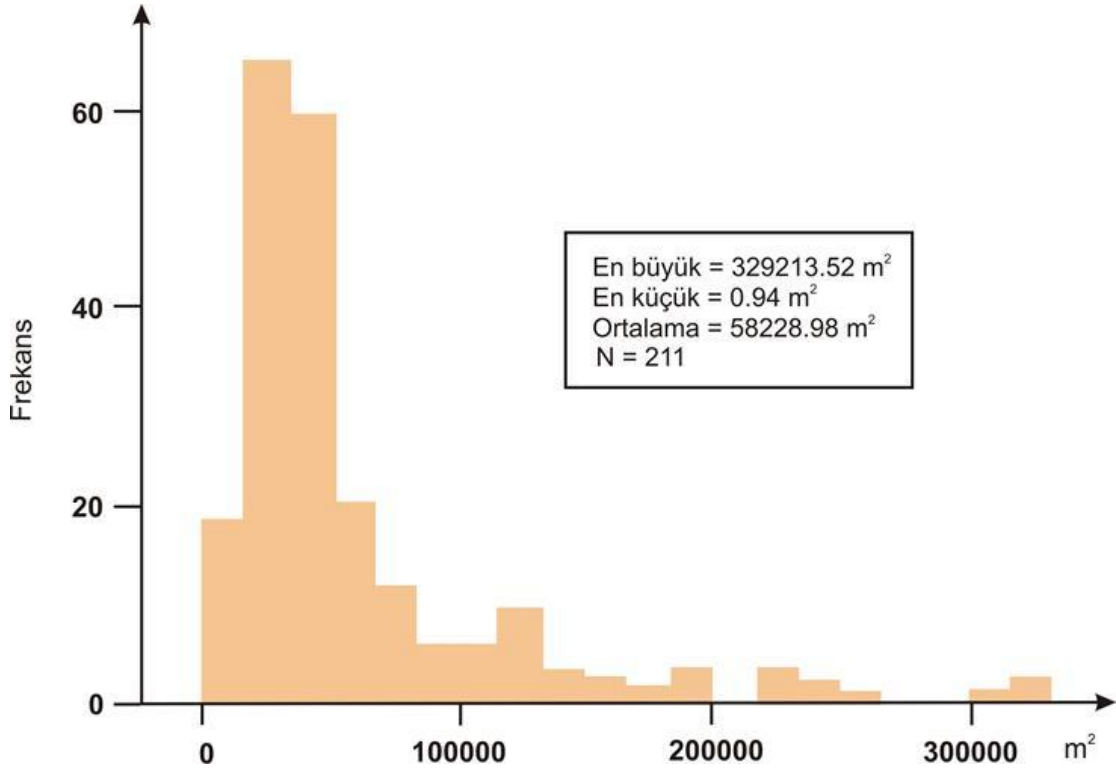


Şekil 2.5. Gelibolu yarımadası Kavaklı ilçesini merkez alan 100 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgeye ait sismoteknik harita (<http://deprem.gov.tr/sarbis/veritabanı>).

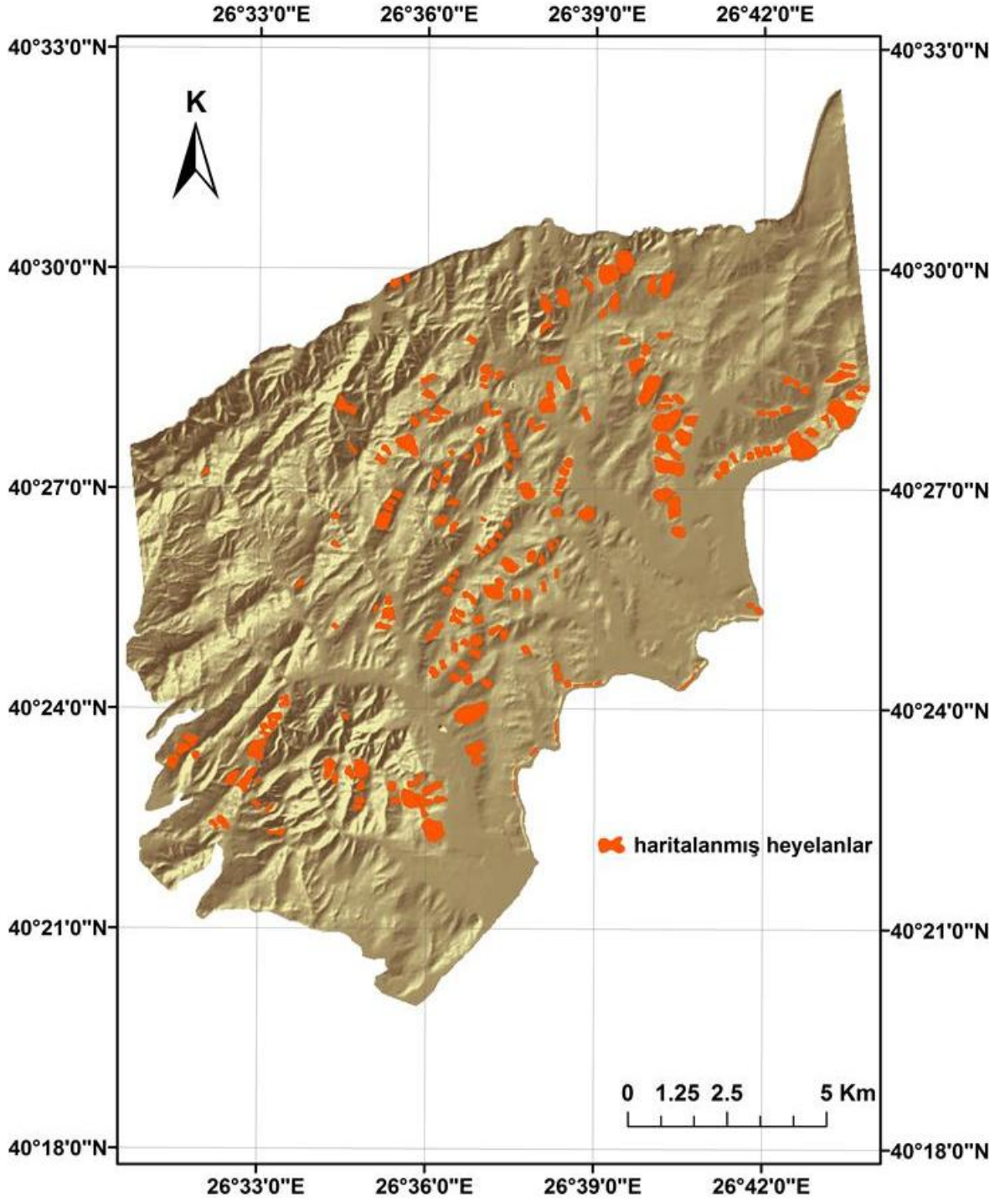
### 3. HEYELAN ENVANTERİ

Heyelan envanteri, bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, aktivitesi ve fiziksel özellikleri gibi konulara ilişkin bilgileri içeren veri topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Fell et al., 2008). 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 (Varnes, 1984; Carrara et al., 1995). Bu nedenle çalışma alanına ait heyelan envanter haritasının hazırlanmasında; saha çalışmalarından, inceleme alanına ait hava fotoğraflarından ve Google Earth uydu görüntülerinden, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/500000 ölçekli heyelan envanterinden yararlanılmış ve sonuç olarak toplam 211 adet heyelan belirlenmiş ve çalışma alanının heyelan envanter haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Çalışma alanında meydana gelen heyelanların boyutlarına bakıldığında, en küçük heyelan alanı  $0.94 \text{ m}^2$  iken en büyük heyelan alanı  $329213.52 \text{ m}^2$  lik bir alana

karşılık gelmektedir. Mevcut heyelanların mekânsal dağılımları Şekil 3.2’de görülmektedir. MTA (2008)’e göre çalışma alanı içerisindeki yenilmeler derin aktif kütleli kaymalar (heyelanlar) olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca çalışma alanında süreksizlik kontrollü herhangi düzlemsel duraysızlık da bulunmamaktadır. Çalışma alanı içerisinde meydana gelen heyelanlara ilişkin örnek fotoğraflar Şekil 3.3’de verilmiştir.

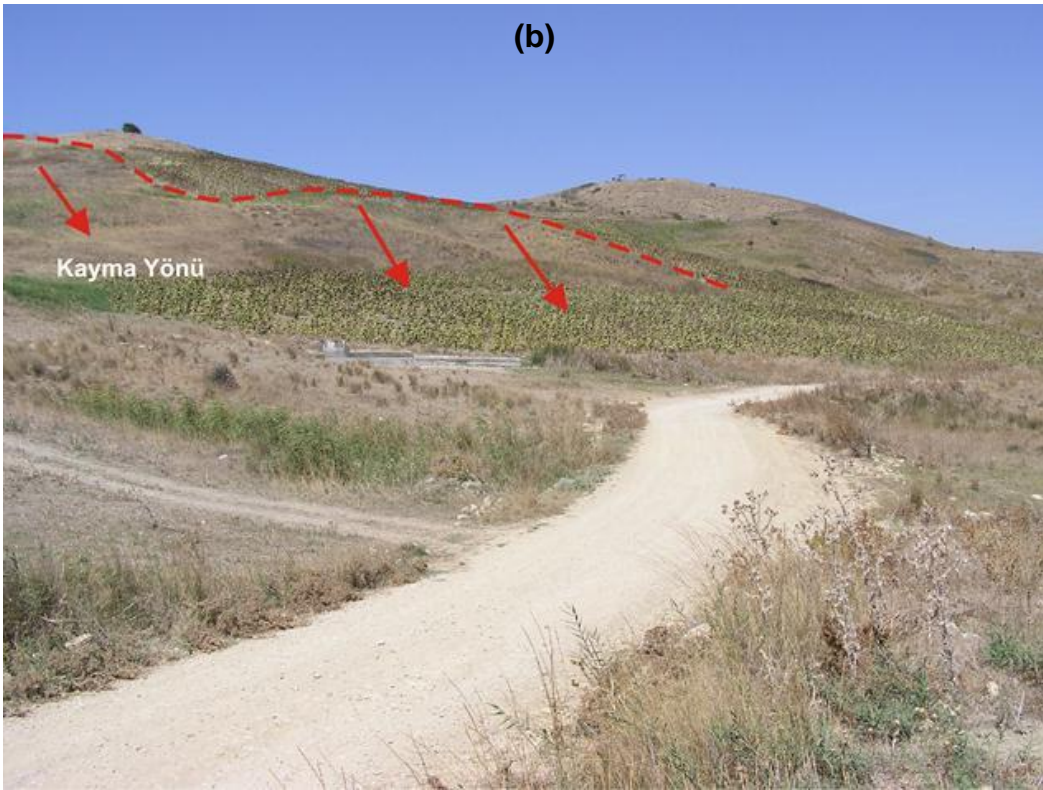


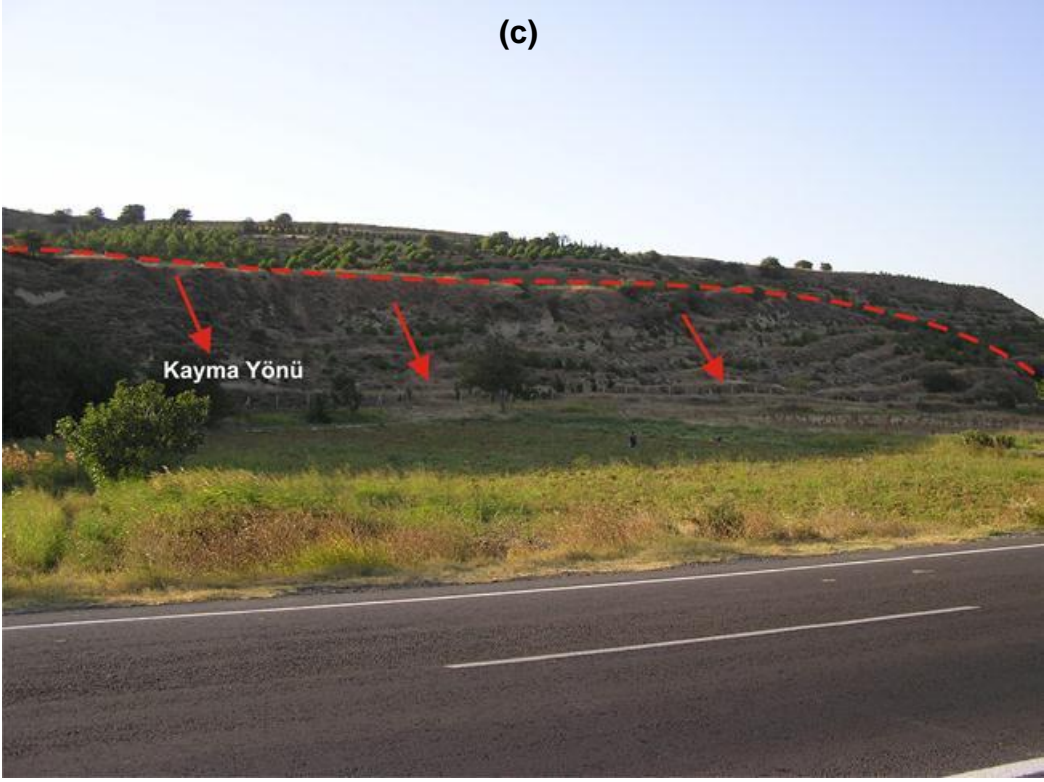
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki heyelanların alansal dağılımları



Şekil 3.2. Çalışma alanı içerisindeki heyelanların mekânsal dağılımları







Şekil 3.3 (a,b,c). Çalışma alanı içerisinde meydana gelen heyelanlara ait örnek fotoğraflar

## 4. VERİ ÜRETİMİ

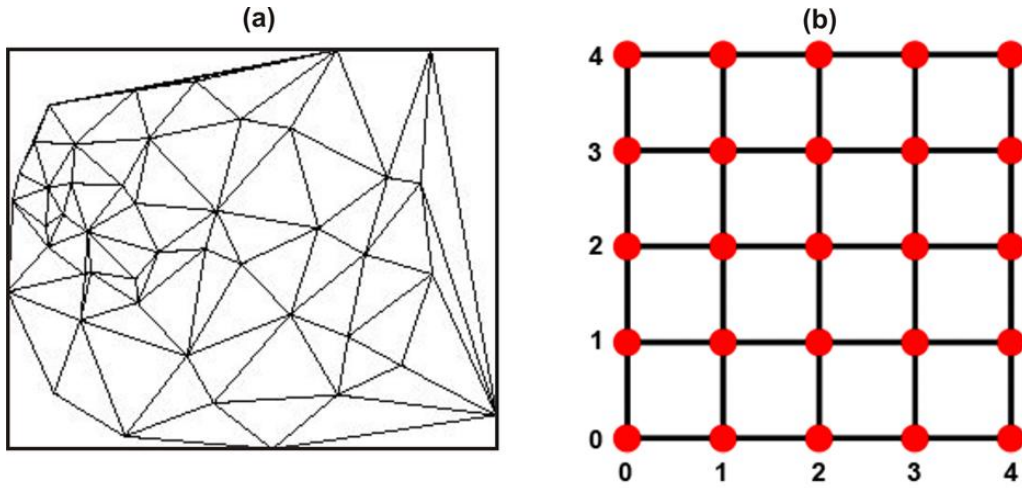
### 4.1. Üretilen Verilerin Genel Özellikleri

Tez çalışması kapsamında bu bölümde, duyarlılık analizlerinde kullanılacak parametreler ele alınarak bunların çalışma alanı içerisindeki dağılımları ve heyelanlarla olan ilişkilerinden bahsedilecektir. Söz konusu bu parametreler sayısal yükseklik modeli ve bu modelden türetilen topoğrafik parametreler, litoloji ve arazi kullanım parametreleri olmak üzere 3 alt başlıkta anlatılacaktır. Çalışmada kullanılan söz konusu parametrelerin sahadaki genel dağılımları, yer değiştirme+birikme alanındaki genel dağılımları ve son olarak da Süzen ve Doyuran (2004a)'nın önerdiği kök hücresi yaklaşımı kullanılarak farklı d mesafelerindeki (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) kök hücrelerinin genel dağılımlarına bakılarak, verilerin hazırlanması aşamasında yukarıda belirtilen 8 adet parametreye ait oluşturulan raster tabanlı parametre haritaları oluşturulmuştur. Hazırlanan haritaların bağımsız değişkenlerini topoğrafik, litoloji ve arazi kullanım parametreleri oluştururken bağımlı değişkenini ise heyelanın varlığını (1) ve yokluğunu (0) tanımlayan heyelan envanteri oluşturmaktadır. Yapılacak olan haritalar çalışma alanının boyutları ve heyelanların dağılımı dikkate alınarak, 25x25 m'lik hücre boyutu kullanılarak hazırlanmıştır. Sayısal yükseklik modelinden (SYM) türetilen yukarıda belirtilen parametreler ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) programının sayısal yükseklik modelinin analiz aracı (DEMAT) kullanılarak hesaplatılmıştır.

#### 4.1.1. Sayısal yükseklik modeli (SYM) ve SYM'den türetilen parametreler

Topoğrafyanın dijital gösterimi Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) olarak adlandırılmaktadır. SYM'den havza topoğrafik verilerinin otomatik olarak elde edilmesi topoğrafik haritalara uygulanan geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha az sübjektif ve daha fazla çoğaltılabilir ölçümler sağlamaktadır (Tribe, 1992). Hugget and Cheesman (2002) SYM'yi çalışma alanının sayısal olarak ifade edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Yine aynı araştırmacılar, sayısal yükseklik modellerinin yapısı kontur, düzensiz biçimlendirilmiş ağ ve düzenli grid yapıları

olmak üzere 3 gruba ayırmışlardır. Literatürde yaygın olarak üçgen şeklinde düzensiz ağlar ve düzenli grid yapıları olma üzere iki farklı sayısal yükseklik modeli ile karşılaşılmaktadır. Bu iki modelin örnek gösterimi Şekil 4.1(a,b)'de verilmiştir. Bunlardan bu tez çalışması kapsamında, diğer arazi özelliklerinin hesaplanabilmesine imkan vermesi, basit oluşu, başka veri ortamlarına kolaylıkla uyum sağlayabilmesi açısından piksel boyutu 25 m seçilmiş ve modelin oluşturulmasında 25x25m'lik düzenli grid yapısı kullanılmıştır.



Şekil 4.1(a) Üçgen şeklinde düzensiz ağ ve (b) düzenli grid yapısına birer örnek gösterim

Genel arazi özelliklerinden olan arazi eğimi, arazi bakışı, arazi eğriliği, havza alanı, eğim uzunluğu gibi genel arazi özellikleri SYM'den kolaylıkla hesaplanabilir (Moore et al., 1993). Tez kapsamında, duyarlılık analizlerinde kullanılan SYM'den türetilmiş topoğrafik parametreler; topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi ve sediman taşınma kapasite indeksidir. Bu indeksler çalışma alanına ait mevcut SYM kullanılarak ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) programının farklı araçları (tool) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SYM'den türetilmiş parametrelerden yamaç yönelimi, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi ve sediman taşıma kapasite indeksi parametreleri ve bunların formülasyonları Wilson and Gallant (2000)'den alınarak Çizelge 4.1'de verilmiştir.

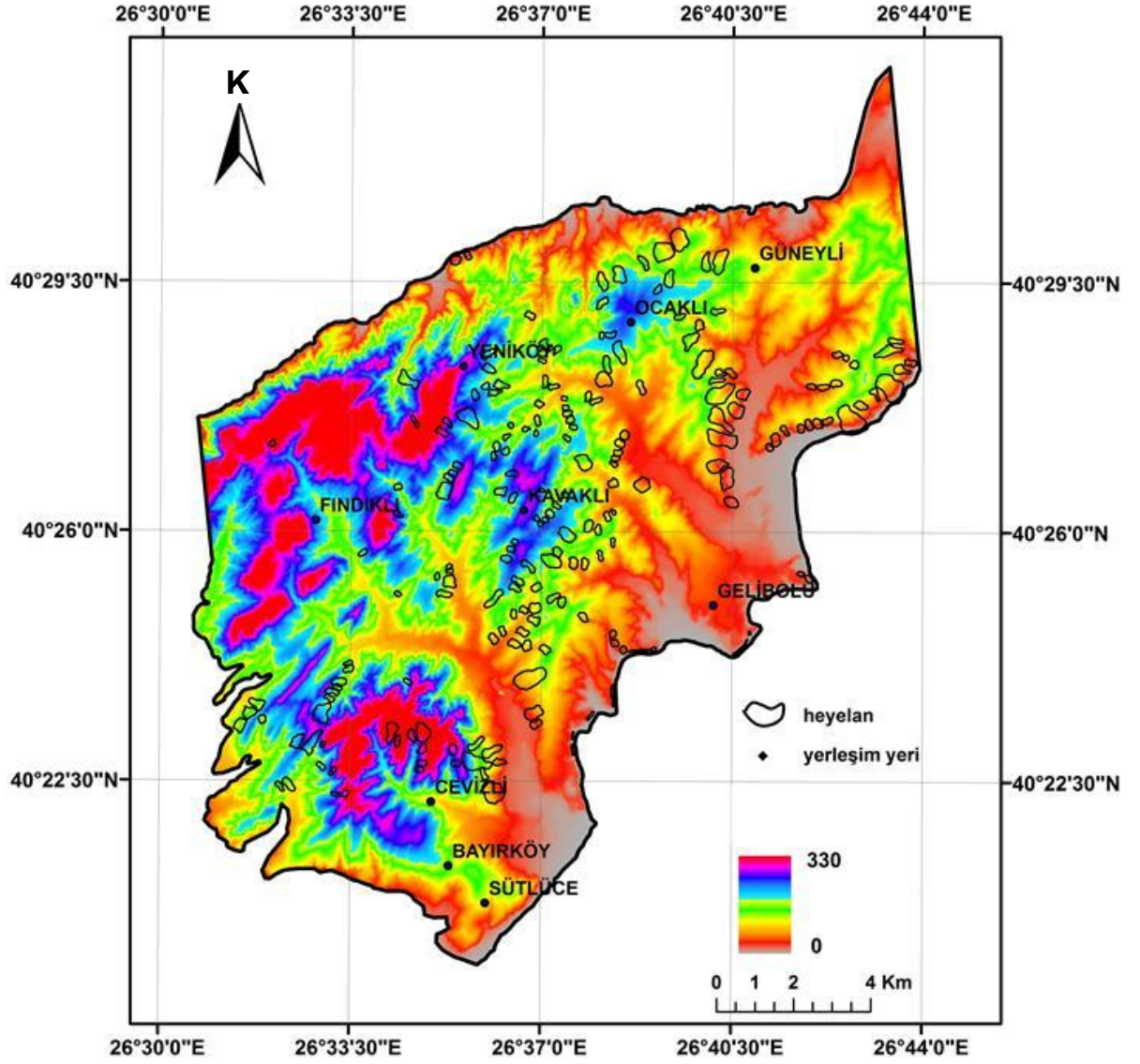


Çalışmada kullanılan SYM'den türetilen tüm parametreler, kullanılan farklı örneklem stratejileri için ayrı ayrı belirlenmiş, tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmış ve ayrıntılı olarak aşağıda anlatılmıştır (Çizelge 4.2).

#### **4.1.1.1. Topoğrafik yükseklik**

Topoğrafik yükseklik erozyon ve bozunma durumunu kontrol eden ve toprak özelliklerini etkileyen bir parametredir (Dai and Lee, 2002; Ayelew et al., 2005'den). Yükseklikle heyelanların ilişkisi literatürde göreceli olarak daha yüksek seviyelerde bulunan alanların heyelanlara karşı daha duyarlı olduğu yönündedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Aynı araştırmacılar göreceli yüksekliğin ayrıntılı çalışılması ve tanımlanması ve bunların yağış ve sismik etkininde göz önünde bulundurulması bunların heyelanla ilişkisinin ortaya konulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Sahanın genel dağılımına bakıldığında; çalışma alanındaki yükseklik değerleri 0-330 m arasında değişmekte olup, ortalama yükseklik 97 m olarak belirlenmiştir. Yükseklik değerinin yer değiştirme+birikme alanındaki değişimine bakıldığında, 0-301 m arasında değiştiği ve ortalama yüksekliğin ise 92 m olduğu görülmektedir. Son olarak kök hücrelerindeki topoğrafik yükseklik değerleri d=25 m tampon mesafesi için ortalama topoğrafik yükseklik 108m, d=50 m için 112 m, d=75 m için 113 m ve d=100 m mesafe için ise 114 m olarak hesaplanmıştır. Kök hücrelerinden yapılan örneklem kullanılarak belirlenen yükseklik değerlerinin d tampon mesafesindeki değişimine bağlı olarak birbiriyle neredeyse aynı standart sapma değerlerine sahip olduğu Çizelge 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli

Çizelge 4.1. Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin genel sahadaki dağılımları

<b>Topoğrafik Parametreler</b>	<b>En küçük</b>	<b>En büyük</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Std. Sapma</b>	<b>Varyans</b>	<b>Eğrilik</b>	<b>Basıklık</b>
Topoğrafik Yükseklik (m)	0	330.000	97.680	68.220	4.653.995	0.68	-0.181
Yamaç Eğimi (derece)	0	65.179	9.123	6.911	47.758	1.035	1.321
Plan yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-28.450	13.507	0.009	0.409	0.168	-1.824	97.216
Profil yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-15.906	19.752	0.008	0.457	0.209	0.424	34.645
Topoğrafik nemlilik indeksi	0	21.682	5.763	1.158	1.341	1.447	5.870
Akarsu aşındırma gücü indeksi	0	2.703	0.549	0.386	0.149	0.983	0.77
Sediman taşıma gücü indeksi	0	16.398	1.442	1.228	1.509	1.912	6.388

Çizelge 4.2. Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin yer değiştirme+birikme alanındaki dağılımları

<b>Topoğrafik Parametreler</b>	<b>En küçük</b>	<b>En büyük</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Std. sapma</b>	<b>Varyans</b>	<b>Eğrilik</b>	<b>Basıklık</b>
Topoğrafik Yükseklik (m)	0.000	301.297	92.347	53.118	2821.561	0.838	0.736
Yamaç Eğimi (derece)	0.000	38.654	9.948	4,686	21.964	0.801	1.583
Plan yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-3.199	2.508	-0.020	0.311	0.097	-0.490	5.491
Profil yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-2.274	3.486	0.028	0.346	0.120	0.902	8.789
Topoğrafik nemlilik indeksi	4.136	7.913	5.432	0.532	0.283	0.981	1.514
Akarsu aşındırma gücü indeksi	0.029	2.157	0.654	0.313	0.283	0.769	0.627
Sediman taşınma kapasite indeksi	0.922	8.396	1.668	0.875	0.765	1.502	5.601

Çizelge 4.3. Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m tampon mesafesi için oluşturulan kök hücrelerdeki dağılımları

	<b>Topoğrafik Parametreler</b>	<b>En küçük</b>	<b>En büyük</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Std. sapma</b>	<b>Varyans</b>	<b>Eğrilik</b>	<b>Basıklık</b>
<b>Kök hücresi d=25 m</b>	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.000	305.000	108.859	56.319	3171.819	0.614	0.363
	Yamaç Eğimi (derece)	0.000	37.456	10.784	5.243	27.490	0.741	1.256
	Plan yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-2.874	2.895	0.020	0.351	0.123	-0.547	7.298
	Profil yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-3,507	3.116	-0.052	0.431	0.186	-0.515	10.701
	Topoğrafik nemlilik indeksi	4.009	7.854	5.275	0.462	0.214	0.734	1.072
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	0.147	2.107	0.511	0.312	0.097	1.005	0.942
	Sediman taşınma kapasite indeksi	0.042	7.343	1.545	0.933	0.870	1.581	4.402
<b>Kök hücresi d=50 m</b>	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.000	307.965	112.823	56.452	3186.812	0.674	0.345
	Yamaç Eğimi (derece)	0.000	41.474	10.582	5.227	27.854	0.853	1.555
	Plan yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-2.896	2.895	0.261	0.365	0.133	-0.789	7.581
	Profil yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-3.507	3.116	-0.059	0.418	0.175	-0.179	8.529
	Topoğrafik nemlilik indeksi	4.009	7.697	5.283	0.467	0.218	0.651	0.846
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	0.012	2.107	0.499	0.320	0.103	1.047	0.975
	Sediman taşınma kapasite indeksi	0.031	7.343	1.517	0.945	0.894	1.567	4.089

Çizelge 4.3. (devam ediyor) Topoğrafik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiklerin d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m tampon mesafesi için oluşturulan kök hücrelerdeki dağılımları

	<b>Topoğrafik Parametreler</b>	<b>En küçük</b>	<b>En büyük</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Std. sapma</b>	<b>Varyans</b>	<b>Eğrilik</b>	<b>Basıklık</b>
<b>Kök hücresi d=75 m</b>	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.000	310.000	113.416	56.807	3341.619	0.660	0.288
	Yamaç Eğimi (derece)	0.000	41.474	10.244	5.428	29.465	0.860	1.439
	Plan yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-3.646	2.895	0.034	0.357	0.127	-0.753	7.792
	Profil yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)	-3.507	3.116	-0.060	0.407	0.166	-0.070	7.662
	Topoğrafik nemlilik indeksi	4.009	8.408	5.306	0.485	0.235	0.670	1.022
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	0.001	2.107	0.478	0.324	0.105	1.096	1.043
	Sediman taşınma kapasite indeksi	0.004	7.919	1.457	0.943	0.890	1.524	3.821
	<b>Kök hücresi d=100 m</b>	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.000	312.821	114.589	57.622	3320.264	0.628
Yamaç Eğimi (derece)		0.000	41.474	10.082	5.481	30.039	0.823	1.246
Plan yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)		-3.646	3.476	0.0321	0.360	0.130	-0.597	7.866
Profil yamaç eğriselliği (100 <sup>-1</sup> m)		-3.507	3.166	-0.056	0.399	0.159	-0.007	7.167
Topoğrafik nemlilik indeksi		4.009	9.468	5.330	0.507	0.257	0.769	1.600
Akarsu aşındırma gücü indeksi		0.000	2.107	0.474	0.326	0.107	1.086	0.973
Sediman taşınma kapasite indeksi		0.000	7.919	1.436	0.949	0.902	1.490	3.651

#### 4.1.1.2. Yamaç eğimi

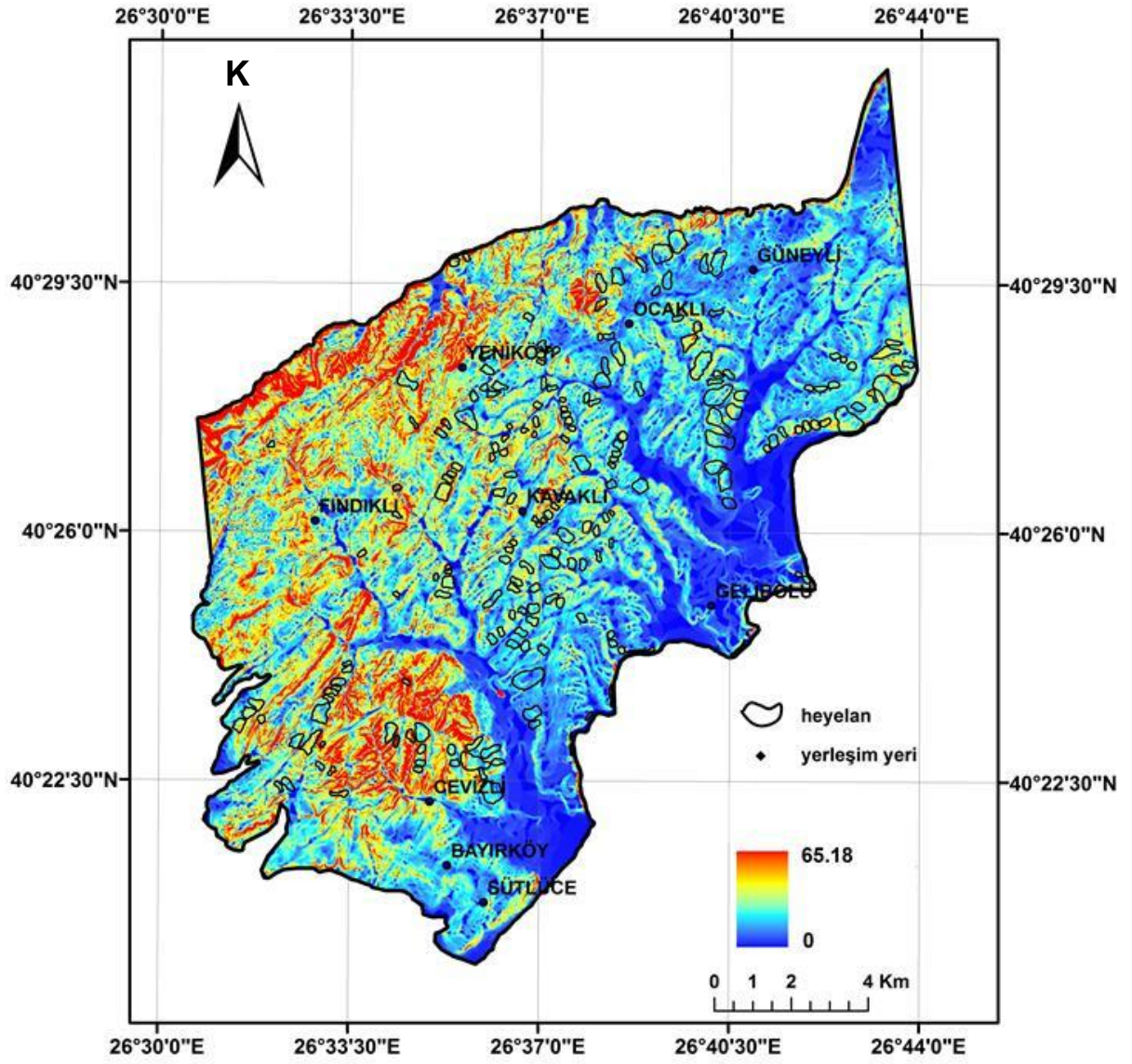
Heyelan oluşumunda etkin parametrelerden biri olan yamaç eğimi, heyelan duyarlılık çalışmalarında çok yaygın kullanılan bir parametredir. Literatürde birçok araştırmacı yamaç eğiminin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın da artacağını belirtmiş (Santacana et al., 2003; Ohlmacher and Davis, 2003; Ayalew et al., 2004; Lee, 2005; Fell et al. 2008) buna karşın düşük eğime sahip yamaçlarda da heyelan oluşabildiğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (Temesgen et al., 2001; Ayalew and Yamagishi, 2005).

Yamaç eğiminin saha içerisindeki genel dağılımına bakıldığında; eğim değerlerinin  $0-65^{\circ}$  arasında değiştiği; yer değiştirme+birikme alanındaki dağılımına bakıldığında,  $0-38^{\circ}$  arasında değiştiği ve kök hücrelerindeki yamaç eğim değerlerinin  $d=25$  m için  $0-37^{\circ}$ ,  $d=50$  m,  $d=75$  m ve  $d=100$  m için  $0-41^{\circ}$  olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4). Kök hücrelerinin kullanıldığı örnekleme  $d=50$  m,  $d=75$  m ve  $d=100$  m'deki tampon alan mesafeleri için belirlenen eğim değerler aralıklarının aynı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. SYM'den türetilen bazı parametrelerin tanımlanması  
(Wilson and Gallant, 2000'den alınmıştır)

<b>SYM'den türetilen parametreler</b>	<b>Tanımlanması</b>
Topoğrafik nemlilik indeksi	$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right)$
Akarsu aşındırma gücü indeksi	$SPI = A_s \times \tan\beta$
Sediman taşınma kapasite indeksi	$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^n$

( $A_s$ , özgün (belirli) birikme alanı,  $\beta$ , yamaç eğimi,  $m$  ve  $n$  sabitler ( $m=0.4$ ,  $n=1.3$ ))



Şekil 4.3. Çalışma alanına ait yamaç eğimi haritası



#### 4.1.1.3. Yamaç yönelimi

Heyelan duyarlılık çalışmalarında tercih edilen parametrelerden biri ise yamaç yönelim parametresidir (Nagarajan et al., 2000; Lee and Min, 2001; Lee and Choi, 2004; Lee and Dan, 2005; Moreiras, 2005; Yalçın and Bulut, 2007; Akgün et al., 2008; Nefeslioğlu et al., 2008; Yılmaz, 2009b; Pradhan et al., 2009). Bakı (yamaç yönelimi), Wilson and Gallant (2000) tarafından topoğrafik dikliğin azalım doğrultusunun kuzeyden itibaren saat yönünde yapmış olduğu açı olarak tanımlanmaktadır. Yamaç yönelimi parametresi, yamaçların yağış alması, güneş görmeyen yamaçlarda karın daha uzun süre kalması gibi faktörlerle ilişkilendirilerek yamaç duraylılığında azalıma yol açtığı şeklinde ifade edilebilmektedir.

Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda, yamaç yönelimi değerlerini gruplandırdıklarında hangi yönelimlerde heyelanların yoğunlaştığını belirlemişlerdir. Örneğin, Lee and Min (2001) kuzey ve kuzeydoğuya, Dai and Lee (2002), Moreiras (2005), Lee and Dan (2005) ve Yılmaz (2009b) güneye, Ayalew et al. (2004) doğuya, Lee and Talib (2005) güney ve kuzeydoğuya, Ercanoğlu (2005) ve Ayalew and Yamagishi (2005) batıya, Havenith et al. (2006a) kuzeydoğuya, Yılmaz (2007) güneybatı, batı ve kuzeybatıya, Yalçın ve Bulut (2007) kuzey ve batıya, Ruff and Czurda (2008) güneydoğu ve güneye, Nefeslioğlu et al. (2008) ve Yılmaz and Keskin (2009) kuzeybatıya, Akgün et al. (2008) güneybatı ve batıya, Bai et al. (2009) batıya, Yılmaz (2009) doğu ve güneydoğuya, Pradhan et al. (2009) ise güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelanların daha fazla görüldüğünü belirtmişlerdir. Diğer yandan, Çevik ve Topal (2003) ise yaptıkları çalışmada, sahadaki heyelanların farklı yamaç yönelimlerinde eşit oranda oluştuğunu belirtmiş ve bakının çalışmalarında etkin bir parametre olmadığını vurgulamışlardır. Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2002), Ercanoğlu et al. (2004), Duman et al. (2005) ve Gökçeoğlu et al. (2005) sahanın genel fizyografik eğiliminin yağışla ilişkili olduğunu ve çalışma alanlarındaki mevcut heyelan eğimlerinin, sahanın genel fizyografik eğilimlerinin doğrultusuna dik olduklarını belirlemişlerdir.

Çalışma alanına ait yamaç yönelimi değerleri ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) DEMAT (Dem Analysis Tool) arayüzü kullanılarak hesaplanmıştır. Yamaç yönelimi parametresi yarı-kategorik veri özelliği gösterdiğinden dolayı, diğer sürekli özellik gösteren parametreler gibi değerlendirilemeyeceğinden dolayı doktora tez çalışması kapsamında bu parametre KKD, KDD, GDD, GGD, GGB, GBB, KBB, KKB, düz olmak üzere 9 sınıfa ayrılmış ve piksel sayısına göre saha içerisindeki genel dağılımı, yer değiştirme+birikme alanı ve kök hücrelerindeki dağılımları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çalışma alanının yamaç yönelimi haritası ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) programı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Çalışma alanı içerisinde yamaç yönelimi koşulları incelendiğinde, heyelanların daha çok güneye bakan (G,GD vb.) yamaçlarda meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Piksel sayısına göre yamaç yönelim sınıflarının genel saha içerisindeki dağılımları

Parametre	Kategori	Genel Saha (piksel sayısı % olarak)
Yamaç yönelimi	KKD (0-45 <sup>0</sup> )	8.408
	KDD (45-90 <sup>0</sup> )	12.662
	GDD (90-135 <sup>0</sup> )	16.936
	GGD (135-180 <sup>0</sup> )	13.831
	GGB (180-225 <sup>0</sup> )	8.743
	GBB (225-270 <sup>0</sup> )	10.094
	KBB (270-315 <sup>0</sup> )	12.683
	KKB (315-360 <sup>0</sup> )	11.237
	Düz	4.542

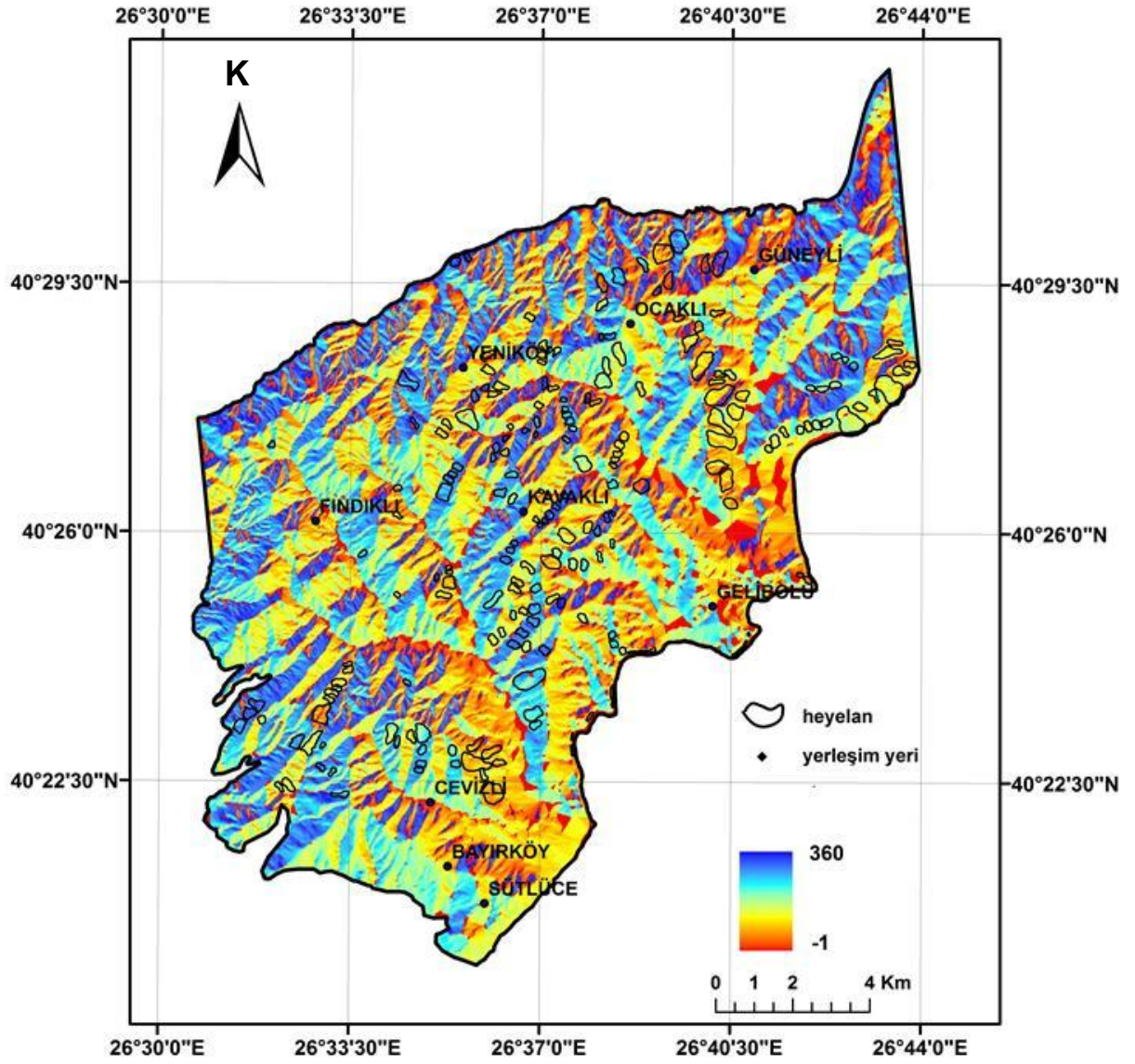
İnceleme alanında bulunan toplam heyelanlı alanlar içerisinde bulunan yamaç yönelimi sınıflarının, yer değiştirme+birikme alanı ve kök hücreleri içerisindeki kendi sınıfına ait piksel olarak % dağılımları ise Çizelge 4.6(a,b)’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 (a). Yamaç yönelim sınıflarının yer değiştirme+birikme alanı ve kök hücre örnekleminde piksel olarak % dağılımları (kendi yamaç yönelim sınıfı içine düşen heyelanlı alanın tüm sahaya oranı)

Parametre	Kategori	Yer değiştirme + birikme alanı	Kök Hücreleri			
			d=25 m	d=50 m	d=75 m	d=100 m
Yamaç yönelimi	KKD	3.506	0.989	1.700	2.940	3.910
	KDD	5.928	1.482	2.751	4.157	5.203
	GDD	7.275	1.690	3.173	4.758	5.746
	GGD	6.439	1.779	3.354	5.120	6.073
	GGB	5.608	1.417	2.701	4.099	5.134
	GBB	4.740	1.435	2.787	4.169	5.087
	KBB	5.432	1.564	3.061	4.640	5.713
	KKB	3.388	1.049	2.041	3.182	4.119
	Düz	0.658	0.314	0.451	1.026	1.666

Çizelge 4.6 (b). (kendi yamaç yönelim sınıfı içine düşen heyelanlı alan sayısının toplam heyelanlı alana oranı)

Parametre	Kategori	Yer değiştirme + birikme alanı	Kök Hücreleri			
			d=25 m	d=50 m	d=75 m	d=100 m
Yamaç yönelimi	KKD	5.618	5.910	5.385	6.068	6.512
	KDD	14.305	13.332	13.122	12.923	13.050
	GDD	23.479	20.333	20.241	19.785	19.274
	GGD	16.973	17.483	17.473	17.385	16.639
	GGB	9.343	8.799	8.894	8.798	8.890
	GBB	4.740	10.291	10.597	10.332	10.170
	KBB	13.130	14.097	14.623	14.450	14.351
	KKB	7.255	8.378	8.640	8.778	9.167
	Düz	0.570	1.014	0.771	1.144	1.498

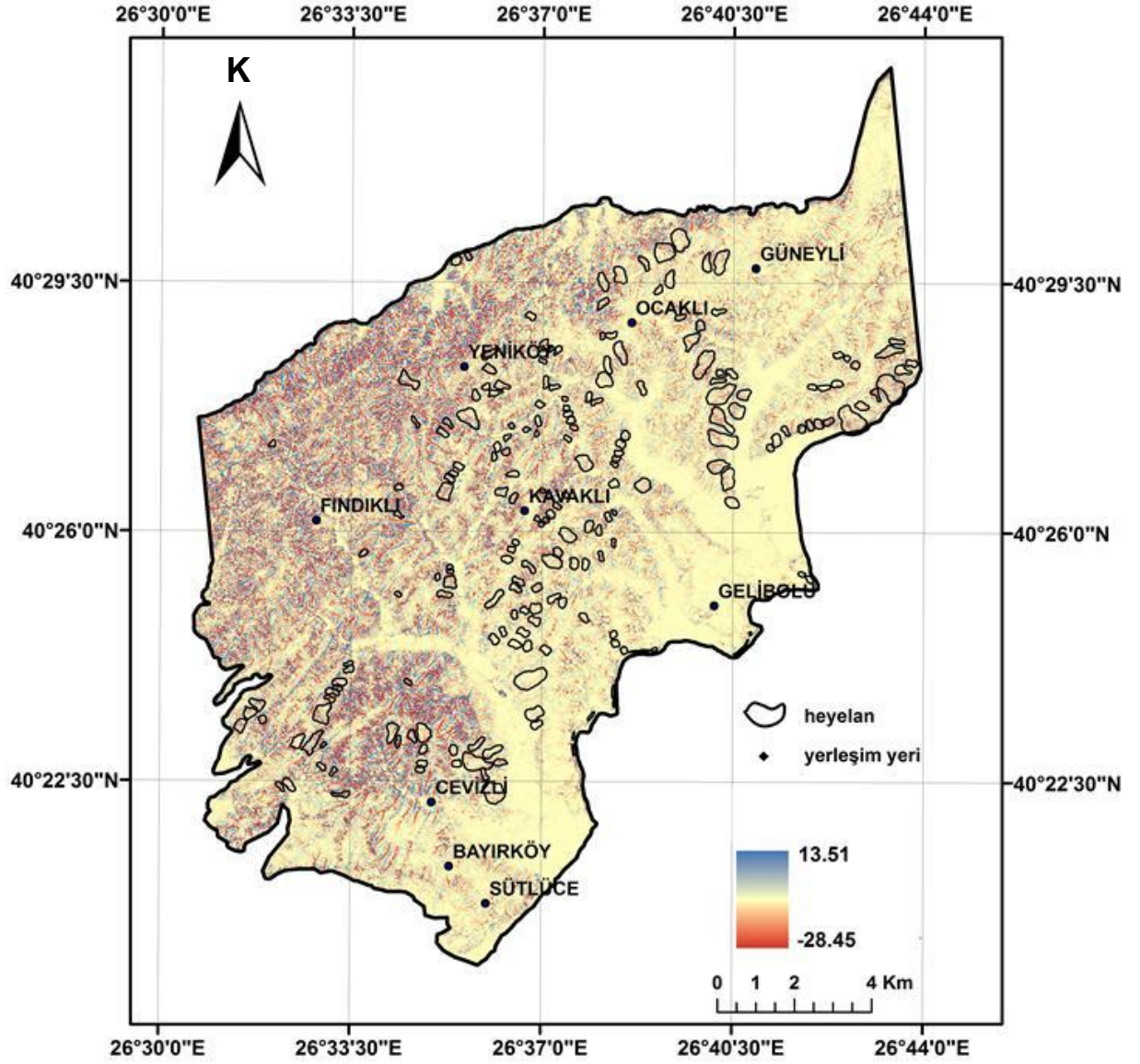


Şekil 4.4. Çalışma alanına ait yamaç yönelimi haritası

#### 4.1.1.4. Plan ve profil yamaç eğriselliği

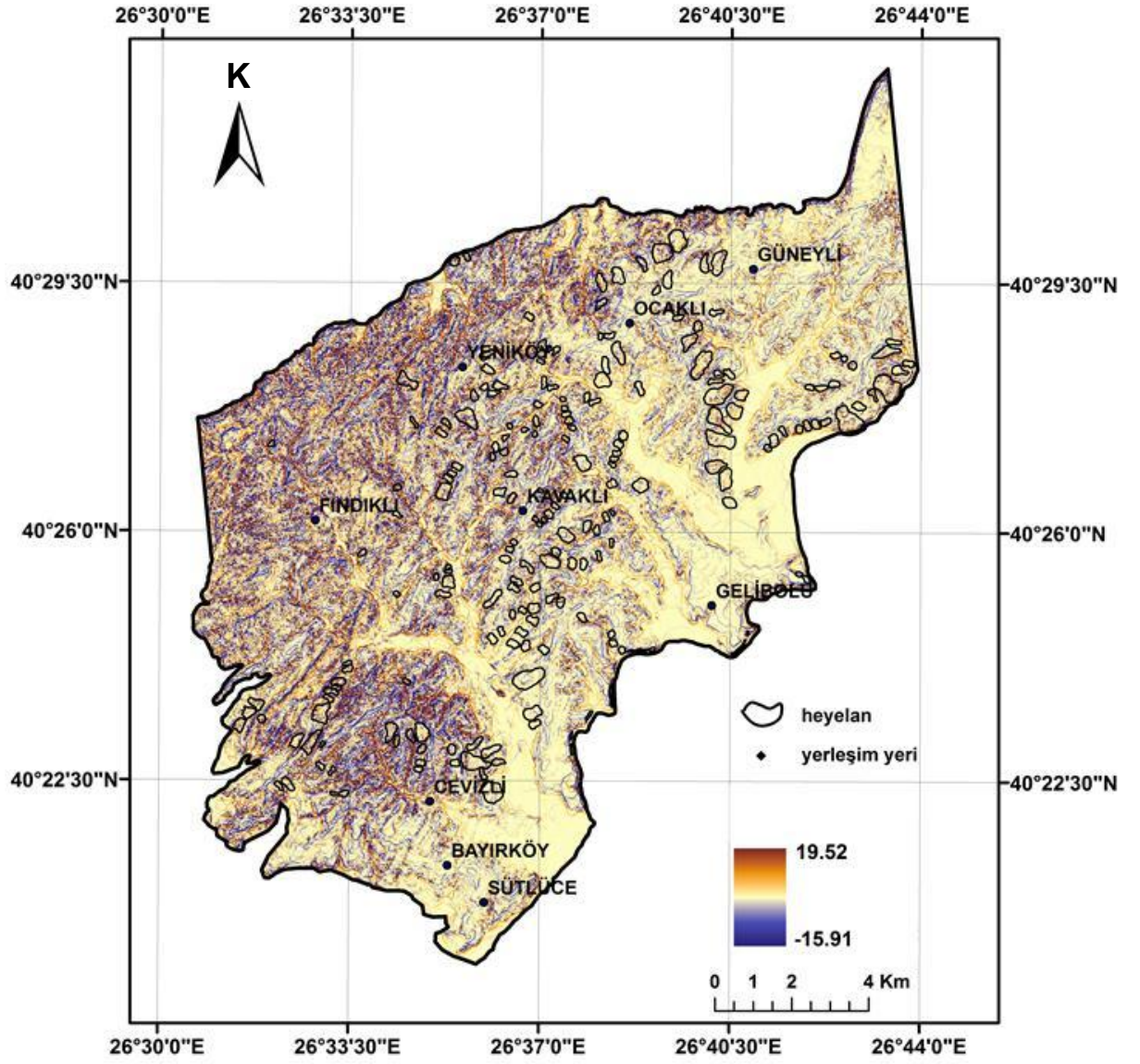
Wilson and Gallant (2000) plan yamaç eğriselliğini, yatay düzlemlerle yüzeyin kesişmesiyle ortaya konduğunu ve belirli konturlar boyunca yönelim oranı olarak da ifade etmişler; profil yamaç eğriselliğini ise, düşey düzlemde eğim yönüne paralel eğrisellik olarak tanımlamışlardır. Çalışma alanına ait plan ve profil yamaç eğrisellik değerleri ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) DEMAT (Dem Analysis Tool) arayüzü kullanılarak hesaplanmıştır.

Plan yamaç eğrisellik değerlerinin saha içerisindeki genel dağılımı incelendiğinde en küçük ve en büyük plan yamaç eğrisellik değerlerinin -28.45- 13.507 arasında değiştiği; yer değiştirme+birikme alanındaki dağılımına bakıldığında, -3.20-2.51 arasında değiştiği ve kök hücrelerindeki plan yamaç eğrisellik değerlerinin d=25 m için -3.51-3.12 arasında, d=50 m için -2.89-2.89 arasında, d=75 m için -3.65-2.89 arasında ve d=100 m tampon mesafesi için ise -3.65-3.48 arasında değişmekte olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Aynı şekilde saha içerisinde profil yamaç eğrisellik değerlerinin genel sahadaki dağılımına bakıldığında -15.91-19.75 arasında değiştiği görülmektedir. Yer değiştirme+birikme alanı içerisinde profil yamaç eğrisellik değerlerinin -2.27-3.49 arasında değiştiği; kök hücrelerine bakıldığında ise, d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m tampon mesafesi için en büyük profil yamaç eğrisellik değerinin 3.12 ve en küçük profil yamaç eğrisellik değerinin ise -3.51 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Bu değerlerden negatif değerler o yamacın iç bükey olduğunu, pozitif değerler ise yamacın dış bükey olduğunu göstermektedir. "0" eğrisellik değeri ise düz yamaçları ifade etmektedir. Van Westen and Alzate Bonilla (1990); Carrara et al. (1991), Guzzetti et al. (1999) yaptıkları çalışmalarında dış bükey yamaçların iç bükey yamaçlara göre heyelana karşı daha duyarlı olduğunu söylemişlerdir. Çalışma alanının plan ve profil yamaç eğrisellik haritaları ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1)'in sayısal yükseklik modelinin analiz aracı (DEMAT) kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Çalışma alanı içerisindeki plan yamaç eğrisellik değerlerine bakıldığında, heyelanların çoğunlukla düz yamaçlarda meydana geldiği; profil yamaç eğrisellik değerlerine bakıldığında ise, heyelanların daha çok iç bükey yamaçlarda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.5. Çalışma alanına ait plan yamaç eğriselliği haritası





Şekil 4.6. Çalışma alanına ait profil yamaç eğriselliği haritası

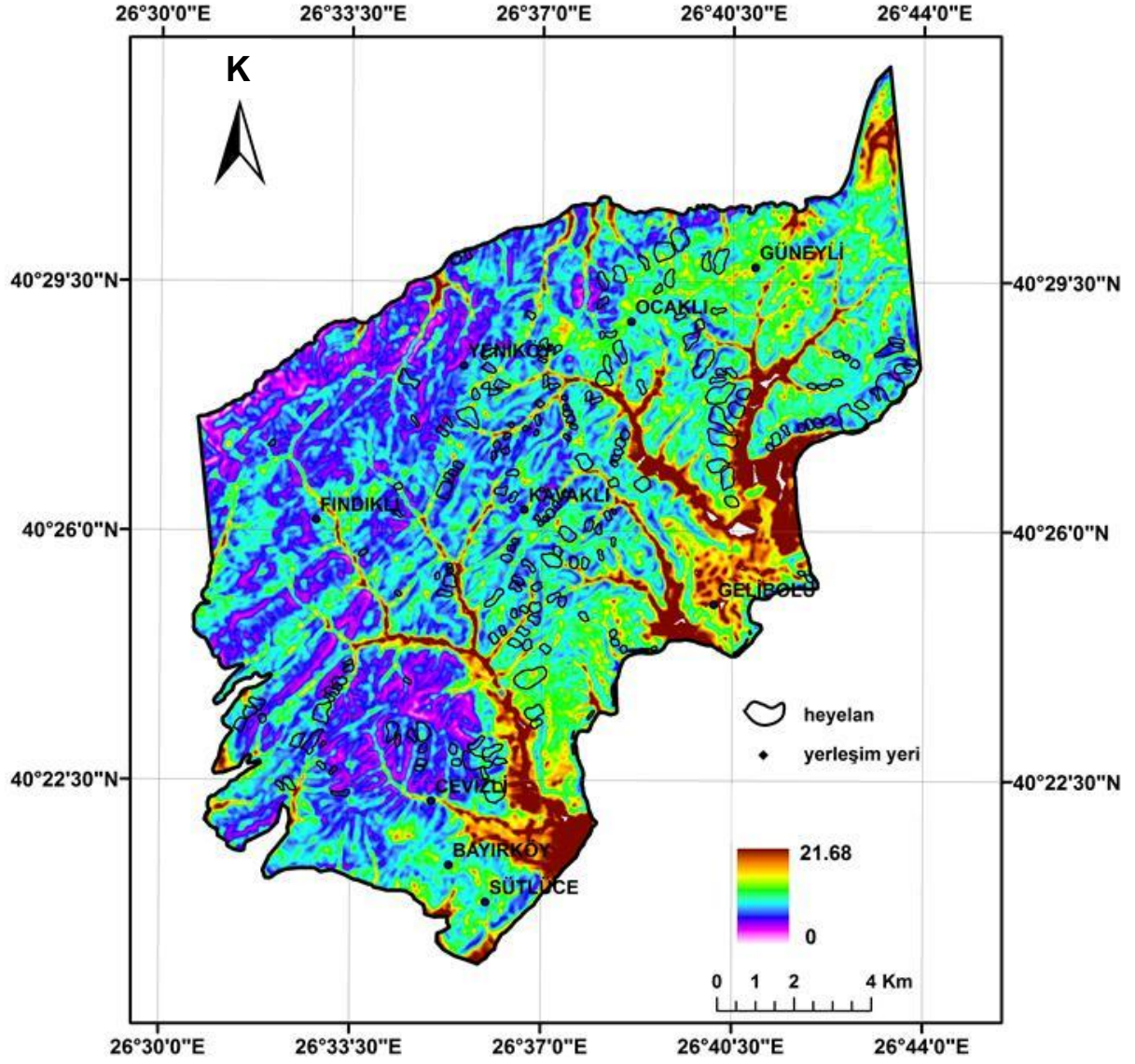
#### 4.1.1.5. Topoğrafik nemlilik indeksi

Moore et al. (1991) topoğrafik nemlilik indeksini hesaplamak için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir (Eş. 4.1). Önerilen bu eşitlik, havza alanının geniş ve yamaç eğiminin de az olduğu doygunluk alanlarını tahmin etmektedir (Nefeslioğlu, et al., 2012). Eşitlikteki,  $A_s$ , havza alanını;  $\beta$  ise yamaç eğimini ifade etmektedir. Bu eşitlikte  $A_s$ 'nin hesaplanması için kullanılan yöntemin gerekli girdi parametrelerinden biri olan kontur uzunluğu, gridi hücre yapısına sahip modelde bir gridin bir kenar uzunluğuna eşit alınması gerektiğidir. Ayrıca, diğer bir parametre olan yamaç yukarı beslenme alanına ait değer ise, ilgili grid hücrelerini akış ile besleme potansiyeline sahip diğer grid hücrelerinin alansal toplamına eşit kabul edilmektedir (Nefeslioğlu, 2008).

$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \quad (4.1)$$

Çalışma alanının topoğrafik endeks değerleri ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) programı kullanılarak çalışma alanının sayısal yükseklik modelinden türetilerek hesaplanmış ve topoğrafik nemlilik indeksi haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.7). İlgili parametre değeri çalışma alanı içerisindeki genel dağılımında 0-21.68 arasında; yer değiştirme+birikme alanı içerisindeki dağılımında 4.14-7.91 arasında değişim göstermektedir. Topoğrafik nemlilik endeks değerlerinin kök hücrelerindeki dağılımında ise sırasıyla d=25 m tampon mesafesi değeri için 4.01-7.85; d=50 m için 4.01-7.70; d=75 m için 4.01-8.41 ve son olarak d=100 m için ise 4.01-9.50 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.3). Çalışma alanının genelinde belirlenen parametre değer değişim aralığının geniş olduğu fakat kök hücresi ve yer değiştirme+birikme alanındaki değerlerin değişim aralıklarının daraldığı görülmektedir. Kök hücrelerinde hassasiyet arttıkça topoğrafik nemlilik endeks değerlerinde herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür. Topoğrafik nemlilik endeks değerlerinin düşük olduğu yerler çalışma alanındaki sırtları; yüksek değerler ise alüvyal düzlükleri ifade etmektedir.





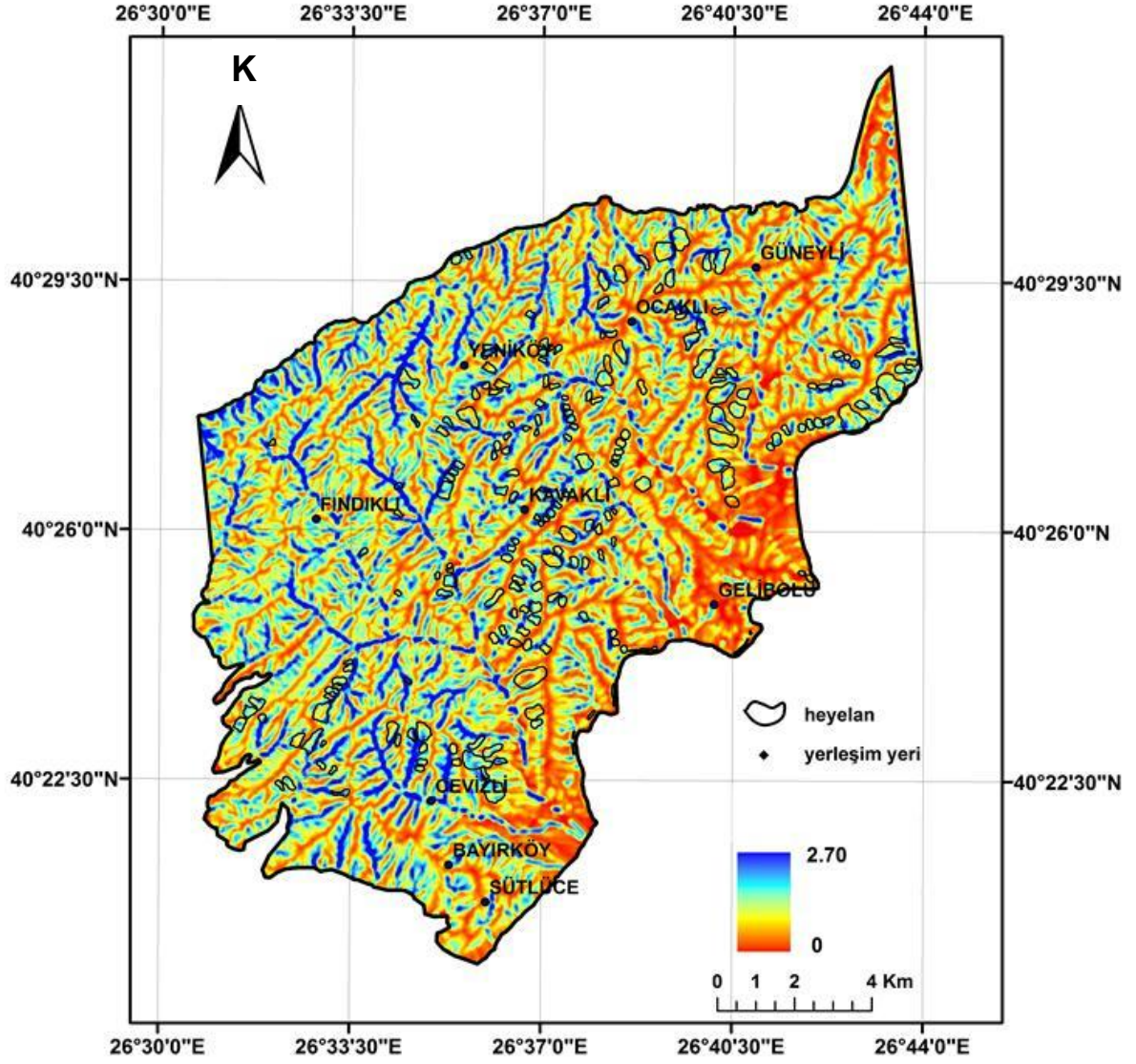
Şekil 4.7. Çalışma alanına ait topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritası

#### 4.1.1.6. Akarsu aşındırma gücü indeksi

Moore et al. (1991) akarsu aşındırma gücü indeksini akan suyun erozyon gücünün ifadesi olarak tanımlamış ve bu indeksin hesaplanması için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir (Eş. 4.2). Bu eşitlikte,  $A_s$  havza alanı ve  $\beta$  ise yamaç eğimini göstermektedir. Yamaç eğimi ve havza alanı arttıkça, suyun akış hızı artmakta ve bundan dolayı akarsu aşındırma gücü indeksi ve erozyon riski de artmaktadır (Yeşilnacar and Topal 2005). Gökçeoğlu et al. (2005) akarsu aşındırma gücü indeksinin eğim ve erozyon süreçlerini kontrol eden ana faktör olduğunu ve Gökçeoğlu et al. (2005) hızlı akmalar için akarsu aşındırma gücü indeksinin yüksek çıktığı alanların yüksek potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir.

$$SPI = A_s \times \tan\beta \quad (4.2)$$

Doktora tez çalışması kapsamında, çalışma alanının akarsu aşındırma gücü indeks değerlerinin hesaplanması için ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) yazılımına ait Archydro modülü (Archydro tools) kullanılmıştır (Şekil 4.8). Çalışma alanında genelinde, en küçük ve en büyük akarsu aşındırma gücü indeksi değerleri 0 ile 2.703 arasında değişmektedir. Yer değiştirme+birikme alanı içerisindeki dağılımı incelendiğinde, 0.029-2.157 arasında değişmekte olduğu; kök hücrelerindeki dağılımında ise sırasıyla d=25 m tampon mesafesi için 0.147-2.107; d=50 m için 0.012-2.107; d=75 m için 0.001-2.107 ve son olarak d=100 m için ise 0-2.107 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.3). Akarsu aşındırma gücü indeksi değerlerine bakıldığında, farklı tampon mesafelerindeki kök hücreleri içerisinde (yarıçap değerinin artmasına bağlı olarak) ve yer değiştirme+birikme alanı içerisindeki akarsu aşındırma gücü indeksi değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve çalışma alanının genelindeki değere yaklaştığı görülmektedir.



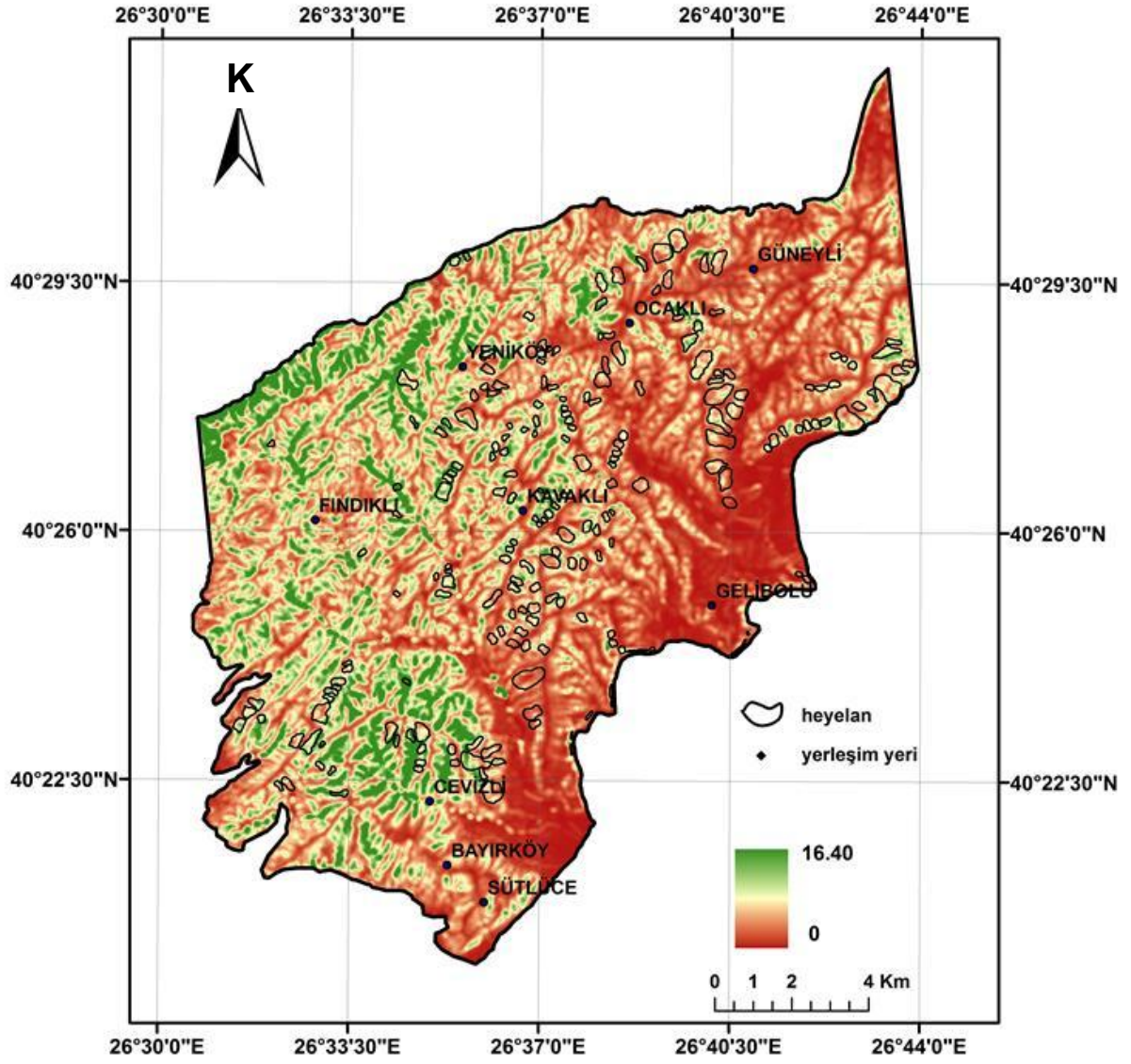
Şekil 4.8. Çalışma alanına ait akarsu aşındırma gücü indeksi haritası

#### 4.1.1.7. Sediman taşıma kapasitesi indeksi

Gorsevski and Jankowski (2008) yaptıkları çalışmada, sediman taşıma kapasitesi indeksinin (LS), yüzey ve yeraltısuyu akışını hızlandırmaya etki ettiğini belirtmişlerdir. Moore and Brunch sediman taşıma kapasitesini belirlemek için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir (Eş. 4.3). Bu eşitlikte,  $A_s$  havza alanını,  $\beta$  yamaç eğimini,  $m=0.4$ ,  $n=1.3$  sabitleri ifade etmektedir (Moore and Wilson, 1992;1994).

$$LS = (m + 1) \left( \frac{A_s}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin\beta}{0.0896} \right)^n \quad (4.3)$$

Çalışma alanına ait sediman taşıma kapasite indeksi değerlerinin belirlenmesi için ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) programının Archydro yazılımı (archydro tools) kullanılmıştır (Şekil 4.9). Çalışma alanı içerisinde genel saha için hesaplanan en büyük sediman taşıma kapasite indeksi 16.39'dir (Çizelge 4.3). Ortalama sediman taşıma gücü indeksi değerinin yer değiştirme+birikme alanı ve kök hücresi örnekleme bakıldığında düştüğü görülmektedir. Çalışma alanının geneline ve diğer kullanılan iki örnekleme stratejisinin sediman taşıma gücü endeks değerlerinin değişim aralığına bakıldığında, saha genelinden kök hücresinin artan d mesafesine doğru gidildikçe (d arttıkça) değişim aralığının daraldığı, diğer yandan, tüm örnekleme stratejileri için belirlenen en yüksek sediman taşıma gücü değerlerinin ortalamasının çok üstünde olduğu da görülmektedir. Ayrıca kök hücresi  $d=25$  m ve  $d=50$  m en büyük değerler ile  $d=75$  m ve  $d=100$  m için tampon alan mesafe değerleri aynı çıkmıştır.



Şekil 4.9. Çalışma alanına ait sediman taşıma kapasitesi indeksi haritası

#### 4.1.2. Litoloji

MTA (2008)'in yaptığı genel jeoloji haritasına göre çalışma alanında 13 farklı formasyona rastlanmaktadır (Şekil 2.3). Çalışma alanı içerisinde gözlenen litolojik birimler, Fıçitepe Formasyonu (Tef), Ceylan Formasyonu (Tec), Korudağ üyesi (Teck), Dededağ volkanitleri (Ted), Çamrakdere üyesi (Tmçd), Alçitepe üyesi (Tmal), Kirazlı üyesi (Tmki), Kanlıbent üyesi (Tomk), Bayramiç formasyonu (Tplb), Eski akarsu çökelleri (Qea), Alüvyon (Qal) ve ofiyolit (of)'dir.

Çalışma alanında yer alan litolojik birimlerin genel saha içerisindeki alansal dağılımlarına bakıldığında, Tmçd (Kanlıbent üyesi) birimi yüzdesiyle ilk sırada yer almaktadır. Ardından %28'lik yüzdesiyle Tec (Ceylan formasyonu) birimi gelmektedir. Çizelge 4.7'ye göre en düşük yüzdeye sahip olan birim Ted (Dededağ volkanitleri)'dir. Yer değiştirme+birikme alanına (heyelan kütlesi) ve kök hücrelerine bakıldığında ise genel saha içerisindeki % alansal dağılımın neredeyse birbirine çok yakın olduğu, alansal olarak en fazla alanı kaplayan birimin gri yeşil renkli çamurtaşları içinde yer yer tabakalı kumtaşlarının (Tmçd birimi) olduğu, % olarak ikinci sırada ise kumtaşı, kilitaşı ve marndan oluşan Ceylan formasyonunun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Ted biriminin yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) ve kök hücrelerinde hiç gözlemlenmediği açıkça görülmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7. Litolojik birimlerin genel saha içerisindeki dağılımları

Litolojik birimler	Genel Saha (piksel sayısı % olarak)
Qal	4.676
Qea	3.623
Qtr	1.298
Tmal	3.308
Tplb	7.497
Tomk	3.830

Çizelge 4.7. (devam ediyor) Litolojik birimlerin genel saha içerisindeki dağılımları

Litolojik birimler	Genel Saha (piksel sayısı % olarak)
Tef	0.912
Tmki	1.511
Tec	28.754
Tmçd	39.100
Ted	0.518
of	0.821
Teck	3.117

Çizelge 4.8. Litolojik birimlerin yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) ve kök hücre örnekleminde piksel olarak % dağılımları

Litolojik birimler	Yer değiştirme +birikme alanı	Kök Hücreleri			
		d = 25m	d = 50 m	d = 75 m	d = 100 m
Qal	0.857	0.191	0.203	0.225	0.245
Qea	2.345	4.858	4.716	4.911	4.933
Qtr	0.364	0.593	0.639	0.621	0.709
Tmal	2.222	1.090	1.217	1.342	1.424
Tplb	9.441	10.482	10.881	10.880	10.309
Tomk	1.960	1.301	1.328	1.269	1.376
Tef	0	0	0	0	0
Tmki	2.904	2.735	2.606	2.598	2.768
Tec	17.891	18.114	18.010	17.828	18.250
Tmçd	59.071	56.982	57.469	57.324	56.877
Ted	0	0	0	0	0
of	1.452	1.435	1.491	1.415	1.499
Teck	1.042	1.186	1.339	1.441	1.451



### 4.1.3. Arazi kullanımı

Doktora tez çalışması kapsamında çalışma alanı için oluşturulan arazi kullanım parametresi 14 sınıfa ayrılarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve arazi kullanım haritası ArcGis 9 (ArcMap 9.3.1) programında oluşturulmuştur. Avrupa Çevre Ajansı, 2006 yılında Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma Sistemi başlıklı yaptığı çalışmada, 5 adet temel, 44 adet alt arazi kullanımı sınıfı belirlemiş ve Avrupa Birliği arazi örtüsünü bu sınıflar çerçevesinde şekillendirmiştir. Çalışma alanı içerisinde görülen arazi sınıfları Corine (2006)'da belirtilen renk kodları ve açıklamaları ile beraber aşağıda ayrıntılı bir şekilde ele alınarak anlatılmıştır ([http://aris.ormansu.gov.tr/index.php?q=tr/arazi\\_kullanim/ulusal\\_arazi\\_ortusu\\_siniflandirma\\_sistemi](http://aris.ormansu.gov.tr/index.php?q=tr/arazi_kullanim/ulusal_arazi_ortusu_siniflandirma_sistemi)) (Şekil 4.10).

Çalışma alanının arazi kullanım özelliklerine bakıldığında; alanın yarıya yakın kısmını (%43) sulanmayan ekilebilir alanın oluşturduğu görülmektedir (Çizelge 4.9). Sulanmayan ekilebilir alanları takiben %24'lük oranıyla bitki değişim alanları yer almaktadır (Şekil 4.11).

- 1) Bitki değişim alanları (**Kod:324**): Dağınık ağaçlarla birlikte çalı veya otsu bitkilerin bulunduğu alanları içerir. Ormanların azalmasını, yeniden oluşumunu ya da yeniden kolonize olmasını simgeleyebilir.
- 2) Deniz ve okyanus (**Kod:523**): Denizde en aşağı gelgit sınırından itibaren başlayan alanlardır.
- 3) Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları (**Kod:243**): Önemli miktarda doğal alanların araya serpiştirilmiş olduğu tarım arazilerini içerir. Doğal ya da yarı-doğal kaynaklı alanlarla (bataklıklar, su kütleleri) tarıma ayrılan arazilerin beraber olduğu alanlardır.
- 4) Doğal çayırliklar (**Kod:321**): Düşük verimlilikteki otlak alanlarını içerir. Çoğu kez düz olmayan ve engebeli toprakta bulunur. Sıkça kayalık alanları, dikenli çalılar ve geniş fundalıkları içerir.

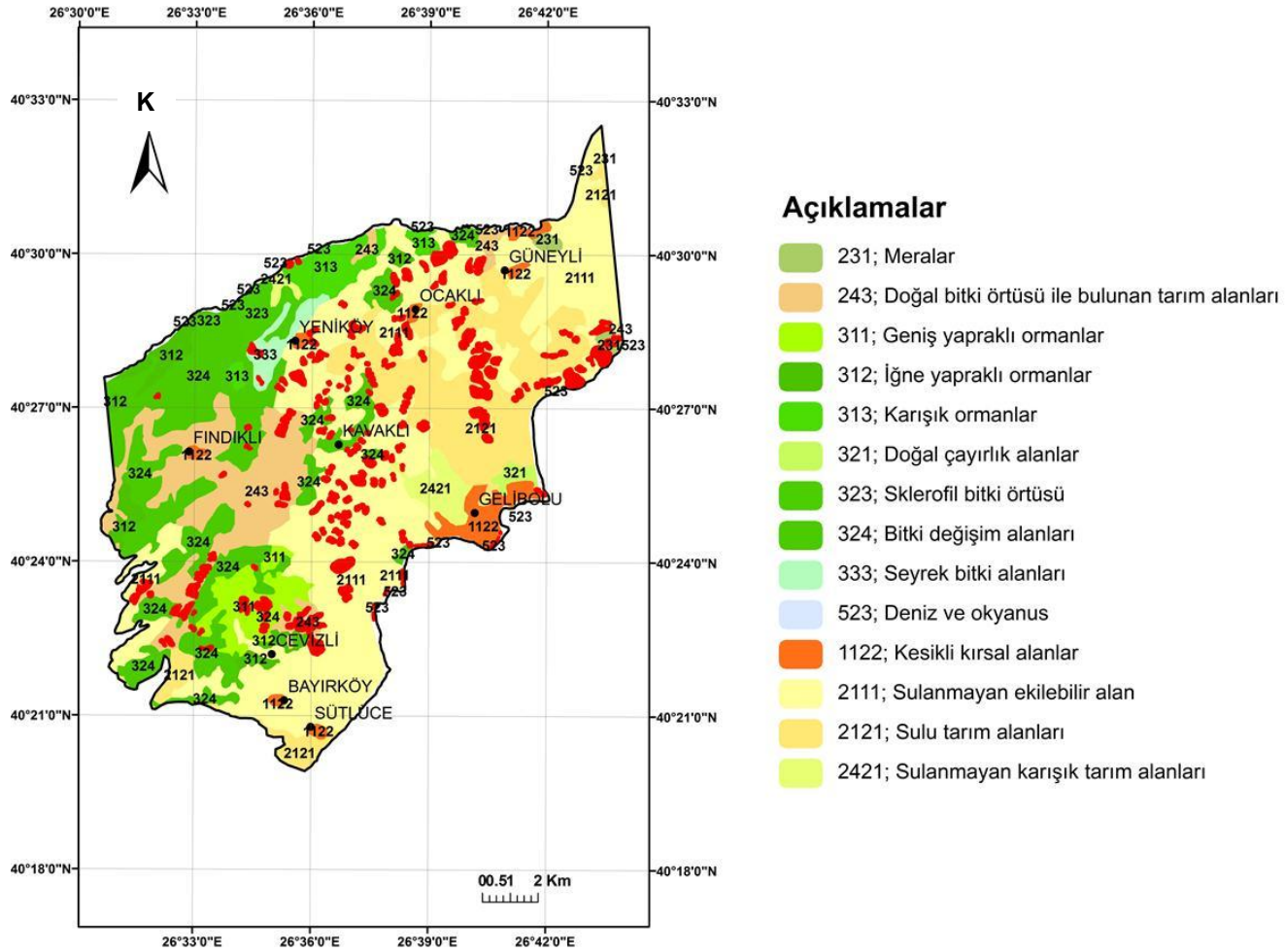


- 5) Geniş yapraklı ormanlar (**Kod:311**): Çoğunluğunu geniş yapraklı ağaç türlerinin oluşturduğu, fundalık ve çalılıkları da içeren bitki örtüsü topluluğudur.
- 6) Karışık ormanlar (**Kod:313**): Ne geniş yapraklı ne de iğne yapraklı türlerin çoğunlukta olduğu fundalık ve çalılıkların da bulunduğu temel olarak ağaçlardan kompoze bitki örtüsü oluşumudur.
- 7) Kesikli kırsal alanlar (**Kod:1122**): Büyükşehirlerin kenarında bulunmayan ilçeler ve kasaba özelliğine sahip yerleşimleri kapsar. Yerleşim dokusu tam kapalı olmayan, aralarda boş parsellerin rahatlıkla görüldüğü yerleşim alanlarını ifade eder.
- 8) Meralar (**Kod:231**): Sık çayırda kaplı, çiçek kompozisyonunun içinde, rotasyon sisteminde olmayan, esasen otlatma amaçlı, hayvan yemlerinin mekanik hasatının yapılabildiği, çalı ve ağaçlardan oluşan çitle çevrili alanları da içerir.
- 9) Seyrek bitki alanları (**Kod:333**): Yüksek yerlerde dağınık olarak bulunan stepleri, tundraları ve çorak arazileri içerir. Ota benzer, odunsu veya yarı-odunsu türlerden oluşan dağınık bitki örtüleridir.
- 10) Sklerofil bitki örtüsü (**Kod:323**): Makileri ve garrigleri içeren alanlardan oluşur. Her bir türün görülebilir bir çoğunluğunun olmadığı; Juniperus oxycedrus (Katran Ardıcı) gibi sklerofil türlerden ve Buxus (Şimşir) türlerinden veya Ostrya carpinifolia (Kayacık) gibi çalı formasyonlarından oluşan kırsal bitki örtüsü alanlarıdır.
- 11) Sulanan alan (**Kod:2121**): Sürekli veya periyodik olarak sulanan, daimi altyapıyı kullanan (sulama kanalları, drenaj ağı) ürünlerin yetiştirildiği alanları içerir. Bu ürünlerin pek çoğu yapay su kaynağı olmadan yetiştirilemez. Bu sınıf düzensiz sulanan arazileri ve sera alanlarını içermez.

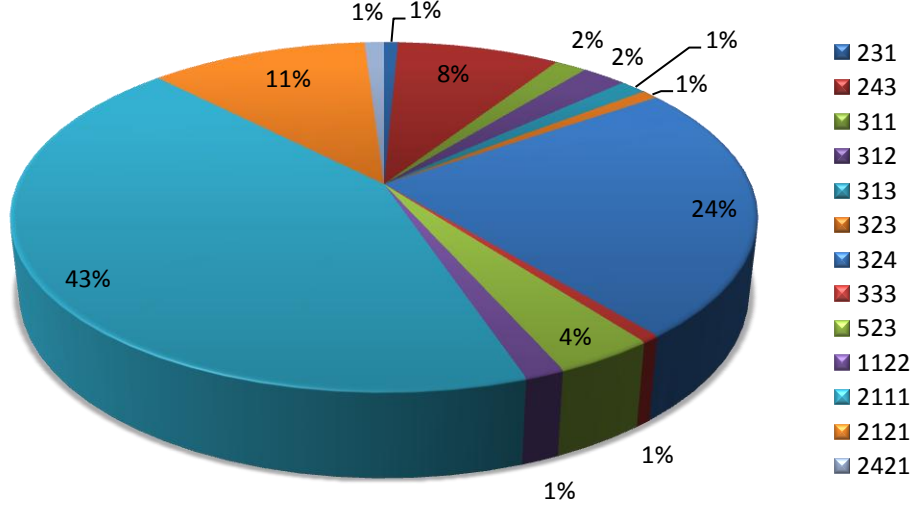
- 12) Sulanmayan Ekilebilir Alanlar (**Kod:2111**): Sulanmayan tahıllar, baklagiller, yemler ve kök ürünlerin bulunduğu alanlar ile nadasa bırakılmış toprakları içerir. Sulanmayan ekilebilir alanlar içinde bulunan sera alanlarını içermez.
- 13) Sulanmayan Karışık Tarım Alanları (**Kod:2421**): Düzenli sulama gerektirmeyen ve sürekli ürün karma parsellerinin (meyve ağaçları, böğürtlen plantasyonları, üzüm bağları ve zeytinlikler) bulunduğu alanlardır. Parçalı yapının içindeki dağınık evleriyle birlikte bulunan karışık tarım alanlarıdır.
- 14) İğne Yapraklı Ormanlar (**Kod:312**): Funda ve çalılıkları da içeren, kozalaklı türlerin çoğunluğunu oluşturduğu ve esasen ağaçlardan oluşan bitki örtüsü oluşumudur.

Çizelge 4.9. Çalışma alanı içerisinde görülen arazi kullanım sınıflarının genel saha ve örneklem modellerindeki % dağılımları

Parametre	Tanımlama	Corine Kodları	Genel Saha (piksel sayısı % olarak)	Yer değiştirme+ birikme alanı	Kök Hücreleri			
					d=25m	d=50m	d=75m	d=100m
Arazi kullanımı	Bitki değişim alanları	<b>324</b>	17.258	6.029	7.575	8.143	8.646	8.533
	Deniz ve okyanus	<b>523</b>	0.413	0.026	0.421	0.010	0.026	0.043
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	<b>243</b>	11.179	13.515	13.906	13.670	12.989	12.549
	Doğal çayırliklar	<b>321</b>	0.447	0.051	0.115	0.030	0.026	0.016
	Geniş yapraklı ormanlar	<b>311</b>	3.037	3.125	4.361	4.664	4.700	4.501
	Karışık ormanlar	<b>313</b>	2.554	0.554	0.861	0.933	0.985	1.035
	Kesikli kırsal alanlar	<b>1122</b>	2.700	0.318	1.492	1.501	1.659	1.877
	Meralar	<b>231</b>	0.566	2.612	1.645	1.491	1.659	1.349
	Seyrek bitki alanları	<b>333</b>	1.268	1.247	1.224	1.268	1.302	1.440
	Sklerofil bitki örtüsü	<b>323</b>	1.597	0.005	0	0	0	0
	Sulanan alan	<b>2121</b>	15.045	18.420	16.794	16.712	16.968	16.954
	Sulanmayan ekilebilir alan	<b>2111</b>	38.496	53.320	49.847	50.431	49.755	50.387
	Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	<b>2421</b>	1.862	0.036	0.153	0.162	0.159	0.181
İğne Yapraklı Ormanlar	<b>312</b>	2.534	0.031	0.249	0.314	0.390	0.469	



Şekil 4.10. Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası (<http://aris.ormansu.gov.tr>).



Şekil 4.11. Sahanın geneli için arazi kullanımının çalışma alanı içerisindeki % dağılımı

## 5. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ

### 5.1. Heyelan Duyarlılığına İlişkin Temel Kavramlar

Fell et al. (2008) yaptıkları çalışmada arazi kullanım planlaması için heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalamasına yönelik bir klavuz oluşturmuş ve sıkça kullanılan terimlerin açıklamalarını terminalojileriyle beraber vermişlerdir. Araştırmacıların çalışmalarında verdikleri açıklamalar ISSMGE, ISRM ve IAEG Teknik Komitesi temel alınarak hazırlanmıştır. Heyelanların haritalanması ve heyelanları tanımlamak için belirli bir terminalojinin kullanılması gereklidir. Fell et al. (2008) çalışmalarında Cruden and Varnes (1996), Varnes (1978) ya da Hutchinson (1988)'in önerdiği sınıflandırmaları ve IAEG (1990)'nin önerdiği terminalojiyi kullanmışlardır. Heyelan terimini, kaya, moloz ya da toprak zeminlerin yamaç aşağıya hareketi olarak; aktif heyelanı halihazırda hareketi süren kütle hareketi olarak, heyelan envanterini ise belirli bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, aktivitesi ve diğer fiziksel özellikleri gibi bilgileri içeren veri topluluğu olarak tanımlamışlardır. Bir bölgedeki heyelan duyarlılığını ise, heyelanı oluşturacak hazırlayıcı faktörlerin (jeolojik, topoğrafik ve çevresel) dikkate alınarak heyelan oluşabilecek alanların göreceli olarak sınıflandırılması olarak tanımlamışlardır

(Şekil 5.1). Fell et al. (2008)'e göre, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması iki varsayıma dayanmaktadır. Bu varsayımlardan ilki geçmiş, gelecek için bir rehberdir. Bu yüzden geçmişte heyelan gerçekleşmiş bölgelerde gelecekte de heyelan gerçekleşmesi muhtemeldir. Diğer varsayım ise, daha önce heyelan gerçekleşmiş bölgeler ile benzer topoğrafya, jeoloji ve jeomorfolojiye sahip bölgelerde gelecekte heyelan gerçekleşmesi muhtemeldir. Bu varsayımlar çoğu kez geçerlidir ancak önceki heyelanlarda, heyelan kaynağının yok olmuş olabileceği gibi istisnai durumlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Araştırmacılar aynı çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının aşağıdaki maddeleri içermesi gerektiğini de belirtmişlerdir:

(a) Geçmiş heyelan envanterini gösteren harita, kaynak heyelanların konum ve alan gösterimi (ya da kayma sayısı, örneğin kaya düşmeleri için)

(b) Duraysız koşullu arazi faktörlerini gösteren aynı ölçekli haritalar: örneğin eğim gibi topoğrafya ve topoğrafik birimler, jeoloji (litolojik birimler), yüzeysel oluşumlar, bitki örtüsü, arazi kullanımı gibi faktörler (Fell et al., 2008).

(c) Sığ heyelanlar ve debris potansiyeli taşıyan alanlarda, yüzeysel oluşum (alüvyon, artık zeminler, vb.) haritalarının hazırlanması önerilmektedir. Çünkü bu tür kaymalar genellikle bu yüzeysel oluşumlarda meydana gelmektedir.

(d) Yorumlanmış duyarlılık sınıf alanlarını gösteren bir harita. Bu harita, bölgenin duyarlılık sınıf alanlarını gösterdiği gibi topoğrafya ve kadastro bilgisini de göstermelidir.

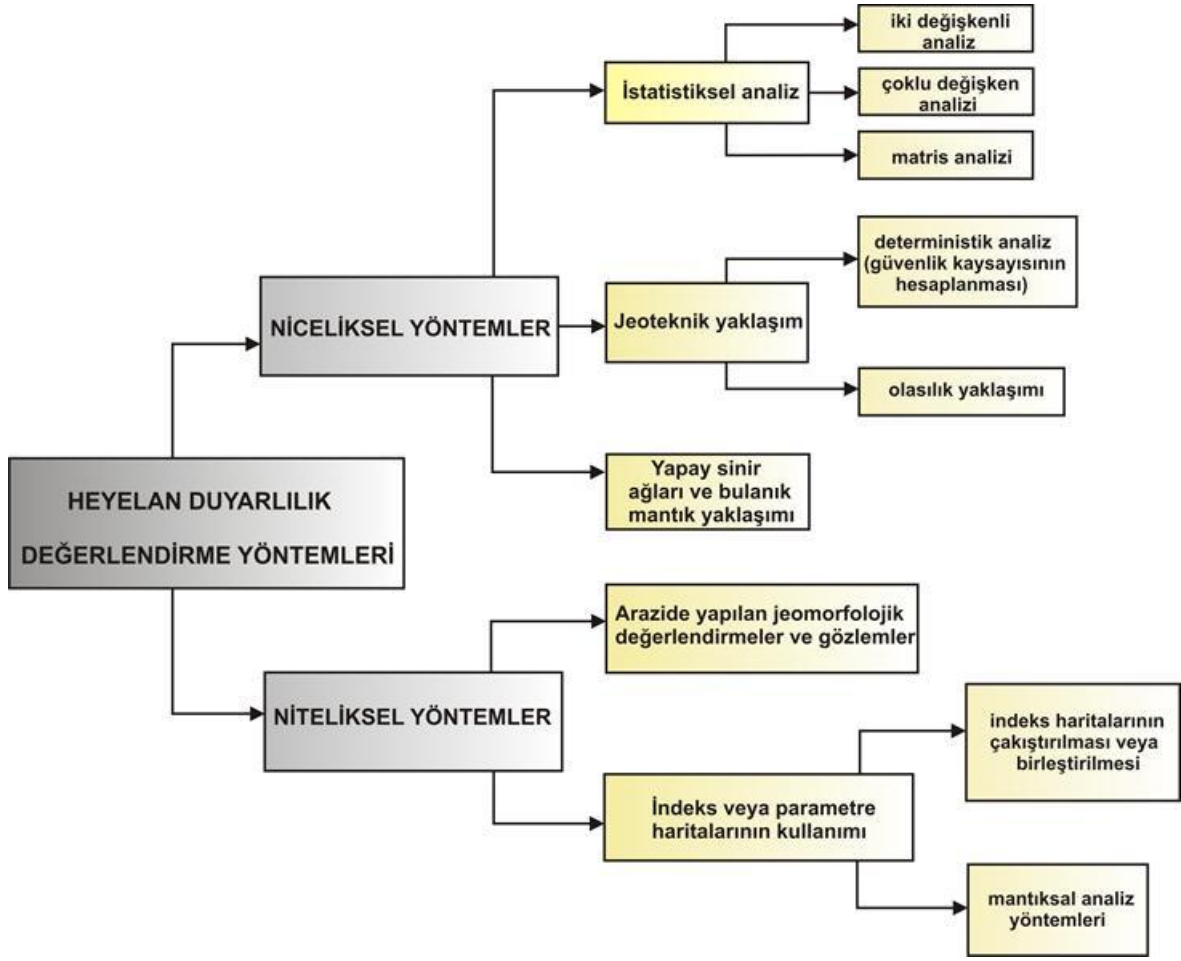
## **5.2. Heyelan Duyarlılık Haritalamasında Kullanılan Analizler**

Van Westen et al. (1997) yaptıkları çalışmada, coğrafi bilgi sistemlerini esas alarak heyelan tehlike haritalarını üretirken nitel, nicel (istatistiksel) ve deterministik yaklaşım yöntemlerini kullanmışlardır. Nitel haritalama yaparken, hava fotoğraflarının ve deneyimin önemli olduğunu belirterek, nitel yöntemlerin pratikte

kullanımının sınırlı olduğunu vurgulamışlardır. Çok değişkenli istatistiksel yaklaşımında hücrelerin homojen alanları temsil edecek şekilde seçilmesi gerektiğini; iki değişkenli istatistiksel yaklaşımda ise, heyelana neden olan parametrelerin katkı derecelerini belirlemede basit yoğunluk fonksiyonları ile kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Van Westen et al. (2005) yaptıkları diğer çalışmalarında yine heyelan duyarlılık ve tehlike analiz yöntemlerinin 4 grup altında toplanabileceğini vurgulamışlardır. Bunlar, heyelan envanteri temelli olasılık yaklaşımı, sezgisel yaklaşım (doğrudan; jeomorfolojik haritalama veya dolaylı; parametre haritalarının üst üste getirilmesi), istatistiksel yaklaşım (çift değişkenli veya çok değişkenli), deterministik yaklaşım olarak sıralanmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından kullanılan analiz yöntemlerini Aleotti ve Chowdhury (1999) niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak iki ana başlık altında toplayarak genel bir sınıflama yapmıştır (Şekil 5.1).

Literatürde son yıllarda yapılan heyelan duyarlılık çalışmaları incelendiğinde, heyelan duyarlılık modellemesinde en yaygın kullanılan yöntemin çok değişkenli istatistiksel yöntemler olduğu (Baeza and Corominas, 2001; Lee and Min, 2001; Santacana et al., 2003; Ercanoğlu et al., 2004; Süzen and Doyuran, 2004a; Can et al., 2005; Sassa and Wang, 2005; Yeşilnacar and Topal, 2005; Duman et al., 2006; Carrara et al., 2008; Nefeslioğlu et al., 2008a; Nefeslioğlu et al., 2008b; Görüm et al., 2008), bu yöntemlerin arasından da lojistik regresyon analizinin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde hala en çok tercih edilen yöntem olduğu açıkça görülmektedir (Yılmaz, 2009b; Kıncal et al., 2009; Pradhan and Lee, 2010a; Pradhan and Lee, 2010b; Pradhan, 2010; Yılmaz, 2010; Chauhan et al., 2010; Yalçın et al., 2011; Atkinson and Massari, 2011; Ramani et al., 2011; Pradhan, 2011; Ercanoğlu and Temiz, 2011).



Şekil 5.1. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001'den alınmıştır).

Literatürde heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında lojistik regresyon yöntemi kullanılarak yapılmış birçok çalışmaya rastlanılmaktadır. Menard (2002) lojistik regresyonun bağımlı değişkenin kategorik (örn: varlık ya da yokluk) ve bağımsız değişkenlerin kategorik, nümerik, ya da her ikisi olduğu durumlarda oldukça yararlı bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Lojistik regresyon (LR) analizi bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız (açıklayıcı) değişken arasında doğrusal olmayan bir ilişki kurarak çok değişkenli bir regresyon oluşturulmasını sağlar (Süzen, 2002). Eğer araştırılan bağımlı değişken ikili değişken ile ifade ediliyorsa uygulanabilecek en iyi yöntem lojistik regresyon olarak görülmektedir (Afifi and Clark, 1998; Atkinson and Massasari, 1998; Dai et al. 2001; Lee and Min, 2001). Lojistik regresyon yöntemi çeşitli varsayım (normallik, ortak kovaryansa sahip olma gibi) bozulmaları durumunda diskriminant analizi ve çapraz tablolara bir alternatif



olurken, bağımlı değişkenin 0,1 gibi ikili (binary) ya da ikiden çok düzey içeren kesikli değişken olması durumunda normallik varsayım kısıtı olmaması nedeniyle kullanım rahatlığının yanısıra çözümlenmeden elde edilen modelin matematiksel olarak çok esnek olması, kolay yorumlanabilir olması yönteme olan ilgiyi arttırmaktadır (Tatlidil, 1996). Lojistik regresyon analizine bağlı olarak [0,1] aralığında kestirilen sonuç bir olasılık değeri (P) olarak ifade edilmektedir (Mertler and Vannatta, 2002). Burada P olasılığı [0,1] arasında bir değer alır ve doğrudan doğruya lineer bir modelle tanımlanamaz. P olasılığının  $\ln [P/(1-P)]$  şeklindedir. Bu dönüşüm P'nin lojiti olarak adlandırılır. En genel ifadeyle lojistik regresyon aşağıda verilen eşitliğe dayanarak değişkenlere uygulanır (Eş. 5.1).

$$Y = \text{logit}(P) = \ln(P/(1-P)) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (5.1)$$

Burada;

P: Bağımlı değişkenlere ilişkin Y=1 olasılık

P/(1-P): Benzerlik ilişkisi oranı

$\beta_0$ : Sabit değer

$\beta_i$  ( $i=0,1,2,\dots,n$ ) : Modelin eğim katsayıları

$X_i$  ( $i=0,1,2,\dots,n$ ) : Bağımsız değişkenler olarak ifade edilmektedir.

Doktora çalışması kapsamında, yukarıda anlatılan heyelan duyarlılık analiz yöntemlerinden "lojistik regresyon yöntemi" her iki örneklem stratejisi (yer değiştirme+birikme alanı ve farklı tampon mesafeleri için kök hücreleri) için de kullanılmıştır. Tez çalışma kapsamında yapılan ilk aşama bağımlı ve bağımsız değişkenlerin gösterildiği veri matrisinin hazırlanmasıdır. Veri setindeki yamaç eğimi, arazi kullanım parametreleri ve litolojik parametrelerin kategorik olması nedeniyle söz konusu bu bağımsız değişkenler ikili (0,1) olarak ifade edilmişlerdir. Lojistik regresyon analizinde, toplamda 7 adet sürekli ve 3 adet kategorik değişken olmak üzere 10 adet bağımsız değişken ve çalışma alanındaki haritalanmış heyelanlara ait varlık (1) ve yokluk (0) bilgisi ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma alanında çözünürlük 25x25 m<sup>2</sup> olarak alınmış ve çalışma

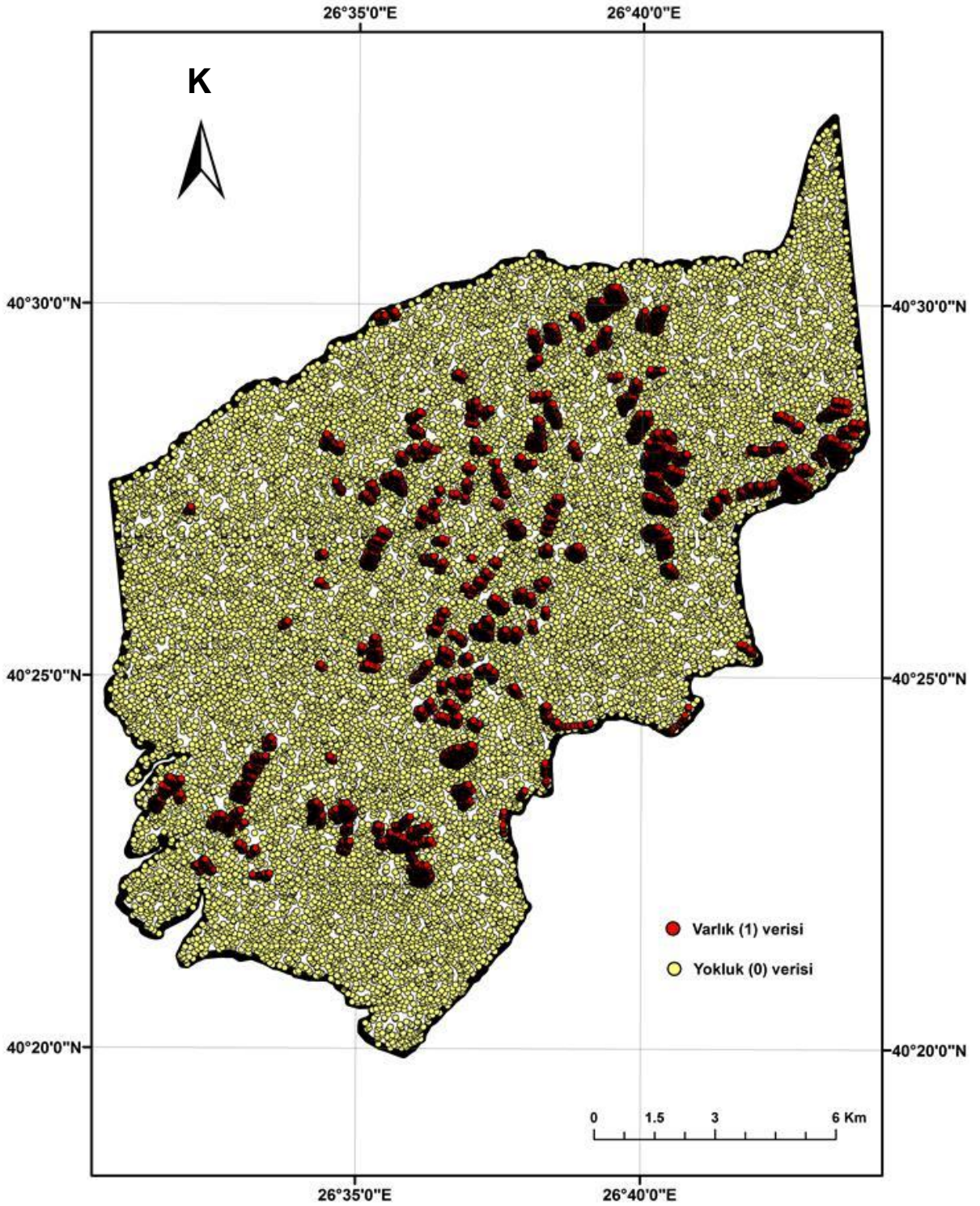
alanındaki varlık (1) ve yokluk (0) bilgisi veri matrisi içerisindeki satır sayısı olarak elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılan envanter çalışması sonucunda sahada toplam 211 adet heyelan haritalanmış ve toplam veri sayısının 371907, varlık (1) bilgisine ait veri sayısının 19490 ve yokluk (0) bilgisine ait veri sayısının ise 351917 olduğu görülmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında, mevcut yokluk (0) bilgisi içerisindeki muhtemel varlık (1) bilgisinin aranması söz konusu olduğundan kontrol verisinin yalnızca varlık (1) bilgisi içinden alınması gerekmektedir. Ayrıca, lojistik regresyon analizi uygulanırken alıştırma veri kümesi içerisinde varlık (1) verisinin yokluk (0) verisine oranının 1'e eşit olması gerektiğinden, varlık (1) verisine eşit sayıda yokluk (0) verisinin toplam yokluk (0) verisinden çıkarılması amacıyla her iki model için de rastgele seçimler gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde yer değiştirme+birikme alanı örneklem model verileri kullanılarak ve kök hücrelerinin farklı tampon alan mesafe değerleri ile yapılan kök hücre örneklem model verileri kullanılarak yapılan lojistik regresyon analizleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

### **5.2.1. Yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) özelliklerine ilişkin lojistik regresyon modeli**

Tez çalışmasının bu bölümünde, heyelanların mekânsal haritalaması için gerekli verileri yer değiştirme+birikme alanı içerisinde alarak lojistik regresyon analizi yapılmıştır.

Yer değiştirme+birikme alanından yapılan örneklemin varlık (1) bilgisi içerisinde kontrol veri gruplarının çıkarılmış olduğu farklı rastgele 3 adet örneklem seti (Rnd1, Rnd2, Rnd3) oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada, her yapılan rastgele örneklem için varlık (1) veri sayısının % 80'i ayrılmış, varlık (1) verisinin % 80'ine eşit sayıda yokluk (0) verisinin de %80'i ayrılarak alıştırma verisi oluşturulmuştur. Bu işlem, Rnd1, Rnd2 ve Rnd3 olmak üzere yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli veri seti kullanılarak 3 kere gerçekleştirilmiştir. Heyelan kütlesinin içerisinde yapılan örneklem için varlık (1) bilgisine ait veri sayısı 19490 ve yokluk (0) bilgisine ait veri sayısı ise 351917'dir. Buna göre varlık (1) bilgisine eşit sayıda yokluk (0) bilgisinin toplam yokluk (0) verisinden çıkarılması amacıyla üç adet rastgele seçim yapılmıştır. Yapılan bu rastgele örneklem için her seferinde varlık

(1) verisinin %20'si kontrol verisi olarak, %80'i ise alıştırma verisi olarak ayrılmıştır. Buna göre, her üç örneklem için de 19490 adet varlık (1) ve 351917 adet yokluk (0) bilgisi toplam 371407 veri içerisinde rastgele çıkarılmış 15592 adet yokluk (0) ve 15592 adet varlık (1) verisinden oluşmaktadır (Şekil 5.2). Her üç rastgele seçilen örneklem de 3898 adet kontrol verisi içermektedir. Yer değiştirme+birikme alanından (heyelan kütesinden) alınarak yapılan örneklem modeli ile yapılan lojistik regresyon analizi sonuçlarına göre belirlenen doğru sınıflandırma % matrisi Çizelge 5.1'de görülmektedir. Birinci rastgele seçilen örneklemin lojistik model tahminleri incelendiğinde, oluşturulan model inceleme alanında gözlenen yokluk (0) verisini 10454 veri (piksel sayısı) ile doğru tahmin ederken, 5138 adet veri ile de heyelanlı alan olarak tahmin etmiştir. Bir başka ifadeyle, heyelan gözlenmeyen alanları (yokluk, 0) doğru tahmin etme yüzdesi % 67, heyelanlı alanları doğru tahmin etme yüzdesi ise % 78.6'dır. Aynı şekilde heyelan kütesi modelinin ikinci ve üçüncü rastgele örnekleminin (Rnd2, Rnd3) heyelanlı alanları doğru tahmin etme yüzdelerinin sırasıyla %78.6 ve %79.0 olduğu görülmektedir. Aynı model için farklı rastgele örneklem sonuçlarının tahmin yüzdelerinin değişmemesi beklenen bir durum olmakla beraber modelin çalışma sahasını genelleme kapasitesinin iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2. Yer değiştirme+birikme alanından (heyelan kütlesinden) yapılan model için her üç rastgele örnekleme ait varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları

Çizelge 5.1. Yer değiştirme+birikme alanından (heyelan kütlesinden) yapılan modele uygulanan lojistik regresyon analizi rastgele seçilen farklı veri set sonuçlarının piksel sayısına bağlı oranları ve doğru sınıflandırma yüzdelerinin doğru sınıflandırma % matrisinde gösterimi

	Ölçülen		Tahmin edilen		
			Ls		% Doğruluk
			Yokluk (0)	Varlık (1)	
<b>Rnd1_LR</b>	Ls	Yokluk (0)	10454	5138	67.0
		Varlık (1)	3329	12263	<b>78.6</b>
<b>Rnd2_LR</b>	Ls	Yokluk (0)	10420	5172	66.8
		Varlık (1)	3336	12256	<b>78.6</b>
<b>Rnd3_LR</b>	Ls	Yokluk (0)	10439	5153	66.9
		Varlık (1)	3274	12318	<b>79.0</b>

*Rnd: Rastgele seçilen veri seti; Rnd1: Birinci rastgele seçilen veri seti; Rnd2: İkinci rastgele seçilen veri seti; Rnd3: Üçüncü rastgele seçilen veri seti; LR: Lojistik regresyon; Ls: Heyelan*

Oluşturulan heyelan kütlesi modelindeki her bir rastgele örneklem için bağımsız değişkenlere ikili (binary) lojistik regresyon analizini uygulanırken, geriye dönük koşullu (backward conditional) yöntemi kullanılmıştır. Birinci rastgele seçilen örneklem için 7 adımda lojistik regresyon analizi yapılmış ve 37 parametre lojistik regresyon eşitliğine girmiştir. Aynı şekilde ikinci ve üçüncü rastgele yapılan örneklemde lojistik regresyon analizi sırasıyla 8 ve 9 adımda gerçekleştirilmiş ve ikinci örneklem için de oluşturulan lojistik regresyon eşitliğine heyelan bağımlı değişken olmak üzere 36 parametre bağımsız değişken olarak; üçüncü örneklem

için ise 35 parametre eşitliğe dahil edilmiştir. Yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) örneklem modeli için yapılan lojistik regresyon analizlerinde yamaç yönelimi parametresi tek başına bağımsız değişken olarak değil, kategorik veri olmasından dolayı 8 sınıfa ayrılarak öyle analizlere dahil edilmiştir. Gerçekleştirilen lojistik regresyon analizleri sonucu elde edilen lojistik regresyon fonksiyonu her rastgele örneklem için aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir. Elde edilen lojistik regresyon fonksiyonuna bağlı olarak gerçekleştirilen modelin genel doğruluğu üç farklı rastgele örneklem için sırasıyla %72.8, %72.7 ve %73.0 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu eşitliklerde bağımsız değişken olarak kullanılan parametreler ve kısaltmaları Çizelge 5.2'de görülmektedir. Heyelan kütlesinden rastgele yapılan üç örneklem için de plan ve profil yamaç eğrisellik parametreleri lojistik regresyon eşitliğine dahil edilmemiştir. Yapılan üç rastgele örneklem içinde parametrelerin beta ( $\beta$ ) katsayılarına bakıldığında farklı örneklem arası herhangi bir değişikliğin olmadığı görülmektedir.

Lojistik regresyon eşitliklerindeki her bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki relatif etkisini açıklayan beta ( $\beta$ ) katsayıları ve değişkenlere ilişkin bir değerlendirme ölçütü olan Wald istatistiği değerleri ile ilgili değişken bir birim arttırıldığında üstünlük oranındaki değişimi gösteren  $\text{Exp}(B)$  istatistikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Lojistik Regresyon analizinde Wald değerinin 2'den büyük değerler için önemli olduğu kabul edilmekle beraber, Wald değeri büyüdükçe olasılık (P) değeri küçülmektedir. Oluşturulan model için yapılan lojistik regresyon analiz sonuçlarından kestirilen beta ( $\beta$ ) katsayı değerlerinin yorumlanması ve anlamlılıklarının değerlendirilmesi modelin performansı açısından çok önemlidir. Heyelan kütlesi (yer değiştirme+birikme alanı) modelinin lojistik regresyon analiz sonuçlarına göre litolojik birimler için düşük negatif beta ( $\beta$ ) katsayıları kestirilmiştir. Litolojik birimler içerisinde Tef (Fıçitepe Formasyonu) biriminin yüksek negatif beta ( $\beta$ ) katsayısı değeri verdiği Çizelge 5.3'de görülmektedir. Genel olarak, beta ( $\beta$ ) katsayısının önüne gelen işaret - ise, kestirilen olasılık değerinin azaldığını; + işareti ise söz konusu olasılık değerinin arttığının bir göstergesidir.

Arazi kullanım parametrelerinden meralar hariç (her üç rastgele örnekleme de meralar (+) beta katsayısına sahip) litoloji birimlerine benzer şekilde (-) beta katsayılarına sahipken, yamaç yönelim değerlerinin beta ( $\beta$ ) katsayıları modelde (+) olarak kestirilmiştir. Wald istatistik değerlerine göre heyelan kütlesi modelinde topoğrafik parametreler içerisinde en önemli parametre topoğrafik nemlilik indeksi parametresi lojistik regresyon eşitliğinde (-) beta ( $\beta$ ) katsayılarına sahiptir (Çizelge 5.3). Bir başka deyişle, topoğrafik nemlilik indeksinin artmasına bağlı olarak heyelan oluşumunda gözlenen frekansın azalacağına işaret göstermektedir. Aynı şekilde, arazi kullanım parametrelerinden bitki değişim alanları ve ormanların heyelan oluşumunda etkili parametreler olduğu fakat eşitlikte (-) beta ( $\beta$ ) katsayılarına sahip olduğu için heyelan oluşumunu negatif yönde etkilediği görülmektedir. Heyelan oluşumuna etki eden bir diğer parametre olan yamaç yöneliminin Wald istatistik değerlerine bakıldığında, güneye bakan yamaçların heyelan oluşumunda daha etkili olduğu Çizelge 5.3'de izlenmektedir.

Her bir parametrenin Exp (B) değeri *bağımlı* değişkenin *bağımsız* değişkeninin etkisiyle kaç kat daha fazla veya yüzde kaç oranda fazla gözlenme olasılığına sahip olduğunu belirtir (Özdamar, 2004). Exp (B) değeri 1'e yakın ise bağımsız değişkenler *bağımlı değişkenin* değişimine önemli etkide bulunan etkenler değildir. Bu değişkenlerin katsayıları önemli değil ise, değişken önemli risk faktörü değil biçiminde yorumlanır. Sıfıra yakın değerler ise katsayı önemli olmak koşuluyla değişkenin önemli bir risk faktörü olduğunu fakat *bağımlı değişkenin* düşük değerler almasına sebep olduğu negatif etkili bir faktör olduğunu belirtir (Özdamar, 2004).

Birinci rastgele örneklem için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -0.001(dem) - 0.038(slp) - 1.370(twi) + 2.706(spi) - 0.455(sdm) - 1.860(Qal) - 1.918(Qtr) - 1.602(Tmal) - 1.360(Tomk) - 20.103(Tef) - 0.325(Tmki) - 1.007(Tec) - 0.318(Tmçd) - 19.929(Ted) + 0.288(Of) - 1.496(Teck) - 2.058(bda) - 6.027(do) - 0.556(dta) - 1.066(dc) - 1.480(gyo) - 1.969(ko) - 2.151(kk) + 0.990(m) - 0.394(sba) - 5.925(sbo) +$$

$$0.256(sa) - 4.085(skt) - 4.914(iyo) + 1.264(nne) + 1.844(nee) + 1.898(see) + 1.664(sse) + 1.617(ssw) + 1.492(sww) + 1.518(nww) + 1.075(nnw) + 6.664$$

İkinci rastgele örneklem için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -0.001(dem) - 0.035(slp) - 1.353(twi) + 2.664(spi) - 0.471(sdm) - 2.112(Qal) - 0.257(Qea) - 2.123(Qtr) - 1.819(Tmal) - 0.266(Tplb) - 1.716(Tomk) - 19.980(Tef) - 1.251(Tec) - 0.573(Tmçd) - 19.890(Ted) - 1.664(Teck) - 1.733(bda) - 3.346(do) - 0.165(dta) - 0.974(dc) - 1.067(gyo) - 1.640(ko) - 1.976(kk) + 1.015(m) - 5.535(sbo) + 0.333(see) - 3.687(skt) - 4.815(iyo) + 1.084(nne) + 1.635(nee) + 1.740(see) + 1.449(sse) + 1.412(ssw) + 1.300(sww) + 1.309(nww) + 0.883(nnw) + 6.755$$

Üçüncü rastgele örneklem için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -0.001(dem) - 0.035(slp) - 1.431(twi) + 2.830(spi) - 0.552(sdm) - 2.041(Qal) - 2.060(Qtr) - 1.660(Tmal) - 1.463(Tomk) - 20.010(Tef) - 1.076(Tec) - 0.399(Tmçd) - 19.771(Ted) + 0.288(Of) - 1.393(Teck) - 1.768(bda) - 3.201(do) - 0.224(dta) - 0.617(dc) - 1.117(gyo) - 1.665(ko) - 1.776(kk) + 1.127(m) - 5.636(sbo) + 0.305(see) - 3.893(skt) - 4.516(iyo) + 0.995(nne) + 1.506(nee) + 1.659(see) + 1.397(sse) + 1.331(ssw) + 1.213(sww) + 1.247(nww) + 0.815(nnw) + 7.134$$

Çizelge 5.2. Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerin kısaltmaları ve açıklamaları

Bağımsız değişken olarak kullanılan parametreler	Kısaltmaları
<b>Topoğrafik Parametreler</b>	
Yükseklik (m)	dem
Eğim (°)	slp
Topoğrafik nemlilik indeksi	twi
Plan yamaç eğriselliği	pln
Profil yamaç eğriselliği	prf
Akarsu aşındırma gücü indeksi	spi
Sediman taşıma kapasite indeksi	Sdm



Çizelge 5.2. (devam ediyor) Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerin kısaltmaları ve açıklamaları

Bağımsız değişken olarak kullanılan parametreler	Kısaltmaları
<b>Arazi kullanımı</b>	
Bitki değişim alanları	bda
Deniz ve okyanus	do
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	dta
Doğal çayırliklar	dc
Geniş yapraklı ormanlar	gyo
Karışık ormanlar	ko
Kesikli kırsal alanlar	kk
Meralar	m
Seyrek bitki alanları	sba
Sklerofil bitki örtüsü	sbo
Sulanan alan	sa
Sulanmayan ekilebilir alanlar	sea
Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	skt
İğne Yapraklı Ormanlar	iyö

Çizelge 5.3. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

Parametre	<b>Rnd1</b>				
	Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)				
	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
Topoğrafik Yükseklik (m)	-0.001	7.85	1	0.005	0.999
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.038	79.346	1	0	0.963
Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.37	1219.601	1	0	0.254
Akarsu aşındırma gücü indeksi	2.706	749.91	1	0	14.974
Sediman taşıma kapasite indeksi	-0.455	119.734	1	0	0.635

Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<b>Litolojik Birimler</b>	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Qal	-1.86	252.303	1	0	0.156
Qtr	-1.918	127.379	1	0	0.147
Tmal	-1.602	314.6	1	0	0.201
Tomk	-1.36	218.576	1	0	0.257
Tef	-20.103	0	1	0.994	0
Tmki	0.325	9.853	1	0.002	1.384
Tec	-1.007	344.654	1	0	0.365
Tmçd	-0.318	38.929	1	0	0.728
Ted	-19.929	0	1	0.996	0
Of	0.43	10.176	1	0.001	1.537
Teck	-1.496	167.381	1	0	0.224
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-2.058	1345.143	1	0	0.128
Deniz ve okyanus	-6.027	47.11	1	0	0.002
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.556	145.809	1	0	0.574
Doğal çayırliklar	-1.066	7.711	1	0.005	0.344
Geniş yapraklı ormanlar	-1.48	235.582	1	0	0.228
Karışık ormanlar	-1.969	237.361	1	0	0.14
Meralar	0.99	39.312	1	0	2.691
Seyrek bitki alanları	-0.394	12.675	1	0	0.674
Sklerofil bitki örtüsü	-5.925	34.792	1	0	0.003
Sulanan alan	-0.256	39.926	1	0	0.774
Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	-4.085	98.501	1	0	0.017
İğne Yapraklı Ormanlar	-4.914	115.548	1	0	0.007

Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<b>Yamaç yönelimi</b>	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
KKD	1.264	80.333	1	0	3.539
KDD	1.844	181.706	1	0	6.32
GDD	1.898	195	1	0	6.671
GGD	1.664	148.678	1	0	5.278
GGB	1.617	135.495	1	0	5.036
GBB	1.492	117.181	1	0	4.445
KBB	1.518	122.876	1	0	4.565
KKB	1.075	59.435	1	0	2.929
<b>Sabit</b>	6.664	563.378	1	0	783.903
	<b>Rnd2</b>				
	Geriyeye Dönük Koşullu (backward conditional)				
	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
Topoğrafik Yükseklik (m)	-0.001	14.696	1	0	0.999
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.035	69.321	1	0	0.966
Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.353	1198.294	1	0	0.259
Akarsu aşındırma gücü indeksi	2.664	722.212	1	0	14.357
Sediman taşıma kapasite indeksi	-0.471	129.9	1	0	0.625
<b>Litolojik Birimler</b>					
Qal	-2.112	268.069	1	0	0.121
Qea	0.257	4.959	1	0.026	0.774
Qtr	-2.123	146.432	1	0	0.12
Tmal	-1.819	286.933	1	0	0.162
Tplb	-0.266	8.726	1	0.003	0.767
Tomk	-1.716	260.293	1	0	0.18

Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Tef	-19.98	0	1	0.994	0
Tec	-1.251	254.85	1	0	0.286
Tmçd	-0.573	55.975	1	0	0.564
Ted	-19.89	0	1	0.996	0
Teck	-1.663	166.916	1	0	0.19
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-1.733	759.133	1	0	0.177
Deniz ve okyanus	-3.346	13.187	1	0	0.035
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.165	9.192	1	0.002	0.848
Doğal çayırliklar	-0.974	5.123	1	0.024	0.378
Geniş yapraklı ormanlar	-1.067	105.633	1	0	0.344
Karışık ormanlar	-1.64	161.586	1	0	0.94
Kesikli kırsal alanlar	-1.976	130.035	1	0	0.134
Meralar	1.015	51.661	1	0	2.76
Sklerofil bitki örtüsü	-5.535	30.331	1	0	2.76
Sulanmayan ekilebilir alan	0.333	77.845	1	0	0.004
Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	-3.687	90.445	1	0	1.395
İğne Yapraklı Ormanlar	-4.815	89.445	1	0	0.025
<b>Yamaç yönelimi</b>					
KKD	1.084	62.492	1	0	2.956
KDD	1.635	151.547	1	0	5.132
GDD	1.74	173.992	1	0	5.697
GGD	1.449	119.456	1	0	4.259
GGB	1.412	109.374	1	0	4.105
GBB	1.3	93.926	1	0	3.663
KBB	1.309	96.61	1	0	3.701
KKB	0.883	42.527	1	0	2.418
<b>Sabit</b>	<b>6.755</b>	<b>579.511</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>858.566</b>

Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örnekleme modelinden alınan farklı rastgele örneklemlerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	<b>Rnd3</b>				
	Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)				
	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
Topoğrafik Yükseklik (m)	-0.001	14.927	1	0	0.999
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.035	68.916	1	0	0.965
Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.431	1294.405	1	0	0.239
Akarsu aşındırma gücü indeksi	2.83	801.456	1	0	16.943
Sediman taşıma kapasite indeksi	-0.552	174.044	1	0	0.576
<b>Litolojik Birimler</b>					
Qal	-2.041	300.284	1	0	0.13
Qtr	-2.06	145.854	1	0	0.128
Tmal	-1.66	343.351	1	0	0.19
Tomk	-1.463	269.435	1	0	0.232
Tef	-20.01	0	1	0.995	0
Tec	-1.076	444.363	1	0	0.346
Tmçd	-0.399	68.335	1	0	0.671
Ted	-19.771	0	1	0.996	0
Of	0.288	4.68	1	0.031	1.333
Teck	-1.393	149.34	1	0	0.248
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-1.768	780.046	1	0	0.171
Deniz ve okyanus	-3.201	10.768	1	0.001	0.041
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.224	17.041	1	0	0.8
Doğal çayırliklar	-0.617	2.747	1	0.097	0.54

Çizelge 5.3. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinden alınan farklı rastgele örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Geniş yapraklı ormanlar	-1.117	126.034	1	0	0.327
Karışık ormanlar	-1.665	166.469	1	0	0.189
Kesikli kırsal alanlar	-1.776	115.395	1	0	0.169
Meralar	1.127	57.877	1	0	3.087
Sklerofil bitki örtüsü	-5.636	31.454	1	0	0.004
Sulanmayan ekilebilir alan	0.305	64.633	1	0	1.356
Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	-3.893	88.657	1	0	0.02
İğne Yapraklı Ormanlar	-4.516	115.705	1	0	0.011
<b>Yamaç yönelimi</b>					
KKD	9.995	56.99	1	0	2.704
KDD	1.506	140.09	1	0	4.507
GDD	1.659	172.112	1	0	5.252
GGD	1.397	120.57	1	0	4.042
GGB	1.336	105.428	1	0	3.785
GBB	1.213	88.951	1	0	3.363
KBB	1.247	95.183	1	0	3.48
KKB	0.815	39.229	1	0	2.259
<b>Sabit</b>	7.134	649.326	1	0	1253.303

Her üç rastgele örneklem için de gerçekleştirilen lojistik regresyon analizlerine ait -2 log olabilirlik, Cox & Snell  $R^2$  ve Nagelkerke  $R^2$  performans indeksleri Çizelge 5.4'de verilmiştir. Mertler and Vannatta (2002) Cox & Snell  $R^2$  ve Nagelkerke  $R^2$  değerlerini veri dağılımındaki değişkenlerin oranının bir göstergesi, -2 log olabilirlik değeri ise oluşturulan modelin veriyle ne kadar uyumlu olduğunun bir göstergesi olarak tanımlamışlardır. -2 log istatistiği bağımlı değişkendeki açıklanamayan varyansın anlamlılığını gösterir. Bu istatistiğin anlamlı olmaması lojistik regresyon analizinde istenen durumu göstermektedir (Ürük, E., 2007). Log olabilirlik değeri 0-1 aralığında değerler almaktadır. Bu oran bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından tahmin edilme olasılığını göstermektedir. -2 log olabilirlik istatistiği yaklaşık olarak ki-kare dağılımına uyduğundan, lojistik regresyon analizindeki -2 log olabilirlik değeri regresyon analizindeki hata kareleri toplamına benzemektedir. Yani olabilirlik oranı 1 ise -2 log olabilirlik değeri sıfıra eşit olmaktadır (Ürük, E., 2007). Model, verileri tam olarak temsil ederse olabilirlik oranı 1 ve dolayısıyla -2 log olabilirlik değerinin sıfır olması demektir. Bu da, daha küçük -2 log olabilirlik değeri her zaman daha iyi bir modeli göstermektedir (Ürük, E., 2007). Cox&Snell ve Nagelkerke  $R^2$  istatistikleri modelin uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmakta olup, Cox ve Snell  $R^2$  istatistiğinin en büyük değerinin genelde birden küçük olması bu istatistiğin yorumunu güçleştirmektedir. Nagerkerke  $R^2$  istatistiği ise Cox&Snell  $R^2$  istatistiğinin 0-1 aralığında değerler almasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (Ürük, E., 2007). Buna göre, birinci, ikinci ve üçüncü rastgele örneklem için belirlenen Cox & Snell  $R^2$  ve Nagelkerke  $R^2$  değerleri sırasıyla 0.27 ve 0.36; 0.27 ve 0.36; 0.27 ve 0.36'dır (Çizelge 5.4). -2 log olabilirlik değeri de birinci rastgele örneklem için 33330 hesaplanırken; ikinci ve üçüncü rastgele örneklem için ise 33414 ve 33287 olarak hesaplanmıştır. Tek bir modelin içinde farklı rastgele örneklemelerin sözde  $R^2$ 'lerini (Cox&Snell  $R^2$  ve Nagelkerke  $R^2$ ) birbiri ile karşılaştırmak anlamlı olmayacağından, farklı modellerin farklı rastgele örneklem setlerini karşılaştırmak modelin bağımsız değişkeni ne kadar tahmin ettiğini belirlemek için gereklidir.

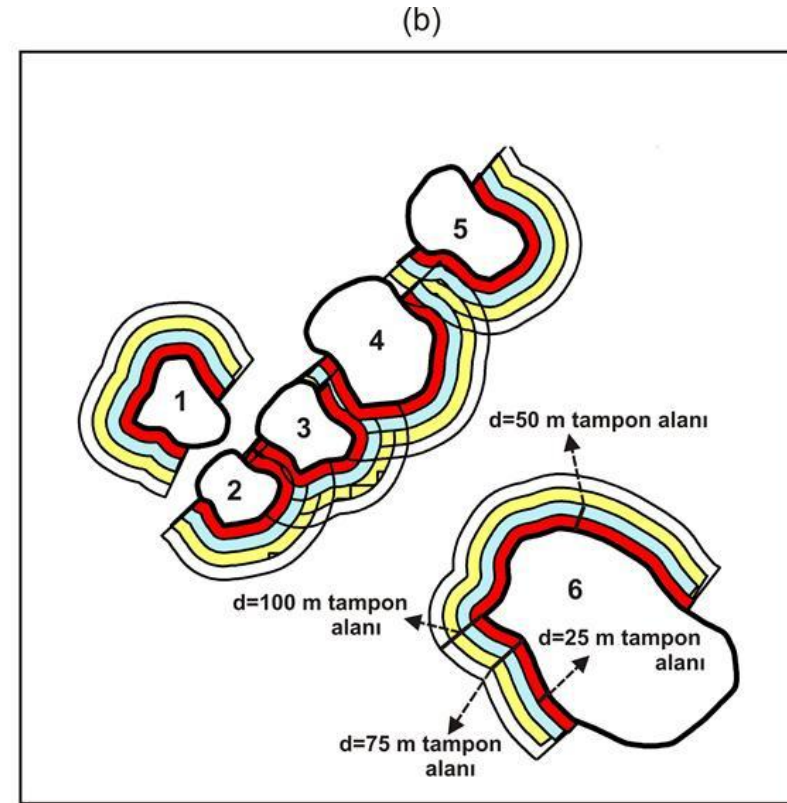
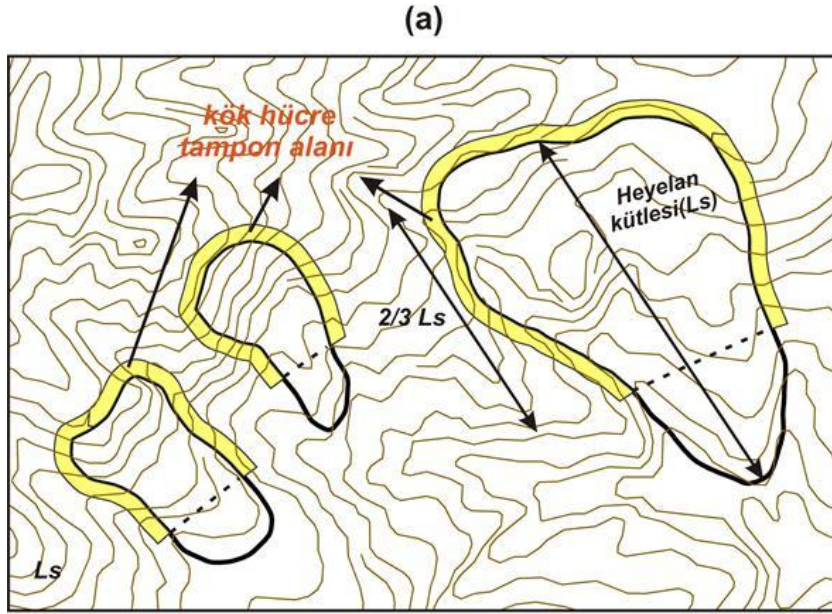
Çizelge 5.4. Yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) örneklem modelinin lojistik regresyon analizi performans indeksleri

	- 2 log olabilirlik	Cox & Snell $R^2$	Nagelkerke $R^2$
<b>Rnd1</b>	33330	0.27	0.36
<b>Rnd2</b>	33414	0.27	0.36
<b>Rnd3</b>	33287	0.27	0.36

### 5.2.2. Kök hücre örneklemelerine ilişkin lojistik regresyon modeli ve farklı “d” mesafelerindeki analizleri (d=25 m; 50 m; 75 m; 100 m)

Doktora tezi kapsamında ikinci örneklem stratejisi olarak gösterilen Süzen ve Doyuran (2004a)'nın kütle hareketlerine ilişkin duraysızlık öncesi koşulların değerlendirilebilmesi amacıyla önerdikleri kök hücre (seed cell) örnekleminde tampon alan oluşturma yöntemi çalışma alanı içerisindeki toplam 211 adet heyelana ayrı ayrı uygulanmıştır. Söz konusu kök hücresi örneklem stratejisine ait duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla kütle hareketlerine yönelik örneklemeler kök hücreleri içerisinde heyelanın tepesine ve kanatlarına d=25 m (1 mekansal çözünürlük), d=50 m (2 mekansal çözünürlük), d=75 m (3 mekansal çözünürlük) ve d=100 m (4 mekansal çözünürlük) mesafede tampon alanlar yaratarak yapılmıştır (Şekil 5.3(a) ve (b)). Bu tampon alanlar Süzen and Doyuran (2004a)'nın çalışmasında önermiş olduğu üzere taç kısmından başlayarak tüm heyelan kütlelerinin 2/3'ü kadar bir mesafe için oluşturulmuştur. Tez çalışması kapsamında uygulanan 4 farklı tampon mesafesi için seçilen üç farklı rastgele örneklem seti analiz edilmiştir.



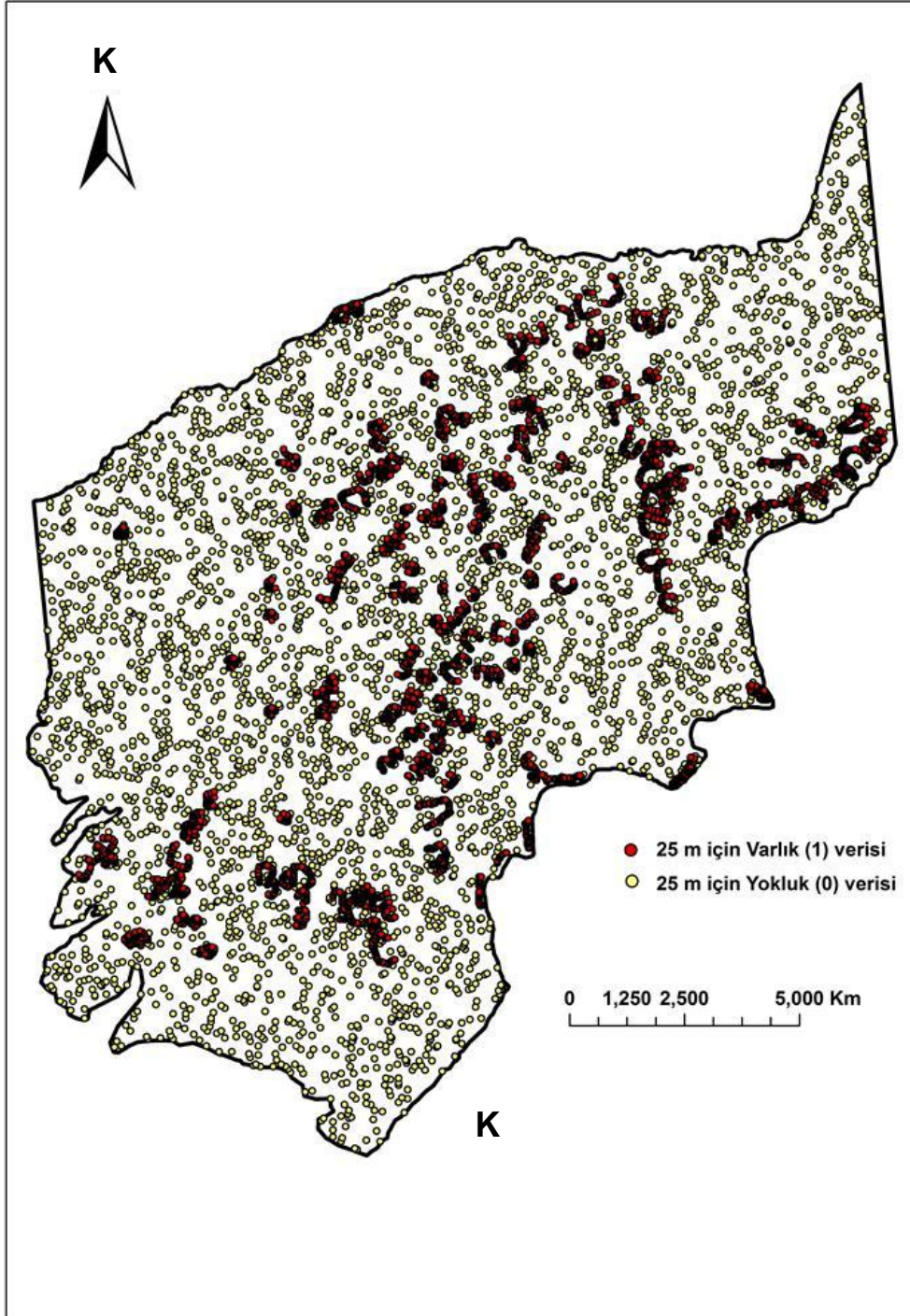


Şekil 5.3(a). Kök hücresi modelinin şematik gösterimi, (b) kök hücresi modelinin  $d=25$  m,  $d=50$  m,  $d=75$  m ve  $d=100$  m kök hücre örnekleri için belirlenen tampon bölgelerin gösterimi

d=25 m rastgele seçilen birinci örnekleminin (Rnd1) lojistik model tahminleri incelendiğinde, oluşturulan modelin inceleme alanında heyelan gözlenmeyen alanları (yokluk, 0) doğru tahmin etme yüzdesi % 65, heyelanlı alanları doğru tahmin etme yüzdesi ise % 78.2'dir. Modelin d=25 m tampon mesafesi için yapılan ikinci (Rnd2) ve üçüncü rastgele örneklem seti (Rnd3) için heyelanlı alanları doğru tahmin etme yüzdelерinin sırasıyla %79.9 ve %79.3 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde d=50 m mesafedeki kök hücresi geriye dönük koşullu lojistik regresyon analiz sonuçlarına göre, birinci, ikinci ve üçüncü rastgele örneklemlerin heyelanlı alanları tahmin etme doğruluk yüzdeleri sırasıyla %78.3, %79 ve % 78.5 olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5(a,b,c,d)). d=75 m ve d=100 m mesafe için de farklı rastgele örneklem analizleri yapılmış ve doğruluk yüzdeleri (%) Çizelge 5.6'da verilmiştir. Her farklı tampon alan mesafe değerlendirmesi için her rastgele örneklem için de varlık (1) verisinin %20'si kontrol verisi olarak, %80'i ise alıştırma verisi olarak ayrılmıştır. Buna göre, d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m mesafedeki kök hücrelerinin varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki piksel olarak mekânsal dağılımları Şekil 5.4(a),(b),(c),(d)'de görülmektedir.

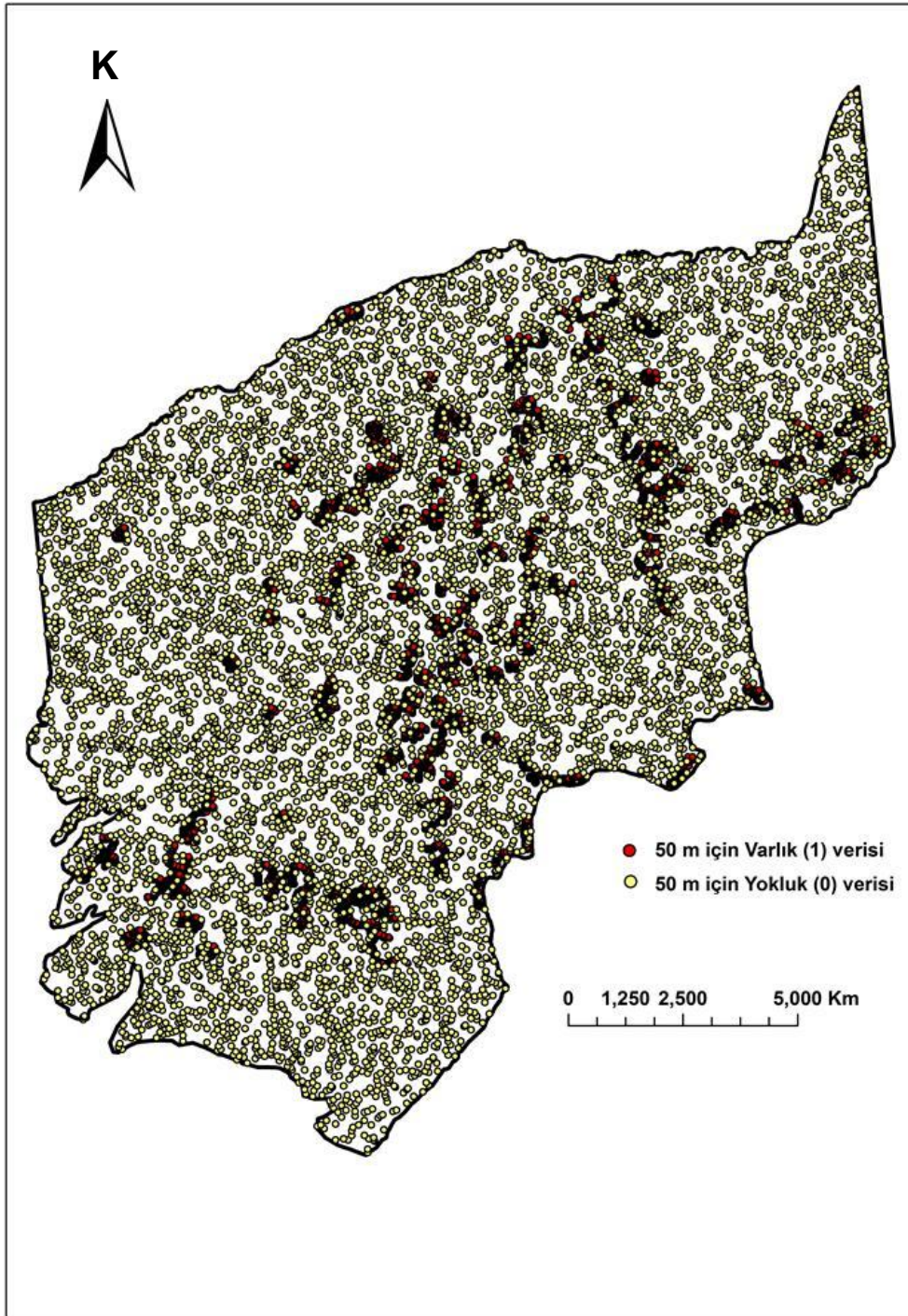
Kök hücresi modelinde oluşturulan farklı tampon mesafelerindeki örneklemlerin farklı rastgele seçimleri için bağımsız değişkenlere (parametrelere) geriye dönük koşullu (backward conditional) yöntemi kullanılarak ikili (binary) lojistik regresyon analizi uygulanmıştır. Kök hücresi modeli için belirlenen lojistik regresyon eşitliğine d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m farklı mesafelerdeki kök hücreleri bağımlı değişken olmak üzere 33 parametre bağımsız değişken olarak lojistik regresyon analizine dahil edilmiştir. Gerçekleştirilen lojistik regresyon analizleri sonucu elde edilen lojistik regresyon fonksiyonu ve girdi parametresi olarak kullanılan bağımsız değişkenler farklı mesafelerdeki (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) seçilen her rastgele örneklem için aşağıdaki eşitliklerde görülmektedir.

Birbirinden bağımsız 3 farklı örneklem veri seti için oluşturulan tampon alanın farklı mesafeleri için yapılan kök hücre örneklem modelinin beta ( $\beta$ ) katsayıları ve değişkenlere ilişkin bir değerlendirme ölçütü olan Wald istatistiği değerleri ile  $\text{Exp}(B)$  istatistikleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

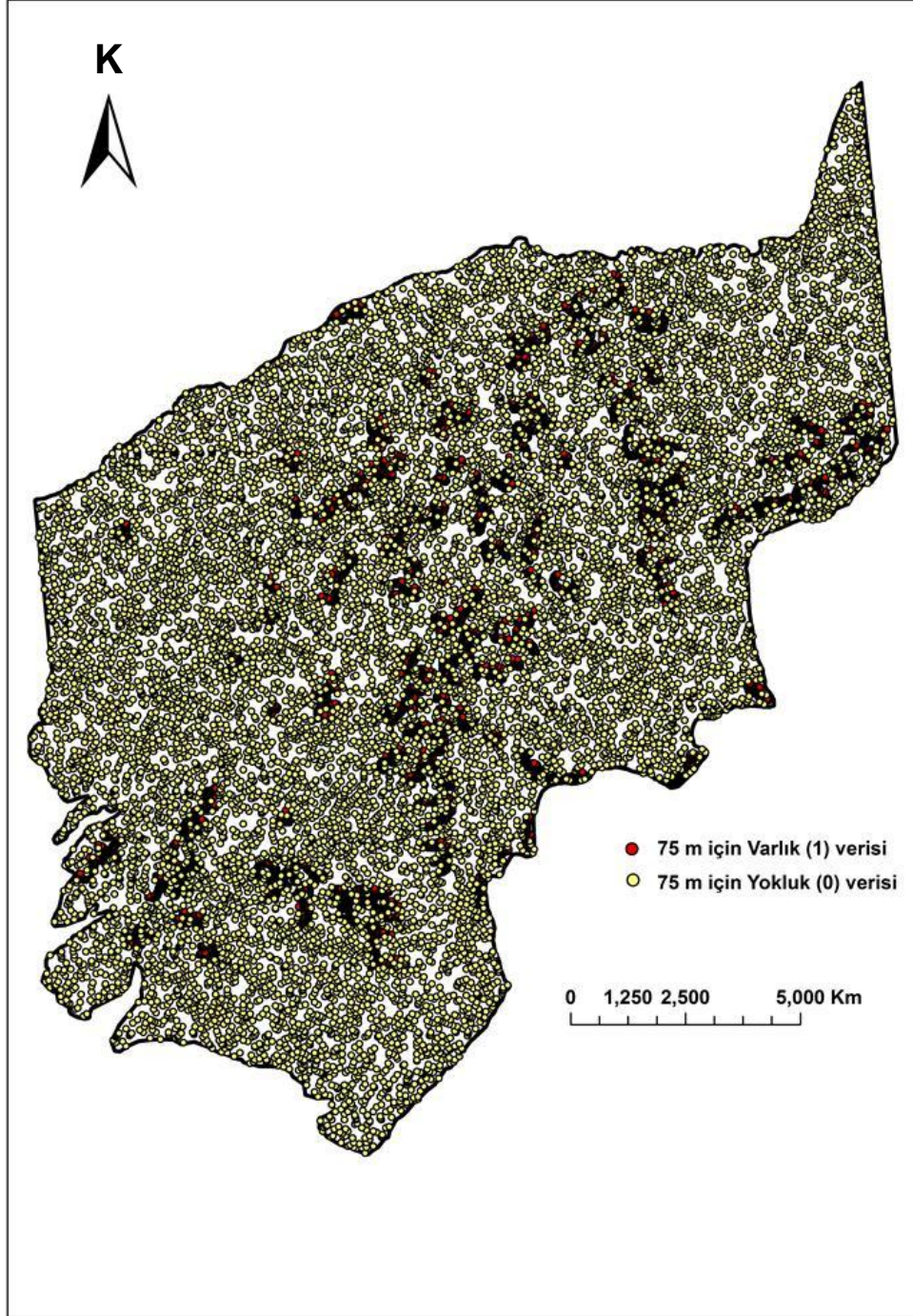


Şekil 5.4 (a). Kök hücresi modeline ait  $d=25$  m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları



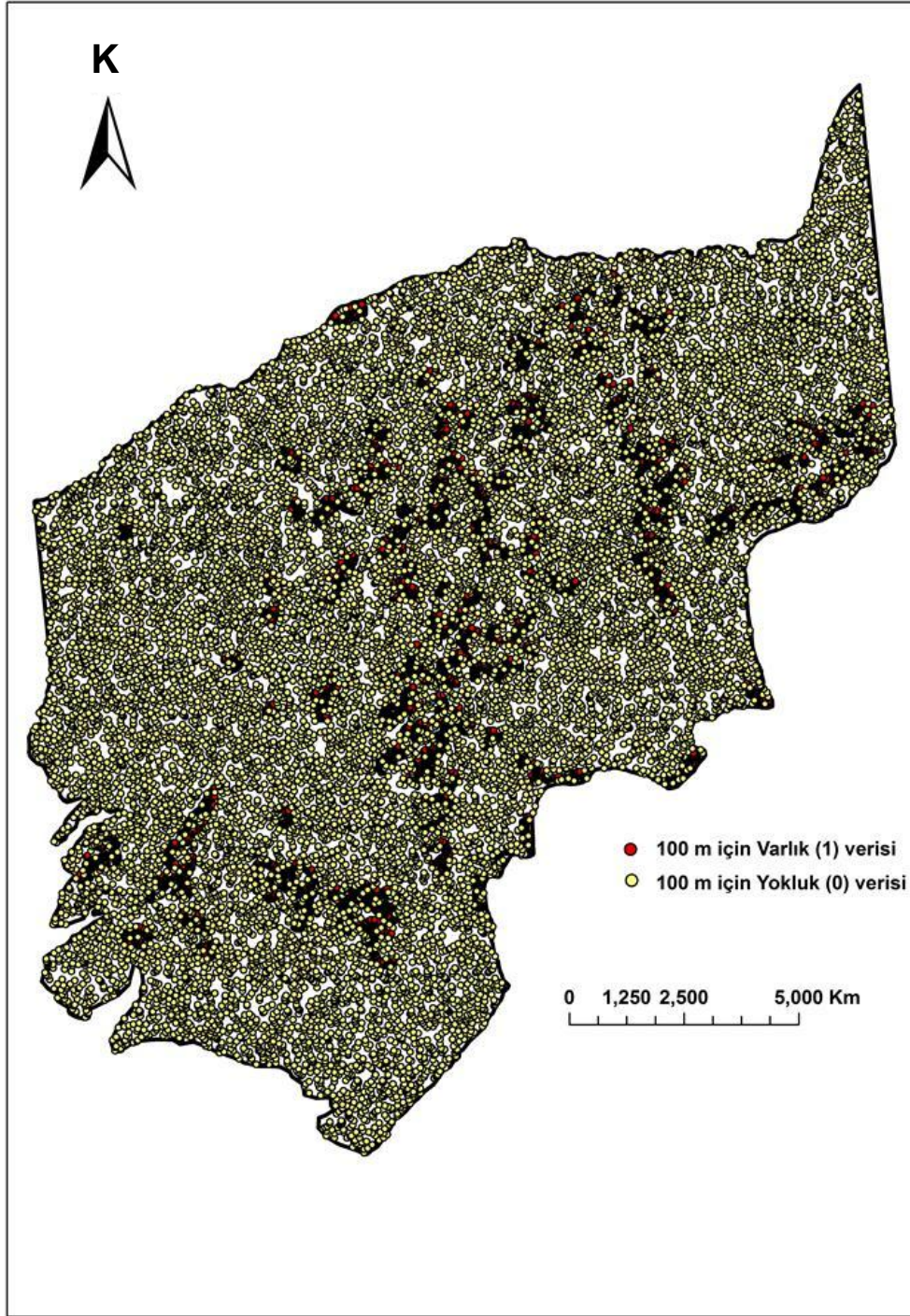


Şekil 5.4 (b). Kök hücresi modeline ait  $d=50$  m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları



Şekil 5.4 (c). Kök hücresi modeline ait  $d=75$  m için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları





Şekil 5.4 (d). Kök hücresi modeline ait  $d=100$  m tampon mesafesi için varlık (1) ve yokluk (0) verilerinin çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımları

Çizelge 5.5 (a). d= 25 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemi için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri

	Ölçülen		Tahmin edilen		
			<b>SC25</b>		% Doğruluk
			Yokluk (0)	Varlık (1)	
<b>Rnd1_SC25</b>	SC25 (d=25 m)	Yokluk (0)	2717	1466	65.0
		Varlık (1)	911	3272	<b>78.2</b>
<b>Rnd2_SC25</b>	SC25 (d=25 m)	Yokluk (0)	2765	1418	66.1
		Varlık (1)	841	3342	<b>79.9</b>
<b>Rnd3_SC25</b>	SC25 (d=25 m)	Yokluk (0)	2708	1475	64.7
		Varlık (1)	865	3318	<b>79.3</b>

*Rnd: Rastgele seçilen veri seti; SC: Kök Hücresi (seed cell); SC25: d=25 m tampon mesafesi için kök hücresi*

Çizelge 5.5 (b). d= 50 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri

	Ölçülen		Tahmin edilen		
			<b>SC50</b>		% Doğruluk
			Yokluk (0)	Varlık (1)	
<b>Rnd1_SC50</b>	SC50 (d=50 m)	Yokluk (0)	5190	2699	65.8
		Varlık (1)	1708	6180	<b>78.3</b>
<b>Rnd2_SC50</b>	SC50 (d=50 m)	Yokluk (0)	5197	2692	65.9
		Varlık (1)	1659	6230	<b>79.0</b>
<b>Rnd3_SC50</b>	SC50 (d=50 m)	Yokluk (0)	5175	2714	65.6
		Varlık (1)	1700	6189	<b>78.5</b>

*Rnd: Rastgele seçilen veri seti; SC: Kök Hücresi (seed cell); SC50: d=50 m tampon mesafesi için kök hücresi*



Çizelge 5.5 (c). d= 75 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri

	Ölçülen		Tahmin edilen		
			<b>SC75</b>		% Doğruluk
			Yokluk (0)	Varlık (1)	
<b>Rnd1_SC75</b>	SC75 (d=75 m)	Yokluk (0)	7912	4191	65.4
		Varlık (1)	2533	9570	<b>79.1</b>
<b>Rnd2_SC75</b>	SC75 (d=75 m)	Yokluk (0)	7900	4208	65.3
		Varlık (1)	2638	9465	<b>78.2</b>
<b>Rnd3_SC75</b>	SC75 (d=75 m)	Yokluk (0)	7953	4150	65.7
		Varlık (1)	2605	9498	<b>78.5</b>

*Rnd: Rastgele seçilen veri seti; SC: Kök Hücresi (seed cell); SC75: d=75 m tampon mesafesi için kök hücresi*

Çizelge 5.5 (d). d=100 m mesafedeki kök hücre modelinin rastgele farklı seçilen örneklemeleri için ölçülen ve tahmin edilen varlık (1), yokluk (0) verilerinin piksel olarak dağılımları ve % doğruluk değerleri

	Ölçülen		Tahmin edilen		
			<b>SC100</b>		% Doğruluk
			Yokluk (0)	Varlık (1)	
<b>Rnd1_SC100</b>	SC100 (d=100 m)	Yokluk (0)	9877	5124	65.8
		Varlık (1)	3262	11739	<b>78.3</b>
<b>Rnd2_SC100</b>	SC100 (d=100 m)	Yokluk (0)	9836	5165	65.6
		Varlık (1)	3259	11746	<b>78.3</b>
<b>Rnd3_SC100</b>	SC100 (d=100 m)	Yokluk (0)	9844	5157	65.6
		Varlık (1)	3291	11710	<b>78.1</b>

*Rnd: Rastgele seçilen veri seti; SC: Kök Hücresi (seed cell); SC100: d=100 m mesafe için kök hücresi*

Çizelge 5.6. Farklı d tampon mesafelerindeki kök hücrelerinin % doğruluk değerleri

Kök hücresi	Rnd1 % doğruluk	Rnd2 % doğruluk	Rnd3 % doğruluk
SC25	78.2	79.9	79.3
SC50	78.3	79.0	78.5
SC75	79.1	78.2	78.5
SC100	78.3	78.3	78.1

Kök hücresi modelinin d=25 m mesafedeki (1 mekansal çözünürlük) birinci rastgele örnekleme (Rnd1) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.006(\text{dem}) - 0.017(\text{slp}) - 0.238(\text{pln}) - 0.247(\text{prf}) - 1.391(\text{twi}) + 0.250(\text{spi}) - 2.940(\text{Qal}) - 1.555(\text{Qtr}) - 2.238(\text{Tmal}) - 0.753(\text{Tplb}) - 2.033(\text{Tomk}) - 21.084(\text{Tef}) - 0.653(\text{Tmki}) - 1.888(\text{Tec}) - 0.912(\text{Tmçd}) - 21.831(\text{Ted}) - 2.443(\text{Teck}) - 2.211(\text{bda}) - 1.470(\text{do}) - 0.519(\text{dta}) - 2.093(\text{gyo}) - 1.135(\text{ko}) - 0.446(\text{kk}) - 0.645(\text{sba}) - 21.560(\text{sbo}) - 1.716(\text{skt}) - 3.511(\text{iyo}) + 0.290(\text{nee}) + 0.326(\text{see}) + 0.267(\text{sse}) + 0.182(\text{ssw}) + 0.335(\text{sww}) + 0.168(\text{nww}) + 8.536$$

Kök hücresi modelinin d=25 m mesafedeki (1 mekansal çözünürlük) ikinci rastgele örnekleme (Rnd2) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.006(\text{dem}) - 0.017(\text{slp}) - 0.230(\text{pln}) - 0.218(\text{prf}) - 1.396(\text{twi}) + 0.298(\text{spi}) - 3.314(\text{Qal}) - 1.088(\text{Qtr}) - 2.338(\text{Tmal}) - 0.805(\text{Tplb}) - 2.238(\text{Tomk}) - 21.170(\text{Tef}) - 0.673(\text{Tmki}) - 1.904(\text{Tec}) - 0.916(\text{Tmçd}) - 22.070(\text{Ted}) - 2.569(\text{Teck}) - 2.348(\text{bda}) + 1.333(\text{do}) - 0.468(\text{dta}) - 1.153(\text{dc}) - 2.124(\text{gyo}) - 1.444(\text{ko}) - 0.396(\text{kk}) - 1.233(\text{sba}) - 21.563(\text{sbo}) - 0.155(\text{sa}) - 2.357(\text{skt}) - 2.948(\text{iyo}) + 0.322(\text{nee}) + 0.206(\text{see}) + 0.193(\text{sse}) + 8.693$$

Kök hücresi modelinin d=25 m mesafedeki (1 mekansal çözünürlük) üçüncü rastgele örnekleme (Rnd3) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.005(\text{dem}) - 0.020(\text{slp}) - 0.143(\text{prf}) - 1.244(\text{twi}) + 0.137(\text{sdm}) - 3.229(\text{Qal}) - 1.424(\text{Qtr}) - 2.726(\text{Tmal}) - 2.344(\text{Tomk}) - 21.712(\text{Tef}) - 0.973(\text{Tmki}) - 2.029(\text{Tec}) - 1.046(\text{Tmçd}) - 22.206(\text{Ted}) - 2.827(\text{Teck}) - 2.526(\text{bda}) + 1.071(\text{do}) - 0.842(\text{dta}) - 1.071(\text{dc}) - 2.266(\text{gyo}) - 1.492(\text{ko}) - 0.916(\text{kk}) - 0.984(\text{sba}) - 21.848(\text{sbo}) - 0.573(\text{sa}) - 0.357(\text{sea}) - 2.450(\text{skt}) - 3.363(\text{iyo}) + 0.278(\text{nne}) + 0.642(\text{nee}) + 0.424(\text{see}) + 0.472(\text{sse}) + 0.336(\text{ssw}) + 0.451(\text{sww}) + 0.333(\text{nww}) - 0.506(\text{düz}) + 8.107$$

Kök hücresi modelinin d=50 m mesafedeki (2 mekansal çözünürlük) birinci rastgele örnekleme (Rnd1) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.007(\text{dem}) - 0.016(\text{slp}) - 0.143(\text{pln}) - 0.219(\text{prf}) - 1.159(\text{twi}) - 0.306(\text{spi}) + 0.177(\text{sdm}) - 0.822(\text{Qal}) + 2.701(\text{Qea}) + 0.985(\text{Qtr}) + 1.414(\text{Tplb}) + 0.273(\text{Tomk}) - 19.367(\text{Tef}) + 1.984(\text{Tmki}) + 0.395(\text{Tec}) + 1.520(\text{Tmçd}) - 20.118(\text{Ted}) + 1.983(\text{Of}) - 1.889(\text{bda}) - 3.068(\text{do}) - 0.167(\text{dta}) - 1.766(\text{dc}) - 1.738(\text{gyo}) - 0.739(\text{ko}) - 0.526(\text{kk}) + 0.397(\text{m}) - 0.586(\text{sba}) - 21.212(\text{sbo}) + 0.277(\text{sea}) - 1.877(\text{skt}) - 2.452(\text{iyo}) + 0.590(\text{nee}) + 0.461(\text{see}) + 0.453(\text{sse}) + 0.268(\text{ssw}) + 0.332(\text{sww}) + 0.283(\text{nww}) + 4.455$$

Kök hücresi modelinin d=50 m mesafedeki (2 mekansal çözünürlük) ikinci rastgele örnekleme (Rnd2) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.007(\text{dem}) - 0.025(\text{slp}) - 0.156(\text{pln}) - 0.172(\text{prf}) - 1.275(\text{twi}) + 0.243(\text{spi}) + 0.162(\text{sdm}) - 1.214(\text{Qal}) + 2.547(\text{Qea}) + 1.096(\text{Qtr}) + 1.246(\text{Tplb}) - 19.193(\text{Tef}) + 1.554(\text{Tmki}) + 0.254(\text{Tec}) + 1.350(\text{Tmçd}) - 20.115(\text{Ted}) + 1.907(\text{Of}) - 0.317(\text{Teck}) - 2.074(\text{bda}) + 22.694(\text{do}) - 0.330(\text{dta}) - 1.926(\text{dc}) - 1.846(\text{gyo}) - 0.917(\text{ko}) - 0.485(\text{kk}) + 0.553(\text{m}) - 0.677(\text{sba}) - 21.148(\text{sbo}) + 0.122(\text{sea}) - 1.952(\text{skt}) - 3.091(\text{iyo}) + 0.509(\text{nee}) + 0.289(\text{see}) + 0.373(\text{sse}) + 0.198(\text{ssw}) + 0.340(\text{sww}) + 0.235(\text{nww}) + 5.503$$

Kök hücresi modelinin d=50 m mesafedeki (2 mekansal çözünürlük) üçüncü rastgele örnekleme (Rnd3) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.007(\text{dem}) - 0.027(\text{slp}) - 0.129(\text{prf}) - 1.249(\text{twi}) - 0.277(\text{spi}) + 0.209(\text{sdm}) - 0.859(\text{Qal}) + 2.775(\text{Qea}) + 1.447(\text{Qtr}) + 0.424(\text{Tmal}) + 1.651(\text{Tplb}) + 0.420(\text{Tomk}) - 19.367(\text{Tef}) + 1.898(\text{Tmki}) + 0.518(\text{Tec}) + 1.587(\text{Tmçd}) - 19.735(\text{Ted}) + 2.096(\text{Of}) - 2.122(\text{bda}) - 3.421(\text{do}) - 0.449(\text{dta}) - 1.981(\text{dc}) - 2.062(\text{gyo}) - 0.945(\text{ko}) - 0.542(\text{kk}) + 0.536(\text{m}) - 1.030(\text{sba}) - 21.290(\text{sbo}) - 2.224(\text{skt}) - 3.084(\text{iyo}) + 0.518(\text{nee}) + 0.404(\text{see}) + 0.415(\text{sse}) + 0.270(\text{ssw}) + 0.416(\text{sww}) + 0.251(\text{nww}) + 5.121$$

Kök hücresi modelinin d=75 m mesafedeki (3 mekansal çözünürlük) birinci rastgele örnekleme (Rnd1) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.007(\text{dem}) - 0.030(\text{slp}) - 0.124(\text{prf}) - 1.101(\text{twi}) + 0.642(\text{spi}) + 0.274(\text{sdm}) - 0.817(\text{Qal}) + 2.524(\text{Qea}) + 1.075(\text{Qtr}) + 1.413(\text{Tplb}) - 19.157(\text{Tef}) + 1.693(\text{Tmki}) + 0.326(\text{Tec}) + 1.488(\text{Tmçd}) - 20.213(\text{Ted}) + 1.877(\text{Of}) - 2.066(\text{bda}) - 4.674(\text{do}) - 0.395(\text{dta}) - 1.935(\text{dc}) - 2.043(\text{gyo}) - 0.863(\text{ko}) - 0.477(\text{kk}) + 0.619(\text{m}) - 0.847(\text{sba}) - 21.481(\text{sbo}) - 0.148(\text{sa}) - 2.295(\text{skt}) - 2.735(\text{iyo}) + 0.186(\text{nne}) + 0.525(\text{nee}) + 0.426(\text{see}) + 0.403(\text{sse}) + 0.288(\text{ssw}) + 0.337(\text{sww}) + 0.329(\text{nww}) + 4.561$$

Kök hücresi modelinin d=75 m mesafedeki (3 mekansal çözünürlük) ikinci rastgele örnekleme (Rnd2) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.007(\text{dem}) - 0.021(\text{slp}) - 0.164(\text{prf}) - 0.997(\text{twi}) - 0.743(\text{spi}) + 0.309(\text{sdm}) - 1.108(\text{Qal}) + 2.271(\text{Qea}) + 0.601(\text{Qtr}) - 0.206(\text{Tmal}) + 1.104(\text{Tplb}) - 0.218(\text{Tomk}) - 19.863(\text{Tef}) + 1.332(\text{Tmki}) + 1.125(\text{Tmçd}) - 20.489(\text{Ted}) + 1.571(\text{Of}) - 0.470(\text{Teck}) - 1.963 - 1.734(\text{do}) - 0.319(\text{dta}) - 2.615(\text{dc}) - 1.953(\text{gyo}) - 0.842(\text{ko}) - 0.484(\text{kk}) + 0.702(\text{m}) - 0.543(\text{sba}) - 21.223(\text{sbo}) + 0.149(\text{sea}) - 2.342(\text{skt}) - 2.631(\text{iyo}) + 0.483(\text{nee}) + 0.347(\text{see}) + 0.372(\text{sse}) + 0.234(\text{ssw}) + 0.276(\text{sww}) + 0.205(\text{nww}) - 0.296(\text{düz}) + 4.177$$

Kök hücresi modelinin d=75 m mesafedeki (3 mekansal çözünürlük) üçüncü rastgele örnekleme (Rnd3) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.007(\text{dem}) - 0.035(\text{slp}) - 0.105(\text{pln}) - 0.205(\text{prf}) - 1.192(\text{twi}) - 0.597(\text{spi}) + 0.277(\text{sdm}) - 0.429(\text{Qal}) + 1.091(\text{Qtr}) + 0.334(\text{Tmal}) + 1.641(\text{Tplb}) + 0.321(\text{Tomk}) - 19.248(\text{Tef}) + 2.028(\text{Tmki}) + 0.551(\text{Tec}) + 1.708(\text{Tmçd}) - 19.881(\text{Ted}) + 1.928(\text{Of}) - 2.070(\text{bda}) - 4.379(\text{do}) - 0.430(\text{dta}) - 2.287(\text{dc}) - 2.066(\text{gyo}) - 0.928(\text{ko}) - 0.572(\text{kk}) + 0.713(\text{m}) - 0.766(\text{sba}) - 21.359(\text{sbo}) - 0.183(\text{sa}) - 2.266(\text{skt}) - 2.856(\text{iyo}) + 0.192(\text{nne}) + 0.507(\text{nee}) + 0.386(\text{see}) + 0.410(\text{sse}) + 0.249(\text{ssw}) + 0.290(\text{sww}) + 0.299(\text{nww}) + 4.933$$

Kök hücresi modelinin d=100 m mesafedeki (4 mekansal çözünürlük) birinci rastgele örnekleme (Rnd1) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.009(\text{dem}) - 0.020(\text{slp}) - 0.109(\text{pln}) - 0.102(\text{prf}) - 1.009(\text{twi}) - 0.790(\text{spi}) + 0.304(\text{sdm}) - 0.581(\text{Qal}) + 2.839(\text{Qea}) + 1.520(\text{Qtr}) + 0.496(\text{Tmal}) + 1.759(\text{Tplb}) + 0.574(\text{Tomk}) - 19.105(\text{Tef}) + 2.140(\text{Tmki}) + 0.609(\text{Tec}) + 1.771(\text{Tmçd}) - 19.942(\text{Ted}) + 2.227(\text{Of}) - 2.210(\text{bda}) - 0.513(\text{dta}) - 2.784(\text{dc}) - 2.232(\text{gyo}) - 0.835(\text{ko}) - 0.454(\text{kk}) + 0.477(\text{m}) - 0.793(\text{sba}) - 21.343(\text{sbo}) - 0.091(\text{sa}) - 2.206(\text{skt}) - 2.675(\text{iyo}) + 0.198(\text{nne}) + 0.505(\text{nee}) + 0.463(\text{see}) + 0.335(\text{sse}) + 0.349(\text{ssw}) + 0.300(\text{sww}) + 0.272(\text{nww}) + 0.220(\text{düz}) + 3.632$$

Kök hücresi modelinin d=100 m mesafedeki (4 mekansal çözünürlük) ikinci rastgele örnekleme (Rnd2) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.008(\text{dem}) - 0.027(\text{slp}) - 0.063(\text{prf}) - 1.068(\text{twi}) - 0.620(\text{spi}) + 0.248(\text{sdm}) - 0.732(\text{Qal}) + 2.778(\text{Qdt}) + 1.266(\text{Qtr}) + 0.418(\text{Tmal}) + 1.538(\text{Tplb}) + 0.349(\text{Tomk}) - 19.198(\text{Tef}) + 2.071(\text{Tmki}) + 0.527(\text{Tec}) + 1.658(\text{Tmçd}) - 20.045(\text{Ted}) + 2.073(\text{Of}) - 2.050(\text{bda}) - 1.977(\text{do}) - 0.357(\text{dta}) - 2.285(\text{dc}) - 1.956(\text{gyo}) - 0.754(\text{ko}) - 0.298(\text{kk}) + 0.679(\text{m}) - 0.704(\text{sba}) - 21.266(\text{sbo}) + 0.099(\text{sea}) - 2.083(\text{skt}) - 2.517(\text{iyo}) + 0.172(\text{nne}) + 0.527(\text{nee}) + 0.447(\text{see}) + 0.302(\text{sse}) + 0.282(\text{ssw}) + 0.240(\text{sww}) + 0.245(\text{nww}) + 4.070$$

Kök hücresi modelinin d=100 m mesafedeki (4 mekansal çözünürlük) üçüncü rastgele örnekleme (Rnd3) için elde edilen lojistik regresyon eşitliği:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.009(\text{dem}) - 0.029(\text{slp}) - 0.081(\text{prf}) - 1.033(\text{twi}) + 0.287(\text{sdm}) - 0.409(\text{Qal}) + 2.809(\text{Qdt}) + 1.184(\text{Qtr}) + 0.356(\text{Tmal}) + 1.566(\text{Tplb}) + 0.388(\text{Tomk}) - 19.217(\text{Tef}) + 1.954(\text{Tmki}) + 0.509(\text{Tec}) + 1.671(\text{Tmçd}) - 20.219(\text{Ted}) + 1.960(\text{Of}) - 1.986(\text{bda}) + 1.191(\text{do}) - 0.356(\text{dta}) - 2.471(\text{dc}) - 2.045(\text{gyo}) - 0.733(\text{ko}) - 0.514(\text{kk}) + 0.764(\text{m}) - 0.775(\text{sba}) - 21.231(\text{sbo}) - 0.114(\text{sea}) - 2.066(\text{skt}) - 2.420(\text{iyo}) + 0.107(\text{nne}) + 0.415(\text{nee}) + 0.399(\text{see}) + 0.248(\text{sse}) + 0.220(\text{ssw}) + 0.230(\text{sww}) + 0.204(\text{nww}) + 3.917$$

Çizelge 5.7. Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Parametre	<b>Rnd1</b>				
		Geriyeye Dönük Koşullu (backward conditional)				
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 25 m (SC25)</b>	<b>Topoğrafik Parametreleri</b>					
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.006	75.379	1	0	1.006
	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.017	5.375	1	0.02	0.983
	Plan yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.283	14.011	1	0	0.754
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.247	13.693	1	0	0.781
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.391	376.567	1	0	0.249
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	0.25	7.449	1	0.006	1.284
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-2.94	58.677	1	0	0.053
	Qtr	-1.555	30.083	1	0	0.211
	Tmal	-2.283	107.533	1	0	0.102
	Tplb	-0.753	20.857	1	0	0.471
	Tomk	-2.033	99.9	1	0	0.131
	Tmki	-0.653	8.907	1	0.003	0.52

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemlerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik	Anlamlılık	Exp (B)
Tec	-1.888	181.617	1	0	0.151
Tmçd	-0.912	55.342	1	0	0.402
Ted	-21.831	0	1	0.998	0
Teck	-2.443	100.064	1	0	0.087
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-2.211	449.627	1	0	0.11
Deniz ve okyanus	1.47	10.444	1	0.001	4.349
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.519	33.774	1	0	0.595
Geniş yapraklı ormanlar	-2.093	128.927	1	0	0.123
Karışık ormanlar	-1.135	28.855	1	0	0.321
Kesikli kırsal alanlar	-0.446	5.244	1	0.022	0.64
Seyrek bitki alanları	-0.645	8.199	1	0.004	0.525
Sklerofil bitki örtüsü	-21.56	0	1	0.996	0
Sulanmayan karışık tarım alanları	-1.716	18.403	1	0	0.18
İğne yapraklı ormanlar	-3.511	78.454	1	0	0.03
<b>Yamaç yönelimi</b>					
KDD	0.29	9.921	1	0.002	1.337
GDD	0.326	14.656	1	0	1.385
GGD	0.267	9.464	1	0.002	1.306
GGB	0.182	3.04	1	0.081	1.2
GBB	0.335	11.36	1	0.001	1.398
KBB	0.168	3.348	1	0.067	1.183
<b>Sabit</b>	8.536	321.335	1	0	5097.234

**d = 25 m  
(SC25)**



Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Parametre	<b>Rnd2</b>				
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)				
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 25 m (SC25)</b>	<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.006	79.058	1	0	1.006
	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.017	5.165	1	0.023	0.983
	Plan yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.23	8.494	1	0.004	0.794
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.218	10.479	1	0.001	0.804
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.396	377.742	1	0	0.247
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	0.298	10.431	1	0.001	1.347
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-3.314	69.147	1	0	0.036
	Qtr	-1.088	14.089	1	0	0.337
	Tmal	-2.338	117.014	1	0	0.097
	Tplb	-0.805	23.406	1	0	0.447
	Tomk	-2.238	112.977	1	0	0.107
	Tef	-21.17	0	1	0.997	0
	Tmki	-0.673	9.4331	1	0.002	0.51

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Tec	-1.904	176.086	1	0	0.149
Tmçd	-0.916	52.624	1	0	0.4
Ted	-22.07	0	1	0.998	0
Teck	-2.569	117.076	1	0	0.077
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-2.348	484.941	1	0	0.096
Deniz ve okyanus	1.333	9.325	1	0.002	3.792
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.468	25.586	1	0	0.626
Doğal çayırliklar	-1.153	2.783	1	0.095	0.316
Geniş yapraklı ormanlar	-2.124	131.951	1	0	0.12
Karışık ormanlar	-1.444	44.805	1	0	0.236
Kesikli kırsal alanlar	-0.396	4.138	1	0.042	0.673
Seyrek bitki alanları	-1.233	29.596	1	0	0.291
Sklerofil bitki örtüsü	-21.563	0	1	0.996	0
Sulanan alan	-0.155	4.405	1	0.044	0.856
Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.357	28.812	1	0	0.095
İğne yapraklı ormanlar	-2.948	77.437	1	0	0.052
<b>Yamaç yönelimi</b>					
KDD	0.322	15.624	1	0	1.379
GDD	0.206	8.489	1	0.004	1.228

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<b>d = 25 m (SC25)</b>		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
	GGD	0.193	6.899	1	0.009	1.213	
	GGB	0.335	8.571	1	0.003	1.398	
	GBB	0.45	16.246	1	0	1.568	
	KBB	0.332	9.997	1	0.002	1.394	
	Düz	-0.506	3.567	1	0.059	0.603	
	<b>Sabit</b>	8.127	280.849	1	0	3385.696	
	Parametre	<b>Rnd3</b>					
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)					
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>Topoğrafik Parametreler</b>							
Topoğrafik Yükseklik (m)	0.005	62.297	1	0	1.005		
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.02	6.686	1	0.01	0.98		
Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.143	5.412	1	0.02	0.867		
Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.244	337.256	1	0	0.288		
Sediman taşıma gücü indeksi	0.137	13.685	1	0	1.147		
<b>Litolojik Birimler</b>							
Qal	-3.229	78.452	1	0	0.04		
Qtr	-1.424	22.989	1	0	0.241		
Tmal	-2.726	142.139	1	0	0.065		

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>d = 25 m (SC25)</b>	Tplb	-1.062	38.929	1	0	0.346
	Tomk	-2.344	128.318	1	0	0.096
	Tef	-21.712	0	1	0.997	0
	Tmki	-0.973	20.559	1	0	0.378
	Tec	-2.029	187.34	1	0	0.132
	Tmçd	-1.046	61.797	1	0	0.351
	Ted	-22.206	0	1	0.998	0
	Teck	-2.827	132.647	1	0	0.059
	<b>Arazi kullanımı</b>					
	Bitki değişim alanları	-2.526	123.6	1	0	0.08
	Deniz ve okyanus	1.071	4.527	1	0.033	2.918
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.842	14.778	1	0	0.431
	Doğal çayırliklar	-1.071	3.556	1	0.059	0.333
	Geniş yapraklı ormanlar	-2.266	67.02	1	0	0.104
	Karışık ormanlar	-1.492	27.983	1	0	0.225
	Kesikli kırsal alanlar	-0.916	11.65	1	0.001	0.4
	Seyrek bitki alanları	-0.984	10.522	1	0.001	0.374
	Sklerofil bitki örtüsü	-21.848	0	1	0.977	0
	Sulanan alan	-0.573	7.425	1	0.006	0.564

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<b>d = 25 m (SC25)</b>		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
	Sulanmayan ekilebilir alanlar	-0.357	3.03	1	0.082	0.7
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.45	28.393	1	0	0.086
	İğne yapraklı ormanlar	-3.363	68.749	1	0	0.035
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KKD	0.278	5.004	1	0.025	1.32
	KDD	0.642	35.417	1	0	1.901
	GDD	0.424	18.418	1	0	1.528
	GGD	0.472	21.39	1	0	1.603
	GGB	0.336	8.608	1	0.003	1.399
	GBB	0.451	16.367	1	0	1.57
	KBB	0.333	10.049	1	0.002	1.395
	Düz	-0.506	3.572	1	0.059	0.603
<b>Sabit</b>	8.107	281.053	1	0	3318.348	

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Parametre	<b>Rnd1</b>				
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)				
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 50m (SC50)</b>	<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.007	204.569	1	0	1.007
	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.016	7.968	1	0.005	0.984
	Plan yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.143	0.054	1	0.009	0.867
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.219	18.828	1	0	0.803
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.159	429.296	1	0	0.314
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.306	4.909	1	0.027	0.737
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.177	10.232	1	0.001	1.194
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-0.822	8.274	1	0.004	0.44
	Qea	2.701	333.289	1	0	14.889
	Qtr	0.985	21.844	1	0	2.677
	Tplb	1.414	144.517	1	0	4.111

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Tomk	0.273	3.187	1	0.074	1.313
Tef	-19.367	0	1	0.997	0
Tmki	1.984	139.703	1	0	7.275
Tec	0.395	15.889	1	0	1.484
Tmçd	1.52	245.93	1	0	4.571
Ted	-20.188	0	1	0.997	0
Of	1.983	107.338	1	0	7.266
<b><i>Arazi kullanımı</i></b>					
Bitki değişim alanları	-1.889	422.978	1	0	0.151
Deniz ve okyanus	-3.068	3.324	1	0.068	0.046
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.167	4.235	1	0.04	0.847
Doğal çayırliklar	-1.766	7.435	1	0.006	0.171
Geniş yapraklı ormanlar	-1.738	148.199	1	0	0.176
Karışık ormanlar	-0.739	21.181	1	0	0.478
Kesikli kırsal alanlar	-0.526	11.783	1	0.001	0.591
Meralar	0.397	4.385	1	0.036	1.487
Seyrek bitki alanları	-0.586	11.413	1	0.001	0.557
Sklerofil bitki örtüsü	-21.212	0	1	0.995	0
Sulanmayan ekilebilir alanlar	0.277	24.882	1	0	1.319

***d = 50m  
(SC50)***

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<i>d = 50m (SC50)</i>		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-1.877	40.065	1	0	0.153
	İğne yapraklı ormanlar	-2.452	103.764	1	0	0.086
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KDD	0.59	74.847	1	0	1.804
	GDD	0.461	55.502	1	0	1.586
	GGD	0.453	50.041	1	0	1.572
	GGB	0.268	12.727	1	0	1.308
	GBB	0.332	21.849	1	0	1.393
	KBB	0.283	18.149	1	0	1.327
<b>Sabit</b>	4.455	157.057	1	0	86.038	
Parametre	<b>Rnd2</b>					
	Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)					
	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>Topoğrafik Parametreler</b>						
Topoğrafik Yükseklik (m)	0.007	221.116	1	0	1.007	
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.025	18.783	1	0	0.976	
Plan yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.156	7.803	1	0.005	0.856	
Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.172	11.795	1	0.001	0.842	
Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.275	494.901	1	0	0.279	



Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>d = 50m (SC50)</b>	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.243	2.987	1	0.084	0.784
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.162	7.896	1	0.005	1.176
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-1.214	15.774	1	0	0.297
	Qea	2.547	324.428	1	0	12.768
	Qtr	1.096	26.327	1	0	2.992
	Tplb	1.246	108.96	1	0	3.477
	Tef	-19.193	0	1	0.996	0
	Tmki	1.554	94.93	1	0	4.728
	Tec	0.254	6.361	1	0.012	1.289
	Tmçd	1.35	217.001	1	0	3.856
	Ted	-20.115	0	1	0.997	0
	Of	1.907	94.852	1	0	6.735
	Teck	-0.317	3.514	1	0.061	0.728
	<b>Arazi kullanımı</b>					
	Bitki değişim alanları	-2.074	501.806	1	0	0.126
	Deniz ve okyanus	-22.694	0	1	0.997	0
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.33	16.351	1	0	0.719
	Doğal çayırliklar	-1.926	6.083	1	0.014	0.146

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<b>d = 50m (SC50)</b>		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
	Geniş yapraklı ormanlar	-1.846	157.557	1	0	0.158	
	Karışık ormanlar	-0.917	33.618	1	0	0.4	
	Kesikli kırsal alanlar	-0.485	10.062	1	0.002	0.616	
	Meralar	0.553	7.513	1	0.006	1.739	
	Seyrek bitki alanları	-0.677	15.061	1	0	0.508	
	Sklerofil bitki örtüsü	-21.148	0	1	0.995	0	
	Sulanmayan ekilebilir alan	0.122	4.665	1	0.031	1.129	
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-1.952	45.284	1	0	0.142	
	İğne yapraklı ormanlar	-3.091	139.692	1	0	0.045	
	<b>Yamaç yönelimi</b>						
	KDD	0.509	54.75	1	0	1.663	
	GDD	0.289	21.741	1	0	1.335	
	GGD	0.373	33.61	1	0	1.453	
	GGB	0.198	7.041	1	0.008	1.22	
	GBB	0.34	22.055	1	0	1.405	
	KBB	0.235	12.515	1	0	1.266	
	<b>Sabit</b>	5.503	232.397	1	0	245.411	
	Parametre	<b>Rnd3</b>					
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)					
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
	<b>Topoğrafik Parametreler</b>						
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.007	223.054	1	0	1.007	

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>d = 50m (SC50)</b>	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.027	22.373	1	0	0.974
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.129	8.425	1	0.004	0.879
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.249	480.546	1	0	0.287
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.277	3.907	1	0.048	0.758
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.209	13.362	1	0	1.233
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-0.859	7.226	1	0.007	0.423
	Qea	2.775	235.788	1	0	16.044
	Qtr	1.447	34.593	1	0	4.251
	Tmal	0.424	4.963	1	0.026	1.529
	Tplb	1.651	112.544	1	0	5.214
	Tomk	0.42	5.189	1	0.023	1.522
	Tef	-19.367	0	1	0.996	0
	Tmki	1.898	95.508	1	0	6.673
	Tec	0.518	13.595	1	0	1.679
	Tmçd	1.587	124.978	1	0	4.89
	Ted	-19.735	0	1	0.997	0
	Of	2.096	91.421	1	0	8.134

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemlerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 50m (SC50)</b>	<b>Arazi kullanımı</b>					
	Bitki değişim alanları	-2.122	770.521	1	0	0.12
	Deniz ve okyanus	-3.421	3.265	1	0.071	0.033
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.449	46.539	1	0	0.638
	Doğal çayırlıklar	-1.981	9.155	1	0.002	0.138
	Geniş yapraklı ormanlar	-2.062	226.974	1	0	0.127
	Karışık ormanlar	-0.945	39.342	1	0	0.389
	Kesikli kırsal alanlar	-0.542	13.456	1	0	0.581
	Meralar	0.536	7.216	1	0.007	1.708
	Seyrek bitki alanları	-1.03	40.255	1	0	0.357
	Sklerofil bitki örtüsü	-21.29	0	1	0.995	0
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.224	57.52	1	0	0.108
	İğne yapraklı ormanlar	-3.084	159.092	1	0	0.046
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KDD	0.518	57.271	1	0	1.679
	GDD	0.404	42.756	1	0	1.497
	GGD	0.415	42.095	1	0	1.515
	GGB	0.27	13.294	1	0	1.31
	GBB	0.416	32.913	1	0	1.516
	KBB	0.251	14.519	1	0	1.285
	<b>Sabit</b>	5.121	184.783	1	0	167.543

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Parametre	<b>Rnd1</b>				
		Geriyeye Dönük Koşullu (backward conditional)				
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 75m (SC75)</b>	<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.007	388.838	1	0	1.007
	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.03	43.82	1	0	0.971
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.124	12.079	1	0.001	0.883
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.101	624.071	1	0	0.333
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.642	32.642	1	0	0.526
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.274	35.032	1	0	1.315
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-0.817	14.172	1	0	0.442
	Qea	2.524	581.397	1	0	12.473
	Qtr	1.075	44.241	1	0	2.93
	Tplb	1.413	276.402	1	0	4.11
	Tef	-19.157	0	1	0.996	0
	Tmki	1.693	188.682	1	0	5.436
	Tec	0.326	23.834	1	0	1.386
	Tmçd	1.488	563.082	1	0	4.428
	Ted	-20.213	0	1	0.997	0
	Of	1.877	149.988	1	0	6.535

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>d = 75m (SC75)</b>	<b>Arazi kullanımı</b>					
	Bitki değişim alanları	-2.066	1164.183	1	0	0.127
	Deniz ve okyanus	-4.674	22.582	1	0	0.009
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.395	53.435	1	0	0.674
	Doğal çayırliklar	-1.935	12.588	1	0	0.144
	Geniş yapraklı ormanlar	-2.043	359.202	1	0	0.13
	Karışık ormanlar	-0.863	51.328	1	0	0.422
	Kesikli kırsal alanlar	-0.477	17.744	1	0	0.621
	Meralar	0.619	14.394	1	0	1.858
	Seyrek bitki alanları	-0.847	43.205	1	0	0.429
	Sklerofil bitki örtüsü	-21.481	0	1	0.993	0
	Sulanan alan	-0.148	10.568	1	0.001	0.863
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.295	91.324	1	0	0.101
	İğne yapraklı ormanlar	-2.735	221.361	1	0	0.065
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KKD	0.186	6.865	1	0.009	1.204
	KDD	0.525	76.072	1	0	1.691
	GDD	0.426	57.662	1	0	1.531
	GGD	0.403	49.258	1	0	1.497

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 75m (SC75)</b>	GGB	0.288	19.196	1	0	1.334
	GBB	0.337	28.202	1	0	1.401
	KBB	0.329	0.059	1	0	1.39
	<b>Sabit</b>	4.561	268.212	1	0	95.682
	Parametre	<b>Rnd2</b>				
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)				
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
	<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.007	385.922	1	0	1.008
	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.021	22.477	1	0	0.979
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.164	20.077	1	0	0.849
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-0.997	535.953	1	0	0.369
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.743	43.249	1	0	0.475
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.309	44.651	1	0	1.362
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-1.108	26.268	1	0	0.33
	Qea	2.271	504	1	0	9.693
	Qtr	0.601	14.827	1	0	1.824

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Tmal	-0.206	3.664	1	0.056	0.814
Tplb	1.104	265.436	1	0	3.017
Tomk	-0.218	4.031	1	0.045	0.804
Tef	-19.863	0	1	0.996	0
Tmki	1.332	140.359	1	0	3.788
Tmçd	1.125	610.401	1	0	3.079
Ted	-20.489	0	1	0.996	0
Of	1.571	111.974	1	0	4.814
Teck	-0.47	18.167	1	0	0.625
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-1.963	715.34	1	0	0.14
Deniz ve okyanus	-1.734	4.314	1	0.038	0.176
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.319	23.626	1	0	0.727
Doğal çayırlıklar	-2.615	18.026	1	0	0.073
Geniş yapraklı ormanlar	-1.953	281.822	1	0	0.142
Karışık ormanlar	-0.842	43.584	1	0	0.431
Kesikli kırsal alanlar	-0.484	16.791	1	0	0.616
Meralar	0.702	19.383	1	0	2.018
Seyrek bitki alanları	-0.543	15.089	1	0	0.581
Sklerofil bitki örtüsü	-21.223	0	1	0.994	0
Sulanmayan ekilebilir alan	0.149	11.061	1	0.001	1.161
Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.342	79.147	1	0	0.096

**d = 75m  
(SC75)**



Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
	<b>d = 75m (SC75)</b>	İğne yapraklı ormanlar	-2.631	205.088	1	0	0.072
<b>Yamaç yönelimi</b>							
KDD		0.483	76.749	1	0	1.622	
GDD		0.347	48.115	1	0	1.415	
GGD		0.372	51.069	1	0	1.45	
GGB		0.234	14.691	1	0	1.264	
GBB		0.276	22.15	1	0	1.317	
KBB		0.205	14.877	1	0	1.228	
Düz		-0.296	4.196	1	0.026	0.744	
<b>Sabit</b>		4.177	242.434	1	0	65.142	
Parametre		<b>Rnd3</b>					
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)					
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>Topoğrafik Parametreler</b>							
Topoğrafik Yükseklik (m)		0.007	339.275	1	0	1.007	
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )		-0.035	58.437	1	0	0.966	
Plan yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)		-0.105	5.383	1	0.02	0.9	
Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)		-0.205	25.502	1	0	0.814	

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 75m (SC75)</b>	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.192	702.893	1	0	0.303
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.597	28.31	1	0	0.551
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.277	36.76	1	0	1.32
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-0.429	3.479	1	0.062	0.651
	Qea	2.797	397.026	1	0	16.388
	Qtr	1.091	33.318	1	0	2.978
	Tmal	0.334	5.408	1	0.02	1.396
	Tplb	1.641	193.561	1	0	5.16
	Tomk	0.321	5.002	1	0.025	1.379
	Tef	-19.248	0	1	0.995	0
	Tmki	2.028	186.19	1	0	7.596
	Tec	0.551	27.691	1	0	1.735
	Tmçd	1.708	256.253	1	0	5.517
	Ted	-19.881	0	1	0.997	0
	Of	1.928	128.355	1	0	6.874
	<b>Arazi kullanımı</b>					
	Bitki değişim alanları	-2.07	1163.312	1	0	0.126
	Deniz ve okyanus	-4.379	14.335	1	0	0.013
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.43	63.249	1	0	0.65

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemlerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>d = 75m (SC75)</b>	Doğal çayırliklar	-2.287	13.549	1	0	0.102
	Geniş yapraklı ormanlar	-2.066	368.69	1	0	0.127
	Karışık ormanlar	-0.928	59.964	1	0	0.396
	Kesikli kırsal alanlar	-0.572	24.592	1	0	0.564
	Meralar	0.713	17.431	1	0	2.041
	Seyrek bitki alanları	-0.766	33.821	1	0	0.465
	Sklerofil bitki örtüsü	-21.359	0	1	0.994	0
	Sulanan alan	-0.183	16.095	1	0	0.833
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.266	88.911	1	0	0.104
	İğne yapraklı ormanlar	-2.856	258.943	1	0	0.057
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KKD	0.192	7.224	1	0.007	1.211
	KDD	0.507	69.974	1	0	1.66
	GDD	0.386	47.775	1	0	1.471
	GGD	0.41	50.919	1	0	1.506
	GGB	0.249	14.321	1	0	1.282
	GBB	0.29	21.001	1	0	1.337
	KBB	0.299	25.855	1	0	1.348
<b>Sabit</b>	4.933	273.759	1	0	138.813	

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Parametre	<b>Rnd1</b>				
		Geriyeye Dönük Koşullu (backward conditional)				
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
<b>d = 100m (SC100)</b>	<b>Topoğrafik Parametreler</b>					
	Topoğrafik Yükseklik (m)	0.009	633.775	1	0	1.009
	Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.02	23.078	1	0	0.981
	Plan yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.109	7.38	1	0.007	0.896
	Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.102	7.664	1	0.006	0.903
	Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.009	673.204	1	0	0.364
	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.79	63	1	0	0.454
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.304	54.8	1	0	1.355
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-0.581	7.021	1	0.008	0.559
	Qea	2.839	527.7	1	0	17.095
	Qtr	1.52	84.213	1	0	4.574
	Tmal	0.496	14.798	1	0	1.643
	Tplb	1.759	269.415	1	0	5.806
	Tomk	0.574	20.087	1	0	1.776
	Tef	-19.105	0	1	0.995	0

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Tmki	2.14	257.393	1	0	8.496
Tec	0.609	41.325	1	0	1.839
Tmçd	1.771	338.814	1	0	5.88
Ted	-19.942	0	1	0.996	0
Of	2.227	199.854	1	0	9.273
<b>Arazi kullanımı</b>					
Bitki değişim alanları	-2.21	1615.231	1	0	0.11
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.513	111.303	1	0	0.598
Doğal çayırliklar	-2.784	21.116	1	0	0.062
Geniş yapraklı ormanlar	-2.232	517.382	1	0	0.107
Karışık ormanlar	-0.835	59.496	1	0	0.434
Kesikli kırsal alanlar	-0.454	21.515	1	0	0.635
Meralar	0.477	10.27	1	0.001	1.612
Seyrek bitki alanları	-0.793	46.445	1	0	0.452
Sklerofil bitki örtüsü	-21.343	0	1	0.993	0
Sulanan alan	-0.091	4.981	1	0.026	0.913
Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.206	101.105	1	0	0.11
İğne yapraklı ormanlar	-2.675	310.188	1	0	0.069
<b>Yamaç yönelimi</b>					
KKD	0.198	9.582	1	0.002	1.219
KDD	0.505	82.019	1	0	1.657

*d = 100m  
(SC100)*

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örnekleme modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
	<b>d = 100m (SC100)</b>	GDD	0.463	79.374	1	0	1.589
GGD		0.335	39.774	1	0	1.398	
GGB		0.349	33.038	1	0	1.417	
GBB		0.3	26.44	1	0	1.35	
KBB		0.272	24.999	1	0	1.312	
Düz		0.22	3.988	1	0.046	1.245	
<b>Sabit</b>		3.632	200.072	1	0	37.794	
Parametre		<b>Rnd2</b>					
		Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)					
		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>Topoğrafik Parametreler</b>							
		Topoğrafik Yükseklik (m)	0.008	578.848	1	0	1.008
		Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.027	44.192	1	0	0.973
		Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.063	3.655	1	0.056	0.939
		Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.068	769.582	1	0	0.344
		Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.62	39.567	1	0	0.538
		Sediman taşıma kapasite indeksi	0.248	37.417	1	0	1.281
<b>Litolojik Birimler</b>							
	Qal	-0.732	11.845	1	0.001	0.481	
	Qea	2.778	482.187	1	0	16.079	

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
Qtr	1.266	60.586	1	0	3.545
Tmal	0.418	10.283	1	0.001	1.519
Tplb	1.538	201.929	1	0	4.653
Tomk	0.349	7.29	1	0.007	1.418
Tef	-19.198	0	1	0.995	0
Tmki	2.071	238.072	1	0	7.931
Tec	0.527	29.844	1	0	1.694
Tmçd	1.658	286.294	1	0	5.25
Ted	-20.045	0	1	0.996	0
Of	2.073	175.494	1	0	7.95
<b><i>Arazi kullanımı</i></b>					
Bitki değişim alanları	-2.05	954.19	1	0	0.129
Deniz ve okyanus	-1.977	7.281	1	0.007	0.138
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.357	36.226	1	0	0.7
Doğal çayırliklar	-2.285	13.968	1	0	0.102
Geniş yapraklı ormanlar	-1.956	342.755	1	0	0.141
Karışık ormanlar	-0.754	46.091	1	0	0.47
Kesikli kırsal alanlar	-0.298	8.207	1	0.004	0.742
Meralar	0.679	19.051	1	0	1.972
Seyrek bitki alanları	-0.704	33.803	1	0	0.495
Sklerofil bitki örtüsü	-21.266	0	1	0.993	0

***d = 100m  
(SC100)***

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<i>d = 100m (SC100)</i>		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
	Sulanmayan ekilebilir alan	0.099	5.923	1	0.015	1.104
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.083	96.328	1	0	0.125
	İğne yapraklı ormanlar	-2.517	254.426	1	0	0.081
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KKD	0.172	7.336	1	0.007	1.188
	KDD	0.527	88.597	1	0	1.694
	GDD	0.447	73.563	1	0	1.564
	GGD	0.302	32.092	1	0	1.352
	GGB	0.282	21.395	1	0	1.325
	GBB	0.24	17.096	1	0	1.272
	KBB	0.245	20.497	1	0	1.278
	Düz	0.288	7.036	1	0.008	1.333
	<b>Sabit</b>	4.07	251.095	1	0	58.551
Parametre	<b>Rnd3</b>					
	Geriye Dönük Koşullu (backward conditional)					
	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>Topoğrafik Parametreler</b>						
Topoğrafik Yükseklik (m)	0.009	615.364	1	0	1.009	
Yamaç Eğimi ( $^{\circ}$ )	-0.029	49.796	1	0	0.972	
Profil yamaç eğriselliği ( $100^{-1}$ m)	-0.081	6.033	1	0.014	0.922	
Topoğrafik nemlilik indeksi	-1.033	736.207	1	0	0.356	



Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

	Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)	
<b>d = 100m (SC100)</b>	Akarsu aşındırma gücü indeksi	-0.744	56.663	1	0	0.475
	Sediman taşıma kapasite indeksi	0.287	49.578	1	0	1.333
	<b>Litolojik Birimler</b>					
	Qal	-0.409	4.234	1	0.04	0.664
	Qea	2.809	504.367	1	0	16.591
	Qtr	1.184	53.11	1	0	3.267
	Tmal	0.356	7.572	1	0.006	1.428
	Tplb	1.566	213.337	1	0	4.788
	Tomk	0.388	9.359	1	0.002	1.474
	Tef	-19.217	0	1	0.995	0
	Tmki	1.954	217.728	1	0	7.055
	Tec	0.509	28.896	1	0	1.664
	Tmçd	1.671	301.832	1	0	5.316
	Ted	-20.219	0	1	0.996	0
	Of	1.96	157.315	1	0	7.101
	<b>Arazi kullanımı</b>					
	Bitki değişim alanları	-1.986	900.212	1	0	0.137
	Deniz ve okyanus	-1.191	4.478	1	0.034	0.304
	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	-0.356	35.812	1	0	0.701
	Doğal çayırlıklar	-2.471	16.607	1	0	0.084
	Geniş yapraklı ormanlar	-2.045	369.004	1	0	0.129

Çizelge 5.7. (devam ediyor) Kök hücre örneklem modelinden farklı rastgele seçilen örneklemelerin kullanıldığı lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametrelere ait beta ( $\beta$ ) katsayıları ve Wald test istatistiği değerleri

<i>d = 100m (SC100)</i>		Beta ( $\beta$ )	Wald	Serbestlik derecesi	Anlamlılık düzeyi	Exp (B)
	Karışık ormanlar	-0.733	43.012	1	0	0.481
	Kesikli kırsal alanlar	-0.514	25.997	1	0	0.598
	Meralar	0.764	23.962	1	0	2.147
	Seyrek bitki alanları	-0.775	39.965	1	0	0.461
	Sklerofil bitki örtüsü	-21.231	0	1	0.993	0
	Sulanmayan ekilebilir alanlar	0.114	7.905	1	0.005	1.12
	Sulanmayan karışık tarım alanları	-2.066	97.412	1	0	0.127
	İğne yapraklı ormanlar	-2.42	233.252	1	0	0.089
	<b>Yamaç yönelimi</b>					
	KKD	0.107	2.94	1	0.086	1.113
	KDD	0.415	60.025	1	0	1.514
	GDD	0.399	63.765	1	0	1.49
	GGD	0.248	23.662	1	0	1.281
	GGB	0.22	14.056	1	0	1.246
	GBB	0.23	16.546	1	0	1.259
	KBB	0.204	15.115	1	0	1.266
<b>Sabit</b>	3.917	230.262	1	0	50.266	

Kök hücre örneklem strateji modeli  $d=25$  m,  $50$  m,  $75$  m ve  $100$  m tampon mesafesi değerlerine ait birinci rastgele seçilen örneklem veri setleri kullanılarak Cox&Snell  $R^2$  ve Nagelkerke  $R^2$  değerleri sırasıyla  $0.249$ ,  $0.252$ ,  $0.251$  ve  $0.250$ ;  $0.332$ ,  $0.336$ ,  $0.335$  ve  $0.335$ ; ikinci rastgele seçilen örneklem veri setleri kullanılarak  $0.263$ ,  $0.258$ ,  $0.246$  ve  $0.248$ ;  $0.350$ ,  $0.344$ ,  $0.329$  ve  $0.330$ ; üçüncü rastgele seçilen örneklem veri setleri kullanılarak ise  $0.246$ ,  $0.254$ ,  $0.255$  ve  $0.250$ ;  $0.328$ ,  $0.338$ ,  $0.339$  ve  $0.333$  olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.8). -2 log olabilirlik değeri de  $d= 25$  m hassiyetteki kök hücre örneklem seti için yaklaşık  $9000$  hesaplanırken;  $d=50$  m,  $d= 75$  m ve  $d=100$  m mesafedeki örneklem için sırasıyla yaklaşık  $17000$ ,  $26000$  ve  $32000$  olarak hesaplanmıştır.

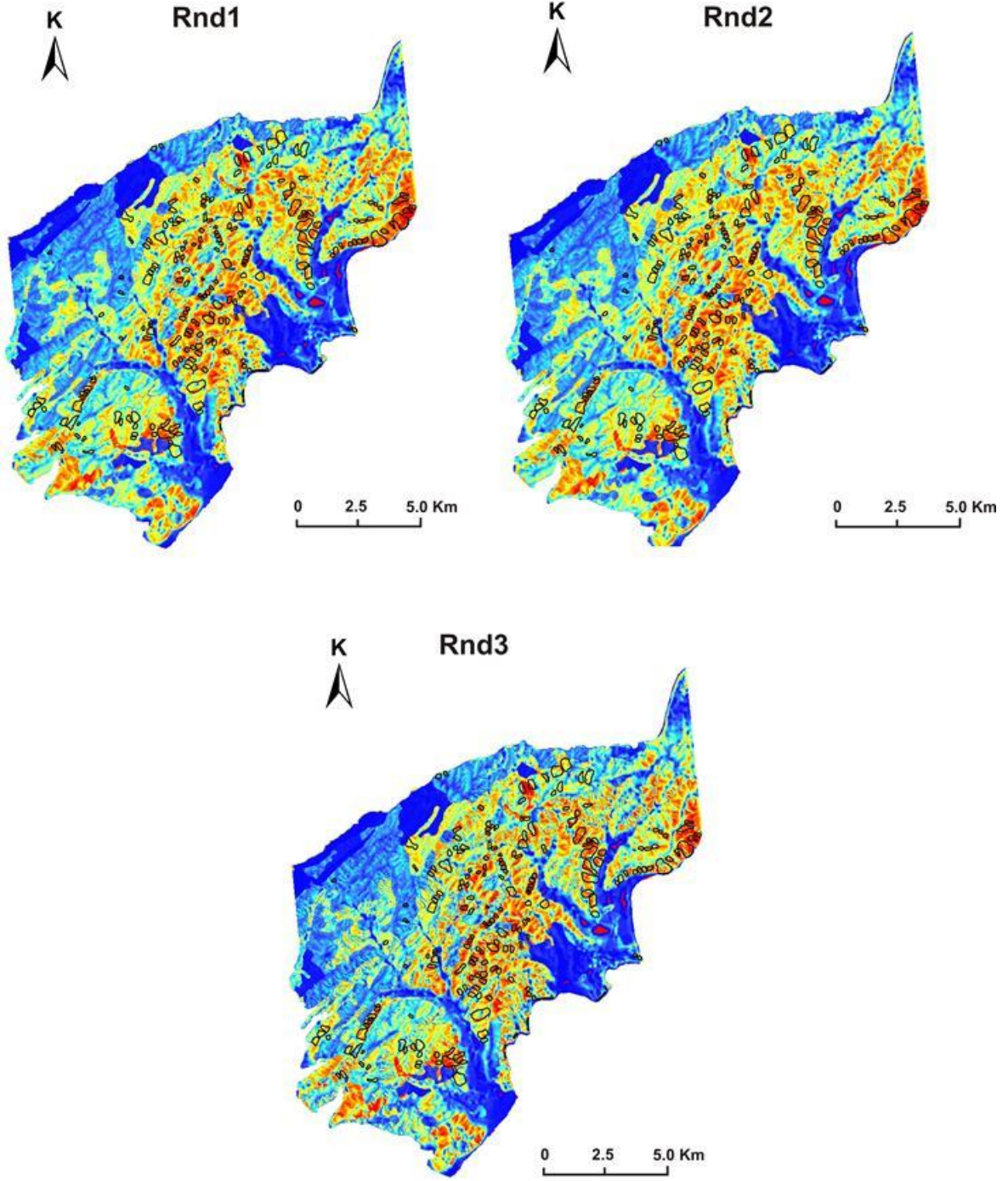
Çizelge 5.8. Kök hücre örneklem modelinin lojistik regresyon analizi performans indeksleri

	Örneklem	- 2 log olabilirlik	Cox & Snell $R^2$	Nagelkerke $R^2$
<b>SC25</b>	Rnd1	9200.961	0.249	0.332
	Rnd2	9047.068	0.263	0.350
	Rnd3	9232.453	0.246	0.328
<b>SC50</b>	Rnd1	17287.418	0.252	0.336
	Rnd2	17162.107	0.258	0.344
	Rnd3	17256.192	0.254	0.338
<b>SC75</b>	Rnd1	26552.147	0.251	0.335
	Rnd2	26707.565	0.246	0.329
	Rnd3	26443.316	0.255	0.339
<b>SC100</b>	Rnd1	32955.853	0.250	0.335
	Rnd2	33046.609	0.248	0.330
	Rnd3	32961.428	0.250	0.333

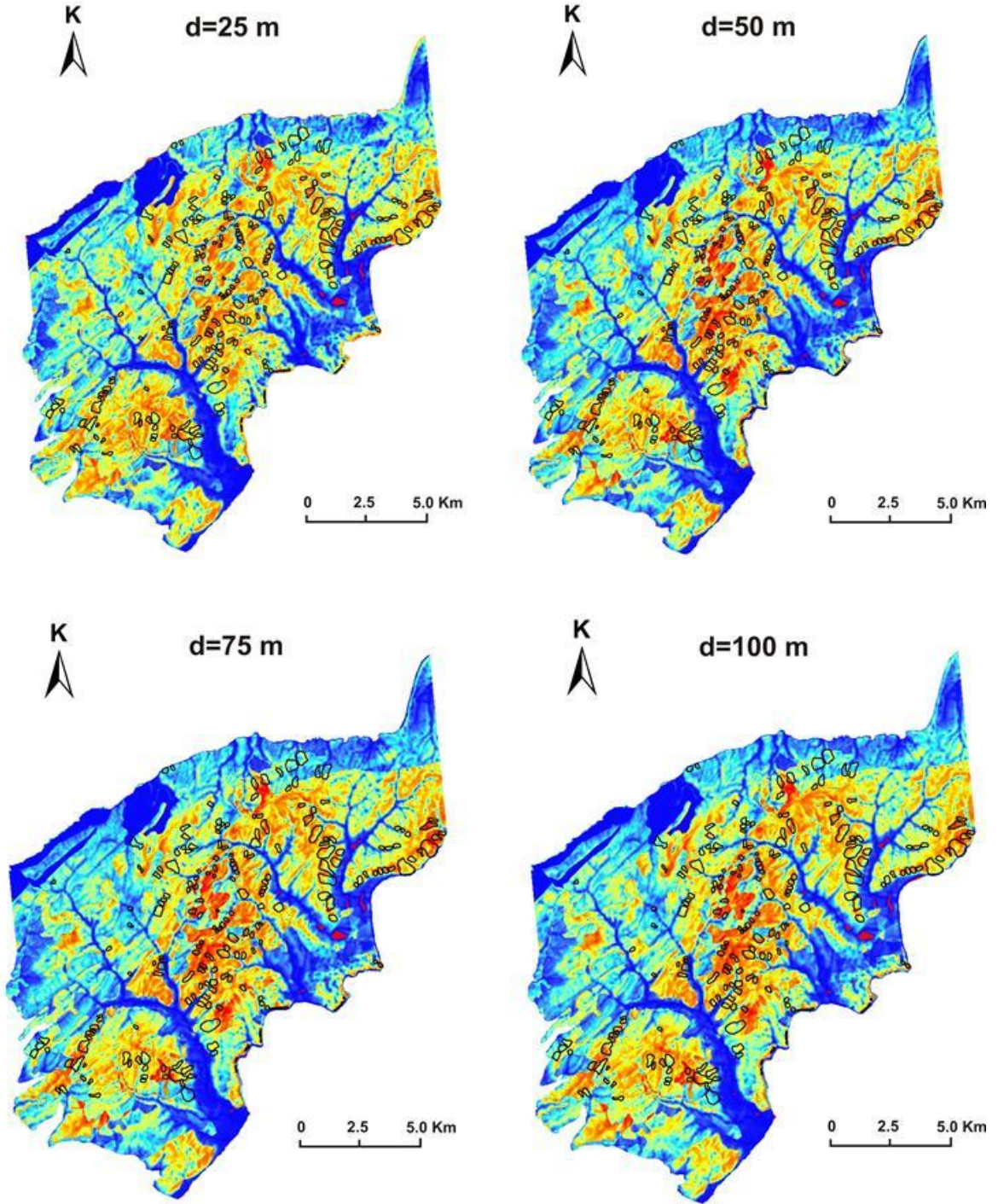
SC25,50,75,100:  $d=25m$ ,  $d=50m$ ,  $d=75m$  ve  $d=100m$  tampon mesafesi için kök hücreleri (seed cell)

### 5.2.3. Heyelan duyarlılık haritalarının dokusal karşılaştırmaları

Heyelan duyarlılık haritaları göreceli mekânsal olabilirlik haritası olarak da nitelendirilebilir (Görüm et al., 2006). Bu haritalar ifade edilen kütle hareketinin tipini değişik seviyeler ile ortaya koyarak sergilemektedir (Brabb, 1984). Nefeslioğlu et al. (2008) yer değiştirme+birikme alanından yapılan rastgele örneklemelerden elde edilen duyarlılık haritalarını “yarı-otomatik hazırlanmış heyelan duyarlılık haritaları” olarak adlandırmışlardır. Diğer yandan, kök hücreleri esas alınarak yapılan rastgele örneklemle oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının daha gerçekçi duyarlılık tahminleri yaptığını belirtmişlerdir. Tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde çok değişkenli istatistik analizlerinden biri olan lojistik regresyon analizinin kullanılması ve analiz sonucu çıkan sonuç eşitlikler önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir (Bkz. Bölüm 5.2.1 ve 5.2.2). Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli ve kök hücre örneklem modelinin lojistik regresyon analizleri sonucu elde edilen duyarlılık haritaları Şekil 5.5(a,b)'de verilmektedir. Kök hücre örneklem modelinden üretilen duyarlılık haritasına bakıldığında heyelan duyarlılık değerleri  $d$  mesafesi arttıkça (yarıçap arttıkça) düşerken; yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinde ise duyarlılık değerlerinin arttığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle, nihai heyelan duyarlılık değerlerinin mekânsal dokusuna bakıldığında, kök hücre örneklem modeliyle üretilen haritaların yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeliyle oluşturulan haritaya göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 5.6). Bir başka ifadeyle, yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinin duyarlılık haritasında kütle içerisinde olasılık artarken dışında azaldığı; kök hücre örneklem modelinde ise kütle içerisinde duraylılık azalırken dışında olasılığın arttığı açık şekilde görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar da, Nefeslioğlu et al. (2008)'in çalışmalarında yaptıkları gözlemlerle benzerlikler göstermektedir. Kök hücre örneklem modelinde  $d$  tampon mesafesi arttıkça duyarlılıkta gözle görülür bir değişim söz konusudur (Şekil 5.5(b)).

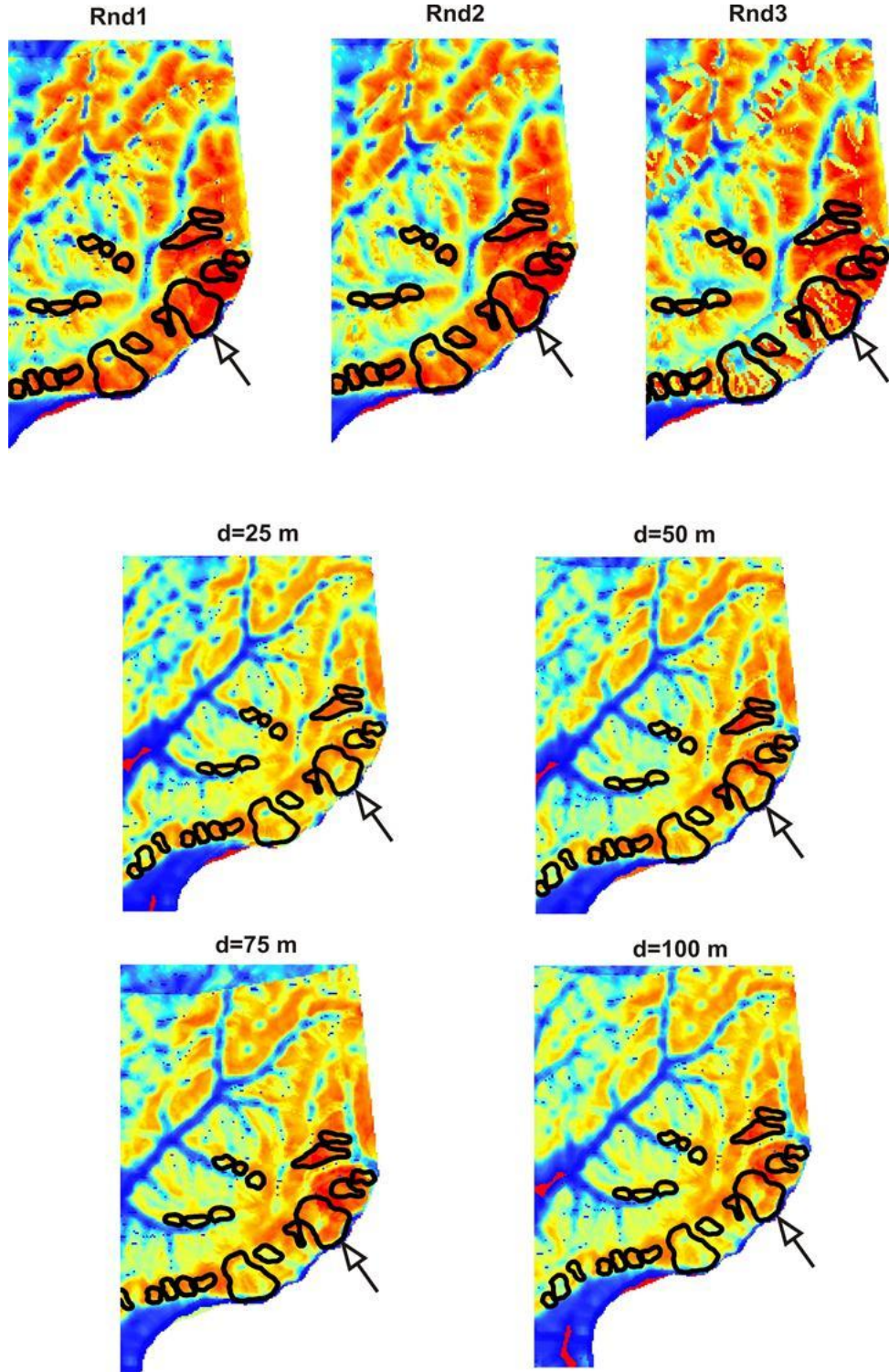


Şekil 5.5 (a). Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli ile üretilen heyelan duyarlılık haritaları



Şekil 5.5 (b) Kök hücre örnekleme modelinin farklı tampon mesafelerindeki örneklemleri ile üretilen heyelan duyarlılık haritaları





Şekil 5.6. Yer değiştirme+birikme alanı örnekleme ve kök hücrelerinin farklı tampon mesafelerindeki örnekleme setleri (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) kullanılarak geliştirilen lojistik regresyon model sonucuna ilişkin duyarlılığın örnek harita görünümü (Heyelan duyarlılık değeri “mavi”den “kırmızı”ya doğru artmaktadır).

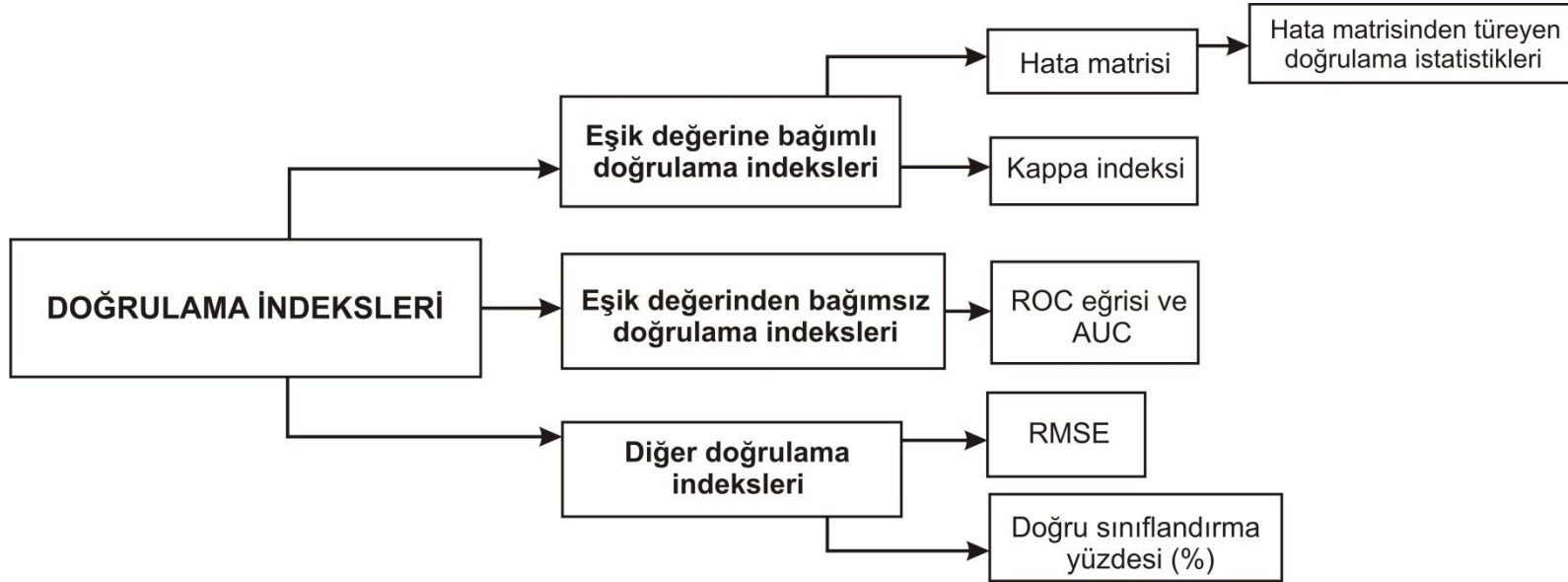


## **6. HEYELAN DUYARLILIK MODELLERİNİN DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ**

Bir modelin doğrulaması doğal tehlike çalışmalarının önemli bir aşamasını oluşturmaktadır (Begueria, 2006). Modelin doğruluk değerlendirmesi hem oluşturulan farklı modellerin birbirleriyle hem de modelde kullanılan veri setlerindeki parametrelerin ya da bağımsız değişkenlerin birbirleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlar (Begueria, 2006). Model doğrulama değerlendirmesinin tahmin modellemesinde çok önemli bir rolü olmasına rağmen, literatürde karşılaşılan birçok çalışmada model doğrulamasına gerekli önem verilmemiş, modellerde sadece temel bazı doğruluk istatistiklerine yer verilmiştir (Begueria, 2006). Doktora tezi kapsamında, oluşturulan her iki örneklem strateji modeli içinde belirlenen doğrulama indeksleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

### **6.1. Doğrulama İndeksleri**

Doktora tez çalışması kapsamında oluşturulan modellerin doğrulama indeksleri Begueria (2006)'nın yaptığı çalışma temel alınarak, eşik değerinden bağımsız, eşik değerine bağımlı ve diğer doğrulama indeksleri olmak üzere 3 grupta incelenmiş ve başlıklar halinde detaylı bir şekilde aşağıda anlatılmıştır (Şekil 6.1).

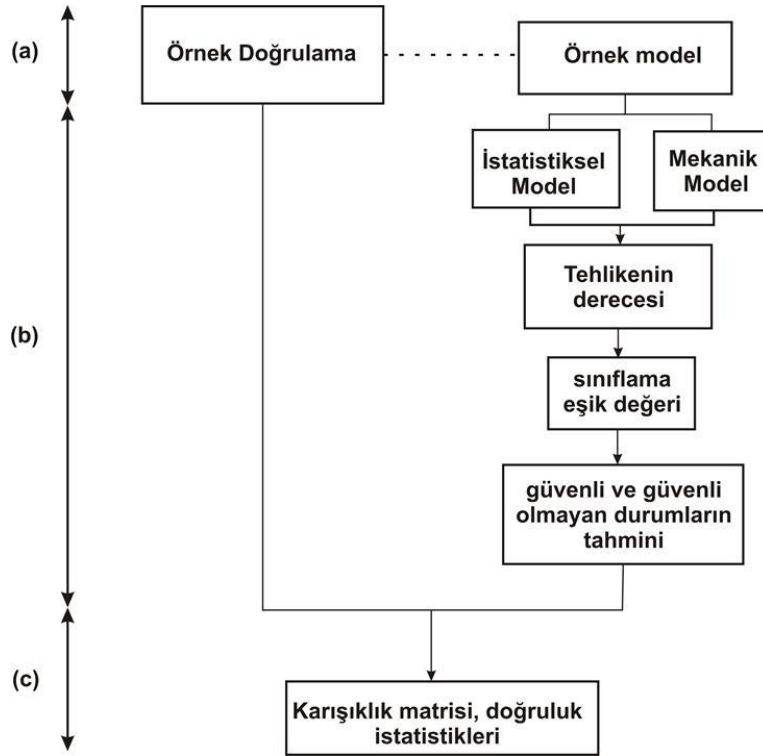


Şekil 6.1. Begueria (2006)'ya göre belirlenen doğrulama indekslerinin hesaplanmasını gösteren akış şeması

## 6.1.1. Eşik değerine bağımlı (threshold dependent) doğrulama indeksleri

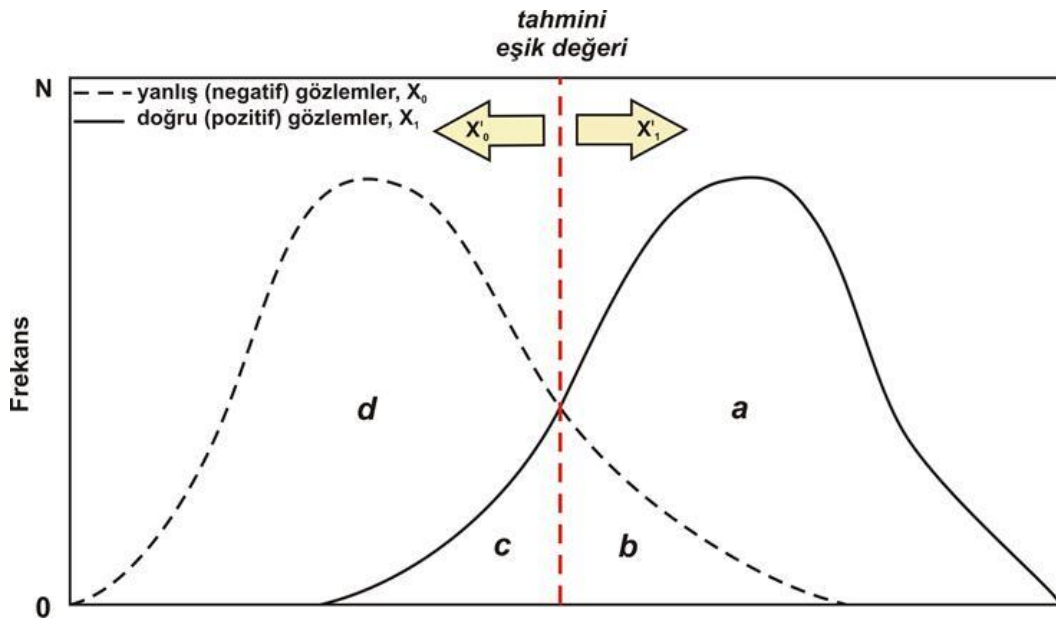
### 6.1.1.1. Hata matrisi (confusion matrix) ve hata matrisinden türeyen doğrulama istatistikleri

Birçok durumda, sınıflama eşik değerinin belirlenmesi hata matrisinin oluşturulması ve hata matrisinden türeyen model etkililiği gibi doğrulama istatistiklerinin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır (Begueria, 2006). Tehlike modellemesindeki hata matrisi ve hata matrisinden türeyen diğer istatistiklerin şematik gösterimi Şekil 6.2’de verilmiştir. Bu şemada izlenecek yol, tehlike derecesini açıklayan sürekli değişkenlerin belirlenmesi ve daha sonra sınıflama eşik değerinin sürekli değişkenleri iki ya da daha fazla sınıfa ayırmak için kullanılmasıdır. Bu kategorik çözüm modelin sonuç ürününü ve doğrulama veri kümelerindeki gözlemleri ve tahminleri birbirleriyle karşılaştırarak oluşturulmuş model doğrulamasını dikkate almaktadır (Chung and Fabbri, 2003).



Şekil 6.2. Olasılık model taslağının şematik gösterimi, (a): örnekleme, (b):modelin oluşturulması, (c): model doğrulaması (Begueria, 2006'dan alınmıştır).

Varlık (1) ve yokluk (0) veri setlerinin frekans dağılımları Şekil 6.3'te görülmektedir. Güvenli (safe,  $X'_0$ ) ve güvenli değil (unsafe,  $X'_1$ ) olarak varlık ve yokluk veri setlerini birbirinden ayıran sınıflama eşik değeri (düşey eksende gösterilmiş) ve bu iki veri setinin görünümü pozitif vakaların eşit olduğu durumlarda Şekil 6.3'teki gibi görülmektedir. Birçok modelde, verilerde çok iyi örtüşme olmasına rağmen bazı tahmin hataları söz konusu olmaktadır. Bu tahmin hataları b ve c ile gösterilmektedir. Burada, b yanlış pozitifleri ya da hata tipi I ve c ise yanlış negatifleri ya da hata tipi II; a ve d veri setleri ise doğru pozitif ve doğru negatifleri göstermektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Doğru ve yanlış (negatif) gözlemlerin frekans dağılım grafiği (a: doğru pozitif, b: yanlış pozitif, c: yanlış negatif, d: doğru negatif;) (Begueria, 2006'dan alınmıştır)

Bir tahmini eşik değeri kabul edildikten sonra, hata matrisinin oluşturulmasını sağlayan ikili tahminler doğrulama örneği ile karşılaştırılmaktadır. Oluşturulan bu hata matrisi pozitif ve negatif durumlar (cases) için doğru tahmin ve doğru tahmin edilmeyen gözlemlerin sayısını göstermektedir. Şekil 6.4'deki hata matrisinde gözlenen ve tahmin edilen varlık (1) ve yokluk (0) veri setlerinin hangi harfe karşılık geldiği görülmektedir. Hata matrisinden türeyen doğrulama istatistiklerinin formülasyonu ve tanımlamaları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Yer değiştirme+birikme

alanı örneklem modeli ve kök hücre örneklem modelinin birbirinden bağımsız rastgele seçilen örneklem setlerinin hata matrisleri sırasıyla Şekil 6.5’de ve Şekil 6.6.1,2,3,4’te; hata matrisinden türeyen, sınıflama ve tahmin modellerinde kullanılan bazı doğrulama istatistik değerleri de Çizelge 6.2’de verilmiştir.

		Gözlenen	
		$X_1$ (varlık)	$X_0$ (yokluk)
Tahmin edil	$X'_1$ (varlık)	<b>a</b>	<b>b</b>
	$X'_0$ (yokluk)	<b>c</b>	<b>d</b>

Şekil 6.4. Hata matrisinde; a, doğru pozitif; b, yanlış pozitif; c, yanlış negatif ve d, doğru negatiflerin gösterimi

		(a)		(b)	
		Gözlenen		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$	$X_1$	$X_0$
Tahmin edil	$X'_1$	12263	3329	12256	3336
	$X'_0$	5138	10451	5172	10420

**(c)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	12318	3274
	$X'_0$	5153	10439

Şekil 6.5. Yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) modelinin üç farklı rastgele örnekleme için (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 oluşturulan hata matrisi

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	3272	911
	$X'_0$	1466	2717

**(a)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	3342	841
	$X'_0$	1418	2765

**(b)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	3318	865
	$X'_0$	1475	2708

**(c)**

Şekil 6.6.1  $d=25$  m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme için (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi

		<b>(a)</b>		<b>(b)</b>	
		Gözlenen		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$	$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	6180	1708	6230	1659
	$X'_0$	2699	5190	2692	5197

		<b>(c)</b>	
		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	6189	1700
	$X'_0$	2714	5175

Şekil 6.6.2.  $d=50$  m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi

		<b>(a)</b>		<b>(b)</b>	
		Gözlenen		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$	$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	9570	2533	9465	2638
	$X'_0$	4191	7912	4203	7900

**(c)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	9498	2605
	$X'_0$	4150	7953

Şekil 6.6.3.  $d=75$  m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi

**(a)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	11739	3262
	$X'_0$	5124	9877

**(b)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	11746	3259
	$X'_0$	5165	9836

**(c)**

		Gözlenen	
		$X_1$	$X_0$
Ta hm in edil	$X'_1$	11710	3291
	$X'_0$	5157	9844

Şekil 6.6.4.  $d=100$  m mesafedeki kök hücresi modelinin üç farklı rastgele örnekleme (a) Rnd1, (b) Rnd2, (c) Rnd3 için oluşturulan hata matrisi



Çizelge 6.1. Hata matrisinden türetilen doğrulama istatistiklerinin formülasyonu ve anlamı (Begueria, 2006'dan alınmıştır)

Etkinlik (efficiency)	$(a + d) / N$	Doğru sınıflandırılmış gözlemlerin oranı
Yanlış sınıflama oranı	$(b + c) / N$	Doğru sınıflandırılmamış gözlemlerin oranı
Odds oranı	$(a + d) / (b + c)$	Doğru ve yanlış sınıflandırılan durumların oranı
Pozitif tahmin değeri (gücü)	$a / (a + b)$	Toplam pozitif tahminlerden doğru pozitiflerin oranı
Negatif tahmin değeri (gücü)	$d / (c + d)$	Toplam negatif tahminlerden doğru negatiflerin oranı
Duyarlılık (sensitivity)	$a / (a + c)$	Doğru tahmin edilen pozitif durumların oranı
Özgüllük (specificity)	$d / (b + d)$	Doğru tahmin edilen negatif durumların oranı
Yanlış pozitiflik oranı	$b / (b + d)$	Toplam negatif gözlemlerden yanlış pozitiflerin oranı
Yanlış negatiflik oranı	$c / (a + c)$	Toplam pozitif gözlemlerden yanlış negatiflerin oranı
Olabilirlik oranı (likelihood ratio)	Duyarlılık / (1-özgüllük)	Doğru pozitif ve yanlış negatifler arasındaki oran

Çizelge 6.2. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem strateji modeli (Model 1) ve kök hücre örneklem strateji modelinin (Model 2) hata matrisinden türeyen doğrulama istatistik değerleri

Model örneklem	Etkinlik değeri	Yanlış sınıflama oranı	Odds oranı	Pozitif tahmin değeri	Negatif tahmin değeri	Duyarlılık (sensitivity)	Analitik Özgüllük (specificity)	Yanlış pozitiflik oranı	Yanlış negatiflik oranı	Olabilirlik oranı (likelihood ratio)
<b>MODEL 1</b>										
Rnd1	0.728	0.272	2.683	0.786	0.670	0.705	0.758	0.242	0.295	2.917
Rnd2	0.727	0.273	2.665	0.786	0.668	0.703	0.757	0.243	0.297	2.900
Rnd3	0.730	0.270	2.700	0.790	0.670	0.705	0.761	0.239	0.295	2.953
<b>MODEL 2</b>										
<b>Rnd1</b>										
d=25m	0.716	0.284	2.520	0.782	0.650	0.691	0.741	0.251	0.309	2.750
d=50m	0.721	0.279	2.580	0.783	0.658	0.696	0.752	0.248	0.304	2.811
d=75m	0.722	0.278	2.600	0.791	0.654	0.695	0.757	0.243	0.305	2.868
d=100m	0.720	0.280	2.578	0.783	0.658	0.696	0.752	0.248	0.304	2.804

Çizelge 6.2. (devam ediyor) Yer değiştirme+birikme alanı örneklem strateji modeli (Model 1) ve kök hücre örneklem strateji modelinin (Model 2) hata matrisinden türeyen doğrulama istatistik değerleri

Model örneklem	Etkinlik değeri	Yanlış sınıflama oranı	Odds oranı	Pozitif tahmin değeri	Negatif tahmin değeri	Duyarlılık (sensitivity)	Analitik Özgüllük (specificity)	Yanlış pozitiflik oranı	Yanlış negatiflik oranı	Olabilirlik oranı (likelihood ratio)
<b>Rnd2</b>										
d=25m	0.730	0.270	2.703	0.799	0.661	0.702	0.767	0.233	0.298	3.010
d=50m	0.724	0.276	2.626	0.790	0.659	0.698	0.758	0.242	0.302	2.886
d=75m	0.717	0.283	2.538	0.782	0.653	0.692	0.750	0.250	0.308	2.766
d=100m	0.719	0.281	2.562	0.783	0.656	0.695	0.751	0.249	0.305	2.791
<b>Rnd3</b>										
d=25m	0.720	0.280	2.575	0.793	0.647	0.692	0.758	0.242	0.308	2.859
d=50m	0.720	0.280	2.575	0.785	0.656	0.695	0.753	0.247	0.305	2.811
d=75m	0.721	0.279	2.583	0.785	0.657	0.696	0.753	0.247	0.304	2.821
d=100m	0.718	0.282	2.551	0.781	0.656	0.694	0.749	0.251	0.306	2.771

### 6.1.1.2. Cohen'in Kappa indeksi

Hata matrisinden türeyen bir doğrulama indeksi olan kappa indeksi ( $k$ ) aşağıdaki basit eşitlikle hesaplanmaktadır (Eş 6.5). Bu eşitlikte,  $P$ , doğruluk değeri ve  $P_e$  doğru sınıfı tahmin etme olasılığıdır (Ben-David, 2008). Cunningham (2009) kappa indeksi ile ilgili yaptığı çalışmada,  $P_{pos}$ , modelde varlık (1) verisini tahmin etme olasılığı ve  $P_{neg}$ , yokluk (0) verisini tahmin etme olasılığı olarak tanımlamıştır.  $P$  ve  $P_e$ ,  $P_{pos}$ ,  $P_{neg}$  ve kappa indeksi ( $k$ )'nın sayısal ifadeleri Eş. 6.1, 6.2, 6.3 ve Eş. 6.4'te görülmektedir.

$$P = \frac{a+d}{N} \quad (6.1)$$

$$P_e = \frac{(a+b)(a+c)+(c+d)(d+b)}{N^2} \quad (6.2)$$

$$P_{pos} = (2a)/(N + a - d) \quad (6.3)$$

$$P_{neg} = (2d)/(N - a + d) \quad (6.4)$$

$$k = \frac{P-P_e}{1-P_e} \quad (6.5)$$

Kappa indeks değeri -1 ile 1 arasında değişmektedir. Negatif kappa indeks değerleri rastgele yapılan model performansını daha kötü göstermektedir ve bu yüzden veri madenciliği ve yapay zeka ile öğrenme gibi tekniklerin ilgi alanına girmemektedir (Kaymak et al., 2012). ROC eğrileri iki boyuta sahip olmasına rağmen Kappa indeksi basit sayısal bir ölçü olduğu için, Kappa indeks değerleri ROC eğrilerinden daha az anlamlıdır. Buna rağmen, sınıf sayısının çok oluşu onun ROC eğrilerine göre daha rahat uygulanabilirliğini göstermektedir (Ben-David, 2008). Kappa indeks değerini kullanarak modelin uyumluluk gücünü belirlemek için Landis and Koch (1977) tarafından bir sınıflama abağı önerilmiştir (Çizelge 6.3).

Yapılan doktora tez çalışması kapsamında, hem model 1 (heyelan kütlesi örneklem modeli) hem de model 2 (kök hücresi örneklem modeli) için hesaplanan Kappa indeks değerleri, doğru sınıfı tahmin etme olasılığı, olma olasılığını (varlık,1 verisi) ve olmama olasılığını (yokluk,0 verisi) tahmin etme olasılığı Çizelge 6.4'te verilmiştir. Landis and Koch (1977)'un önerdiği Kappa indeksi sınıflama abağına göre, her iki model için de belirlenen Kappa indeksi (k) değerleri oluşturulan modellerin uyumluluk güçlerinin “orta derecede iyi” olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.3. Landis and Koch (1977) tarafından önerilen Kappa indeksi (k) sınıflaması

Kappa indeksi (k)	Uyumluluk gücü (model iyiliği derecesi)
<0.00	Çok zayıf
0.00-0.20	Zayıf
0.21-0.40	İyi
0.41-0.60	Orta derecede iyi
0.61-0.80	Oldukça iyi
0.81-1.00	Neredeyse mükemmel

Çizelge 6.4. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli (Model 1) ve kök hücre örneklem modelinin (Model 2) doğru sınıfı tahmin etme, varlık (1) ve varlık (0) tahmin etme olasılıkları ve Kappa indeks değerleri

			<i>Doğru sınıfı tahmin etme olasılığı (<math>P_e</math>)</i>	<i>Varlık (1) tahmin etme olasılığı</i>	<i>Varlık (0) tahmin etme olasılığı</i>	<i>Kappa indeksi (k)</i>
<i>MODEL 1</i>	<b>Rnd1</b>		0.72	0.743	0.712	0.456
	<b>Rnd2</b>		0.72	0.742	0.710	0.454
	<b>Rnd3</b>		0.72	0.745	0.712	0.459
<i>MODEL 2</i>	Rnd1	d=25m	0.71	0.734	0.696	0.431
		d=50m	0.72	0.737	0.702	0.441
		d=75m	0.72	0.740	0.702	0.444
		d=100m	0.72	0.737	0.702	0.440
	Rnd2	d=25m	0.72	0.748	0.710	0.459
		d=50m	0.72	0.741	0.705	0.448
		d=75m	0.71	0.735	0.698	0.434
		d=100m	0.71	0.736	0.700	0.438
	Rnd3	d=25m	0.72	0.739	0.698	0.440
		d=50m	0.72	0.737	0.701	0.440
		d=75m	0.72	0.738	0.702	0.441
		d=100m	0.71	0.735	0.700	0.436

## 6.1.2. Eşik değerinden bağımsız (threshold independent) doğrulama indeksleri

### 6.1.2.1. ROC eğrisi ve ROC eğrisi altında kalan alan (AUC)

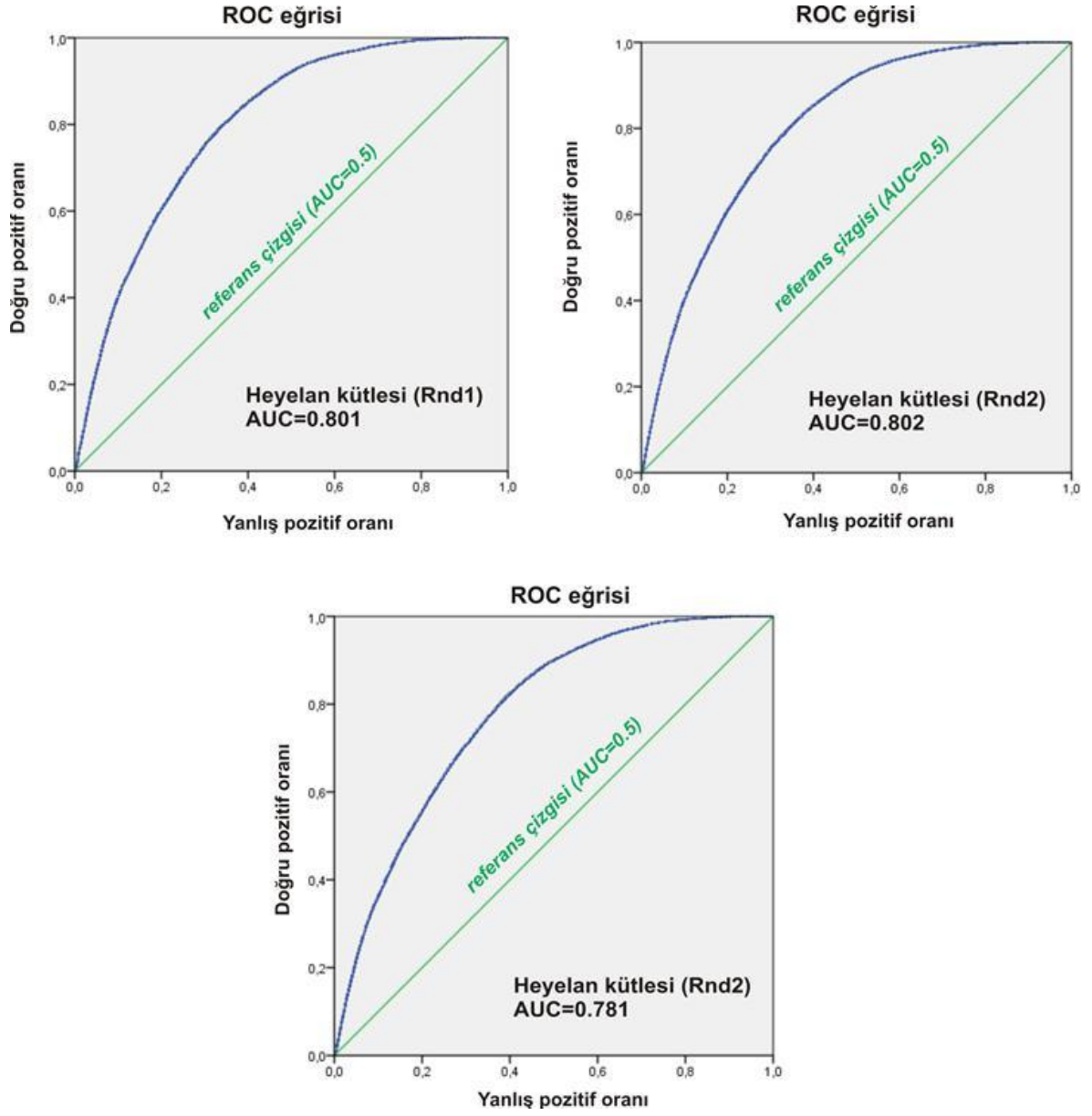
Bir ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflik (1-belirlilik) oranlarının yer aldığı bir eğridir. ROC eğrisi üzerindeki her nokta, farklı eşik değerlerine karşılık gelen duyarlılık ve 1- belirlilik değerlerini ortaya koyar (Begueria, 2006). Bu değerler, pozitif ve negatif gözlemler arasında doğru ayrımı yapılabilmesi için modelin yeterliliğinin (yeteneğinin) göstergesidir (Begueria, 2006). Genelde düşük yanlış pozitiflik oranlarını veren eşik değerleri, düşük doğru pozitiflik oranına da sahiptir. Doğru pozitiflik oranı arttıkça, yanlış pozitiflik oranı da artar (Dirican, A., 1991). Mükemmel yakın bir performans analizi, sol üst köşeye en yakın geçen ROC eğrisini veren analiz en kullanışlı analizdir. ROC eğrisinde, (0,0) ile (1,1) noktalarını birleştiren köşegen çizgi referans çizgisi olarak kabul edilir. Bu çizgiye yakın bir ROC eğrisine sahip bir model başarısız bir modeldir. Genel olarak en başarılı model, doğru pozitiflik oranı yüksek ve yanlış pozitiflik oranı düşük olan modeldir. ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değeri de ROC eğrisi gibi eşik değerinden bağımsız indeks bir değer olarak kabul edilmekte ve bu değer oluşturulan model için tahmini tek bir eşik değerinden bağımsız doğruluk istatistiği olarak kullanılmaktadır (Begueria, 2006). Eğri altında kalan alanın (AUC) olası değerleri, 0.5 (referans çizgisini temsil ediyor)'ten 1 (mükemmel ayırmayı temsil ediyor)'e kadar değişim göstermektedir (Begueria, 2006). İdeal bir model, ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerinin 1'e yakın olduğu durumu gösterirken, 0.5'e yakın bir değer, söz konusu modelin doğruluğunun oldukça az olduğunu işaret etmektedir (Fawcett, 2006). Yer değiştirme+birikme alanı (heyelan kütlesi) örneklem modeli ve kök hücre örneklem modelinin birbirinden bağımsız rastgele seçilen örneklem veri setlerinin IBM SPSS Statistics (Version 20) programı kullanılarak ROC eğrileri çizilmiş ve ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir. Her iki model için de çizilen ROC eğrilerinin 0.5 referans çizgisine oldukça uzak çıktığı görülmektedir (Şekil 6.7; 6.8). Bir başka ifadeyle her

iki örneklem modeli için de hesaplanan AUC değerleri 1'e yakın çıkmıştır (Çizelge 6.5). Bu da modellerin performanslarının oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

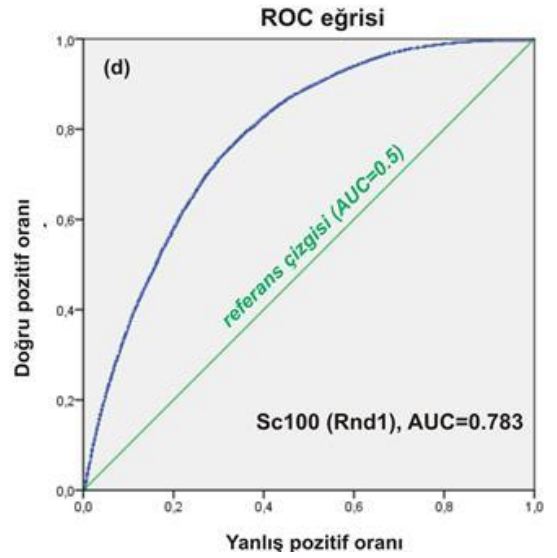
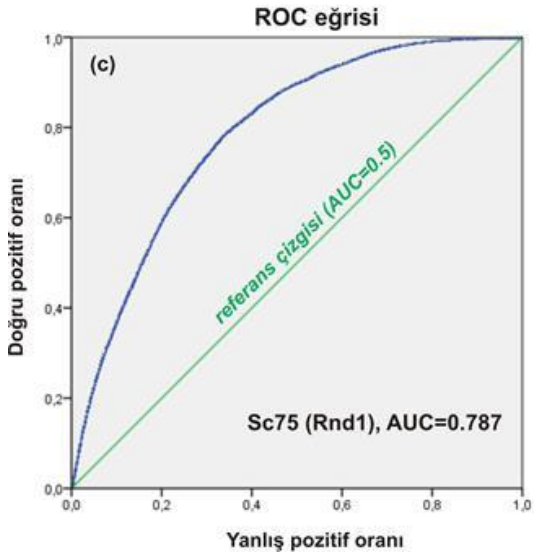
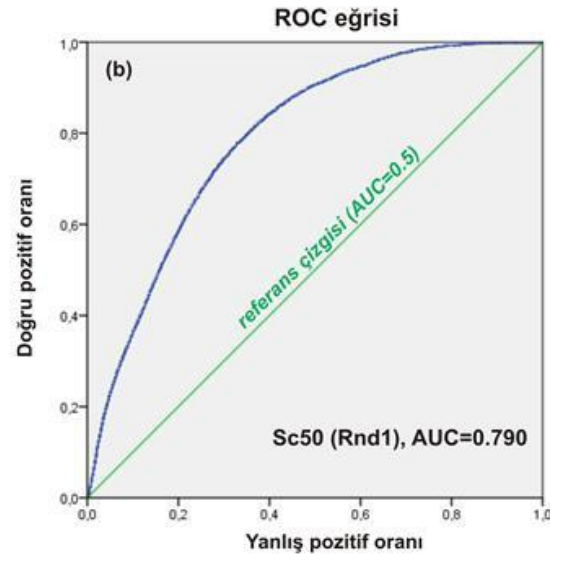
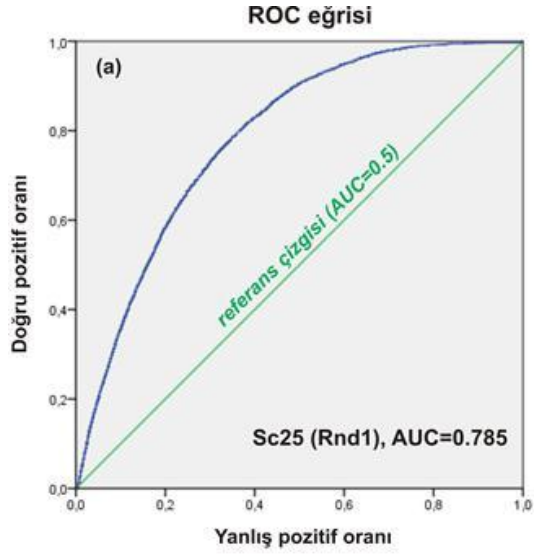
Çizelge 6.5. Model 1 ve Model 2 için ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerleri

		<b>Eğri altında kalan alan (AUC)</b>		
		<i>Rnd1</i>	<i>Rnd2</i>	<i>Rnd3</i>
<b>MODEL 1</b> (Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli)		0.801	0.802	0.781
<b>MODEL 2</b> (kök hücre örneklem modeli)	d=25 m	0.785	0.790	0.789
	d=50 m	0.790	0.792	0.792
	d=75 m	0.787	0.788	0.789
	d=100 m	0.783	0.785	0.786

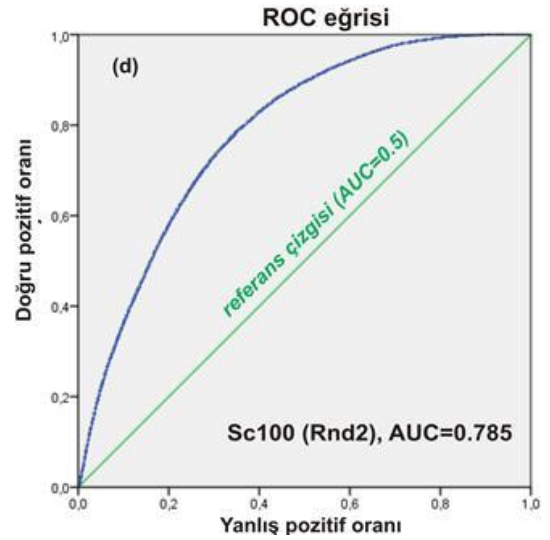
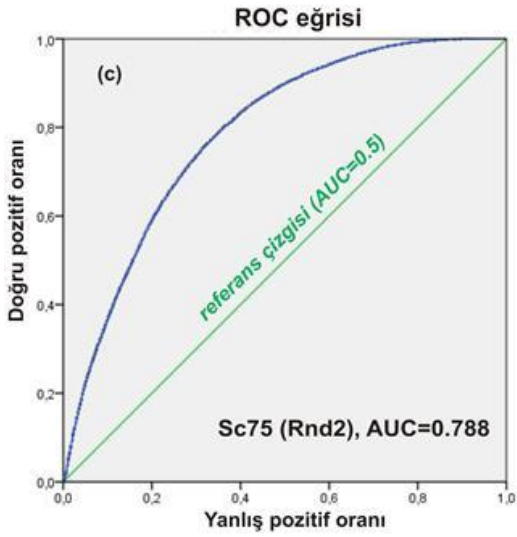
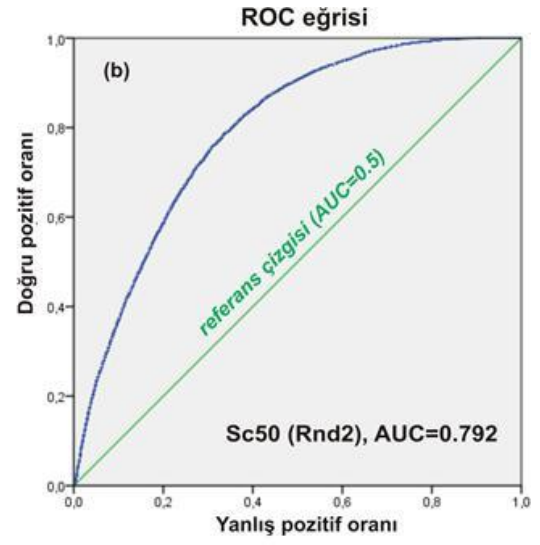
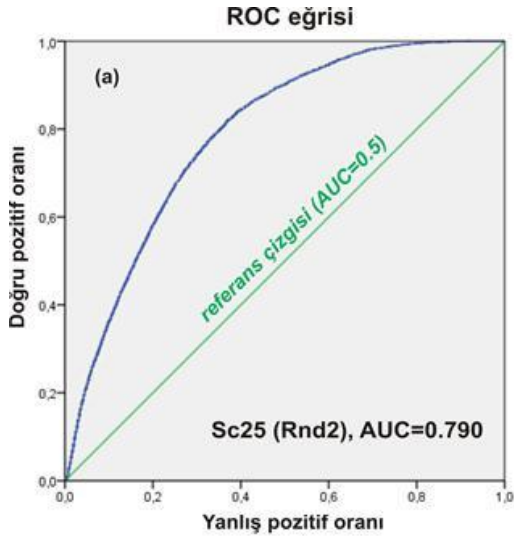




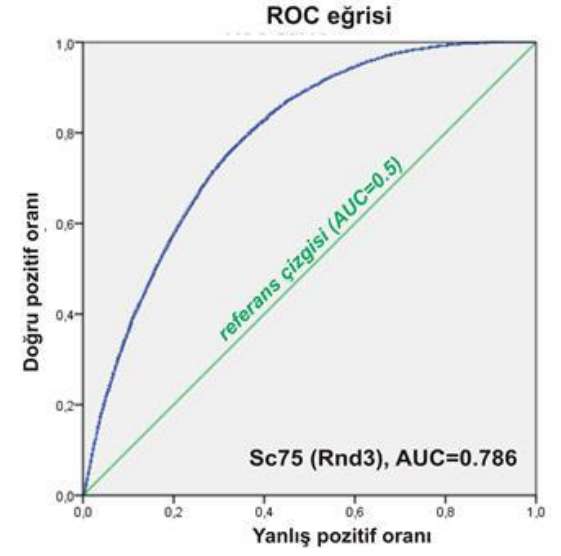
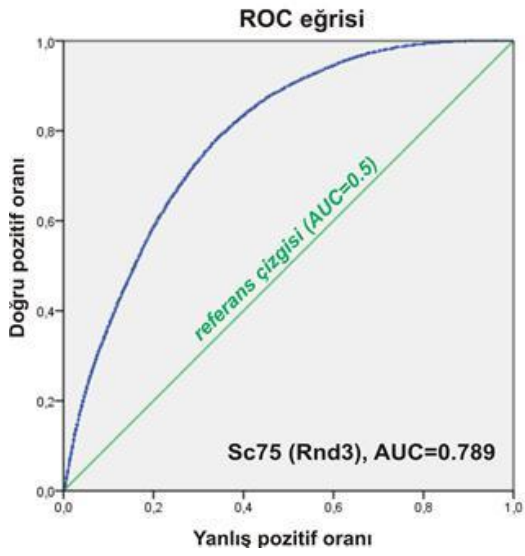
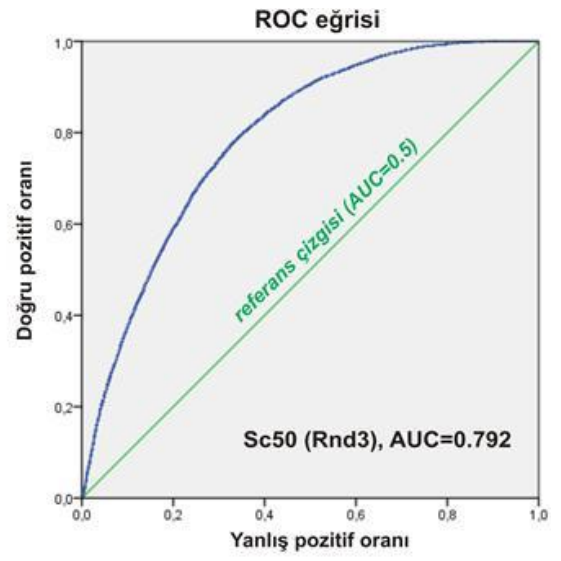
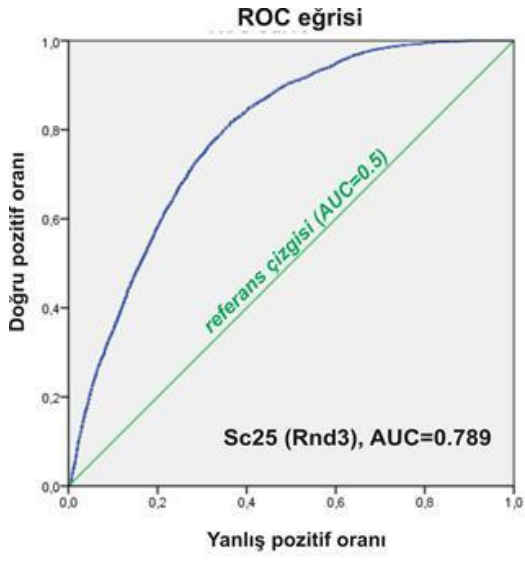
Şekil 6.7. Heyelan kütleli örneklem modelinin (a) birinci rastgele seçilen veri seti (Rnd1), ikinci rastgele seçilen veri seti (Rnd2) ve üçüncü rastgele seçilen veri seti (Rnd3) için oluşturulan ROC eğrileri



Şekil 6.8 (a). Farklı tampon mesafelerindeki ( $d=25$  m,  $d=50$  m,  $d=75$  m ve  $d=100$  m) kök hücre örneklem setlerinin birinci rastgele seçilen veri seti (Rnd1) için çizilen ROC eğrileri



Şekil 6.8 (b). Farklı tampon mesafelerindeki ( $d=25$  m,  $d=50$  m,  $d=75$  m ve  $d=100$  m) kök hücre örneklem setlerinin ikinci rastgele seçilen veri seti (Rnd1) için çizilen ROC eğrileri



Şekil 6.8 (c). Farklı tampon mesafelerindeki ( $d=25$  m,  $d=50$  m,  $d=75$  m ve  $d=100$  m) kök hücre örneklem setlerinin üçüncü rastgele seçilen veri seti (Rnd1) için çizilen ROC eğrileri

### 6.1.3. Diğer doğrulama indeksleri

#### 6.1.3.1. RMSE indeksi ve doğru sınıflandırma yüzdesi (%)

RMSE (Root Mean Square Error) performans indeksi birçok mühendislik çalışmasında olduğu gibi heyelan duyarlılık çalışmalarında da model performans değerlendirmelerinde sıkça kullanılan istatistiklerdendir ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır. Mükemmel bir model RMSE değeri de “0” olan modeldir. Heyelan kütlesi ve kök hücresi modellerinin performansını değerlendirmek ve diğer performans indeksleri ile karşılaştırmak amacıyla modellerin kontrol veri setlerinden itibaren kestirilen olasılık değerlerine bağlı olarak varlık (1) verisine ait RMSE indeks değerleri ve doğru sınıflandırma yüzdesi (%) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Eş. 6.6).

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \times \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (6.6)$$

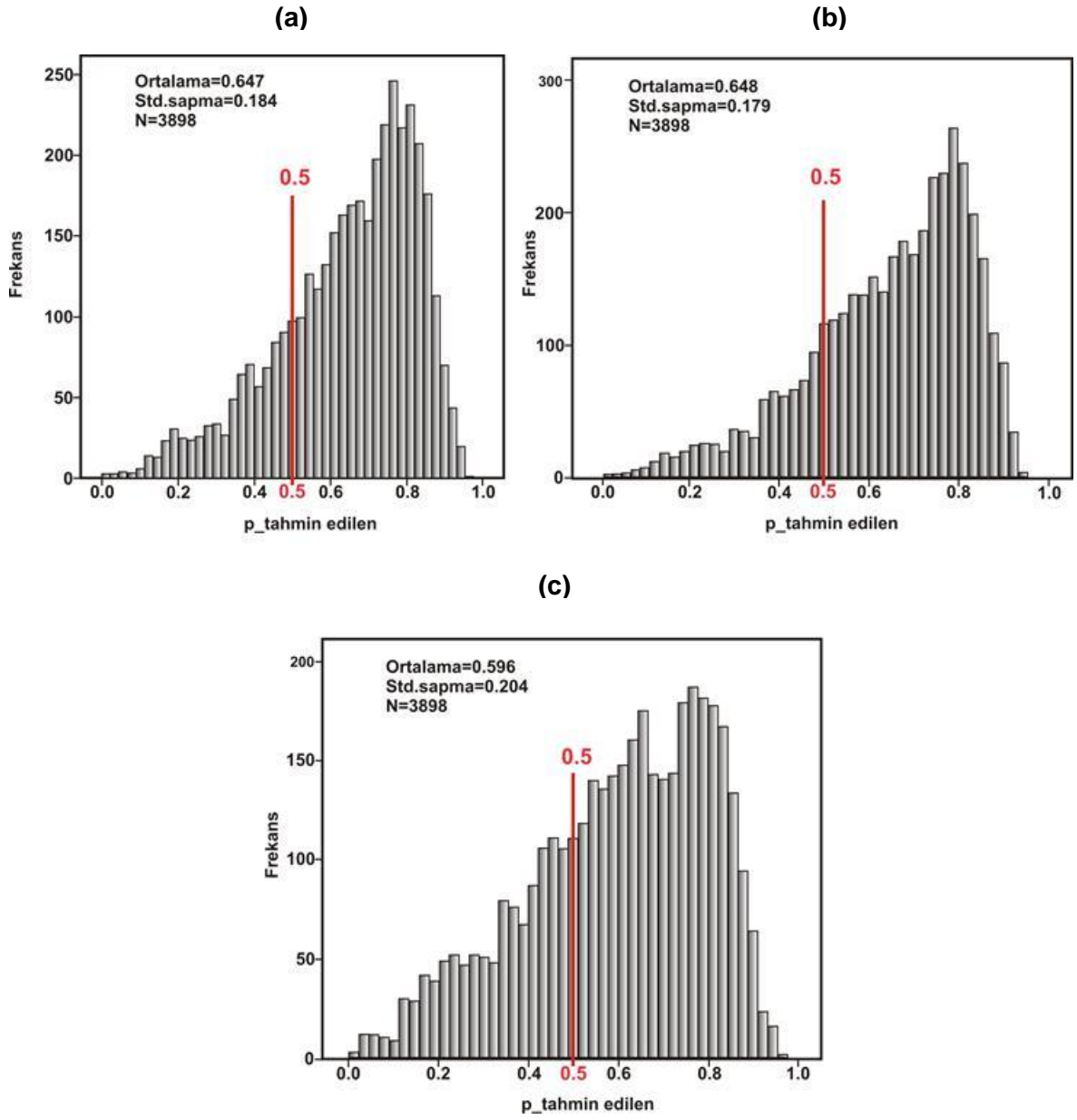
Heyelan kütlesi ve kök hücresi modellerinin rastgele seçilmiş farklı örneklem setlerinin hesaplanan RMSE ve doğru sınıflandırma yüzdesi (%) değerleri Çizelge 6.6’da verilmiştir. Doğru sınıflandırma yüzdeleri eşik değeri 0.5 alınarak modellerdeki toplam kontrol veri setinin heyelanlı alanların yüzde kaçını doğru tahmin ettiğini göstermektedir. Buna göre, heyelan kütlesi örneklem modelinin doğru sınıflandırma yüzdeleri birinci rastgele örneklem için %79.7, ikinci rastgele örneklem için %80.5 ve üçüncü rastgele örneklem için ise %69.8 olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan kök hücresi örneklem modelinin doğru sınıflandırma oranlarına bakıldığında, farklı tampon mesafelerindeki örneklemlerin (d=25 m, d=50 m, d=75 m ve d=100 m) değerlerin %76.6-88.5 arasında değiştiği görülmektedir. Heyelan kütlesi örneklem modelinin 3 rastgele yapılan örneklemlerinin (Rnd1,Rnd2 ve Rnd3) RMSE değerleri sırasıyla 0.398, 0.395 ve 0.453 olmak üzere birbirine çok yakın çıkmıştır. Farklı tampon mesafelerindeki (d=25 m, d=50 m, d=75 m, d=100 m) kök hücresi modelinin RMSE değerleri 0.334-0.422 arasında değiştiği görülmektedir. Heyelanlı alanları doğru tahmin

etme olasılığının frekans dağılım grafiklerine bakıldığında, hem yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli (Şekil 6.9) hem de kök hücre örneklem modeli Şekil 6.10(a,b,c,d) içinde örneklem verilerinin çoğunun tahmin edilen olasılık değerlerinin 0.5 eşik değerinin sağ tarafında kümelendiği, bir başka ifadeyle oluşturulan iki modelinde heyelanlı alanları tahmin etme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

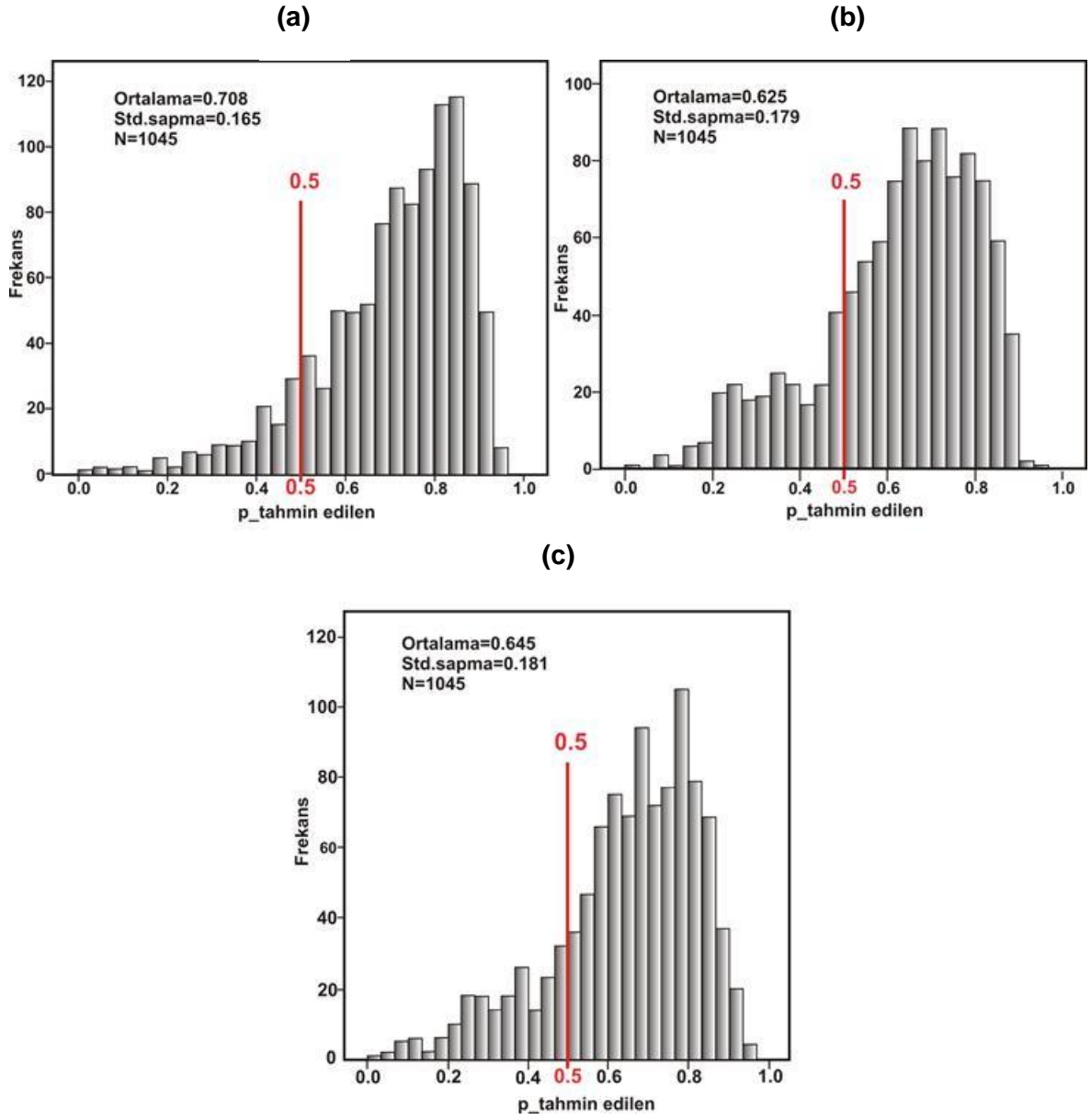
Gerek doğru sınıflandırma gerekse de RMSE değerleri dikkate alındığında, geliştirilen modellerin inceleme alanı içerisinde kabul edilebilir genelleme kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda, birbirinden bağımsız ve farklı örneklere ait belirlenen performans indeks değerlerinin dar bir aralıkta değişiyor olması model örneklemelerinin inceleme alanını temsil etme kapasiteleri olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.6. Model 1 ve Model 2'ye ait RMSE ve Doğru sınıflandırma % değerleri

			RMSE	Doğru Sınıflandırma Yüzdesi (%)
<b>Model 1</b>		<i>Rnd1</i>	0.398	79.7
		<i>Rnd2</i>	0.395	80.5
		<i>Rnd3</i>	0.453	69.8
<b>Model 2</b>	d = 25 m	<i>Rnd1</i>	0.334	88.5
		<i>Rnd2</i>	0.416	78.5
		<i>Rnd3</i>	0.398	81.3
	d = 50 m	<i>Rnd1</i>	0.411	76.6
		<i>Rnd2</i>	0.407	79.8
		<i>Rnd3</i>	0.406	79.8
	d = 75 m	<i>Rnd1</i>	0.422	77.0
		<i>Rnd2</i>	0.430	75.5
		<i>Rnd3</i>	0.414	78.5
	d = 100 m	<i>Rnd1</i>	0.407	79
		<i>Rnd2</i>	0.417	77.7
		<i>Rnd3</i>	0.403	79.6

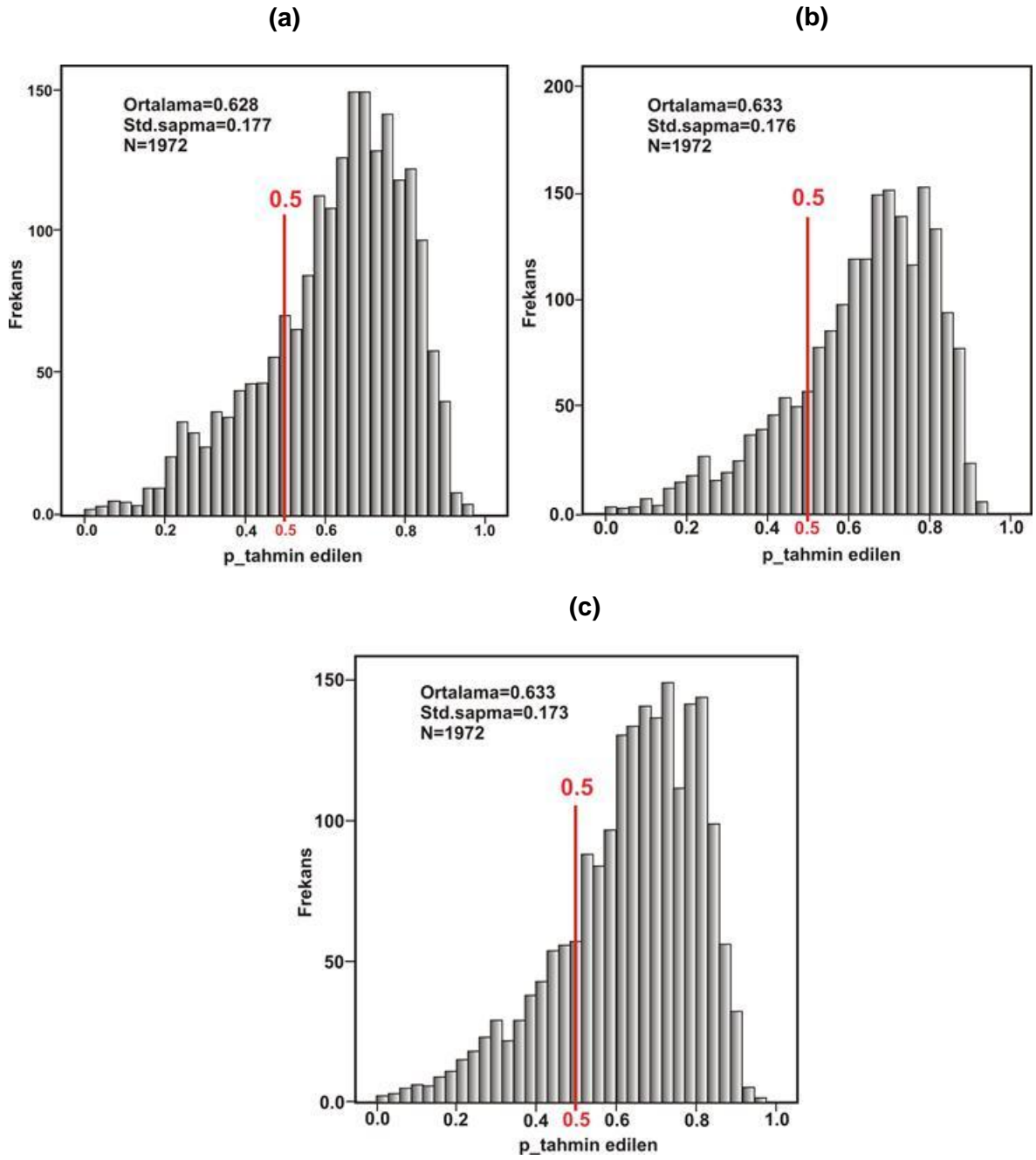


Şekil 6.9. Yer değıştirme+birikme alanı (heyelan kütle) modeli için tahmin edilen değęerlerin 0.5 eşik değęerine göre frekans dağılımları

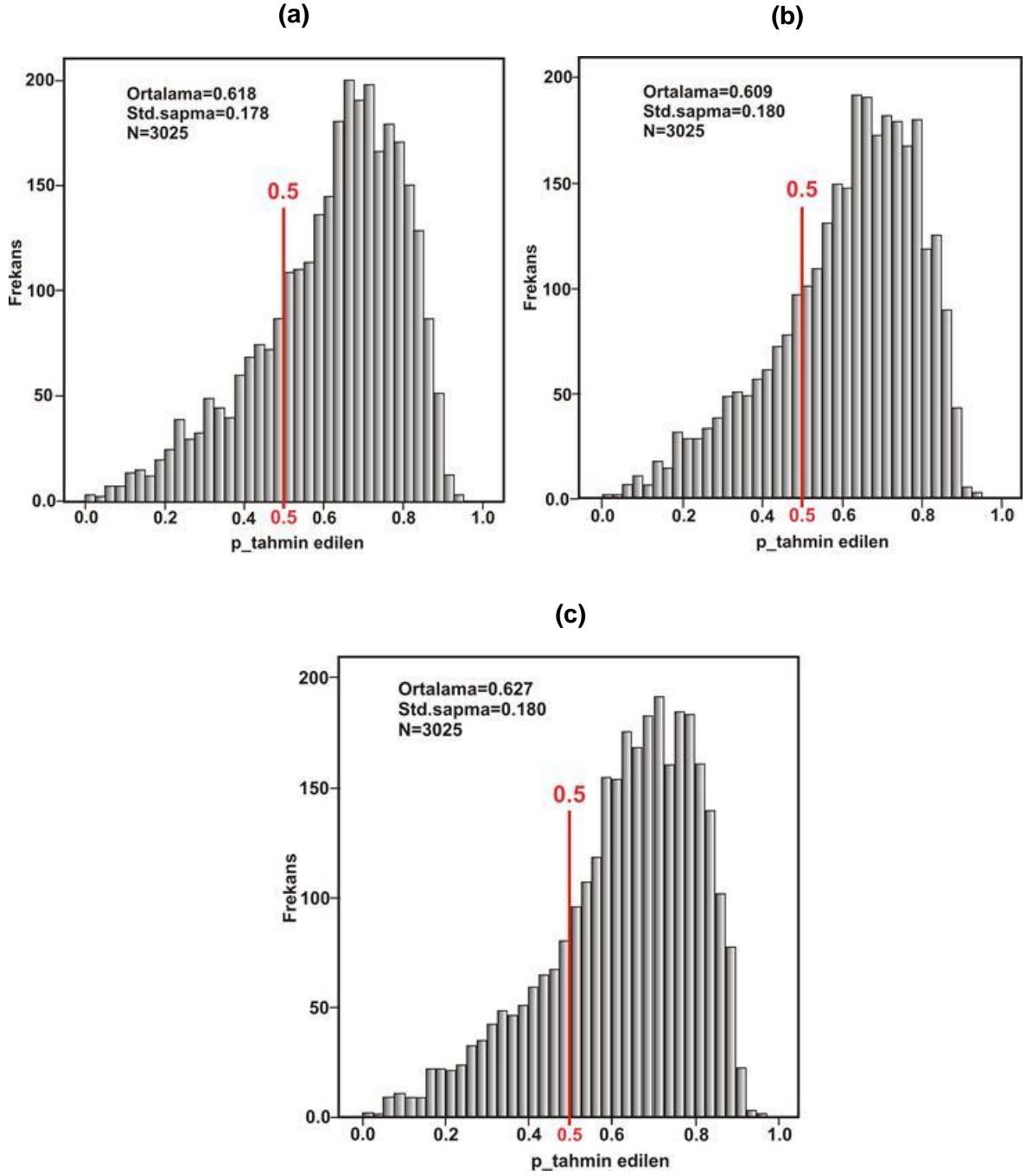


Şekil 6.10 (a) Kök hücre örneklem modelinde  $d=25$  m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları

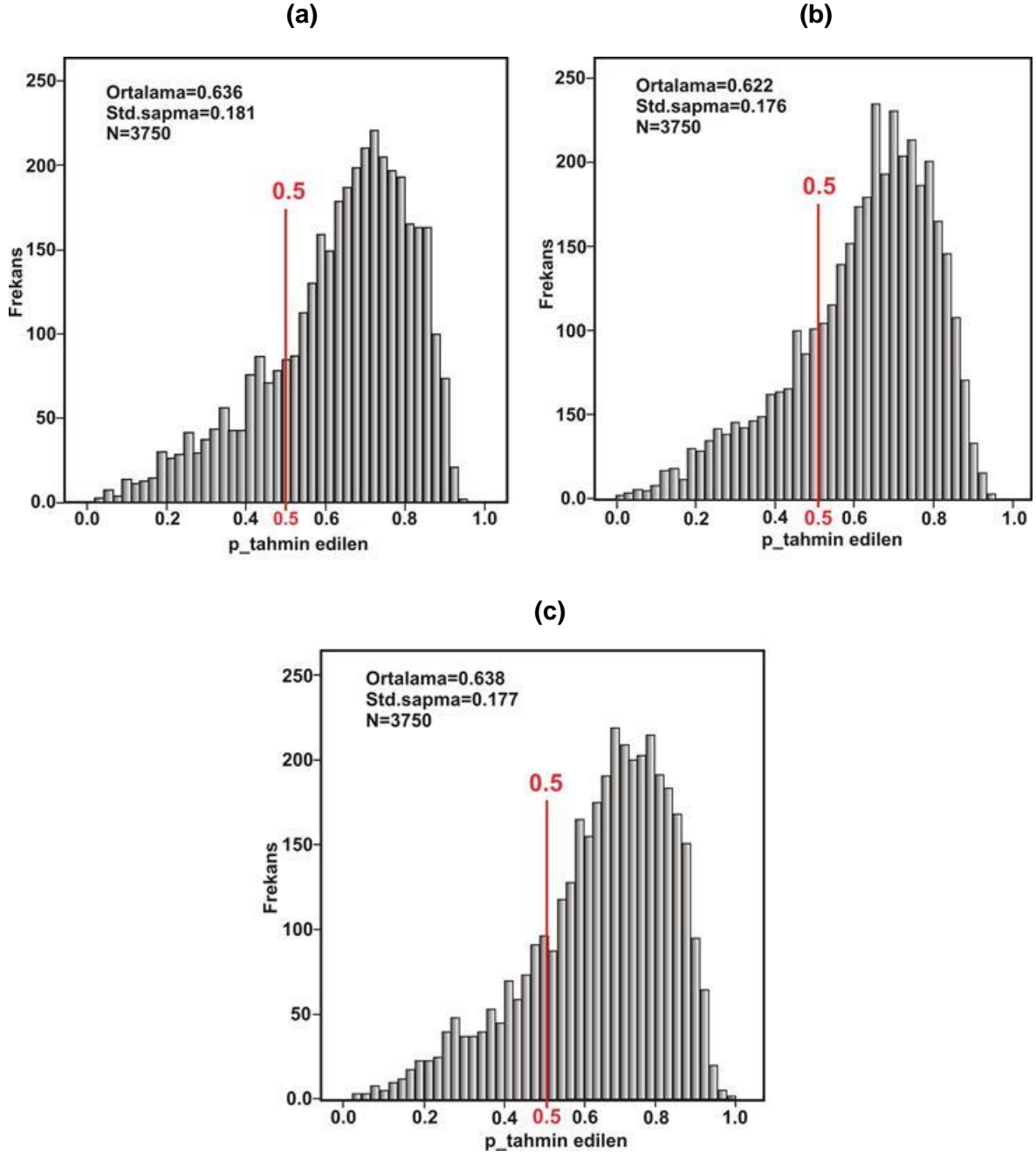




Şekil 6.10 (b). Kök hücre örneklem modelinde  $d=50$  m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları



Şekil 6.10 (c). Kök hücre örneklem modelinde  $d=75$  m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları



Şekil 6.10 (d). Kök hücre örnekleme modelinde  $d=100$  m için tahmin edilen değerlerin 0.5 eşik değerine göre frekans dağılımları

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında elde edilen genel sonuçlar ve bunlara bağlı olarak gerçekleştirilen tartışmalar aşağıda verilmiştir.

Çanakkale Gelibolu Yarımadasının doğu kesimi olarak seçilen 233 km<sup>2</sup>'lik çalışma alanında meydana gelmiş toplam 211 adet heyelan hava fotoğraflarından, Google Earth uydu görüntülerinden ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/500000 ölçekli heyelan envanter haritasından yararlanılarak haritalanarak sahaya ait güncel heyelan envanteri çıkarılmıştır.

Tez çalışmasının ilk aşamasında hazırlayıcı faktörler belirlenmiş ve bu faktörler topoğrafik parametreler, litoloji ve arazi kullanım sınıfları olmak üzere dört grupta incelenmiştir. Topoğrafik parametre olarak topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, plan ve profil yamaç eğriselliği, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi ve nehir aşındırma gücü indeksi olarak; yamaç yönelim parametresi 9 sınıfa, litoloji 13 formasyona ve arazi kullanımı da 8 sınıfa ayrılarak duyarlılık analizlerinde kullanılmıştır. Buna göre, çalışma alanında görülen heyelanların hazırlayıcı parametreleri incelendiğinde, haritalanmış heyelanların saha içerisinde genel olarak; Miyosen çökellerinde, ortalama 98 m yükseklikte, ortalama 9° yamaç eğiminde, yaklaşık güneye bakan yamaçlarda, topoğrafik nemlilik indeksi değerinin 0-21.682 arasında değiştiği arazi birimlerinde, akarsu aşındırma indeksinin 0-2.703 arasında izlenmiş olduğu alanlarda, sediman taşıma kapasitesi indeksinin 0-16.398 arasında görüldüğü alanlarda ve en çok sulanmayan ekilebilir alanlarda geliştiği görülmektedir. Çalışmada kullanılan her iki örneklem modelinde de parametrelerin değişimlerine bakıldığında belirgin değişimler göstermediği görülmektedir. Kök hücre örnekleminde parametrelerin varyans değerlerinin d mesafesinin artmasına bağlı olarak arttığı ve genel saha varyansına yaklaşma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması sırasında örneklem stratejisi yaygınlıkla karşılaşılan bir sorun olma özelliğinden yola çıkarak, tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi sürecinde Süzen and

Doyuran (2004a)'nın önerdiği kök hücre örneklem stratejisi ile literatürde yaygın olarak kullanılan yer değiştirme+birikme alanı örneklem stratejisi dikkate alınmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan heyelan kütesinden yapılan örneklemden elde edilen duyarlılık haritalarının aslında duyarlılık haritalamasından daha çok Nefeslioğlu (2008)'e göre "yarı otomatik heyelan haritalaması" olarak değerlendirilmesi gerektiği, duyarlılık haritalaması yapılacaksa, heyelanın taç kısmının ve yer değiştirme alanına ait kanatların gerisinde yenilme öncesi koşulların değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan, tez çalışması kapsamında duyarlılık haritalarının oluşturulmasında önerilen yaklaşımlardan biri olan kök hücre örneklem modelinin kullanılması uygun görülmüştür. Kök hücre örneklem modeliyle hazırlanan duyarlılık haritaları uygulamaya yönelik planlama çalışmalarında mevcut heyelan envanteri ile birlikte değerlendirilmelidir. Kök hücre modeliyle üretilen heyelan duyarlılık haritasında, heyelan kütesi içerisinde olasılığın düştüğü, yer değiştirme+birikme alanının dışında ise olasılığın arttığına dikkat edilmelidir. Bu nedenle, iç planlama aşamasında yer değiştirme+birikme alanında heyelan duyarlılığına ilişkin olasılık değeri  $P=1$  olarak değerlendirilmelidir. Söz konusu alan içerisinde yenilme gerçekleşmiştir.

Tez çalışması kapsamında kök hücre örneklem modelinin yanı sıra heyelan kütesinden bir başka ifadeyle yer değiştirme+birikme alanından da örneklem yapılarak heyelan duyarlılık modelleri geliştirilmiştir. Orta ölçekte (~1/25000) hazırlanan heyelan envanter haritalarında haritalanan kütelere ilişkin jeolojik kesitlerin izlenememesi ve haritalamanın örtülü topoğrafya üzerinde gerçekleştirilmesi nedeniyle yenilen kütlelerin haritalanmasında yer değiştirme ile birikme alanlarının ayırt etmek edilmesi çoğu zaman oldukça zordur. Bu nedenle tez çalışmasında gerçekleştirilen heyelan envanterinin çıkarılmasına yönelik süreç içerisinde yer değiştirme ile birikme alanları ayırt edilmeden yer değiştirme+birikme alanı olarak haritalanmıştır.

Tez çalışması kapsamında her iki örneklem modeli için de duyarlılık haritalarının üretilmesinde lojistik regresyon analizinin kullanılması uygun görülmüştür. Söz konusu analizde, toplamda 7 adet sürekli ve 3 adet kategorik değişken olmak

üzere 10 adet bağımsız değişken değerlendirilmiştir. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinde çalışma alanındaki haritalanmış heyelanlara ait varlık (1) ve yokluk (0) bilgisi ise bağımlı değişken olarak dikkate alınmıştır. Kök hücre örneklem modelinde ise  $d=25\text{m}$ ,  $d=50\text{m}$ ,  $d=75\text{m}$  ve  $d=100\text{m}$  tampon mesafelerine ait kök hücrelerinden alınan varlık (1) bilgisi bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeli lojistik regresyon analizleri sonucu elde edilen doğru sınıflandırma % değerleri 3 farklı rastgele seçilen örneklem (Rnd1, Rnd2, Rnd3) için de yaklaşık olarak %78-%79 arasında birbirine çok yakın çıkmıştır. Kök hücre örneklem modelinin lojistik regresyon analiz sonuçlarına göre, bu değer %65-%80 arasında değişim göstermiştir. Kontrol veri setleriyle yapılan doğrulamalarda, yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinde söz konusu bu değer %69-%80 arasında; kök hücre örneklem modelinde ise %75-%88 arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol veri setleri ile yapılan doğru sınıflandırma yüzdelerinin yer değiştirme+birikme alanı kök hücre modelinde daha yüksek çıktığı görülmektedir. Modellerin kontrol verisiyle hesaplanan bir başka ifadeyle varlık (1) verisi içerisinde seçilerek hesaplanan doğru sınıflandırma yüzdelerinin karşılaştırılması alıştırma verisiyle (hem varlık (1) hem yokluk (0) verisinden oluşan) hesaplanan doğru sınıflandırma yüzdelerinin karşılaştırılmasından daha anlamlı olacaktır. Birbirinden bağımsız rastgele seçilen örneklem setlerinin doğru sınıflandırma yüzdelerinin her iki model için de birbirine çok yakın çıkması modellerin sahayı genelleme kapasitesinin iyi olduğu göstermektedir.

İki örneklem modelinin de lojistik regresyon eşitliklerinde yer alan parametreler ve bu parametrelerin beta ( $\beta$ ) katsayılarına bakıldığında, heyelanlarla hazırlayıcı faktörler arasında fiziksel olarak anlamlı ilişkilerin elde edilmiş olduğu anlaşılmaktadır. Lojistik regresyon eşitliği kullanılarak üretilen kök hücre örneklem modelinden üretilen duyarlılık haritasına bakıldığında mevcut heyelan alanları içerisinde heyelan duyarlılık değerlerinin düştüğü, yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinde ise söz konusu kütleler içerisinde duyarlılık değerlerinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Bir başka ifadeyle, yer değiştirme+birikme alanı örneklem modelinin duyarlılık haritasında kütle içerisinde olasılık artarken dışında azaldığı; kök hücre örneklem modelinde ise kütle içerisinde duyarlılık azalırken

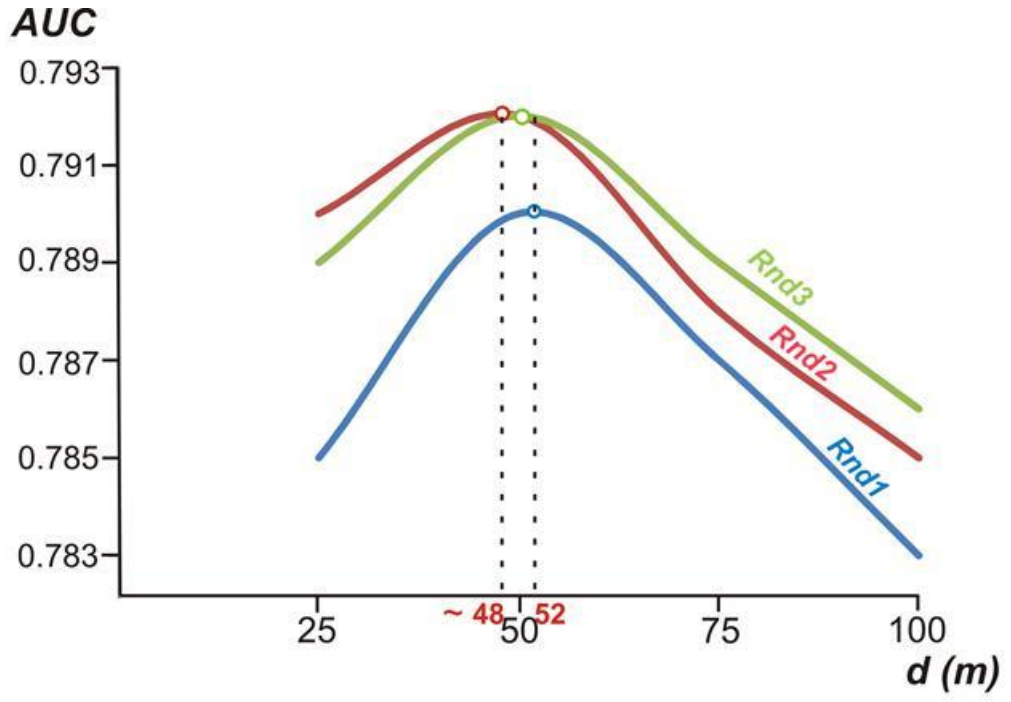
dışında olasılığın arttığı açık şekilde görülmektedir. Nihai heyelan duyarlılık değerlerinin mekânsal dokusuna bakıldığında, kök hücre örneklem modeliyle üretilen haritaların yer değiştirme+birikme alanı örneklem modeliyle oluşturulan haritalara göre heyelan duyarlılığının değerlendirilmesine yönelik daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, Nefeslioğlu et al. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen bulgular ile benzerlikler göstermektedir. Kök hücre örneklem modelinde d tampon mesafesi arttıkça duyarlılıkta gözle görülür bir değişim söz konusudur.

Tez çalışması kapsamında literatürdeki mevcut doğrulama indekslerinin çoğu bir arada değerlendirilmiş ve iki farklı örneklem modelinin farklı rastgele seçimleri için birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca tez çalışması kapsamında yapılan heyelan duyarlılık analizlerinin ve üretilen haritaların değerlendirilmesi ve doğrulama indekslerinin hangi veri setlerinden itibaren hesaplanabileceğine yönelik bir akış diyagramı önerilmiştir (Şekil 7.2). Bu akış diyagramında, yapılan lojistik regresyon analizleri sonucu elde edilen eşitliklerin tüm sahaya uygulanması sonucunda her iki modelin de duyarlılık haritaları üretilmiş ve bu sonuç haritalardan eşik değerinden bağımsız doğrulama indekslerinden olan ROC eğrileri ve ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca kontrol veri seti kullanarak RMSE performans indeksi ve doğru sınıflandırma % değerleri; alıştırma veri setleri kullanılarak da eşik değerine bağımlı doğrulama indekslerinden hata matrisi, hata matrisinden türeyen doğrulama indeksleri ve Kappa indeksi ile doğru sınıflandırma yüzdeleri (%) belirlenmiştir (Şekil 7.2). Elde edilen sonuçlara göre, iki modelinde doğrulama indeksleri oldukça yakın olarak hesaplanmış, bu da her iki modelin de kestirim kapasitesinin ve sahayı genelleme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermiştir. Landis and Koch (1977)'un önerdiği Kappa indeksi sınıflama çizelgesine göre, her iki model için de belirlenen Kappa indeksi (k) değerleri oluşturulan modellerin uyumluluk güçlerinin orta derecede iyi olduğunu göstermektedir. Landis and Koch (1977)'nin önerdiği Kappa indeksi sınıflama abağına göre modelin veriyle orta derecede uyumlu olduğu fakat lojistik regresyon eşitliklerinden belirlenen doğru sınıflandırma yüzdelerine bakıldığında ise modelin veriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Her iki modelin rastgele seçilmiş farklı örneklem setleri için Begueria (2006)'ya göre hata matrisleri oluşturulmuş ve

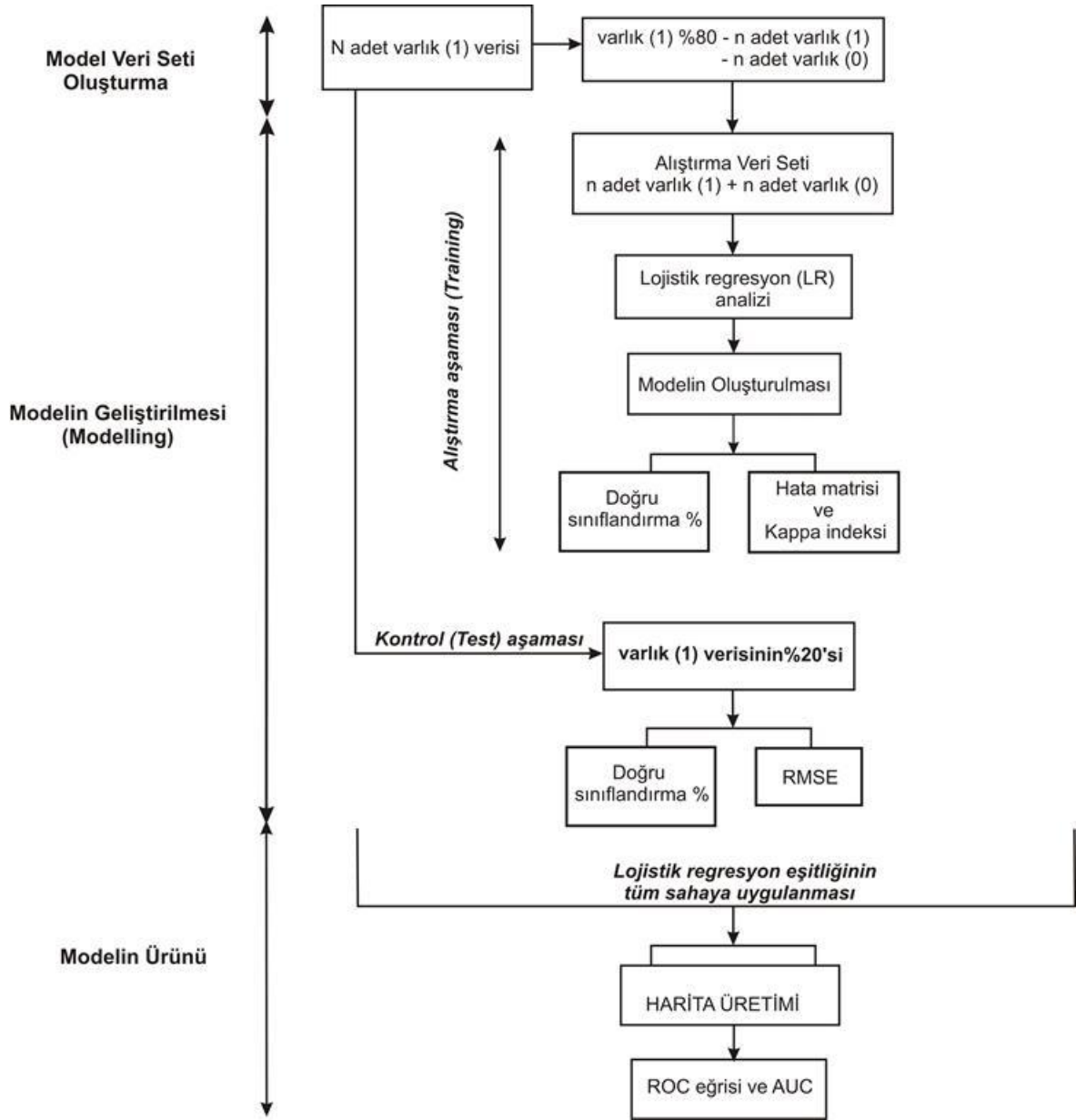
hata matrislerinden de doğrulama indeksleri hesaplanmıştır. Her iki modelinde hesaplanan doğrulama indekslerinin birbirine çok yakın değerler verdiği görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritalarının performans açısından değerlendirilmesi sürecinde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise ürün olarak üretilen haritalar içerisinde yüksek olasılık değerlerinin/sınıflarının saha içerisindeki alansal dağılımlarıdır. Örnek olarak, sahanın tamamı yüksek heyelan olma olasılığına sahip olacak şekilde bir model ürünü elde edilirse hesaplanması muhtemel performans indeksleri oldukça başarılı sonuçlar verecektir. Ancak, burada ifade edilmiş olduğu üzere nerdeyse sahanın tamamı yüksek olasılık sınıfı içerisinde yer almış olacaktır. Böylesi bir sonuç, planlama sürecinde kesinlik anlamsız bir ürün olarak değerlendirilecektir. Can et al. (2005) söz konusu problemi değerlendirmiş ve heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesinde, mevcut heyelanların büyük bölümünün yüksek olasılık sınıfları içerisinde yakalanması gerektiğini ancak bu yüksek olasılık sınıflarının saha içerisinde muhtemel en küçük alansal yayılımına sahip olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Tez çalışmasının en önemli sonuçlarından biri olan Süzen and Doyuran (2004a)'nın önerdiği 100 m'lik tampon mesafesinin modifikasyonudur. Kök hücre örneklem modeline ait birbirinden bağımsız rastgele seçilmiş örneklem setlerinin (Rnd1, Rnd2 ve Rnd3) çizilen ROC eğrileri sonucunda belirlenen AUC değerlerinin d mesafesi ile olan ilişkisine bakıldığında, önerilen 100 m olan "d" mesafesinin yaklaşık 48-52 m arasında alınması gerektiği sonucuna varılmıştır (Şekil 7.1). Tez çalışması kapsamında, 25x25 m<sup>2</sup> çözünürlükte yapılan analizler sonucunda bu yorumlamaya gidildiği düşünülürse, söz konusu mesafenin yaklaşık 2 grid hücresine mi, yoksa burada ifade edilen mesafeye mi karşılık geldiği ileride gerçekleştirilecek araştırmalarda değerlendirilmesi gereken önemli hususlardan bir tanesini oluşturmaktadır. Gerçekleştirilecek muhtemel duyarlılık çalışmalarında farklı mekânsal çözünürlüklerde duyarlılık analizleri gerçekleştirilirse, mekânsal çözünürlüğe bağlı "d" tampon mesafesini ifade eden parametrik bir eşitlik önerilmesi mümkün olacaktır.





Şekil 7.1. Tampon alan oluştururken kullanılan  $d$  tampon mesafesinin 3 farklı rastgele seçilmiş örneklem setinin AUC değerleri ile olan değişimi



Şekil 7.2. Heyalan duyarlılık haritalarının ve modellerin doğrulama indekslerinin değerlendirilmesine yönelik oluşturulan akış diyagramı

## 8. KAYNAKLAR

- AFAD, 2012, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (<http://deprem.gov.tr/sarbis/veritabanı>).
- Afifi, A.A. and Clark, V., 1998, Computer aided multivariate analysis, Chapman-Hall, London, 455p.
- Aksoy, B. and Ercanoğlu, M., 2012. Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey), *Computers&Geosciences*, 38, 1, 87-98.
- Akgün, A., S. Dag and F. Bulut, 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environ. Geol.*, 54: 1127-1143.
- Akgün, A., Sezer, E.A., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Pradhan, B., 2012, An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, *Computers&Geosciences*, 38, 1, 23-34.
- Aleotti, P. And Chowdhury, R., 1999, Landslide hazard assessments: Summary review and new perspective, *Bulletin of Engineering Geology of the Environment*, 58, 21-44.
- Alexander, D. E.: 1995, A survey of the field of natural hazards and disasters studies, In: A. Carrara and F. Guzzetti (eds), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1–20.
- Atkinson, P.M. and Massari, R., 1998, Generalized linear modeling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy, *Computer & Geosciences* 24, 373-385.
- Atkinson, P.M. and Massari, R., 2011, Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. *Geomorphology*, 130, (1-2), 55-64.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004, Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case of Agano River, Niigata Prefecture, Japan, *Landslides*, 1, 73-81.
- Ayalew, L. and 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.

- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005, Landslides in Sado Island of Japan Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, *Engineering Geology*, 81, 432-445.
- Baeza, C. and Corominas, J., 2001, Assessment of shallow landslides susceptibility by means of multivariate statistical techniques, *Earth Surface Processes & Landforms*, 26, 251-1263.
- Bai, S.B., Wang, J., Lü, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S., Xu, S.N., 2009, GIS-Based and Data-Driven Bivariate Landslide-Susceptibility Mapping in the Three Gorges Area, China, 19,1, 14-20.
- Bai, S.B., Wang, J., Lü, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S., Xu, S.N., 2010, GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 115, 23-31.
- Beguieria, S., 2006, Validation and Evaluation of Predictive Models in Hazard Assessment and Risk Management, *Natural Hazards*, 37, 315-329.
- Ben-David, A., 2008, Comparison of classification accuracy using Cohen's Weighted Kappa, *Expert Systems with Applications*, 34, 2, 825-832.
- Brabb, E.E., 1984, Innovative approaches to landslide hazard mapping, In: *Landslides Glissements de terrain, IV International Symposium on Landslides, Vol.1, Toronto, Canada, 307-323 p.*
- Brabb, E.E., 1989, Geologic map of Santa Cruz County, California. US Geological Survey Miscellaneous Investigations Series Map I-1905, scale 1:62,500.
- Brown, W.J., 1983, The changing imprint of the landslide on rural landscapes on NewZeland, *Landscape Planning*, Vol:10, 173-204.
- Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B., 2012, Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS, *Computers&Geosciences*, 45, 199-211.
- Can T, Nefeslioglu HA, Gokceoglu C, Sonmez H, Duman TY (2005) Susceptibility assessment of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses. *Geomorphology* 72:250–271.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 5, 427–445.

- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995, GIS based techniques for mapping landslide hazard (<http://deis158.deis.unibo.it>).
- Carrara, A., Crosta, G., Frattini P., 2008, Comparing models of debris–flow susceptibility in the alpine environment, *Geomorphology*, 94, (3–4), 353–378.
- Chauhan, S., Sharma, M., Arora, M.K., Gupta, N.K., 2010, Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 5, 340-350.
- Choi, J., Oh, H.J., Lee, H.J., Lee, C., Lee, S., 2012, Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS, *Engineering Geology*, 124, 12-23.
- Chung, C.H. and Fabbri, A.G., 1993, The presentation of geoscience information for data integration, *Nonrenewable Resources*, 2-2, 122-139.
- Chung, C.F. and Fabbri, A.G., 2003, Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping, *Natural Hazards*, 30, 451-472.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2006, A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the Conditional Analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines), *Environmental Geology*, 50, 941-961.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes. Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.), 36–75 pp.
- Cunningham, M., 2009, More Than Just the Kappa Coefficient: A Program to Fully Characterize Inter-Rater Reliability between two Raters, SAS Global Forum, Statistics and Data Analysis, University of Pittsburgh, Pittsburgh, paper 242.
- Çevik, E. and Topal, T., 2003, GIS-based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), *Environmental Geology*, 44(8), 949-962.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001, Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, 40, 381-391.
- Dai, F.C. and Lee, C.F., 2002, Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42, (3-4), 213-228.

- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A., Hack, R., 2010, Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India), *Geomorphology*, 114(4):627–637.
- Das, I., Stein, A., Kerle, N., Dadhwal, V.K., 2012, Landslide susceptibility mapping along road corridors in the Indian Himalayas using Bayesian logistic regression models, 179, 116-125.
- Dirican A., 1991, ROC eğrisi çözümlenmesi ile tanı testlerinin değerlendirilmesi ve bilgisayar uygulaması, doktora tezi.
- Dong, J.J., Tung, Y.H., Chen, C.C., Liao, J.J., Pan, Y.W., 2011, Logistic regression model for predicting the failure probability of a landslide dam, *Engineering Geology*, 117, (1-2), 52-61.
- Dönmez, M., Akçay, E. A., Genç, Ş. C. ve Acar, Ş., 2005, Biga Yarımadası'nda Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbritler, *MTA Dergisi*, 131, 49-61.
- Druitt, C.E., 1961, Report on the petroleum prospects of Thrace, Turkey: Turkish Gulf Oil Co. (yayımlanmamış).
- Duman, T.Y., Çan, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., 2005, Landslide susceptibility mapping of Cekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2, 155-208.
- Duman, T.Y., T. Çan, C. Gökçeoğlu, H.A. Nefeslioğlu, H. Sönmez, 2006, Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Çekmece Area (Istanbul, Turkey), *Environmental Geology*, 51, 241-256.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., 2002, Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720–730.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, T.W.J., 2004, Landslide susceptibility zoning north of yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32, 1–23.
- Ercanoğlu, M., 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea Region, Turkey) by artificial neural networks, *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, 979-992.
- Ercanoğlu, M. and Temiz, F.A., 2011. Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 64, 949-964.
- Erol, O., 1992, Çanakkale Yöresinin Jeomorfolojik ve Neotektonik Evrimi, *TPJD Bülteni* 4/1, 147-165 s.

- Fawcett, T., 2006, An Introduction to ROC Analysis, *Pattern Recognition Letters*, 27, 8, 861-874.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008, Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, (3-4), 99-111.
- Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A., 2010, Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models, *Engineering Geology*, 111, 62-72.
- Gorsevski, P.V. and Jankowski, P., 2008, Discerning landslide susceptibility using rough sets, *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(1), 53-65.
- Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., 2001, Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., Çan, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide–susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81, 65–83.
- Görüm, T., 2006, Coğrafi Bilgi Sistemi ve İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Melen Boğazı ve Yakın Çevresi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), 150 s.
- Görüm, T., Gönençgil, B., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., 2008, Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey), *Natural Hazards*, 46, 323-351.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., 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.
- Guzzetti, F., 2000, Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy, *Engineering Geology*, 58, 2, 89-107.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., 2005, Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale, *Geomorphology*, 72, 272-299.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. and Galli, M., 2006, Estimating the quality of landslide susceptibility models, *Geomorphology*, 81, 166-184.

- Havenith, H.B., Strom, A., Caceres, F., Pirard, E., 2006a, Analysis of landslide susceptibility in the Suusamyр region, Tien Shan: statistical and geotechnical approach, *Landslides*, 3, 39-50.
- He, S., Pan, P., Dai, L., Wang, H., Liu, J., 2012, Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China. *Geomorphology*, 171-172, 30-41.
- Huggett, R. and Cheesman, J., 2002, *Topography and the Environment*. Prentice Hall, England, 274 p.
- Hutchinson, J.N., 1988, General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, in: *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, edited by: Bonnard, C., Balkema, Rotterdam, 3-35.
- IAEG Commission on Landslides, 1990, Suggested nomenclature for landslides, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41, 13-16.
- Ildır, B., 1995. Turkiyede heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sakarya, 1–9.
- Kato, Y., Yokohari, M., Brown, R.D., 1997, Integration and visualization of the ecological value of rural landscape in maintaining the physical environment of Japan, *Landscape and Urban Planning*, 39 (1), 69–82.
- Kawabata, D. and Bandibas, J., 2009, Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN), *Geomorphology*, 113, 97-109.
- Kaymak, U., Ben-David, A., Potharst, R., 2012, The AUK: A simple alternative to the AUC, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25, 5, 1082-1089.
- Kellog, H. E. 1973, *Geology and petroleum prospects Gulf of Saros and vicinity Southwestern Thrace, Turkey*, Ashland Oil of Turkey, Inc. Turkish Petrol. Adm. Archives, Ankara.
- Kıncal, C. and Koca, M.Y., 2009, A proposed method for drawing the great circle representing dip angle and strike changes, *Environmental & Engineering Geoscience*, 15, 145-165.
- Landis, J.R., Koch, G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lee, S., 2000. Development and application of landslide susceptibility analysis techniques using Geographic Information System (GIS), PhD Dissertation. Yonsei University, 163 pp. (in Korean).



- Lee, S. and Min, K., 2001, Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea Environ. Geol., 40, 1095–1113.
- Lee, S. and Choi, J., 2004, Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model, Int. J. Geographical Information Science, 18, 8, 789–814.
- Lee, S., 2005, Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, International Journal of Remote Sensing, 26, (7-10), 1477-1491.
- Lee, S. and Dan, N.T., 2005, Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam focus on the relationship between tectonic fractures and landslides, Environ. Geol., 48, 778–787.
- Lee, S. and Talib, J.A., 2005, Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, Environmental Geology, 47, 982-990.
- Luca, F., Conforti, M., Robustelli, G., 2011, Comparison of GIS-based gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy, Geomorphology, 134, (3-4), 297-308.
- Marjanovic, M., Kovacevic, M., Bajat, B., Vozenilek, V., 2011, Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, Engineering Geology, 123, 3, 225-234.
- Menard, S., 2002, Applied Logistic Regression Analysis, Sage Publications, Inc., 2nd Edition, 111 p.
- Mertler, C. A. and Vannatta, R. A., 2002, Advanced and multivariate statistical methods: Practical application and interpretation (2nd ed.). Los Angeles: Pyrczak.
- MGM, 2007, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (<http://www.mgm.gov.tr>).
- Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991, “Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications”, Hydrological Processes, 5(1), 3-30.
- Moore, I.D. and Wilson, J.P., 1992, Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation, Journal of Soil and Water Conservation, 47, 423-428.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., Peterson, G.A., 1993, Soil attribute prediction using terrain analysis, Soil Science Society of America Journal, 57, 443-452.

- Moore, I.D. and Wilson, J.P., 1994, Reply to "Comment on Length-slope factors for the Revised Universal Loss Equation: Simplified method of estimation" by George R. Foster. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(2): 174-180.
- Moreiras, S.M., 2005, Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina, *Geomorphology*, 66, 345-357.
- MTA, 1995, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli ve Gelibolu Yarımadası Maden Envanteri, (<http://mta.gov.tr/v2.0/bolgeler/canakkale-Gelibolu-jeolojisi.doc>).
- MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi, Ankara, 2011, 25 Temmuz 2011 Marmara Denizi Depremi Bilgi Notu, 7s. (<http://www.mta.gov.tr/v2.0/duyuru/duyurular/25-TEMmuz-2011-MARMARA-DENIZI-DEPREMI-BILGI-NOTU.pdf>).
- MTA, 2008, Sayısallaştırılmış 1/25000 Ölçekli Jeoloji Haritası, H-16 Gelibolu paftası
- Nandi, A. and Shakoor, A., 2009, A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, *Engineering Geology*, 110, 11-20.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A., Khire, M.V., 2000, Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 275–287.
- Nefeslioğlu, 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, *Engineering Geology*, 97(3/4), 171-191.
- Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2008a. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94, (3–4), 401–418
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., 2008b. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97, (3–4), 171–191.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Görüm, T., 2011, Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey), *Landslides*, 8, 4, 459-483.
- Nefeslioğlu, H.A., San, B.T., Gökçeoğlu, C., Duman, T.Y., 2012, An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14, 1, 40-60.

- Ohlmacher C.G. and Davis C.J., 2003, Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69, 331–343.
- Oh, H.J. and Pradhan, B., 2011, Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Computers&Geosciences*, 37, 9, 1264-1276.
- Önal, M., 1984, Gelibolu (Çanakkale) Kuzeybatısının Jeolojisi, Doktora Tezi, İ.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, 188 s., İstanbul.
- Önal, M., 1986, Gelibolu Yarımadası orta bölümünün sedimanter fasiyesleri ve tektonik evrimi, *KB Anadolu, Türkiye: Jeoloji Müh.*, 29, 37-46.
- Önem, Y., 1974, Gelibolu Yarımadası ve Çanakkale dolayının jeolojisi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Rapor No:877, Ankara (yayımlanmamış).
- Özdamar, K., 2004, Paket programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 1, Kaan Kitabevi, Genişletilmiş 5. Baskı, Eskişehir, 591-596 s.
- Özdemir, A., 2012, GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison, *Journal of Hydrology*, 411, (3-4), 290-308.
- Pradhan B, Lee S, Buchroithner M.F., 2009, Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: a case study in Malaysia, *Applied Geomatics* 1:3–15.
- Pradhan, B. and Lee, S., 2010, Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling, *Environmental Modelling&Software*, 25, 747-759.
- Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M.F., 2010, A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 3, 216-235.
- Pradhan, B., Lee S., 2010a, Regional landslide susceptibility analysis using back-propagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia. *Landslides*, 7(1):13–30.
- Pradhan, B. and Lee S., 2010b, Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, *Environmental Modelling Software*, 25:747–759.

- Pradhan, B., 2011, An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps, *Journal of Data Science*, 9: 65-81.
- Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., Buchroithner, M.F., 2012, Soil erosion assessments and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia, *Environmental Monitoring and Assesments*, 184(2):715-727.
- Ramani, S.E., Pitchaimani, K., Gnanamanickam, V.R., 2011, GIS based landslide susceptibility mapping of Tevankarai Ar sub-watershed, Kodaikkanal, India using binary logistic regression analysis, *J Mt Sci* 8(4):505–551.
- Remondo, J., Gonzales, A., Ramon Diaz de Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A., Chung, C.F., 2003, Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain, *Natural Hazards*, 30, 437–449.
- Rosenfeld, C.L., 1994, The geomorphological dimensions of natural disasters, *Gepmorphology*, 10, (1-4), 27-36.
- Ruetta, J., Papritz, A., Lehmann, P., Rickli, C., Or, D., 2011, Spatial statistical modeling of shallow landslides-Validating predictions for different landslide inventories and rainfall events, *Geomorphology*, 133, (1-2), 11-22.
- Ruff, M. and Czurda, K., 2008, Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria), *Geomorphology* 94, 314–324.
- Saner, S., 1980, Saroz Körfezi ve dolayının Petrol Olanakları, TPAO Arama Grubu Başkanlığı, Rapor No: 1500, Ankara.
- Saltık, O., 1974, Şarköy-Mürefte sahaları jeolojisi ve petrol olanakları, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Rapor No:879, Ankara (yayımlanmamış).
- Saner, S., 1980, Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması: *TJK Bült*, 23,1, 39 - 53.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A., Marturia, J., 2003, A GIS Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet (Eastern Pyrenees, Spain), *Natural Hazards*, 30, 281-295.
- Sakıncı, M., Yaltırak, C., Oktay, F.Y., 1999, Palaeogeographical evolution of the Thrace Neogene Basin and the Tethys–Paratethys relations at northwestern Turkey (Thrace), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153, (1-4), 17-40.

- Sassa, K. and Wang, G., 2005, Mechanism of landslide-triggered debris flows: liquefaction phenomena due to the undrained loading of torrent deposits, Chapter 5, In Debris flow hazards and related phenomena (Jakob, M., and Hungr, O. (eds)), Springer-Praxis, Heidelberg, 81-104.
- Schicker, R. and Moon, V., 2012, Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale, *Geomorphology*, 161-162, 40-57.
- Schuster, R.L., and Fleming, R.W., 1986, Economic losses and fatalities due to landslides, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 23 (1), 11-28.
- Schuster, R.L., 1996, Socia-economic significance of landslides, In: Turner, Schuster (eds) "Landslides: Investigation and Mitigation". Transportation Research Board-National Research Council, Special Report 247, 12-35.
- Sezer, E.A., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C., 2011, Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia, *Expert Systems with Applications*, 38, 7, 8208-8219.
- Siyako, M., Burkan, K. A., Okay, i. A., 1989, Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 1/3, 183-199.
- Song, K.Y., Oh, H.J., Choi, J., Park, I., Lee, C., Lee, S., 2012, Prediction of landslides using ASTER imagery and data mining models, *Advances in Space Research*, 49, 5, 978-993.
- Sterlacchini, S., Ballabio, C., Blahut, J., Masetti, M., Sorichetta, A., 2011, Spatial agreement of predicted patterns in landslide susceptibility maps, *Geomorphology*, 125, 1, 51-61.
- Sümengen, M., Terlemez, İ., Şentürk, K., Karaköse, C., 1987, Gelibolu Yarımadası ve güneybatı Trakya havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve tektoniği: MTA Rap.8128 (Yayımlanmamış).
- Süzen, M.L., 2002. Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information Systems and Remote Sensing. Ph.D. Thesis, The Middle East Technical University, 196 p (unpublished).
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004a, Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey, *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004b, A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: Multivariate Versus Bivariate, *Environmental Geology*, 45, 665-679.

- Şentürk, K. ve Karaköse, C., 1987, Çanakkale Boğazı ve dolayının jeolojisi, MTA Rap. no: 9333, (yayımlanmamış) Ankara.
- Tatlıldil, H., 1996, Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, Akademi Matbaası, Ankara, 424 s.
- Temesgen, B., Mohammed, M., Korme, T., 2001, Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia, Physics and Chemistry of the Earth Part C-solar-terrestrial and Planetary Science, 26, 9, 665-675.
- Tribe, A., 1992, Automated Recognition of Valley Heads from Digital Elevation Models, Earth Surfaces Processes & Landforms, 16(1): 33-49.
- Ünal, O., 1967, Trakya jeolojisi ve petrol imkanları, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Rap. no:391, (yayımlanmamış) Ankara.
- Ürük, E., 2007, İstatistiksel Uygulamalarda Lojistik Regresyon Analizi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 83 s.
- Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., Alimohammadi, A., Hosseinali, F., 2010, A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping, Computers & Geosciences, 36, 1101-1114.
- Van Westen, C.J. and Alzate Bonilla, J.B., 1990, Mountain hazard analysis using a PC based GIS, In: Proceedings 6th International Congress International Association of Engineering Geology (IAEG): 6-10 August 1990, Amsterdam, The Netherlands / ed.by D.G. Price, 265-271.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J., Soeters, R., 1997, Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, Geologische Rundschau, 86, 404-414.
- Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2005, Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? Bull. Eng. Geol. Env., 65, 167-184.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., 2008, Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview, Engineering Geology, 102: 112-132.
- Varnes, D.J., 1984, Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 pp.

- Wang, W.D., Xie, C.M., Du, X.G., 2009, Landslide susceptibility mapping based on geographical information system, GuiZhou, south-west China, *Environmental Geology*, 58:33-43.
- Wilson, J.P. and Gallant, J.C., 2000. *Terrain analysis principles and applications*. John Wiley and Sons, Inc., Canada, 479p.
- Xu, C., Dai, F., Xu, X., Lee, Y.H., 2012, GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China, *Geomorphology*, 145-146, 70-80.
- Yalcin, A. and Bulut, F., 2007, "Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Digital Photogrammetric Techniques: A Case Study from Ardesen (NE-Turkey)," *Natural Hazards*, 41, 201-226.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınöğlü, A.C., Yomralıoğlu, T., 2011, 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*, 85, 274-287.
- Yaltırak, C., Alpar, B., Yuce, H., (1998), Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey), *Tectonophysics*, 300, 227-248.
- Yaltırak, C., Alpar, B., Sakiñç, M., Yüce, H., 2000, Origin of the Strait of Çanakkale (Dardanelles): regional tectonics and the Mediterranean-Marmara incursion, *Marine Geology*, 164, 139-156.
- Yeşilnacar, E.K. and Topal, T., 2005, Landslide Susceptibility Mapping: Comparison between logistic regression and neural networks in a medium scale study, Hendek region (TURKEY), *Engineering Geology*, 79, (3-4), 251-266.
- Yeon, Y.K., Han, J.G., Ryu, K.H., 2010, Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree, *Engineering Geology*, 116, (3-4), 274-283.
- Yılmaz, I., 2007, "Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey)", *Int. Conf. SGEM 2007 Proceeding Book*, Bulgaria, p. 108.
- Yılmaz, I., 2009b, Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey), *Computers and Geosciences*, 35 (6): 1125-1138.
- Yılmaz, I. and Keskin, I., 2009, GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (4): 459-471.

Yılmaz, I., 2010, The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping conditional probability and artificial neural networks, *Environmental Earth Science*, 60, 505-519.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Gülseren Dağdelenler

Doğum yeri: Ankara

Doğum yılı: 1979

Medeni hali: Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise: Samsun Namık Kemal Lisesi (1994-1997)

Üniversite (lisans): Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (1998-2003)

Yüksek lisans: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalı (2003-2006)

Yabancı dil: İngilizce

Yayınları:

a) Tezler

Elmasoğlu, G., 2006, Köprüköy (Bala-Ankara) Granitleri için Puanlama Esaslı Malzeme Bozunma Sınıflamaları ve Bunların Karşılaştırılması, Yüksek mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 76s. (yayımlanmamış).

Dağdelenler, G., 2013. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem ve doğrulama stratejilerinin değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadasının doğu kesimi), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayımlanmamış).

b) Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Dağdelenler, G., Sezer, E., Gökçeoğlu, C., 2010, Soft computing modelling for indirect determination of the weathering degrees of a granitic rock, European Geosciences Union General Assembly 2010, Vienna, Abstracts, on CD.

Dağdelenler, G., Sezer, E.A., Gökçeoğlu, C., 2011, Some non-linear models to predict the weathering degrees of a granitic rock from physical and mechanical parameters, Expert Systems with Applications, 38, 6, 7476-7485.

c) Ulusal konferans ve sempozyumlarda sunulan bildiri ve bildiri özleri

Elmasoğlu, G., 2006, Köprüköy (Bala-Ankara) granitleri için puanlama esaslı kaya malzeme sınıfları ve bunların karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı.