

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENİZLİ İLİ İÇİN HEYELAN DUYARLILIK
HARİTALARININ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT DURGUN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**DENİZLİ İLİ İÇİN HEYELAN DUYARLILIK
HARİTALARININ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT DURGUN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Murat DURGUN tarafından hazırlanan “Denizli İli İçin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulması” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Sefer Beran ÇELİK



Üye
Doç. Dr. Ali BÜLBÜL
Pamukkale Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Kubilay UYSAL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
28/08/2019 tarih ve 34/23 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

V.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.


Murat DURGUN

ÖZET

**DENİZLİ İLİ İÇİN HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ
OLUŞTURULMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MURAT DURGUN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SEFER BERAN ÇELİK)**

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu tez çalışmasında, Denizli ili idari sınırları içindeki alan için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında, Frekans Oranı (FO), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. 25 metre çözünürlükte sayısal yükseklik modeli oluşturularak, modelden elde edilen, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, plan ve profil yamaç eğriselliği, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, drenaj yoğunluğu, drenaja yakınlık, LS faktör parametre haritaları ile litoloji ve arazi kullanımı parametreleri yöntemlerde girdi olarak kullanılmıştır. 647 heyelan bilgisi içeren MTA tarafından üretilmiş olan heyelan envanteri haritasından yöntemlerin uygulanmasında yararlanılmıştır. Her yöntem ile oluşturulan heyelan duyarlılık indeks haritaları eşit aralık ve doğal kırılım yöntemleri ile sınıflandırılarak Denizli ilinin çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarını gösteren 6 farklı heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının ROC eğrileri çizilerek eğri altında kalan alanlar (AUC) değerlendirilmiş ve mevcut heyelanlarla karşılaştırılarak doğrulukları sınanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ROC ve AUC değerleri FO, YSA ve AHP analizleri için birbirine oldukça yakın ve sırasıyla 0.81, 0.81 ve 0.76 olarak elde edilmiştir. Tez kapsamında 12134 km²'lik büyük bir alan analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Denizli ili sınırları içerisinde Babadağ, Çameli ve Honaz bölgelerinin heyelan duyarlılığı açısından çok yüksek hassasiyete sahip olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Heyelan Duyarlılığı, Denizli, Frekans Oranı, Yapay Sinir Ağları, Analitik Hiyerarşi Prosesi.

ABSTRACT

PREPARATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS FOR DENİZLİ CITY

MSC THESIS

MURAT DURGUN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SEFER BERAN ÇELİK)

DENİZLİ, AUGUST 2019

In this thesis, landslide susceptibility maps were prepared for the Denizli city by using Frequency Ratio (FR), Analytic Hierarchy Process (AHP) and Artificial Neural Networks (ANN) methods in Geographical Information Systems (GIS). Slope inclination, slope orientation, plan and profile slope curvature, topographic moisture index, stream erosion index, drainage density, proximity to drainage, LS factor parameter maps, lithology and land use parameters were used as input parameters which were obtained by constructing a digital elevation model with a resolution of 25 meters. The landslide inventory map produced by MTA, which contains 647 landslide information, was utilized in the application of the methods. The landslide susceptibility maps created by each method were classified with equal spacing and natural breaks methods and 6 different landslide susceptibility maps for Denizli province consisted of very low, low, medium, high and very high susceptibility classes were created. ROC curves of the landslide susceptibility maps were drawn and the areas under the curve (AUC) were evaluated and their accuracy was tested by overlapping with the existing landslides. According to the results, the ROC and AUC values were found very close to each other and for FR, ANN and AHP analysis methods 0.81, 0.81 and 0.76 values were obtained respectively. A very large area of 12134 km² was analyzed within the scope of the thesis. According to the obtained results, Babadağ, Çameli and Honaz regions within Denizli province have very high sensitivity in terms of landslide susceptibility.

KEYWORDS: Landslide Susceptibility, Denizli, Frequency Ratio, Artificial Neural Networks, Analytical Hierarchy Process.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	11
2. İNCELEME ALANI	14
2.1 Konumsal Bilgiler	14
2.2 Yol ve Ulaşım.....	16
2.3 Morfolojik Özellikler	16
2.4 Nüfus Bilgileri	17
2.5 İklim, Bitki örtüsü ve Arazi Kullanımı	17
2.6 Ekonomi	18
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
4. TEMEL KAVRAMLAR.....	26
4.1 Afet Kavramı ve Türkiye’de Afetler	26
4.2 Heyelan Kavramı.....	28
4.2.1 Tipik Bir Heyelanın Karakteristik (Kütlese) Özellikleri:	29
4.2.2 Heyelanların Boyutsal Özellikleri	31
4.2.3 Heyelanların Aktivite Özellikleri.....	32
4.2.4 Heyelanların Aktivite Yayılım Özellikleri	33
4.2.5 Heyelanların Aktivite Türleri.....	34
4.2.6 Heyelanların Türleri.....	35
4.3 Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması	36
4.4 Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramları.....	36
5. MATERYAL VE YÖNTEM	41
5.1 Materyal.....	41
5.1.1 Heyelan Envanteri.....	41
5.1.2 Parametre Haritaları	43
5.1.2.1 Jeolojik Parametreler.....	44
5.1.2.1.1 Litoloji	44
5.1.2.2 Topoğrafik Parametreler	46
5.1.2.2.1 Yükseklik	46
5.1.2.2.2 Yamaç Eğimi	48
5.1.2.2.3 Yamaç Yönelimi	50
5.1.2.2.4 Yamaç Eğriselliği	52
5.1.2.2.5 Drenaj Yoğunluğu.....	55
5.1.2.2.6 Drenaja Yakınlık.....	58
5.1.2.2.7 Topoğrafik Nemlilik İndeksi	60
5.1.2.2.8 LS Faktör	62
5.1.2.2.9 Akış Gücü İndeksi	64
5.1.2.3 Çevresel Parametreler	66
5.1.2.3.1 Arazi Kullanımı	66

5.2	YÖNTEM	68
5.2.1	Nitel Yöntemler	68
5.2.1.1	Jeomorfolojik Analizler	68
5.2.1.2	Parametre Haritalarının Kullanımı	69
5.2.2	Nicel Yöntemler	70
5.2.2.1	İstatistiksel Yöntemler	70
5.2.2.1.1	İki Değişkenli İstatistiksel Analizler	70
5.2.2.1.2	Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler	71
5.2.2.2	Jeoteknik Yöntemler	72
5.2.2.2.1	Deterministik Analiz	72
5.2.2.2.2	Olasılık Yaklaşımları	72
5.2.2.3	Yapay Zeka Yöntemleri	72
5.2.2.3.1	Yapay Sinir Ağları	72
5.3	Frekans Oranı Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması	74
5.4	Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması	84
5.5	Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması	101
5.6	ROC Eğrisi ve AUC Değerlerine Göre Değerlendirme	108
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	111
7.	KAYNAKLAR	114
8.	ÖZGEÇMİŞ	123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Denizli ilinde meydana gelen heyelanlardan örnek görüntüler. a) ve b) Kale İlçesi Çakırbağ Mahallesi, c) ve d) Çameli İlçesi Kolak Mahallesi, e) Kale İlçesi Ortaköy Mahallesi ve f) Honaz İlçesi Akbaş Mahallesi.	12
Şekil 2.2: İnceleme alanının yer bulduru haritası.	15
Şekil 4.3: Türkiye illere göre heyelan olaylarının dağılımı haritası.	27
Şekil 4.4: Tipik bir heyelanın kütsel özellikleri (WP/WLI, 1993).	29
Şekil 4.5: Heyelanların boyutsal özellikleri (WP/WLI, 1993).	31
Şekil 4.6: Heyelanların aktivite özellikleri (WP/WLI, 1993).	32
Şekil 4.7: Heyelanların aktivite yayılım özellikleri (WP/WLI, 1993).	33
Şekil 4.8: Heyelanların aktivite özellikleri (WP/WLI, 1993).	34
Şekil 4.9: Heyelanların türleri (WP/WLI, 1993).	35
Şekil 5.10: Çalışmada kullanılan ve MTA Genel Müdürlüğüne hazırlanan heyelan envanteri (Duman ve diğ., 2011'den değiştirilerek).	42
Şekil 5.11: Denizli ili litoloji haritası (Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye - değiştirilerek).	45
Şekil 5.12: Denizli ili sayısal yükseklik modeli haritası.	47
Şekil 5.13: Denizli ili yamaç eğimi haritası.	49
Şekil 5.14: Denizli ili yamaç yönelimi haritası.	51
Şekil 5.15: Profil yamaç eğriselliği (http://desktop.ArcMap.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm)	52
Şekil 5.16: Plan yamaç eğriselliği (http://desktop.ArcMap.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm)	52
Şekil 5.17: Denizli ili plan yamaç eğriselliği haritası.	53
Şekil 5.18: Denizli ili profil yamaç eğriselliği haritası.	54
Şekil 5.19: Denizli ili drenaj ağı haritası.	56
Şekil 5.20: Denizli ili drenaj (akarsu) yoğunluğu haritası.	57
Şekil 5.21: Denizli ili drenaja (akarsu) yakınlık haritası.	59
Şekil 5.22: Denizli ili topoğrafik nemlilik indeksi haritası.	61
Şekil 5.23: Denizli ili LS Faktör haritası.	63
Şekil 5.24: Denizli ili akış gücü indeksi haritası.	65
Şekil 5.25: Denizli ili arazi kullanımı haritası (http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view 'den değiştirilerek).	67
Şekil 5.26: Frekans oranı yöntemi ile oluşturulup doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.	82
Şekil 5.27: Frekans oranı yöntemi ile oluşturulup eşit aralık yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.	83

Şekil 5.28: AHP yöntemi ile oluşturulup doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.	99
Şekil 5.29: AHP yöntemi ile oluşturulup eşit aralık yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.	100
Şekil 5.30: İki nöronlu oluşan biyolojik sinir ağı (Konar, A. 2006 değiştirilerek).	102
Şekil 5.31: Çok katmanlı YSA yapısı (Alba ve Chicano, 2004'den değiştirilerek).	103
Şekil 5.32: Yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulup doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.	106
Şekil 5.33: Yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulup eşit aralık yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.	107
Şekil 5.34: Üretilen heyelan duyarlılık haritaları için çizilen ROC eğrileri. ..	109

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Denizli iline ait meteorolojik bilgiler (https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=DENIZLI).	18
Tablo 4.2: Türkiye'de afet türlerine göre olay ve afetten etkilenen afetzede sayıları.	27
Tablo 4.3: Varnes (1978)'e göre kütle hareketlerinin sınıflandırılması.	36
Tablo 5.4: Heyelan değerlendirme yöntemleri (Çellek, 2013; Aleotti ve Chowdhury, 1999).....	73
Tablo 5.5: Arazi kullanımı parametresinin frekans oranı tablosu.	75
Tablo 5.6: Litoloji parametresinin frekans oranı tablosu.	75
Tablo 5.7: Yamaç yönelimi parametresinin frekans oranı tablosu.....	76
Tablo 5.8: Drenaj (akarsu) yoğunluğu parametresinin frekans oranı tablosu. .	76
Tablo 5.9: Drenaja (akarsuya) yakınlık parametresinin frekans oranı tablosu.	77
Tablo 5.10: Yükseklik parametresinin frekans oranı tablosu.....	77
Tablo 5.11: Ls Faktör parametresinin frekans oranı tablosu.....	78
Tablo 5.12: Plan yamaç eğriselliği parametresinin frekans oranı tablosu.....	78
Tablo 5.13: Profil yamaç eğriselliği parametresinin frekans oranı tablosu.....	79
Tablo 5.14: Akış gücü indeksi AGİ parametresinin frekans oranı tablosu.	79
Tablo 5.15: Topoğrafik nemlilik indeksi (TNİ) parametresinin frekans oranı tablosu.	80
Tablo 5.16: Yamaç eğimi parametresinin frekans oranı tablosu.....	80
Tablo 5.17: Frekans oranı yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının duyarlılık sınıfına göre yüzde dağılımları.	84
Tablo 5.18: AHP ikili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1990).	86
Tablo 5.19: Rassallık göstergesi değerleri tablosu.....	86
Tablo 5.20: Bakı (yamaç yönelimi) parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	88
Tablo 5.21: Bakı (yamaç yönelimi) parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	88
Tablo 5.22: Eğim parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	89
Tablo 5.23: Eğim parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	89
Tablo 5.24: Profil yamaç eğriselliği parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.	89
Tablo 5.25: Plan yamaç eğriselliği parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.	90
Tablo 5.26: Topoğrafik nemlilik indeksi parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	90
Tablo 5.27: Topoğrafik nemlilik indeksi parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.....	90
Tablo 5.28: Akış gücü indeksi parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	91
Tablo 5.29: Akış gücü indeksi parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	91
Tablo 5.30: Ls faktör parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	92
Tablo 5.31: Ls Faktör parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.....	92
Tablo 5.32: Yükseklik parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	93
Tablo 5.33: Yükseklik parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.....	93

Tablo 5.34: Drenaja yakınlık parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	94
Tablo 5.35: Drenaja yakınlık parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	94
Tablo 5.36: Drenaj yoğunluğu parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	95
Tablo 5.37: Drenaj yoğunluğu parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	95
Tablo 5.38: Arazi kullanımı parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	96
Tablo 5.39: Arazi kullanımı parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	96
Tablo 5.40: Litoloji parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.	97
Tablo 5.41: Litoloji parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.	97
Tablo 5.42: Parametre haritalarının ikili karşılaştırma matrisi.	98
Tablo 5.43: Parametre haritalarının ağırlık değerleri.	98
Tablo 5.44 : AHP yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının duyarlılık sınıfına göre yüzde dağılımları.	101
Tablo 5.45: Yapay sinir ağları yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının duyarlılık sınıfına göre yüzde dağılımları.	108
Tablo 5.46: Üretilen heyelan duyarlılık haritaları için hesaplanan AUC değerleri.	110

KISALTMALAR LİSTESİ

- AHP:** Analytic hiyerarşi prosesi
AHS: Analitik hiyerarşi süreci
ANN: Artificial neural network
AUC: Area under the curve
CBS: Coğrafi bilgi sistemleri
CORINE: Coordination of information on the environment
CRED: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
EM-DAT: Emergency Events Database
FR: Frequency Ratio
NFR: Normalized Frequency Ratio
MTA: Maden Tetkik ve Arama
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
ROC: Receiver operating characteristic
SPI: Stream Power Index
SYM: Sayısal yükseklik modeli
TUCBS-A: Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Altyapısı
TWI: Topographic wetness index
UNESCO: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
WP/WLI: Working Party on World Landslide Inventory
YSA: Yapay sinir ağı

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince, bilgi ve tecrübeleriyle yön gösteren ve tezimin şekillenmesinde büyük emeği olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Sefer Beran ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü öğretim üyelerinden jüri üyesi Sayın Doç. Dr. Ali BÜLBÜL'e, Doç. Dr. İbrahim ÇOBANOĞLU'na ve Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kubilay UYSAL'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince sağladığı destek ve kolaylıklardan dolayı Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürü Sayın Ali ETİZ'e, kurum personeli çalışma arkadaşlarım Dr. Fatma CANASLAN ÇOMUT, Rüya ONUNCUYIL, Hatice DİLMEN, İsmail ALTUN ve diğer mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, tez çalışması süresince sabır gösteren ve manevi desteklerini eksik etmeyen eşim Sevil DURGUN'a ve anneme en içten dileklerle sonsuz teşekkürü borç bilirim.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada birçok çalışmacı heyelan ve sebep olduğu zararlar ile heyelan duyarlılığı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Coğrafi bilgi sistemleri ve bilgisayarlarda görülen hızlı ilerleme ve büyük verilerin daha kolay işlenebilmesi heyelan duyarlılığı, tehlike ve risk değerlendirilmelerinin yapılmasında gün geçtikçe daha fazla çalışma yapılmasına olanak sağlamaktadır.

“Geçmiş geleceğin aynasıdır” varsayımından yola çıkılarak olmuş heyelanların konum, zaman, aktivite vb. özelliklerinin yer aldığı heyelan envanter haritalarından yararlanarak gelecekte heyelanların nerede ve hangi koşullar altında olabileceği haritalanabilmektedir. Bu sayede geleceğe dönük planlama çalışmaları yapılabilmektedir.

Denizli ili jeolojik, iklimsel ve morfolojik yapısı nedeniyle heyelan oluşmasına müsaittir. Özellikle Babadağ, Çameli, Honaz ve Kale ilçelerinde 1950’li yıllardan günümüze heyelanlar nedeniyle Bakanlar Kurulunca Afete Maruz Bölge ilan edilen alanlar bulunmaktadır.

İldeki en büyük ve en etkili olan heyelan Babadağ ilçesinde bulunmaktadır. Babadağ ilçesindeki heyelan ile ilgili olarak ilk etütler 1940’lı yıllarda yapılmaya başlanmıştır. 1968 yılında yapılan etüt sonucu hazırlanan raporda heyelan nedeniyle İstiklal, Gündoğdu, Mareşal Fevzi Çakmak, Atatürk, General İsmet Mahallelerinin tamamı ile Cumhuriyet Mahallesiindeki konutların bir kısmının nakledilmesi gerektiği belirtilmiştir. 2006 yılında tekrar etüt edilerek düzenlenen Jeolojik Etüt Raporu’nda Hacettepe ve Pamukkale Üniversiteleri ile Japonya’nın Nihon ve Tokai Üniversitelerinin hazırlamış olduğu ara rapordaki (Ulusay ve diğ., 2006) verilere de dayanarak ilçedeki 436 konut ve 111 işyerinin nakledilmesi önerilmiş, rapor ekindeki alan için de Afete Maruz Bölge Kararı alınmıştır (Kayıhan ve Demirci, 2007). Babadağ ilçesindeki 406 konut ve işyerleri Denizli il merkezi Üçler Mevkiine taşınarak afete maruz bölge sınırları içerisindeki konut ve işyerleri yıkılmıştır.

Babadağ ilçe merkezindeki heyelanın haricinde Ahıllı, Kıranyer, Demirli Mahallelerinde de genel hayata etkili ve afete maruz bölge ilan edilen heyelan sahaları bulunmaktadır.

Çameli İlçesi Kolak Mahallesiindeki heyelan ile Kale İlçesi Çakırbağ Mahallesi, Ortaköy Mahallesi, Belenköy Mahallesi heyelanları, Honaz İlçesi Akbaş Mahallesiindeki heyelan ildeki genel hayata etkili ve afete maruz bölge ilan edilen heyelanlardandır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Denizli ilinde meydana gelen heyelanlardan örnek görüntüler. a) ve b) Kale İlçesi Çakırbağ Mahallesi, c) ve d) Çameli İlçesi Kolak Mahallesi, e) Kale İlçesi Ortaköy Mahallesi ve f) Honaz İlçesi Akbaş Mahallesi.

Bu tez çalışmasında frekans oranı, analitik hiyerarşi ve yapay sinir ağıları yöntemleri kullanılarak Denizli ilinin heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Tezin ilk bölümünde giriş yapıldıktan sonra, ikinci bölümde inceleme alanı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde önceki çalışmalardan bahsedilmiş, dördüncü bölümde temel kavramlar verilmiştir. Tezin beşinci bölümünde analizlerde kullanılacak veriler ve analiz yöntemleri hakkında bilgiler verilerek Denizli ili için heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve doğrulukları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar ile genel değerlendirmede bulunulmuştur.

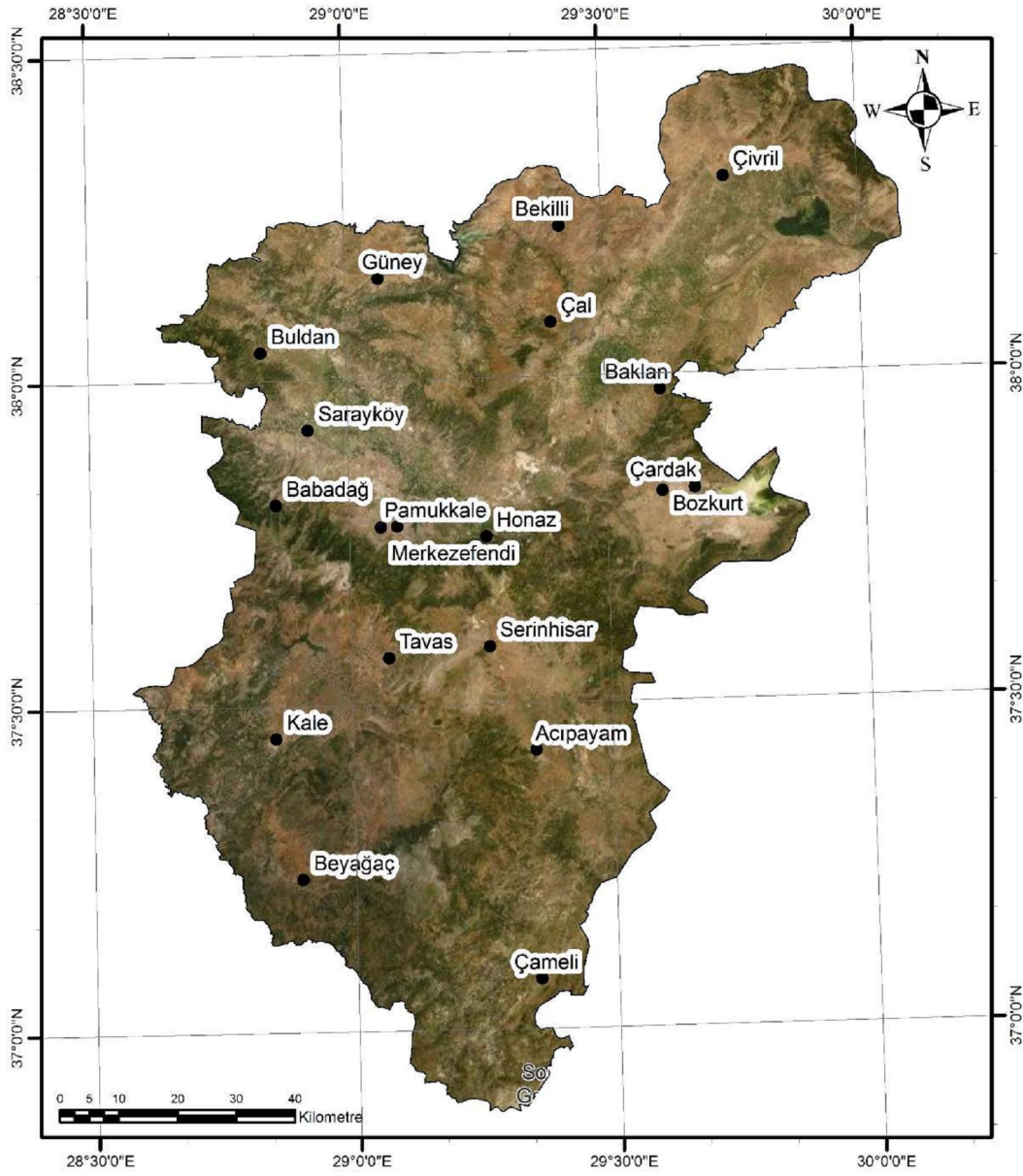
2. İNCELEME ALANI

İnceleme alanı Türkiye'nin güneybatısında yer alan Denizli ilinin tamamını kapsamaktadır. Bu bölüm; konumsal bilgiler, yol ve ulaşım durumu, morfolojik özellikler, nüfus, arazi kullanımı, jeolojik ve iklimsel özellikler ile ekonomi olmak üzere alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.1 Konumsal Bilgiler

Anadolu Yarımadası'nın güneybatısında Ege Bölgesinin doğusunda yer alan Denizli İli, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri arasında bir geçit durumundadır. Coğrafi olarak 28°30' - 30°10' doğu meridyenleri ile 36°50' - 38°30' kuzey paralelleri arasında yer alır. Doğuda Burdur ve Afyonkarahisar, batıda Aydın ve Manisa, kuzeyinde Uşak ve güneyinde Muğla illeri ile komşudur. Yüzölçümü 12134 km² olmakla birlikte Türkiye yüzölçümünün %1.5'ini ve Ege Bölgesi'nin %18.5'ini kapsar (Şekil 2.2).

İnceleme alanı sınırları içerisinde toplam 109 adet 1/25000 ölçekli topoğrafik pafta yer almaktadır: L21C1, L21C2, L21C3, L21C4, L21D2, L21D3, L22A3, L22B3, L22B4, L22C1, L22C2, L22C3, L22C4, L22D1, L22D2, L22D3, L22D4, L23A1, L23A2, L23A3, L23A4, L23B1, L23B2, L23B3, L23B4, L23C1, L23C2, L23C3, L23C4, L23D1, L23D2, L23D3, L23D4, L24A1, L24A4, L24D1, M21A2, M21A3, M21B1, M21B2, M21B3, M21B4, M21C1, M21C2, M21C3, M21C4, M21D3, M21D4, M22A1, M22A2, M22A3, M22A4, M22B1, M22B2, M22B3, M22B4, M22C1, M22C2, M22C3, M22C4, M22D1, M22D2, M22D3, M22D4, M23A1, M23A2, M23A3, M23A4, M23B1, M23B3, M23B4, M23C1, M23D1, M23D2, M23D4, N21A1, N21A2, N21A3, N21B1, N21B2, N21B3, N21B4, N21C1, N21C2, N21C3, N22A1, N22A2, N22A3, N22A4, N22B1, N22B2, N22B3, N22B4, N22C1, N22C2, N22C3, N22C4, N22D1, N22D2, N22D3, N22D4, N23A1, N23A4, N23D1, O22A1, O22A2, O22B1, O22B2, O22B4.



Şekil 2.2: İnceleme alanının yer bulduru haritası.

2.2 Yol ve Ulaşım

Denizli ili karayolu, demiryolu ve havayolu ulaşımı olanaklarına sahiptir. Konumu itibariyle İzmir ve Antalya gibi önemli şehirlere ulaşımında kavşak noktası durumundadır. İl sınırları içerisinde 430 km uzunluğunda devlet yolu bulunmaktadır. Bu yolların 343 km'si bölünmüş yol niteliğindedir. Ayrıca 41 km'si bölünmüş olmak üzere 392 km il yolu mevcuttur (<http://www.kgm.gov.tr/>). Demiryolu ile Aydın, İzmir, Söke, Afyon, Kütahya ve Eskişehir ile ulaşım sağlanabilmektedir.

Çardak ilçesinde bulunan Denizli Çardak Havalimanı 1991 yılında hizmete girmiş ve şehir merkezine 63 km mesafededir.

2.3 Morfolojik Özellikler

Morfolojik bakımdan dalgalı yapıya sahip olan Denizli ilinin %47'si dağlar, %28'i ovalar, %23'ü platolar ve %2'si yaylalardan oluşmaktadır. Deniz seviyesine göre en alçak yeri Sarayköy İlçesi (170 m) en yüksek yeri ise Honaz Dağı (2571 m)'dir. Denizli il merkezinin rakımı 354 metredir.

Honaz Dağı 2571 metre rakımı ile Denizli'nin ve Batı Anadolu'nun en yüksek noktasını oluşturmaktadır. Akdağ (2449 m), Bozdağ (2421 m), Karcı (2308 m), Eşeler (2254 m) ve Burkaz (1990 m) dağları önemli yükseltilerdir. Çardak, Çivril, Baklan, Kaklık, Böceli, Çürüksu ve Sarayköy, Acıpayam ve Tavas ovaları ile Karayayla, Çameli, Uzunpınar, Süleymaniye, Kuyucak yaylaları düzlükleri oluşturur.

Büyük Menderes, Çürüksu, Akçay, Gireniz ve Kelekçi vadileri önemli vadilerdir. İlerdeki en önemli akarsu Ege Bölgesinin de en önemli nehirlerinden biri olan Büyük Menderes nehridir. Denizli sınırları içerisindeki uzunluğu yaklaşık 194 km.'dir. Çürüksu, Dalaman, Akçay, Yenidere, Gökpınar Çayı, Kufi Çayı, Derbent Çayı diğer önemli akarsulardır.

Çardak İlçesi ile Afyon ilinin Dazkırı ilçesi arasında bulunan Acıgöl 44.32 km² yüzölçümüne sahip ve Denizli ilindeki en büyük göldür. Karagöl, Süleymaniye Gölü, Kartal Gölü ve Işıklı baraj gölü önemli göllerdir.

2.4 Nüfus Bilgileri

Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçlarına göre 2018 yılı sonunda yıllık %0.88 nüfus artış hızı ile Denizli nüfusu 1027782 kişidir. Nüfusu 512109 erkek ile 515673 kadın oluşturmaktadır. En kalabalık ilçeler olan merkez ilçelerden Pamukkale ilçesinin nüfusu 344065, Merkezefendi ilçesinin nüfusu 302213'tür. İlin nüfus yoğunluğu ise 88'dir (http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059).

2.5 İklim, Bitki örtüsü ve Arazi Kullanımı

Ege, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgeleri arasında bir geçiş konumunda bulunan Denizli ili bu özelliğinden dolayı Akdeniz iklimi ve karasal iklim özellikleri göstermektedir. Bitki örtüsü de iklime bağlı olarak ormanlar ve makilerden oluşmaktadır. Denizli yüzölçümünün %31.8'si tarım arazisi, %2'si çayır ve meralar, %47'si orman fundalık %19'u ise tarım dışı, mesken olarak kullanılmaktadır.

1956-2017 yıllarını kapsayan meteorolojik verilere bakıldığında ortalama sıcaklığın en düşük Ocak ayında 5.9°C ile en yüksek Temmuz ayında 27.6°C olduğu görülmektedir. Denizli ilinde en düşük sıcaklık -11.4°C ile 09.02.1965 yılında, en yüksek sıcaklık ise 44.4°C ile 15.08.2007 yılında ölçülmüştür. Günlük toplam en yüksek yağış miktarı 09.07.1995 tarihinde 105.6 mm, günlük en hızlı rüzgâr 13.12.1967 tarihinde 132.8 km/sa ve en yüksek kar 06.01.2002 tarihinde 38.0 cm olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklık 16.3°C, yıllık toplam ortalama güneşlenme süresi 87.7 saat, toplam ortalama yağışlı gün sayısı 90.3 gün ve yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 563.7mm'dir (<https://www.mgm.gov.tr/>).

Tablo 2.1'de ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış miktarı ortalaması verilmiştir.

Tablo 2.1: Denizli iline ait meteorolojik bilgiler (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=DENIZLI>).

DENİZLİ	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.9	7.1	10.2	14.7	19.8	24.7	27.6	27	22.5	16.8	11.4	7.6	16.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	91.6	72.3	63.6	53.5	43	25	13	8.3	14.3	35.1	55.6	88.4	563.7

İklim sınıflandırma yöntemleri açısından değerlendirildiğinde yarı kurak, az nemli, kışları serin ve yazları sıcak iklim sınıfındadır. Aydeniz metodu ile Türkiye iklim sınıflandırmasında Denizli ilinin kuraklık katsayısı 0.86 iklim tipi yarı kuraktır. Erinç metodu ile Türkiye iklim sınıflamasında yağış etkinlik indeksi 25.48 iklim tipi yarı nemlidir. De Martonne metodu ile Türkiye iklim sınıflandırmasında kuraklık indeksi 12.17 iklim tipi step-nemli arasındadır. Thornthwaite metoduna göre iklim indeksi yarı kurak, az nemli ve iklim özelliği su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan sınıfına girmektedir (<https://www.mgm.gov.tr/>).

2.6 Ekonomi

Ege bölgesinde İzmir ve Manisa'nın ekonomik avantajlarına rağmen Denizli ili bir sanayi kenti olarak öne çıkmaktadır. Tekstil, turizm ve doğal taş başta olmak üzere yem, ambalaj, emaye bakır tel ve gıda sektörlerinde de önemli sanayi kuruluşlarına sahiptir. Havlu ve bornoz üretimiyle pamuklu tekstil alanında dünyanın önemli merkezlerinden biridir. Türkiye'nin 2. büyük traverten çökelimi havzasına sahiptir. Jeotermal enerji bakımından da zengin olan Denizli ilinde 7 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Ayrıca gıda, tarım ve sağlık turizmi açısından önemli bir merkezdır.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dağ (2007), Çayeli (Rize) ilçesi ve çevresinde 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük sürede meteorolojik anomaliye bağlı gerçekleşen heyelanlara ait envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. 149 heyelanı arazi çalışmaları ile belirlemiştir. Litoloji, ayrışma, eğim, bakı, topoğrafik yükseklik, arazi örtüsü, akarsuya yakınlık ve yola yakınlık parametrelerini iki değişkenli istatistiksel analiz ve mantıksal regresyon yöntemlerinde kullanarak inceleme alanının heyelan duyarlılığı haritalarını oluşturmuştur. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile elde edilen haritada mevcut heyelanların %81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düştüğünü, mantıksal regresyon ile üretilen haritada ise mevcut heyelanların %92'sinin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düştüğünü saptamıştır.

Yüksel (2007), Kumluca - Ulus (Bartın) bölgesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında istatistiksel yöntemler ve yapay sinir ağları yöntemini kullanmış ve oluşturulan haritaların performanslarını karşılaştırarak, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin belirlenmesini amaçlamıştır. Yükseklik, eğim, eğim yönü, yamaç şekli, sırtlara ve drenaja yakınlık, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, toprak türü ve derinliği, NDVI, bitki türü, süreksizlik yamaç ilişkisi ve yollara yakınlık parametrelerini analizlerinde kullanmıştır. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile 3 farklı yaklaşım kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasını eşit aralıklar, ortalama ve standart sapma değerleri, frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılık değerleri ve Jenks sınıflamasını temel alarak 4 farklı yaklaşımla sınıflandırmış ve Jenks sınıflamasının kullanılmasını önermiştir. Süzen ve Doyuran tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasının en yüksek doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir. Çok değişkenli istatistiksel analiz yönteminde faktör analizi, ayırma analizi ve lojistik regresyon analizi kullanarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturmuştur. Ayrıca farklı özellikteki ağların duyarlılık haritası üzerindeki sonuçlarını belirlemek amacıyla hızlı yayılım, geri yayılım quasi-newton ve conjugate gradient öğrenme algoritmalarını kullanarak yapay sinir ağları yöntemi ile de duyarlılık haritaları oluşturmuştur. Gizli tabakada 1 ile 50 arasında düğüm sayıları kullanarak hızlı yayılım algoritması için 12-28-1, geri yayılım için 12-20-1 quasi-

newton için 12-49-1 ve conjugate gradient algoritmasında 12-39-1 olarak tasarlanan ağların en yüksek doğruluk sınıflandırmasına sahip olduğunu tespit etmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden yapay sinir ağları ile üretilen haritaların en yüksek doğruluğa sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Sismik aktivitenin heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada (Daş 2008), Kelkit vadisi için iki farklı deprem senaryosuna karşılık deprem anındaki duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Statik koşuldaki duyarlılık haritası ile deprem anındaki duyarlılık haritalarını karşılaştırarak sismik etki altındaki düşük duyarlılığa sahip alanların azaldığını, yüksek duyarlılığa sahip alanların arttığını ortaya koymuş ve 10, 50, 75 ve 100 yılda senaryo depremlerinin olma olasılığını kullanarak heyelan tehlike haritalarını da üretmiştir. Heyelan tehlike haritalarının zamanın artışına bağlı olarak deprem anındaki duyarlılık haritalarına yaklaştığını belirtmiştir.

Akgün ve Türk (2010), mantıksal regresyon, benzerlik oranı ve analitik hiyerarşi işlemi yöntemlerini kullanarak Ayvalık ve yakın çevresinin heyelan duyarlılığı haritasını oluşturarak hangi yöntemin en başarılı olasılık tahmininde bulunduğunu araştırmışlardır. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarındaki orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların güncel heyelanlarla uyumlu olmalarından dolayı başarılı olduğu, uyumluluk sıralamasının analitik hiyerarşi işlemi, mantıksal regresyon ve benzerlik oranı olarak sıralandığı sonucuna varmışlardır.

Hasekioğulları (2010), heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan parametre etkilerinin araştırılması ve veriye dayalı bir parametre seçim yöntemi ortaya koymayı amaçlamıştır. Karabük il sınırları içerisindeki çalışma alanında 101 heyelan tespit etmiş ve bu heyelanların meydana gelmesinde etkisi olduğu düşünülen eğim, bakı, yamaç eğriselliği, yükseklik, bitki örtüsü, arazi kullanımı, akarsuya, yola, çizgiselliklere, sırtlara uzaklık, akış gücü indeksi, sediman taşıma kapasitesi ve topoğrafik nemlilik indeksi parametrelerinin etkinliğini incelemiştir. Duyarlılık haritasını oluştururken kullanılan parametrelerin etkinliklerini benzerlik ilişki göstergesi değerlerine göre belirlemiştir. En etkin olan parametre yamaç eğimi ve sırasıyla akarsuya uzaklık, NDVI, yükseklik, yamaç eğriselliği, bakı, akış gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, arazi kullanımı, yapısal unsurlara uzaklık, sediman taşıma kapasitesi, yollara uzaklık ve sırtlara

uzaklık olarak sıralanmıştır. Benzerlik ilişki göstergesi değeri en yüksek olan ilk üç parametre kombinasyonundan 10 parametre kombinasyonuna kadar elde ettiği ağırlık değerleri ile AHP yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturmuştur. 9 parametre kullanılarak üretilen haritanın en yüksek performansı gösterdiğini ortaya koymuştur.

Delikanlı (2010), lojistik regresyon yöntemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) çevresinin heyelan duyarlılığını belirlemiş, olabilirlik ağırlığı yöntemi ile de denetlemesini yapmıştır. Yükseklik ve yamaç eğiminin heyelan oluşumunu arttırdığı, arazi kullanımına göre en fazla heyelan duyarlılığının tarım arazilerinde olduğu, yamaç eğimi ile heyelan duyarlılığının arttığı ve en yüksek duyarlılığın 40-45 derece arasında olduğu sonucuna varmıştır. Eğlence Deresi içerisine setler yapılarak çamur akıntısının önlenmesi, Yaka içerisinden geçen kanalın genişletilmesi, yüksekliğinin artırılması ve kenarlarında 5'er metrelik güvenlik şeridi oluşturulması önerilmiştir.

Demir (2011), Niksar (Tokat) doğusu ile Suşehri (Sivas) batısı arasındaki bölgenin heyelan duyarlılığını incelemiştir. 341 heyelan tespit ederek inceleme alanının heyelan envanteri haritasını oluşturmuştur. Litoloji, yükseklik, eğim yönü, eğim derecesi, akarsu, yol ve faylara yakınlık ile drenaj ve fay yoğunluğu parametrelerini frekans oranı, lojistik regresyon ve bulanık mantık yöntemlerinde kullanarak duyarlılık haritaları oluşturmuştur. Heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğini ROC değerlendirmesinden elde ettiği AUC değerlerinden yararlanarak test etmiş ve her üç yöntemin de başarılı ve güvenilir olduğu sonucuna varmıştır. Arıpınar, Geyikgözü, Kabakboğazı, Gölayağı, Koyulhisar, Bahçe, Gökdere, Kuzulu, Kalebaşı, Aşağıkale, Umurca ve çevrelerinin çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğunu belirtmiştir.

Aksoy (2011), Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritasını; yamaç eğimi, yamaç yönelimi, litoloji, ayrışma, akarsu güç indeksi, topoğrafik nem indeksi, arazi örtüsü ve drenaj hattına uzaklık parametrelerini kullanarak analitik hiyerarşi yöntemi ile oluşturmuştur. İnceleme alanının %20.61'inin çok yüksek duyarlı sınıfında olduğunu ayrıca mevcut heyelanların %21.52'sinin çok yüksek duyarlı alanda olduğunu sonucuna varmıştır.

Aktural (2012), Akşehir (Konya) ilçesinin batısındaki alanın frekans oranları yöntemiyle heyelan duyarlılık incelemesini yapmıştır. Ürettiği heyelan duyarlılığı haritasını aynı bölgede lojistik regresyon ve ağırlıklar yöntemleriyle üretilen duyarlılık haritalarıyla karşılaştırmıştır. Her modelin doğruluğunu ROC yöntemi ile değerlendirerek ağırlıklar yöntemi, lojistik regresyon ve frekans oranı metotları için 0.937, 0.952 ve 0.976 ROC değerlerini elde etmiştir. Frekans oranı ve lojistik regresyon metotlarının nispeten daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşmıştır.

Şahin (2012), litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı, yükseklik, drenaj yoğunluğu, topoğrafik ıslaklık indeksi, eğim mesafesi ve yola uzaklık parametrelerini çok kriterli karar analizi, lojistik regresyon ve frekans oranı metotlarında kullanarak Trabzon ilinin heyelan duyarlılık haritalarını üretmiştir. Sonuç haritaları kullanıcı tabanlı bölümlenme ve eşit dağılımlı bölümlenme teknikleriyle duyarlılık sınıflarına ayırmıştır. Çok kriterli karar analizi sonucu elde edilen duyarlılık haritasının kullanıcı tabanlı bölümlenme sonucunda %71.12, eşit dağılımlı bölümlenme sonucunda ise %59.58 doğruluğa sahip olduğunu belirtmiştir. Lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemleri kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının ise daha düşük doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Akgün (2012), lojistik regresyon, çok kriterli karar ve olasılık oranı yöntemlerini ve eğim, eğim yönü, litoloji, faylara uzaklık, drenaj hatlarına uzaklık ve yollara uzaklık parametrelerini kullanarak İzmir çevresinin heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuştur. Sonuç haritalarının doğruluğunu belirlemek için AUC yaklaşımı kullanmış ve lojistik regresyon, olasılık oranı, çok kriterli karar yöntemleri için sırasıyla 0.810, 0.764 ve 0.710 AUC değerlerini elde etmiştir. Lojistik regresyon yönteminin en doğru sonucu elde ettiğini belirtmiştir.

Çelik (2012), Babadağ (Denizli) ilçesindeki yamaç duraysızlığını kuyu içi deformasyon ölçümü, akustik yayılma aktivitesi, yeraltı su seviyesi değişimi, yağış ve mesafe ölçümü olmak üzere yerinde izlenen parametreleri değerlendirmiştir. Ayrıca araziden aldığı örselenmemiş numuneler üzerinden yamacı oluşturan birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koyarak, elde ettiği veriler ile laboratuvar koşullarında düzlemsel kayma yüzeyi içeren bir fiziksel model hazırlamıştır. Statik eğimlendirme deneylerinde ortalama 33.8°'lik kayma açısı belirlemiştir. Model deneyleri sonucunda yakın çevrede meydana gelecek bir deprem

ile heyelanın tetiklenebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca sonlu elemanlar ağı oluşturarak 6 durum için analizler gerçekleştirmiştir. Düşük hızda seyreden Gündoğdu heyelanını yerlitsuyu seviye değişimlerine bağlı olarak marn seviyelerinin deformabilite özelliklerinin değiştiği bir model çerçevesinde açıklamıştır.

Eker (2013), Batı Karadeniz’de Yığılca Orman İşletme Müdürlüğünde heyelan duyarlılık haritalarını CBS yardımıyla üretmiş ve orman yolları açısından değerlendirmiştir. Arazi çalışmalarında 288 heyelan tespit ederek envanter haritası oluşturmuştur. Heyelan duyarlılık haritasını Lojistik Regresyon yöntemi ile elde etmiştir. Elde ettiği duyarlılık haritasının doğruluğunu AUC değeri ile 0.905 olarak hesaplamıştır. İnceleme alanındaki yerleşim yerlerinin %95’inin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer aldığını ortaya koymuştur. Orman yol ağının 174.6 km’sinin yüksek, 22.7 km’sinin ise çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğunu tespit etmiştir.

Çellek (2013), analitik hiyerarşi yöntemi ile Sinop ili sınırları içerisinde seçtiği alanın heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuştur. Kullandığı parametrelerden bakı parametresinin 0.31, litoloji 0.21, arazi sınıfı 0.1, yamaç eğriselliği 0.01, eğim 0.06, yükseklik 0.04, ana yola uzaklık 0.14, akarsuya yakınlık 0.04 ve yapısal unsurlara uzaklık parametrelerinin 0.02 ağırlık değerine sahip olduğunu hesaplamıştır. Ürettiği haritayı çok düşük %10.75, düşük %10.58, orta %52.64, yüksek %25.64 ve çok yüksek duyarlı %0.34 alanlar olarak 5 farklı duyarlılık sınıfına ayırmıştır.

Dağdelenler (2013), Çanakkale Gelibolu Yarımadasının doğusunda meydana gelen 211 heyelanı içeren güncel heyelan envanteri haritası oluşturmuştur. Kök hücre örneklem modeli ile heyelan kütesinden de örneklem yapılarak heyelan duyarlılık modelleri geliştirmiştir. Duyarlılık haritalarının oluşturulmasında regresyon analizi kullanarak 7 adet sürekli ve 3 adet kategorik değişken ile değerlendirmeler yapmıştır. Kök hücre örneklem modeliyle üretilen haritaların heyelan kütesinden örneklem yapılarak oluşturulan haritalara göre daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Literatürde önerilen 100 m olan tampon mesafesinin 48-52 m alınması gerektiği sonucuna varmıştır.

Ösna (2013), Coğrafi Bilgi Sistemleri ve bulanık çıkarsama sistemlerini beraber kullanarak farklı bir bakış açısı getirmiş ve GeoFIS adında bir yazılım ortaya koymuştur. İnceleme alanı olarak Trabzon iline bağlı Değirmendere Vadisinin bir kısmını içine alan bölgeyi seçmiştir. Yükseklik, eğim, yamaç yönelimi, SPI, TWI verileri ve MTA heyelan envanteri ile jeoloji haritasını duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanmış ve kök hücre yaklaşımını benimsemiştir.

Can (2014), yapay sinir ağları (ANN) yöntemi ile heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yapay sinir ağlarının eğitiminde farklı algoritmaların kullanılmasının sonuç haritaları üzerindeki etkileri ve performanslarını araştırmıştır. Bu amaçla tek ve iki gizli tabakalı olmak üzere 2 farklı ağın topolojik yapısı ve bu ağların eğitimi için 4 farklı eğitim algoritması kullanarak 8 adet ANN modeli oluşturmuştur. Çalışma alanı için 8 heyelan duyarlılık haritası oluşturmuş ve en yüksek performansa sahip haritanın eşlenik eğim eğitim algoritması ve tek gizli tabakalı ANN modeli ile oluşturulduğu sonucuna varmıştır.

Tekin (2014), Osmaniye İli Kadirli İlçesi çevresindeki çalışma alanında niceliksel heyelan duyarlılık değerlendirmeleri gerçekleştirmiştir. MTA heyelan envanteri haritasını temel alarak arazi çalışmaları ile 185 heyelandan oluşan envanter haritasını oluşturmuştur. Jeoloji, yamaç yönelimi, topoğrafik nemlilik indeksi, nehir aşındırma indeksi, yamaç eğriliği, sediman taşıma gücü indeksi, topoğrafik konum indeksi, güneş radyasyonu, düzlemsel yamaç şekli, kesit yamaç şekli, eğrilik, arazi kullanımı, pürüzlülük, eğim ve arazi kullanımı parametrelerini mantıksal regresyon yönteminde kullanarak heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuştur. Heyelan duyarlılık sınıflamasının genel doğruluğunu %72.7 olarak bulmuştur. İnceleme alanının %35.54 yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıfta yer aldığını ayrıca mevcut heyelanların %86.46'sının yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğunu belirtmiştir.

Çomut ve diğ. (2015), Babadağ Gündoğdu mahallesinde meydana gelen deformasyonun yönü ve büyüklüğünün interferometrik yapay açıklıklı radar yöntemi ile belirlenmesi amaçlı çalışmalarında 4 adet ALOS PALSAR verisi kullanmışlardır. 2009 Mart ve Aralık ayları arasını kapsayan 276 günlük süreçte afete maruz bölge ilan edilen alanda radarın bakış doğrultusunda 1.2 cm'lik yer değiştirme tespit etmişlerdir. Yağışın yoğun olarak gerçekleştiği 2009 ve 2010 Aralık tarihleri

arasındaki 367 günlük süre içerisinde 2-3 cm civarında yer değiştirme tespit etmişlerdir.

Alkeveli (2015), Yenice (Karabük) kuzeyinde seğtiği alanda çalışma alanını 2 basene ayırarak heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ve haritalamaları yapmıştır. Farklı yöntemlerle oluşturduğu 10 heyelan veritabanını, 3 karar verme ağacı algoritması, lojistik regresyon ve yapay sinir ağları tekniklerinde kullanarak 50 heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmelerini gerçekleştirerek AUC değerlerini hesaplamıştır. En yüksek performansın 0.873 değeri ile yapay sinir ağı yöntemi ve Chebyshev teoremine dayanan verilerin en az %75'inin temsil edildiği VT-3.4 veri tabanı ile sağlandığı sonucuna ulaşmıştır. Genel performans değerlendirmesinde karar verme ağaçları ile üretilen haritalardan ratio algoritması ve yapay sinir ağları yöntemlerinde tatmin edici sonuçlar elde edildiğini ortaya koymuştur.

omut ve diğ. (2016), Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nde Frekans Oranı yöntemi ile yükseklik, eğim, bakı, yamaç eğriselliği, arazi kullanımı, litoloji, faya yakınlık ve yola yakınlık parametrelerini kullanarak Denizli ili heyelan duyarlılık haritası oluşturmuştur. Oluşturdukları haritanın doğruluk değerlendirmesinde sınama heyelanlarının %42'sinin yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılık sınıflarında yer aldığını belirtmişlerdir.

Kumsar ve diğ. (2016), 2000 yılından 2016 yılına kadar Babadağ Gündoğdu heyelanı üzerine yapılmış çalışmaları derleyerek, Gündoğdu heyelanının çeşitli analizler ve arazi deneyleri ile ortaya konan hareketli doğasını açıklamışlardır. Muhtemel bir afet öncesi kayma riskli bölgenin "Doğal yaşama etkili alan" olarak belirlenmesi ve yaşayan insanların tahliyesi ile sonuçlanan süreci açıklamışlardır.

4. TEMEL KAVRAMLAR

4.1 Afet Kavramı ve Türkiye’de Afetler

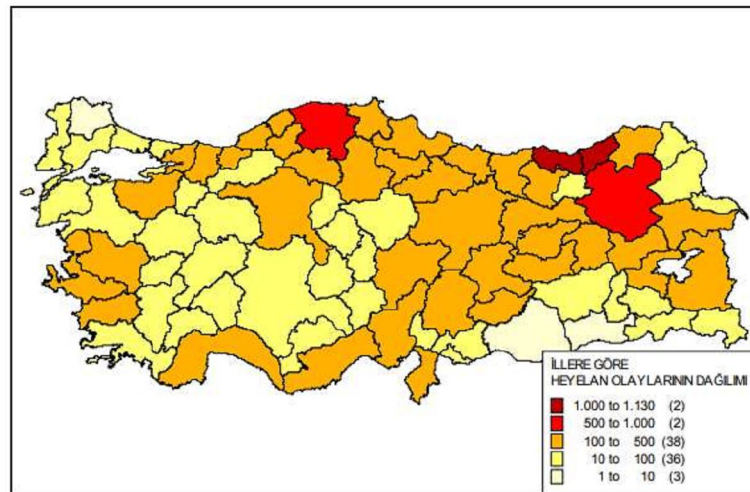
Açıklamalı Afet Terimleri Sözlüğü’nde afet; “Toplumun tamamı veya belli kesimleri için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay.” olarak tanımlanmaktadır. Afetler oluşma hızına ve oluşma sebebine göre sınıflandırılabilir. Afetlerin sınıflandırılması konusunda literatürde görüş birliğinin sağlandığı genel bir sınıflandırılma bulunmamakla birlikte genellikle 2 veya 3 sınıf altında afetlerin sınıflandırıldığı görülmektedir. Doğal ve teknolojik felaketler üzerine, 1900’den günümüze dünyada 21000’den fazla afetin ortaya çıkması ve etkilerine dair temel veriler içeren EM-DAT; Belçika’nın Brüksel kentinde bulunan School of Public Health of the Université catholique de Louvain Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından sürdürülmektedir. EM-DAT veritabanında afetler oluşma sebebi baz alınarak doğal afetler ve teknolojik afetler olarak 2 grupta sınıflandırılmıştır. Doğal afetler kendi içerisinde jeofizik - jeolojik (deprem, kütle hareketleri, yanardağ patlamaları), meteorolojik (aşırı sıcaklık, fırtına), hidrolojik (sel, dalga), klimatolojik (kuraklık), biyolojik (salgın, böcek istilası) ve dünya dışı (göktaşı) olmak üzere 6 alt bölüme ayrılmaktadır. Teknolojik afetler ise endüstriyel kazalar (patlama, radyasyon), ulaşım kazaları (hava, kara, deniz) ve çeşitli kazalar (yangın) alt başlıklarına ayrılmaktadır. Oluşma hızına göre afetler hızlı gelişen ve yavaş gelişen afetler olarak ikiye ayrılır. Depremler, sel, kütle hareketleri, fırtına, dolu, yanardağ patlaması, ulaşım kazaları, çığ, büyük yangınlar hızlı gelişen afetlerdir. İklim değişikliği, kuraklık, kıtlık, açlık, erozyon ve çölleşme ise yavaş gelişen afetlere örnek verilebilir.

Jeolojik, morfolojik, coğrafi ve iklimsel özellikleri nedeniyle ülkemizde ekonomik zararlara ve can kaybına neden olan doğal afetlerle sıklıkla karşılaşmaktadır. 1950 yılından 2008 yılına kadar Türkiye’de meydana gelen afet olayları incelendiğinde, bu süreçte meydana gelen deprem olay sayısı 5318 ve depremden etkilenen toplam afetzede sayısı 158241 iken heyelan olay sayısı 13494

ve heyelandan etkilenen toplam afetzede sayısı 59345 kişidir. Üçüncü sırada yer alan doğal afet türü ise su baskını olmakla birlikte afet olay sayısı 4067 ve su baskınından etkilenen toplam afetzede sayısı 22157 kişidir. Deprem, heyelan ve su baskını afetlerini afet olay sayısı bakımından sırasıyla kaya düşmesi, çoklu afetler, diğer afetler (yangın, tasman, şiddetli yağış vb.) ve çığ izlemektedir (Tablo 4.2). Ayrıca 35741 yerleşim biriminden %15.31'i heyelan, %11.03'ü deprem, %8.18'i su baskını, %4.76'sı kaya düşmesi ve %1.69'u çığ afetinden etkilenmiştir. Yani ülkemiz yerleşim birimlerinin %44'üne yakını en az bir afet olayına maruz kalmıştır. Afet olay sayısı bakımından bakıldığında heyelan afeti ülkemizde en çok görülen doğal afet olarak öne çıkmaktadır. Ülkemizdeki tüm iller heyelan afetinden etkilenmektedir (Şekil 4.3). İlçelere bakıldığında ise 922 ilçenin 679'unda yani yaklaşık her dört ilçeden üçünde heyelan afetine rastlanmaktadır. Ülkemizde heyelanlı yerleşim birimleri litolojik ve iklimsel özellikleri ile aktif fay zonları nedeniyle Karadeniz Bölgesinde yoğunlaşmaktadır (Gökçe ve diğ., 2008).

Tablo 4.2: Türkiye'de afet türlerine göre olay ve afetten etkilenen afetzede sayıları.

AFET TÜRÜ	Afet Olay Sayısı	Etkilenen Toplam Afetzede
Heyelan	13494	59345
Kaya Düşmesi	2956	19422
Su Baskını	4067	22157
Deprem	5318	158241
Diğer	1175	9237
Çığ	731	4384
Çoklu Afet	2024	12210
Sınıflandırılmamış	42	0
TOPLAM	29807	284996



Şekil 4.3: Türkiye illere göre heyelan olaylarının dağılımı haritası.

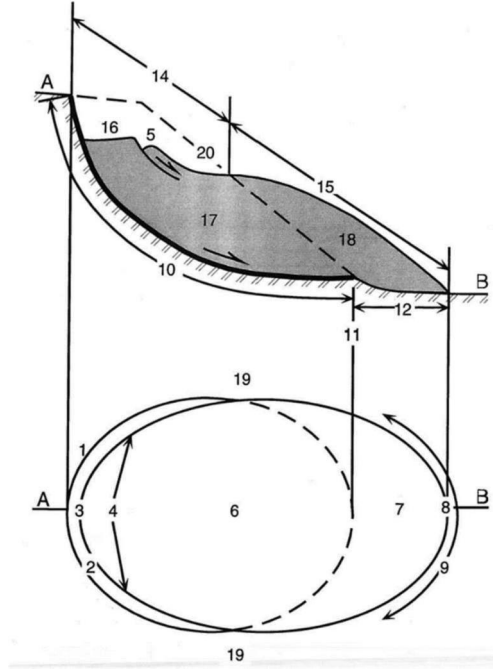
4.2 Heyelan Kavramı

UNESCO tarafından 1990-2000 yılları arası “Doğal Afet Zararlarının Azaltılması İçin On Yıl” olarak ilan edilmiştir. Heyelan konusunda önde gelen bilim insanları ve uzmanların katıldığı WP/WLI (International Geotechnical Societies Unesco Working Party on World Landslide Inventory) adı altında bir sempozyum düzenlenmiş ve heyelan konusunda yapılacak araştırmalara rehberlik edecek bir dizi kılavuz oluşturulmuştur. Önemli heyelanların durumu, oluşum tarihi, tipi, geometrisi, hacmi ve meydana getirdikleri hasarları bildirmek için, heyelan aktivitesini tanımlamak için, heyelanın hareket hızının tanımlanması için yöntemler önerilmiş ve çok dilli bir heyelan sözlüğü yayımlanmıştır.

Cruden (1991) tarafından Dünya Heyelan Envanteri Çalışma Grubu için tanımlanan heyelan terimi, “kaya kütleleri, moloz veya zeminin eğim aşağı hareketini” ifade eder. Varnes (1978), bir yamacı oluşturan toprak, moloz veya kaya malzemenin farklı nedenlerden dolayı yerçekimi etkisi ile yamaç aşağı doğru hareket etmesini heyelan olarak tanımlamıştır. Skempton ve Hutchinson (1969) ise bir veya birkaç yüzey boyunca kayma direncinin azalmasından dolayı kaya ve zemin kütlelerinde meydana gelen şev ve yamaç hareketlerini heyelan olarak nitelendirmişlerdir. Kütle hareketleri içinde değerlendirilen heyelanların asıl nedeni yerçekimi etkisi olmakla birlikte, doğal ve insan aktivitesi kaynaklı diğer nedenler hazırlayıcı ve tetikleyici etkenlerdir. Heyelanın oluşumu genellikle tek bir nedene bağlı olmamakla birlikte doğal ve insan kaynaklı ayrıca karmaşık çevresel faktörler tarafından kontrol edilmektedir.

WP/WLI tarafından heyelanların karakteristik (kütlesel), boyutsal ve aktivite özellikleri ile ilgili tanımlamalar çok dilli heyelan sözlüğünde verilmiştir.

4.2.1 Tipik Bir Heyelanın Karakteristik (Kütlesel) Özellikleri:

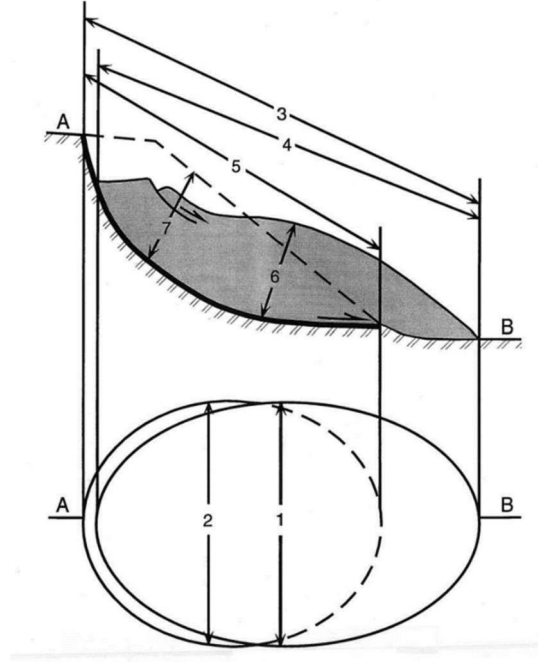


Şekil 4.4: Tipik bir heyelanın kütleli özellikleri (WP/WLI, 1993).

1. Taç: Bir heyelanda ana aynanın (2) en yüksek kesimine yakın konumdaki yer değiştirmemiş malzemenin bulunduğu yerdir.
2. Ana Ayna: Kayan malzemenin (13) hareketi sonucu gelişmiş ve kaymayı çevreleyen örselenmemiş zemin üzerindeki dik veya dike yakın yüzeydir. Kayma yüzeyinin (10) görünür kesimini karşılık gelmektedir.
3. Tepe: Kayan malzeme (13) ile ana aynanın (2) temas yüzeyindeki en yüksek noktadır.
4. Heyelan üst kesimi: Yer değiştirmemiş malzeme ile taç (1) kısmı arasındaki temas yüzeyi boyunca kaymış olan malzemenin üst kısımlarıdır.
5. Tali ayna: Kayan kütle (17) içinde meydana gelen farklı hareketler nedeniyle yer değiştiren malzemenin üst kısmındaki dik veya dike yakın yüzeydir.
6. Ana Kütle: Ana ayna (2) ile kayma yüzeyinin topuğu (11) arasında kalan ve kayma yüzeyini (10) üzerleyen duraysızlığa uğramış (yer değiştirmiş) malzemedir.
7. Heyelan Eteği: Kayma yüzeyinin topuğundan (11) eğim aşağı yönde uzanan yer değiştirmemiş malzemenin bir bölümüdür.
8. Heyelan Uç Noktası: Heyelanın topuk (9) kısmında bulunan, duraysızlığın tepe (3) noktasına en uzak noktadır.

9. Topuk: Ana aynadan (2) en uzakta bulunan yer değiştirmiş malzemenin uç kesimidir.
10. Kayma yüzeyi: Orijinal topoğrafyanın (20) üzerinde bulunan yer değiştirmiş malzemenin alt sınırındaki yüzeydir.
11. Kayma yüzeyi topuğu: Kayma yüzeyinin en alt kısmı (10) ile orijinal topoğrafyanın (20) ara kesitidir.
12. Ayrılma yüzeyi: Heyelanın eteklerinin (7) üzerinde yer aldığı orijinal topoğrafyadır (20).
13. Yer değiştiren malzeme: Heyelan hareketi sırasında orijinal konumunu değiştirmiş malzemedir.
14. Kayma zonu: Heyelan sırasında kayan malzemenin orijinal topoğrafik kotunun daha altında bulunduğu kısımdır.
15. Birikme zonu: Heyelan sırasında kayan malzemenin orijinal topoğrafik kotunun daha üstünde bulunduğu kısımdır.
16. Çöküntü: Ana ayna (2), kayan kütle (17) ve orijinal topoğrafya (20) ile sınırlandırılmış hacimdir.
17. Kayan Kütle: Orijinal topoğrafyanın altında, kayma yüzeyi (10) üzerinde bulunan kayan malzemenin hacmidir.
18. Birikme zonu: Orijinal topoğrafya (20) üzerinde bulunan kayan malzemenin (13) hacmidir.
19. Heyelan kanadı: Duraysızlığı, hareket etmemiş kesimden ayıran kenar kısımlardır.
20. Orijinal topoğrafya: Heyelan gerçekteşmeden önceki orijinal topoğrafik yüzeydir.

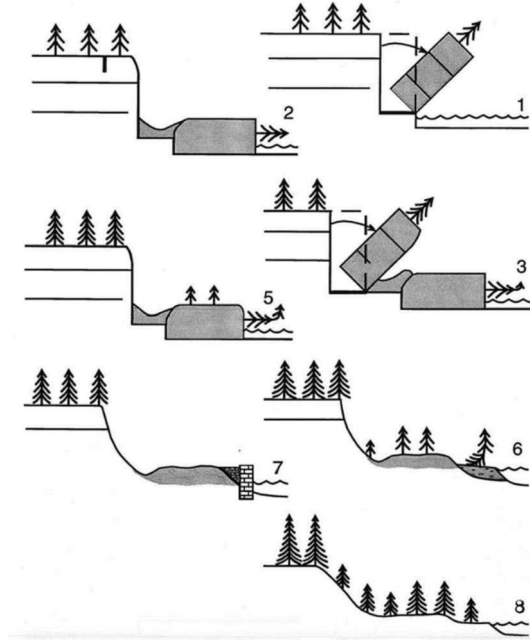
4.2.2 Heyelanların Boyutsal Özellikleri



Şekil 4.5: Heyelanların boyutsal özellikleri (WP/WLI, 1993).

1. Kayan malzemenin genişliği, W_d , yer değiştiren kütle, uzunluğuna (L_d) dik olan maksimum genişliktir.
2. Kayma yüzeyinin genişliği, W_r , kayma yüzeyinin kenarları arasında, kayma yüzeyinin uzunluğuna (L_r) dik olan maksimum genişliktir.
3. Toplam uzunluk, L , heyelanın taç ile topuk kısmı arasında kalan en kısa mesafedir.
4. Kayan malzemenin uzunluğu, L_d , heyelanın tepe noktası ile heyelan topuğu arasında kalan en kısa mesafedir.
5. Kayma yüzeyinin uzunluğu, L_r , kayma yüzeyinin topuğu ile taç kısmı arasındaki en kısa mesafedir.
6. Kayan malzemenin derinliği, D_d , W_d ve L_d 'yi kapsayan düzleme dik olarak ölçülen, kayan malzemenin maksimum derinliğidir.
7. Kayma yüzeyinin derinliği, D_r , orijinal topoğrafya ile kayma yüzeyi arasındaki maksimum derinliktir.

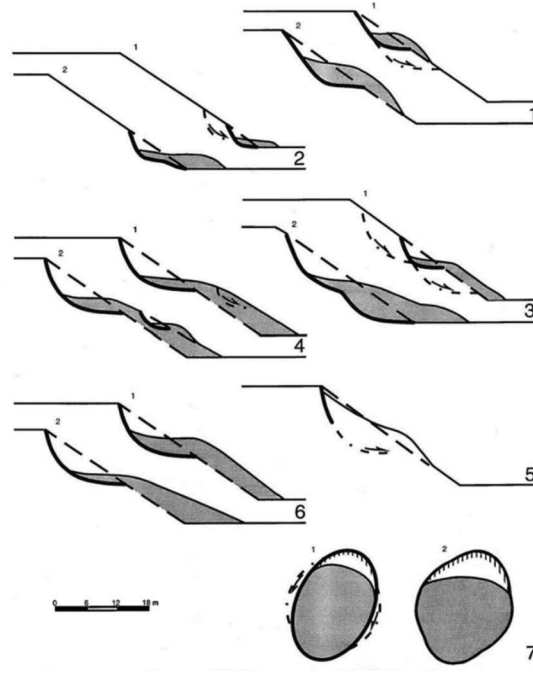
4.2.3 Heyelanların Aktivite Özellikleri



Şekil 4.6: Heyelanların aktivite özellikleri (WP/WLI, 1993).

1. Aktif heyelanlar, hareketi devam eden heyelanlardır.
2. Duraklamış heyelanlar son bir yıl içinde hareket izlenmiş ancak, günümüzde aktif olmayan (5) heyelanlardır.
3. Yeniden aktif olan heyelanlar aktif olmayan bir heyelanın (5) harekete geçerek aktif (1) hale geçmesiyle meydana gelen heyelanlardır.
5. Aktif olmayan heyelanlar, son bir yıl içinde herhangi bir hareketin izlenmediği heyelanlardır. Aktif olmayan heyelanlar eski (6), durağan (7) ve kalıntı (8) olmak üzere 3 grupta incelenmektedir.
6. Eski heyelanlar, herhangi bir nedenle yeniden aktif hale geçebilir (3) aktif olmayan (5) heyelanlardır.
7. Durağan (önlenmiş) heyelanlar, duraysızlığı etkileyen etmenlere karşı önlemler alınarak hareketi durdurulmuş, aktif olmayan (5) heyelanlardır.
8. Kalıntı heyelanlar, duraysızlığın geliştiği andaki jeomorfolojik durumu ve iklim koşulları günümüzdekinden farklı olan aktif olmayan (5) heyelanlardır.

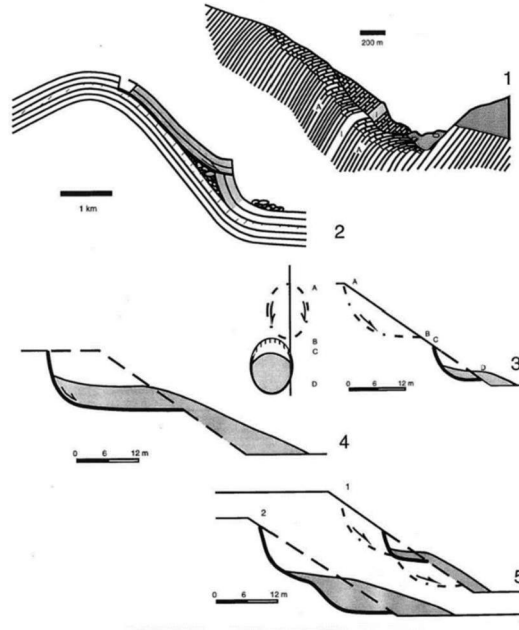
4.2.4 Heyelanların Aktivite Yayılım Özellikleri



Şekil 4.7: Heyelanların aktivite yayılım özellikleri (WP/WLI, 1993).

1. Hareket yönü boyunca genişleyen heyelan, kayma yüzeyi hareketin yönü boyunca genişleyen heyelanlardır.
2. Gerileyen heyelan, kayma yüzeyi yer değiştiren malzemenin hareket yönünün tersi yönde gelişen heyelanlardır.
3. Büyüyen heyelan, kayma yüzeyi iki veya daha fazla yönde gelişen heyelanlardır.
4. Küçülen heyelanlar, yer değiştiren malzemenin hacminin giderek azaldığı heyelanlardır.
5. Gizlenmiş (confined) heyelanlar, ana aynası olan ancak, kayma yüzeyi ve topuğu gözükmeyen heyelanlardır.
6. İlerleyen heyelanlar, yer değiştirmiş malzemenin hacminde ve kayma yüzeyinde herhangi bir değişiklik olmadan hareketine devam eden heyelanlardır.
7. Kanatlar boyunca genişleyen heyelanlar, hareketin heyelanın kanatları boyunca genişlediği heyelanlardır.

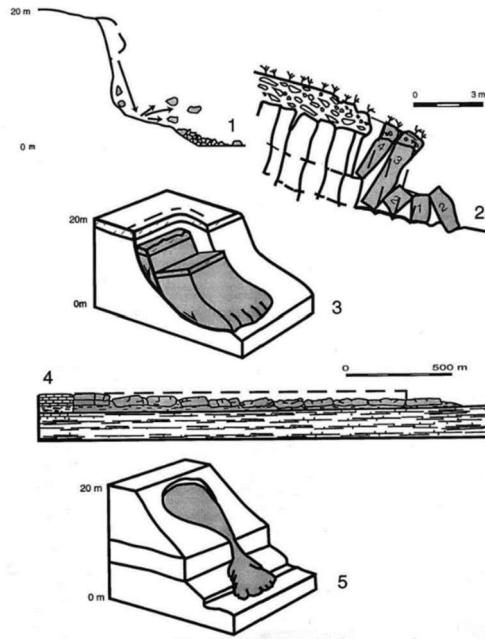
4.2.5 Heyelanların Aktivite Türleri



Şekil 4.8: Heyelanların aktivite özellikleri (WP/WLI, 1993).

1. Karmaşık heyelan, birden fazla sayıda duraysızlık türünün (düşme, devrilme, kayma, yanal yayılma, akma) bir arada geliştiği duraysızlıktır.
2. Bileşik (kompozit) heyelan, en az iki heyelan türünün bir arada gözlemlendiği ancak, aynı hareket zonu içinde farklı alanlarda gelişmiş heyelanlardır.
3. İlerleyen heyelan, daha önce gerçekleşmiş bir heyelanın yakınında, farklı bir kayma yüzeyi boyunca gelişen heyelanlardır.
4. Tekil heyelan, yenilen malzemenin tekil hareketidir.
5. Çoklu heyelan, aynı heyelan türünün birden çok sayıda gelişmesiyle meydana gelen heyelanlardır.

4.2.6 Heyelanların Türleri



Şekil 4.9: Heyelanların türleri (WP/WLI, 1993).

1. Düşme, toprak ya da kaya bloklarının, dik bir yamaç boyunca herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın ana kütlede ayrılmalarıdır. Bu duraysızlık sırasında, bloklar serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde hareket ederler.
2. Devrilme, toprak ya da kaya kütlelerinin ağırlık merkezinin üzerindeki bir nokta veya eksen boyunca şevden ileri doğru rotasyonel (dönel) hareketidir.
3. Kayma, toprak ve kaya kütlelerinin bir veya birden çok yüzey üzerinde makaslama deformasyonu sonucu meydana gelen hareketidir.
4. Yanal Yayılma, kohezyonlu topraklar veya kaya kütlelerinin altında bulunan daha yumuşak bir zemin üzerinde genişlemesidir. Yenilme yüzeyi en büyük makaslama gerilmesinin geliştiği yüzey olmayıp, sıvılaşma veya yumuşak zeminlerin akması sonucunda gerçekleşebilir.
5. Akma, birden fazla sayıda makaslama yüzeyi boyunca gelişen ve çoğunlukla serbest yüzeyler boyunca yer değiştirerek yayılan kütle hareketidir. Hareket eden kütlede hızın dağılımı, viskoz bir sıvıdaki dağılıma benzemektedir.

4.3 Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Kütle hareketleri farklı nedenlere bağlı olarak, farklı malzeme ve farklı türlerde meydana gelebilmektedir. Literatürde heyelanların alan (Conforth, 2004), hız (Cruden ve Varnes, 1996), malzeme türü ve hareket türüne göre (Varnes, 1978 - EPOCH, 1993) sınıflandırıldığı görülmektedir. Varnes (1978) kütle hareketlerini malzemenin türü ve hareket türünü temel alarak sınıflandırmıştır. Günümüzde de en yaygın şekilde kullanılan sınıflandırma Varnes (1978) sınıflandırmasıdır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Varnes (1978)'e göre kütle hareketlerinin sınıflandırılması.

Hareket Türü		Malzeme Türü		
Düşmeler		Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Zemin düşmesi
Devrilmeler		Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Zemin devrilmesi
Kaymalar	Rotasyonel	Kaya çökmesi	Moloz çökmesi	Zemin çökmesi
	Translasyonel	Kaya kayması Kaya blok kayması	Moloz kayması Moloz blok kayması	Zemin kayması Zemin blok kayması
Yanal yayılmalar		Kaya yayılması	Moloz yayılması	Zemin yayılması
Akmalar		Kaya akması	Moloz akması	Zemin akması
		(Derin akma)	(Toprak akması)	
Karışık		İki veya daha fazla ana hareket türünün kombinasyonu		

4.4 Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramları

Tehlike belirli bir alan içinde, belirli bir zamanda potansiyel olarak hasar verme etkisine sahip bir olayın olma olasılığıdır (Varnes, 1984). Risk ise tehlikeye bağlı olarak yaralanma, can ve mal kaybı ile ekonomik zararların tahmini miktarıdır (Varnes, 1984). Duyarlılık ise kelime anlamı olarak duyarlı olma durumu, hassasiyeti ifade eder.

Einstein (1988), heyelan oluşumunda etkili parametreler ile potansiyel heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin fonksiyonunu heyelan duyarlılığı olarak tanımlamıştır. Ayrıca heyelan duyarlılığı ile heyelana neden olan tetikleyici

parametrelerin (yağış, deprem, insan vb.) fonksiyonunu heyelan tehlikesi, heyelan tehlikesi ile heyelan sonucunda oluşacak zararın fonksiyonunu ise heyelan riski olarak tanımlamıştır.

Bir bölgenin heyelan duyarlılığı, heyelan oluşumunda etkisi olan parametrelerinin dikkate alınarak heyelan gelişebilecek alanların, göreceli olarak sınıflandırılmasıdır. Heyelan duyarlılığı, meydana gelmiş heyelan özelliklerinin belirlenip, meydana gelebilecek heyelan alanlarının, dikkate alınan parametreler yardımıyla ortaya konulmasını kapsamaktadır (Varnes, 1984). Aleotti ve Chowdhury (1999)'e göre heyelan duraylılık değerlendirmesi gelecekte oluşacak heyelanlarla ilgili şu sorulara cevap verir nitelikte olmalıdır;

Gelecekte de heyelanlar nerede oluşacak?

Hangi tür heyelanlar oluşacak?

Heyelanlar nasıl oluşacak?

Heyelan tehlikesi, Varnes (1984) tarafından, belirli bir alanda ve zaman diliminde potansiyel olarak hasar verici bir etkiye sahip bir heyelanın oluşabilme olasılığı olarak tanımlanmıştır. Buna göre heyelan tehlikesi belirlenirken zaman ve konum bilgilerinin yanı sıra yağış ve deprem gibi tetikleyici parametrelerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Heyelan riski ise, heyelan duyarlılık ve tehlike kavramlarının yanı sıra; nüfus ve ekonomik maliyet gibi sosyoekonomik parametreleri de içeren bir kavramdır (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Bu tanımlamalara göre bir heyelan değerlendirmesi yapabilmek için sırasıyla heyelan duyarlılığı, heyelan tehlikesi ve heyelan riskinin ortaya konulması gerekmektedir.

Günümüzde heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritaları oluşturma yöntemleri ve bu haritaların kapsamı ile ilgili olarak araştırmacılar arasında herhangi bir fikir birliği bulunmamaktadır. Tüm bu haritaların oluşturulması aşağıdaki varsayımları temel almaktadır:

- Heyelanlar belirgin morfolojik özellikler gösterir. Bu morfolojik özellikler hem arazide, hem de uzaktan algılama yöntemleriyle, özellikle hava fotoğraflarında tanımlanabilir, sınıflandırılabilir ve haritalanabilir.
- Geçmişte meydana gelen tehlikeli olaylar gelecekte meydana gelebilecek tehlikeli olayların tahmini için faydalı bilgiler sağlayabilir. Mevcut heyelanların oluştuğu benzer koşullar ve etmenler altında gelecekte de heyelanların olması muhtemeldir.
- Heyelanların meydana geldiği alanlardaki faktörler ve heyelan oluşumuna katkıları belirlenerek, gelecekte heyelan olması beklenen alanların görece sınıflandırıldığı haritalar üretilebilir.

Ancak heyelan oluşumunun doğası gereği zamanda ve mekânda süresiz olması, sebep, tetikleyici faktörler ve sebep sonuç ilişkilerini belirleme zorluğu ile bu jeomorfolojik süreçlerle ilgili tarihsel verilerin eksikliği aşılması gereken engeller olarak ortaya çıkmaktadır (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Ercanoğlu (2005), heyelan risk haritalama çalışmalarının ayrıntılı olması, çok sayıda ve türde veriye gereksinim duyması nedenlerinden dolayı, heyelan duyarlılık ve tehlike haritalama çalışmalarından daha az sayıda olduğunu ifade etmektedir.

Son birkaç on yıldaki bilgisayar teknolojisi ve coğrafi bilgi sistemlerindeki (CBS) gelişmelere bağlı olarak heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritaları ile ilgili çalışmalarda artış görülmektedir. CBS ortamında heyelan duyarlılık harita ve değerlendirilmesinin yapılabilmesi için takip edilecek işlem sırası şu şekildedir (Van Westen, 1993):

- Yapılacak çalışma için çalışma ölçeğinin ve metotların belirlenmesi,
- Birbirleri ile ilişkili harita ve verilerin toplanması,
- Uzaktan algılanmış görüntülerin yorumlanması ve yeni girdi haritalarının oluşturulması,
- Veri tabanı kurulması, hangi verinin nasıl toplanacağı ve toplanan verilerin depolama yönteminin belirlenmesi,
- Uzaktan algılanmış görüntü ve konu ile ilgili sayısal veri toplanması,
- Sınıflandırma için gerekli ise jeolojik verilerin analizi,

- Öznitelik verileri ile haritaların sayısallaştırılması,
- Girilen verilerin doğruluğunun irdelenmesi,
- Analizde kullanılacak ham verilerin kullanıma uygun biçimde dönüştürülmesi ve yöneltilmesi,
- Duyarlılık haritalarının hazırlanması için verilerin analiz edilmesi,
- Girdi haritalarının güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve bir önceki aşamada meydana gelen hataların ortaya konulması,
- Sonuç duyarlılık haritasının üretimi ve ilgili raporun tamamlanması.

İşlem adımlarında görüldüğü gibi öncelikle çalışma ölçeğinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın amacı, kullanılacak olan yöntem, çalışma alanının büyüklüğü ve çalışmada kullanılacak verilere bağlı olarak kullanılacak olan ölçek değişkenlik gösterir.

Cascini (2008), kullanım amacını da belirterek detaylı bir ölçek analizi sunmuştur.

- 10000 km²'den büyük alanlar için genellikle karar vericiler ve halkı bilgilendirmek amacıyla küçük ölçek (< 1/1000000),
- 10000 - 1000 km² alanlar için bölgesel gelişim ve planlamada, önemli mühendislik yapılarının planlanması, heyelan envanter, duyarlılık ve tehlike analizleri amacıyla orta ölçek (1/100000 – 1/25000),
- 10 – 100 km² alanlar için bölgesel kalkınma için ileri planlama, bölgesel heyelan envanter, duyarlılık ve tehlike haritaları ile büyük mühendislik yapıları ve karayolu, demiryolu planlamaları amacıyla büyük ölçek (1/25000 – 1/5000) ve
- 10 km²'den küçük alanların ileri derece tehlike ve risk analizi ile büyük mühendislik yapıları, karayolu ve demiryollarının tasarım ve önlem çalışmaları için ayrıntılı ölçek (> 1/5000)

olarak tanımlanmıştır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde; seçilen ölçeğe, kullanılacak yönteme ve elde edilen verilerin kalitesine bağlı olarak bir haritalama birimi seçilmelidir. Haritalama birimi; haritadaki bir alanın komşu alanlardan belirli özelliklerine göre ayrılabilen ve sınırları belirlenebilen bölümünü temsil eder. CBS analizlerinde genellikle düzenli karelerden oluşan grid ağı oluşturulmakta ve her hücreye parametrenin sayısal değeri atanmaktadır. CBS ile yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde nitel yöntemler, istatistiksel analizler, fiziksel ve benzetişim çalışmalarında grid-hücre haritalama birimi kullanılmaktadır (Yüksel, 2007).

Tez alışması kapsamında üretilen tüm haritalar için bir kenarı 25 m olan hücre boyutu kullanılmıştır. Her hücre 25x25 m olmak üzere 625 m² alan kapsamaktadır. Üretilen haritaların konumsal çözünürlüğü 25 m'dir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

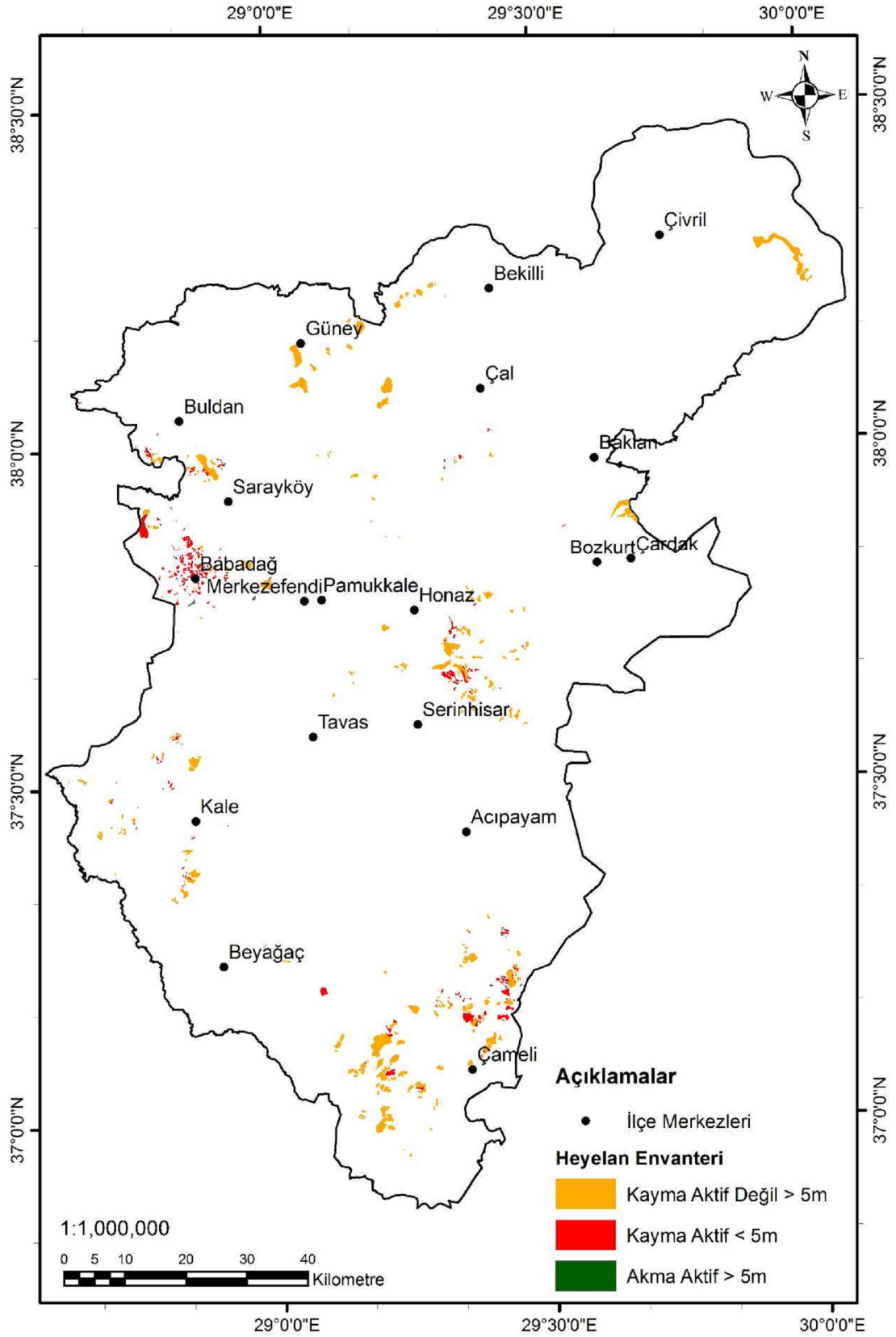
5.1 Materyal

5.1.1 Heyelan Envanteri

Heyelanların meydana geldiği yerler, oluşum zamanları ve heyelan tiplerinin gösterildiği haritalara heyelan envanteri denilmektedir. Tekil heyelanlarla ilgili arşiv dokümanlarının derlenmesiyle oluşturulan envanter haritaları arşiv envanteri, hava fotoğrafları ve arazi çalışmalarından da yararlanılarak oluşturulan haritalar, jeomorfolojik envanter haritaları olarak adlandırılır. Tetiklenme süreci ayırt edilmeden, geçmişte olmuş ve günümüzde de morfolojisini koruyan heyelanların gösterildiği jeomorfolojik heyelan envanter haritaları tarihsel heyelan envanter haritaları, yağış, deprem, kar erimesi gibi tetikleyici faktörler sonrası meydana gelen heyelanları gösteren envanter haritaları ise heyelan olay envanter haritaları olarak adlandırılır. Aynı bölgenin farklı zamanlarda çekilen hava fotoğraflarından yararlanılarak oluşturulan envanter haritalarına ise çok zamanlı heyelan envanter haritaları adı verilmektedir (Guzzetti ve diğ., 2000; Guzzetti ve diğ. 2012).

MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1997 yılında “Türkiye Heyelan Envanter Haritası” projesine başlanmıştır. Söz konusu proje kapsamında orta (1:25000), bölgesel (1:500000) ve ulusal (1:1.500000) ölçekte Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında sayısal heyelan envanter haritaları üretilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları öncesi, hava fotoğrafı yorumlamaları yapılmış ve saptanan heyelanlar 1:25000 ölçekli temel topoğrafik haritalara işlenmiştir. Çalışma sırasında, dişey siyah beyaz, orta (1:35000) ve büyük (1:10000) ölçekli hava fotoğrafları kullanılmıştır (Çan ve diğ. 2013).

Tez çalışmasında heyelan envanteri olarak MTA Genel Müdürlüğü’nce hazırlanan 1/500000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası (Duman ve diğ., 2011) kullanılmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Çalışmada kullanılan ve MTA Genel Müdürlüğüne hazırlanan heyelan envanteri (Duman ve diğ., 2011'den değiştirilerek).

Heyelan envanterinde Denizli İl sınırları içerisindeki heyelanlar; 5m'den derin aktif olmayan kayma, 5 m'den derin aktif kayma ve 5 m'den derin aktif akma sınıflarında bulunmaktadır.

Denizli heyelan envanterinde bulunan 647 heyelandan 331 tanesi 5m'den derin aktif olmayan kayma, 305 tanesi 5 m'den derin aktif kayma ve geri kalan 11 tanesi 5 m'den derin aktif akmadır. Alansal olarak en küçük heyelan 972 m², en büyük heyelan ise 30 km² olmakla birlikte heyelanların toplam alanı 213 km² dir.

5.1.2 Parametre Haritaları

Geçmişte olan heyelanların hangi koşullar altında olduğunun bilinmesi durumunda gelecekte olacak heyelanların nerelerde olabileceğinin belirlenmesinin mümkün olduğu önceki bölümlerde belirtilmişti. Geçmişte olan heyelanların geliştiği alanlardaki parametrelerin ortaya konulmasıyla benzer parametrelere sahip alanlarda heyelan beklenebilir. Literatürde hangi parametrelerin heyelan üzerinde etkin rol oynadığına ve yapılacak olan analiz çalışmalarında hangi parametrelerin kullanılacağına dair araştırmacılar arasında bir görüş birliği bulunmamaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Heyelan oluşumunda etkisi olan hazırlayıcı parametreler jeolojik, topoğrafik ve çevresel olmak üzere 3 alt grupta sınıflandırılabilir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Hasekioğulları (2010), 2000-2010 yılları arasında heyelan duyarlılığı ile ilgili yapılmış 114 çalışmayı değerlendirerek parametrelerin kullanılma sıklığını incelemiştir. Ayrıca Jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametrelerin alt parametrelerinin detaylı olarak kullanım oranlarını ve sayılarını vermiştir. Litoloji, yapısal unsurlara uzaklık, malzeme özellikleri, toprak kalınlığı ve bozunma durumu en çok kullanılan jeolojik parametrelerdir. Litoloji parametresi incelenen 114 çalışmanın 83 tanesinde (%73) kullanılmıştır. Topoğrafik parametrelerden yamaç eğimi, bakı, topoğrafik yükseklik, yamaç eğriselliği ve drenaja uzaklık en çok kullanılan parametrelerdir. Yamaç eğimi 109 çalışmada, bakı ise 72 çalışmada kullanılmıştır. Çevresel parametrelerden arazi kullanımı, bitkilere ilişkin özellikler, yola uzaklık, yerleşime uzaklık ve enerji hatlarına uzaklık bu kategorideki en çok kullanılan parametrelerdendir.

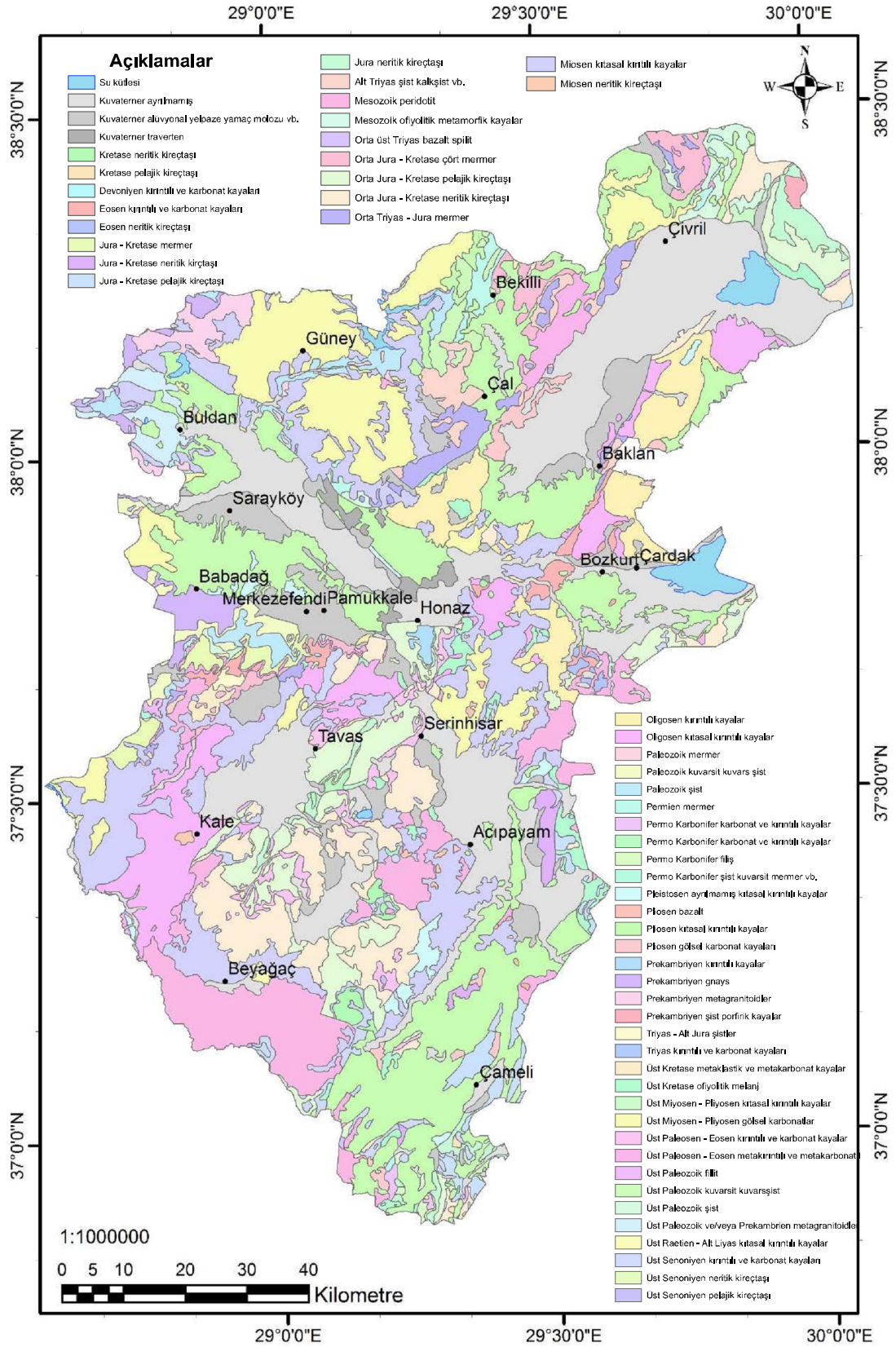
Şahin (2017), optimum parametre sayısı ve türünün tespitine yardımcı olması ve parametrelerin seçiminde güncel eğilimleri belirlemek amacıyla 2000-2015 yılları arasını kapsayan ve heyelan duyarlılık haritası üretimi konusu üzerine 268 adet çalışmayı incelemiştir. Yaptığı değerlendirmede araştırmacıların heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde birbirinden farklı 57 parametre kullandıklarını ortaya koymuştur. En çok kullanılan parametrelerin 260 kullanım sayısı ile eğim parametresi ile sırasıyla litoloji, bakı, arazi kullanımı, eğrilik, yükseklik, çizgisellik, drenaj yoğunluğu-drenaja uzaklık, yol, akarsu, topoğrafik nemlilik indeksi, yağış, akarsu gücü indeksi, toprak türü, NDVI, toprak kalınlığı, toprak yapısı, oransal rölyef ve orman türü olduğunu belirtmiştir.

5.1.2.1 Jeolojik Parametreler

5.1.2.1.1 Litoloji

Farklı litolojik birimlerin sahip olduğu kayma gerilmeleri ve su geçirgenliği özellikleri birbirinden farklı olduğundan kaymaya karşı duyarlılıkları da farklıdır. Kayma mukavemeti parametrelerinden içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri, yamaç ve şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerdir. Litolojik olarak zemini oluşturan malzemenin tane boyutu arttıkça yağışa da bağlı olarak zemindeki su içeriğinin artmasına ve heyelan olasılığının artmasına neden olacaktır (Dağ, 2007).

MTA kuruluşundan itibaren 1960'lı yıllara kadar Türkiye geneli için 1/100000 ölçekli, 1960 - 2002 yılları arasında ise 1/25000 ölçekli jeoloji haritalarını tamamlamıştır. Sayısal 1/500000 ölçekli jeoloji haritaları ise 2002 yılında hazırlanmıştır. 2005 yılından itibaren 1/25000 ölçekli jeoloji haritalarının güncellenmesi çalışmaları yapılmaktadır. 2006 – 2010 yılları arasında hayata geçen T.C. Başbakanlık Bilgi Toplumu Stratejisi Eylem Planı çerçevesinde Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Altyapısı kurulumu (TUCBS-A) kapsamında 2013 yılında MTA Yerbilimleri Portalı oluşturularak jeoloji, diri fay ve heyelan haritaları kamuoyunun kullanımına açılmıştır (Timur ve diğ., 2013). Bu tez çalışması kapsamında MTA tarafından üretilen litoloji katmanı kullanılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: Denizli ili litoloji haritası (Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye - değiştirilerek).

5.1.2.2 Topoğrafik Parametreler

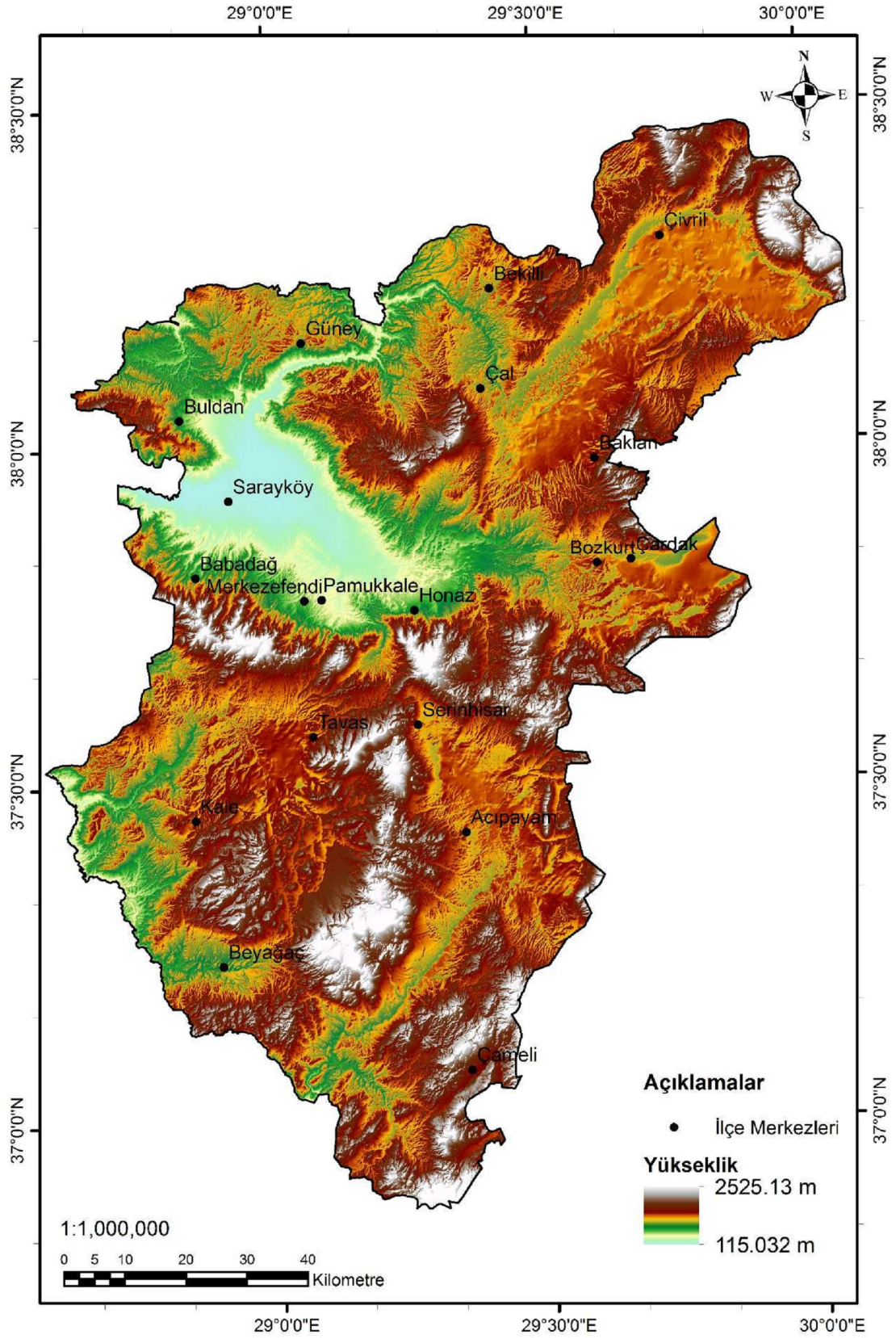
5.1.2.2.1 Yükseklik

Bir noktanın deniz seviyesinden itibaren yüksekliği topoğrafik yüksekliktir. Yükseklik erozyon tipi ve derecesi ile biyofiziksel ve antropojenik aktiviteyi (Dai ve Lee, 2002) aynı zamanda toprak özelliklerini de etkileyen (Gomez ve Kavzoğlu, 2005) bir parametredir. Düşük kotlarda düşük yamaç eğimi ve kalın örtü tabakasına bağlı olarak daha düşük heyelan duyarlılığı, yüksek kotlarda bulunan yüksek dayanıma sahip kaya litolojilerin oluşturduğu alanların düşük heyelan duyarlılığına sahip olduğu kabul edilmektedir (Dağ, 2007).

Ercanoğlu ve diğ. (2004), 500 m üzerindeki yüksekliklerde yoğun orman varlığı nedeniyle heyelan sayısında azalma olduğunu belirtirken, Koukis ve Ziourkas (1991), 600 – 1000 m arasındaki topoğrafik yüksekliklerin daha fazla yağış alması sebebiyle bu kotlarda daha çok heyelan olaylarının gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Çalışmada kullanılan yükseklik haritası Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik paftalardan üretilmiştir. ArcMap programında eş yükselti eğrilerinden oluşan sayısal topoğrafik haritalar birleştirilerek üçgenleme yapılmış ve oluşan üçgen modelden sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Elde edilen sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü 25 metre olacak şekilde ayarlanmıştır.

Elde edilen yükseklik haritasında Denizli ilinin en alçak kısımlarının Sarayköy ilçesinin bulunduğu batı – kuzeybatı bölgelerinin olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde deniz seviyesinden yükseklik yaklaşık 115 metredir. Honaz Dağı ise yaklaşık 2525 metre deniz seviyesinden yükseklik ile ilin en yüksek bölgesini oluşturmaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: Denizli ili sayısal yükseklik modeli haritası.

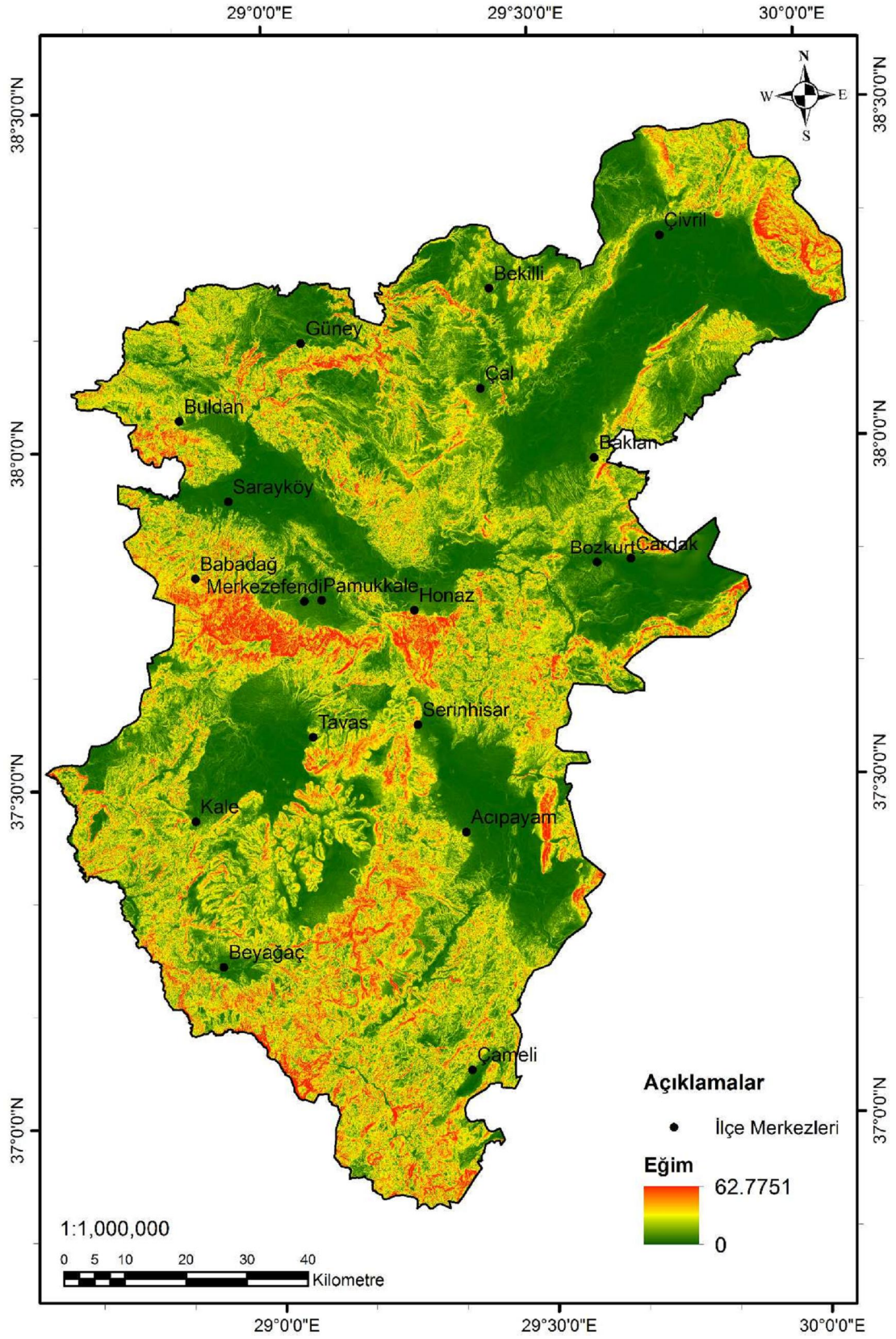
5.1.2.2.2 Yamaç Eğimi

Yamaç eğimi heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında araştırmacılar arasında en çok kullanılan topoğrafik parametredir (Hasekioğulları, 2010). Eğimin fazla olduğu alanlarda heyelan olma olasılığı da artmaktadır. Yamaç eğiminin değişmesi ve yamaç dengesinin bozulması heyelanların meydana gelmesinde en önemli faktördür (Şahin, 2017).

Öztürk (2002), yamaç eğiminin artmasının kaya bloklarının dengesini bozarak kayma meydana gelmesine neden olduğunu belirtmiştir. Genellikle düşük eğimde ve çok yüksek eğimde heyelan duyarlılığı düşüktür. Şahin (2017), heyelan aktivitesinin en yoğun olarak $12^{\circ} - 22^{\circ}$ aralığında olduğunu, eğimin çok düşük olduğu $0^{\circ} - 6^{\circ}$ aralığı ile yüksek eğimli ($30^{\circ} - 75^{\circ}$) kesimlerde heyelan yoğunluğunun az olduğunu belirtmiştir.

Çalışmada kullanılan yamaç eğimi haritası, sayısal yükseklik modelinden ArcMap programında Spatial Analyst araç kutusunun Surface -> Slope modülü ile üretilmiştir.

Denizli il sınırları içerisinde yamaç eğimi 0° ile 63° arasında değişmektedir (Şekil 5.13). Çivril-Baklan Ovaları, Sarayköy Ovası, Tavas-Kale Ovaları ile Acıpayam Ovası düzlükleri oluşturmaktadır. İl merkezi, Honaz ve Babadağ ilçelerinin güneyi ile Çivril ilçesinin doğusu en yüksek eğime sahip alanlardır.

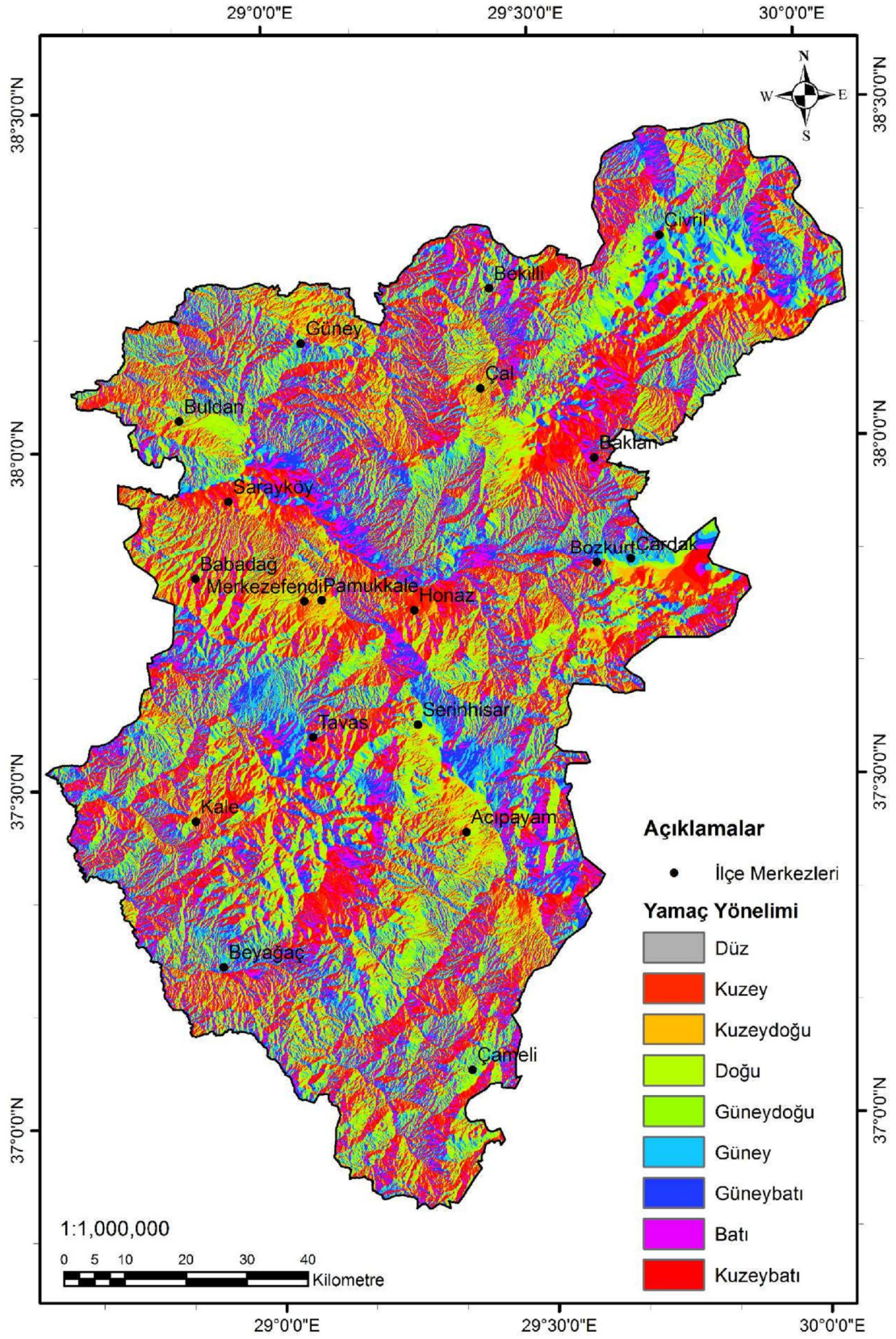


Şekil 5.13: Denizli ili yamaç eğimi haritası.

5.1.2.2.3 Yamaç Yönelimi

Yamaç yönelimi (bakı) yamacın 0-360° arasında hangi yöne doğru yönelmiş olduğunu ifade eder. Yağış miktarı, arazi örtüsü, buharlaşma, güneşlenme süresi gibi birçok faktör üzerinde etkisi bulunan bakı, heyelan duyarlılık çalışmalarında sıklıkla kullanılan parametrelerden birisidir. Genellikle kuzey yamaçlarının daha az güneş etkisi altında kaldığı ve daha çok yağış aldığı, doğu yönlü yamaçların güneş ısısından çok fazla yararlanmadığı gibi etkileri bulunmaktadır.

Yamaç yönelimi haritası sayısal yükseklik modelinden ArcMap programında Spatial Analyst araç kutusunun Surface -> Aspect modülü kullanılarak üretilmiştir (Şekil 5.14).

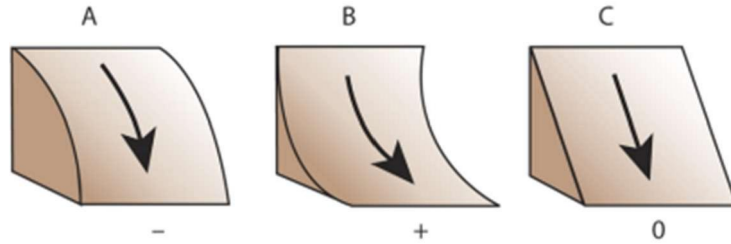


Şekil 5.14: Denizli ili yamaç yönelimi haritası.

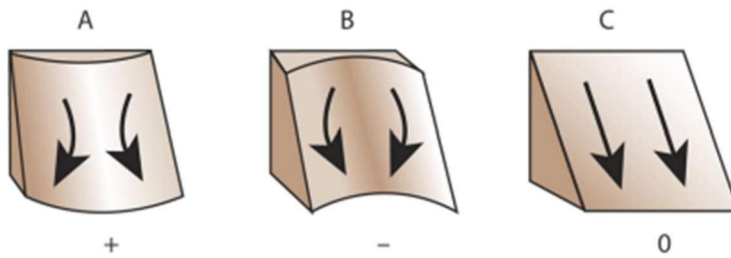
5.1.2.2.4 Yamaç Eğriselliği

Eğrilik belirli bir yönde arazi eğim açısının veya yönünün değişim oranı olarak tanımlanabilir (Wilson ve Gallant, 2000). Yüksel (2007), yamaç eğriselliği parametresinin heyelan oluşumu üzerindeki etkisini, dışbükey yamaçlardaki yüzey sularının drenajına bağlı olarak, içbükey yamaçlarda ise yüzey sularının yamaçtaki malzeme içinde toplanarak yamacın doygunluk derecesini arttırması şeklinde açıklamıştır. Lee ve Min (2001), heyelanların %52'sinin içbükey yamaçlarda olduğunu ve içbükey yamaçların heyelana daha duyarlı olduğunu, Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2004) ise heyelanların %47'sinin dışbükey yamaçlarda olduğunu belirtmişlerdir.

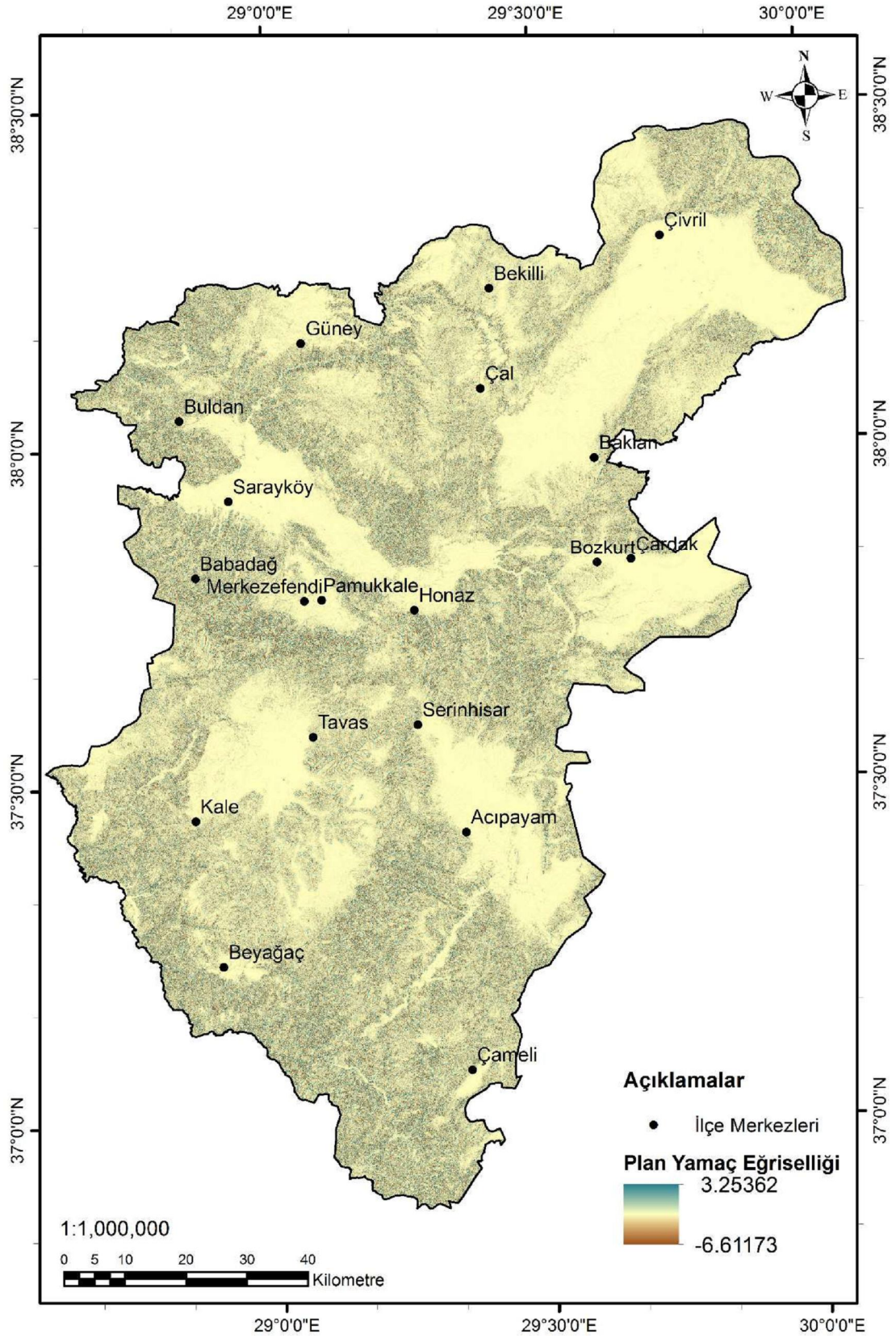
Yamaç eğriselliği parametresi plan yamaç eğriselliği ve profil yamaç eğriselliği olarak ayrı ayrı heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılabilir. Plan yamaç eğriselliği maksimum eğim yönüne dik olan eğrilik yönüdür ve sırtlar ile vadiler arasındaki farklılık için kullanılır. Pozitif değerler yanlamasına konveksliği, negatif değerler ise yanlamasına konkavlığı gösterirken 0 değeri yamacın doğrusallığını göstermektedir. Profil yamaç eğriselliği ise maksimum eğim veya en dik eğim yüzeyine paralel olan eğrisellik yönüdür (Şahin, 2017).



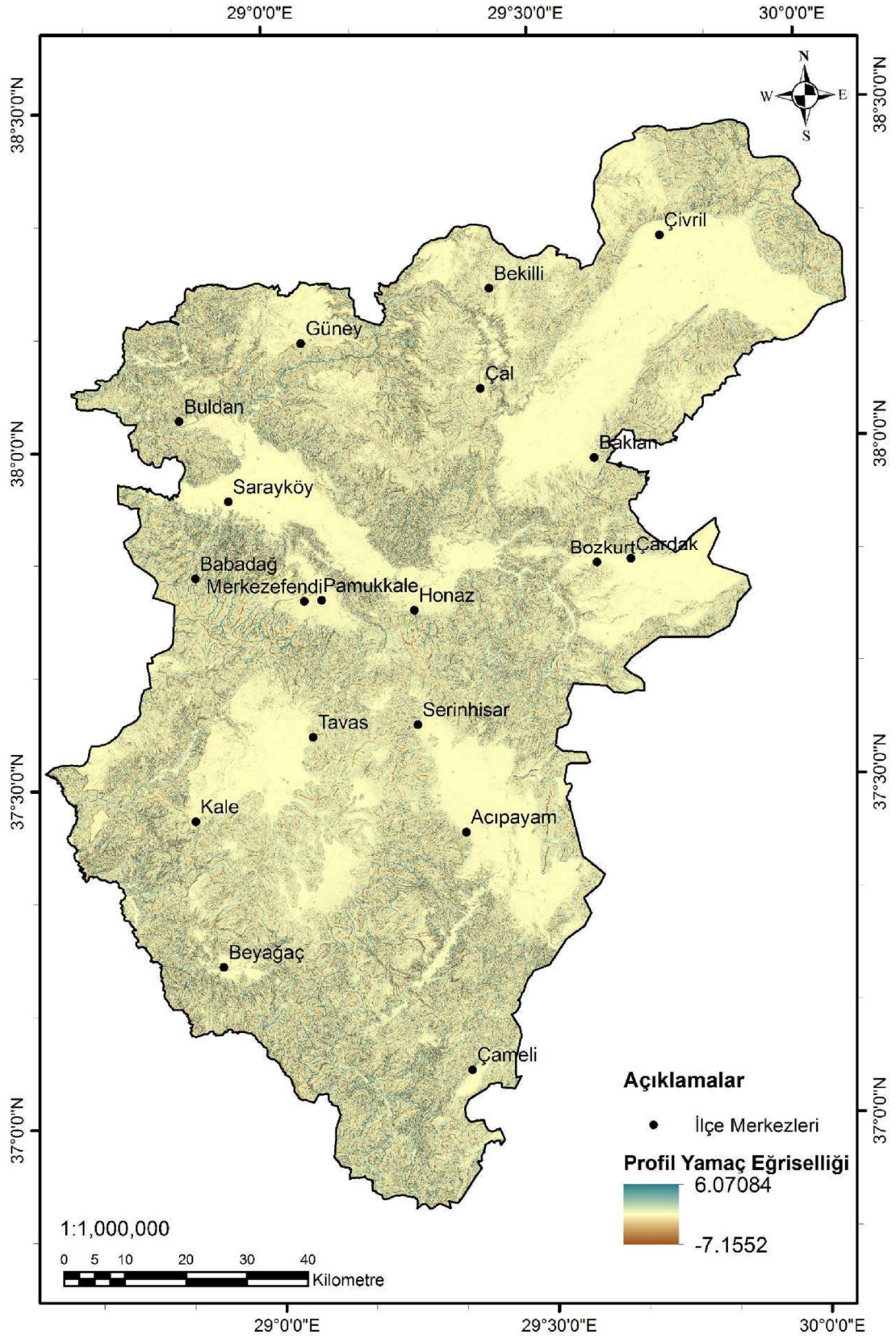
Şekil 5.15: Profil yamaç eğriselliği (<http://desktop.ArcMap.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>)



Şekil 5.16: Plan yamaç eğriselliği (<http://desktop.ArcMap.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>)



Şekil 5.17: Denizli ili plan yamaç eğriselliği haritası.

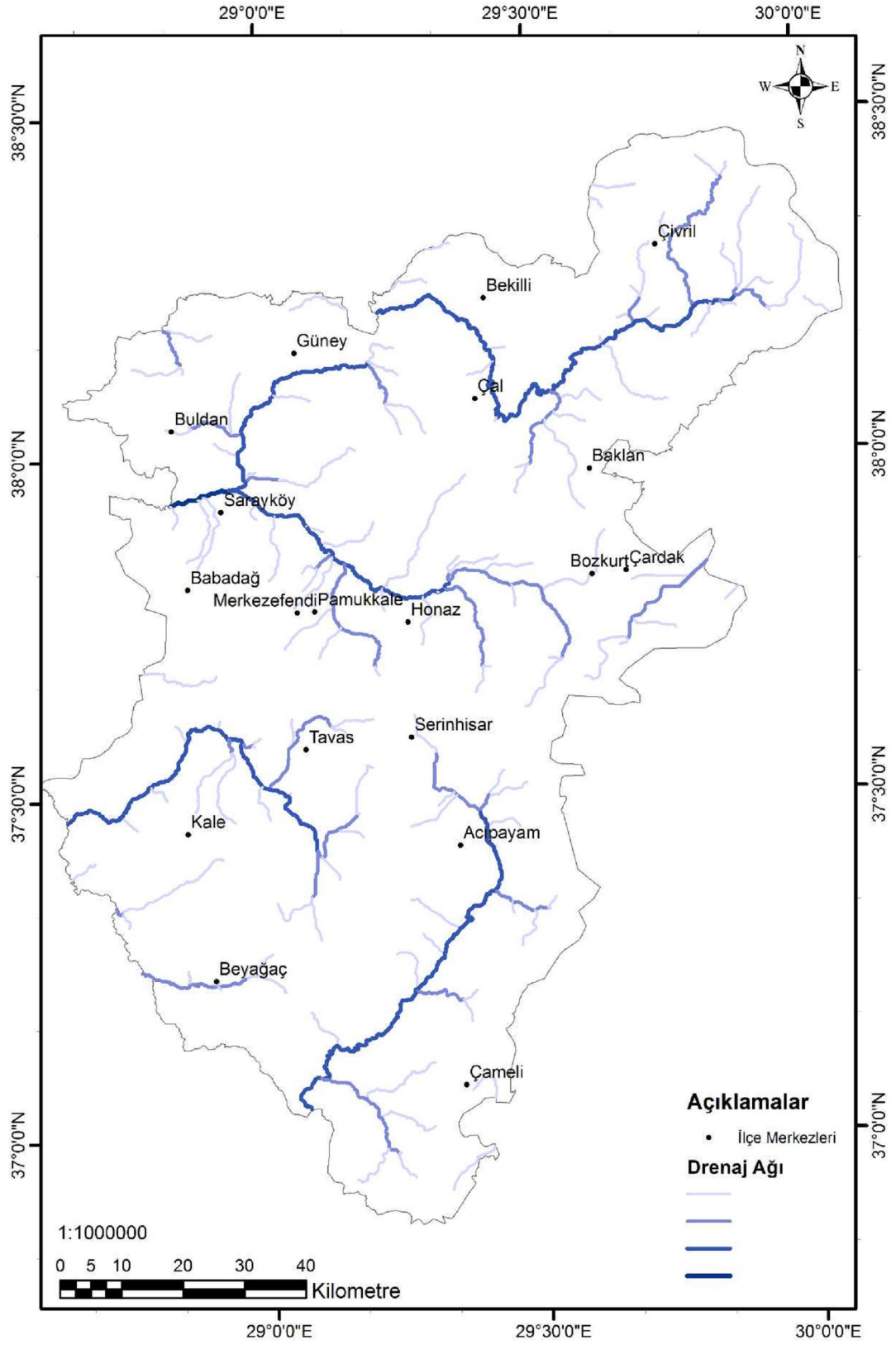


Şekil 5.18: Denizli ili profil yamaç eğriselliği haritası.

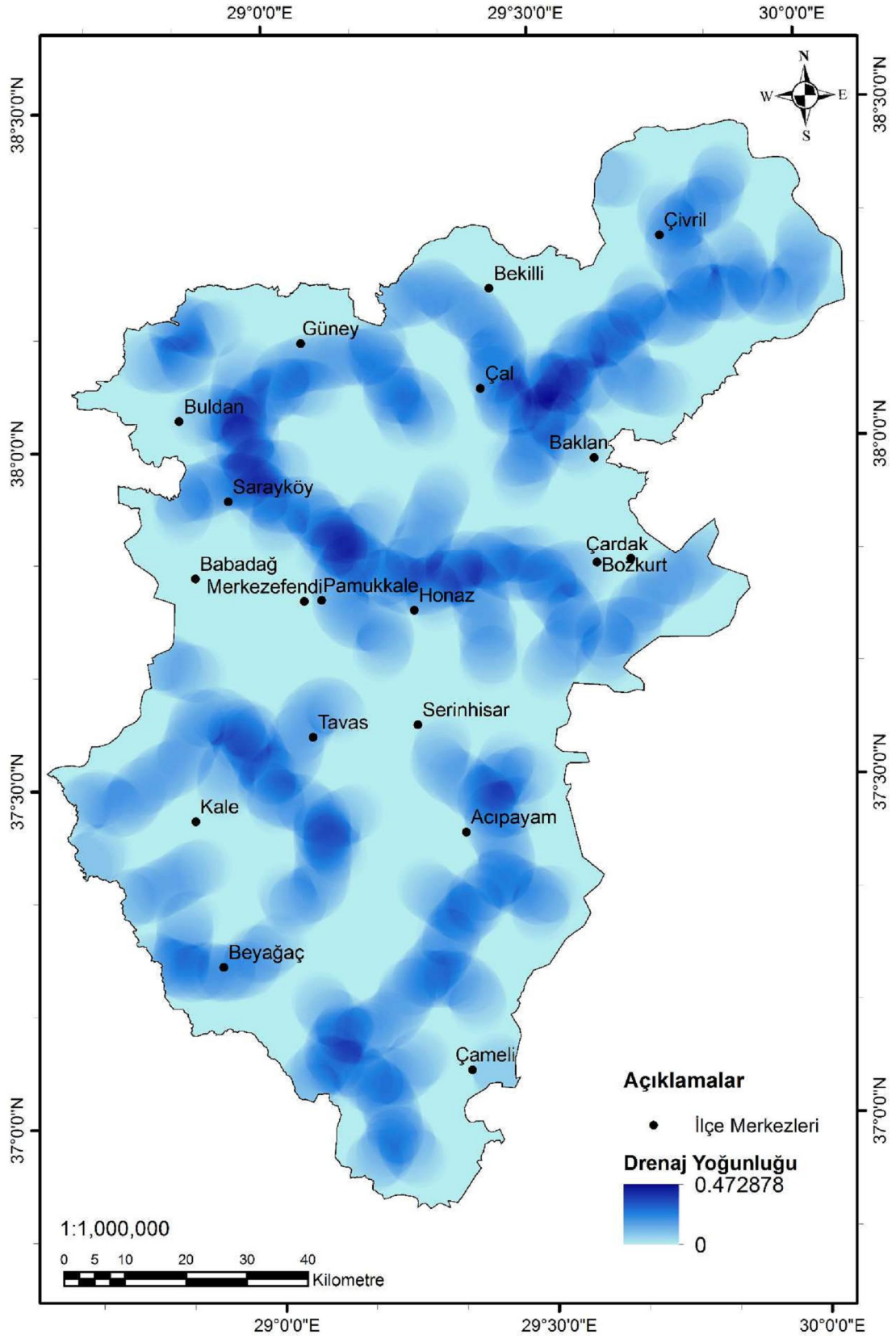
5.1.2.2.5 Drenaj Yoğunluğu

Bir havzadaki toplam akarsu uzunluğunun, havzanın alanına oranı drenaj yoğunluğunu ifade etmektedir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olması yüzey sularının zemine sızmasının düşük olduğu, yüzey akışının yüksek olduğunu gösterir (Pachauri ve diğ., 1998; Nagarajan ve diğ., 2000; Çevik ve Topal, 2003). Yüzey sularının zemine sızması alüvyon gibi geçirgenliği yüksek ve akarsulara yakın alanlarda görülür. Drenaj yoğunluğu ile heyelan duyarlılığı arasında ters orantı bulunmakta, drenaj yoğunluğu yükseldikçe heyelan duyarlılığı azalmaktadır.

Tez çalışması kapsamında sayısal yükseklik modelinden yararlanarak öncelikle Denizli ili drenaj ağı haritası oluşturulmuş (Şekil 5.19), drenaj ağından yararlanarak drenaj yoğunluğu (Şekil 5.20) ve drenaja yakınlık parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 5.19: Denizli ili drenaj ağı haritası.

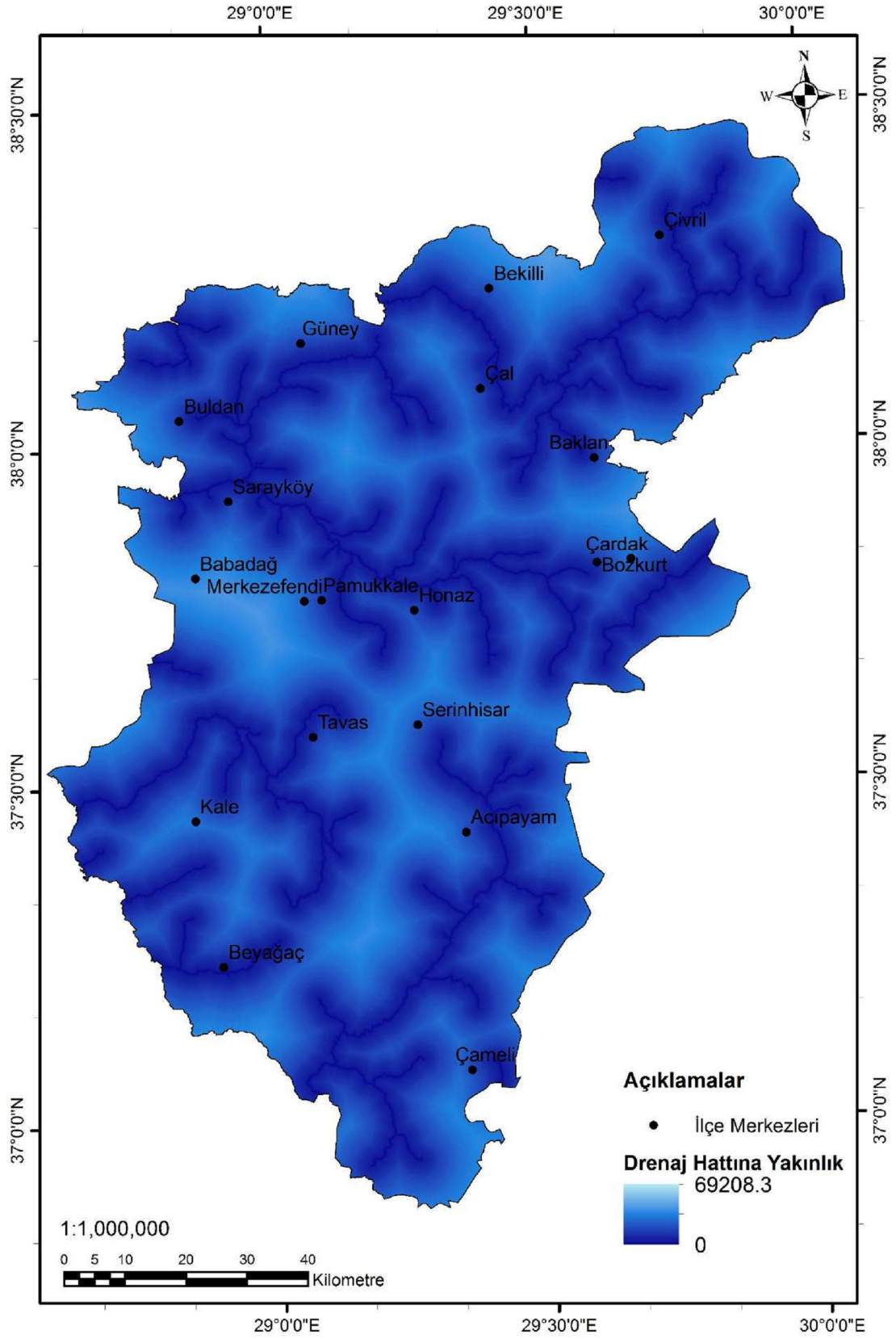


Şekil 5.20: Denizli ili drenaj (akarsu) yoğunluğu haritası.

5.1.2.2.6 Drenaja Yakınlık

Drenaja (akarsulara) yakınlık heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kaymaya karşı duyarlılığı arttırması nedeniyle dikkate alınmaktadır. Yamaç topuğunu erozyona uğratması ve yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan kısmını suya doyurmasından dolayı akarsuya yakınlığın heyelan duyarlılığı üzerinde iki olumsuz etkisi bulunmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Denizli ili için oluşturulan drenaja yakınlık haritası 0 ile 69208 metre arasında değişen değerleri içermektedir (Şekil 5.21). Bu değerler haritada bulunan her bir hücrenin en yakın drenaj hattına olan mesafesini göstermektedir.



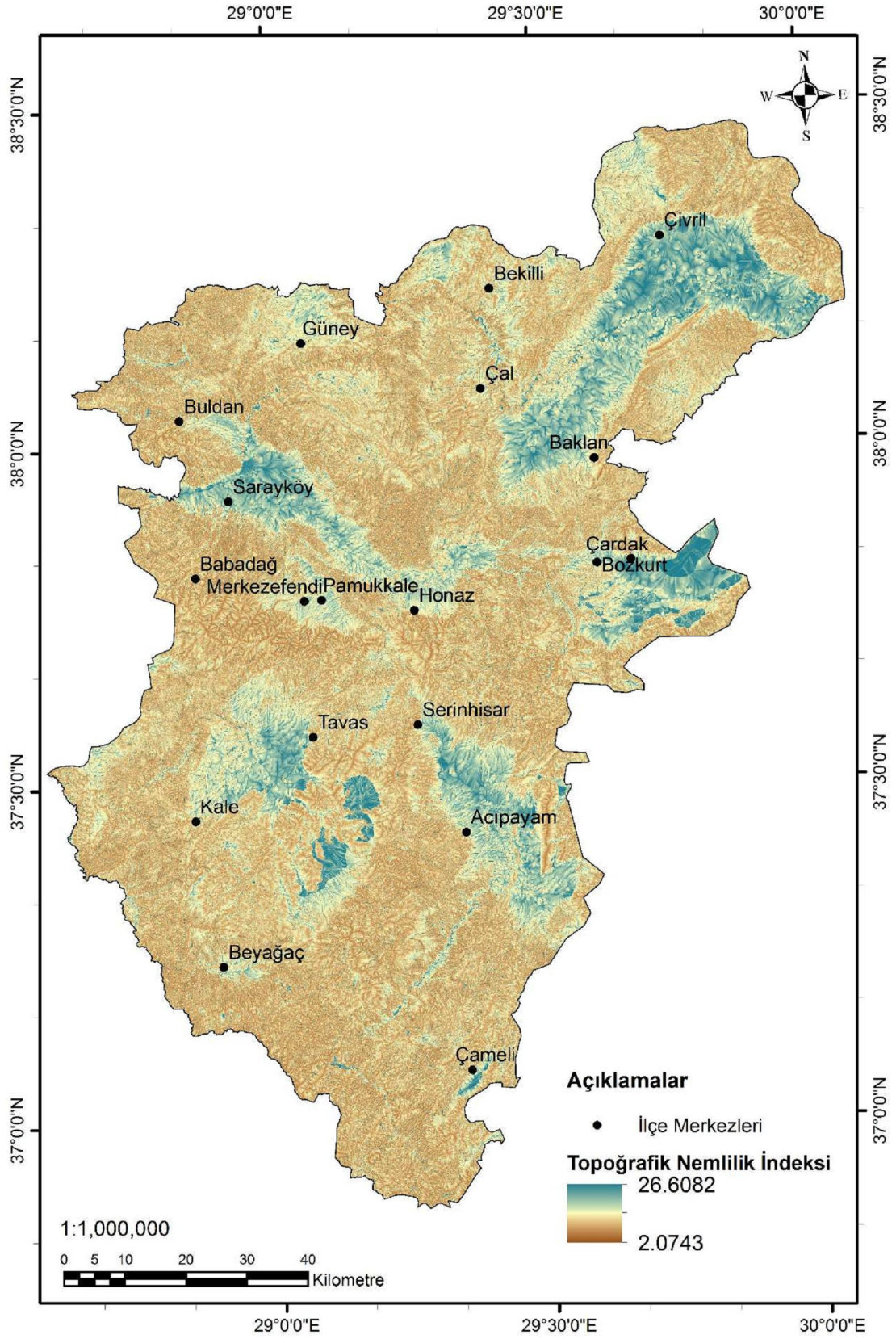
5.1.2.2.7 Topoğrafik Nemlilik İndeksi

Topoğrafik nemlilik indeksi - TNİ (ing. topographic wetness index TWI), topoğrafik anlamda suya doymun alanların lokasyonlarının ve boyutlarının ifade edilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Moore ve diğ. (1991), homojen ve izotrop bir ortam ve tek tip zemin koşulu varsayımlarını dikkate alarak, TNİ'nin hesaplanmasına yönelik aşağıdaki eşitliği (5.1) önermişlerdir.

$$TNI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad (5.1)$$

Eşitlikte yer alan A_s değeri özgül havza alanı, β derece olarak eğim değerini göstermektedir. Topoğrafik nemlilik indeksi birimsizdir.

Denizli ili için üretilen topoğrafik nemlilik indeksi haritası Şekil 5.22'de verilmektedir.



Şekil 5.22: Denizli ili topoğrafik nemlilik indeksi haritası.

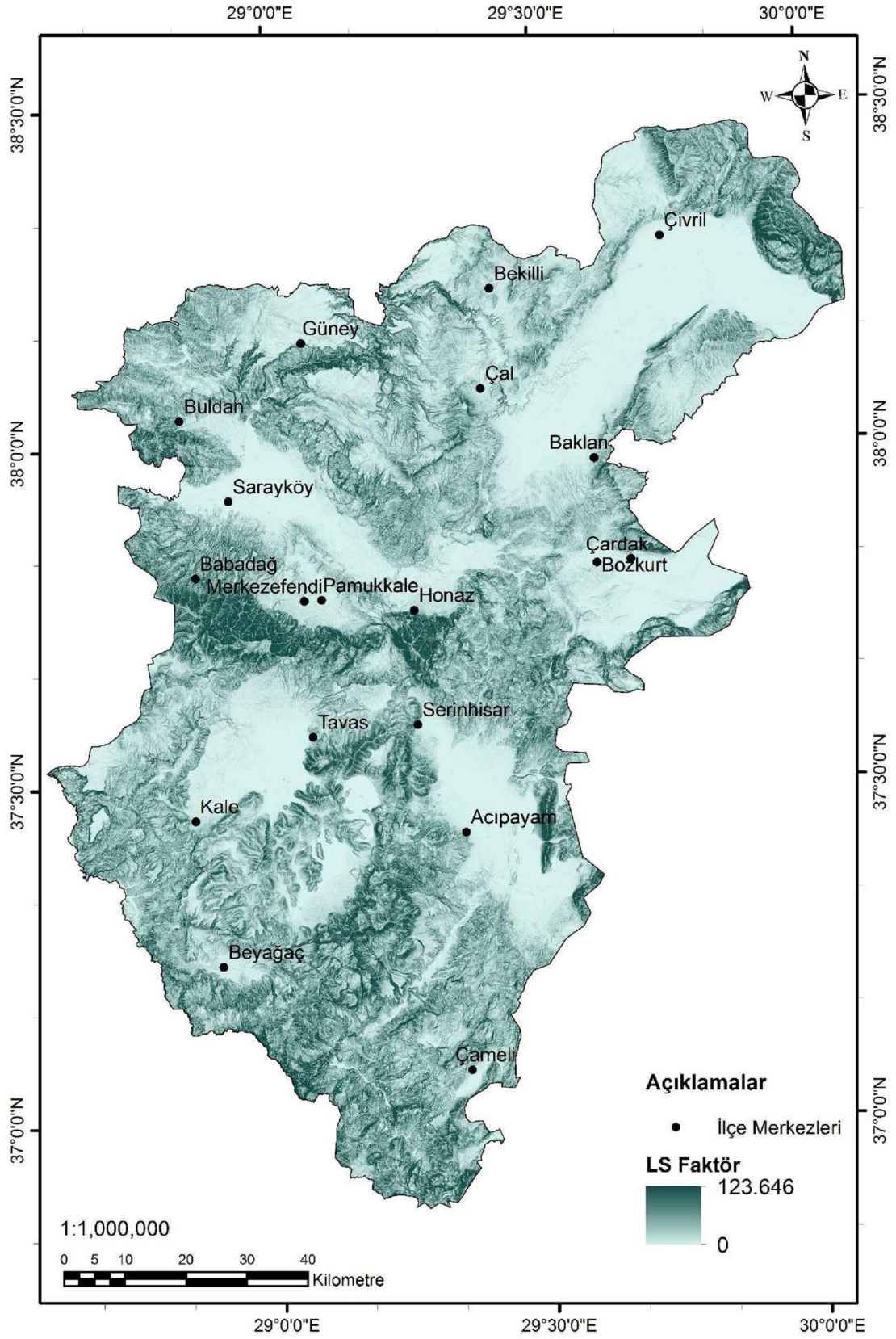
5.1.2.2.8 LS Faktör

LS Faktör (ing. Slope Length and Steepness factor); eğim ve eğim uzunluğunun bir birleşimi olan erozyon potansiyelini tahmin etmek için yararlı bir özelliktir. Bu değer hesaplanmasına yönelik (5.2) eşitliğini önerilmiştir. Eşitlikte yer alan m ve n değerleri sırasıyla 0.4 ve 1.3 olarak verilmektedir (Moore ve Burch, 1986; Moore ve Wilson, 1992).

$$LS Faktör = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin}{0.0896} \right)^n \quad (5.2)$$

Eşitlikte A_s havza alanını, β yamaç eğimini göstermektedir.

Denizli ili için üretilen Ls faktör haritası Şekil 5.23'de verilmektedir.



Şekil 5.23: Denizli ili LS Faktör haritası.

5.1.2.2.9 Akış Gücü İndeksi

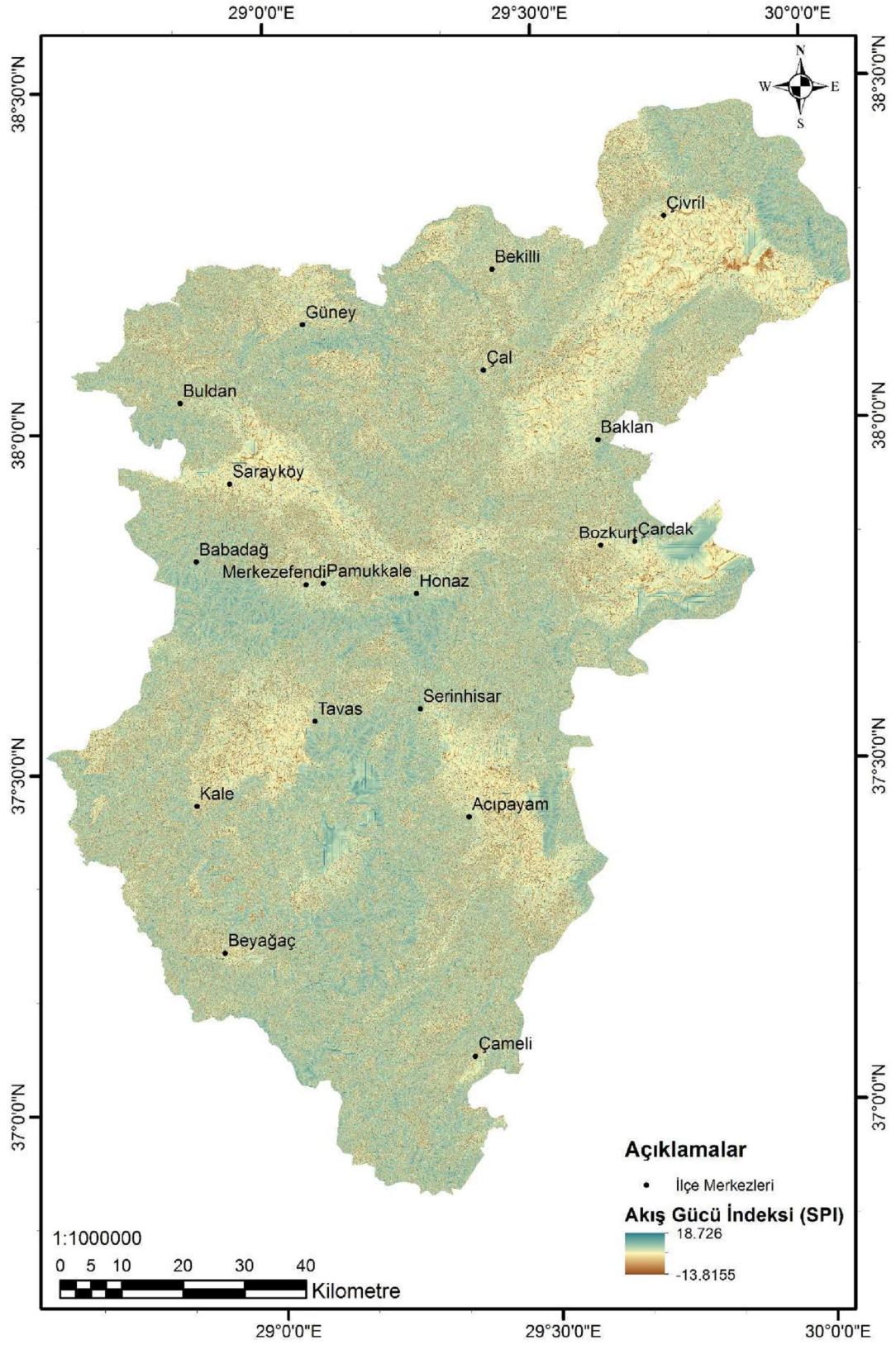
Akış gücü indeksi - AGİ (ing. Stream Power Index - SPI), kısaca akan suyun erozyona uğratma gücünün ölçümüdür (Moore ve diğ., 1991; Hasekioğulları, 2010). Havza alanı ve eğim arttıkça su miktarı ve su akış hızı da arttığından akış gücü indeksi ve erozyon da artmaktadır (Yeşilnacar ve Topal, 2005). Akış gücü indeksi değerinin yüksek olduğu yerler yüksek hızlı akımlar için potansiyel alanları göstermektedir (Gökçeoğlu ve diğ., 2005).

Akış gücü indeksi AGİ değeri (5.3) eşitliği yardımı ile hesaplanabilmektedir (Moore ve diğ., 1991):

$$AGI = A_s * \tan \beta \quad (5.3)$$

Eşitlikte yer alan A_s havza alanını, β ise yamaç eğimini göstermektedir.

Denizli ili için üretilen akış gücü indeksi haritası Şekil 5.24'de verilmektedir.



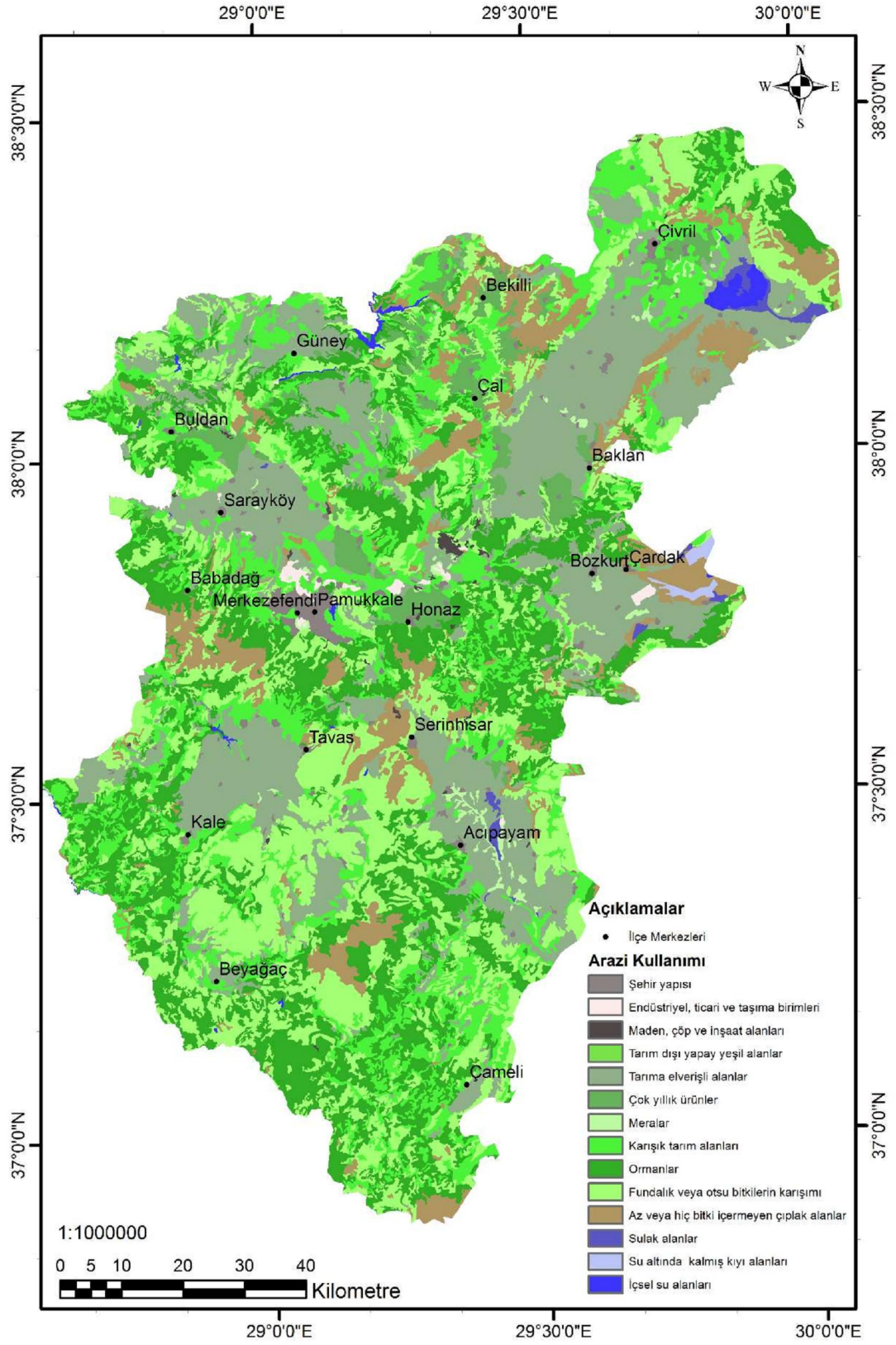
Şekil 5.24: Denizli ili akış gücü indeksi haritası.

5.1.2.3 Çevresel Parametreler

5.1.2.3.1 Arazi Kullanımı

CORINE Projesi, Avrupa Birliği'nin 1985 yılında başlattığı, başta 10 yılda bir daha sonra ise 6 yılda bir güncellenen arazi örtüsü belirleme ve sınıflandırma projesidir. Proje kapsamında aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 39 ülke uydu görüntüleri ve veri kaynaklarından elde ettikleri arazi örtüsü bilgilerini sınıflandırmakta ve harita ve grafik gibi çeşitli yollarla kullanıma sunmaktadır (Özür ve Ataol, 2018).

Tez çalışmasında arazi kullanımı haritasının üretilmesinde Corine 2012 verisi kullanılmıştır. Şehir Yapısı, Endüstriyel, Ticari ve Taşıma Birimleri, Maden, Çöp ve İnşaat Alanları, Tarım Dışı Yapay Yeşil Alanlar, Tarıma Elverişli Alanlar, Çok Yıllık Ürünler, Meralar, Karışık Tarım Alanları, Ormanlar, Fundalık veya Otsu Bitkilerin Karışımı, Az veya Hiç Bitki İçermeyen Çıplak Alanlar, Sulak Alanlar, Su Altında Kalmış Kıyı Alanları ve İçsel Su Alanları olmak üzere 14 gruptan oluşan arazi kullanımı haritası Şekil 5.25'te verilmiştir.



Şekil 5.25: Denizli ili arazi kullanımı haritası (<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view>'den değiştirilerek).

5.2 YÖNTEM

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde birbirinden önemli farklılıklar gösteren birçok yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılan yöntemler genellikle bilgiye dayalı nitel ve veriye dayalı nicel yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Ayrıca nitel ve nicel yöntemler arasında yer alan yarı niteliksel yöntemler ve birden fazla yöntemin birlikte kullanıldığı hibrit yöntemler de bulunmaktadır.

5.2.1 Nitel Yöntemler

Genel olarak nitel yöntemler, tamamen duyarlılık veya tehlike değerlendirmesini yapan kişi veya kişilerin yargısına dayanmaktadır. Girdi verileri genellikle arazi çalışmaları sırasında yapılan değerlendirmeden elde edilir ve hava fotoğrafı yorumları ile desteklenir. Nitel yöntemler “Uzman Değerlendirme Yaklaşımları” (Leroi, 1996) olarak da tanımlanmaktadır. Nitel yöntemler jeomorfolojik analizler ve indeks haritalarının ağırlıklandırılmış veya ağırlıksız olarak birleştirilmesi veya üst üste bindirilmesini içeren parametre haritalarının kullanıldığı yöntemler olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.

5.2.1.1 Jeomorfolojik Analizler

Jeomorfolojik analizler nitel yöntemlerin en basitidir. Değerlendiricinin benzer durumlarda edindiği tecrübeye dayanarak herhangi bir kurala bağlı olmadan heyelana duyarlı alanların haritalanması esasına dayanmaktadır. Bu tür yaklaşımların temel dezavantajları şunlardır (Leroi, 1996):

a) Duraylılığı kontrol eden faktörlerin seçiminin kişiye bağlı olması. Bu durum farklı araştırmacılar veya uzmanlar tarafından üretilen heyelan haritalarının karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır.

b) Açık kurallar yerine deneyime dayalı kuralların kullanılması nedeniyle sonuçların eleştirel analizi yapılamaması ve yeni veriler mevcut olduğunda değerlendirmenin güncellenmesi güçleşmektedir.

c) Arazi çalışmalarının uzun zaman almasıdır.

Jeomorfolojik analizler herhangi bir ölçekte başarıyla kullanılabilirler ve gerekirse belirli yerel gereksinimlere uyarlanabilirler. Bu analizler, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanılmasını gerektirmemektedir.

5.2.1.2 Parametre Haritalarının Kullanımı

Bu yaklaşımda, değerlendirici heyelan oluşumunda etkisi olduğunu düşündüğü parametreleri seçerek yine deneyimlerine bağlı olarak her parametreyi ağırlıklandırıp karşılaştırarak heyelan duyarlılık haritasını oluşturur. İşlem adımları aşağıda verilmiştir (Soeters ve Van Westen, 1996):

- a) Her bir parametrenin bir dizi alt sınıfa bölünmesi
- b) Parametreye ait her bir sınıfa ağırlık değerinin atanması
- c) Her parametreye ağırlık değerinin atanması
- d) Ağırlıklı parametre haritalarının karşılaştırılması ve
- e) Duyarlılık sınıflarını gösteren son haritanın oluşturulması.

Böyle bir metodolojik yaklaşımın avantajları; Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımıyla hızlı ve otomatik sonuç alınması, herhangi bir ölçekte uygulanabilmesi, gizli kuralların olmaması, güncellenebilir olması ve veri standartlaştırmasına olanak sağlamasıdır. En büyük dezavantaj, özellikle geniş alanlarda uzun süren işlemlere ihtiyaç duyulması ve her parametreye ve parametre alt sınıfına atanan ağırlık değerinin öznel olmasıdır (Carrara, 1983).

5.2.2 Nicel Yöntemler

Nicel yöntemler, araştırmacının deneyimine dayalı olan nitel yöntemlerden farklı olarak bilgisayar ve coğrafi bilgi sistemlerinin yardımıyla heyelanlar ile faktörler arasındaki ilişkinin sayısal olarak ortaya konduğu yöntemlerdir.

5.2.2.1 İstatistiksel Yöntemler

Nitel yöntemlerin en büyük dezavantajı araştırmacının kişisel değerlendirmelerini dikkate almasıdır. Bu dezavantajın üstesinden gelebilmek için heyelanlar ile faktörler arasında istatistiksel bir ilişkinin ortaya konulması gerekmektedir. İstatistiksel yöntemler iki değişkenli istatistiksel analizler ve çok değişkenli istatistiksel analizler olmak üzere iki alt sınıfa ayrılabilir.

5.2.2.1.1 İki Değişkenli İstatistiksel Analizler

İki değişkenli istatistiksel analizlerde her bir parametre, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılır. Her parametreyi sınıflandırmak için kullanılan alt sınıfların ağırlıklı değeri, her bir sınıftaki heyelan yoğunluğuna göre belirlenir. İşlem adımları aşağıdaki gibidir:

- a) Parametrelerin seçilerek parametre haritalarının oluşturulması,
- b) Heyelan envanter haritası oluşturulması,
- c) Her bir parametre haritası ile heyelan envanter haritasının karşılaştırılması,
- d) Her bir parametre sınıfındaki heyelanların yoğunluğunun belirlenmesi ve ağırlıklı değerlerin atanması,
- e) Ağırlıklandırma değerlerinin parametre haritalarına atanması,
- f) Ağırlıklandırılmış parametre haritalarının karşılaştırılarak duyarlılık değerinin hesaplanması.

İki değişkenli istatistiksel analiz yaklaşımı, literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır ve sayısız parametre dikkate alınabilmektedir.

5.2.2.1.2 Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler

Çok değişkenli istatistiksel yaklaşım, petrol aramaları gibi uygulamalı jeolojinin birçok alanında başarılı bir şekilde uygulanmış olmasına rağmen, bu tekniğin heyelan tehlikesi değerlendirmesine uygulanması daha sonraki bir tarihte başlamıştır (Neuland, 1976; Carrara ve diğ., 1978).

Prosedür, bir test alanında gerçekleştirilen birkaç ön basamağı içerir. Elde edilen sonuçlar doğrulandıktan sonra, incelenen tüm alana genişletilir.

Aşağıdaki adımlar izlenir:

1. Çalışma alanının arazi birimleri halinde sınıflandırılması,
2. Önemli faktörlerin belirlenmesi ve parametre haritalarının oluşturulması,
3. Heyelan envanter haritasının oluşturulması,
4. Her arazi birimindeki heyelandan etkilenen alanların yüzdesinin belirlenmesi,
5. Parametre haritalarının arazi birim haritası ile birleştirilmesi ve her bir arazi biriminde belirli bir parametrenin belirli bir sınıfının yokluk/varlık matrisinin oluşturulması,
6. Çok değişkenli istatistiksel analiz yapılması. Çok miktarda veri göz önüne alındığında, bu analiz özel bir yazılım kullanılarak yapılmalıdır,
7. Elde edilen sonuçlara göre arazi birimlerinin yeniden sınıflandırılması ve duyarlılık sınıflarının oluşturulması.

5.2.2.2 Jeoteknik Yöntemler

5.2.2.2.1 Deterministik Analiz

Deterministik analizde temel fiziksel özellikler ölçülür, belirli matematiksel modellere uygulanır ve güvenlik faktörü hesaplanır. Güvenlik faktörünün hesaplanması, geometrik veriler, kayma dayanımı parametreleri ile ilgili veriler ve gözenek suyu basınçları hakkında bilgi gerektirir (Chowdhury, 1976; Chowdhury ve Bertoldi, 1977). Bu nedenlerden dolayı, bu tür yöntemler normalde sadece küçük alanlarda ve ayrıntılı ölçeklerde uygulanır.

5.2.2.2.2 Olasılık Yaklaşımları

Zemin parametrelerini ortaya koymak için yapılan arazi ve laboratuvar deneylerinin zaman ve maliyet açısından sınırlı sayıda kalması ayrıca deney ekipmanları ve yöntemlerden kaynaklanan hatalar, sistematik hataların artmasına neden olmaktadır. Bu hatalar üretilen duyarlılık haritalarının ve değerlendirmelerinin de hatalı olmasına yol açmaktadır. Olasılığa dayalı yaklaşımlarda, her bir parametre, en az iki istatistiksel parametre ile temsil edilmekte ve güvenlik katsayısı ile arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir (Chowdhury, 1984; Nguyen ve Chowdhury, 1985).

5.2.2.3 Yapay Zeka Yöntemleri

5.2.2.3.1 Yapay Sinir Ağları

İnsan beyni sürekli bir öğrenme süreci içerisindedir ve eğitime yoluyla gerçekleşen bu öğrenme süreci, girdi ve çıktı verilerinin işlenmesi ve sinir sistemi içindeki bağlantıların ağırlıklarının bir yakınsama sağlanıncaya kadar ayarlanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar teknolojisi ve matematiksel modelleme yöntemlerinin gelişmesi ile insandaki merkezi sinir sistemi temel alınarak yapay sinir

ağı sistemleri geliştirilmiştir. İstatistiksel yöntemlerde doğrusal koşullara bağlı olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalabilmektedir. Yapay sinir ağları yapısındaki iç kuralları kendi oluşturur, hesapladığı sonucu dikkate alarak iç kurallarını tekrar düzenler ve deneme yanılma yöntemi ile problemi nasıl çözeceğini öğrenir. Yapay sinir ağları bilinen örnekler üzerinden öğrenerek bilinmeyeni hesaplayacak şekilde geliştirilmiştir.

Tablo 5.4: Heyelan değerlendirme yöntemleri (Çellek, 2013; Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Heyelan Değerlendirme Yöntemleri				
Kalitatif (niteliksel) yöntemler	Arazide yapılan jeomorfolojik gözlem ve değerlendirmeler			
	İndeks veya parametre haritalarının kullanımı	İndeks haritalarının çakıştırılması veya birleştirilmesi		
		Mantıksal analiz yöntemleri		
Doğrudan haritalama				
	Heyelan duyarlılık indeksi			
Yarı niteliksel yöntemler	Analitik hiyerarşi yöntemi			
Kantitatif (Niceliksel) yöntemler	İstatistiksel analiz	İki değişkenli analiz		
		Çok değişkenli analizler	Diskriminant (Ayrırma) analizi	
			Faktör analizi	
			Lojistik regresyon analizi	
		Matris analizleri	Çok kriterli değerlendirme Analitik hiyerarşi yöntemi	
			Deterministik analiz	
	Jeoteknik yaklaşım	Olasılık yaklaşımı	Tek değişkenli olasılık analizi	Frekans oranı
			Yapay zeka yöntemleri	
	Dolaylı haritalama	Yapay sinir ağları		
		Bulanık mantık yaklaşımı		
Hibrit yöntemler	İndeks tabanlı yöntemler	İki değişkenli istatistiksel yöntemler + Analitik hiyerarşi süreci		
	Eğitim tabanlı yöntemler	İki değişkenli istatistiksel yöntemler + Yapay sinir ağları yöntemi		

5.3 Frekans Oranı Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan frekans oranı yöntemi geçmişte meydana gelen heyelana neden olan faktörler gelecekte de yeni heyelanların meydana gelmesinde etkili olacaktır varsayımına dayanmaktadır (Chung ve Fabbri, 1999; Lee, 2004).

Bu yöntemde heyelan oluşumuna etkisi olan her bir parametre, alt gruplara ayrılarak, her grup için aşağıdaki (5.4), (5.5) ve (5.6) eşitlikleri kullanılarak frekans oranı hesaplanmaktadır.

$$FO = \frac{a}{b} \quad (5.4)$$

$$a = \frac{\text{Parametre Alt Grubundaki Heyelanlı Piksel Sayısı}}{\text{Toplam Heyelanlı Piksel Sayısı}} \quad (5.5)$$

$$b = \frac{\text{Parametre Alt Grubundaki Piksel Sayısı}}{\text{Toplam Piksel Sayısı}} \quad (5.6)$$

Frekans oranı yönteminin uygulanabilmesi amacıyla öncelikle parametre haritaları parametre alt gruplarına ayrılmaktadır. Daha sonra a ve b değerleri hesaplanarak her bir parametre alt grubuna ait frekans oranı elde edilmektedir. Parametre alt grubundaki frekans oranı o parametre için en yüksek frekans oranına bölünüp 100 ile çarpılarak normalleştirilmiş frekans oranı hesaplanmaktadır.

Yöntemin uygulamasında heyelan envanterini oluşturan heyelanlı piksellerin %80'i kullanılmış, %20 oranında ise test verisi ayrılmıştır. Üretilen sonuç haritasının test verisi ile karşılaştırılması ile doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır.

Arazi kullanımı parametre haritası Şehir Yapısı, Endüstriyel, Ticari ve Taşıma Birimleri, Maden, Çöp ve İnşaat Alanları, Tarım Dışı Yapay Yeşil Alanlar, Tarıma Elverişli Alanlar, Çok Yıllık Ürünler, Meralar, Karışık Tarım Alanları, Ormanlar, Fundalık veya Otsu Bitkilerin Karışımı, Az veya Hiç Bitki İçermeyen Çıplak Alanlar, Sulak Alanlar, Su Altında Kalmış Kıyı Alanları ve İçsel Su Alanları olmak üzere 14 gruba ayrılmıştır.

Tablo 5.5: Arazi kullanımı parametresinin frekans oranı tablosu.

Arazi Kullanımı (Corine)							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
11	1	289402	62	0.000262	0.015064	0.017383	1
12	2	61678	0	0.000000	0.003210	0.000000	0
13	3	39054	4	0.000017	0.002033	0.008310	0
14	4	407	5	0.000021	0.000021	0.996783	37
21	5	4394643	11474	0.048460	0.228752	0.211844	8
22	6	660583	4726	0.019960	0.034385	0.580485	21
23	7	126521	0	0.000000	0.006586	0.000000	0
24	8	3167628	106141	0.448280	0.164883	2.718779	100
31	9	4170183	57097	0.241146	0.217068	1.110921	41
32	10	4519346	47209	0.199384	0.235243	0.847567	31
33	11	1550865	9330	0.039405	0.080726	0.488127	18
41	12	90123	0	0.000000	0.004691	0.000000	0
42	13	38015	0	0.000000	0.001979	0.000000	0
51	14	102950	726	0.003066	0.005359	0.572183	21

Frekans oranı en yüksek olan arazi kullanımı alt parametre grupları sırasıyla karışık tarım alanları, ormanlar ve tarım dışı yapay yeşil alanlardır (Tablo 5.5).

Litoloji parametre haritası jeolojik birimin yaşı ve kaya birimi dikkate alınarak 16 alt grup altında toplanmıştır (Tablo 5.6).

Tablo 5.6: Litoloji parametresinin frekans oranı tablosu.

Litoloji							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
	1	4667085	9505	0.040144	0.242933	0.165246	7
	2	179839	411	0.001736	0.009361	0.185431	8
	3	352254	955	0.004033	0.018336	0.219975	10
	4	2447689	20835	0.087995	0.127408	0.690657	30
	5	131	0	0.000000	0.000007	0.000000	0
	6	3398	0	0.000000	0.000177	0.000000	0
	7	532596	5727	0.024188	0.027723	0.872478	38
	8	3314378	94147	0.397624	0.172521	2.304780	100
	9	1261214	20634	0.087146	0.065649	1.327454	58
	10	584496	86	0.000363	0.030424	0.011938	1
	11	598872	1892	0.007991	0.031173	0.256337	11
	12	3389784	64113	0.270777	0.176447	1.534614	67
	13	1503386	18459	0.077960	0.078255	0.996237	43
	14	136173	10	0.000042	0.007088	0.005958	0
	15	201822	0	0.000000	0.010505	0.000000	0
	16	38281	0	0.000000	0.001993	0.000000	0

Pliyosen kıtasal kırıntılı kayalar ve Pliyosen karbonat kayalar litoloji parametresinde frekans oranı en yüksek olan alt grup olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.7: Yamaç yönelimi parametresinin frekans oranı tablosu.

Yamaç Yönelimi (Bakı)							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
Düz	1	186	0	0.000000	0.000010	0.000000	0
Kuzey	2	2400999	31224	0.131873	0.125163	1.053604	93
Kuzeydoğu	3	2159791	25299	0.106849	0.112589	0.949013	84
Doğu	4	1779678	24632	0.104032	0.092774	1.121344	99
Güneydoğu	5	2255971	30186	0.127489	0.117603	1.084059	96
Güney	6	2385761	26986	0.113974	0.124369	0.916415	81
Güneybatı	7	2330227	24023	0.101460	0.121474	0.835237	74
Batı	8	2694076	30008	0.126737	0.140441	0.902418	80
Kuzeybatı	9	3176232	44416	0.187588	0.165576	1.132943	100

9 alt gruba ayrılan yamaç yönelimi parametresinde kuzeybatı ve doğu yönleri en yüksek frekans oranına sahiptir (Tablo 5.7).

Tablo 5.8: Drenaj (akarsu) yoğunluğu parametresinin frekans oranı tablosu.

Akarsu Yoğunluğu							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
0 - 0.03	1	8025578	95311	0.402540	0.417751	0.963589	62
0.03 - 0.06	2	1471608	18418	0.077787	0.076601	1.015489	65
0.06 - 0.09	3	1571974	12050	0.050892	0.081825	0.621966	40
0.09 - 0.12	4	1420309	14726	0.062194	0.073931	0.841254	54
0.12 - 0.15	5	1431323	27475	0.116039	0.074504	1.557489	100
0.15 - 0.18	6	1502899	26684	0.112698	0.078230	1.440609	92
0.18 - 0.21	7	1051038	10873	0.045921	0.054709	0.839375	54
0.21 - 0.24	8	865434	16038	0.067735	0.045048	1.503631	97
0.24 - 0.27	9	765528	12068	0.050968	0.039848	1.279084	82
0.27 - 0.3	10	461351	1342	0.005668	0.024014	0.236018	15
0.3 - 0.33	11	250763	331	0.001398	0.013053	0.107100	7
0.33 - 0.36	12	205821	1080	0.004561	0.010713	0.425754	27
0.36 - 0.39	13	113735	378	0.001596	0.005920	0.269664	17
0.39 - 0.42	14	57115	0	0.000000	0.002973	0.000000	0
0.42 - 0.45	15	12210	0	0.000000	0.000636	0.000000	0
0.45 - 0.48	16	4712	0	0.000000	0.000245	0.000000	0

Akarsu yoğunluğu parametresinde en yüksek frekans oranına sahip alt gruplar 0.12 – 0.15 ve 0.21 – 0.24 değerlerine sahiptir (Tablo 5.8).

Tablo 5.9: Drenaja (akarsuya) yakınlık parametresinin frekans oranı tablosu.

Akarsuya Yakınlık							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
0 - 50	1	186407	1642	0.006935	0.009703	0.714720	37
50 - 100	2	166121	1647	0.006956	0.008647	0.804441	41
100 - 150	3	171274	2075	0.008764	0.008915	0.982996	50
150 - 200	4	162346	2139	0.009034	0.008451	1.069040	55
200 - 250	5	172379	2464	0.010407	0.008973	1.159795	59
250 - 300	6	144111	2164	0.009140	0.007501	1.218387	62
300 - 400	7	328773	5021	0.021206	0.017113	1.239136	63
400 - 500	8	324497	4808	0.020306	0.016891	1.202206	61
500 - 750	9	775133	11328	0.047843	0.040348	1.185774	61
750 - 1000	10	762121	9594	0.040520	0.039670	1.021412	52
1000 - 1250	11	748350	8785	0.037103	0.038953	0.952493	49
1250 - 1500	12	734639	8488	0.035849	0.038240	0.937468	48
1500 - 2000	13	1431527	16303	0.068855	0.074514	0.924045	47
2000 - 2500	14	1382844	18439	0.077876	0.071980	1.081905	55
2500 - 5000	15	5787515	69528	0.293647	0.301254	0.974748	50
5000 - 10000	16	5406949	59656	0.251953	0.281445	0.895214	46
> 10000	17	526412	12693	0.053608	0.027401	1.956426	100

Akarsuya yakınlık parametresinde 10000 metreden daha uzak mesafeler en yüksek frekans oranı değerini almaktadır (Tablo 5.9).

Tablo 5.10: Yükseklik parametresinin frekans oranı tablosu.

Yükseklik							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
0-150	1	145950	0	0.000000	0.007597	0.000000	0
150-300	2	672092	2468	0.010423	0.034984	0.297949	13
300-450	3	680959	10810	0.045655	0.035446	1.288041	55
450-600	4	958965	27660	0.116820	0.049916	2.340315	100
600-750	5	1462236	27005	0.114054	0.076113	1.498482	64
750-900	6	4770749	30907	0.130534	0.248329	0.525648	22
900-1050	7	3403471	27573	0.116453	0.177159	0.657335	28
1050-1200	8	2486583	26639	0.112508	0.129433	0.869240	37
1200-1350	9	1838062	30508	0.128849	0.095676	1.346724	58
1350-1500	10	1239287	26135	0.110380	0.064508	1.711101	73
1500-1650	11	746439	16423	0.069362	0.038854	1.785185	76
1650-1800	12	387478	6193	0.026156	0.020169	1.296818	55
1800-1950	13	196144	2000	0.008447	0.010210	0.827332	35
1950-2100	14	135221	1410	0.005955	0.007039	0.846058	36
2100-2250	15	61969	841	0.003552	0.003226	1.101150	47
2250-2400	16	24138	202	0.000853	0.001256	0.679008	29
2400-2550	17	1655	0	0.000000	0.000086	0.000000	0

Yükseklik parametre haritası 150 metre eşit aralıklarla bölünerek 17 alt parametre grubu oluşturulmuştur. Frekans oranı tablosu incelendiğinde en yüksek frekans oranına sahip olan alt parametre gruplarının 450 – 600 ve 1500 – 1650 m yükseklik sınıflarında olduğu görülmektedir (Tablo 5.10).

Tablo 5.11: Ls Faktör parametresinin frekans oranı tablosu.

Ls Faktör							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
0 - 0.4	1	4624310	3935	0.0166192	0.2407250	0.0690382	4
0.4 - 0.6	2	825426	2940	0.0124169	0.0429687	0.2889755	17
0.6 - 1	3	1276058	7879	0.0332765	0.0664270	0.5009478	30
1 - 1.5	4	1278864	13020	0.0549891	0.0665731	0.8259969	49
1.5 - 2.5	5	2149222	33908	0.1432083	0.1118808	1.2800080	76
2.5 - 3.5	6	1927762	37804	0.1596628	0.1003524	1.5910218	95
3.5 - 5.5	7	3056559	63106	0.2665242	0.1591135	1.6750573	100
5.5 - 8	8	2281659	44080	0.1861691	0.1187750	1.5674101	94
8 - 12	9	1429597	24150	0.1019960	0.0744197	1.3705513	82
12 - 18	10	331941	5485	0.0231656	0.0172783	1.3407280	80
18 - 25	11	24817	428	0.0018076	0.0012918	1.3993277	84
25 - 40	12	3240	37	0.0001563	0.0001686	0.9265773	55
40 - 60	13	397	2	0.0000084	0.0000207	0.4087563	24
60 - 85	14	57	0	0.0000000	0.0000030	0.0000000	0
85 - 125	15	22	0	0.0000000	0.0000011	0.0000000	0

Ls Faktör parametre haritasının yeniden sınıflandırılarak oluşturulan alt parametre gruplarında en yüksek frekans oranına sahip gruplar 3.5 - 8 değerleri arasını kapsamaktadır (Tablo 5.11).

Tablo 5.12: Plan yamaç eğriselliği parametresinin frekans oranı tablosu.

Plan Yamaç Eğriselliği							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
-7 - -6	1	1	0	0.000000	0.000000	0.000000	0
-6 - -5	2	2	0	0.000000	0.000000	0.000000	0
-5 - -4	3	4	0	0.000000	0.000000	0.000000	0
-4 - -3	4	83	0	0.000000	0.000004	0.000000	0
-3 - -2	5	2738	9	0.000038	0.000143	0.266707	24
-2 - -1	6	115268	1099	0.004642	0.006000	0.773595	71
-1 - 0	7	8846267	119629	0.505246	0.460470	1.097239	100
0 - 1	8	10176058	115635	0.488377	0.529689	0.922008	84
1 - 2	9	70204	400	0.001689	0.003654	0.462299	42
2 - 3	10	767	2	0.000008	0.000040	0.211573	19
3 - 4	11	6	0	0.000000	0.000000	0.000000	0

Tablo 5.13: Profil yamaç eğriselliği parametresinin frekans oranı tablosu.

Profil Yamaç Eğriselliği							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
-8 - -7	1	1	0	0.000000	0.000000	0.000000	0
-7 - -6	2	8	0	0.000000	0.000000	0.000000	0
-6 - -5	3	47	0	0.000000	0.000002	0.000000	0
-5 - -4	4	70	0	0.000000	0.000004	0.000000	0
-4 - -3	5	193	0	0.000000	0.000010	0.000000	0
-3 - -2	6	1554	4	0.000017	0.000081	0.208850	20
-2 - -1	7	56860	332	0.001402	0.002960	0.473758	45
-1 - 0	8	9110501	107432	0.453732	0.474224	0.956789	91
0 - 1	9	9921848	127949	0.540385	0.516456	1.046331	100
1 - 2	10	114657	1042	0.004401	0.005968	0.737381	70
2 - 3	11	5237	15	0.000063	0.000273	0.232399	22
3 - 4	12	381	0	0.000000	0.000020	0.000000	0
4 - 5	13	39	0	0.000000	0.000002	0.000000	0
5 - 6	14	1	0	0.000000	0.000000	0.000000	0
6 - 7	15	1	0	0.000000	0.000000	0.000000	0

Yamaç eğriselliği parametre haritalarından plan yamaç eğriselliği parametresinin -1 – 0, profil yamaç eğriselliği parametresinin 0 – 1 alt grupları en yüksek frekans oranına sahiptir (Tablo 5.12 ve Tablo 5.13).

Tablo 5.14: Akış gücü indeksi AGİ parametresinin frekans oranı tablosu.

Akış Gücü İndeksi							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
-14 - -12	1	3114	0	0.000000	0.000162	0.000000	0
-12 - -9	2	38983	4	0.000017	0.002032	0.008313	1
-9 - -6	3	644105	1607	0.006787	0.033577	0.202134	12
-6 - -3	4	2623634	34347	0.145062	0.136769	1.060636	64
-3 - 0	5	441410	23	0.000097	0.023011	0.004221	0
0 - 3	6	5335472	33484	0.141418	0.278137	0.508446	31
3 - 6	7	8549787	136739	0.577509	0.445698	1.295740	78
6 - 9	8	1252061	25676	0.108441	0.065270	1.661432	100
9 - 12	9	259345	4415	0.018646	0.013520	1.379220	83
12 - 15	10	30608	469	0.001981	0.001596	1.241420	75
15 - 18	11	4267	10	0.000042	0.000222	0.189871	11
18 - 21	12	135	0	0.000000	0.000007	0.000000	0

Akış gücü indeksi (AGİ) parametresinin en yüksek frekans oranına sahip alt parametre grubu 6 - 9 aralığıdır (Tablo 5.14).

Tablo 5.15: Topoğrafik nemlilik indeksi (TNI) parametresinin frekans oranı tablosu.

Topoğrafik Nemlilik İndeksi							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
2 - 4	1	89196	495	0.002091	0.004643	0.450248	31
4 - 6	2	7230567	87913	0.371295	0.376397	0.986444	68
6 - 8	3	5702308	101850	0.430157	0.296842	1.449113	100
8 - 10	4	3114935	34763	0.146819	0.162152	0.905441	62
10 - 12	5	1865124	6814	0.028778	0.097092	0.296405	20
12 - 14	6	810922	2962	0.012510	0.042214	0.296345	20
14 - 16	7	240718	1126	0.004756	0.012531	0.379509	26
16 - 18	8	86187	600	0.002534	0.004487	0.564809	39
18 - 20	9	38623	199	0.000840	0.002011	0.418022	29
20 - 22	10	15813	29	0.000122	0.000823	0.148791	10
22 - 24	11	9360	8	0.000034	0.000487	0.069344	5
24 - 26	12	5818	14	0.000059	0.000303	0.195230	13
26 - 28	13	360	1	0.000004	0.000019	0.225366	16

Topoğrafik nemlilik indeksi parametre haritası için en yüksek frekans oranına sahip alt parametre grubu 6 – 8 değerine sahiptir (Tablo 5.15).

Tablo 5.16: Yamaç eğimi parametresinin frekans oranı tablosu.

Yamaç Eğimi							
Değer	Sınıf	Piksel Sayısı	Heyelanlı Piksel Sayısı	a	b	FO	NFO
0-10	1	10202826	72467	0.306060	0.531870	0.575441	35
10-20	2	5665342	116341	0.491359	0.295333	1.663747	100
20-30	3	2630184	40013	0.168992	0.137111	1.232525	74
30-40	4	624246	7555	0.031908	0.032542	0.980527	59
40-50	5	54999	398	0.001681	0.002867	0.586285	35
50-60	6	5200	0	0.000000	0.000271	0.000000	0
60-70	7	124	0	0.000000	0.000006	0.000000	0

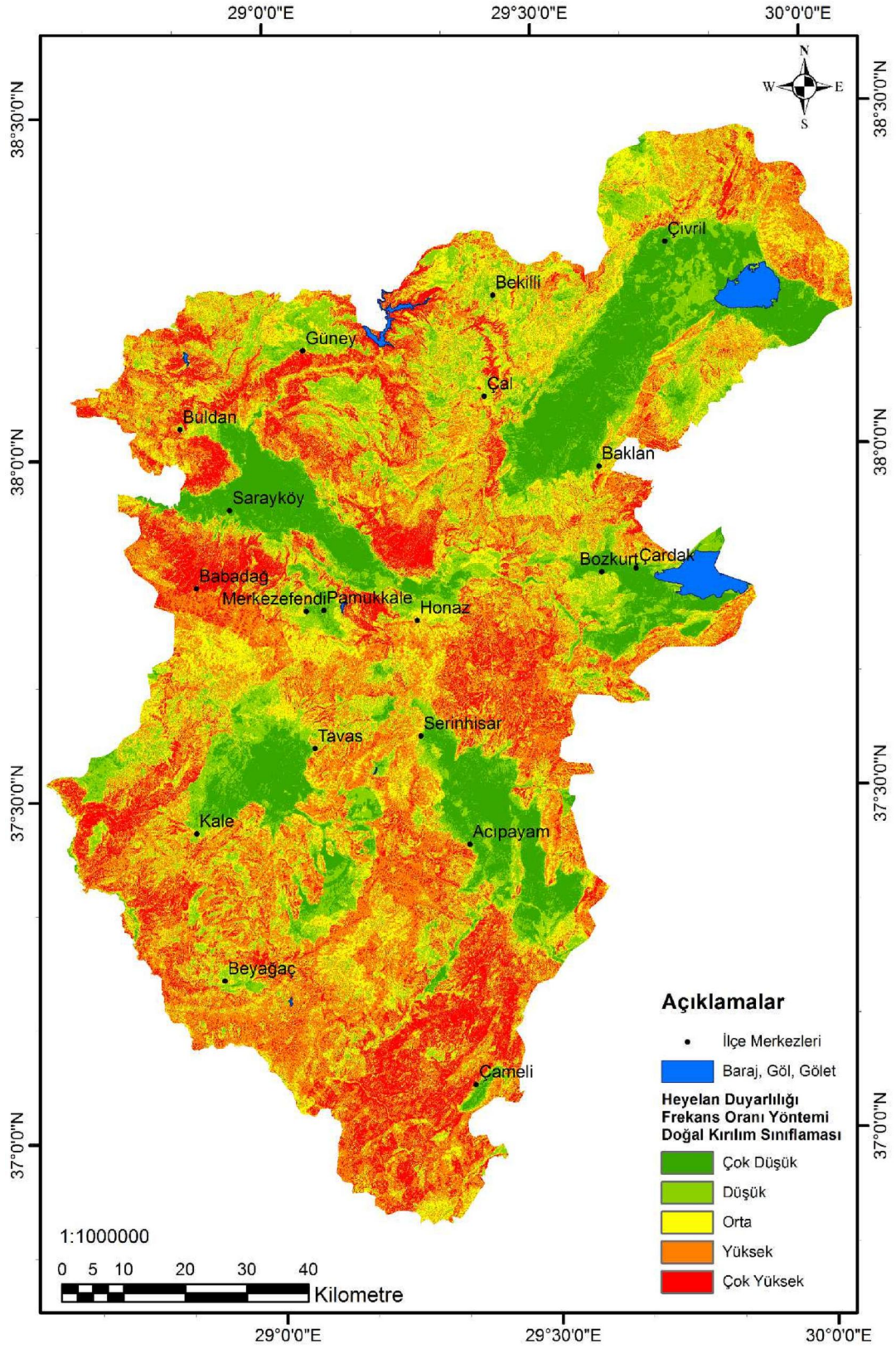
Yamaç eğimi parametresi 10° aralıklarla 7 alt gruba ayrılmıştır. Yamaç eğimi parametre haritası için en yüksek frekans oranına sahip olan alt parametre grubu 10-20° eğim aralığıdır (Tablo 5.16).

Tüm parametre haritaları alt parametre gruplarına göre sınıflandırılıp her bir alt parametre grubunun frekans oranları elde edildikten sonra ArcMap programında parametre haritaları normalize edilmiş frekans oranları kullanılarak ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Elde edilen yeniden sınıflandırılmış parametre haritaları raster toplama işlemi yapılarak birleştirilmiştir.

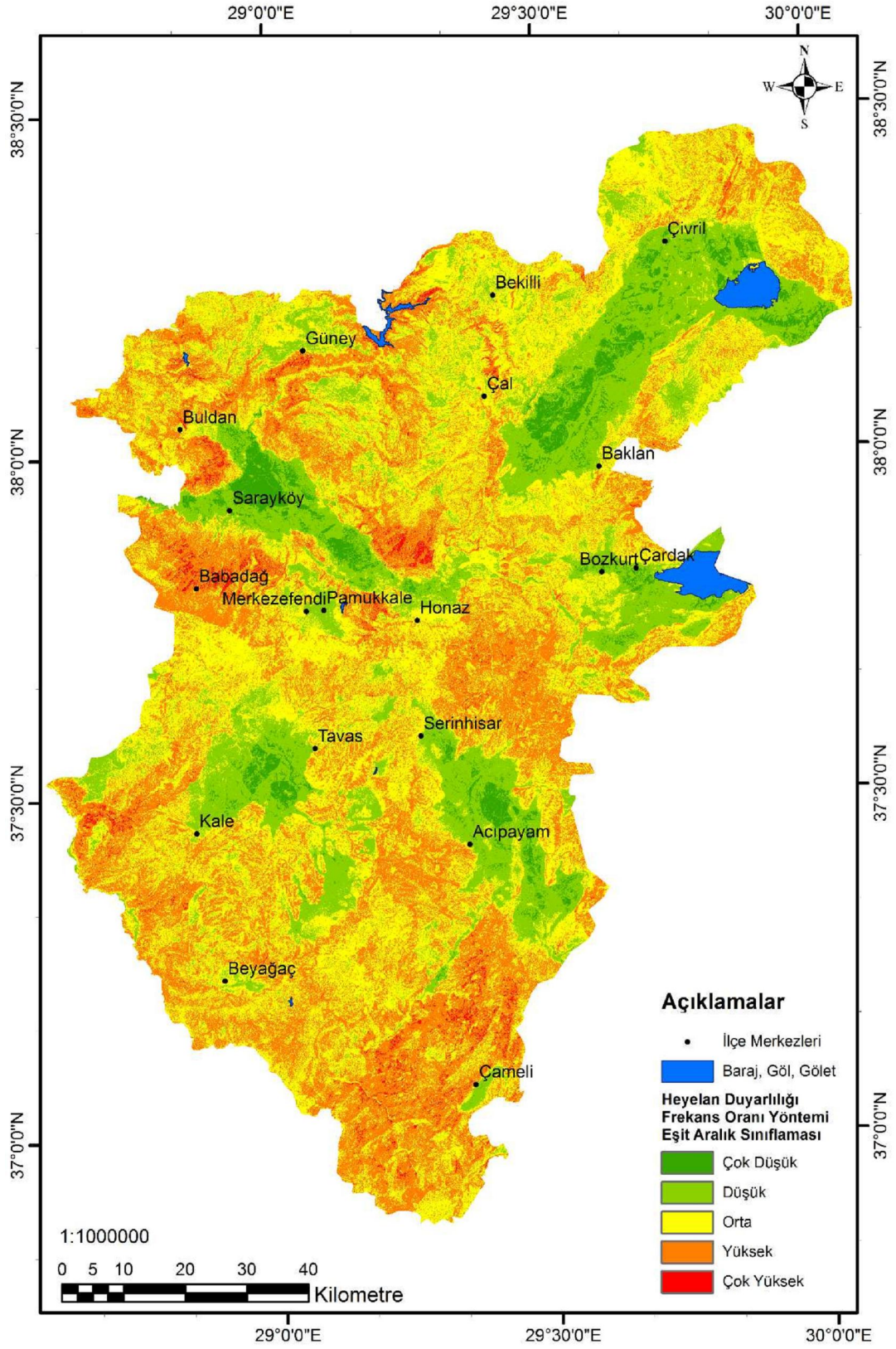
İşlem sonucunda elde edilen harita heyelan duyarlılık indeks haritasıdır. Bu haritanın çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere sınıflandırılması sonucunda heyelan duyarlılık haritası oluşturulur.

Heyelan duyarlılık haritası ArcMap programının Reclassify aracı ile yapılmıştır. Heyelan duyarlılığı indeks haritası 347 ile 1162 arasında değerlere sahiptir. Yeniden sınıflandırma işleminde eşit aralık ve doğal kırılım (Jenks) sınıflamaları kullanılmıştır. Her iki yöntemle oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları aşağıda verilmiştir. Jenks (1967) sınıflaması, verilerin istatistiksel özellikleri kullanılarak yapılmaktadır. Jenks sınıflamasında rastgele sınıf aralıkları belirlendikten sonra her sınıfın standart sapma değeri en az olacak şekilde ayarlanarak sınıflandırma yapılmaktadır.

Denizli ili için frekans oranı yöntemi ile oluşturulan ve yeniden sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritaları Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de verilmektedir.



Şekil 5.26: Frekans oranı yöntemi ile oluşturulup doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.



Şekil 5.27: Frekans oranı yöntemi ile oluşturulup eşit aralık yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.

Doğal kırılım (Jenks) sınıflaması sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının %14'ü çok düşük, %17'si düşük, %24'ü orta, %30'u yüksek ve %14'ü çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarındadır.

Heyelan duyarlılık haritası eşit aralıklara göre sınıflandırıldığında ise %4'ü çok düşük, %21'i düşük, %43'ü orta, %31'i yüksek ve %1'i çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarına sahip olmaktadır.

Mevcut heyelanlardan oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun sınanması için ayrılan %20'lik bölümünün heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılması sonucunda mevcut heyelanların hangi duyarlılık sınıfında yer aldığı gösteren Tablo 5.17 elde edilmiştir.

Tablo 5.17: Frekans oranı yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının duyarlılık sınıfına göre yüzde dağılımları.

Sınıflama Yöntemi	Duyarlılık Sınıfı				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Eşit Aralık	%0	%1	%22	%67	%11
Doğal Kırılım	%0	%2	%11	%32	%55

Tabloya göre eşit aralık yöntemi ile yapılan sınıflama sonucunda test heyelanlarının %78'i yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu, doğal kırılım yöntemine göre yapılan sınıflandırma sonucunda ise test heyelanlarının %82'sinin yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu belirlenmiştir.

5.4 Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde en çok tercih edilen analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen önceliklere dayanarak karar vermeyi sağlamaktadır. AHP yöntemi 1970'li yıllarda Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHP yönteminde verilerin yanı sıra bilgi ve deneyim de dikkate alınmaktadır (Tomuş ve Özulu, 2005). Ayrıca nitel ve nicel karar kriterleri de AHP yönteminde kullanılabilir (Saaty, 2000).

AHP yönteminin uygulanmasında öncelikle öğeler ve düzeyler tanımlanır, daha sonra hiyerarşi yapılandırılır, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak öğelerin genel amaç karşısındaki önemleri belirlenir son olarak hiyerarşide en üst düzeyde bulunan kriter veya problemin bütünü için öncelik belirlenir (Saaty, 2000; Yalçın, 2005).

Saaty (2000), hiyerarşinin tasarımında şu hususların dikkate alınmasını önermiştir: Problemin tanımlanmasında öğelerde meydana gelen değişim mümkün olduğunca dikkate alınmalı, problemin değerlendirilmesinde çevre etkiler göz önünde bulundurulmalı, çözüme katkısı olacak nitelikler ve katkıları belirlenmeli ve problemler ilişkili katılımcılar belirlenmelidir (Yalçın, 2005).

Hiyerarşinin en üst düzeyinde genel amacı temsil eden bir öğe bulunur. Alt düzeylerde farklı öğeler bulunabilir ve her düzeydeki öğeler aynı önem derecesine sahip olmalıdırlar. Düzey sayısında ve kriterlerde sınırlama yoktur. Her düzeydeki öğeler bir üst düzeydeki kriter ile ilgili olarak birbiriyle karşılaştırılırlar (Saaty, 1994; Yalçın, 2005).

Hiyerarşide iki öğenin birbiriyle karşılaştırılması yani değerlendirilmesinin yapılması ikili karşılaştırma matrisleri ile yapılmaktadır. Değerlendirmenin amacı iki öğeden hangisinin bir üst düzeydeki kritere bağlı olarak daha önemli olduğunu ortaya koymaktır. Birbiri ile karşılaştırma yapılırken sayısal olarak bir ölçek kullanılır. Saaty (1990), AHP yönteminde kullanılacak ikili karşılaştırma ölçeği geliştirmiştir. Bu ölçek 1 ile 9 arasında değişen değerlerden oluşur. 1 değeri her iki öğenin birbiri ile eşit derecede katkısı olduğunu gösterirken, 9 en yüksek derecede önemi göstermektedir. İkili karşılaştırmalarda genellikle tek sayılar kullanılır. 2,4,6 ve 8 değerleri ara değerlerdir ve önem değerlendirmesinde tereddüt varsa kullanılır (Tablo 5.18).

Tablo 5.18: AHP ikili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1990).

1	Eşit önemli	İki faktör aynı derecede önem taşır
3	Orta önemli	Biri diğerine göre orta derecede önem taşır
5	Güçlü önemli	Biri diğerine göre güçlü önem taşır
7	Çok güçlü önemli	Biri diğerine göre çok daha güçlü önem taşır
9	Son derece önemli	Biri diğerine göre son derece önem taşır
2-4-6-8	Ara değerleri ifade etmektedir.	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır

AHP yönteminde hiyerarşi ve karar verme sürecinin tutarlılık derecesinin (5.7) ve (5.8) eşitlikleri ile hesaplanarak geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranının 0.1 değerinden küçük olması gerekmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0.1 değerinden büyükse ikili karşılaştırmalarda öğelerin birbirine göre önem dereceleri kontrol edilmelidir (Yalçın, 2005).

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık göstergesi}}{\text{Rassallık göstergesi}} \quad (5.7)$$

$$\text{Tutarlılık Göstergesi} = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5.8)$$

Tablo 5.19: Rassallık göstergesi değerleri tablosu.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RG	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

A, B ve C olmak üzere 3 kriterden oluşan bir ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

Öncelikle her sütun toplanarak toplam sütun değerleri elde edilir: Öncelikle her sütun toplanarak toplam sütun değerleri elde edilir:

Kriterler	A	B	C
A	1	0.33	0.2
B	3	1	0.33
C	5	3	1
TOPLAM	9	4.33	1.53

Daha sonra her sütunda bulunan değerler o sütunun toplam değerine bölünüp satırlar toplanarak satır toplamı ve kriter sayısına bölünerek satır ağırlık değerleri (öncelik vektörü - w) elde edilir:

Kriterler	A	B	C	Satır toplamı	Satır ağırlığı (w)
A	0.11	0.08	0.13	0.32	0.32 / 3 = 0.11
B	0.33	0.23	0.22	0.78	0.78 / 3 = 0.26
C	0.56	0.69	0.65	1.90	1.90 / 3 = 0.63

İkili karşılaştırma matrisinde bulunan değerler satır ağırlıkları ile çarpılır:

Kriterler	A	B	C	Satır toplamı (v)
A	1 * 0.11	0.33 * 0.26	0.2 * 0.63	0.32
B	3 * 0.11	1 * 0.26	0.33 * 0.63	0.79
C	5 * 0.11	3 * 0.26	1 * 0.63	1.94

Elde edilen (w) ve (v) değerleri kullanılarak λ değeri hesaplanır:

w / v	
0.32 / 0.11	3.01
0.79 / 0.26	3.03
1.94 / 0.63	3.07

λ değeri toplam w/v değerinin kriter sayısına bölümü sonucunda hesaplanır:

$$\lambda = (3.01 + 3.03 + 3.07) / 3$$

$\lambda = 3.04$ olarak bulunur.

$$Tutarlılık Göstergesi = \frac{3.04 - 3}{3 - 1}$$

$$Tutarlılık Göstergesi = 0.02$$

Rassallık göstergesi tablodan (Tablo 5.19) 3 kriter için 0.58 olarak belirlenir.

$$Tutarlılık Oranı = \frac{0.02}{0.58} = 0.029$$

Elde edilen tutarlılık değeri (0.029), 0.1 değerinden küçük olduğundan ikili karşılaştırmanın tutarlı olduğu söylenebilir.

AHP yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında frekans oranı yönteminde kullanılan parametre haritaları kullanılmıştır. Tüm parametre haritaları tekrar alt gruplara bölünerek ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve her parametre alt grubunun ağırlık değeri hesaplanmıştır. Daha sonra parametre haritalarının da ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak parametre ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Bakı parametresinin alt parametre gruplarının ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 5.20) ve ağırlık değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Tablo 5.21).

Tablo 5.20: Bakı (yamaç yönelimi) parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.14	0.2	0.11	0.14	0.2	0.2	0.2	0.11
2	7	1	2	0.33	0.5	3	3	2	0.33
3	5	0.5	1	0.33	0.33	1	1	3	0.33
4	9	3	3	1	3	2	3	2	0.2
5	7	2	3	0.33	1	2	3	3	1
6	5	0.33	1	0.5	0.5	1	2	1	0.33
7	5	0.33	1	0.33	0.33	0.5	1	0.33	0.2
8	5	0.5	0.33	0.5	0.33	1	3	1	0.33
9	9	3	3	5	1	3	5	3	1

Tablo 5.21: Bakı (yamaç yönelimi) parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

Grup	Ağırlık	Sıra
1 Düz	0.016	9
2 Kuzey	0.110	4
3 Kuzeydoğu	0.075	5
4 Doğu	0.185	2
5 Güneydoğu	0.155	3
6 Güney	0.069	6
7 Güneybatı	0.047	8
8 Batı	0.068	7
9 Kuzeybatı	0.274	1

Tutarlılık Oranı = 0.074

Bakı parametresi için en yüksek ağırlığa sahip alt gruplar kuzeybatı, doğu ve güneydoğu olarak belirlenmiştir. Tutarlılık oranı 0.074 olarak hesaplanmış ve 0.1'den küçük olduğu için tutarlı kabul edilmiştir.

Eğim parametresi 10 derecelik aralıklarla 7 alt parametre grubuna ayrılmıştır.

Tablo 5.22: Eğim parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.2	0.33	0.5	1	3	3
2	5	1	2	3	5	7	7
3	3	0.5	1	2	2	5	5
4	2	0.33	0.5	1	2	5	5
5	1	0.2	0.5	0.5	1	2	2
6	0.33	0.14	0.2	0.2	0.5	1	1
7	0.33	0.14	0.2	0.2	0.5	1	1

Tablo 5.23: Eğim parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	0-10	0.089	4
2	10-20	0.377	1
3	20-30	0.216	2
4	30-40	0.158	3
5	40-50	0.083	5
6	50-60	0.039	6
7	60-70	0.039	6

Tutarlılık Oranı = 0.015

Eğim parametresi için en yüksek ağırlığa sahip alt gruplar 10-20 ve 20-30 eğim derecesine sahip gruplardır. Parametrenin tutarlılık oranı 0.015 olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.23).

Profil ve plan yamaç eğriselliği parametreleri negatif değerler içbükey, -0.01 – 0.01 aralığı düz ve pozitif değerler dışbükey olmak üzere 3 alt parametre grubuna ayrılmıştır.

Tablo 5.24: Profil yamaç eğriselliği parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

	1	2	3
1	1	5	1
2	0.2	1	0.17
3	1	6	1

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	-	0.444	2
2	0	0.084	3
3	+	0.472	1

Tutarlılık Oranı = 0.004

Profil yamaç eğriselliği parametresinde dışbükey eğriselliğe sahip alt grup en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.004 olup tutarlıdır (Tablo 5.24).

Tablo 5.25: Plan yamaç eğriselliği parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

	1	2	3
1	1	6	1
2	0.17	1	0.2
3	1	5	1

Grup	Ağırlık	Sıra
1	-	0.472
2	0	0.084
3	+	0.444

Tutarlılık Oranı = 0.004

Plan yamaç eğriselliği parametresinde içbükey eğriselliğe sahip alt grup en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.004 olup tutarlıdır (Tablo 5.25).

Topoğrafik nemlilik indeksi parametresi 2 birim aralıklarla 13 alt parametre grubuna ayrılmıştır (Tablo 5.26).

Tablo 5.26: Topoğrafik nemlilik indeksi parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	2	2	3	3	5	5	7	7	9	9
2	1	1	1	1	2	2	2	3	3	5	5	7	7
3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3
4	0.5	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
6	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3
7	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3
8	0.2	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	3	3
9	0.2	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	2	2	3
10	0.14	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	2	3
11	0.14	0.2	0.5	0.33	0.5	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	2
12	0.11	0.14	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1
13	0.11	0.14	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1

Tablo 5.27: Topoğrafik nemlilik indeksi parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

Grup	Ağırlık	Sıra
1	2 - 4	0.202
2	4 - 6	0.151
3	6 - 8	0.106
4	8 - 10	0.090
5	10 - 12	0.082
6	12 - 14	0.074
7	14 - 16	0.068
8	16 - 18	0.054
9	18 - 20	0.050
10	20 - 22	0.042
11	22 - 24	0.033
12	24 - 26	0.025
13	26 - 28	0.022

Topoğrafik nemlilik indeksi parametresinde 2-4 ve 4-6 değerlerine sahip alt gruplar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.038 olup tutarlıdır (Tablo 5.27).

Akarsu aşındırma gücü indeksi parametresi 3 birimlik aralıklarla 12 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.28).

Tablo 5.28: Akış gücü indeksi parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	0.33	0.33	0.2	0.2	0.14	0.14	0.11	0.11
2	1	1	1	1	0.33	0.33	0.2	0.2	0.2	0.14	0.14	0.14
3	1	1	1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.2	0.2	0.2
4	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.33	0.33	0.33
5	3	3	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.33	0.33	0.33
6	3	3	1	1	1	1	1	1	0.5	0.33	0.33	0.33
7	5	5	3	1	1	1	1	1	1	0.5	0.33	0.33
8	5	5	3	2	2	1	1	1	1	0.5	0.33	0.33
9	7	5	3	2	2	2	1	1	1	1	0.5	0.5
10	7	7	5	3	3	3	2	2	1	1	1	0.5
11	9	7	5	3	3	3	3	3	2	1	1	0.5
12	9	7	5	3	3	3	3	3	2	2	2	1

Tablo 5.29: Akış gücü indeksi parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	-14 - -12	0.021	12
2	-12 - -9	0.023	11
3	-9 - -6	0.034	10
4	-6 - -3	0.046	9
5	-3 - 0	0.053	8
6	0 - 3	0.056	7
7	3 - 6	0.075	6
8	6 - 9	0.083	5
9	9 - 12	0.101	4
10	12 -15	0.142	3
11	15 - 18	0.167	2
12	18 - 21	0.199	1

Tutarlılık Oranı = 0.026

Akış gücü indeksi parametresinde 18-21 ve 15-18 değerlerine sahip alt gruplar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.026 olup tutarlıdır (Tablo 5.29).

Ls Faktör parametresi 15 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.30).

Tablo 5.30: Ls faktör parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	0.5	0.2	0.2	0.14	0.14	0.14	0.14	0.2	0.2	0.33	0.33	1	1
2	1	1	1	1	0.2	0.14	0.14	0.14	0.2	0.2	0.2	0.33	1	1	1
3	2	1	1	1	1	0.2	0.2	0.2	0.33	0.33	0.5	0.5	1	2	2
4	5	1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	2	2
5	5	5	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	2	2	3	3	3
6	7	7	5	3	3	1	0.5	0.5	1	2	2	3	3	4	4
7	7	7	5	3	3	2	1	1	2	2	3	5	7	9	9
8	7	7	5	3	3	2	1	1	1	2	2	3	3	3	5
9	7	5	3	2	2	1	0.5	1	1	1	1	2	2	3	3
10	5	5	3	1	2	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	3
11	5	5	2	1	0.5	0.5	0.33	0.5	1	1	1	1	1	2	2
12	3	3	2	1	0.5	0.33	0.2	0.33	0.5	1	1	1	1	1	2
13	3	1	1	1	0.33	0.33	0.14	0.33	0.5	1	1	1	1	1	2
14	1	1	0.5	0.5	0.33	0.25	0.11	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	2
15	1	1	0.5	0.5	0.33	0.25	0.11	0.2	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1

Tablo 5.31: Ls Faktör parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	0 - 0.4	0.017	15
2	0.4 - 0.6	0.022	13
3	0.6 - 1	0.035	11
4	1 - 1.5	0.049	8
5	1.5 - 2.5	0.068	6
6	2.5 - 3.5	0.122	3
7	3.5 - 5.5	0.182	1
8	5.5 - 8	0.139	2
9	8 - 12	0.094	4
10	12 - 18	0.073	5
11	18 - 25	0.061	7
12	25 - 40	0.047	9
13	40 - 60	0.040	10
14	60 - 85	0.029	12
15	85 - 125	0.022	14

Tutarlılık Oranı = 0.033

Ls Faktör parametresinde 3.5-5.5 ve 5.5-8 değerlerine sahip alt gruplar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.033 olup tutarlıdır (Tablo 5.31).

Yükseklik parametresi 150 metre aralıklarla 17 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.32).

Tablo 5.32: Yükseklik parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1	0.5	0.14	0.11	0.14	0.33	0.33	0.33	0.33	0.2	0.14	0.2	0.33	0.33	0.33	0.33	1
2	2	1	0.2	0.11	0.2	0.33	0.33	0.33	0.33	0.2	0.14	0.2	0.33	0.33	0.33	0.33	5
3	7	5	1	0.2	0.33	2	2	2	2	0.33	0.33	2	2	2	2	2	7
4	9	9	5	1	3	4	4	4	5	5	3	4	4	5	5	6	9
5	7	5	3	0.33	1	2	2	1	1	1	0.5	1	2	2	3	3	5
6	3	3	0.5	0.25	0.5	1	1	1	1	0.5	0.33	0.5	1	1	1	1	3
7	3	3	0.5	0.25	0.5	1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	2
8	3	3	0.5	0.25	1	1	1	1	1	2	0.33	0.33	2	1	1	1	3
9	3	3	0.5	0.2	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	2	2	3	3	4
10	5	5	3	0.2	1	2	3	0.5	2	1	0.5	1	2	1	1	1	3
11	7	7	3	0.33	2	3	3	3	2	2	1	1	1	2	2	3	7
12	5	5	0.5	0.25	1	2	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	5
13	3	3	0.5	0.25	0.5	1	2	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	3
14	3	3	0.5	0.2	0.5	1	2	1	0.5	1	0.5	1	1	1	1	1	1
15	3	3	0.5	0.2	0.33	1	2	1	0.33	1	0.5	1	1	1	1	1	1
16	3	3	0.5	0.17	0.33	1	2	1	0.33	1	0.33	1	1	1	1	1	1
17	1	0.2	0.14	0.11	0.2	0.33	0.5	0.33	0.25	0.33	0.14	0.2	0.33	1	1	1	1

Tablo 5.33: Yükseklik parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	0-150	0.013	17
2	150-300	0.019	15
3	300-450	0.073	4
4	450-600	0.207	1
5	600-750	0.082	3
6	750-900	0.040	12
7	900-1050	0.033	14
8	1050-1200	0.049	8
9	1200-1350	0.057	7
10	1350-1500	0.069	5
11	1500-1650	0.105	2
12	1650-1800	0.069	6
13	1800-1950	0.044	9
14	1950-2100	0.042	10
15	2100-2250	0.041	11
16	2250-2400	0.039	13
17	2400-2550	0.018	16

Tutarlılık Oranı = 0.054

Yükseklik parametresinde 450-600 ve 1500-1650 değerlerine sahip alt gruplar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.054 olup tutarlıdır (Tablo 5.33).

Drenaja yakınlık parametresi 17 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.34).

Tablo 5.34: Drenaja yakınlık parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	7
2	0.5	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5
3	0.5	0.5	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	6
4	0.5	0.5	0.5	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4
5	0.33	0.5	0.5	0.5	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
6	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
7	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
8	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0.25	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	0.2	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0.2	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0.14	0.2	0.17	0.25	0.25	0.33	0.33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 5.35: Drenaja yakınlık parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	0 - 50	0.161	1
2	50 - 100	0.130	2
3	100 - 150	0.113	3
4	150 - 200	0.093	4
5	200 - 250	0.082	5
6	250 - 300	0.068	6
7	300 - 400	0.058	7
8	400 - 500	0.033	8
9	500 - 750	0.033	9
10	750 - 1000	0.032	10
11	1000 - 1250	0.030	11
12	1250 - 1500	0.030	12
13	1500 - 2000	0.029	13
14	2000 - 2500	0.029	13
15	2500 - 5000	0.027	15
16	5000 - 10000	0.027	15
17	> 10000	0.026	17

Tutarlılık Oranı = 0.013

Drenaja yakınlık parametresinde 0-50 ve 50-100 metre mesafe değerlerine sahip alt gruplar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.013 olup tutarlıdır (Tablo 5.35).

Akarsu yoğunluğu parametresi 16 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.36).

Tablo 5.36: Drenaj yoğunluğu parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	2	2	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	7	7	7
2	0.5	1	2	2	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	7
3	0.5	0.5	1	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
4	0.33	0.5	0.5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
5	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
6	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
7	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
8	0.33	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
9	0.2	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.2	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0.2	0.2	0.33	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0.2	0.2	0.25	0.33	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	0.2	0.2	0.25	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0.14	0.2	0.25	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	0.14	0.2	0.25	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0.14	0.14	0.25	0.33	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 5.37: Drenaj yoğunluğu parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	0 - 0.03	0.189	1
2	0.03 - 0.06	0.151	2
3	0.06 - 0.09	0.119	3
4	0.09 - 0.12	0.085	4
5	0.12 - 0.15	0.055	5
6	0.15 - 0.18	0.048	6
7	0.18 - 0.21	0.044	7
8	0.21 - 0.24	0.042	8
9	0.24 - 0.27	0.038	9
10	0.27 - 0.3	0.037	10
11	0.3 - 0.33	0.035	11
12	0.33 - 0.36	0.034	12
13	0.36 - 0.39	0.033	13
14	0.39 - 0.42	0.032	14
15	0.42 - 0.45	0.031	15
16	0.45 - 0.48	0.029	16

Tutarlılık Oranı = 0.012

Drenaj yoğunluğu parametresinde 0-0.03 ve 0.03-0.06 değerlerine sahip alt gruplar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.012 olup tutarlıdır (Tablo 5.37).

Arazi kullanımı parametresi 16 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.38).

Tablo 5.38: Arazi kullanımı parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	1	1	0.2	0.5	0.33	0.5	0.14	0.2	0.2	0.33	3	3	3
2	1	1	1	0.33	0.5	0.5	0.5	0.33	0.5	0.5	0.5	3	3	3
3	1	1	1	0.33	0.5	0.33	0.5	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1
4	5	3	3	1	1	1	1	0.5	1	1	1	2	2	2
5	2	2	2	1	1	1	1	0.33	1	0.5	1	2	2	2
6	3	2	3	1	1	1	1	0.2	0.33	0.5	1	2	2	2
7	2	2	2	1	1	1	1	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1
8	7	3	3	2	3	5	3	1	2	3	5	9	9	9
9	5	2	2	1	1	3	2	0.5	1	1	1	2	2	2
10	5	2	2	1	2	2	2	0.33	1	1	1	2	2	1
11	3	2	2	1	1	1	2	0.2	1	1	1	1	2	1
12	0.33	0.33	1	0.5	0.5	0.5	1	0.11	0.5	0.5	1	1	1	1
13	0.33	0.33	1	0.5	0.5	0.5	1	0.11	0.5	0.5	0.5	1	1	1
14	0.33	0.33	1	0.5	0.5	0.5	1	0.11	0.5	1	1	1	1	1

Tablo 5.39: Arazi kullanımı parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

1	Şehir Yapısı	0.042	10
2	Endüstriyel, Ticari ve Taşıma Birimleri	0.051	9
3	Maden, Çöp ve İnşaat Alanları	0.037	12
4	Tarım Dışı Yapay Yeşil Alanlar	0.088	4
5	Tarım Elverişli Alanlar	0.069	6
6	Çok Yıllık Ürünler	0.068	7
7	Meralar	0.056	8
8	Karışık Tarım Alanları	0.227	1
9	Ormanlar	0.095	2
10	Fundalık veya Otsu Bitkilerin Karışımı	0.090	3
11	Az veya Hiç Bitki İçermeyen Çıplak Alanlar	0.071	5
12	Sulak Alanlar	0.035	13
13	Su Altında Kalmış Kıyı Alanları	0.033	14
14	İçsel Su Alanları	0.038	11

Tutarlılık Oranı = 0.057

Arazi kullanımı parametresinde karışık tarım alanları en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.057 olup tutarlıdır (Tablo 5.39).

Litoloji parametresi 16 alt gruba ayrılmıştır (Tablo 5.40).

Tablo 5.40: Litoloji parametre alt gruplarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	1	0.33	2	2	0.17	0.14	0.17	2	1	0.17	0.17	2	2	2
2	1	1	1	0.5	1	1	0.33	0.2	0.33	1	1	0.33	0.33	1	1	1
3	1	1	1	0.5	1	1	0.33	0.25	0.5	1	1	0.25	0.33	1	1	1
4	3	2	2	1	2	2	2	0.33	0.5	2	2	0.5	0.5	2	2	2
5	0.5	1	1	0.5	1	1	0.2	0.14	0.2	0.5	0.5	0.14	0.2	0.5	0.5	0.5
6	0.5	1	1	0.5	1	1	0.5	0.2	0.25	0.5	0.5	0.2	0.25	0.5	0.5	0.5
7	6	3	3	0.5	5	2	1	0.2	0.25	2	2	0.33	0.33	2	2	2
8	7	5	4	3	7	5	5	1	3	5	5	2	2	7	7	7
9	6	3	2	2	5	4	4	0.33	1	2	2	0.5	1	3	3	3
10	0.5	1	1	0.5	2	2	0.5	0.2	0.5	1	0.33	0.33	0.33	1	1	1
11	1	1	1	0.5	2	2	0.5	0.2	0.5	3	1	0.33	0.33	1	1	1
12	6	3	4	2	7	5	3	0.5	2	3	3	1	2	3	5	5
13	6	3	3	2	5	4	3	0.5	1	3	3	0.5	1	3	3	3
14	0.5	1	1	0.5	2	2	0.5	0.14	0.33	1	1	0.33	0.33	1	1	1
15	0.5	1	1	0.5	2	2	0.5	0.14	0.33	1	1	0.2	0.33	1	1	1
16	0.5	1	1	0.5	2	2	0.5	0.14	0.33	1	1	0.2	0.33	1	1	1

Tablo 5.41: Litoloji parametre alt gruplarının ağırlık değerleri.

	Grup	Ağırlık	Sıra
1	1	0.036	8
2	2	0.031	14
3	3	0.032	11
4	4	0.066	6
5	5	0.021	16
6	6	0.024	15
7	7	0.068	5
8	8	0.201	1
9	9	0.105	4
10	10	0.033	9
11	11	0.040	7
12	12	0.139	2
13	13	0.109	3
14	14	0.033	10
15	15	0.032	12
16	16	0.032	12

Tutarlılık Oranı = 0.034

Litoloji parametresinde Pliyosen kıtasal kırıntılı kayalar, Orta - Üst Triyas bazalt spilit, Pliyosen Bazalt, ve Pliyosen Lakustrin karbonat kayalar en yüksek ağırlığa sahiptir. Parametrenin tutarlılık oranı 0.034 olup tutarlıdır (Tablo 5.41).

Tüm parametre haritaları için parametre alt gruplarının ağırlık değerleri hesaplandıktan sonra parametre haritaları için de ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş (Tablo 5.42) ve parametre haritalarının da ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5.43).

Tablo 5.42: Parametre haritalarının ikili karşılaştırma matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	3	2	5	5	7	7	6	6	6	6	6
2	0.33	1	1	3	3	5	5	4	4	4	4	4
3	0.5	1	1	3	3	5	5	5	5	5	5	5
4	0.2	0.33	0.33	1	2	3	3	3	3	3	3	3
5	0.2	0.33	0.33	0.5	1	4	4	3	3	3	3	3
6	0.14	0.2	0.2	0.33	0.25	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
7	0.14	0.2	0.2	0.33	0.25	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8	0.17	0.25	0.2	0.33	0.33	2	2	1	1	2	2	2
9	0.17	0.25	0.2	0.33	0.33	2	2	1	1	2	2	2
10	0.17	0.25	0.2	0.33	0.33	2	2	0.5	0.5	1	2	2
11	0.17	0.25	0.2	0.33	0.33	2	2	0.5	0.5	0.5	1	2
12	0.17	0.25	0.2	0.33	0.33	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5	1

Tablo 5.43: Parametre haritalarının ağırlık değerleri.

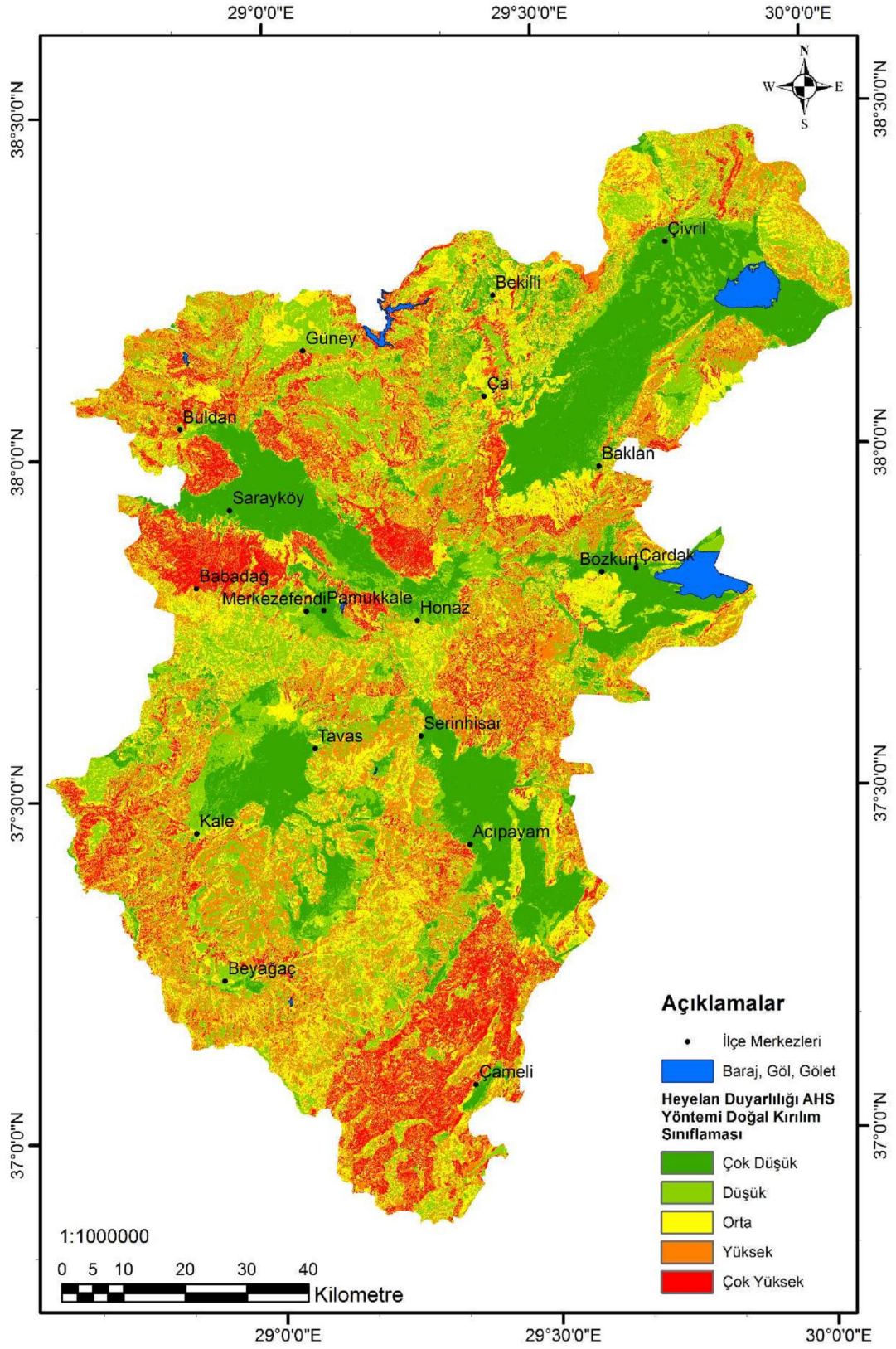
	Grup	Ağırlık	Sıra
1	Litoloji	0.269	1
2	Arazi Kullanımı	0.152	3
3	Eğim	0.171	2
4	Yamaç Yönelimi	0.089	4
5	Yükseklik	0.083	5
6	Plan Yamaç Eğriselliği	0.023	11
7	Profil Yamaç Eğriselliği	0.023	11
8	Drenaja Yakınlık	0.044	6
9	Drenaj Yoğunluğu	0.044	6
10	Topoğrafik Nemlilik İndeksi	0.038	8
11	Akış Gücü İndeksi	0.034	9
12	Ls Faktör	0.030	10

Tutarlılık Oranı = 0.037

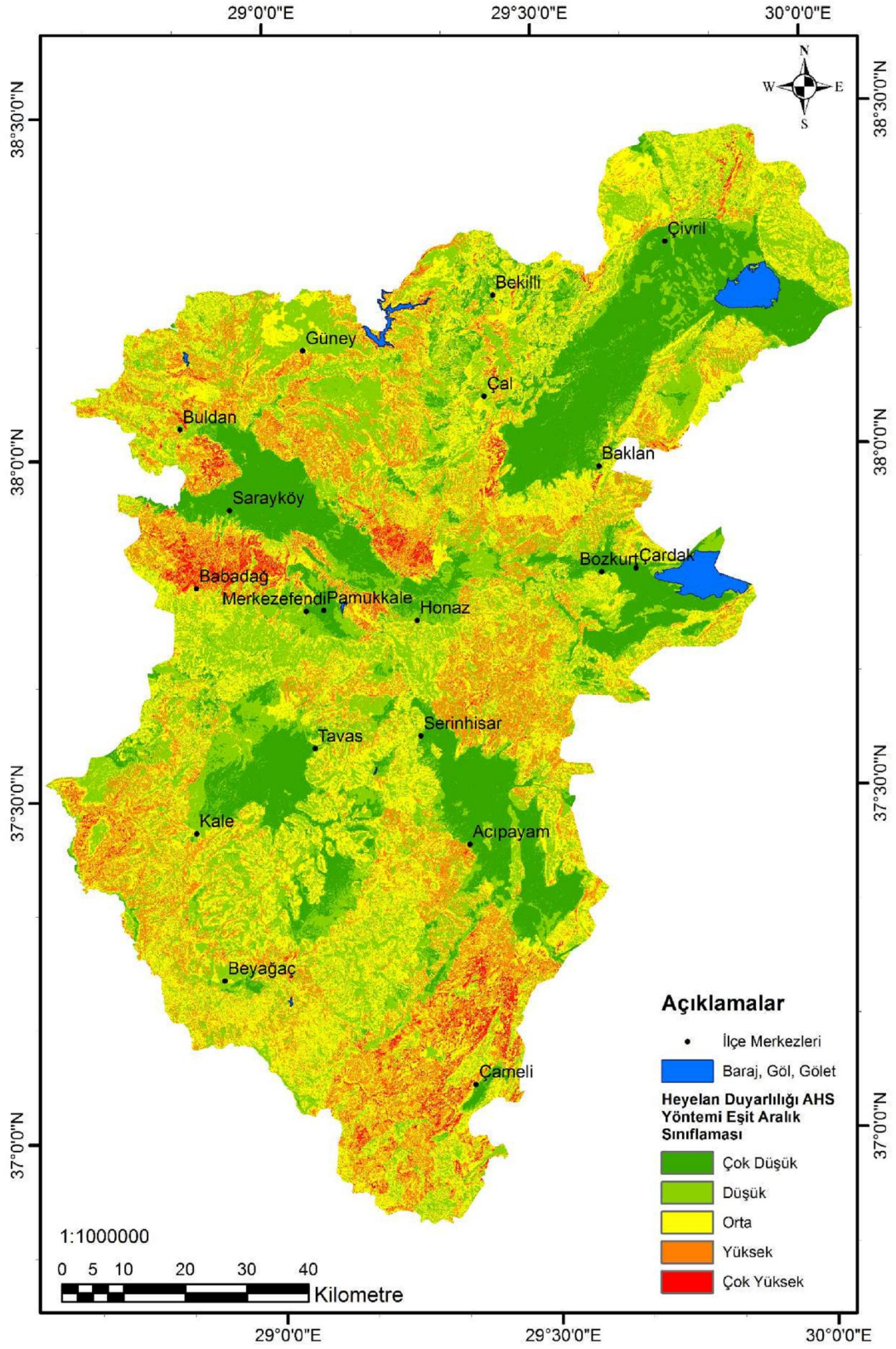
AHP yöntemi ile heyelan duyarlılığının oluşturulmasında en çok ağırlığa sahip olan parametre litoloji parametresidir. Litolojiyi sırasıyla arazi kullanımı, eğim ve yamaç yönelimi parametreleri izlemektedir (Tablo 5.43).

Parametre haritaları ArcMap programında elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak Reclassify aracı ile yeniden sınıflandırılmışlardır. Daha sonra her parametre haritası AcGIS programında raster toplama aracı yardımıyla kendi ağırlık değeri ile çarpılarak birbirleri ile toplanmışlar ve heyelan duyarlılığı indeks haritası elde edilmiştir.

Elde edilen heyelan duyarlılığı indeks haritası frekans oranı yönteminde olduğu gibi eşit aralık ve doğal kırılım (Jenks) sınıflama yöntemleri kullanılarak çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 5.28 ve Şekil 5.29).



Şekil 5.28: AHP yöntemi ile oluşturulup doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.



Şekil 5.29: AHP yöntemi ile oluşturulup eşit aralık yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.

Doğal kırılım (Jenks) sınıflaması sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının %19'u çok düşük, %23'ü düşük, %26'sı orta, %22'si yüksek ve %11'i çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarındadır.

Heyelan duyarlılık haritası eşit aralıklara göre sınıflandırıldığında ise %18'i çok düşük, %30'u düşük, %34'ü orta, %15'i yüksek ve %2'si çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarına sahip olmaktadır.

Frekans oranı yönteminde heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun sınanması için ayrılan %20'lik bölümünün heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılması sonucunda mevcut heyelanların hangi duyarlılık sınıfında yer aldığını gösteren Tablo 5.44 elde edilmiştir.

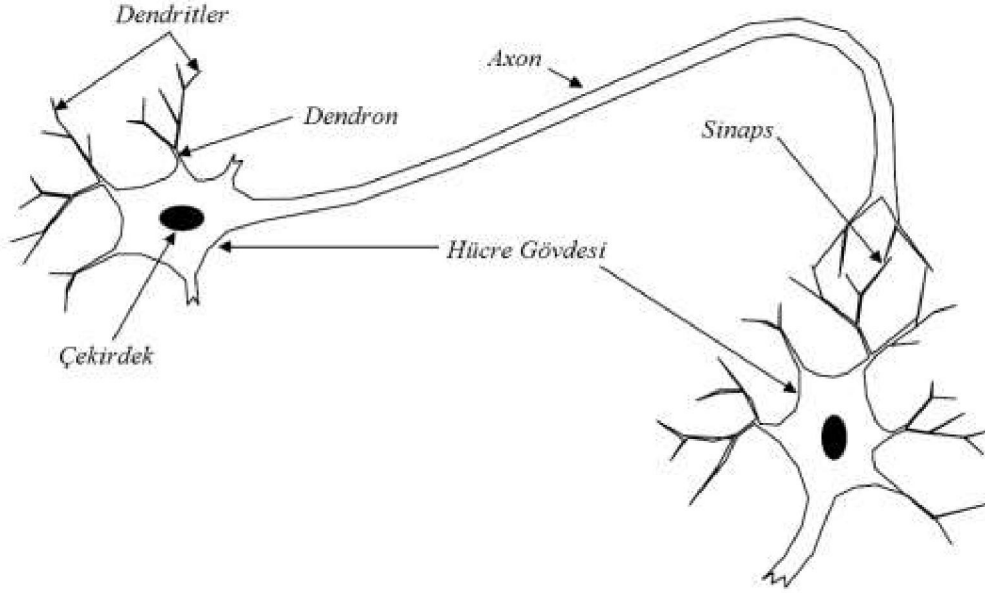
Tablo 5.44 : AHP yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının duyarlılık sınıfına göre yüzde dağılımları.

Sınıflama Yöntemi	Duyarlılık Sınıfı				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Eşit Aralık	%1	%14	%38	%35	%12
Doğal Kırılım	%1	%9	%21	%32	%37

Tabloya göre eşit aralık yöntemi ile yapılan sınıflama sonucunda test heyelanlarının %47'si yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu, doğal kırılım yöntemine göre yapılan sınıflandırma sonucunda ise test heyelanlarının %69'unun yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu belirlenmiştir.

5.5 Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Yapay sinir ağları – YSA (ing. Artificial Neural Network, ANN) yönteminin kökeni 1940'lı yıllarda McCulloch ve Pitts (1943)'in insan beynindeki biyolojik sinir ağının matematiksel modelini ortaya sunmalarına dayanmaktadır.



Şekil 5.30: İki nörondan oluşan biyolojik sinir ağı (Konar, A. 2006 değiştirilerek).

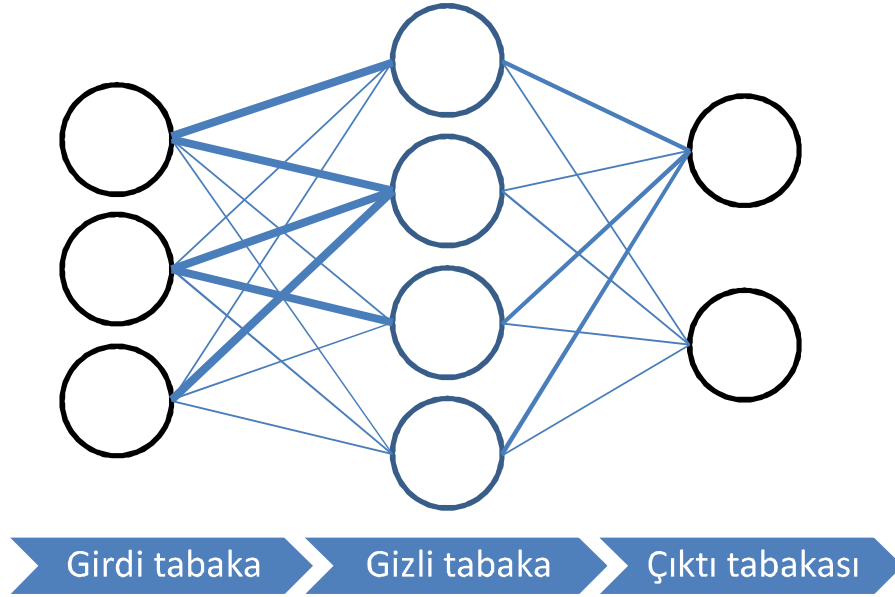
Canlılardaki biyolojik sinir sisteminin elemanlarının, yapay sinir ağlarındaki karşılıkları; dendritler için toplama fonksiyonu, hücre gövdesi için transfer fonksiyonu, akson için çıktı değeri, sinaps için ağırlık değeri olarak belirtilebilir (Şekil 5.30). Yapay sinir ağı sistemi birçok düğümden oluşur. Her düğümde belli sayıda girdi, her girdinin de bir bağlantı ağırlığı bulunmaktadır. Girdiler toplanarak bir transfer fonksiyonundan geçerler ve sıradaki düğüme iletilirler. Eldeki değerler ile sonuçta hesaplanan çıktı değeri karşılaştırılarak hata oranına bakılır. Hata beklenenden büyük ise geriye dönülür ve ağırlık değerleri değiştirilerek hata istenilen seviyeye düşünceye kadar işlemler tekrarlanır (Yüksel, 2007).

Yapay sinir ağlarının uygulanmasında öncelikle ağın eğitilmesi, eğitim sonuçlarının test edilmesi ve son olarak ağın doğruluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Eldeki veriler eğitim, test ve kontrol için üçe ayrılmaktadır. Yapay sinir ağlarının en önemli aşamasını eğitim (öğrenme) oluşturmaktadır. Girdi verinin %65 eğitim, %10 deneme ve %25 kontrol amaçlı kullanılması önerilmektedir (Looney, 1996).

Eğitim aşamasında farklı algoritmalar kullanılarak ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Bu algoritmalar arasında hızlı yayılım, geri yayılım, Quasi-Newton, eşlenik gradyan iniş gibi algoritmalar bulunmaktadır (Yüksel, 2007).

Araştırmacılar arasında sıklıkla kullanılan yapay sinir ağları yapısı geri yayılımlı, ileri beslemeli ve çok tabakalı ağlardır. Bu ağlar bir girdi katmanı, bir çıktı katmanı ve bu tabakaların arasında bir veya daha fazla sayıda gizli katmandan oluşur.

İleri beslemeli çok tabakalı bir yapay sinir ağı yapısı aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



şekil 5.31: Çok katmanlı YSA yapısı (Alba ve Chicano, 2004'den değiştirilerek).

Yapay sinir ağları yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında heyelan varlığını gösteren 236586 nokta ile eşit sayıda heyelan olmayan noktalardan oluşan 473172 noktaya ait veriler kullanılmıştır. Akarsu yoğunluğu, akarsuya mesafe, yükseklik, Ls faktör, plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, eğim derecesi, akarsu aşındırma gücü indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksi sürekli değişken değer olarak analizlere girerken, arazi kullanımı 14, litoloji 16 ve yamaç yönelimi 9 olmak üzere kategorik değişken olarak belirlenmiştir. Her noktaya ait değerler ArcMap ve RStudio programları kullanılarak elde edilmiştir. Heyelan varlık bilgisini de içeren ve 49 değişkenden oluşan veri tablosu SPSS programında analiz edilmiştir.

Analiz işlemleri SPSS programının Neural Networks -> Multilayer Perception aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Değişkenlerin araç içinde normalize edilerek işleme alınması sağlanmış ve toplam veri sayısının %70.2'sinin eğitim, %19.9'unun test, %10'unun kontrol verisi olarak kullanılması ayarlanmıştır. Normalize etme işlemi program içinde gerçekleştirilmiş ve bu işlem sonucunda değişkenlerin 0 ile 1 arasında değer alması sağlanmıştır.

Öğrenme yeteneği açısından bir veya iki gizli tabakaya sahip olan yapay sinir ağları arasında önemli bir fark olmadığı, 1 gizli tabaka içeren ağın daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir (de Villiers ve Barnard, 1992). Yapay sinir ağında gizli tabakada bulunan düğüm sayısı ile ilgili olarak Bailey ve Thompsan (1990), girdi değişken sayısının %75'i kadar, Katz (1992) ise 1.5-3 katı alınmasını önermişlerdir.

Yapay sinir ağlarının yapılandırılmasında 72 düğüm içeren 1 gizli katman seçilmiştir. Girdi değerlerinden çıktı değerleri hesaplanırken dönüşüm fonksiyonları kullanılmaktadır. En çok kullanılan dönüşüm fonksiyonları doğrusal, eşik değer, sinüs, hiperbolik tanjansiyel, arc tanjansiyel ve sigmoidal dönüşüm fonksiyonlarıdır. Hiperbolik tanjansiyel dönüşüm fonksiyonu sonucunda çıktı değeri -1 ile +1 arasında değişirken, sigmoidal dönüşüm fonksiyonu sonucunda çıktı değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Farklı tabakalar arasında farklı dönüşüm fonksiyonları kullanılabilir ancak aynı dönüşüm fonksiyonunun kullanılması önerilmektedir (Lee ve diğ., 2003; Yüksel, 2007). Gizli katmanın aktivasyon fonksiyonu ve çıktı katmanının aktivasyon fonksiyonu sigmoid olarak seçilmiştir.

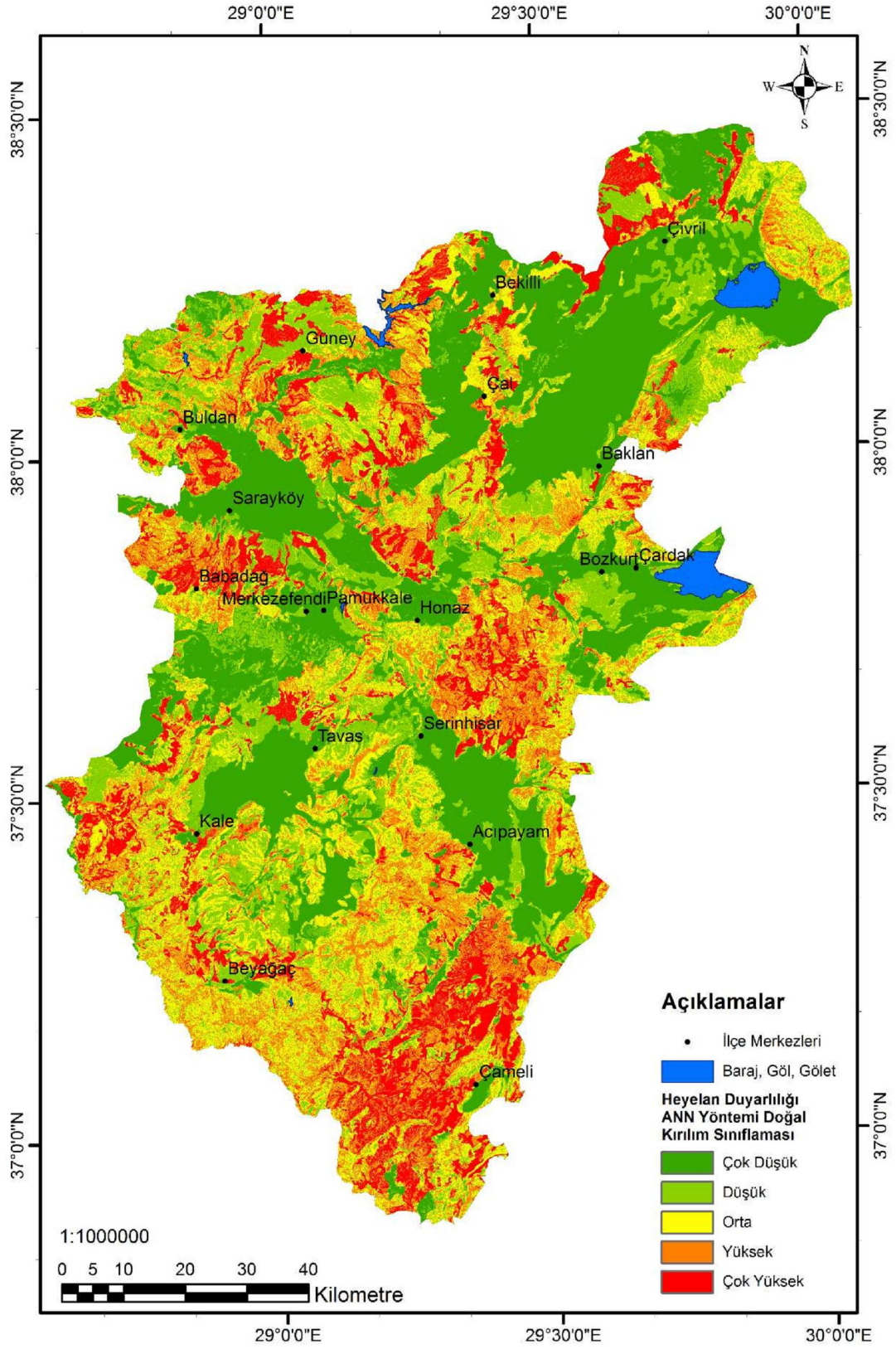
Ayrıca program içinde, gradyan iniş (gradient descent) optimizasyon algoritması seçilmiş, ilksel öğrenme oranı 0.4, alt sınır öğrenme oranı ise 0,001 olarak ayarlanmıştır. Momentum 0,9, öğrenme aşamasındaki en küçük rölatif değişim hatası 0,0001 olarak alınmıştır.

Yapay sinir ağları yöntemi uygulandıktan sonra SPSS programı model ve sonuç ile ilgili olarak özet bilgi vermektedir. İşlem sonucunda eğitim verisinin heyelan var değeri için %72 heyelan yok değeri için %73, toplamda ise %72.5 oranında doğru sınıflama yaptığı ortaya konmuştur.

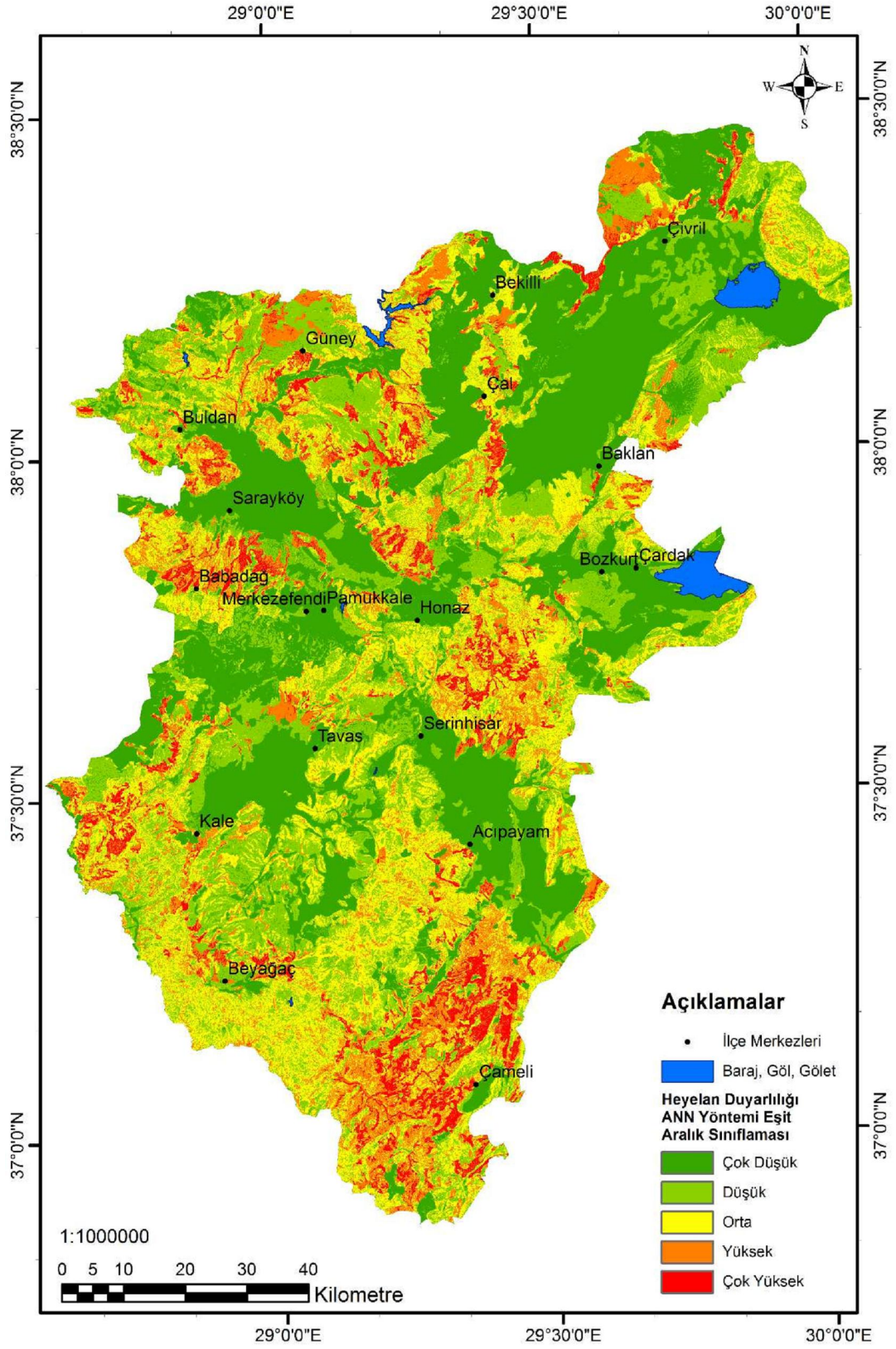
Test verilerinde heyelan var değeri için %71.8, heyelan yok değeri için %73.2 ve toplamda ise %72.5 oranında doğru sınıflama yaptığı görülmektedir. Kontrol

verilerinde ise heyelan var değeri için %72, heyelan yok değeri için %72.7 ve toplamda ise %72.3 oranında doğru sınıflama yaptığı belirlenmiştir.

Çalışma alanı olan Denizli il sınırı içindeki tüm noktalara ait parametre değerlerinden oluşan veri dosyası SPSS programına eklenerek model veriler üzerinde uygulanmış ve her noktaya ait heyelan duyarlılık indeks değerleri elde edilmiştir. Her nokta için elde edilen indeks değerleri ile noktaların koordinat bilgileri metin dosyası olarak kaydedilerek ArcMap programına XY verisi olarak eklenmiştir. Noktalardan oluşan veri Raster dosyasına dönüştürülmüş, eşit aralık ve doğal kırılım (Jenks) yöntemleri ile yeniden sınıflandırılmış ve çok düşükten çok yükseğe 5 sınıfta heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (şekil 5.32 ve şekil 5.33).



Şekil 5.32: Yapay sinir ağları yöntemi ile oluşturulup doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.



Şekil 5.33: Yapay sinir ağları yöntemi ile oluşturulup eşit aralık yöntemi ile sınıflandırılan Denizli ili heyelan duyarlılığı haritası.

Doğal kırılım (Jenks) sınıflaması sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının %30'u çok düşük, %21'i düşük, %21'i orta, %16'sı yüksek ve %12'si çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarındadır.

Heyelan duyarlılık haritası eşit aralıklara göre sınıflandırıldığında ise %32'si çok düşük, %26'sı düşük, %23'ü orta, %13'ü yüksek ve %5'i çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarına sahip olmaktadır.

Frekans oranı yönteminde heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun sınanması için ayrılan %20'lik bölümünün heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılması sonucunda mevcut heyelanların hangi duyarlılık sınıfında yer aldığını gösteren Tablo 5.45 elde edilmiştir.

Tablo 5.45: Yapay sinir ağları yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının duyarlılık sınıfına göre yüzde dağılımları.

Sınıflama Yöntemi	Duyarlılık Sınıfı				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Eşit Aralık	%3	%12	%25	%30	%30
Doğal Kırılım	%3	%7	%18	%24	%49

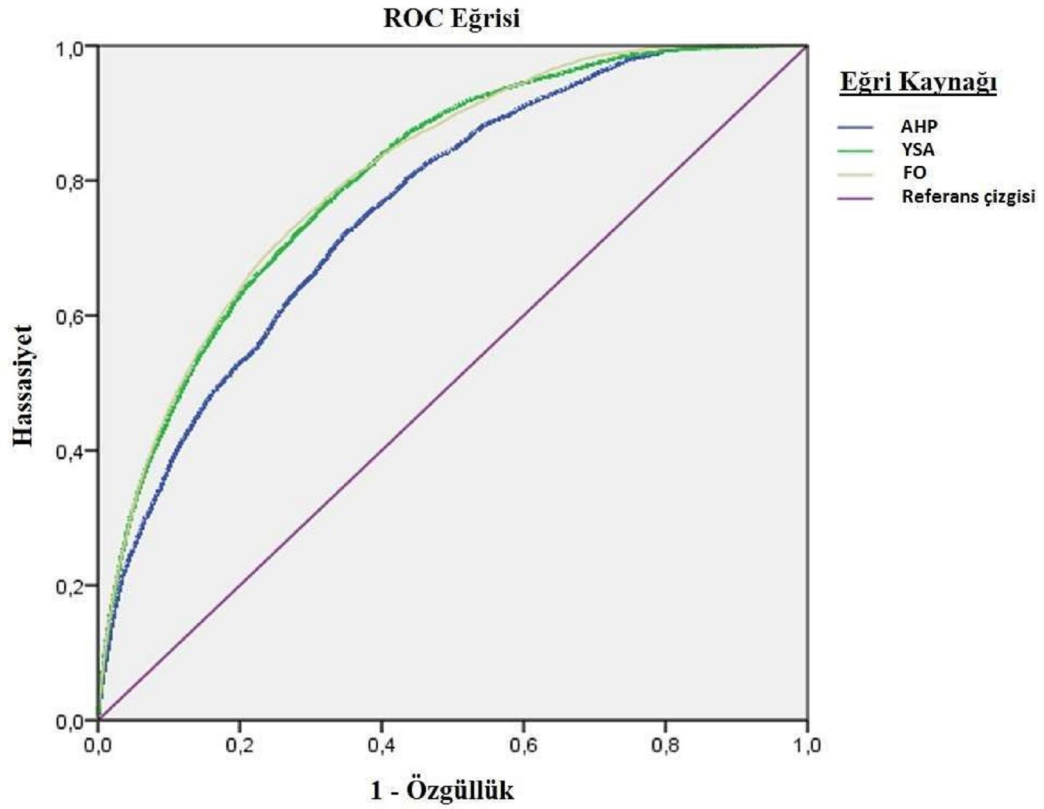
Tabloya göre eşit aralık yöntemi ile yapılan sınıflama sonucunda test heyelanlarının %60'ı yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu, doğal kırılım (Jenks) yöntemine göre yapılan sınıflandırma sonucunda ise test heyelanlarının %73'ünün yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu ortaya konmuştur.

5.6 ROC Eğrisi ve AUC Değerlerine Göre Değerlendirme

ROC eğrisi (işlem karakteristik eğrisi) farklı eşik değerleri için dikey ekseninde doğru pozitif ve yatay ekseninde yanlış pozitif (1-belirlilik) değerlerinin yer aldığı bir istatistiksel değerlendirme yöntemidir. ROC eğrisi üzerindeki her nokta, farklı eşik değerlerine karşılık gelen duyarlılık ve 1- belirlilik değerlerini ortaya koyar. İdeal eğri, sol üst köşeye en yakın ROC eğrisidir. ROC eğrisinde, (0,0) ile (1,1) noktalarını birleştiren çizgi referans çizgisi olup bu çizgiye yakın bir ROC eğrisi başarısızlığı gösterir. 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. Eğri altında kalan alanın (AUC) olası değerleri, 0.5 ile 1 arasında değişmektedir. ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değerinin 1'e yakın olması doğruluğun yüksek olduğunu 0.5'e yakın olması doğruluğunun oldukça az olduğunu gösterir (Beguiria, 2006; Fawcett, 2006; Dağdelenler, 2013).

Frekans oranı (FO), analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) ve yapay sinir ağları yöntemi (YSA) ile üretilen Denizli ili heyelan duyarlılık haritalarının SPSS programında ROC eğrileri çizdirilmiş (Şekil 5.34) ve eğri altında kalan alan (AUC) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.35).



Şekil 5.34: Üretilen heyelan duyarlılık haritaları için çizilen ROC eğrileri.

Tablo 5.46: Üretilen heyelan duyarlılık haritaları için hesaplanan AUC değerleri.

Eğri Altındaki Alan (AUC)					
Test Result Variable(s)	Area	Std. Error	Asymptotic Sig	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
AHP	0.761	0.003	0.000	0.755	0.767
YSA	0.806	0.003	0.000	0.801	0.811
FO	0.809	0.003	0.000	0.804	0.814

AUC değerleri analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) için 0.761, yapay sinir ağı yöntemi (YSA) için 0.806 ve frekans oranı (FO) yöntemi için 0.809 olarak belirlenmiştir. Bu değerler oluşturulan duyarlılık haritalarının kabul edilebilir doğrulukta olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Denizli ili için heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik paftalardan yararlanarak il sınırları için 25 metre konumsal çözünürlükte sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Üretilen sayısal yükseklik modelinden yararlanarak yamaç eğimi, yamaç yönelimi, profil ve plan yamaç eğriselliği, drenaj ağı, drenaj yoğunluğu, drenaja yakınlık, Ls faktör, akış gücü indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksi parametre haritaları üretilmiştir. MTA'dan elde edilen Denizli ve İzmir jeoloji paftaları ile Corine projesinden elde edilen arazi kullanımı haritaları da derlenmiştir. Heyelan envanteri olarak MTA heyelan envanteri paftaları kullanılmıştır.

Denizli heyelan envanteri %80 ve %20 veri içerecek şekilde iki gruba ayrılmıştır. Heyelan envanterinin %80'i frekans oranı ve yapay sinir ağları yöntemlerinin uygulanmasında veri olarak kullanılmıştır. %20 olarak ayrılan heyelan verisi ise frekans oranı, analitik hiyerarşi prosesi ve yapay sinir ağları yöntemleri ile üretilen haritaların doğruluklarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Parametre haritaları ve heyelan envanteri frekans oranı, analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ve yapay sinir ağları yöntemlerinde kullanılarak Denizli ili heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıfta eşit aralık ve doğal kırımlar sınıflama yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmışlardır.

Frekans oranı ve AHP yöntemlerinin uygulanmasında parametre haritaları alt parametre gruplarına ayrılmıştır. Frekans oranı yöntemi uygulamasında mevcut heyelanların en çok karışık tarım alanları arazi sınıfında, Pliyosen kıtasal kırıntılı ve Pliyosen karbonat kayalar litoloji sınıfında, kuzeybatı ve doğu yamaç yönlerinde, akarsu yoğunluğunun 0.15-0.18 aralığında, akarsulara 10000 metreden daha uzak mesafelerde, 450-600 metre deniz seviyesinden yükseklikte, 3.5 – 5.5 Ls faktör değerinde, içbükey plan yamaç eğriselliği sınıfında, dışbükey profil yamaç eğriselliği sınıfında, 6 – 9 akış gücü indeksi değerleri sınıfında ve 6 – 8 topoğrafik nemlilik indeksi değerleri alt sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Frekans oranı yöntemi ile üretilen duyarlılık haritaları eşit aralık yöntemi ile sınıflandırıldığında Denizli ilinin %32'si yüksek ve çok yüksek, %25'inin düşük ve çok düşük duyarlılık sınıflarında, doğal kırılımlar yöntemi ile sınıflandırıldığında %44'ünün yüksek ve çok yüksek, %31'inin düşük ve çok düşük heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu görülmüştür. Frekans oranı yöntemi ile oluşturulan duyarlılık haritasının eşit aralık ve doğal kırılımlar yöntemleri ile sınıflandırılması sonucunda elde edilen duyarlılık haritaları test heyelan verileri ile karşılaştırılarak doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Buna göre eşit aralık yöntemi ile yapılan sınıflama sonucunda test heyelanlarının %78'i yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu, doğal kırılım yöntemine göre yapılan sınıflandırma sonucunda ise test heyelanlarının %82'sinin yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu belirlenmiştir.

Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile üretilen duyarlılık haritaları eşit aralık yöntemi ile sınıflandırıldığında Denizli ilinin %17'si yüksek ve çok yüksek, %48'inin düşük ve çok düşük duyarlılık sınıflarında, doğal kırılımlar yöntemi ile sınıflandırıldığında %33'ünün yüksek ve çok yüksek, %42'sinin düşük ve çok düşük heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu görülmüştür. Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile oluşturulan duyarlılık haritasının eşit aralık ve doğal kırılımlar yöntemleri ile sınıflandırılması sonucunda elde edilen duyarlılık haritaları test heyelan verileri ile karşılaştırılarak doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Buna göre eşit aralık yöntemi ile yapılan sınıflama sonucunda test heyelanlarının %47'si yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu, doğal kırılım yöntemine göre yapılan sınıflandırma sonucunda ise test heyelanlarının %69'unun yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu belirlenmiştir.

Yapay sinir ağları yöntemi ile üretilen duyarlılık haritaları eşit aralık yöntemi ile sınıflandırıldığında Denizli ilinin %18'i yüksek ve çok yüksek, %58'inin düşük ve çok düşük duyarlılık sınıflarında, doğal kırılımlar yöntemi ile sınıflandırıldığında %28'inin yüksek ve çok yüksek, %51'inin düşük ve çok düşük heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu görülmüştür. Yapay sinir ağları yöntemi ile oluşturulan duyarlılık haritasının eşit aralık ve doğal kırılımlar yöntemleri ile sınıflandırılması sonucunda elde edilen duyarlılık haritaları test heyelan verileri ile karşılaştırılarak doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Buna göre eşit aralık yöntemi ile yapılan sınıflama

sonucunda test heyelanlarının %60'ı yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu, doğal kırılımlar yöntemine göre yapılan sınıflandırma sonucunda ise test heyelanlarının %73'ünün yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında olduğu ortaya konmuştur.

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla ROC eğrileri çizilerek eğri altında kalan alan (AUC) değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak AUC değerleri analitik hiyerarşi yöntemi için 0.761, yapay sinir ağları yöntemi için 0.806 ve frekans oranı yöntemi için 0.809 olarak belirlenmiştir. Bu değerler oluşturulan duyarlılık haritalarının kabul edilebilir doğrulukta olduğunu göstermektedir.

Denizli ili için üretilen heyelan duyarlılık haritalarında Babadağ, Çameli, Honaz ilçelerinin heyelana en çok duyarlı olan bölgeler olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen duyarlılık haritaları Denizli ilinin heyelan duyarlılığına genel bir bakış sağlamaktadır. İl genelinde yapılacak olan yeni yerleşim ve gelişim bölgelerinin planlanmasında duyarlılık haritası göz önünde bulundurularak özellikle Çameli, Babadağ ve Honaz ilçelerinde daha detaylı ve büyük ölçekli heyelan duyarlılık analizleri ve haritalarının yapılması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, “Türkiye Jeoloji Haritası”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.

Akgün, A., “A Comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir”, Turkey. *Landslides*, 9(1), 93-106, (2012).

Akgün, A., ve Türk, N., “İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34(2), 85-112, (2010).

Aksoy, G., “Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi”, Trabzon, (2011).

Aktural, T., “Coğrafi Bilgi Sistemiyle Akşehir (Konya) Çevresinin Heyelan Duyarlılık İncelenmesi”, Konya, (2012).

Alba, E., and Chicano, J. F., “Training neural networks with GA hybrid algorithms”, *In Genetic and Evolutionary Computation Conference* (pp. 852-863). Springer, Berlin, Heidelberg, (2004, June).

Aleotti, P., and Chowdhury, R., “Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21-44, (1999).

Alkeveli, T., “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem Stratejileri ve Bazı Karar Verme Ağaçları Algoritmalarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).

Bailey, D. L., and Thompson, D., “Developing neural-network applications”, *AI expert*, 5(9), 34-41, (1990).

Begueria, S., “Validation and Evaluation of Predictive Models in Hazard Assessment and Risk Management”, *Natural Hazards*, 37, 315-329, (2006).

Can, A., “Yapay Sinir Ağları İle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Farklı Algoritmaların Kullanımının Araştırılması”, Ankara, (2014).

Carrara, A., “Multivariate models for landslide hazard evaluation”, *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(3), 403-426, (1983).

Carrara, A., Catalano, E., Sorriso-Valvo, M., Reali, C., and Osso, I., “Digital terrain analysis for land evaluation”, *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 13, 69-127, (1978).

Cascini, L., “Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales”, *Engineering Geology*, 102(3-4), 164-177, (2008).

Chowdhury, R. N., “Recent developments in landslide studies: probabilistic methods-state-of-art-report”, *In Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides*, 209-228, (1984).

Chowdhury, R. N., and Bertoldi, C., “Residual shear tests on soil from two natural slopes”, *Australian Geomechanics Journal G*, 7, 1-9, (1977).

Chowdhury, I. G., “Job sequencing with single and multiple operations”, (1976).

Chowdhury, R. N., and Bertoldi, C., “Residual shear tests on soil from two natural slopes”, *Australian Geomechanics Journal G*, 7, 1-9, (1977).

Chung, C. J. F., and Fabbri, A. G., “Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping”, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 65(12), 1389-1399, (1999).

Cornforth, D. L., “Landslides in practice: investigation, analysis, and remedial/preventative options in soils”, Wiley, (2005).

Cruden, D. M., “A simple definition of a landslide”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43(1), 27-29, (1991).

Cruden, D. M., and Varnes, D. J., “Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3 - Landslide types and processes”, *Transportation Research Board Special Report*, (247), (1996).

Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., and Emre, Ö., “Türkiye Heyelan Veri Tabanı”, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, (2013).

Çelik, S.B., “Babadağ (Denizli) İlçesindeki Yamaç Duraysızlığının Çok Parametrelili İzleme Teknikleri, Fiziksel Model Deneylemleri ve Matematiksel Yöntemlerle İncelenmesi”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 171s (yayımlanmamış), (2012).

Çellek, S., “Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013).

Çevik, E., and Topal, T., “GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey)”, *Environmental Geology*, 44(8), 949-962, (2003).

Çomut, F. C., Gürboğa, Ş., and Üstün, A., “Denizli Babadağ İlçesinde Heyelanların Interferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Insar) Tekniğı İle Gözlemlenmesi”, (2015).

Çomut, F. C., Etiz, A., Durgun, M., Dilmen, H., Onuncuyıl, R., ve Altun, İ. “Denizli Heyelan Duyarlılık Analizi Raporu”, Denizli, (2016).

Dağ, S., “Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi”, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

Dağdelenler, G., “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi)” Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013).

Dai, F. C., Lee, C. F., and Ngai, Y. Y., “Landslide risk assessment and management: an overview”, *Engineering Geology*, 64 (1), 65-87, (2002).

Daş, H. Ö., “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Yer İvmesinin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).

de Villiers, Jacques & Barnard, Etienne, “Backpropagation Neural Nets with One and Two Hidden Layers”, *Ieee Transactions On Neural Networks / A Publication Of The Ieee Neural Networks Council*. 4. 136-41. 10.1109/72.182704, (1993).

Delikanlı, M., “Coğrafi bilgi sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) bölgesinin heyelan duyarlılık incelemesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).

Demir, G., “Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın Cbs Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).

Duman, T.Y., T. Çan ve Ö. Emre, “1/1.500.000 Türkiye Heyelan Envanteri Haritası”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi - 27, Ankara, Türkiye, ISBN:978-605-4075-85-3, (2011).

Einstein, H. H., “Landslide risk assessment procedure”, In Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland (Vol. 2, pp. 1075-1090), (1988).

Eker, R., “Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü’nde Heyelan Duyarlılık Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı İle Üretilmesi Ve Orman Yolları Açısından Değerlendirilmesi”, Düzce, (2013).

EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium. EPOCH, “The temporal occurrence and forecasting of landslides in the European community”, (Ed: Flageollet, J. C.), Contract No. 90 0025, 3 Volumes, (1993).

Ercanoglu, M., “Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(6), 979-992, (2005).

Ercanoglu, M., and Gokceoglu, C., “Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey)”, *Engineering Geology*, 75(3-4), 229-250, (2004).

Fawcett, T., “An Introduction to ROC Analysis”, *Pattern Recognition Letters*, 27, 8, 861-874, (2006).

Gomez, H., and Kavzoğlu, T., “Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin”, Venezuela, *Engineering Geology*, 78, 11-27, 2005.

Gökçe, O., Özden, S., & Demir, A., “Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri”, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (2008).

Gökçeoğlu, C., ve Ercanoğlu, M., “Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler”, *Yerbilimleri Dergisi*, 22 (23), 189-206, (2001).

Gokceoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H. A., Duman, T. Y., and Can, T., “The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity”, *Engineering Geology*, 81(1), 65-83, (2005).

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., and Carrara, A., “Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin”, Central Italy. *Environmental Management*, 25(3), 247-263, (2000).

Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., and Chang, K. T., “Landslide inventory maps: New tools for an old problem”, *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), 42-66, (2012).

Hasekioğulları, G.D., “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).

Jenks, George F., "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography*, 7: 186-190, (1967).

Katz, J. O., “Developing neural network forecasters for trading”, *Technical Analysis of Stocks and Commodities*, 10(4), 160-168, (1992).

Kayıhan, K., and Demirci, R., “Babadağ İlçesi Gündoğdu Mahallesi Heyelan Afeti Uygulaması ve Yasal Süreç”, (2007).

Konar, A., “Computational intelligence: principles, techniques and applications”, Springer Science & Business Media, (2006).

Koukis, G., and Ziourkas, C., “Slope instability phenomena in Greece: a statistical analysis”, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), 47-60, (1991).

Kumsar, H., Aydan, Ö., Tano, H., Çelik, S.B., and Ulusay, R., “An integrated geomechanical investigation, multi-parameter monitoring and analyses of Babadağ-Gündoğdu creep-like landslide”, *Rock Mech Rock Eng* 49:2277-2299, (2016).

Lee, S., and Min, K., "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea", *Environmental Geology*, 40(9), 1095-1113, (2001).

Lee, S. J., Lee, S. R., and Kim, Y. S., "An approach to estimate unsaturated shear strength using artificial neural network and hyperbolic formulation", *Computers and Geotechnics*, 30(6), 489-503, (2003).

Lee, S., "Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS", *Environmental Management*, 34(2), 223-232 (2004).

Leroi, E., "Landslide hazard-risk maps at different scales: objectives, tools and developments", *Landslides*, 1, 35-51, (1996).

Looney, C. G., "Advances in feedforward neural networks: demystifying knowledge acquiring black boxes", *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering*, (2), 211-226, (1996).

McCulloch, W. S., and Pitts, W., "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133, (1943).

Moore, I. D., Grayson, R. B., and Ladson, A. R., "Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications", *Hydrological Processes*, 5(1), 3-30, (1991).

Moore, I. D., and Burch, G. J., "Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation", 1. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294-1298, (1986).

Moore, I. D., and Wilson, J. P., "Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation", *Journal of soil and water conservation*, 47(5), 423-428, (1992).

Müdürlüğü, K. Ş., İklim sınıflandırmaları, Erişim adresi: http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari.pdf, (2017).

Nagarajan, R., Roy, A., Kumar, R. V., Mukherjee, A., and Khire, M. V., "Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(4), 275-287, (2000).

Neuland, H., "A prediction model of landslips", *Catena*, 3(2), 215-230, (1976).

Nguyen, V. U., and Chowdhury, R. N., “Simulation for risk analysis with correlated variables”, *Geotechnique*, 35(1), 47-58, (1985).

Ösna, T., “Gis Tabanlı Bir Mamdani Bulanık Çıkarsama Aracının Geliştirimi ve Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimine Uygulanması” Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013).

Öztürk, K., “Heyelanlar ve Türkiye’ye Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (2), (2002).

Özür K., N., ve Ataol, M., “Türkiye’de corine verilerinin kullanılmasına dair değerlendirme”, *Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(2), (2018).

Pachauri, A. K., Gupta, P. V., and Chander, R., “Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas”, *Environmental Geology*, 36(3-4), 325-334, (1998).

Saaty, T. L., “How to make a decision: the analytic hierarchy process”, *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26, (1990).

Saaty, T. L., “How to make a decision: the analytic hierarchy process”, *Interfaces*, 24(6), 19-43, (1994).

Saaty, T. L., “*Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process (Vol. 6)*”, RWS publications. (2000).

Skempton, A. W., and Hutchinson, J., “Stability of natural slopes and embankment foundations”, In *Soil Mech & Fdn Eng Conf Proc/Mexico/*, (1969).

Soeters, R., and Van Westen, C. J., “*Slope instability recognition, analysis and zonation. Landslides: investigation and mitigation*”, 247, 129-177, (1996).

Şahin, E. K., “Cbs Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği”, Gebze, (2012).

Şahin, E. K., “Özellik Seçimi Algoritmaları Kullanılarak Heyelanda Etkili Faktörlerin Belirlenmesi ve Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2017).

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

Timur, E., Sümer E. Ö., Kınalı K., ve Mercan M., “Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Portalı Oluşturma Çalışmaları”, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, (2013).

Tombuş, F. E., ve Özulu, İ. M., “Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak erozyon risk belirlemesine yeni bir yaklaşım, Çorum ili örneği”, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, (2005).

Ulusay, R., Ayadan, Ö., Tano, H., ve Kumsar, H., “Babadağ Gündoğdu Mah. Krip türü heyelanın araştırılması ara raporu”, Ankara, (2006).

Van Westen, C. J., “Application of geographic information systems to landslide hazard zonation”, (1993).

Varnes, D. J., “*Slope movement types and processes*”, Special Report, 176, 11-33, (1978).

Varnes, D. J., “*Landslide hazard zonation: a review of principles and practice (No. 3)*”, (1984).

Wilson, J. P., and Gallant, J. C. (Eds.), “*Terrain analysis: principles and applications*”, John Wiley & Sons, (2000).

WP/WLI (UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), *Multilingual Landslide Glossary, Bitech, Richmond, British Columbia, 59p.*, (1993).

Yalçın, A., “Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İrdelenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).

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

Yüksel, N., “Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında istatistiksel yöntemlerin ve yapay sinir ağlarının

kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

8. ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı : Murat DURGUN
- Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli, 27.12.1982
- Lisans Üniversite : Süleyman Demirel Üniversitesi
- Elektronik posta : murat.durgun@afad.gov.tr
- İletişim Adresi : Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü,
Akkonak Mah. Lozan Cad. No:78
Merkezefendi / Denizli
- İş Deneyimi : 2009 – 2010 DSİ XVII. Bölge Müdürlüğü
Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şb. Müdürlüğü –
Jeoloji Mühendisi
- 2010 – Denizli İl Afet ve Acil Durum
Müdürlüğü Planlama ve Zarar Azaltma Şb.
Müdürlüğü – Jeoloji Mühendisi
- Yayınlar : Etiz A., Çomut F. C., Durgun M., “Denizli İli,
Bozkurt İlçesi İnceler Beldesi Kaya Islahı
Uygulaması”, Poster Bildiri, Uluslararası
Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, 2015
- Durgun M., “Web Tabanlı Deprem Olasılığı
Hesaplama Uygulaması”, Poster Sunum,
ATAG 22. Çalıştayı, 01-03 Kasım 2018,
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi