

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİN HAREKETLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ DESTEKLİ ANALİZİ:
KOZLU ÖRNEĞİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DENİZ ARCA

DANIŞMAN: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

ZONGULDAK

Aralık 2015

KABUL:

Deniz ARCA tarafından hazırlanan “Zemin Hareketlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Analizi: Kozlu Örneği” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 28/12/2015

Başkan: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU
BEÜ, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER
İTÜ, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Çetin MEKİK
BEÜ, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Yeşim BÜYÜKMERİÇ
BEÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Serkan KARAKIŞ
BEÜ, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../12/2015

Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Deniz ARCA

ÖZET

Doktora Tezi

ZEMİN HAREKETLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ DESTEKLİ ANALİZİ: KOZLU ÖRNEĞİ

Deniz ARCA

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

Aralık 2015, 176 sayfa

Bu çalışmada, can ve mal kayıplarına neden olan heyelanların ve yeraltı madencilik faaliyeti sonucunda yeryüzeyinde oluşan tasmanın sıkça meydana geldiği Batı Karadeniz Bölümünde yer alan Kozlu (Zonguldak) yöresi, heyelan ve tasman duyarlılığı açısından incelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde gerek literatür araştırmaları ve gerekse arazi çalışmaları sonucunda; litoloji-ayırışma, eğim, bakı, arazi yoğunluğu, yükseklik ve yola yakınlık parametrelerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu katman haritalarının, meydana gelmiş heyelanlarla ilişkilerinin belirlenmesi için gerekli olan heyelan envanter haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünden (MTA) elde edilmiştir. Veri katmanlarının her birinin ve katmanların alt gruplarının heyelan oluşumundaki etkilerini (ağırlıklarını) belirlemek için Analitik Hiyerarşi ve Benzerlik Oranı (BO) Yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen katmanlar, ağırlıklarına göre değerlendirilerek analizler yapılmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritaları, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 sınıf olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan

ÖZET (devam ediyor)

modellemenin gerçekte ne kadar uyduğunu görmek için, elde edilen heyelan duyarlılık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmış ve Çok kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemine göre %88'lik, BO yöntemine göre %84'lük bir oranda örtüşme tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışma bölgesi için kullanılan veriler dikkate alındığında ÇKKA metodunun BO yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Üretilmiş olan heyelan duyarlılık haritasının bölgede ileriye dönük yerleşim planlamalarında duraysızlıklarla ilgili sorunların azaltılması ve önlenmesi konusunda önemli katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Yer altı maden üretimlerinin yerin yakın alt katmanlarında ve yeryüzünde yarattığı deformasyon oluşumuna madencilik literatüründe TASMAN adı verilmektedir. Günümüzde tasman büyüklüğünün kestirimine yönelik değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin uygulanışında değişik parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler; üretim alanının geometrik bilgileri, üretim alanının yeraltındaki konum bilgileri, diğer üretimlerle konumsal ilişkileri, jeolojik bilgiler vb. gibi veri ve veri guruplarından oluşmaktadır. Yeraltı madencilik faaliyeti sonucunda yeryüzeyinde oluşan tasmanın kentlerin sürdürülebilir yaşamı açısından büyük önemi bulunduğundan tasman etki alanlarının belirlenmesi gereklidir. Çalışmada Zonguldak Taşkömür havzası kozlu üretim bölgesinde gerçekleştirilen yeraltı madencilik faaliyeti sonucunda yer yüzeyinde oluşan tasmanın etki alanları Python programlama dilinde bilgisayar kodları geliştirilip ArcGIS yazılımına entegre edilerek belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan duyarlılık haritası, çok ölçütlü karar analizi, tasman, Coğrafi Bilgi Sistemi, Python, analitik hiyerarşi süreci

Bilim Kodu: 616.04.02

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM BASED LANDSLIDE ANALYSIS: AN EXAMPLE OF KOZLU

Deniz ARCA

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Thesis Advisor: Prof. Şenol Hakan KUTOĞLU

December 2015, 176 pages

In this study, the Kozlu (Zonguldak) area located in the Western part of the Black Sea Region, where frequently-occurring landslides and subsidence at the surface loss of human lives and goods, are investigated with respect to landslide and subsidences susceptibility. As a result of literature and field studies, lithology, slope, aspect, land class, elevation and distance to the main road were found to be effective during the production of the landslide susceptibility map. In addition, the landslide inventory map needed to define the relations between these layer maps and the previous landslides, has been obtained from the MTA (Mineral Research and Exploration General Directorate). Analytical Hierarchy and Likelihood Ratio Methods has been used to determine the effect (weight) of each data layers and subgroups of the layers on the occurrence of landslides the obtained layers were evaluated according to their weights and analyzed, and then the landslide susceptibility map was produced. This map was divided into five zones based on the degree of susceptibility to landslides, identified as very low-, low-, medium-, high- and very high- risk zones. The field and percentage distributions have

ABSTRACT (continued)

been calculated, and about 88% according to Multi Criteria Decision Analysis (MCDA), about 84% according to Likelihood Ratio. In summary, results showed that MCDA method outperformed Likelihood Ratio methods for landslide risk assessment for the dataset considered in this thesis. As a consequence The landslide susceptibility maps produced herein is considered a valuable tool for reducing the landslide hazard and for the planning purposes.

The name at the mining literature of the deformations in subsurface strata and surface induced from underground mining activities is subsidence. Now, different methods developed for prediction of subsidence value, and also many parameters used in the application of these methods. These parameters include are any data and data groups like geometrical info's of the production area, underground location info's of the production area, positional relations with the other production areas, geologic info's and act. Determining at amount of deformations (subsidence) at the surface is required because of emphasis with respect to sustainable developments in cities and country itself. In this study determine of effect area of subsidence induced from subsurface mining in the Zonguldak Hardcoal Basin Kozlu production region of developing computer code in the python programming language and integrated into the ArcGIS software.

Keywords: Landslide susceptibility map, multi criteria decision analysis, Subsidence, Python, Geographical Information System, analytic hierarchy process

Science Code: 616.04.02

TEŞEKKÜR

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

Tez çalışması süresince, yaptıkları öneri ve eleştirilerle çalışmanın içeriğinin şekillenmesinde önemli katkılar sağlayan Tez İzleme Komite Üyeleri Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER ve Yrd. Doç. Dr. Serkan KARAKIŞ'a,

Çalışmam sırasında ölçüm işleri ve veri erişim kolaylığı sağlama açısından bana destek olan Harita Mühendisi meslektaşım Sayın Serkan SARGINOĞLU, Uzman Murat ORUÇ ve Türkiye Taşkömür Kurumu (TTK) Kozlu Müessesesi Plan Proje Bürosu çalışanlarına,

Çalışmam sırasında Python programı ile kod yazmada bana destek sağlayan Konumsal Bilgi Sistemleri San. Tic. Ltd. Şti GIS Uzmanı Kamil ÇAKMAK, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Güven KOÇAK ve Arş. Gör. Eda ÇEVİK'e,

Tez çalışması süresince gösterdikleri sabır, maddi ve manevi destekten dolayı sevgili annem Satı KAYABAŞI ve Fakülte Sekreteri babam Recep KAYABAŞI'na,

Son olarak, tezimin her aşamasında yanımda olan ve bu süreç boyunca gösterdiği anlayış için sevgili eşim Erkan ARCA ve canım oğlum Emir ARCA'ya

Sevgi ve Teşekkürlerimle...



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
 BÖLÜM 2 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE RİSK ANALİZİ	 5
2.1 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ	5
2.2 CBS’NİN BİLEŞENLERİ	6
2.3 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNDE RİSK ANALİZİ	7
2.4 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ	8
2.5 MADENCİLİKTE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ	10
 BÖLÜM 3 HEYELAN VE HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI ÜRETİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	 13
3.1 HEYELAN.....	13
3.2 HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ VE YAKLAŞIMLAR.....	16
3.2.1 Dağılım Analizi.....	20
3.2.2 Niteliksel Yöntemler	20

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.3 Niceliksel Yöntemler.....	23
3.3 HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI.....	28
3.4 HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ HAZIRLANMASI	29
3.5 HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER	30
3.5.1 Çok Kriterli Karar Verme Analizi	31
3.5.2 Lojistik Regresyon Analizi	51
3.5.3 Frekans Oranı Metodu.....	52
 BÖLÜM 4 KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE TASMAN.....	 55
4.1 MADENCİLİK TASMANI VE OLUŞUM MEKANİZMASI.....	55
4.2 TASMAN OLUŞUMUNA NEDEN OLAN ETMENLER	58
4.2.1 Sabit Etmenler	59
4.2.2 Değişken Etmenler	59
4.3 TASMAN ETKİ ALANI	59
4.4 ETKİLENME BÜYÜKLÜĞÜNE GÖRE MADEN OCAKLARININ TANIMI.....	62
4.5 TASMAN HASAR DEĞİŞKENLERİ.....	63
4.5.1 Düşey Hareketin Etkisi.....	63
4.5.2 Yatay Hareketin Etkisi	65
4.6 TASMAN KONTROLÜ	66
4.7 TASMAN TAHMİN YÖNTEMLERİ	69
4.7.1 DeneySEL ve Yarı DeneySEL Yöntemler	69
4.7.2 Analitik Yöntemler	72
 BÖLÜM 5 HEYELAN VE TASMAN DUYARLILIK ANALİZLERİ	 75
5.1 KOZLU HAKKINDA GENEL BİLGİLER	75
5.1.1 Nüfus ve Coğrafya.....	76
5.1.2 İklim ve Bitki Örtüsü.....	77

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1.3 İnceleme Alanının (Kozlu Beldesi) Jeolojisi	78
5.2 HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ	85
5.2.1 Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Veri Katmanları.....	85
5.2.2 Çok Kriterli Karar Analizi İle Heyelan Duyarlılık Analizi	102
5.2.3 Benzerlik Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi	112
5.3 TASMAN ÖLÇMELERİNİN YAPILDIĞI KOZLU ÜRETİM BÖLGESİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN TASMAN ANALİZLERİ	118
5.3.1 Ttk Kozlu Müessesesi'nin Tanıtımı.....	118
5.3.2 Ttk Kozlu Müessesesi'nin Tarihçesi.....	119
5.3.3 Kozlu Üretim Bölgesinin Genel Jeolojik Özellikleri	120
5.3.4 Kozlu Üretim Bölgesinde Bulunan Üretim Panolarının Geometrik Özellikleri	120
5.3.5 Çalışma Bölgesinde Bulunan Üretim Panolarının Etki Alanlarının Belirlenmesi	123
5.4 ÇALIŞMA ALANININ RİSK HARİTASININ OLUŞTURULMASI.....	126
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR.....	137
ÖZGEÇMİŞ	151



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 CBS'nin bileşenleri.	7
Şekil 3.1 Farklı türlerde gelişen hareketlere ait blok diyagramlar.	16
Şekil 3.2 Heyelan değerlendirme yöntemleri.	19
Şekil 3.3 C-ÇKKA Uygulama Adımları.....	37
Şekil 3.4 İkili karşılaştırma matrisi.....	44
Şekil 3.5 Analitik hiyerarşi yöntemi yapısı.	49
Şekil 4.1 Tasmanın zemin içinde ve yeryüzündeki oluşum mekanizması	56
Şekil 4.2 Düz damarların işletilmesi sonucu ortaya çıkan tasman küveti ve diğer tanımlamalar.....	57
Şekil 4.3 Eğimli kömür damarlarının işletilmesi sonucu ortaya çıkan tasman küveti ve diğer tanımlamalar).	58
Şekil 4.4 Tasman etki alanının kestirimi	61
Şekil 4.5 Damar eğim açısına göre tasman sınır açıları.	61
Şekil 4.6 Bir yerüstü noktasındaki aktif ve artık tasman etkilerinin zamana bağlı gelişimi.	62
Şekil 4.7 Yatay ve eğimli damarlarda kritik altı (dar), kritik (tam) ve kritik üstü (geniş) ocak görünüşleri.....	65
Şekil 4.8 Yapılarda uzama, kısalma ve eğilme hasarları.	66
Şekil 4.9 Yeryüzündeki bir yapının tasmandan korunmasına yönelik topuk bırakma	68
Şekil 4.10 Bir yeraltı nakliyat galerisinin korunması için topuk tasarımı.	68
Şekil 4.11 Kritik ocak, tasman ve yatay deplasman profilleri.....	71
Şekil 4.12 Üretim noktası esaslı etki fonksiyonu tanımı	72
Şekil 5.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	76
Şekil 5.2 Çalışma alanının formasyon sınırlarının dağılımı	78
Şekil 5.3 Kozlu beldesi'nin stratigrafik kesiti.....	80
Şekil 5.4 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası.	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.5 Çalışma alanının heyelan envanter haritası.	87
Şekil 5.6 Çalışma alanının eğim haritası.	88
Şekil 5.7 Eğim ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.	89
Şekil 5.8 Litoloji ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.	91
Şekil 5.9 Çalışma alanının yamaç eğim yönü (bakı) haritası.	93
Şekil 5.10 Bakı ve heyelanlar arasındaki ilişkilere aithistogram.	94
Şekil 5.11 Çalışma alanının yükseklik haritası.	96
Şekil 5.12 Yükseklik ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.	97
Şekil 5.13 Çalışma alanının arazi kullanım yoğunluğu.	98
Şekil 5.14 Arazi kullanım yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.	99
Şekil 5.15 Çalışma bölgesine ait yol ağı haritası.	100
Şekil 5.16 Çalışma bölgesine ait yol ağı tampon haritası.	101
Şekil 5.17 Yola yakınlık ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.	102
Şekil 5.18 Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörlerin frekans değerleri.	103
Şekil 5.19 Normalleştirme sonrası elde edilen eğim haritası.	104
Şekil 5.20 Normalleştirme sonrası elde edilen formasyon haritası.	104
Şekil 5.21 Normalleştirme sonrası elde edilen bakı haritası.	105
Şekil 5.22 Normalleştirme sonrası elde edilen yükseklik haritası.	105
Şekil 5.23 Normalleştirme sonrası elde edilen arazi durumu haritası.	106
Şekil 5.24 Normalleştirme sonrası elde edilen yola yakınlık haritası.	106
Şekil 5.25 Ağırlıklı doğrusal birleştirme metodu için işlem akışı.	108
Şekil 5.26 ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.	109
Şekil 5.27 ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.	110
Şekil 5.28 Eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.	111
Şekil 5.29 Eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.	111
Şekil 5.30 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.	115

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.31 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.....	116
Şekil 5.32 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası eşit dağılımlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.	116
Şekil 5.33 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası eşit dağılımlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.....	117
Şekil 5.34 Kozlu Müessesesi'nin İşletme Planı.....	119
Şekil 5.35 Kozlu üretim bölgesi içinde bulunan eski ve yeni üretim panolarının GeoEye görüntüsü üzerindeki konumları.....	121
Şekil 5.36 Oluşturulan Tasman tesir alanı penceresi.....	124
Şekil 5.37 Oluşturulan Tasman tesir alanı sonuç penceresi.	124
Şekil 5.38 Kozlu üretim bölgesindeki tasman etkisi oluşturan kömür üretim etki alanları..	125
Şekil 5.39 Kozlu üretim bölgesinde bulunan tüm üretim panolarının oluşturduğu etki alanları ve bölge için belirlenen genel etki alan sınırı.....	126
Şekil 5.40 Normalleştirme sonrası elde edilen tasman tesir haritası.	127
Şekil 5.41 ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen risk duyarlılık haritası.....	129
Şekil 5.42 TERRASAR-X verisiyle 2011/3/15-2011/9/29 belirlenen zemin hareketleri	130
Şekil 5.43 KTB ile elde edilen risk duyarlılık haritası ile Insar ve heyelan envanter haritası.	131
Şekil 5.44 ÇKKA metodu sonrası eşit dağılımlı bölümlleme ile elde edilen risk duyarlılık haritası.	132
Şekil 5.45 EDB ile elde edilen risk duyarlılık haritası ile Insar ve heyelan envanter haritası.	132



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1	Heyelanların sınıflandırılması.	17
Çizelge 3.2	Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlar.	18
Çizelge 3.3	İkili karşılaştırma ölçeği	43
Çizelge 3.4	$n=1 \dots 15$ Eleman için rastgele tutarsızlık indisleri (RI).....	45
Çizelge 5.1	Eğim sınırları ve heyelan arasındaki ilişkiler.	89
Çizelge 5.2	Formasyon sınırları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.....	91
Çizelge 5.3	Yamaç eğim yönü (bakı) sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.	94
Çizelge 5.4	Yükseklik sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.	96
Çizelge 5.5	Arazi durumu sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.	98
Çizelge 5.6	Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.....	101
Çizelge 5.7	Heyelan duyarlılık haritası için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları.....	107
Çizelge 5.8	Olasılık-Benzerlik oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri.....	113
Çizelge 5.9	Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların Bina ile doğruluk karşılaştırmaları.....	118
Çizelge 5.10	Kozlu üretim bölgesinde tasman etkisi oluşturan panoların geometrik özellikleri.....	122
Çizelge 5.11	Kozlu üretim bölgesinde bulunan üretim panolarına ait etki alan değerleri... 125	
Çizelge 5.12	Risk duyarlılık haritası için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları.....	128
Çizelge 6.1	Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların doğruluk karşılaştırmaları.	134
Çizelge 6.2	Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların InSAR ile doğruluk karşılaştırmaları.....	135
Çizelge 6.3	ÇKKA yöntemi ile üretilen risk haritasının InSAR ve HEH ile doğruluk karşılaştırmaları.	135



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

R_{min}	: Kriter minimum puan
R_{max}	: Kriter maksimum puan
SR	: Standartlaştırma aralığı
CR	: Tutarlılık Oranı
CI	: İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık indeksi
λ	: Tutarlılık vektörünün ortalama değeri
RI	: Rastgele indeks
X	: Olası seçeneklerin kümesi
f^*_j	: Amaç Fonksiyonu
x_{ij}	: Ölçüt Değerleri
L_y	: Yapı uzunluğu,
Δ	: Yapı çökme miktarı
Re	: Eğrilik yarıçapıdır.
γ_{alt}	: Tasman Alt Sınır Açısı
γ_{orta}	: Tasman Orta Sınır Açısı
$\gamma_{üst}$	: Tasman Üst sınır açısı
A	: Ele alınan havza için katsayı
H_d	: Üretim derinliği
S_o	: Maximum Tasman

KISALTMALAR

ADB	: Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

AHP	: Analytic Hierarchy Process
BO	: Benzerlik Oranı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
C-ÇKKA	: Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKA	: Çok Kriterli Karar Analizi
ÇÖKA	: Çok Ölçekli Karar Analizi
ÇÖKV	: Çok Ölçekli Karar Verme
EDB	: Eşit Dağılımlı Bölümleme
EKİ	: Ereğli Kömür İşletmesi
GeoEye	: Google Earth
KKS	: Küresel Konumlama Sistemi
KTB	: Kullanıcı Tabanlı Bölümleme
MCDA	: Multi Criteria Decision Analysis
MBS	: Maden Bilgi Sistemi
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
NCB	: National Coal Board
OWA	: Ordered Weighted Average
SAW	: Simple Additive Weighting Method
SEH	: Subsidence Engineering Handbook
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TTK	: Türkiye Taşkömür Kurumu
UA	: Uzaktan Algılama
WLC	: Weighted Linear Combination
WPM	: Weighted Product Method
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ZTH	: Zonguldak Taşkömür Havzası

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler, insanlığın en temel ihtiyaçlarından biri olan barınma sorununu gündeme getirmektedir. Herhangi bir plan ya da programı olmayan yapılar; zemin etüdü yapılmamış, gelişigüzel seçilmiş, boş bulunan alanlara inşa edilmeye başlanmış ve bu şekildeki yapılaşmalar günden güne çoğalarak büyük yerleşim alanları oluşmuştur. Öyle ki, büyük fay hatlarının bulunduğu yerlerde, yumuşak zeminli su havzalarında, heyelan riski bulunan sahalarda, karstik boşluk bakımından zengin kesimlerde, yer altı madenciliği faaliyetlerinin yapıldığı bölgelerde vb. alanlarda şehirler kurulmuş ve olası tehlikeler istenmeden de olsa göz ardı edilmiştir (Akçın vd. 2009).

Yeryüzünü oluşturan ortamlara insanlar tarafından olumsuz müdahaleler yapıldığı zaman, doğal denge bozulmakta ve çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, insanoğlu teknolojik gelişmelerle birlikte, çevresel olayları algılama, yorumlama ve analiz yeteneğini de sürekli geliştirmektedir. İlk insanlardan günümüze kadar geçen süre zarfında görülmektedir ki, insanların en büyük ihtiyaçlarından birisi belirli bir yaşam yeri edinme, edinilen yeri koruma ve muhafaza etmektir (Çellek 2013).

Doğal afetler; deprem, heyelan, taşkın gibi olayların meydana gelmesi sonucunda oluşan doğal hasar ile sosyal, ekonomik, politik ve kültürel faktörlere bağlı olan toplumsal hasarın, aynı yer ve zamanda meydana gelmesinin sonucudur. Yaşadığımız yeryüzünde gerçekleşen doğal afetler (depremler, heyelanlar, su baskınları, tsunami olayları, volkanik patlamalar) geçmişten günümüze kadar çok sayıda can kayıplarına ve büyük maddi zararlara yol açmıştır. Doğa olayları, doğanın iç dengelerinin yeniden düzenlenmesi döngüsünün sonuçları olup dünyanın oluşumundan günümüze kadar devam etmektedir. Doğa olaylarının, afetlere dönüşmesi ise insan yaşamının başlaması ile eş zamanlıdır. Bu nedenle, afetler en geniş anlamı ile insanlara zarar veren olaylar olarak tanımlanabilir. Doğal afetlerin en belirgin

özellikleri ise aniden gelişmeleri, başladıktan sonra insanlar tarafından hiçbir şekilde müdahale edilememeleri ve engellenememeleridir. Doğal olayları afete dönüştürmemek, önceden alınan önlemlerle zararları en aza indirmek; yerbilimci, mühendis, mimar ve şehir plancılarının mesleki uygulamalarında birincil yaklaşımları olmalı ve bu yaklaşım doğrultusunda çok katmanlı ve çok aşamalı bir süreç olan afet yönetimi oluşturulmalıdır (Yiğiter 2008; Akıncı vd. 2010, Hasekioğulları 2010, Şahin 2012).

Türkiye’de kütle hareketlerinin özellikle de heyelanların, ortaya çıkardığı kayıplar son derece önemlidir. Hemen her yıl ülkemizin pek çok yerinde görülen heyelanlar, çok sayıda can ve mal kayıplarına yol açar. Bu kayıpların başında ise telafisi mümkün olmayan insan kayıpları gelmektedir (Öztürk 2002).

Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılması ve arazi kullanım planlamalarına yardımcı olması bakımından son yıllarda bölgesel anlamda heyelan duyarlılık çalışmaları oldukça yaygın olarak üretilmektedir (Gökçeoğlu ve Aksoy 1996, Karakaya 2003, Süzen ve Doyuran 2004, Ercanoğlu ve Gökçeoğlu 2004, Çörekcioğlu 2004, Çan vd. 2005, Yeşilnacar ve Topal 2005). Heyelan duyarlılık haritaları belli bir coğrafi lokasyonda belli bir heyelan tipinin oluşması açısından sahayı göreceli olarak zonlayan haritalardır. Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki (CBS) gelişim ve kullanımındaki yayılım bu tür haritaların üretilmesini kolaylaştıran önemli bir etken olmuştur.

Coğrafi Bilgi Sistemleri kaynakların kullanımı, planlanması ve yönetimine ilişkin karmaşık problemleri çözmek amacıyla grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, yönetilmesi, işlenmesi, modellenip kullanıcıya sunulması işlevlerini gerçekleştiren bir bilgi sistemidir. CBS konumsal bilgileri yönetmek, analiz etmek ve sunmak için oldukça karmaşık araçlar içerir. (Liu and Mason 2009) Gelişmiş donanım ve yazılımlar ile kullanılan bu araçlar sayesinde sorgulamalar ve analizler ile karar verme süreci kolaylaşır.

Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmaktır. Doğal tehlike haritaları geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal olayların oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte böyle doğal olayların oluşumlarının tahmin edildiği bilgileri içerir (Varnes 1984). Heyelan duyarlılık haritaları ise, genel anlamda herhangi bir bölge içerisindeki alanların göreceli olarak heyelana olan hassasiyetinin sınıflandırılmasıdır.

Son yıllarda, literatürde gelişen teknolojilere paralel olarak çoğu araştırmacı heyelan duyarlılık haritası üretmede, olasılık yöntemi (sıklık oranı), analitik hiyerarşi süreci (AHP), iki değişkenli, çok değişkenli, lojistik regresyon, bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi değişik yöntemler kullanmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde literatürde yaygın olarak kullanılan diğer bir metot ise olasılık modeline dayalı frekans oranı metodudur. Bu çalışmaların birbirlerinden ayrıldıkları noktalar olsa da en büyük ortak noktaları son yıllarda birçok alanda kullanılan coğrafi bilgi sistemlerini kullanmalarıdır. Bu bilgi sistemi verilerin bir arada, hızlı, ekonomik ve etkin bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Nicel yöntemlere uygulanabilirliği birçok çalışmayla da ortaya konmuş CBS ve mevcut istatistiksel programların entegrasyonunun sağlanması ile duyarlılık için kullanılacak parametrelerin üretimi de çok daha kolaylaşmıştır. Ancak, heyelan çalışmalarında veri kalitesi çok önemlidir ve çok hassas sonuçlar, verilerin yeterli, uygun ve geniş aralıklı parametrelerden alınmış olmasıyla elde edilir (Pradhan vd. 2009, Yılmaz 2010, Yalçın vd. 2011, Şahin 2012).

Madenlerin yeraltı üretim yöntemleri ile çıkarılması sonucunda oluşan boşluklar, üretim yöntemine göre ya dolgu ile doldurulmakta ya da boşluk olarak bırakılmaktadır. Özellikle dolgusuz üretim yöntemlerinde, cevher damarının üzerinde askıda kalan kaya kütlesi, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle zaman içerisinde yenilmekte ve bu boşlukları dolduracak şekilde aşağıya doğru hareket etmektedir (Yetişen 2007). Meydana gelen bu hareket, üretim üzerindeki yapılarda, yol, kanalizasyon gibi altyapı tesislerinde, madenlerdeki önemli tesislerde hasarlara, yeraltında göçüklere, zemin hidrolojik dengesinin bozulmasına, yeryüzündeki jeodezik ağlarda deformasyonlara ve mülkiyet yapısının değişmesine neden olmaktadır.

Günümüzde yeraltı kömür madenciliğinin ve tasman hasarlarının yaygın olduğu ülkelerde, ülkelerin ve havzaların özelliklerine uygun olarak gerçekleştirilen tasman tahmin yöntemlerinin sayıları ve alınan sonuçların gerçeğe uygunlukları giderek artmaktadır. Bu tahmin yöntemleri genelde analitik ve grafik çözümlere dayalı olarak geliştirilmiştir. Ancak son yıllarda bilgisayarların hızlı gelişimine bağlı olarak sayısal çözümlere dayalı tekniklere geçilmiştir.

Dünyada yeraltı maden üretimi yapılan birçok havzada, madencilik faaliyetleri sonucu yeryüzündeki doğal denge bozulmakta ve yüzeyde tasman olarak adlandırılan oluşum

meydana gelmektedir. Bu olayı en derinden yaşıyan havzalardan biri de Zonguldak Taşkömürü Havzasıdır (Akçın 1995).

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak hem doğal nedenlerin hemde yeraltı madencilik faaliyetlerinin incelenebileceği Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Kozlu İlçesi seçilmiştir. Çalışmada çalışma alanı için, Çok Kriterli Karar Analizi ve Olasılık-Benzerlik oranı yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesi ve çalışma alanında meydana gelen yeraltı çökmelerinin yeryüzüne etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kozlu ilçesine ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde eğim, jeoloji, bakı, yükseklik, arazi yoğunluğu ve yola olan uzaklık faktörlerinden faydalanılmıştır. Bu veriler bölgenin heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak, heyelanların oluşumunda rol oynayan faktörler bulanık setler kullanılarak normleştirilmiştir. İkili karşılaştırma yöntemiyle her bir faktör birbirleriyle karşılaştırılarak göreceli değerler (katsayılar/ağırlıklar) atanmış ve her bir faktör için ağırlıklar elde edilmiştir. Faktörlerin ağırlıklarının elde edilmesinden sonra Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (ADB) metodunda faydalanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan diğer yöntem ise olasılık-benzerlik oranıdır. Bu yaklaşım ile heyelana neden olan faktörlerin, heyelan olan ve olmayan alanlar arasındaki ilişkiyi inceleyerek matematiksel olarak olası heyelan sahaların tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm yöntemler beş duyarlılık sınıfına bölünmüş ve her bir duyarlılık aralığı için elde edilen doğruluk değerleri karşılaştırılarak irdelenmiştir. Çalışma alanına ait üretim panolarının tesir alanlarının belirlenmesi için bu çalışmaya özel olarak Python programlama dili ile arayüz geliştirilip ArcGIS yazılımına entegre edilerek belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE RİSK ANALİZİ

2.1 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), genel olarak konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu 2000). CBS en genel haliyle bilgi teknolojisine dayalı sistemleri bünyesinde toplanmış ve sonuçta; disiplinler arası bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, CBS’yi diğer sistemlerden farklı kılan en önemli özelliği coğrafi analiz yapabilme kapasitesi, diğer bir ifadeyle mekansal analitik işlemleri gerçekleştirebilme yeteneğidir (Maguire 1992).

Coğrafi Bilgi Sistemleri sahip olduğu donanım ve yazılım ürünleri sayesinde veri girişi ve bu verilerle ilgili işlemler yapabilmektedir. Ayrıca veri depolama, gerekli durumlarda bu veri tabanında güncelleme, ayıklama, transfer gibi işlemler ile veri dönüşümleri ve analiz yapabilme özelliklerine sahiptir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan verinin özelliklerine göre de bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların başında, farklı konumsal veri modelleri gelmektedir. Veri modeli bir plana göre verinin mantıksal organizasyonu olarak bilinmektedir. CBS’de, vektörel (vector) ve hücreli (raster) veri modeli olmak üzere iki farklı konumsal veri modeli vardır (Demir 2011).

CBS, yoğun nüfus artışı, çevre kirliliği, orman kaynaklarının yok olması, meteorolojik olayların analizi, şehir, çevre ve ulaşım planlaması, tarım alanlarının yok olması, ambulansların en kısa yoldan ulaşımının nasıl sağlanacağı, yeni yerleşim yerlerinin neresi olması gerektiği gibi ve buna benzer birçok problemin çözümünde kullanılmak üzere harita ve grafiklerin yapımında, senaryolar üretiminde, çeşitli çözüm yolları uygulanarak sonuçlarının tetkik edilmesinde yardımcı olmaktadır.

CBS'nin özelliklerinden biri de analiz işlemlerine olanak sağlamasıdır. Klasik sistemlerle çok zaman alacak analiz işlemleri CBS yardımıyla çok daha hızlı ve basit bir şekilde yapılabilir. Bu nedenle CBS'ler günümüzde "Karar Verici"lerin vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir (Cömert ve Bostancı 1999). CBS'de gerçekleştirilebilecek analiz tiplerine ait örnekler aşağıda verilmiştir.

- Belirli bir değer aralığında olan taşınmazların, mülkiyet verilerinin belirlenmesi,
- İmar uygulamalarında ifraza uygun parsellerin belirlenmesi,
- Afet esnasında, afet alanına en yakın itfaiye, hastane gibi merkezlere ulaşan en kısa yolların belirlenmesi,
- Bir yol yapımı projesinde arazi eğim değerlerinden uygun güzergahın seçilmesi,
- Bir şehrin altyapı tesislerinde meydana gelecek arızalardan, etkilenecek abonelerin belirlenmesidir.

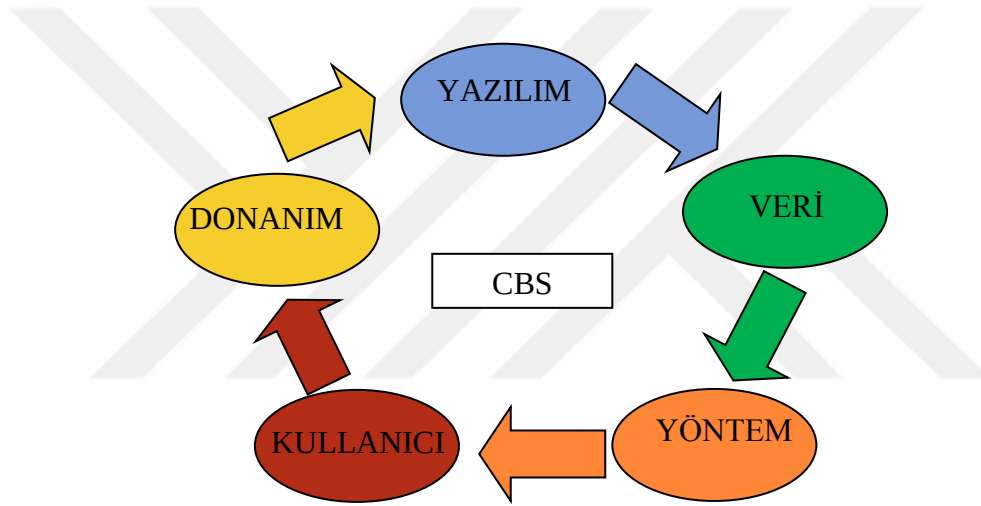
CBS'nin kökleri tematik kartoğrafyaya dayanmaktadır. 1950'lerin sonu ve 1960'larda, bilgisayara dayalı kartoğrafya ile ilk olarak temel CBS kavramları ortaya çıkmıştır. İlk CBS 1963 yılında Kanada'da tasarlanmıştır. Amaç ülke topraklarının özelliklerinin tespitiydi. 1966 yılında Harvard Üniversitesi'nde Bilgisayar grafikleri ve konumsal analizler laboratuvarı kurularak ilk yazılımlar gerçekleştirilmiştir. CBS 1980'li yılların başlarında kişisel bilgisayarların ortaya çıkması ve yaygınlaşması ile birlikte ilk defa ticari bir sistem olarak piyasaya sürülmüş ve CBS yazılımları daha gelişmiş donanımları gerekli kılmıştır. Kullanıcı ara yüzünün geliştirilmesi ile 1990'larda CBS'nin geniş kitleler tarafından kullanımı daha kolay hale gelmiştir. 1990'lı yıllarda içerisinde devamlı yenilikler olmuş kapasite ve yetenekler her geçen gün geliştirilmiştir. Böylece program daha kullanışlı hale gelmiştir.

2.2 CBS'NİN BİLEŞENLERİ

CBS, kısaca birbiri ile entegre halinde bulunan beş ayrı bileşenden oluşur. Bunlar CBS'yi çalıştıran bilgisayar, gerekli programlar, veriler, uygulayacak olan insan ve metotlardır. CBS'nin çalışması için bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgisayarlar çoklu kullanıcıları olan bilgisayarlardan kişisel ve diz üstü bilgisayarlara kadar değişebilmektedir. Coğrafi verilerin depolanması, analizlerinin yapılması ve gösterimleri için gerekli olan önemli öğelerden biri de programlardır. Bu programlar sayesinde tüm işlemler yapılabilir.

CBS'nin belki de en önemli ögesi verilerdir. CBS için gerekli olan veriler ya kişisel araştırmalar yoluyla ya da aracı kurumlardan elde edilir. Toplanan bu veriler bilgisayara aktarılır ve CBS programları için uygun hale getirilir. CBS'i oluşturan öğelerden biri de kullanıcıdır.

Elde edilen verileri bilgisayara girerek programları uygulayacak ve bu yolla sonuca ulaşacak olan kullanıcıdır. CBS kullanıcıları teknik sistem uzmanlarından sıradan ev kullanıcılarına kadar değişiklik arz etmektedir. CBS'i meydana getiren son öge metotlardır. Doğru ve istenilen sonuca ulaşılabilmesi için uygun metotlara ihtiyaç duyulmaktadır (Sezer 2005) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 CBS'nin bileşenleri.

2.3 COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNDE RİSK ANALİZİ

Risk, gelecekte bir olayın gerçekleşme olasılığı içerisinde sağlığa, maddi hasara veya çevreye olan olumsuz etkilere ve tehlikelere denir. Tehlike ise geometrik ve mekanik yönden tanımlanabilen, insanların yaralanması, hastalanması, zarar görmesi veya bunların birleşimi olabilecek zarar potansiyeli olan durumdur. Belli bir zaman diliminde, bir bölgede tehlikeli bir olayın oluşma potansiyeli olası risk diye tanımlanır. Risk değerlendirmesi, haritalardaki olası tehlike ve onun potansiyel sonuçlarının insan yaşamı üzerindeki etkileri ile birlikte ekonomik veya çevresel değişkenliklere sebep olan etmenlerin belirlenmesi ve analizi sürecidir (Yüksel 2007, Özdemir 2007). Risk analizi; riski oluşturan faktörlere ait sonuçların ve meydana gelme olasılıklarının değerlendirilmesini içerir. Risk analizi, risk yönetimi

kavramı içinde yer alan en önemli öge olup risk yönetiminin temelini oluşturmaktadır (Özdemir vd. 2011).

Yerleşim yerlerinin yapısal özelliklerinden, düzensiz kentsel gelişmelerden ve kentte yaşayanlara bağlı olarak ortaya çıkan bu risklerin ortadan kaldırılması için yapılan çalışmalar genel olarak afet yönetimi aşamalarından “risk azaltma” başlığı altında tanımlanmaktadır. Bu aşamada kentsel riskler göz önünde bulundurularak gerekli görülen tüm tedbirlerin alınması kentlerin afet riskini azaltmada etkin bir yöntem olarak görülmektedir.

Farklı düzeylerde yürütülen risk belirleme çalışmaları arasında en karmaşık olanı kent düzeyinde gerçekleştirilen çalışmalardır. Kent ortamında çok yönlü risklerin belirlenmesi, kentin fiziki, ekonomik ve sosyal özelliklerinin sistemli birlikteliği gözetilerek kent bilimsel yöntemlerle çözümlenmesini gerektirir (Balamir 2007).

CBS görüntüleme, veri analizi, sorgu, çıktı ve benzeri araçlara sahip oluşu nedeni ile risk analizi ve yönetiminde kullanılabilir güçlü bir bilgi sistemidir. Doğal afetlerin (deprem, su taşkını, heyelan, vb.) belirlenmesinde uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve kartografik veriler kullanılarak, CBS’de analizi ile olası riskin belirlenmesi mümkündür. Risk analizi çalışmalarında, riskin oluşması için sahada meydana gelen ve sonraki dönemlerde meydana gelme olasılığı bulunan doğal tehlikeler incelenerek CBS veri tabanı içerisinde analizine ve sorgulanmasına imkan verecek veri türleri belirlenmesi gerekmektedir. Veri türlerinin tespiti, araştırmanın yapısına bağlı olarak CBS’de kullanılabilen değerlendirme araçlarına başvurularak olası risk değerlendirmesi yapılır.

2.4 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ

CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) “konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir” (Yomralıoğlu 2002). İlk uygulamasından günümüze Coğrafi Bilgi Sistemleri, konumsal verilerle ilişkili birçok bilimsel problemin çözümünde kullanılmıştır. CBS kendisini meydana getiren gelişmiş bilgisayar ve yazılım teknolojileri ile birlikte vazgeçilmez bir bilgi teknolojisi konumuna gelmiştir. Sahip olduğu gelişmiş veri işleme ve analiz yeteneği sayesinde, CBS konumsal veri

ve bilgilerin depolama, analiz ve sorgulanma işlemlerini yapan etkili bir araçtır. Ayrıca, CBS kullanıcılarına konumsal ve konumsal olmayan verilerin bir arada değerlendirmesine olanak sağlayan güçlü bir bilgi sistemidir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri, bu özellikleri ile heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde iyi sonuçların elde edilmesi açısından çok yarar sağlamaktadır. Heyelan duyarlılığının analizi topoğrafik faktörlerin yanında, doğal ve insan kaynaklı birçok faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinde CBS tabanlı veri işleme teknikleri kullanılmaktadır. Potansiyel heyelan alanlarının önceden bilinmesi, neden olan etmenlerin çeşitliliği ve birbirleriyle olan ilişkilerinin büyük değişiklikler göstermesi nedeniyle çok zordur. Geniş alanlarda böyle bir çalışmayı yapmak güç ve zaman alan bir iş olması nedeniyle, ilgili bütün verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri ile bir araya getirmek, incelemek ve çok yönlü analizler yapmak, arazi çalışmalarına kıyasla büyük bir avantaj sağlamaktadır (Kavas 2009). Bu noktada heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde CBS'nin kullanımı ile ilgili bazı avantaj ve dezavantajların varlığından da söz etmek gerekmektedir. Akgün (2007) yapmış olduğu değerlendirmede, CBS'nin heyelan duyarlılık değerlendirmesindeki üstünlükler ve sınırlamalarını aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

Üstünlükleri:

1. Çok sayıda duyarlılık değerlendirme yöntemine ulaşılabilirlik mümkün olmaktadır. Hesaplama aşamasının oldukça hızlı olmasından dolayı çok sayıda haritanın üst üste çakıştırılması ve tabloların hesaplanması mümkün olmaktadır.
2. Yeni modellerin geliştirilmesi, geliştirilen bu modellerin çok sayıda tekrarı ile modelin etkinliğinin irdelenmesi olanağı sağlamaktadır. Bu imkanlar, klasik ve geleneksel yöntemlerle çok uzun zaman ve emek harcanmasına neden olurken CBS ortamında bu tür kayıpların minimum olması sağlanmaktadır.

Sınırlamaları:

1. Veri girişi açısından çok zaman gerektirmektedir. Özellikle sayısallaştırma işlemi en çok zaman harcanmasına neden olan işlem adıdır.

2. Veri analizi için çok sayıda yöntemin olması teorik olarak mümkün olmasına karşın, genellikle gerekli olan verinin kaybolması söz konusu olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, analiz amaçlı araçlar fazla ancak verilerin belirsizliği ya da yeterli veri olmamasından dolayı etkin yöntem kullanımları mümkün olmamaktadır.

2.5 MADENCİLİKTE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), verileri doğru bir şekilde organize etmede, karar verme gücünü hızlı ve doğru olmasını sağlamada ve sonuç olarak elde edilen verilerden istenilen analizin yapılmasında etkili bir sistemdir. Genel olarak CBS, grafik ve grafik olmayan verilerin birlikte işlenilebildiği bilgisayar destekli konumsal bir bilgi sistemidir. Bu sistemin kullanımı oldukça yaygın olmakla birlikte, madencilik alanında kendini göstermeye son yıllarda başlamıştır. CBS sayesinde verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve güncellenmesi çok daha hızlı, güvenilir ve ekonomik olmaktadır (Dereli vd. 2010). Risk analizlerinin yapılması, olası maden yatağında oluşabilecek zararları göz önüne alınmasına olanak sağlamaktadır

CBS'nin doğal kaynaklara dayalı endüstrilerde kullanımı oldukça yaygın iken, madencilikte kullanımı diğer disiplinlerde kullanımından daha az yaygındır. Bunun en önemli nedeni madencilik tasarım aşamasında daha çok bilgisayar destekli yazılım kullanımının oldukça yaygın olması ve bu yazılımların madencilik için tasarlanmış özel yazılımlar (söz gelimi, Techbase, Vulcan, MineSight, Surpac) ile entegre olarak çalışarak pek çok madencilik problemine çözüm bulmasıdır. Ancak CBS'nin yaygınlaşması ile birlikte yukarıda sözü edilen bilgisayar destekli tasarım ve madencilik yazılımı ikilisine CBS de katılmıştır. Ayrıca madencilik hemen hemen tüm safhalarında grafik ve öznitelik verilerinin aynı anda kullanımına duyulan ihtiyaç ve pek çok verinin mekansal bir nitelik taşıması da CBS'nin madencilikte kullanımını gün geçtikçe arttırmaktadır. Tüm bunların yanında CBS'nin madencilikte ilk uygulamaları daha çok açık ocak madencilğinde ve özellikle maden rehabilitasyonu çalışmalarında iken, son yıllarda entegrasyon sayesinde yer altı ve açık ocak madenciliklerinin pek çok safhalarında uygulamalar giderek artmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda, maden işletme haklarının yönetimi, maden arama faaliyetleri, tasarım ve yer seçimi, çevre etki değerlendirmesi, üretim, güvenlik ve maden rehabilitasyonu, maden yatakları ve taş ocaklarının değerlendirilmesi ve açık işletme kaynaklı yüzey değişimlerinin izlenmesi konularında CBS'nin kullanımı konusunda çalışmalar yapılmıştır (Uyguçgil 1994; Tören 2001; Erdoğan 2002; Sönmez 2002; Güneş 2003; Dağlıyar 2003; Güneş 2005; Kızıлтаş 2005).

CBS'nin madencilik uygulamalarında kullanımı çoğunlukla CBS'yi destekleyen teknolojilerin CBS'ye entegre edilmesi ile olmaktadır. Uzaktan algılama (UA) CBS'ye en önemli girdi sağlayan teknolojilerden birisidir. Küresel Konumlama Sistemleri (KKS) ise daha çok verinin doğruluğunun kontrolünde ve navigasyon sistemlerinin etkili kullanımında yer almaktadır. Madencilğin işletme operasyonları sırasında CBS ve destekleyici teknolojilerin kullanımı çok çeşitlilik göstermektedir. Çoğunlukla yer altı madenciliğinde CBS yalnız başına ve değişik operasyonların eşgüdümü için kullanılırken, açık ocak madenciliğinde CBS, UA ve KKS ile entegre edilmiştir. CBS'nin yer altı madenciliğinde en yaygın kullanım alanlarından biri de madenin üç boyutlu görselleştirilmesi ve madene ait çizelgesel bilgi ile eşleştirilmesidir (İşleker 2009).

Madencilikte CBS, yaygın olarak UA ile entegre olarak kullanılır. CBS ve UA entegrasyonu en çok çevre etki değerlendirmesi ve maden rehabilitasyonu çalışmalarında yer almaktadır. Bu entegrasyonun madencilik faaliyetlerindeki diğer yaygın kullanımı da kaya mekaniği uygulamalarıdır.

CBS ve UA'nın ülkemiz madenciliğine sağlayacağı katkılar şöyle sıralanabilir:

- Madencilik faaliyetlerinin hepsini içeren bir bilgi sisteminin oluşturulması (Maden Bilgi sistemi, MBS)
- Maden yönetiminin tüm madencilik faaliyetlerini toplu halde bir sistemde görmesi, gerekli sorgulamaların ve analizlerin yapılması
- Üretim planlamasının yapılması
- Jeolojik yapıların üretime etkilerinin gözlenmesi
- Tüm ocak içi yolların ve yollara ait bilgilerin sorgulanması, ilişkili tematik haritaların hazırlanması
- Maden kazalarının ocak haritasında işlenmesi ve bu haritadan yararlanılarak olası risk haritasının elde edilmesi
- Personele ait veri tabanının oluşturulması ve personelin çalıştığı bölümler ile ilişkilendirilmesi Ocak ile ilgili istenilen her türlü tematik haritanın hazırlanabilmesi
- Madene ait her türlü değişim ve ölçümlerin bilgisayar ortamında kısa zamanda güncellenebilmesi (İşleker 2009).



BÖLÜM 3

HEYELAN VE HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI ÜRETİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Dünyada meydana gelen doğa olayları insan hayatı ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkilediği takdirde doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Doğal afetlerden kaynaklanan zararların azaltılması ve canlı hayatının bu zararlardan en az seviyede etkilenmesi amacı ile heyelanlara yönelik olarak çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Heyelanlarla ilgili değerlendirme çalışmaları yaklaşık yarım yüzyıldır sürmektedir. Bu konudaki çalışmalar geçmiş zamanda yerel duraysızlık problemlerinin araştırılması ve bu problemlerin çözümüne ilişkin yapılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Daha sonraları bölgesel planlamaların öneminin artması dolayısıyla, heyelan değerlendirme çalışmaları da bölgesel düzeyde yapılmaya başlamıştır. Günümüzde ise CBS teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sayısal tabanlı değişik amaçlı haritalar üretilerek heyelan değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Bu konuda özellikle duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar çoğunluktadır (Akgün 2007, Dağ 2007).

3.1 HEYELAN

Heyelan, zemini kaya veya yapay dolgu malzemesinden oluşan bir yamacın yerçekimi, eğim, su ve benzeri diğer kuvvetlerin etkisiyle aşağı ve dışa doğru hareketidir. Heyelanlar nedeniyle dünyada ve Türkiye'de çok sayıda insan can ve mal kaybına uğramaktadır. Heyelan ve potansiyel heyelan alanlarını içeren heyelan duyarlılık haritaları bölgenin arazi kullanımı ve kentsel planlamasının yapılmasında büyük önem taşımaktadır (Schuster and Fleming 1986). Karadeniz Bölgesi'nde uzun zaman aralıklarında heyelanların meydana getirdiği can ve mal kaybı, depremden daha fazladır. Sarp topoğrafyası nedeni ile yerleşim alanlarının sınırlı olduğu bölgede, artan nüfus yoğunluğundan dolayı heyelan alanlarında gerçekleştirilen plansız yapılaşma, heyelan nedeniyle meydana gelebilecek zararları artırmaktadır. Sahanın fiziki yapısı dikkate alınmadan artan plansız ve dikkatsiz yapılaşma ve projelendirmeler

sonucu, heyelan açısından riskli alanlar hem yerleşim alanı hem de mühendislik yapı alanları (yol, baraj, köprü vb.) olarak kullanılmaktadır. Sonuçta bu alanlar, meydana gelen heyelanlar nedeni ile kullanılamaz hale gelmekte ve beraberinde getirdiği büyük sosyal ve ekonomik kayıplarla terk edilmek zorunda kalınmaktadır. Soruna çözüm olması bakımından riskli alanların belirlenmesi kaçınılmaz bir gerçektir (Dağ ve Bulut 2012).

Heyelan tehlikesi, belirli bir alanda ve belirli bir zaman içerisinde, heyelanın oluşma olasılığıdır. Heyelan tehlike duyarlılığı ise belirli bir alanda belirli bir zaman aralığında heyelan oluşma olasılığı eşit olan alanların haritalanması şeklinde tanımlanmaktadır (UNESCO 1973, Varnes 1984). Heyelan tehlike haritalarının üretilmesindeki ilk aşama, heyelan oluşumu ile heyelan oluşumuna neden olabilecek parametreler arasındaki ilişkilere dayalı olarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesidir. Sonraki aşamada ise genellikle şiddetli yağış ve deprem gibi, heyelanların tetiklenmesine neden olan parametreler belirlenmekte ve heyelanın oluşma olasılığı değerlendirilmektedir (Van Westen et al., 1997).

Heyelan riski, belirli bir alanda heyelan tehlikesinin meydana gelmesi durumunda oluşabilecek kayıplardır. Heyelan riski değerlendirmelerinde, heyelan sonucunda meydana gelecek yaşam kayıplarının yanında ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplar da dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, heyelan risk haritalarının üretilmesi, sadece yerbilimcilerin değil, farklı meslek gruplarının birlikte çalışmasını gerektirmektedir. Heyelanların oluşması sonucunda meydana gelecek doğrudan veya dolaylı kayıpların belirlenmesinin çok güç olması nedeniyle risk değerlendirmelerine yönelik çalışmalar, sınırlı sayıda kalmaktadır (Varnes 1984, Anbalagan and Singh 1996).

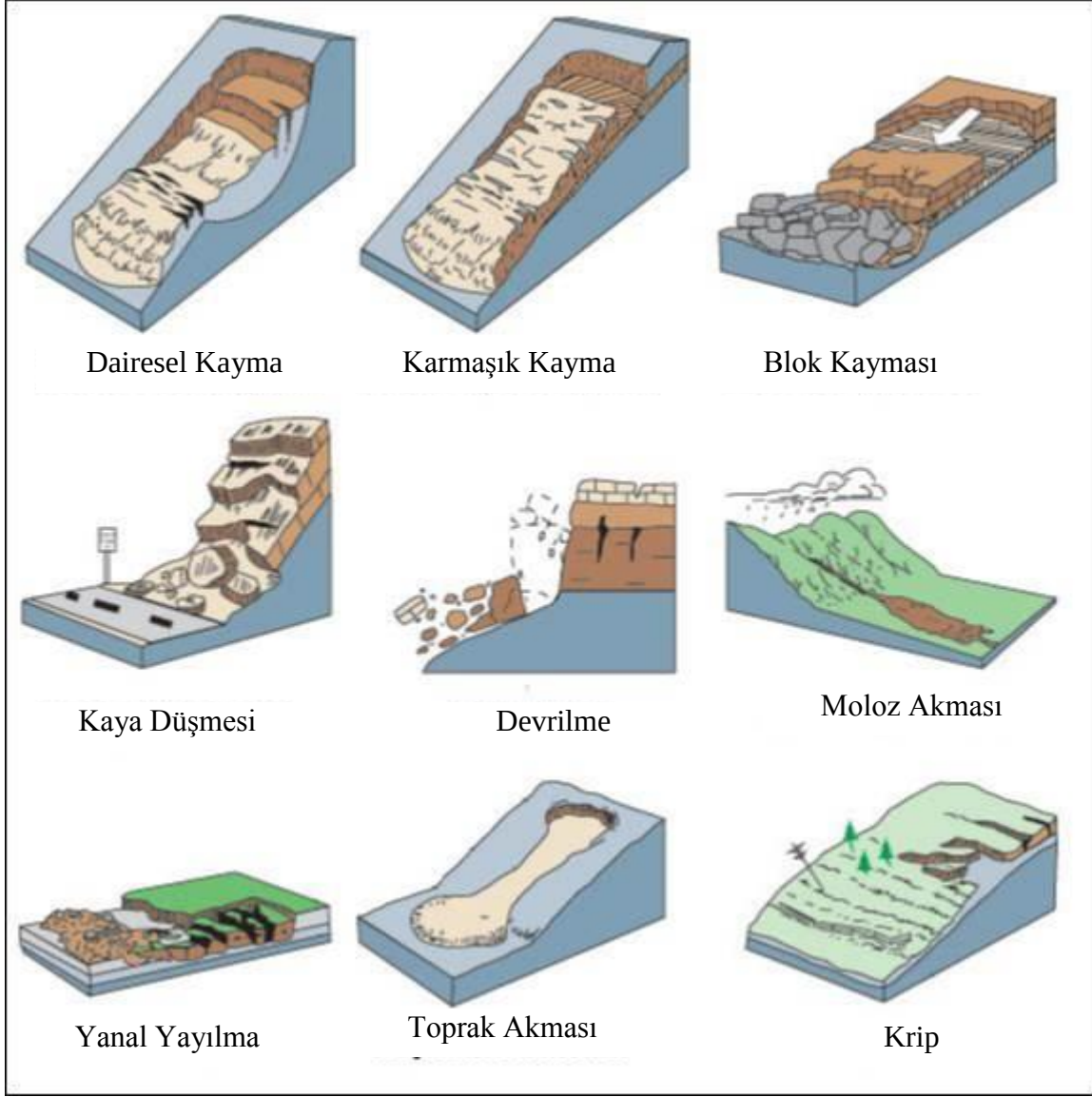
Heyelanların oluşumunu hazırlayan çok çeşitli etkenler mevcuttur. Bu etkenleri doğal ve beşeri etkenler olmak üzere, iki başlık altında toplamak mümkündür.

Doğal Etkenler: Eğim, sağanak yağışlar, suya doygunluk, litolojik özellikler (özellikle kil katmanlarının mevcudiyeti), bitki örtüsünün zayıflığı, donma ve çözülme olayları, çökmeler, yükselmeler, depremler ve erozyon gibi olaylar, heyelan oluşumunda önemli etkenleri oluştururlar. Ancak, bunlardan bazılarının etkisi çok daha fazladır. Örneğin temel faktör eğimin varlığıdır. Eğimin, suya doygunluğun ve kil katmanlarının yaygın olduğu alanlarda, heyelanlar her zaman meydana gelebilir. Eğimin olmadığı yerde, heyelanın meydana gelmesi söz konusu olamaz. Yamaç eğiminin değişmesi ve buna bağlı olarak, yamaçta bulunan

materyalin dengesinin bozulması, heyelanın meydana gelmesinde en önemli faktördür. Yamaç eğiminin artması, kaya bloklarının ağırlığının artmasını sağlar. Böylece yamaç dengesi bozulmaya başlar. Daha sonrada kayma meydana gelir. Genel olarak heyelanlar yağışlı ya da zeminin ıslak olduğu mevsimlerde daha sık oluşmaktadır. Şiddetli ve devamlı yağmurlar, ya da karların erimesi, ana kayanın ya da zeminin üzerindeki örtünün içine daha çok suyun sızmasını sağlamaktadır. Bu durumda kayma kolaylaşmakta ve denge açısı küçülmektedir. Örtünün ağırlığı arttığından aynı zamanda sürtünme de azaldığından heyelan oluşumu kolaylaşmaktadır. Suyla doygun duruma gelen kayaçların bulunması heyelan oluşumunu hızlandırır. Bunun için en elverişli formasyonlar, killi kayaçlardır. Bunlar yağışlı mevsimde suyu emerek iyice ıslanacağından, kaygan bir özellik kazanır. Kilin oranı ve türü, heyelan riskini artıran veya azaltan ve heyelanların yayılış alanlarını tayin eden başlıca faktörlerden ikisidir. Bu nedenle killi formasyonların, fliş, marn ve tuf gibi depoların bulunduğu alanlarda heyelanlar daha sık görülmektedir. Buna karşılık kalker ve bazalt türü kayalardan oluşan alanlarda ise heyelanlar daha az görülürler. Arazinin yapısı ile heyelanlar arasında çok sıkı bir ilişki vardır. Tortul tabakaların yamaç eğimine paralel olarak daldığı ve özellikle tabakalar arasında killi katmanların bulunduğu yerler, heyelan oluşumu için çok uygun yamaçları meydana getirirler.

Beşeri Etkenler: Bir yamacın alt sınırının (yamaç topuğu) yol, tünel, baraj ve kanal yapımı nedeniyle kazılması ve eğim değişikliğinin oluşması sonucu, yukarıda belirtilen doğal nedenler de mevcut ise heyelan oluşumu kolaylaşacaktır. Gerek yukarıda belirtilen kazılar nedeniyle gerekse maden ve taş ocaklarının işletilmesi sırasında, oluşturulan yapay patlamalar ve dolayısıyla sarsıntılar, heyelanın meydana gelmesine yardımcı olurlar, çünkü bu sarsıntılar tabakalardaki denk duruşun bozulmasını sağlar. Yamaçlarda ve yamaç eteklerinde değişik amaçlar için yapılan hafriyatlar, yamacın üzerindeki bitki örtüsünün tahribi veya tamamen yok edilmesi, heyelanın oluşmasına zemin hazırlar (Öztürk 2002).

Heyelanlar, hareketin hızı ve şekli, hareket eden malzemenin türü, kayma yüzeyinin şekli, hareketin nedenleri gibi özelliklere bağlı olarak farklı biçimde isimlendirilmektedir (Şekil 3.1). En genel sınıflandırma Varnes (1978) tarafından yapılmıştır (Çizelge 3.1).



Şekil 3.1 Farklı türlerde gelişen hareketlere ait blok diyagramlar (URL-1 2011).

3.2 HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ VE YAKLAŞIMLAR

Heyelan duyarlılığı değerlendirme çalışmaları, bir bölge içerisindeki alanların, göreceli olarak (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlı vb.) heyelana karşı hassaslığının sınıflandırılmasıdır. Bu sayede, incelenen alanların heyelana karşı duyarlılığının belirlenmesi mümkün olacak ve incelenen alan için heyelan oluşumuna neden olabilecek faktörlerin değerlendirilmesiyle, daha sonraki zamanlarda heyelan olayının gelişebileceği potansiyel alanlar tespit edilebilecektir. Burada temel esas, güncel veya daha önce meydana gelmiş heyelanların özellikleri belirlenerek, heyelan oluşumunda etkin olabilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi şeklindedir (Akgün 2007).

Çizelge 3.1 Heyelanların sınıflandırılması (Varnes 1978).

HAREKET TÜRÜ		Malzemenin Türü		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Taneli	İnce Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilme	Zemin Devrilmesi
AKMA	Yavaş	Kaya Kribi	Moloz Kribi	Zemin Kribi
	Hızlı	Çok parçalı kayaç akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Blok	Kayada blok türü ötelenme	Zeminde ve molozda blok türü ötelenme	
	Dönel	Sıkı çatlaklı kayada dönel kayma	Zeminde ve molozda dönel kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya Yayılması	Zemin veya moloz yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

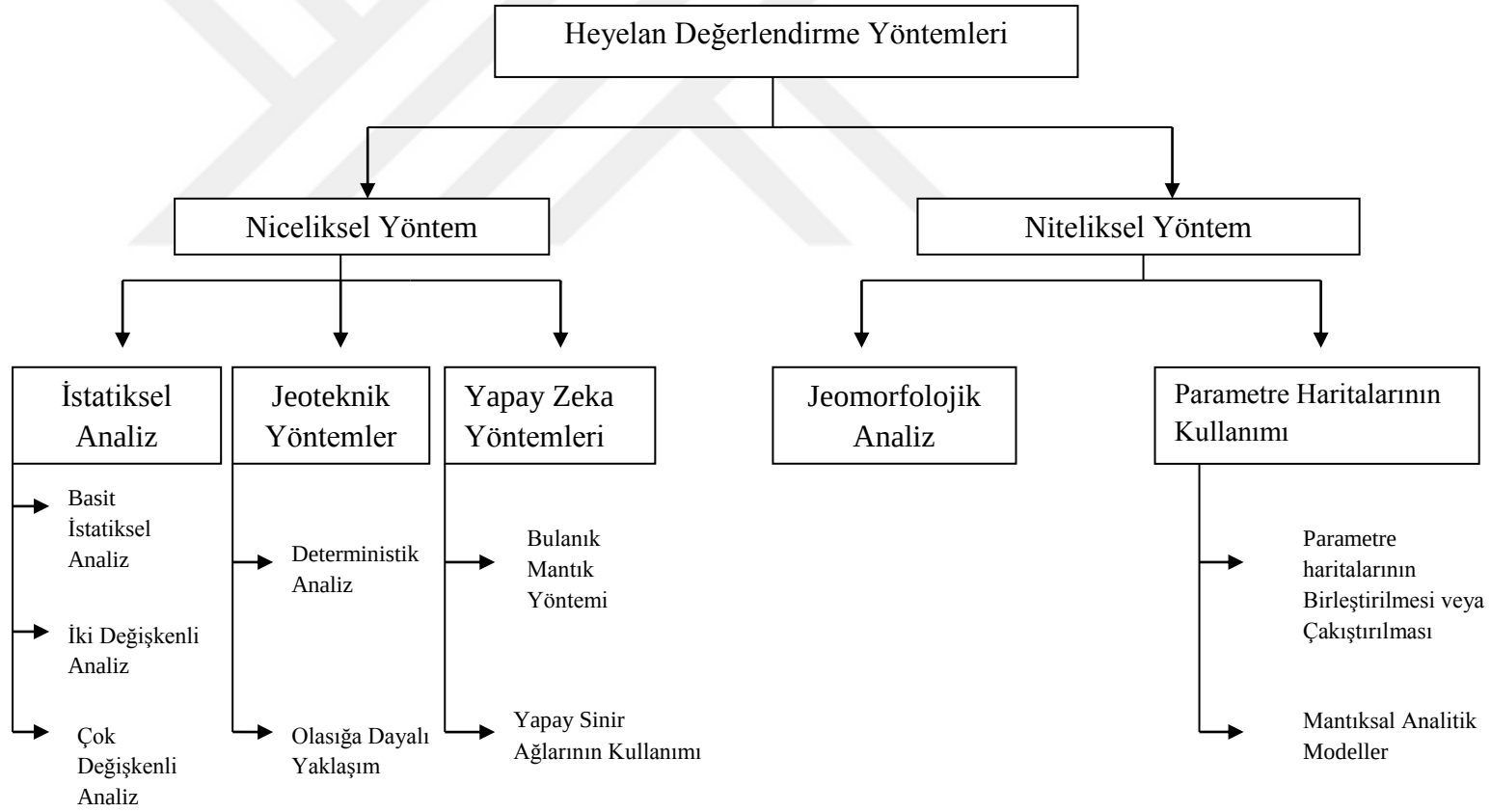
Heyelan duyarlılık analizi, uygun fiziki faktörlere bağlı olarak bir bölgedeki benzer özelliklere sahip olan alanlarda heyelanın meydana gelebileceği tahmini üzerine yapılan çalışmalardır (Valvo 2002). Heyelan analizlerinde genel olarak meydana geliş zamanları ve meydana gelmesinde esas etkiye sahip olan tetikleyici unsurlara ait bilgi eksikliği, bu faktörlerden bağımsız olarak gerçekleştirilen duyarlılık çalışmaları üzerinde yoğunlaşılmasına neden olmuştur (Ermini vd. 2005). Böylece üretilen duyarlılık haritalarıyla, heyelanlara yatkın olan ve meydana gelme olasılığı fazla olan alanların tespiti yapılabilmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunları genel olarak Çizelge 3.2’deki gibi özetlemek mümkündür.

Duyarlılık analizleri için kullanılan yöntemlerde, olası heyelanların tespit çalışmaları veya meydana gelme ihtimalinin fazla olduğu alanların tahmini, geçmişte meydana gelmiş yamaç duraysızlıklarına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bundan dolayı, heyelanların belirlenmesinde ve tahmininde, yamaç duraysızlığına neden olan özelliklerin mekansal dağılışı ile meydana gelmiş heyelanların dağılışının kombinasyonu kullanılmaktadır (Carrara et al. 1991).

Çizelge 3.2 Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlar (Van Westen 1993, Carrara et al. 1991, Ermini et al. 2005).

Analiz Tipi	Genel İçerik
Dağılım Analizi	En basit yöntemlerden birisi olup, doğrudan heyelanların haritalanmasını içerir. Haritalanan alanlar geçmişte meydana gelmiş heyelan alanlarıdır.
Niteliksel Analiz	Kullanılan en genel yöntemdir. Daha çok, sayısal veri eksikliğinin olduğu ve niceliksel yöntemlere yabancılıktan dolayı tercih nedeni olup, bir veya iki haritanın arazi tecrübeleriyle ağırlıklandırılması esasına dayanır.
Niceliksel Analiz	Akademik ve araştırma enstitüleri çevrelerince en çok benimsenen dolaylı metot olup, heyelan ve heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişkiye daha kapsamlı değinen ve diğer ilk iki yönetime göre çok daha az subjektif olan yöntemdir.
Deterministik Analiz	Dolaylı metot olan bu yöntem, yamaç stabilitesi çalışmalarını içerir ve güvenlik faktörünün değerlendirilmesini amaçlar. Bu yöntemin doğru uygulanabilmesi için detaylı jeoteknik ve hidrolojik dataya ihtiyaç vardır. Daha çok küçük alanlara uygulanabilen bu yöntem, veri elde edilmesi mümkün olmayan büyük alanlar için uygulanması zordur
Sıklık Analizi	Dolaylı metot olan bu yöntemde, deprem ve yağış kayıtlarıyla heyelan günlerinin korelasyonu yapılır, sıklık için eşik değer elde edilir

Genel olarak heyelan değerlendirme yöntemleri niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir ve bu yöntemlerin kendi içinde uygulanan birçok alt teknikleri bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Heyelan değerlendirme yöntemleri (Aleotti and Chowdury 1999, Ercanoğlu 2003).

3.2.1 Dağılım Analizi

Bir alanda meydana gelen heyelan hakkında envanter bilgilerini içeren haritalar, daha önce söz konusu inceleme alanındaki heyelanlarla, yapılan arazi çalışmaları, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile elde edilen bilgileri kapsamaktadır. Envanter haritalaması sırasında arazide gözlenen heyelanın lokasyonları ya alansal dağılım olarak veya noktasal veri olarak haritalanır. Özellikle heyelan envanter haritaları, heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerinde en başta gelen işlem adımı olarak görülmektedir (Lee 2005, Ayalew and Yamagichi 2005). Heyelan envanterinin bir dağılım haritalaması da olduğu düşünülürse, heyelan yoğunluk haritaları olarak da ifade edilen haritaların varlığından da söz etmek mümkündür. İzoplet yöntemi olarak da bilinen yöntemde belirlenen heyelan lokasyonları, sayısal olarak eş miktar konturları yardımıyla konturlanarak dağılım alanları elde edilmektedir (Bulut vd. 2000).

3.2.2 Niteliksel Yöntemler

Genel olarak, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesini yapan kişi ya da kişilerin doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve deneyimini esas alan yöntemlerdir. Bu yöntemler deneyime dayalı olduklarından dolayı aynı zamanda “uzman değerlendirme yaklaşımları” olarak da değerlendirilmektedir. Bu yöntemlerde kullanılacak olan veriler, asıl olarak arazi çalışmaları süresince yapılan gözlem ve değerlendirmelerden elde edilmektedir (Leroi 1996) Niteliksel yöntemler başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

3.2.2.1 Jeomorfolojik Analiz

Bu yöntem, genelde hava fotoğrafları ile arazi çalışmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda yapılan, araştırmayı yapan kullanıcının mesleki deneyimine bağlı çalışmalardır. Literatürde sezgisel yaklaşım olarak bilinen bir yöntemdir. Niteliksel yöntemler, genel olarak, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesini yapan kişi ya da kişilerin doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve deneyimini esas alan yöntemlerdir. Hava fotoğraflarının yorumlamaları yapılarak arazi çalışmaları desteklenmektedir. Bu yöntemde kullanılan karar kuralları kişisel tabanlara dayandığı için, genelleştirilmiş olarak formülize etmek oldukça güçtür. Çünkü kullanılan karar kuralları araziden araziye hatta poligondan poligona değişmektedir (Süzen 2002). Yöntem tüm ölçekteki çalışmalar için uygulanabilir

niteliktedir. Sezgisel yaklaşım faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi için hiyerarşik bir düzeyde hesaplama ile birlikte farklı metotları kullanır. Oluşturulan hiyerarşik sezgisel yaklaşım modeli, konumsal karar verme için karar verme sisteminin bir parçası niteliğindedir (Castellanos and Van Westen 2003). Genel olarak sezgisel yaklaşım, doğrudan haritalama analizi ve nitel haritalama birleşimi şeklinde iki analize ayrılabilir. Doğrudan haritalama analizinde yer bilimci sahadaki duyarlılık belirlemesini doğrudan deneyimlerine bağlı olarak yapmaktadır. Diğer analiz tekniğinde ise uzman bilgisini kullanarak, her bir parametre ve sınıf için ağırlıklar belirler. Bu yaklaşımdaki temel sorun, konu tabanlı bir metot oluşu nedeni ile kesin ağırlık değerlerinin belirlenmesidir (Şahin 2012). Carrara and Merenda (1974), Kienholz (1984), Brunsten et al. (1975) ve Seijmonsberger (1992) heyelan tehlike amaçlı jeomorfolojik analiz yönteminin kullanılmış olduğu çalışmalardan birkaçıdır. Bu çalışmada içerisinde bir sezgisel yaklaşım olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır.

3.2.2.2 Parametre Haritalarının Kullanılması

Bu yöntem, heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametrelere ilişkin haritaların oluşturulması ve bunların üst üste çakıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde parametre ağırlık değerlerinin belirlenmesi ve haritalarının ortaya konulması, parametrelerin araştırmacının deneyimi veya verilerin mantıksal regresyona tabi tutulmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemde deneyimin ön plana çıkması nedeniyle, nitel yöntemler altında ele alınmaktadır (Ercanoğlu 2003). Parametrelere ağırlık değerlerinin atanması ile bu atanmış değerlerin toplamı belirlenerek duyarlılık tanımlanır (Soeters and Van Westen 1996). Parametre haritalarının kullanılması yönteminde ağırlık değerlerinin belirlenmesinde sorun yaşanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, bu yöntemde yapılan işlemler kolaylaşmış ve değişik parametrelerin birbirleriyle ve heyelan oluşumu ile ilişkisi bir arada değerlendirilebilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla veri güncellemesi ve yönetimi daha kolay hale gelmiştir.

İndeks veya Parametre Haritalarının Çakıştırılması Yöntemi

Parametre haritalarının çakıştırılması yöntemiyle, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması;

1. Heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametrenin alt sınıflara ayrılması,
2. Her bir sınıfa ağırlık değerlerinin atanması,
3. Her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması,
4. Parametre haritalarının ağırlık değerlerine bağlı olarak çakıştırılması,
5. Duyarlılık sınıflarını gösteren heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması aşamalarını içermektedir (Soeters and Van Westen 1996). Bu yöntemde, heyelan oluşumunda etkin olan parametreler ve ağırlık değerleri, araştırmacının bilgi ve tecrübesine dayalı olarak seçilmektedir. En büyük sınırlaması, tecrübeye dayalı olması ve dolayısıyla öznellik içermesidir. Yöntemin bir başka sınırlaması, özellikle büyük alanlarda yapılan çalışmalarda, uzun süren işlemler gerektirmesidir. Parametre haritalarının çakıştırılması yönteminin en önemli üstünlükleri, gizli kuralları azaltması coğrafi bilgi sistemi kullanımına olanak sağlaması, güncellenebilir olması, veri yönetiminin standartlaştırılmasına olanak sağlaması ve her ölçekte kullanılabilir olmasıdır (Carrara 1983).

Bu yöntem, 1970'li yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmaktadır (Stevenson 1977; Pachauri and Pant 1992; Anbalagan and Singh 1996; Gupta and Anbalagan 1997; Nagarajan et al. 2000).

Mantıksal Analitik Modeller

Mantıksal analitik modeller, yer değiştirme miktarının kestirilmesine yönelik yaklaşımlardır. Bu yöntem, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelere, tecrübeye dayalı olarak ağırlık değerlerinin atanması ve kesin olmayan ilişkilere dayanan modellerin önerilmesini içermektedir. Söz konusu modeller, bazı heyelanlarda yer değiştirme miktarının tahminine olanak sağlamaktadır ve sonuçlar izleme verileri ile karşılaştırılarak modelin performansı belirlenmektedir. Sonuçlar uyumlu ise oluşturulan model heyelanların sınıflandırılmasında kullanılmakta değilse, parametrelere atanan ağırlık değerleri değiştirilerek yeni modeller oluşturulmaktadır. Yöntemin en önemli sınırlaması, izleme verisi gerektirmesi ve büyük ölçeklerde uygulanabilir olmasıdır (Aleotti and Chowdhury 1999). Bu yaklaşım 1990'lı yıllardan itibaren kullanılmaktadır (Bughi et al. 1996, Scarpelli et al. 1995).

3.2.3 Niceliksel Yöntemler

Niceliksel yöntemler, niteliksel yöntemlere göre daha çok matematiksel işlemin olduğu, istatistiksel yöntemlerin (iki veya çok değişkenli), deterministik ve olasılığa dayalı yaklaşımların, özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan bulanık mantık yaklaşımı ve yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı yöntemleri içermektedir. Bu yöntemlerde, inceleme alanına ait koşullarla heyelanların nedenleri arasındaki ilişkiyi, sayısal olarak ortaya koymak mümkün olabilmektedir (Aleotti and Chowdhury 1999)

3.2.3.1 İstatistiksel Yaklaşım

İstatistiksel analizler, heyelan oluşumu ile heyelan oluşumunda etkili olan parametreler arasındaki ilişkilerin, kişisel bilgi ve tecrübe yerine veri yönetimi olarak benimsenmesini temel alan yaklaşımlardır. Heyelan duyarlılığının incelenmesinde, bu yaklaşımların sahip olduğu yüksek dereceli objektiflik heyelan tehlikesinin değerlendirilmesini mümkün hale getirmiştir (Van Westen 1993). Bu yöntemlerin en önemli üstünlüğü, istatistiksel analizler ile yapılan değerlendirmelerde, araştırmacının parametrelere atanan ağırlık değerlerini ve son girdi parametrelerini denetleyebilmesidir (Yüksel 2007). İstatistiksel analizler, geçmişte meydana gelmiş heyelanlara neden olan faktörleri, istatistiksel olarak değerlendirmekte ve sayısal olarak ifade edebilmektedir. İstatistiksel yöntemlerin kullanımı, bilgisayar teknolojisi, coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında arttırmıştır (Yeşilnacar ve Topal 2005, Dağ vd. 2006, Akgün ve Bulut 2007, Nandi and Shakoor 2009, Bednarik vd. 2010).

İki Değişkenli İstatistiksel Analizler

Bu yöntem, analizlerde kullanılan her bir parametrenin heyelanlarla ilişkilendirilip, ağırlıklı değerlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Yöntem, biri bağımlı (heyelan olup olmadığı) ve diğeri bağımsız olmak üzere iki değişken ile ilgilenmektedir. Her faktörün önem derecesi ayrı ayrı analiz edilmektedir.

Yöntemin en önemli üstünlüğü, analizde kullanılan parametre ya da parametre kombinasyonlarının belirlenmesi, analizi gerçekleştiren kişi tarafından yapılıyor olmasıdır. Bu durum, işlem sürecine uzman görüşünün de katılmasını sağlamaktadır (Süzen 2002).

İki değişkenli istatistik yöntemlerinin ciddi bir sınırlaması da bulunmaktadır. Bu yöntemler, koşullara bağlı bağımsızlık varsayımını kullanmaktadır. Bunun anlamı, farklı parametre haritalarının, bir heyelan ya da erozyonun meydana gelme ihtimaline karşılık olarak bağımsız olmasıdır. Bu yaklaşım çoğu zaman geçerli değildir, dolayısıyla da olasılığı ifade eden değerler gerçekçi olmamaktadır. Bu problemten kurtulmanın bir yolu, kullanıcının, verileri değerlendirirken bağımlı bir değişkenle birleştirme yapmak suretiyle yeni bir parametre haritası yapmasından geçmektedir (Akgün 2007).

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi aşağıdaki işlem sırasına göre gerçekleştirilir.

- 1- Heyelan oluşumuna neden olabilecek parametrelerin seçimi, haritalanması ve uygun sınıflar altında gruplandırılması,
- 2- Heyelan envanter haritasının oluşturulması,
- 3- Envanter haritasıyla her bir parametre haritasının karşılaştırılması,
- 4- Her bir parametre için heyelan yoğunluğunun bulunması ve ağırlıklı değerinin belirlenmesi,
- 5- Ağırlıklı değerlerin farklı parametre haritalarına atanması,
- 6- Hesaplamalar yapılarak, sonuç haritasının hazırlanması (Aleotti and Chowdhury 1999).

Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz

Çok değişkenli istatistiksel analiz yönteminde, birbiriyle ilişkili ve/veya ilişkisiz çok sayıdaki değişken göz önünde bulundurularak, değişkenler arasındaki bağımlılık yapısının analizinin yapılması amaçlamaktadır (Tatlıdil 2002). Bu çalışmalar, incelenen alanın grid tabanlı alt birimlere ayrılması, çalışma alanının ayrıldığı bu alt bölgelerde heyelanın varlığı ve yokluğunun belirtildiği matris oluşturulması aşamalarını kapsar. Bundan sonraki adımda ise heyelan oluşumuna neden olan parametrelere ilişkin ağırlıklı değerler, çoklu regresyon, faktör analizi, diskriminant analizi gibi istatistiksel yöntemlerle belirlenmektedir. Bu yöntemle, heyelanlara ilişkin özelliklerin homojen olduğu veya heyelan türünün farklılık göstermediği bölgelerde oldukça güvenilir sonuçlar alınmaktadır (Aleotti and Chowdhury 1999).

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi aşağıda sunulan işlem adımlarıyla gerçekleştirilir (Aleotti and Chowdhury 1999).

- Çalışma alanının alt birimlere ayrılması,
- Heyelan oluşumunda etkin olan faktörlerin tanımlanması ve normalleştirilmiş heyelan faktör haritalarının oluşturulması,
- Heyelan envanter haritasının oluşturulması,
- Her alt birim içindeki heyelandan etkilenen alanların yüzdesinin bulunması,
- Faktör haritalarının birleştirilmesi,
- Çok değişkenli istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi,
- Çok değişkenli istatistiksel analiz sonuçlarına göre heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ve duyarlılık sınıflarının belirlenmesi.

Çok değişkenli istatistiksel analiz çalışmalarında en büyük sınırlama, yapılan çalışmalarda grid ağının kullanılması ile çok sayıda matris içermesinden, verilerin değerlendirilmesindeki hesap uzunluğu ve fazlalığıdır. Yöntemin üstün tarafı ise, veri yönetimine dayanması ve büyük oranda nesnel oluşudur (Van Westen et al. 1997).

Literatürde yaygın olarak kullanılan üç tür çok değişkenli istatistik analiz yöntemi bilinmektedir: çoklu regresyon (multiple regression), lojistik regresyon ve diskriminant analizi. (Lee 2005, Ayalew and Yamagishi 2005, Ohlmacher and Davis 2003, Yeşilnacar ve Topal 2005, Akgün ve Bulut 2006).

3.2.3.2 Jeoteknik Yaklaşımlar

Jeoteknik yaklaşımlar, jeoteknik parametreler ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verileri kullanmaktadır. Jeoteknik yaklaşımlar, deterministik analizler ve olasılığa dayalı yaklaşımlar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Deterministik Analizler

Bu yöntemin amacı, güvenlik sayısının hesaplanmasıdır. Güvenlik sayısının hesaplanabilmesi ve yöntemin kullanılabilmesi için, geometrik veriler, malzemenin fiziksel özellikleri, kayma dayanımı parametrelerine ait veriler ve boşluk suyu basıncı ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır (Berggren 1991; Cascini 1991). Yöntem, coğrafi bilgi sistemlerinin gelişimiyle heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda son derece kullanışlı bir hal almıştır. İnceleme alanı boyutunun küçük olduğu, jeolojik özelliklerin homojenlik gösterdiği

ve heyelan türünün değişiklik göstermediği durumlarda, kullanılmalıdır. Özellikle geniş alanlarda yapılacak çalışmalarda, çalışılan alanın özelliklerini sağlıklı bir şekilde belirleyebilecek örnekleme ve deneysel çalışmaların hayli zaman alıcı ve güç olmasından ötürü, genellikle küçük alanlarda yapılan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaktadır (Demir 2011).

Olasılığa Dayalı Yaklaşımlar

Olasılığa dayalı yaklaşımın heyelan değerlendirmelerinde kullanımı, dikkate alınan parametrelerin olasılıklı dağılımları ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişki veya heyelanları tetikleyici parametrelerin değişiminin ortaya konulması şeklindedir. Birçok mühendislik çalışmasında olduğu gibi heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde de doğal malzemenin doğasından kaynaklanan belirsizliklerin olduğu kaçınılmazdır. Bu belirsizliklerin türü değerlendirmelerde ön plana çıkmakta ve sonuçları olumsuz etkilemektedir. Olasılık yaklaşımı ile doğrusal davranış gösteren malzemelerdeki sistematik belirsizliklerin değerlendirilmesi sağlıklı bir şekilde yapılabilmeyle birlikte, doğrusal olmayan davranış gösteren doğal malzemelerdeki belirsizliklerin tanımlanması, hatalı sonuçlara yol açabilmektedir (Ercanoğlu 2003).

3.2.3.3 Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zordur veya mümkün değildir. O nedenle, yapay zeka bilim dalının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir (Sağıroğlu vd. 2003). Yapay zeka kavramı içerisinde farklı amaçlara yönelik olarak kullanılan yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bulanık mantık (fuzzy logic) ve yapay sinir ağları (artificial neural networks) yöntemleri özellikle son yıllarda heyelan değerlendirmelerinde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır.

Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yaklaşımı

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh tarafından temeli atılan bir kavramdır. Bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark klasik mantığın önermelerin sadece aşırı uç değerleri kullanmasıdır. Klasik mantık yöntemleriyle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam ve net olmalıdır. Bulanık mantık, klasik mantıktaki doğru ve yanlış, var ve yok ya da 1 ve 0 gibi ani geçişleri yumuşatmaktadır. Bu yeni yaklaşıma klasik mantığın dünya problemlerini çözmede yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur (Sağıroğlu vd. 2003). Özellikle mühendislik çalışmalarının karar verme aşamalarında deterministik yaklaşımların yanı sıra, karmaşık sistemlerin doğasından kaynaklanan bazı belirsizliklerin giderilebilmesi için, klasik mantık temelli matematiksel yaklaşımlardan farklı bir takım yeni mantıksal ve matematiksel yaklaşımlara gereksinim duyulmuştur (Ercanoğlu 2003, Champati 2006, Pradhan et al. 2009). Heyelanlarla ilgili değerlendirmelerde, istatistiksel olarak yeterli ve güvenilir bir veri tabanı oluşturulmasının mümkün olamadığı durumlarda, bir uzman görüşü yardımıyla birlikte bulanık mantığın kullanımının önemli katkılar sağlayabileceği vurgulanmaktadır. Gerek heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan parametrelerdeki, gerekse malzemenin doğal yapılarından kaynaklanan belirsizliklerden ötürü bulanık mantık yaklaşımı, değerlendirmelerde doğal koşulların yansıtılabilmesi açısından da kullanışlı bir araç olarak görülebilir (Ercanoğlu 2003).

Yapay Sinir Ağlarının (Artificial Neural Network) Kullanımı

Yapay sinir ağları (YSA), temelini insanlardaki merkezi sinir sisteminden alan ve birbiriyle ilişkili çok sayıda düğümden oluşan sistemlerdir. Geleneksel programlama yöntemleriyle çözilemeyen bir dizi problem, YSA ile çözüm bulmaktadır. Geniş veri gruplarının yorumlanması istenen çalışmalar, giriş ve çıkış verileri belli ancak bu veriler arasındaki ilişkilerin net olarak ortaya konulamadığı durumlarda bu yöntem etkili olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda yapay sinir ağları kullanılarak yapılan heyelan değerlendirme çalışmalarının sayısında giderek bir artma gözlenmektedir (Lee et al. 2001, Lee et al. 2003, Ermini vd. 2005, Gomez ve Kavzoğlu 2004, Yeşilnacar ve Topal 2005, Kawabata and Bandibas 2009, Sezer vd. 2010, Pradhan 2010). Heyelan duyarlılık değerlendirme

alışmalarında YSA'nın kullanımı yeni yeni başlanmıştır. Özellikle doğrusal olmayan koşullara bağı parametrelerin temel alındığı bu çalışmalarda kullanışlı olabileceğı düşünölen yönteme ait uygulamaların sayısının zaman içerisinde artacağı düşünölmektedir.

3.3 HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARI

Bir bölge içerisindeki alanların, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek gibi göreceli olarak heyelana karşı hassasiyetinin sınıflandırılması şeklinde tanımlanabileceğı gibi yağış, deprem ve insan faktörü gibi tetikleyici faktörlerin değerlendirilmediğı koşullar altında belirlenen heyelan olasılığı olarak da tanımlanabilmektedir. Heyelan duyarlılığı değerlendirme çalışmaları, bir bölge içerisindeki alanların, göreceli olarak heyelana karşı hassaslığının sınıflandırılmasıdır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, “geçmiş ve bugün, geleceğın anahtarıdır” ilkesine dayanarak, geçmişte heyelanların oluşmasına neden olan parametreler dikkate alınmakta ve gelecekte oluşacak potansiyel duraysız alanlar, belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu sayede, incelenen alanların heyelana karşı duyarlılığının belirlenmesi mümkün olacak ve incelenen alan için heyelan oluşumuna neden olabilecek faktörlerin değerlendirilmesiyle, daha sonraki zamanlarda heyelan olayının gelişebileceğı potansiyel alanlar tespit edilebilecektir. Burada temel esas, güncel veya daha önce meydana gelmiş heyelanların özellikleri belirlenerek, heyelan oluşumunda etkin olabilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi şeklindedir. Özellikle bölgesel ölçekte hazırlanacak heyelan duyarlılık haritalarında kullanılacak parametrelerin değerlendirilmesinde izlenecek yöntemlerde, sağlıklı bir heyelan veri tabanı kullanılması gerekmektedir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi ve heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi afet planlamaları için kritik bir işlem adıımıdır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde, arazide heyelanlarla ilgili ne kadar ayrıntılı veri elde edilirse, üretilcek heyelan duyarlılık haritaları da o kadar hassas olacaktır. Üretilen haritaların doğruluğı can ve mal kayıplarının azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir. Heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi yeryüzünün farklı özelliklerini gösteren katmanların bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, kullanılan programların da bu yönde artmasına ve çeşitlenmesine sebep olmuştur. Bu yönde, gerek CBS gerekse UA tekniklerinin kullanımı artmış ve elde edilen veride, çeşitlenme, detaylama ve hassasiyeti de beraberinde getirmiştir. Bu tekniklerin kullanımı ile sayısal harita hazırlanmasına ilişkin yöntemlerin de çoğalması özellikle heyelan gibi doğaı afetlerin zararlarının azaltılmasına

yönelik çalışmaları artırmıştır (Yalçın 2005, Özdemir 2007, Görüm 2006, Akgün 2007, Yüksel 2007, Dağ 2007, Delikanlı 2010, Demir 2011, Kavzaoğlu vd. 2012).

3.4 HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ HAZIRLANMASI

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında izlenen işlem adımları, üç aşamada değerlendirilebilir. Bunlardan ilki araştırmaya konu verilerin üretilmesi, ikincisi üretilen verilerin modele uygulanması ve sonuncusu da modelin uygulanmasından elde edilen verilerle heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi ve değerlendirilmesidir. Bu çalışmalarda, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucu elde edilen verilerle konumsal veri tabanı oluşturulur. Bu tür çalışmalarda, incelenen alanda heyelanların meydana gelmesine neden olabilecek faktörler değerlendirilerek, daha sonraki doğal süreçte heyelan oluşumundan etkilenebilecek olası duraysız alanlar belirlenmektedir. Uygun arazi haritalama biriminin seçilmesi heyelan duyarlılık analizlerinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. CBS esaslı heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan değişkenler heyelan incelemesinin yapıldığı yerin özelliklerine ve araştırmacıya göre farklılıklar göstermektedir. Duyarlılık çalışmalarında heyelanlarla yakın ilişkisi olan, kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki parametrelerin seçilmesi önemlidir. Duyarlılık incelemelerinde, topografik eğim, eğim yönü, deniz seviyesinden yükseklik, yamaç profil eğriliği, yamaç plan eğriliği, yamaç teğet eğrilik, topografik nem indeksi, yeraltısuyu derinliği, akarsu aşındırma indeksi, akarsu sediment taşıma indeksi, litoloji, ayrışma-bozuşma derecesi, ayrışma-bozuşma derinliği, tabakalanma doğrultu ve eğim yönünün yamaçla ilişkisi, rölatif geçirgenlik, arazi kullanımı, süreksizlik, yer malzemesinin jeomekanik değerleri, drenajlara uzaklık/yakınlık, drenaj yoğunluğu, yollara uzaklık/yakınlık, yol yoğunluğu, faylara uzaklık/yakınlık, fay yoğunluğu, deprem ivmesi, yağış türü ve miktarı, süresi v.b. gibi çok sayıda değişken yaygın olarak kullanılmaktadır. Heyelan duyarlılık çalışmalarında hem güncel hem de geçmişte meydana gelmiş heyelanların özelliklerinin belirlenmesi ve bu heyelanların oluşumunda etkili olabilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Özetle heyelan oluşumunda etkili olabileceği düşünülen parametrelere ait haritalar oluşturularak, bu parametrelerin etkileri hesaplanan ağırlık değerleri ile belirlenmekte ve bu değerlerin kullanılması ile gerçekleştirilen işlemler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır (Dağ 2007, Delikanlı 2010, Aksoy 2011).

Çeşitli yöntemlerle yapılan hesaplamalar sonucunda veri katmanı bazında ağırlıkları belirlenerek heyelan duyarlılık analizleri yapılır. Bu ağırlık değerlerinden büyük olanı, heyelan duyarlılığına olan etkinin fazla olduğuna işaret etmektedir. Bu analizin temeli, her katmandan aynı bir pikselin alacağı özellik ile bunun matematiksel değeri ve heyelan duyarlılık haritasının üretimindeki etkisini belirlemeye dayanmaktadır. Her bir katmanın alt kriterlerine karşılık gelen ağırlık değerleri (piksel faktör puanı) ait oldukları piksellere atanır ve katmanların belirlenen ağırlık değerleri (piksel ağırlığı) piksel faktör puanıyla çarpılarak sonuç haritası üretilir (Yalçın 2005). Bu metodlara göre yapılan analizler sonucunda, heyelan duyarlılık haritası üretilir, bu haritada piksel değerleri eşit şekilde bölünerek çok düşük duyarlı, düşük duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere farklı duyarlılık zonu tanımlanır, yapılan analizler sonucunda, duyarlılık zonlarının çalışma alandaki alan ve yüzde dağılımları belirlenir. Oluşmuş heyelanların gösterildiği heyelan envanter haritasındaki alanlar, heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılır. Daha sonra, mevcut heyelan alanlarının duyarlılık bölgelerine göre dağılımları belirlenir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, ayırtlanan duyarlılık bölgelerine göre yerleşim yerlerinin dağılımlarını belirlemek için CBS ve sayısal fotogrametri teknikleri kullanılarak bir dizi analiz gerçekleştirilir. Bu amaçla çalışma alanı dışında yoğun yerleşim alanı dışında kalan binalar, noktasal olarak hava fotoğraflarından tespit edilir ve sayısallaştırılır. Gerekli analizlerin yapılabilmesi için, tespit edilen evlerin konumlarının gösterildiği harita heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılır. Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile binaların konum haritası kullanılarak analizler yapılır ve konutların heyelan duyarlılık alanlarına göre dağılımları belirlenerek tablo olarak gösterilir. Elde edilen tabloya göre evlerin oransal dağılımlarına bakılarak hangi derecede heyelana duyarlı alanlar içerisinde kaldığı belirlenir. Bu verilere göre, yörede yaklaşık olarak kaç kişinin her an heyelan tehlikesi ile karşı karşıya olduğu belirlenebilir (Yalçın 2005).

3.5. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi topoğrafik faktörler ile doğal ve insan kaynaklı birçok faktörlerin bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi ve analiz işlemlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı uygulamalar ile birlikte istatistik ve olasılığa dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde CBS'deki teknolojik gelişmelere paralel olarak farklı teknikler ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur. Heyelan duyarlılık

haritalarının üretilmesi için son yıllarda yeni birçok metot önerilmiştir. Sezgisel algoritmalara dayalı yapay sinir ağları, destek vektör makineleri ve karar ağacı metodu, istatistiksel yöntemlere dayalı lojistik regresyon metodu, olasılığa dayalı frekans oranı gibi metotlar örnek verilebilir. Yapılan çalışmalar içerisinde literatürde birçok araştırmacı tarafından tercih edilen ve geliştirilen yöntemlerden biri Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) metodudur.

3.5.1 Çok Kriterli Karar Verme Analizi

Günümüzde toplumların nüfusunun giderek artması, insanların yeni yerleşim yerlerine ve buna bağlı olarak gerekli mühendislik yapılarına olan ihtiyacını hızla arttırmıştır. Bu amaçla, gelişmiş toplumlarda, yeni yerleşim yerleri seçilirken en uygun yer araştırması yapılmaktadır. Yer seçiminde, ilk olarak dikkate alınan parametrelerden birisi de doğal tehlikelere karşı olan güvenilirliğinin araştırılmasıdır. Bu araştırma yapılırken yöre ile ilgili jeolojik yapı, büyük faylara yakınlık, yapısal elemanların yamaçla ilişkisi, yeraltı suyu, zemin kalınlığı, süreksizlik yoğunluğu, ayrışma derinliği, zemin yapısı, zemin makaslama dayanımı, eğim, drenaj ağı, göreceli yükseklik, yükseklik, en yakın tepeye olan mesafe, yamaç şekli, yamaç eğim yönü, arazi kullanım potansiyeli, bitki örtüsü, yol yoğunluğu, yağış ve sismisite gibi birden fazla nitel ya da nicel parametrelerden, ilgili olanları bir arada değerlendirilerek karar verilmektedir (Yalçın 2005). Bu parametrelerden bazıları birbiriyle çeliştiğinde, daha güvenilir sonuçların elde edilmesi için Çok Kriterli Değerlendirme olarak adlandırılan karar verme süreci kullanılır (Saaty 1994).

Karar verme; belirli bir problemi çözmek ve istenilen amaca ulaşabilmek için bir takım kriterler ışığında, mevcut tüm seçenekler arasında en uygun olanının belirlenmesi işlemidir. Karar analizi, karmaşık karar problemlerinin matematiksel modelinin ortaya konularak, sistematik işlemler ve istatistiksel irdelemelerle çözümlenmesi olarak tanımlanabilir (Malczewski 1999a, 1999b). Karar analizlerinde temel yöntem; problemi küçük, anlaşılabilir parçalara ayırmak ve bu parçaları anlamlı bir çözüm üretmek için mantıksal yollarla entegre etmektir (Malczewski 1999b). Karar verme problemlerinin tanımlanabilmesinde öncelikle alternatiflerin mevcut olabilmesi gereklidir, böylelikle birden fazla alternatifle problemin en iyi şekilde ifadesi mümkün olmaktadır. Problemler sahip oldukları karmaşık yapılar ve içerdikleri verilerin birbirleriyle uyumsuz olma ihtimalleri nedeni ile zıt kriterler açısından da tanımlanması zor olabilmektedir. Bu tarz problemlerin çözümünde, problemlerin

içerdikleri bir dizi alternatifi, temelinde birbirleriyle uyuşmayan ve farklı kriterlerle değerlendirilerek çözülmesine çok kriterli karar verme (ÇKKV) analizi denir (Malczewski 1999a).

Simon (1960) çok kriterli karar analiz (ÇKKA) üzerinde geniş araştırmalarda bulunarak, ÇKKA işlemini 3 aşamaya ayırmıştır. Bunlar anlama (intelligence), tasarım (design) ve seçim (choice) aşamalarıdır.

Anlama: Herhangi bir karar verme işlemi, karar probleminin tanımlanmasıyla başlar. Konumsal karar problemlerinin karar problemlerinden farkı, istenilen ve mevcut sistemin gerçek bir coğrafik sistem üzerinde tanımlanmış olmasıdır. İstenilen ve mevcut durum arasındaki farkı tanımlanacak ya da incelenecek birim karar vericidir. Kararlar, uygun bir durumun veya problemin ne zaman için mevcut olduğu ne zaman olmaması gerektiği ve ne zaman geliştirilmesi gerektiği bilgisine ihtiyaç duyar. Anlama evresi, kararın alınabilmesi için yapılacak araştırma ve taramaları içerir.

Anlama evresi boyunca yapılanlar, ham verilerin elde edilmesi, işlenmesi ve olanaklar ile problemlerin tespitinin tanımlanmasıdır. Verilerin toplanması, depolanması, ulaşımı ve yönetimi gibi fonksiyonel işlemler ile CBS'nin veritabanı içerisinde karar durumuna göre dönüşümü yapılır. Bu girdiler belirli karar problemlerinin altında belli başlı varsayımlarda bulunulur. Bu varsayımlar şu sorularla alakalıdır: *“Hangi konumsal bilgi gözlemlenmeli, seçilmeli, ayrılmalı, sınıflandırılmalı ve veri olarak kaydedilmelidir ve öğelerin seçimi sonrasında konumsal karar problemleri ile ilişkilendirilmelidir?”*. Konumsal verilerin dağıtılması ya da toplanmasında verilerin faydalı, uygun, doğru ve esnek olması göz önünde bulundurulmalıdır. Konumsal kararlar tanımlanırken gerekirse veriler manipüle edilmeli ve eldeki karar problemleri hakkında bilgi edinilmelidir.

Tasarım: Bu evrede yapılan iş, anlama evresindeki problemlerin tanımlanmasında kullanılacak olası çözümlerin keşfini, geliştirilmesini ve analizini içerir. Tasarım evresi, temel bir model kullanılarak karar vericinin bir dizi alternatifi belirlemesine yardımcı olur. Model ile gerçeğin basitleştirilmiş veya özetlemiş hali elde edilir. Böylelikle model kullanılmasıdaki temel amaç, karmaşık yapıdaki gerçekleri basit ve ifade edilmesi kolay yapılara çevirmektir. Ayrıca birçok karmaşık koşul mevcut problemden bağımsızdır.

Konumsal karar verme açısından model, CBS veri tabanı ve model tabanlı sistemlerin bakış açısından değerlendirilmesi ya da ifadesi şeklindedir. Bu tarz karar durumlarının tarifinde, karar probleminin üretilmesinde ve şekillendirilmesinde kullanılan veri ve bilgilerin payı vardır. Konumsal karar alternatifleri ise CBS bünyesindeki verilerin ve bilgilerin manipülasyonu ve analizleriyle üretilir. Alternatif kararların yaratılmasında CBS'nin rolü temel olarak konumsal ilişkilerde bağlanabilirlik, devamlılık, yakınlık prensiplerine ve metotların birbirleriyle olan bütünlüğüne ilişkindir.

Seçim: Alternatif kararları oluşturma aşaması tasarım evresinde gerçekleşirken, oluşturulan alternatiflerin değerlendirilmesi seçim evresinde yapılır. Her alternatif değerlendirilir ve tanımlanmış karar kuralları ile birbirleriyle olan ilişkileri analiz edilir. Bu evrenin en temel amacı hangi alternatifin en iyi olduğuna karar vermektir.

ÇKKA problemleri, çok öznitelikli karar verme (ÇÖKV) ve çok amaçlı (ÇAKV) karar verme olarak iki grupta incelenmektedir. Öznitelik (attribute), sistem elemanlarının özellikleridir. Öznitelikler, bir coğrafi nesnenin ya da coğrafi nesneler arasındaki ilişkilerin ölçülebilir niceliği ya da niteliğidir. Bir karar verme probleminde nesneler ve bunlar arasındaki ilişkiler, karar amacı olarak değerlendirilmektedir. Amaç (objective), incelenen sistemin istenen durumunun ifadesidir. Amaçlar fonksiyonel olarak özniteliklere bağlıdır (Malczewski 1999a, 1999b).

ÇAKV ile ÇÖKV arasındaki temel ayrım değerlendirme kriterinin sınıflandırması, öznitelik ve amaçlar üzerinden yapılmasıdır. Bu iki yaklaşım karar vericinin amaç-tercih seçimlerine göre iki alt kategoriye ayrılabilir. Eğer tek bir amaç-tercih seçimi var ise, problem tek bir karar verme işlemine dâhil olduğu süreçte çözülür, eğer tersi bir durum söz konusu ise çok sayıda karar verme sürecine dâhil olur. Diğer taraftan, eğer ilgili gruplar farklı amaç yapılarında karakterize edilmişse, problemin çözümünde grup halinde karar işlemi uygulanır.

Çok Kriterli Karar Verme analizleri kendi içerisinde altı adet bileşenden oluşmaktadır: (1) tek bir amaç veya bir dizi amaç, (2) tek bir karar verici veya bir grup karar verici, (3) tek bir kriter veya kriter seti, (4) bir dizi karar alternatifi, (5) çevresel etmenler (kontrol edilemeyen değişkenler), (6) çıktı veriler veya her bir alternatif ile alakalı sonuçlar (Malczewski 1999).

Çok kriterli analiz işlemlerinde anahtar öneme sahip olan bir etken ise karar veren ekibin amaçlar ve kriterler üstündeki yargılarıdır. Çünkü göreceli olarak bir kritere ağırlık atanması, bu kriterin tüm kriterler içerisinde etki derecesini belirlerken, her bir kriterin performansı üzerinde de etkilidir. Karar vericiler değerlendirilen kriterlere bakarak, her bir kriterin ağırlıklarını belirlerler. Kriter, amaçları ve öznitelikleri içeren, standart bir yargı veya arzuyu ifade edebilen alternatif kararların kurallara göre sunumudur. Bilindiği gibi amaç da bir konumsal sistemin istenilen durumu hakkındaki ifadesidir. Bu nedenle amaç veya amaçlar bir ya da birden fazla özniteliğe ihtiyaç duyar (Şahin 2012).

3.5.1.1 Çok Kriterli Analiz İşlem Adımları

Malczewski (1999)'ye göre Çok Kriterli karar analizi işlemleri sekiz adımdan meydana gelmektedir.

1. Problem tanımlama
2. Değerlendirme kriterleri
3. Alternatifler
4. Kriter değerlendirme - Karar matrisleri
5. Kriter ağırlıkları
6. Karar kuralları
7. Hassasiyet - Belirsizlik
8. Öncelik - Tavsiye

Problem Tanımlama: Bir karar analizi, problemin kavranması ve tanımlanması ile başlar. Problemin tanımlanması; karar koşullarının araştırılması, verilerin temini ve işlenmesi adımlarından oluşur (Simon 1960; Malczewski 1999b). Bu aşamada, problem ayrıntılı olarak ele alınarak problemin nasıl ve hangi yöntemlerle çözüleceği ortaya konulur, problemin çözümü için gerekli veriler ve bu verilerin niteliği saptanır (Malczewski 1999a).

Değerlendirme Kriterlerinin Seçimi: Karar analizinde problem tanımlandıktan sonra, değerlendirme ölçütleri belirlenir. Ölçütler karar probleminin amaçlarını karşılayabilecek kapsamda olmalı, anlaşılabilir ya da belirsiz olmamalıdır (Keeney ve Raiffa, 1976; Malczewski, 1999a; 1999b; Rashed ve Weeks, 2003). Belirlenen kriterlerin içeride veya dışarıda bırakılması, değerlendirme sonrasında sonuçlar üzerinde büyük etkilere neden olabilir. Bu nedenle değerlendirme kriterlerinin tek bir elden alınmasına özen gösterilmelidir

ve tüm problemi içerdiğine emin olunmalıdır. Diğer bir taraftan kriter sayıları minimum tutularak işlemlerdeki karmaşıklık önlenmelidir.

Alternatifler: Alternatif üretim işlemlerinde, alternatiflerin değerlerinin dikkate alınmasına ve değerlendirme kriter setleriyle ilişkili olmasına dikkat edilmelidir. Tüm alternatifler bir karar özneliğine atanır. Öznitelikler, karar vericiler tarafından alternatiflerin performansının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Problemlerin durumuna göre öznitelikler belirleyici, olasılık içeren veya sözel öğelere sahip veri yapılarından oluşabilir. Gerçek dünyada karşılaşılan problemlere bakıldığında, çok az konumsal problemin sınırlandırılmadığı, yani özniteliklerinin farklı bileşenlerle dayandırılmadığı görülür. Bu nedenle CBS’de bu sınırlandırmaları ortadan kaldırmak için nokta, çizgi, poligon ve/veya raster türünde veriler kullanılarak, içerdikleri özniteliklerle bu bağımlılıklar ortadan kaldırılır.

Kriter Değerlendirilmesi: Her bir alternatif için, her kriterin performansı değerlendirilir. Karar matrisinin sonucu, çok kriterli değerlendirmenin temelini oluşturur.

Kriter Ağırlıkları: Kriterler için tanımlanan ağırlık, kriterin toplam işlem içerisindeki etkisini belirlemeye yarar. Bu nedenle kriterler için verilecek ağırlığın, tüm değerlendirme sonucuna büyük derecede etkisi olmaktadır. Dolayısıyla karar veren kişi ve grupların, ÇKKA işlemindeki katılımı ve kriterler üzerindeki kararları çok önemlidir.

Karar Kuralları: Tek boyutlu ölçütlerin her bir kriter için verilen ağırlıklarının genel bir değerlendirme ile bir araya getirilmesidir.

Hassasiyet/Belirsizlik: Hassasiyet ya da yapılan ÇKKA sonrası işlemlerin doğruluğu, ölçümler sonrası meydana gelen ya da analize sokulan verilerdeki hataların sonuçlar üzerindeki etkilerini göstermek amacıyla yapılır. Bu değişim ya da hatalar her bir verilen kriter ağırlığını veya kriter değerini ilgilendirir.

Öncelik/Tavsiye: Çok kriterli analiz işlemleri, bir veya birden çok alternatiften oluşan bir sıralama ile sona erer. Bu nedenle alternatiflerden elde edilen tek alternatif ya da çok sayıdaki alternatiften biri tavsiye edilmelidir. Risk değerlendirmelerinde, öncelik ve tavsiye işlemleri, sonuç verilerin üretilmesinden sonra kendi içerisinde risk seviyelerine göre sıralanıp veya

kategorize edilerek gösterilir. Bu yüzden sıralama işlemi sonrası tavsiye işlemine gelindiğinde hangi alan göz önünde bulundurularak yapılacaksa ona göre sıralama göz önünde tutulur.

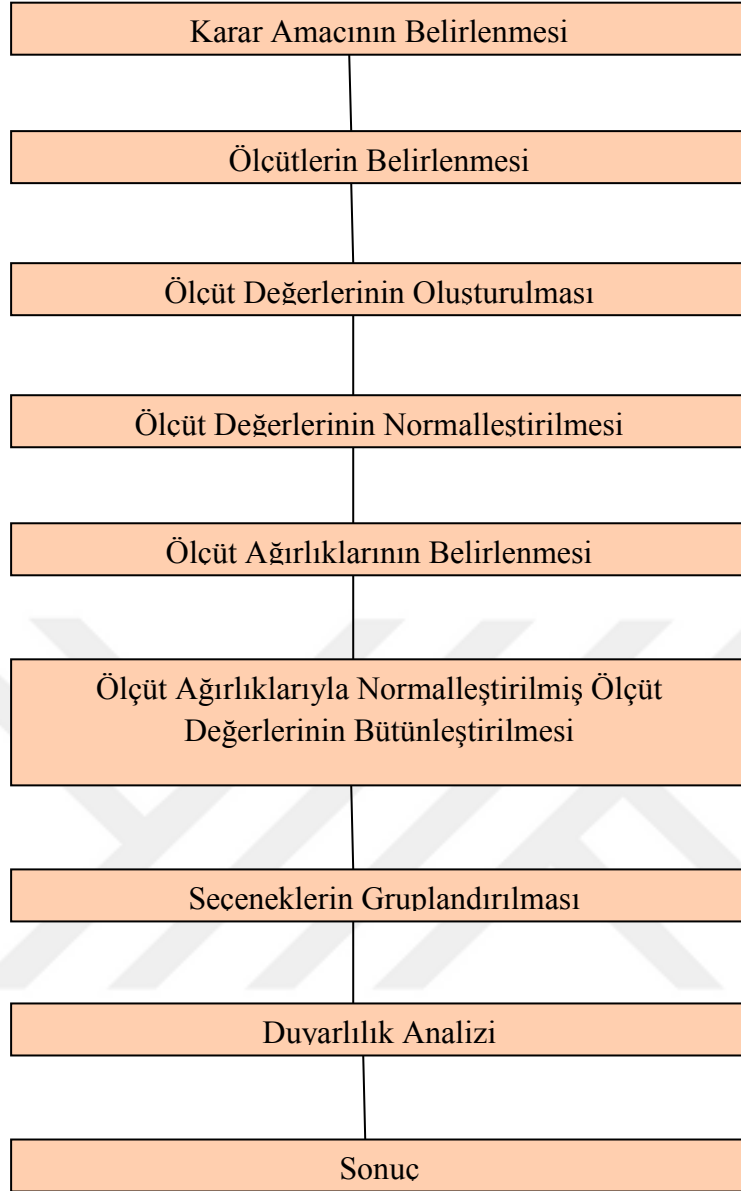
3.5.1.2 CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi

Coğrafi bilgi sistemleri, karar verme analizinde artan bir biçimde önemli bir yardımcı olarak kullanılmaktadır (Carver 1991, Pereira and Duckstein 1993). CBS'deki son yıllardaki gelişmeler, arazi tabanlı karar verme analizleri ve çevresel yönetimler için CBS yeteneklerinin artmasına sebep olmuş, özellikle en önemli işlem yöntemlerinden biri olan Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yönteminin geliştirilmesinde çok etkili olmuştur (Jankowski 1995). Karar verilecek konu ile ilgili bazı ölçütler harita ya da coğrafi veritabanı bileşeni ise ÇKKA işlemleri CBS destekli olarak yürütülebilir. C-ÇKKA, coğrafi ve coğrafi olmayan verilerin bir sonuç kararı için bir arada değerlendirilmesi işlemi olarak düşünülebilir. C-ÇKKA, coğrafi verilerin kullanılmasını, karar vericinin tercihlerini ve belirli bir karar kuralına göre verilerin ve tercihlerin düzenlenmesini kapsar. C-ÇKKA süreci en genel şekliyle karar probleminin tanımlanması, değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi, ölçüt katmanlarının hazırlanması ve normalleştirilmesi, ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi ve karar analizinin uygulanması adımlarından oluşmaktadır (Şekil 3.3) (Malczewski 1999b).

C-ÇKKA'da, CBS'nin sağladığı olanaklarla verilerin toplanması, depolanması, düzenlenmesi ve analizi; ÇKKA olanakları ile coğrafi verilerin ve karar vericilerin tercihlerinin bir karar için birleştirilmesi sağlanmaktadır (Malczewski 1999a).

Konumsal ölçütlerle karar verme problemlerinde; çok sayıda faktörün tanımlanması ve değerlendirmeye alınması, bu faktörler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, karar verme problemini zorlaştırmaktadır. CBS ve ÇKKA, konumsal karar problemlerinde karar vericinin daha etkin karar vermesini sağlamaktadır (Malczewski 1999a).

Çok öznitelikli karar analizi yaklaşımında, seçenek kümesinin doğrudan doğruya belirlendiği varsayılır. Olası seçeneklerin kümesi (X), karar değişkenleriyle tanımlanır. $(X=\{x_i \mid i=1,2,...,m\})$. "i" indeksi, i. seçeneğin yerini göstermektedir. Her bir seçenek, konumu ve ölçüt değeriyle tanımlanır. Öznitelikler karar değişkenleri olduğundan, ölçüt değerleri (x_{ij}) olarak ifade edilir ve bu ifade i. seçenek için j. özneliliğin değeridir (Malczewski 1999a).



Şekil 3.3 C-ÇKKA Uygulama Adımları (Jankowski 1995).

Böylece i . seçenek, $x_i^* = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, $i=1, 2, \dots, m$ şeklinde; bir seçenek için öznitelik değerleri, $x_j^* = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$, $j=1, 2, \dots, n$ şeklinde ifade edilir (Malczewski 1999a).

Genel olarak ÇKKA problemleri;

$$[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in} \mid x_i^* \in X, i=1, 2, \dots, m] \quad (3.1)$$

biçiminde ifade edilir. Bu ifade, n adet öznitelik değerine göre X olası seçenek kümesindeki en iyi seçeneği seçmek için karar kuralının uygulanması anlamındadır (Malczewski 1999a).

Çok amaçlı karar analizi yaklaşımında; seçenekler, karar değişkenleri üzerindeki kısıtlar ve nedensel ilişkilerle tanımlanır ve çok öznitelikli karar analizi yaklaşımında doğrudan doğruya belirlenirken, çok amaçlı karar analizi yaklaşımında dolaylı olarak belirlenir. Amaçları formülle ifade etmek için öznitelikler bilgi kaynağı olarak değerlendirilir. Bir başka ifadeyle, amaçlar fonksiyonel olarak özniteliklere bağlıdır. Çok amaçlı karar analizi problemlerinde CBS ortamında katman yapısındaki veriler kullanıldığı zaman seçenekler katmanlardan, nesnelere ait öznitelikler ve amaçlar arasında ilişki tanımlanarak çıkarılır. Seçenekleri elde etmek için katmanlara işlem yapılması gerekmektedir. Bu işlem, çok amaçlı karar analizi problemlerini değerlendirmek için tasarlanmış algoritmalar gerektirir. Bu nedenle çok amaçlı karar analizi problemlerinde, seçenekleri elde etmek için CBS'nin standart işlemlerini kullanmak genelde yeterli olmamaktadır (Malczewski 1999a).

Çok amaçlı karar analizi problemlerinde amaç, k ($k=1,2,...,q$) olarak gösterilir ve karar vericinin amaçlarının özniteliklere fonksiyonel olarak bağlı olduğu varsayılır. Buna göre; $k \in \{1,2,...,n\}$ dir.

Öznitelik amaç ilişkisi $f_{ij}=f_j(x_i^*)$ olarak ifade edilir.

$$f_i^* = (f_{i1}, f_{i2}, ..., f_{iq}) \quad i=1,2,...,m \quad (3.2)$$

$$f^*_j = (f_{1j}, f_{2j}, ..., f_{mj}) \quad j=1,2,...,q \quad (3.3)$$

Bu ifadelere göre, her seçenek (i), özniteliklere fonksiyonel olarak bağlı amaçlara göre değerlendirilmektedir. Amaç fonksiyonu (f^*_j) olarak ifade edilmektedir (Malczewski 1999a). Çok amaçlı karar problemleri, çok öznitelikli karar problemlerinde olduğu gibi, karar vericinin tercihlerini içerir. Bir karar probleminde çok amaçlı karar kuralı, amaç fonksiyonlarının değerlerine göre olası seçenekler kümesinden (X) en iyi seçeneği bulmayı kapsar (Malczewski 1999a).

$$\text{Karar Kuralı: } [f_{i1}, f_{i2}, ..., f_{iq} \mid x_i^* \in X, i=1, 2, ..., m] \quad (3.4)$$

Bu ifade; amaç fonksiyonlarının değerlerine göre, X olası seçenek kümesindeki en iyi seçeneği seçmek için karar kuralının uygulanması anlamındadır.

Bu yaklaşım, karar probleminin matematiksel programlama modelleriyle formüleştirebildiği durumlarda kullanılabilir (Malczewski 1999a).

C-ÇKKA Probleminin Tanımlanması

Bir karar analizi, problemin kavranması ve tanımlanması ile başlar. Problemin tanımlanması; karar koşullarının araştırılması, verilerin temini ve işlenmesi adımlarından oluşur (Simon 1960; Malczewski 1999b). Bu aşamada, problem ayrıntılı olarak ele alınarak problemin nasıl ve hangi yöntemlerle çözüleceği ortaya konulur, problemin çözümü için gerekli veriler ve bu verilerin niteliği saptanır (Malczewski 1999a).

Değerlendirme Ölçütlerinin Belirlenmesi ve Ölçüt Katmanlarının Normalleştirilmesi

Karar analizinde problem tanımlandıktan sonra, değerlendirme ölçütleri belirlenir. Ölçütler karar probleminin amaçlarını karşılayabilecek kapsamda olmalı, anlaşılabilir ya da belirsiz olmamalıdır (Keeney and Raiffa 1976; Malczewski 1999a, 1999b; Rashed and Weeks 2003). CBS tabanlı ÇKKA işlemlerinde kriter puanlarının standartlaştırılmasında en çok kullanılan ve basit yöntemlerden biri *lineer dönüşüm* işlemidir. Bu işlemin formülü

$$x_i = \frac{(R_i - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} * SR \quad (3.5)$$

Eşitlik'te $R_{\min}$ kriter minimum puanı, $R_{\max}$ kriter maksimum puanı ve SR ise standartlaştırma aralığını göstermektedir. Kriterlerin standartlaştırılması ile değerlerin 0 ile 1 arasında değerler alması sağlanır. Bu işlem, faktörlerin birbirleri ile karşılaştırması imkânını sağlar (Chakhar and Mousseau 2007). Faktörlerin standartlaştırılmasındaki önemli bir nokta öğelerden hangilerinin 0 veya 1 olacağının karar verilmesidir. Bu nedenle, doğrusal dönüştürmede minimum ve maksimum değerlerin dikkatsizce kullanımı karar değerlendirmesinde sorunlara yol açabilir. Üyelik kümesinin fonksiyonu için bu kritik noktalarda yapılacak ayarlamalar, kümelerin anlatımını dikkate alma noktasında önemlidir.

Faktör değerlerinin 0 ve 1 arasında standartlaştırmaya yarayan lineer dönüşüm işleminin yanı sıra kullanılan diğer bir yöntem ise 0-255 arasında standartlaştıran byte ölçekli standartlaştırmadır. Eastman (1997)'de faktör standartlaştırma amacıyla kullanılan 0-255 aralıklı byte yapılandırmayı bulanık kümeli üyelik fonksiyonlarda kullanılmasını önermiştir.

Özellikle 0-255 aralığında yapılan byte tekniği hesaplamalar üzerinde optimize yapılmasına olanak tanır. Ayrıca tüm faktör değerlerinin bu teknikle standartlaştırıldığında verilerin üzerinde yapılan analizlerin maksimum ayrıma imkânı doğurması da ikinci bir avantajıdır. Bu yöntemde 0-255 aralığında 0 değeri istenilen koşullara en uzak, 255 ise istenilene en fazla yaklaşılan durumu yansıtır.

C-ÇKKA problemlerinde, değerlendirme ölçütleri belirlendikten sonra bu ölçütler CBS katmanları şeklinde hazırlanır. Her bir ölçüt katmanı, farklı ölçü birimlerinde olabileceğinden, bu katmanların birbirleriyle karşılaştırılabilir biçimde normalleştirilmesi gerekir. Ölçüt katmanlarının normalleştirilmesinde başlıca; Doğrusal Ölçek Dönüşümü, Değer/Fayda fonksiyonu ve Bulanık Mantık yaklaşımları kullanılmaktadır (Malczewski 1999a, 1999b).

Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi

ÇKKA problemleri içinde karar vericiler tarafından çeşitli önemlilik derecelerine göre belirlenmiş kriterler mevcuttur. Bu kriterlerin birbirleriyle olan göreceli önemliliklerin belirlenmesi gerektiğinden, kriterler hakkında bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Kriterlerin görece önemliliklerinin belirlenmesi ve bilgi edinilmesi için her bir kritere ağırlık atanır. Bir ağırlık değeri, diğer kriterleri dikkate alarak bir kriterin görece önemliliğinin belirlenmesidir. Ağırlıkların türetilmesi sırasında karar vericilerin tercihlerinin ağırlıkları belirlemedeki etkisi ÇKKA problemi içerisindeki en önemli adımdır (Malczewski 1999). Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Çok basit durumlar için kullanılacak metotlardan biri, kriterlerin 0 ile 1 aralığında dağıtılmasıdır. Fakat bu yöntemin çok fazla kriterin mevcut olduğu durumlarda kullanımı uygun değildir. Bu nedenle çok fazla kriterin ağırlıklarının hassas bir şekilde belirlenip değerlendirilmesi için çeşitli metotlar geliştirilmiştir (Malczewski 1999). Bu metotların en genel dört tanesi; sıralama yöntemi, puanlama yöntemi, ikili karşılaştırma yöntemi ve tercih önceliği analizi yöntemidir.

Ağırlıklar genelde toplamı 1 olacak şekilde normalleştirilir. n adet ölçüt olması durumunda ağırlıkların (w) kümesi:

$$w=(w_1,w_2,\dots,w_n)\text{ve } \sum w_j=1 \quad (3.6)$$

olarak tanımlanır.

Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler şunlardır

- Sıralama (ranking)
- Puanlama (rating)
- İkili Karşılaştırma (pairwise comparison).

Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi ÇKKA'nın en önemli adımlarından biridir. Ağırlıklar analiz sonucunu doğrudan etkileyeceğinden ağırlık belirleme işlemine çok özen gösterilmesi gerekmektedir (Malczewski 1999a).

Sıralama Yöntemi: Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi için en basit yöntemdir. Tüm kriterler karar vericilerin tercihleri doğrultusunda önemlilik derecelerine bakılarak sıraya dizilir. Bu amaçla normal sıralama ya da ters sıralama kullanılabilir (Malczewski 1999a; Strager M. P. 2002).

Normal sıralamada; en önemli kriter 1. sırayı sonraki kriter 2. sırayı alır. Ters sıralamada ise en az öneme sahip kriter 1. sırada sonraki kriter 2. sırayı alacak biçiminde sıralanır (Malczewski 1999a).

Bir ölçüt kümesi sıralandığında, sıralama düzeninden sayısal olarak ağırlıkların elde edilmesi için çok sayıda yöntem vardır. Bunlar arasında en çok kullanılan yaklaşımlar (Malczewski 1999a):

- Sıralama toplamı
- Sıralamanın tersinin alınması
- Sıralamanın üslü kuvvetlerinin alınması

Sıralama toplamına göre ağırlıklar;

$$W_j = \frac{n-r_j+1}{\sum(n-r_k+1)} \quad (3.7)$$

bağıntısına göre hesaplanır.

Bu eşitlikte; w_j , j kriteri için normalleştirilmiş ağırlık değerini; n , kriter sayısı ve r_j , kriter sırasını ifade etmektedir. Her bir kriterin $(n-r_j+1)$ bağıntısına göre ağırlıkları belirlenir ve bu ağırlıklar bütün ağırlıkların toplamıyla $(\sum(n-r_k+1))$ formülü ile normalleştirilir.

Sıralamanın tersi alınarak ağırlıkların elde edilmesi yönteminde, ağırlıklar bir kriterin önem sırasının tersinin normalleştirilmesiyle türetilir. Ağırlıkları hesaplamak için

$$w_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum \left(\frac{1}{r_k}\right)} \quad (3.8)$$

bağıntısı kullanılır.

Sıralamanın üslü kuvvetleri alınarak ağırlıkların elde edilmesinde karar vericinin 0-1 aralığında en önemli ölçütün ağırlığını belirlemesi gerekmektedir. Bu ağırlık;

$$w_j = \frac{(n-r_j+1)^p}{\sum (n-r_k+1)^p} \quad (3.9)$$

bağıntısında isleme konulur ve “ p ” iteratif yöntemle çözülür. p belirlendikten sonra, kalan ölçütler için ağırlıklar hesaplanabilir. Bu yaklaşımda $p=0$ için tüm ölçütler eşit ağırlıklıdır ve $p=1$ için ise ağırlıklar, sıralama toplamı ile elde edilen ağırlıklara eşit olur (Malczewski 1999a).

Sıralama yönteminin en büyük avantajı basitliğidir, dezavantajı ise çok fazla kriter kullanıldığında yöntemin teorik yapı bakımından eksik oluşudur.

Puanlama Yöntemi: Puanlama yönteminde, karar vericilerin daha önce tanımlanmış bir sayısal aralık temelinde ağırlıkları kestirmesi gerekir. Bunun için örnek olarak 0’dan 100’e kadar değerler kullanılabilir (Malczewski 1999a, Thomas vd. 2001). Puanlama yönteminde ideal olarak tüm ölçütlere verilen puanların toplamının 100 olması istenebilir. Ancak bu durum nadiren elde edilebilir ve genelde pratikteki uygulamalarda puanlar toplamı 100 olacak şekilde düzeltilir (Malczewski 1999a, Strager 2002). Puanlama yöntemi ölçütlerin önemini hem sıralı hem de birbirine göre büyüklükleriyle göstermesi yönünden avantajlıdır (Thomas vd. 2001).

İkili Karşılaştırma Yöntemi: İkili Karşılaştırma yöntemi Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir ve çok kriterli değerlendirme literatürü içerisinde analitik hiyerarşi metodu olarak da adlandırılmaktadır. (Saaty 1980). Bu yöntem, ağırlıkları hesaplanmış kriterlerin görece önemliliklerini gösteren teorik bir yaklaşımdır. Yöntem içerisindeki ağırlıklar doğrudan atanmamışlardır ve olası tüm kriter çiftlerini karşılaştırmak için kullanılan öz vektörlerden üretilen “en uygun” ağırlık kümesini temsil etmektedirler. Bu tekniğin avantajı, bilgilerin yardımcı kaynaklardan, regresyon çıktılarından ve karar vericilerden alınarak elde edilmesidir.

İkili karşılaştırma yöntemi üç temel adımı içermektedir:

1. İkili karşılaştırma matrisinin geliştirilmesi: Yöntem, 1’den 9’a değişen değerlere sahip bir ölçek kullanır. Olası değerler Çizelge 3.3’de verilmektedir. Kriterlerin amaca ulaşmakta, seçenekler açısından önemleri, ikili kıyaslama yöntemi çerçevesinde belirlenir. Bu karşılaştırmalar ile elde edilen sonuçlar ve kriterler için aşağıda gösterildiği biçimde ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilir (Şekil 3.4).

Çizelge 3.3 İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty 1980).

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit derece önemli
2	Eşit-orta derece önemli
3	Orta derece önemli
4	Orta-yüksek derece önemli
5	Yüksek önemli
6	Yüksek-çok yüksek önemli
7	Çok Yüksek önemli
8	Çok yüksek-aşırı yüksek önemli
9	Aşırı yüksek önemli

2. Ağırlıkların hesaplanması: Ağırlıkların hesaplanması üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, matristeki her bir kolonda yer alan değerlerin toplanmasıdır. Daha sonra, matristeki her bir eleman, ait olduğu kolonun toplamına bölünmelidir. Elde edilen matris normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisine karşılık gelmektedir. Normalize edilmiş matrisin her bir kolonundaki elemanların

ortalamasının hesaplanması gerçekleştirilmelidir. Elde edilen matris, her bir eleman için normalize edilmiş skorların kriter sayısı ile toplanmasını kapsamaktadır. Bu ortalamalar dikkate alınan kriterin göreceli ağırlık değerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

	K_1	K_2	K_3	...	K_n
K_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1m}
K_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
K_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}	...	a_{mn}

Şekil 3.4 İkili karşılaştırma matrisi.

3. Tutarlılık oranının tahmin edilmesi: Bu aşamanın amacı, ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını belirlemektir. Bu aşama aşağıdaki adımları kapsamaktadır.
 - Orjinal ikili karşılaştırma matrisinin birinci kolonu ile birinci kriteri çarpmak suretiyle ağırlıklandırılmış toplam vektör belirlenir. Daha sonra, ikinci kolonla ikinci kriter, üçüncü kolonla üçüncü kriter çarpılır ve sonuçta sıra üzerindeki tüm değerler toplanır.
 - Daha önceden belirlenmiş kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılmış toplam vektör bölünerek tutarlılık vektörü belirlenir.
 - Lambda (λ) değeri hesaplanır. Bu değer tutarlılık vektörünün ve tutarlılık indeksi'nin (CI) ortalama değeridir. CI değeri, tutarlılıktan sapmanın bir ölçüsüdür ve aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir:

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)} \quad (3.10)$$

Tutarlılık oranı (CR), aşağıdaki formül ile belirlenebilir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.11)$$

Burada RI, rastgele indekstir ve karşılaştırılan elemanların sayısına bağlıdır (Çizelge 3.4). Eğer, $CR < 0.10$ ise, oran ikili karşılaştırmadaki tutarlılığın kabul edilebilir bir seviyede olduğunu söylenebilir. Buna karşın şayet $CR > 0.10$ ise oran değerleri tutarsız hükümlerin verildiğini işaret etmektedir.

Çizelge 3.4 $n=1 \dots 15$ Eleman için rastgele tutarsızlık indisleri (RI) (Saaty 1980).

n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

İkili karşılaştırma yönteminin bir avantajı bir seferde sadece iki kriterin düşünülmesidir. Yöntem içerisinde n adet kriter için, $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma yapılır. Örnek vermek gerekirse 5 değerlendirme kriteri için 10 tane ikili karşılaştırma yapılması gereklidir. İkili karşılaştırma yöntemine ilişkin en önemli eleştiri ise yapılan ikili karşılaştırmaların karar vericileri tutarsız değerlendirmelerde bulunmasına yol açmasıdır (Şahin 2012).

ÇÖKA problemlerinde ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde hangi yöntemin kullanılacağı karar vericinin önceliklerine bağlıdır. Karar verici kullanım kolaylığı, anlaşılabilirliği, teorik yapısı, yöntemin uygulanacağı bilgisayar yazılımlarının elde edilebilirliğini değerlendirerek yöntemle karar verir. Kullanım kolaylığı ve hızlı çözüm isteniyorsa Sıralama ya da Puanlama yöntemi kullanılabilir. Diğer yandan eğer doğruluk ve teorik yapı ana düşünce ise İkili Karşılaştırma daha uygun olur (Malczewski 1999a, 1999b, Strager 2002).

C-ÇKKA Problemlerinde Kullanılan Başlıca Yöntemler

Bir karar kuralı, karar seçeneklerinin sıralanmasını sağlayan bir prosedürdür (Starr and Zeleny 1977). Karar verici, karar kuralı yardımıyla seçeneklerin en iyi şekilde nasıl sıralanacağını veya hangi seçeneğin diğerine tercih edileceğini belirlemektedir. Karar kuralı, seçenek bilgisiyle karar vericinin tercihlerini, tümünden bir değerlendirme için bütünleştirmektedir. Bu tanımlara göre birçok ölçütlü karar problemi, çıktı gruplarının sıralanmasını ve bu çıktıları

sağlayan karar seçeneklerinin tanımlanmasını içermektedir. Kısaca, karar kuralı ile yapılan işlem alternatiflerin en iyiden, en kötüye sıralamaktır. Karar kuralının kullanımı şu fonksiyonların kolaylaşmasını sağlamaktadır;

- En uygun alternatifin seçilmesine,
- Önceliklere göre alternatiflerin bir sınıf içerisinde sıralandırılmasına,
- Alternatiflerin en iyiden en kötüye puanlandırılmasına.

Karar kuralları alternatif veriler üzerinden üretilmiş ana seçimlerin sıralandırılmasını ve puanlandırılmasını sağlar. Ayrıca karar vericilerin tercihlerini tüm alternatif değerlendirmelerine yansıtır. Yapılan değerlendirme tek bir sonuç değer ile gösterilir ve genel değerlendirme puanı ile ifade edilir. Genel değerlendirme puanı ÇKKA içerisinde karar vericilerin tercihlerini ve karar alternatiflerinin değerlendirilmesinin sonucu oluşur (Meyer 2007, Nyerges and Jankowski 2010).

CBS ile entegre edilebilen birçok ÇKKA yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler (Triantaphyllou and Mann 1989, Malczewski 1999, Proctor and Qureshi 2005):

- Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (Simple Additive Weighting Method:SAW) ya da diğer adıyla Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (Weighted Linear Combination:WLC)
- Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (Weighted Product Method:WPM)
- Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Analytic Hierarchy Process:AHP)
- Değer/Fayda Fonksiyonu Yaklaşımı (Value/Utility Function Approach)
- İdeal Nokta Yöntemi (Ideal Point Method)-Örn: TOPSIS
- Uyum Yöntemi (Concordance Method)-Örn: ELECTRE
- Bulanık Mantık İşlemi (Fuzzy Aggregation Operation)
- Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi (Fuzzy Additive Weighting Method)
- Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Ordered Weighted Average:OWA)

Bu tez çalışmasında Analitik Hiyerarşi yöntemi ve Ağırlıklı Doğrusal yöntemi incelenmiştir.

Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Tanımlanan varlıkların, belli bir grubuna dâhil olanların yalnızca tek bir diğer gruba dâhil olanları etkilediği ve yalnızca bir tek grubun varlıkları tarafından etkilendiği ayrık kümelere ayrılabilirdi varsayımına dayanarak oluşturulan, her biri çeşitli sayıda eleman ya da faktör bulunduran sıralı düzeylerde oluşan sisteme “Hiyerarşi” denir. Hiyerarşi, ilgili bütün faktörleri organize ederek problemlerin mantıklı ve sistematik bir yoldan kolayca çözülmesini sağlar (Hacımenli 1998, Kavas 2009).

1970’lerde Thomas Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir (Kuruüzüm ve Atsan 2001). AHY, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli, çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır. AHY öznel ve nesnel değerlendirme ölçütlerini içeren çok ölçütlü karar problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir (Saaty 1977).

AHY, karar vericinin tüm alternatifleri tüm kriterler altında değerlendirerek, göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapmasına dayanmaktadır (Saral ve Musaoğlu 2011). AHY yönteminde ve diğer tüm yöntemlerde, araştırmacılar ellerindeki olanaklar dâhilinde parametrik harita üretimlerini gerçekleştirmekte, ya deneme-yanılma yoluna giderek, ya da istatistiksel analizler veya deneyimleri doğrultusunda, heyelan duyarlılık analizlerinde kullanacakları parametreleri seçmektedirler.

AHY, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHY’nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir (Özcan 2008).

AHY, karmaşık problemleri amaç-ölçütler-alt ölçütler-seçenekler hiyerarşisi kurularak çözmeye olanak sağlamaktadır. AHY, genel olarak, problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma (decomposition), karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması (comparative judgement) ve önceliklerin sentezlenmesi (synthesis of priorities) olmak üzere üç temel prensibe dayanmaktadır (Saaty 1977, Saaty 1980).

AHY'le karar verme süreci aşağıdaki aşamalardan oluşur (Zahedi 1986, Boroushaki and Malczewski 2008).

1. **Problemin düzenlenmesi:** Problemin temel yapılarının belirlenmesi için hiyerarşinin yapılandırılmasını içerir. Problemin en temel ögesinden, en özelle gidecek şekilde yol alınması, hiyerarşi oluşumunda son seviyeye geldiğinde alternatifler ve olası seçimleri içerecek şekilde özelliklerin belirlenerek, karar hiyerarşisinin oluşturulmasını kapsayan adımdır.

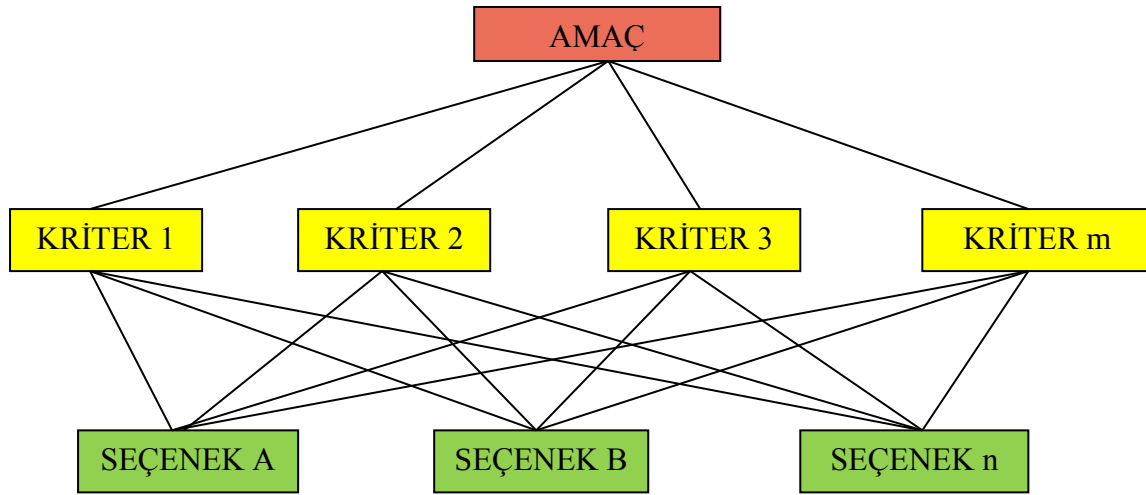
2. **Tercih bilgilerinin toplanması:** Bu adım içerisinde karar vericilerin değerlendirdikleri kriter ağırlıkları ya da görece önemlilikleri kapsayan verilerin elde edilmesi, elde edilen bu verilerin ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında kullanımı.

3. **Bileşenlerin ağırlıklarının tespiti:** Karar elementlerinin görece ağırlıklarının değerlendirilmesi, öz değer metodu kullanarak ağırlıkların değerlendirilmesi.

4. **Alternatif puanların hesabı:** Her alternatif için genel değerlendirme puanlarını görece ağırlıklarının toplanması ile elde edilmesi, elde edilen puanlar yardımı ile karar vericilerin alternatifleri önemlilikleri ölçütünde sıralandırılması adımdır.

Yukarıda değerlendirilen dört adım kısaca AHY içerisinde üç ilke ile tanımlanır. Bunlar ayrıştırma (hiyerarşi yapılandırması), karşılaştırmalı değerlendirme (ikili karşılaştırma yöntemi) ve önceliklerin sentezidir (kriter ağırlıkları hesabı) (Şahin 2012).

AHY, sorunun karar vermeye yönelik olarak ayrıntılı biçimde katmanlara ayrıştırılması yöntemini, oluşturulan hiyerarşi yapısı sayesinde oldukça etkin bir metodoloji ile kullanır. En basit AHY'nin bu yapısı Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen yapıda kriterlerin değerlendirilmesinde alt kriterler kullanılabilir. Dolayısıyla, hiyerarşi yapısında, kriterler ile seçenekler arasına istenilen sayıda alt kriter katmanı eklenebilir.



Şekil 3.5 Analitik hiyerarşi yöntemi yapısı.

Çok kriterli karar verme süreçlerinde temel sorunlarından biri de, değerlendirilen seçenekler için çok sayıda kriter göz önünde bulundurularak farklı tercih puanları, önem sıralamaları ve ağırlıkların doğru biçimde saptanmasıdır. AHY, hiyerarşik yapısına dayanarak, farklı katmanlar için öğelerin kendi aralarında göreceli üstünlüklerini belirleyerek, çok kriterli karar verme süreçleri için geçerli bu temel soruna oldukça etkin bir çözüm getirmiştir. Amaç, kriter ve alt kriterler belirlendikten sonra, kriter ve alt kriterlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur (Özcan 2008).

Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme

Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (ADB), ÇKKA yaklaşımları içerisinde en çok kullanılan yöntemdir ve herhangi bir karar probleminde karar vericinin değerlendirmek istediği olası çözüm kümesiyle tanımlanan bir gerçek fayda fonksiyonu kuramına dayanır (Fishburn 1967; Triantaphyllou and Mann 1989). ADB ortak bir sayısal dizide standartlaştırılmış sürekli kriter (j) ağırlıklarının (w) ortalaması temeline dayanır ve tüm bunların birleşimine ortalama ağırlık denir. Karar vericiler harita katmalarındaki her bir özneliliğin ağırlıklarının göreceli önemliliklerini karşılaştırırlar. Her bir alternatifin toplam puanı, o alternatifin değeri ile kendisine atanmış önemlilik puanının çarpımıyla ve sonra bu tüm sonuçların toplamıyla elde edilir. Puan tüm alternatifler için hesaplanır ve en yüksek puana sahip olan alternatif seçilir.

$$e_i = \sum_{j=1}^n w_j * r_{ij}, (i=1, \dots, m) \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte, i karar seçeneği olduğunda m 'ye eşit olmakta ve j kriter olduğu durumda ise n 'ye eşit olmaktadır. Yukarıdaki formülün matris formundaki gösterimi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} * [w_1 \quad \dots \quad w_n] \quad (3.13)$$

Bu eşitlikteki e_i karar alternatifi için hesaplanmış değerlendirme puanı, w_j ise i kadar j kriteri için göreceli önemlilik ağırlıklarıdır (Nyerges and Jankowski 2010).

ADB metodunda, bir seçeneğin bütün öznelilik değerleri göz önünde bulundurulur ve toplama ve çarpma gibi düzenli aritmetik işlemler kullanır. Bu yöntemde, öznelilik değerleri ve ağırlıkların rakamsal ve karşılaştırılabilir olması gerekmektedir (Triantaphyllou and Mann 1989).

Bu yöntemdeki temel varsayım; özneliliklerin birbirinden bağımsız olduğudur; yani her bir özneliliğin genel sonuç üzerindeki etkisi diğer bir özneliliğin değerine bağlı değildir. Eğer öznelilikler arasında tümleme söz konusu ise, yöntem yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu yaklaşımdaki diğer kısıtlama; yöntem farklı ölçü birimlerini kapsayan karar problemlerinde doğrudan doğruya kullanılamamaktadır. Bu durumda değerlendirme ölçütlerinin normalleştirilmesi gerekmektedir. Normalleştirme ile farklı ölçü birimleri boyutsuz bir ölçeğe dönüştürülür (Triantaphyllou and Mann 1989).

CBS tabanlı oluşturulacak bir uygulamada kullanılan ADB metodu aşağıdaki adımlardan meydana gelmektedir (Malczewski 1999).

- Değerlendirme kriterlerinin (harita katmanları) ve uygun alternatif dizilerin belirlenmesi,
- Her harita katmanının standartlaştırılması,
- Kriter ağırlıklarının belirlenmesi; ağırlıkların (görece önemlilikler) direkt her kriter haritası ile değerlendirilmesi,
- Herbir harita katmanlarının ilgili ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklı standartlaştırılmış harita katmanlarının oluşturulması,

- Standartlaştırılmış ağırlıklı harita katmanlarının üzerine ekleme operatörlerini kullanarak her alternatif için genel değerlendirme puanını elde edilmesi,
- Sonuç değerlerine göre seçeneklerin sıralandırılması; sıralanmış alternatiflerden en yüksek puanı alan alternatifin seçimidir.

3.5.2 Lojistik Regresyon Analizi

Regresyon analizi temelde; gözlenen bir olay değerlendirilirken, hangi olayların etkisi içinde olduğunun araştırılmasını amaçlanmaktadır. Olaylar bir veya birden çok olacağı gibi dolaylı veya doğrudan da etkilenebilirler. Regresyon analizi uygulanırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların matematiksel model yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir. Regresyon analizi, biri bağımlı (açıklanan) değişken, diğeri bağımsız (açıklayıcı) değişken olmak üzere en az iki değişken arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır.

Lojistik regresyon metodu, bağımlı bir değişken ile bağımsız birçok değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi kurmayı sağlamaktadır (Lee 2005). Çok değişkenli analiz modellerinden biri olan lojistik regresyonunu kullanımındaki amaç, en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilecek kabul edilebilir bir model kurmaktır. Çoklu regresyon analizi işlemlerinde, faktörler sayısal olmalı ve diskriminant analizi gibi benzer bir istatistik modeli olması durumunda ise değişkenler normal dağılımla olmaktadır. Lojistik regresyon modelinde bağımlı değişken, heyelan veya erozyonun mevcut olması ya da olmaması durumunu gösteren ikili bir değişkendir. Bağımlı değişkenin ikili değişken olması durumunda, lojistik fonksiyon uygulanabilir (Atkinson and Massari 1998, Akgün 2007). Heyelana duyarlı alanların tespiti gibi çalışmalarda bağımlı değişken girdi verisi 0 ya da 1 olmalıdır.

Lojistik regresyon katsayıları, modeldeki her bir bağımsız değişkenin oranlarının tahmininde kullanılabilir. Sayısal olarak, meydana geliş ve bunun birçok değişken üzerindeki bağımlılığı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Hosmer and Lemeshow 1989).

$$P = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (3.14)$$

Burada p heyelanın meydana gelme olasılığını ifade etmektedir. Olasılık, 0'dan 1'e değişen S-şekilli bir eğri biçiminde olup, z doğrusal kombinasyonu göstermektedir. Böylelikle yapılacak regresyon modeli heyelan olasılık analizi için uygulanabilir nitelik kazanır. Regresyon analizi ile heyelan alanlarını tespitine yönelik yapılacak çalışmalarda öncelik bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenlerin en iyi şekilde tayin edilmesidir. Lojistik regresyon, aşağıdaki biçimde gösterilen bir denklem içerir ve bu denklem yukarıda verilen z değerine karşılık gelir:

$$Z=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_nx_n$$

Bu eşitlikteki Y, 0 ve 1 aralığındaki bağımlı değişkeni, b_0 bağımsız değişkenlerin sıfır değerini aldıklarındaki bağımlı değişken değeri ya da sabiti, $b_1, \dots, b_n$ bağımsız değişkenlerin regresyon katsayıları ve $x_1, \dots, x_n$ ise bağımsız değişkenleri göstermektedir. Bu oluşturulan lineer model, heyelanın bağımsız değişkenler üzerindeki (meydana geliş öncesi koşullar) meydana geliş durumunu (var/yok) göstermektedir.

3.5.3 Frekans Oranı Metodu

İki değişkenli istatistiksel analizler, heyelan envanter haritası ile heyelan oluşumuna sebep olan faktör haritalarının değerlendirilerek genel olarak heyelan yoğunluğunun karşılaştırılması şeklinde yapılan haritalardır. Literatürde istatistiksel indeks, frekans oranı, koşullu olasılık gibi isimlerle adlandırılır. İki değişkenli istatistiksel analizlerin heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanılması, ilk kez Brabb et al. (1972) tarafından önerilmiştir. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, heyelan oluşumuna etkisi olan faktörler, birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirilmektedirler. Değerlendirilen faktörlerin heyelan yoğunluklarına göre sınıflandırılarak her bir sınıfa ağırlık değerleri verilir ve heyelan yoğunluğuna bağlı olarak da sınıflara puan ataması şeklinde veya faktör sınıflarındaki heyelanlı alanların toplam alana oranı ile oluşturulan indekse göre hesap edilmektedir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, uzman görüşünün kullanılmasına izin vermesidir. İki değişkenli istatistik yöntemlerinin dezavantajlı tarafı ise koşullara bağlı bağımsızlık varsayımını kullanmasıdır. Bunun anlamı, farklı parametre haritalarının, bir heyelan ya da erozyonun meydana gelme ihtimaline karşılık olarak bağımsız olmasıdır. Bu yaklaşım çoğu zaman geçerli değildir, dolayısıyla da olasılığı ifade eden değerler gerçekçi olmamaktadır. Bu problemten kurtulmanın bir yolu, kullanıcının, verileri değerlendirirken bağımlı bir değişkenle birleştirme yapmak suretiyle yeni bir parametre haritası yapmasından geçmektedir (Akgün 2007).

Heyelanların oluşumunu tahmin etmek için, geçmişte, heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerden dolayı meydana gelmiş bir heyelan, gelecekte aynı faktörlerden dolayı yeni heyelanların meydana gelmesi konusunda ışık tutacaktır (Chung and Fabbri 1999). Bu yaklaşıma bağlı olarak, heyelanın meydana geldiği alanlar ile bu alanlardaki heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişki, geçmişte heyelan olmamış alanlar ile heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişkilerden belirlenebilir (Lee et al 2004). Bu nedenle, geçmiş heyelan konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktör arasındaki ilişkiyi (korelasyonu) ortaya koymak için Frekans Oranı Yöntemi kullanılmaktadır. Frekans oranı yöntemi, anlaşılır ve uygulaması çok kolay olan bir olasılık modeline sahiptir ve bu özelliği nedeniyle de literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Frekans oranı, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Erener vd. 2010). Frekans oranı hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$FR = \frac{PLO}{PIF} \quad (3.16)$$

Burada PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir.



BÖLÜM 4

KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE TASMAN

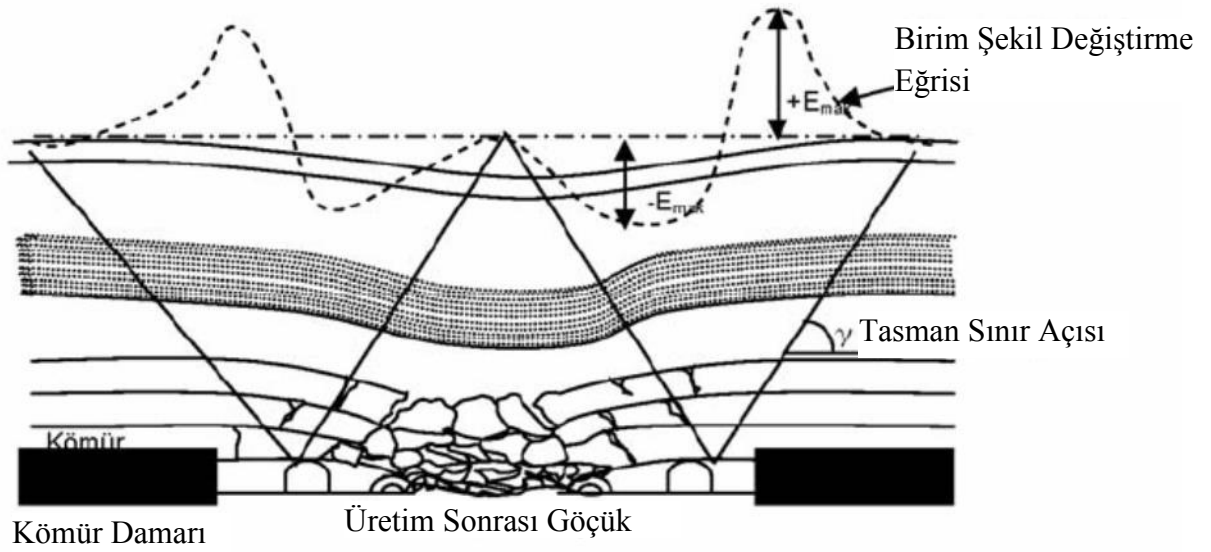
Yeraltı maden üretimi yapılan bir bölgede üretim sonucu zemin içinde büyük boşluklar oluşmaktadır. Bu boşlukların üzerinde bulunan zemin katmanları, yeterli mukavemeti gösteremedikleri takdirde birbirinden ayrılarak üretim boşluğuna doğru çökmekte, bunun sonucunda da zemin içinde ve yeryüzünde yatay ve düşey yönde zemin hareketlerinin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Oluşan bu hareketler madencilik tasmanı olarak adlandırılmaktadır. Bu hareket zemin içindeki ve yeryüzündeki doğal ve kültürel yapıda teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel içerikli sorunlara neden olmaktadır.

Bu hareketlenme, etkilenen zemin katmanlarında ve yeryüzünde deformasyonlara ve zeminin doğal dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Deformasyona uğramış zemin içi ve yeryüzü ortamlarındaki mühendislik yapıları (kültürel yapılar) da ya bu deformasyonlara uyum sağlamakta ya da kendisi de deformasyona uğrayarak zarar görebilmektedir. Gerek doğal, gerekse kültürel yapıda madencilik tasmanından kaynaklanan bu zararlar madencilik zararları olarak adlandırılmaktadır. Özellikle yeraltı kömür madenciliğinin fazla olduğu Batı Avrupa ülkelerinde, yerleşim alanları altındaki üretimlerden kaynaklanan madencilik tasmanı; uzun yıllar ekonomik, sosyal, teknik ve çevresel boyutları olan önemli bir madencilik sorunu olmuştur. Bu nedenle bu ülkelerde “Tasman Mühendisliği” adı verilen bir mühendislik disiplininin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Kuşcu 1987).

4.1 MADENCİLİK TASMANI VE OLUŞUM MEKANİZMASI

Milyonlarca yıllık zaman kesitinde çeşitli tektonik hareketlenmeler ve çevresel koşullar sonucu yeraltında oluşmuş cevherin; yapılan madencilik çalışmalarıyla insanlık hizmetine sunulması sırasında meydana gelen büyük çaplı üretim boşluklarının, üzerindeki zemin katmanının basıncıyla çökmesi ve zemin içi kırılmalara yol açması sonucu, ocak içinden yüzeye

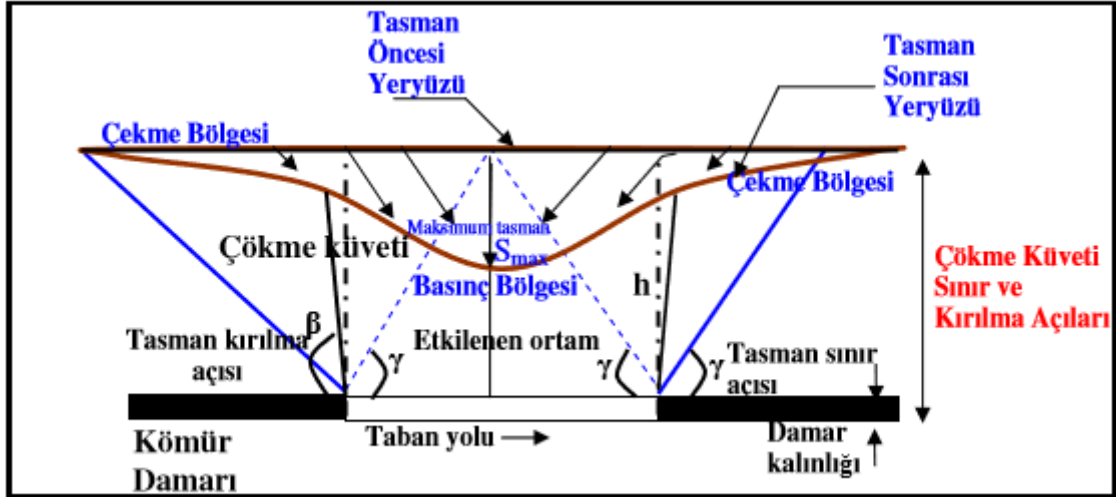
doğru olan hareketlenmelerin yeryüzünde oluşturduğu düşey çökme ve yatay yer değiştirmeler “Madencilik Tasmanı” olarak adlandırılır (Şekil 4.1). Tasman, yeraltı madenciliğinin yapıldığı diğer bölgelerde olduğu gibi ülkemizde de ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel sorunlara neden olmaktadır. Yeraltı madencilik çalışmaları esnasında ve sonrasında oluşan tasman etkisi ile yeryüzünde küvet veya tekne geometrisi biçiminde bir oluşum ortaya çıkar. Madencilik faaliyetleri sonucu yeryüzünde küvetleşmenin olduğu bu yüzey tasman etki alanı olarak adlandırılmaktadır (Kuşcu 1987, Akçın et al. 2006).



Şekil 4.1 Tasmanın zemin içinde ve yeryüzündeki oluşum mekanizması (Shadbold 1977’den değiştirilerek alınmıştır).

Bu etki alanı ile üretim boşluğunun taban yüzeyi arasında kalan zemine ise tasmanlı ortam ya da etkilenen ortam adı verilmektedir (Kratzsch 1983, Kuşcu 1987, Akçın et al 2006, Can ve Kuşcu 2009). Tasman oluşumunda, üretim boşluğu sınırının bir noktasında, bu noktadaki sınır çizgisine dik geçen bir düşey kesit içinde, sınır noktası ile tasman etkisinin başladığı yeryüzü noktasını birleştiren doğrunun yatay ya da düşey ile yapmış olduğu açı (γ) o noktadaki tasman sınır açısı olarak adlandırılmaktadır (Kuşcu 1987, Akçın 1993).

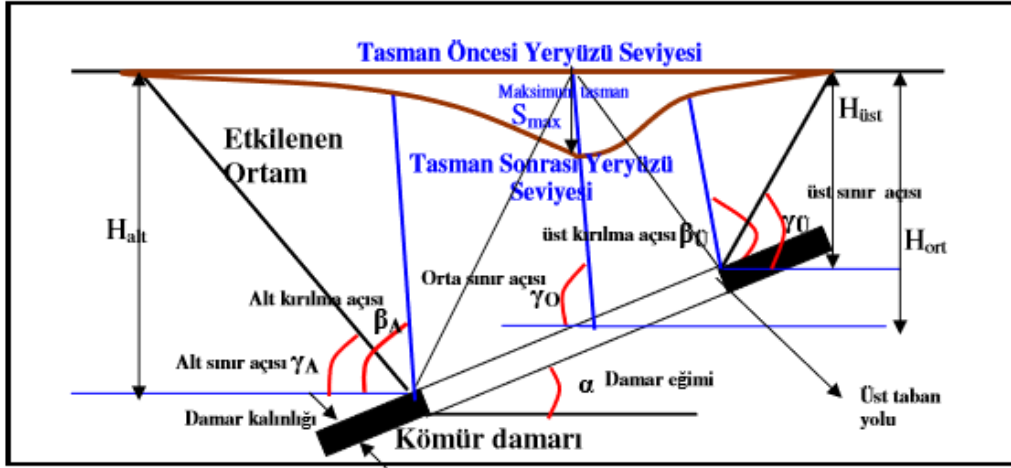
Kırılma açısı (β) ise tasman tesir alanı içinde en büyük pozitif uzunluk değişiminin meydana geldiği ve bu nedenlerle yüzeyde çatlama ve ayrılmaların olduğu noktaları yine üretim sınırına dik geçen düşey düzlem içinde, üretim kenarına birleştiren doğrultuların yatay ile yapmış olduğu açıdır (Kuşcu 1987, Akçın 1993). Şekil 4.2’de düz damarlardaki üretim sonrası oluşan tasman küveti ve diğer tanımlamalar görülmektedir.



Şekil 4.2 Düz damarların işletilmesi sonucu ortaya çıkan tasman küveti ve diğer tanımlamalar (Kratzsch 1983, Kuşcu 1987, URL-2 2011).

Şekil 4.3 de ise eğimli damarlarda yapılan madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında oluşan tasman küveti ile alt taban yolu kotunda, damar eğimi istikametinde ve derinleşen doğrultudaki tasman alt sınır açısı (γ_{alt}), üst taban yolu üzerinde, damar eğiminin tersi istikametinde ve yüzeye yaklaşan doğrultudaki tasman üst sınır açısı ($\gamma_{üst}$) ve üretim boşluğu merkezi ile en fazla çökmenin meydana geldiği doğrultuyu birleştiren doğrultunun yatay veya düşeyle yaptığı tasman orta (γ_{orta}) sınır açıları görülmektedir. Yine aynı şekilde alt taban yolunda, yüzeyde çatlama ve ayrılmaların olduğu noktaları düşey düzlem içinde üretim kenarına birleştiren doğrultuların yatay veya düşey ile yapmış olduğu tasman alt kırılma (β_{alt}) ile üst taban yolunda ve yüzeye yaklaşan doğrultudaki üst ($\beta_{üst}$) kırılma açıları görülmektedir.

Yeraltı maden işletmeciliği yapılırken yeryüzünde zemin hareketlerinin olması kaçınılmaz bir olaydır. Bu hareketler üretim seviyesinden yeryüzüne kadar devam ederek zeminde deformasyonlar meydana getirir. Bunun sonucunda yeryüzündeki herhangi bir nokta, yatay ve düşey hareket etmekte ve yatay olan zemin yüzeyi, hareket sonrasında eğrisel bir konum almaktadır. Bu zemin hareketleri yeryüzünde bulunan her türlü yapıda hasarlar meydana getirmektedir. Hasar miktarları, zemin hareketlerinin büyüklüğüne, yeryüzünün jeolojik ve topoğrafik yapısına ve yapıların fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle; etki altındaki alan üzerinde ve içinde bulunan yollar, tüneller, yeraltı galerileri, maden kuyuları, binalar, santraller, barajlar, su, gaz, elektrik, kanal ve kanalizasyon hatlarının; işletmelerin, kentlerin ve ülkelerin sürdürülebilir yaşamı açısından büyük önemi bulunduğundan, deformasyona maruz kalmadan koruma altında tutulması gereklidir (Kuşcu 1986).



Şekil 4.3 Eğimli kömür damarlarının işletilmesi sonucu ortaya çıkan tasman küveti ve diğer tanımlamalar (Kratzsch 1983, Kuşcu 1987).

Tasman meydana gelen bölgelerde;

- Binalarda, yol, su, kanalizasyon, enerji ve haberleşme tesislerinde; kuyu, galeri, tünel gibi yeraltı yapılarında hasarların ve zararların ortaya çıkması,
- Yeraltı ve yerüstü doğal su dengesinin ve drenaj düzeninin bozulması, erozyon, kaya düşmesi, ve heyelan gibi oluşumlar veya bu oluşumların artması,
- Kadastro ve haritacılık ile ilgili diğer hizmetlerin güç yapılı hale gelmesi; mülkiyet ve arazi kullanımı ile ilgili çeşitli sorunların ortaya çıkması gibi çeşitli teknik, ekonomik ve sosyal içerikli problemlere neden olmaktadır.

Yapılarda gözlenen hasarlar, tasman olayının yeryüzünde oluşturduğu düşey ve yatay yer değiştirme hareketlerinin ortaklaşa fiziksel sonuçlarıdır.

4.2 TASMAN OLUŞUMUNA NEDEN OLAN ETMENLER

Tasman oluşum mekanizması incelendiğinde; hareketlenmenin, yeraltındaki madenin alınmasıyla oluşan boşlukların çökmesi ile başladığı ve zemin içindeki katmanlarda bu hareketin yeryüzüne kadar iletilmesi ile son bulduğu belirlenmiştir. Bu durumda hareketlenmenin iki temel nedeni olduğu görülmektedir. Bunlardan ilki, yeraltı üretiminin yapıldığı kömür damarındaki boşluğun göçme mekanizmasını oluşturan etmenler, ikincisi de üretim yapılan damar ile yeryüzü arasındaki örtü tabakasının yapısı ve davranışına ilişkin etmenlerdir.

Oluşum mekanizmasını hızlandıran veya yavaşlatan nedenler daha ayrıntılı olarak ele alındığında, birçok unsurun kitle hareketlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkilediği görülür. Bunun için, oluşuma sebep olan etmenler şu şekilde sınıflandırılabilir (Yetişen 2007).

4.2.1 Sabit Etmenler

Jeolojik etkenler olan yan taşların petrografik yapısı, damarın üzerindeki örtü tabakasının stratigrafik yapısı (örtü tabakası içindeki katmanların dizilişi), zeminin jeomekanik ve hidrolojik özellikleri, yeryüzünün topoğrafik yapısı ve bitki örtüsü, damar kalınlığı ve eğimi ile eski üretimler sabit etmenler olarak gruplandırılabilir.

4.2.2 Değişken Etmenler

Değişken faktörler de boyutsal etken olan faktörler ve işletme yöntemleri ile ilgili faktörler olarak iki sınıfa ayrılır. Boyutsal etken olan faktörleri yeraltı açıklığının genişliği, yer altı açıklığının boyu ve yeraltı açıklığının derinliği oluştururken, işletme yöntemleri ile ilgili faktörler göçertmeli uzun ayak çalışması, dolgulu uzun ayak çalışması, oda topuk çalışması ve çalışma hızıdır (Akçın 1993).

Tasman ile tasmana neden olan faktörler arasındaki iliksiler birbirlerinden farklı özelliktedir. Öyle ki; damar kalınlığı ile çökme arasında doğru orantı varken, üretim yöntemi ve hızına bağlı olarak, derinlik ile çökme arasında ters orantılı bir durum vardır. Derinlik arttıkça çökme azalır. Bunlardan farklı olarak, üretim boyutları arttıkça çökme de hızlı bir artış gösterir ve daha sonraları bu artış sabitlenir (Arıoğlu ve Yüksel 1985).

4.3 TASMAN ETKİ ALANI

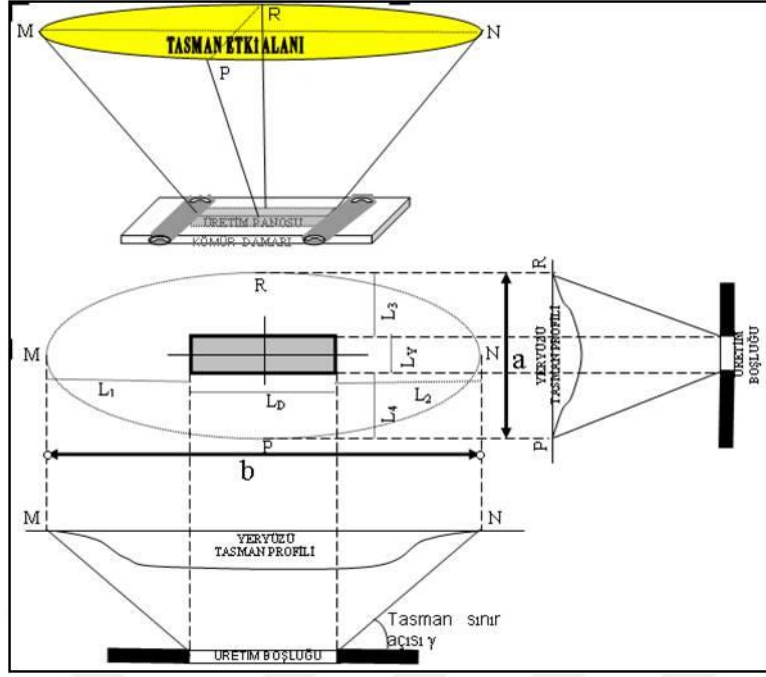
Tasmanın ve dolayısıyla düşey yönlü deformasyonların yeryüzü seviyesinde etkilediği alanın belirlenmesi, gerek deformasyon gözlemleri ve gerekse yüzeyde etkilenecek yapıların belirlenmesi açısından önemlidir. Eğer etki alanı belirlenebilirse bu alan içindeki yapıların, kesinlikle tasman profili denilen çökme havuzu içinde yatay yer değiştirmeye, bükülmeye veya gerilmeye bağlı deformasyona uğraması söz konusu olacaktır.

Yeraltı maden üretiminin; yeryüzündeki tasman etki alanı içerisinde nasıl bir deformasyon etkisi yaratacağı bir takım geometrik, jeolojik ve mekanik bilgilerden yararlanarak kestirilebilir. Yeraltında üretim yapılan alanın geometrisi, üretim damarının kalınlığı, damarın eğimi, üretimin yeryüzünden derinliği, üretim katmanı ve üzerindeki katmanların mekanik özellikleri ve petrografik özellikleri bu tür bilgi guruplarını oluşturmaktadır. Bu faktörler ile tasman arasında ilişki için;

- Cevherin damar kalınlığıyla tasman arasında doğru orantılı bir ilişki söz konusudur,
- Üretim boyutları ile tasman arasında, zamanla hızlı bir artış ve daha sonra azalarak sabit hale gelen bir çökme ilişkisi vardır,
- Üretim şekli ve hızına bağlı olarak ise, üretim derinliği ile tasman arasında ters orantılı bir durum söz konusudur ve derinlik arttıkça tasman boyutu azalmakta, oluşum süresi artmaktadır. Örneğin 100m derinlikteki bir üretimin şiddetli etkisi 10-30 gün içerisinde, 400m derinlikteki bir üretimin kısmi etkisi ise yeryüzüne 5-6 ay içerisinde etki etmesi beklenir. Eğer zemin daha önceki bir üretimden hasara uğramışsa, bu süre daha da kısalabilir veya zemin bakir ise bu süre 9-10 aya çıkabilir.

İşletmede üretim yapılan damar içinde oluşturulan panonun üretim yöntemine bağlı boyutsal özellikleri olan pano genişliği, uzunluğu, damar kalınlığı ile panonun alt ve üst kotları (jeoitte itibaren alınacak pratik yükseklikleri) ile yeryüzündeki etki alanı belirlenebilir (Şekil 4.4). Damar eğimine bağlı olarak belirlenen tasman sınır açıları kullanılarak, pano kenarlarından üretim merkezi yönünde çizilen sınır hatlarının yeryüzü ile kesiştiği bölüm, tabanı bu üretim panosu olan bir ters çevrilmiş kesik koninin tepesini meydana getirir. Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi koninin tabanı bir elipstir. Elips elemanları olan a ve b hesaplanırken, damarın eğim yönü, panonun ortalama eni ve boyu, tasman sınır açıları ve pano derinliği göz önünde bulundurulur (Peng 1992).

Damar eğim açısının 15-20° den büyük olması durumunda eğimli damar, küçük olması durumunda ise yatay damar söz konusu olur ve damar eğimi ile tasman sınır açıları değişim gösterir. Yatay bir damarda açıklığın her iki yanındaki sınır açıları birbirine eşit iken, eğimli damarda pano alt ve üst sınır açıları (γ_A γ_U) şeklinde iki farklı açı oluşur. Bu durumda etki alanının oluşturan elipsin büyük ve küçük yarı eksenleri; Şekil 4.5'de damar eğimine bağlı tasman sınır açılarının belirlendiği bir grafik verilmiştir.

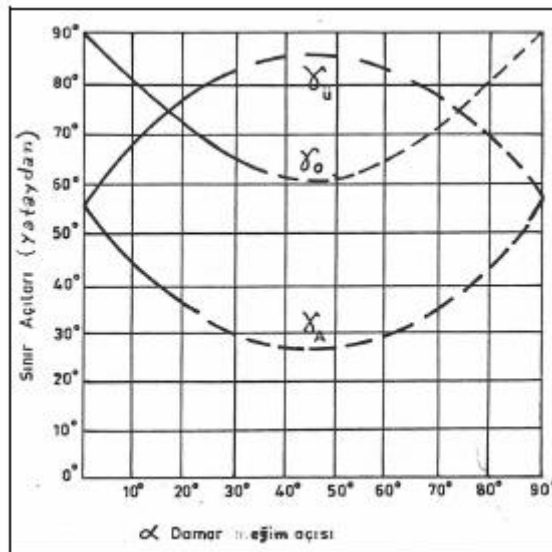


Şekil 4.4 Tasman etki alanının kestirimi

$$a = L_y + 2(h_{ort} \cot \gamma) = L_y + L_3 + L_4 \quad (4.1)$$

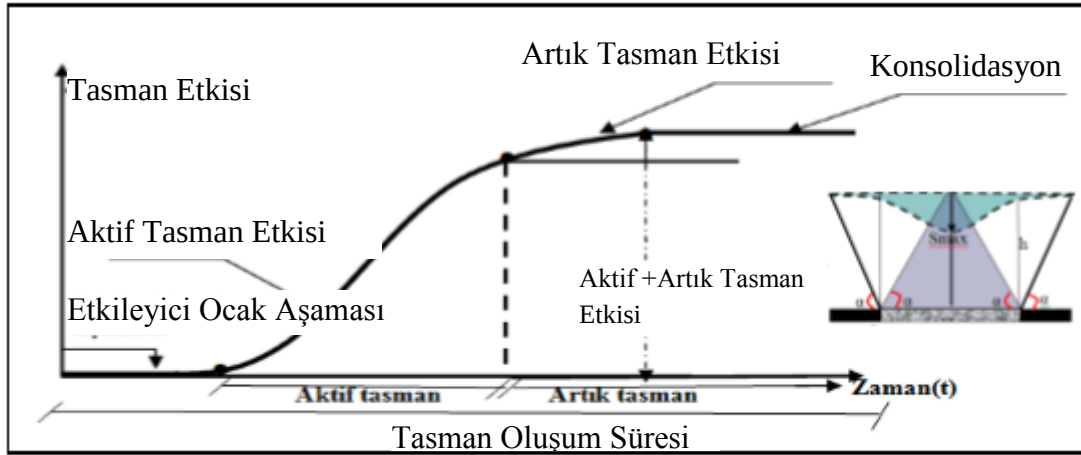
$$b = L_D + (h_A \cot \gamma_A + h_U \cot \gamma_U) = L_D + L_1 + L_2 \quad (4.2)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 4.5 Damar eğim açısına göre tasman sınır açıları (Whittaker and Reddish 1989).

Bir noktanın etki ocağı içinde sürdürülen üretimin durması ya da üretimin etki alanı sınırları dışına çıkması anına kadar o noktada meydana gelen tasman aktif, etki alanı dışına çıkmasından sonra meydana gelen tasman ise artık tasman olarak adlandırılır. Bu iki tasman toplamına ise o nokta ile ilgili kalıcı tasman denir. Bir üretimde %80–90 arasında aktif tasman meydana gelirken %10-%20 oranında da artık tasman etkisi oluşmaktadır (Kuşcu 1987). Şekil 4.6 da aktif ve artık tasman oluşumunun zamana bağlı olarak oluşum süreçlerini içeren grafik verilmiştir.



Şekil 4.6 Bir yerüstü noktasındaki aktif ve artık tasman etkilerinin zamana bağlı gelişimi (Can ve Akçın 2010).

4.4 ETKİLENME BÜYÜKLÜĞÜNE GÖRE MADEN OCAKLARININ TANIMI

Yatay ve eğimli damarlarda sürdürülen madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan hareketlerin büyüklükleri ve sonuçları üretim boşluğunun boyutları ve derinlikleri ile yakından ilgili olmaktadır. Yeraltında belirli bir derinlikte yapılan üretimin boyutları belirli bir büyüklüğe ulaşmadan ocağın tasman etkileri yeryüzüne ulaşmaz. Yeraltında yapılan bir üretimin etkilerinin yeryüzüne ulaşması için çalışılan ocağın etkileyici ocak boyutuna ulaşması gerekmektedir.

Teorik anlamda, belirli bir derinlikteki bir yeraltı üretiminin bir yerüstü noktasına etkisinin ulaştığı (tasman küvetinin oluşmaya başladığı) üretim aşaması, söz konusu ocak için o derinlikteki etkileyici ocak olarak tanımlanır ve bu aşamadaki ocak boyutları da etkileyici ocak boyutları olmaktadır. Yeryüzündeki etki boyutlarına göre ocaklar üçe ayrılmaktadır.

1. Kritik altı (dar) Ocak: Etkileyici ocak boyutlarına ulaşan bir üretimde üretim boşluğu giderek artar, ancak yeryüzünde ulaşabileceği en büyük tasman boyutuna ulaşmaz ise bu boyutlardaki ocaklara dar ocak denir. Şekil 4.7.a'da eğimli ve düz damarlarda kritik altı ocak görünümü verilmiştir.
2. Kritik (tam) Ocak: Bir yer altı üretiminin etkisi ile meydana gelen zemin hareketlenmesinin ulaşabileceği en büyük değere gelmesi evresindeki durumu kritik ocak olarak adlandırılır. Tam ocak durumundaki üretim merkezindeki en şiddetli çökmeye maksimum çökme, yatay kaymanın en büyük değerine de maksimum yatay kayma adı verilir. Şekil 4.7.b'de eğimli ve düz damarlarda kritik ocak görünümü verilmiştir.
3. Kritik üstü (geniş) ocak: Tam ocak evresinden sonrada boyutları artmaya devam eden ocak geniş ocak durumu kazanmış olur. Bu durum etki alanının orta bölgesinde tam ocak durumunda ulaşılan en büyük çökme etkisi artmadan devam eder. Şekil 4.7.c'de eğimli ve düz damarlarda kritik üstü ocak görünümü verilmiştir.

4.5 TASMAN HASAR DEĞİŞKENLERİ

Yapılarda oluşan hasarlar, tasmanın yeryüzünde neden olduğu yatay ve düşey deformasyonun bileşkesi sonucu meydana gelen fiziksel sonuçlarıdır. Aşağıda düşey ve yatay hareketlerin etkileri verilmektedir.

4.5.1 Düşey Hareketin Etkisi

Tasmanın düşey hareketi, zemin yüzeyinin orijinal eğriliğini değiştirerek yapıların farklı oturmalarına neden olur. Bu yer değiştirme hareketi ise yapıda, kullanılan malzeme karakteristiğine, yapı türüne ve geometrisine bağlı olarak eğilme ve kayma gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmelerin elastik sınırları aşması durumunda yapıda çatlaklar gözlenir. Eğilme gerilmesinin hakim olduğu kesimlerde (yapının orta kısmında) düşey yönde gelişecek çatlaklar kendilerini "çekme çatlakları" olarak belli ederken, yapının uç kısımlarında ise kayma çatlakları meydana gelir (Yetişen 2007).

Tasman mühendisliğinde eğrilik yarıçapı, yapı ortasında oluşan çökme miktarına bağlı olarak çökme oranı cinsinden;

$$\frac{\Delta}{L_y} = \frac{L_y}{8R_e} \quad (4.3)$$

dir. Burada;

L_y : yapı uzunluğu,

Δ : yapı çökme miktarı ($L_y / 2$ deki)

R_e : Eğrilik yarıçapıdır.

Eğrilik yarıçapı da maksimum tasman S_o cinsinden;

$$R_e = \frac{H_d^2}{S_o} A \quad (4.4)$$

genel formülü ile belirlenir. Burada;

A : ele alınan havza için katsayı

H_d : üretim derinliğidir.

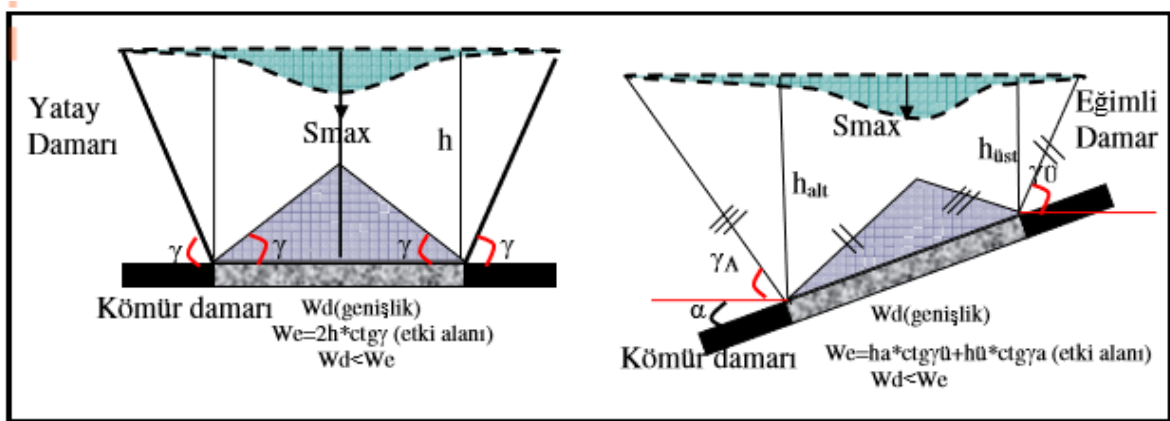
Böylece, H_y yapı yüksekliği olmak üzere, kabul edilen malzeme şartı için birim uzamalar;

$$\varepsilon = \frac{L_y S_o}{A_h \left[\frac{2L_y^2}{H_y^2} + 8 \right]} \quad (4.5)$$

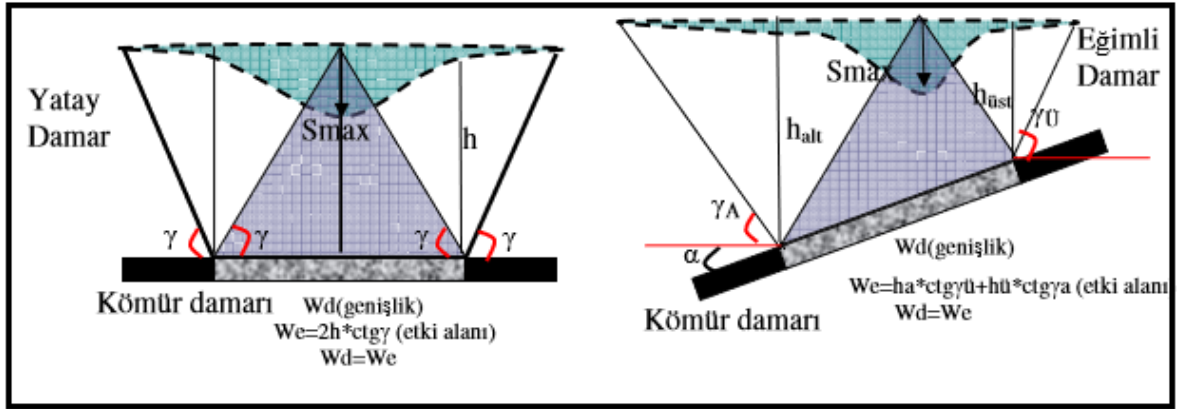
dir. Yeryüzündeki maksimum tasman ise;

$$S_o = am \cos \alpha \quad (4.6)$$

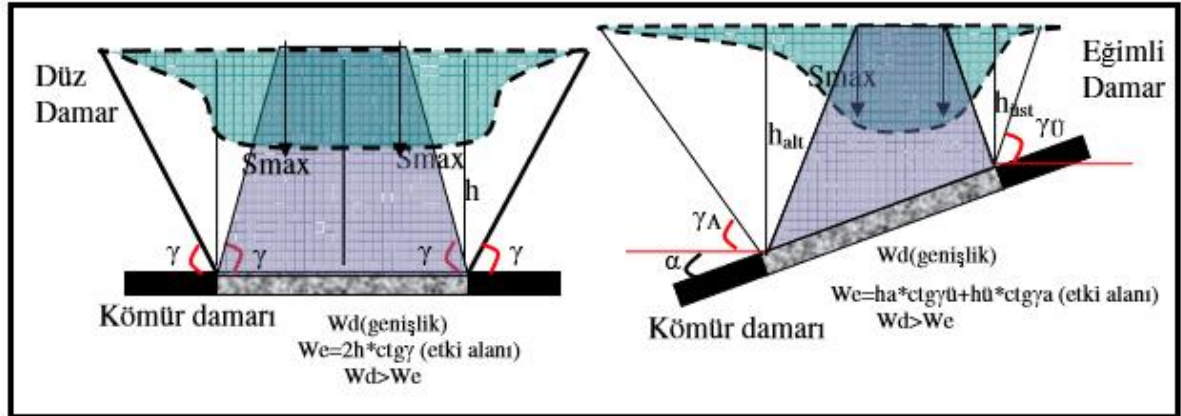
ile elde edilir.



a. Düz ve eğimli damarlarda kritik altı (dar) ocak geometrileri.



b. Düz ve Eğimli damarlarda kritik (tam) ocak geometrileri.



c. Düz ve eğimli damarlarda kritik üstü (geniş) ocak geometrileri.

Şekil 4.7 Yatay ve eğimli damarlarda kritik altı (dar), kritik (tam) ve kritik üstü (geniş) ocak görünümleri (Kuşçu 1987, Sheorey et al. 2000).

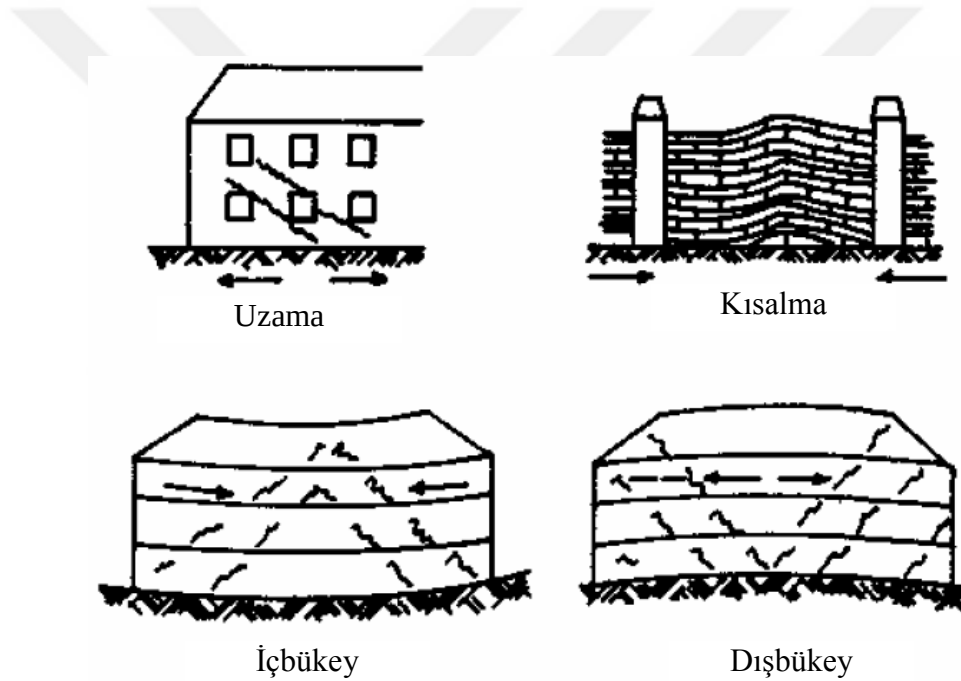
Burada m damar kalınlığı, α damar eğim açısı ve a havza için tasman çökme faktörüdür (Akçın 1993). Tasman çökme faktörü tasman nedeniyle meydana gelecek çökmeyi hesaplamak için işletme yöntemine göre alınan faktördür. Bu faktör 0.1-0.95 arasında değişir. Genellikle hidrolik rambeli (dolgu) işletme yöntemi uygulanan yerlerde 0.1-0.3, Pnömatik rambeli işletme yöntemi uygulanan yerlerde 0.5-0.6, Göçertme yönteminde 0.75-0.95 olarak alınır (URL-3).

4.5.2 Yatay Hareketin Etkisi

Tasman hareketinin yatay bileşeni, zemin yüzeyinin yapı temeline göre göreceli yer değiştirmesine neden olur. Bu yer değiştirme; temel sisteminin, yapı yüklerinin oluşturduğu

deformasyonlar dışında maruz kalacağı en yüksek birim uzama ya da kısalma ile belirlenmektedir. Bu büyüklüğün izin verilebilir deformasyonu aşması durumunda yapı sisteminde çatlak oluşacaktır. Söz konusu büyüklük yapı temeli ile zemin arasındaki hareket sırasında gelişecek sürtünme kuvvetine, temel yapı şekli ve derinliğine bağlıdır.

Zemin hareketleri temelde başlar. Temel, yeterli mukavemete sahip değilse çatlamlar ve kırılmalar meydana gelir. Bu çatlama ve kırılmalar bodrum ve zemin katta yoğunlaşır. Yapılarda zemin hareketlerinin meydana getirdiği karakteristik hasar tipleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Zeminin içbükey eğilme durumunda çatlaklar çan şeklinde olmasına karşılık dışbükey eğilmede (V) şeklinde olmaktadır (Yetişen 2007).



Şekil 4.8 Yapılarda uzama, kısalma ve eğilme hasarları (Yetişen 2007).

4.6 TASMAN KONTROLÜ

Yeryüzünde meydana gelen zemin hareketlerinin büyüklüğü, zeminin cinsi, jeolojik yapısı, nemlilik derecesi ve topoğrafyasına; işletilen damarın büyüklük, kalınlık, eğim ve derinliğine; kömür üretiminde kullanılan yöntem ve işletmenin ilerleme hızı gibi etmenlere bağlı olarak çeşitlilik gösterir.

Yeraltı maden üretim bölgelerinde, uygulanabilecek bazı yöntemler ile tasmanın kontrol altında tutulması söz konusu olabilmektedir. Bu yöntemlerin ele alınmasıyla, oluşacak olan tasman birim şekil değiştirme değerlerinin, yapı tesislerinin zarar görmeyeceği sınırlar arasında tutulması olasıdır. Ayrıca bu yöntemlerin uygulanmasıyla tasman hareket büyüklüklerinin değişimi yavaş ve daha az etkili bir şekilde meydana gelmektedir. Bu yöntemleri,

Üretilen damarda topuk bırakma

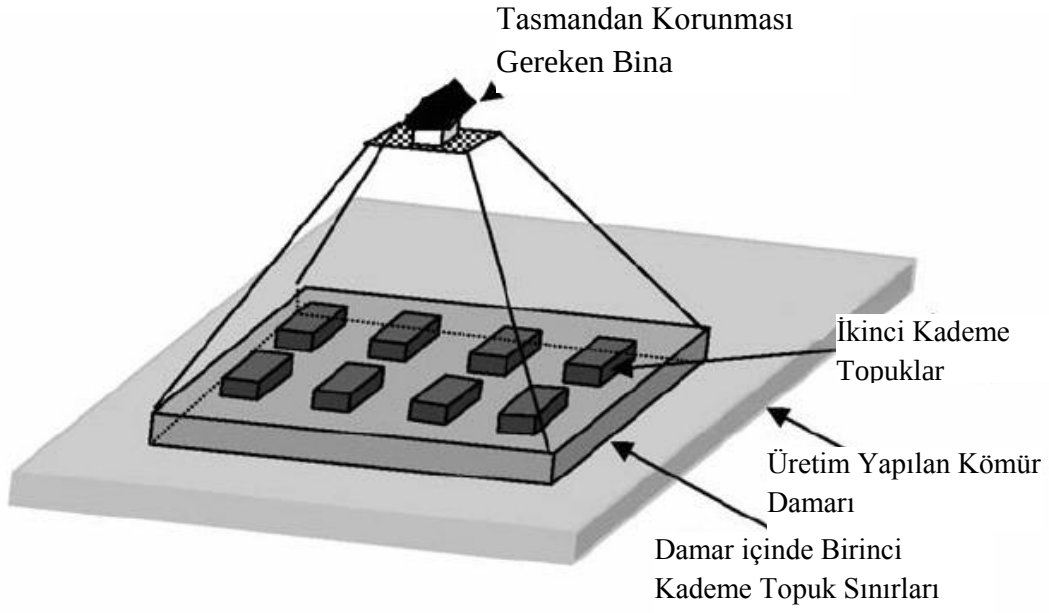
Oda topuk uygulaması

Dolgulu (rambleli) üretim

Harmonik üretim

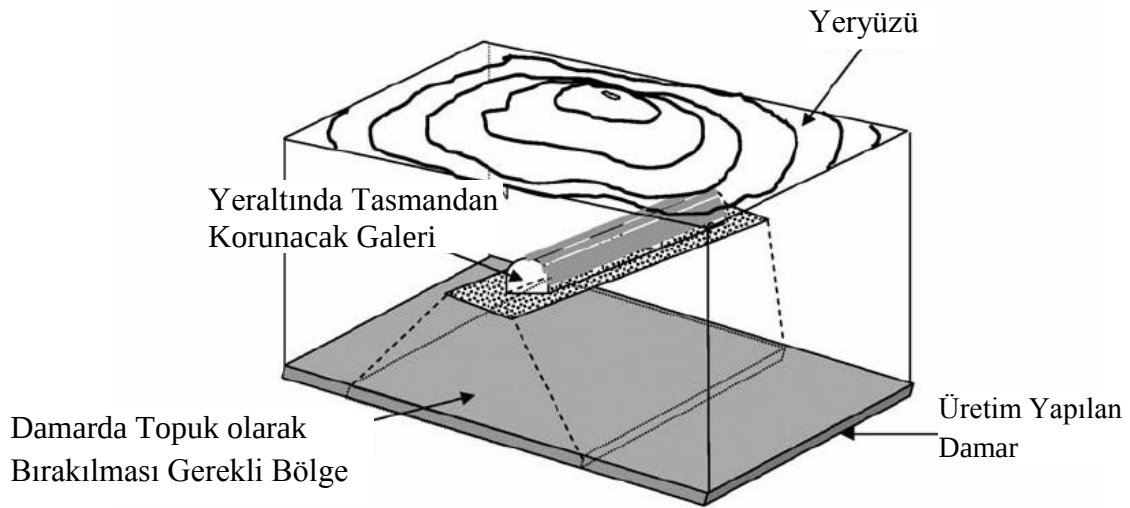
şeklinde sıralayabiliriz (Luetkens 1957). Bunlardan topuk bırakma, önemli yapıların veya maden sahaları üzerinde bulunan yerleşkelerin korunmasına yönelik en önemli uygulamalardan biridir, ancak bu uygulamada büyük üretim kayıpları söz konusu olmaktadır. Oda - topuk yönteminde daha küçük topuklar bırakarak aradaki boşlukların alınmasıyla üretim sürdürülmektedir. Ancak bu yöntemin de, özellikle eğimli damarlarda uygulanabilirliği kısıtlıdır ve her an tasman riski söz konusudur. Harmonik üretimde ise farklı seviyelerdeki damarların birbirini takip eden aralıklardaki üretim panolarında senkronize uygulama gerçekleştirerek, her iki panodaki göçük mekanizmalarının yeryüzüne ulaşmadan katmanlar arasında sönmelenmesi sağlanarak yüzey tasmanı önlenmeye çalışılır.

Yukarıda belirtilen yöntemlerden topuk uygulaması dışındaki tüm yöntemler, tasman etkisini bütünüyle etkisiz hale getiremez. Bu nedenle topuk bırakma madencilikteki etkin çözümlerden biridir. Bir tesisin, maden üretimlerinden etkilenmemesi için damar içinde bırakılan, dolayısıyla hiç çalışılmayan veya çalışılmayacak alana “topuk” denilmektedir (Sanşan 1980). Ancak ilerleyen zamanlarda bırakılan topuklar içinde ikinci kademe topuklar bırakılmak suretiyle oda - topuk yöntemi de uygulanabilmektedir. Şekil 4.9’da yeryüzündeki bir yapının korunmasına yönelik kademeli bir topuk tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Yeryüzündeki bir yapının tasmandan korunmasına yönelik topuk bırakma (Peng 1992).

Topuklar, genellikle yeryüzünde sürekli veya geçici süre korunması gereken bazı mühendislik yapıları ile deniz, göl veya nehirler için bırakılır. Ayrıca madenin yeryüzüne ulaştırılması amacıyla yapılan tesislerin (kuyu, galeri gibi), korunması için de topuk bırakılmaktadır. Bu topuk yeraltındaki diğer damarlar için de geçerli olup, her damar için genişleyerek devam eder. Yeraltı galerileri için bir topuk tasarımı Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 Bir yeraltı nakliyat galerisinin korunması için topuk tasarımı (Peng 1992).

4.7 TASMAN TAHMİN YÖNTEMLERİ

Bir yer altı üretiminin, etki alanının neresinde, ne zaman ve ne oranda tasman etkisine neden olabileceği tasman tahmin yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Yerüstü ve yeraltı yapılarında zararlara neden olan ve zeminin doğal dengesini bozan tasmanın, yeterli bir doğrulukla üretim öncesinden belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için yapılan işlemlere tasman kestirimi (tahmini) ya da tasman kestirim (tahmin) hesapları denilmektedir (Kuşcu 1993; Uzunkavaklı 1990). Tasmandan doğan sorunların çözümlenebilmesi ve tasman kontrollerinin yapılabilmesi için tasman etkilerinin üretim öncesinden belirli güvenilirlikle bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

1800'lü yılların ortasından beri birçok kişi ve kuruluş tarafından geliştirilmiş görgül ve teorik birçok tasman tahmin yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerde ortak amaç modellemeye ve gerekli parametrelere dayalı olarak üretim sonrası zeminin durumunu görebilmektir (Akçın 1995). Tasman tahmin yöntemleri; tasman ölçmelerine dayanan ampirik esaslı yöntemler ile matematiksel modellere dayanan teorik esaslı yöntemler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Ampirik esaslı yöntemler; bir havza veya bir bölgede yapılan çok sayıda tasman ölçüm sonuçlarıyla, ölçmelerinin yapıldığı bölgenin jeolojik özellikleri ve madencilik koşullarının birlikte değerlendirmeleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Fiziksel ve matematiksel yöntemlere dayanan tasman tahmin yöntemleri ise bilgisayar ve laboratuvar ortamlarında tasarlanan modeller üzerinden, teorik testlere dayanılarak gerçekleştirilmektedir (Kuşcu 1993). Tasman tahmin yöntemleriyle tasmanın yatay ve düşey bileşenleri ile diğer parametrelerinin belirlenmesine çalışılır. Elde edilen bu tahmin verileriyle, yerüstünde bulunan doğal ve mühendislik yapılarının zarar görmemesi, denizaltı maden işletmeciliğinde ise su patlaması gibi olaylarla ilgili tehlike sınırına yaklaşmamak için gerekli önlemlerin alınması ve üretim planlamaların yapılması amaçlanmaktadır (Uzunkavaklı 1990).

4.7.1 DeneySEL ve Yarı DeneySEL Yöntemler

DeneySEL yöntemler, tecrübe ve çok sayıda gerçekleştirilecek ölçümlerin detaylı analizlerinin kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu tür tasman tahmin yöntemleri geçmişe ait verilerin olduğu bölgelerde kullanılırken kullanım alanları genellikle kısıtlıdır.

4.7.1.1 Profil Fonksiyonu Yöntemi

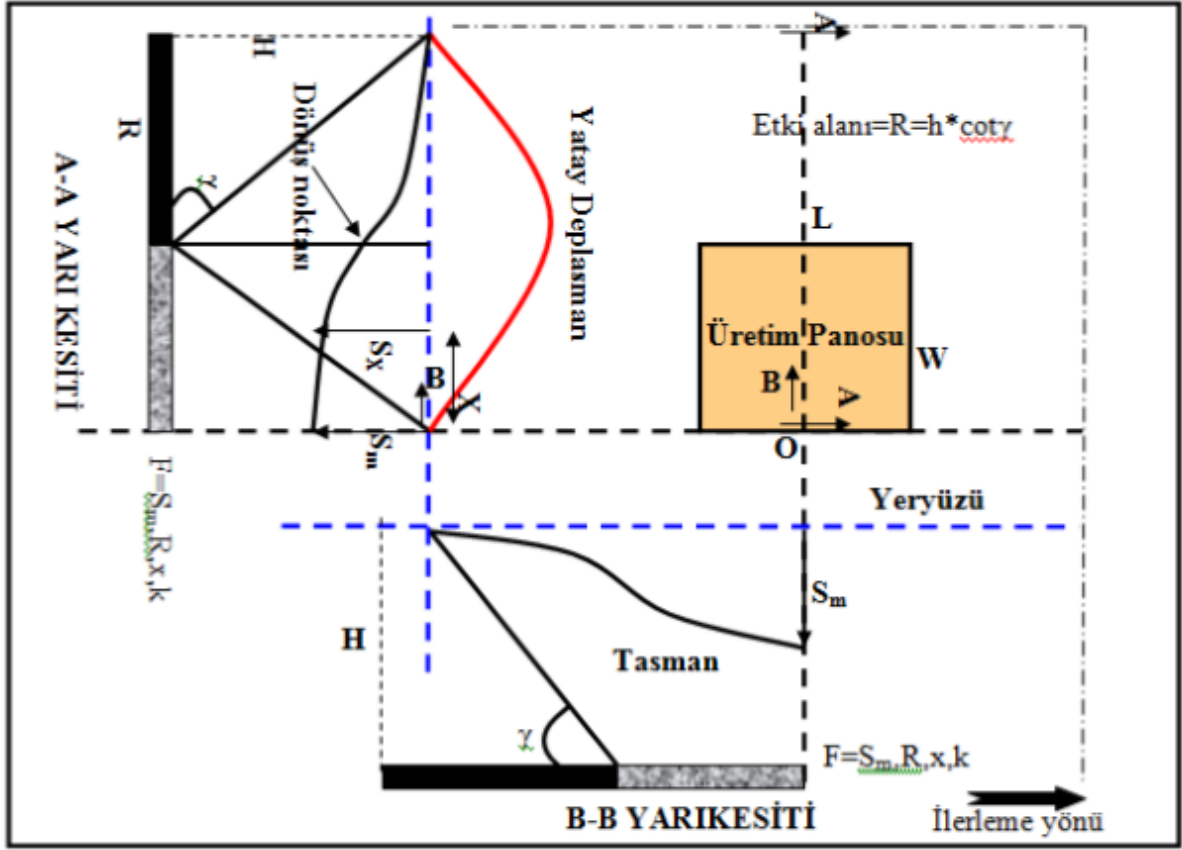
Bir kritik ocakta pano eksenleri istikametinde ortaya çıkacak düşey ya da yatay deplasman değerlerine ait profillerin matematiksel ifadeleri, profil fonksiyonları olarak adlandırılır. Tasman tahmini için oluşturulan profil fonksiyonu;

- Pano merkezinden herhangi bir mesafedeki yerüstünde bulunan bir noktanın çökme değerini (s),
- Kritik ocak boyutunda pano merkezi üstündeki maksimum tasman çökme değerini (S_m),
- Çökme değeri hesaplanacak olan noktanın profil hattı boyunca merkezden olan uzaklık değerini (x),
- Kritik ocak yarı genişliğini (R)
- Ortalama üretim derinliğini (h)
- Tasman sınır açısı değerlerini (γ)

kapsayan $F=(S_m,R,x,k)$ şeklinde bir eşitlik olmalıdır. Şekil 4.11 de kritik bir ocaktaki, tasman tahmini için kullanılan profil fonksiyonları yardımıyla elde edilmiş tasman ve yatay deplasman kesitleri gösterilmektedir. Matematiksel modellerle oluşturulan profil fonksiyonları üretim yapılan bölgede gerçekleştirilecek ölçüm sonuçlarına hem uyum sağlamalı hem de destekler bir şekilde tasarlanmalıdır (Kuşcu 1993).

Profil fonksiyonları dikdörtgen biçimli üretim boşluklarının eksenleri doğrultusunda; pano kenarında, pano merkezinde ve deplasman profillerinin dönüm noktaları gibi belli uzaklıktaki kesimlerde tasman miktarlarını verecek şekilde modellenir (Torano et al. 2000).

Günümüzde dünyada en çok uygulanan profil fonksiyonu yöntemi National Coal Board (N.C.B.) tarafından İngiltere'nin değişik bölgelerinde yapılan ve çok sayıda gözlemlerden faydalanılarak geliştirilmiş ampirik bir yöntem olan Subsidence Engineering Handbook (S.E.H.)'da tanıtılmaktadır. Bu sebeple yöntemin ismi S.E.H. yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde; tasman, yatay deformasyon ve eğim profil değerlerinin belirlenebilmesi ve maksimum tasman değerinin hesaplanabilmesi için hazırlanmış olan abak ve tablolardan yararlanılmaktadır. Bu çizelgeler w/h , L/h (pano genişliği / yükseklik), (pano boyu / yükseklik) oranlarına göre hazırlanmıştır.



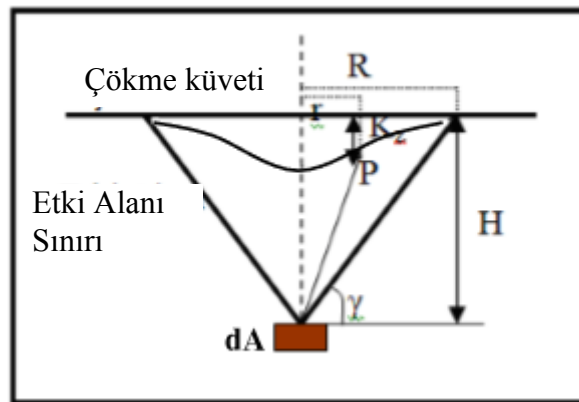
Şekil 4.11 Kritik ocak, tasman ve yatay deplasman profilleri (Kuşcu 1993).

4.7.1.2 Etki Fonksiyonu Yöntemi

Bu metod 1970'lerden sonra geliştirilmiş olup pek çok ülkede tasman tahmininde kullanılmaktadır. Etki fonksiyonu prensibi, tasman küvetinde sonuçlanan sonlu elemanın çıkarımına dayanmaktadır. Karmaşık maden geometrisine uygulanabilir olması, matematiksel olarak doğrulanması, farklı tipteki madencilik durumlarına uygulanabilir olması, zaman faktörünün göz önüne alınabilmesi etki fonksiyonu metodunun üstün yanları olarak sıralanabilir.

Etki fonksiyonu yönteminde etki alanının istenilen herhangi bir noktasındaki tasman parametreleri hesaplanabilmektedir (Kuşcu 1993, Diaz Fernandez 2010). Bu yöntem her türlü pano geometrisine uygun bir yöntemdir (Luo and Cheng 2009). Bu yüzden Zonguldak Taşkömür Havzasında da uygulanabilir bir niteliktedir (Uzunkavaklı 1990, Kuşcu 1993). Bu yöntemde derinliği H olan bir dA elemanının üretimi sonucu yüzeyde çökme küveti oluşur ve çökme kenarlara doğru azalarak limit açılarının sınırladığı noktada sıfır olmaktadır. Çökme değeri merkezden uzaklığa veya sınır açısına göre değişmektedir (Değirmenci 1989,

Uzunkavaklı 1990). Şekil 4.12 de üretim noktası esaslı etki fonksiyonu tanımı gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Üretim noktası esaslı etki fonksiyonu tanımı (Ren et al. 1987).

4.7.1.3 Grafiksel Yöntem

Grafiksel yöntemlerde özellikle İngiliz Kömür havzasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilmiş sonuçlardan geliştirilmiş grafikler kullanılmaktadır. Bu grafiklerde üretim derinliği, pano genişliği ve damar kalınlığına göre en büyük tasman bulunur. Bulunan bu değer ile yatay ve düşey deformasyon değerleri kestirilir.

Nümerik yöntemler, tasman tahminini için sayısal yaklaşımlar gerçekleştirme prensibine dayanmaktadır. Tasman kestirim teknikleri arasında en kesin ve karmaşık olan sayısal yöntemler, sonlu elemanlar yöntemi, ayrık elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve sınır elemanları yöntemi olarak dört sınıfa ayrılmaktadır.

4.7.2 Analitik Yöntemler

Nümerik yöntemler, tasman tahminini için sayısal yaklaşımlar gerçekleştirme prensibine dayanmaktadır. Tasman kestirim teknikleri arasında en kesin ve karmaşık olan sayısal yöntemler, sonlu elemanlar yöntemi, ayrık elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve sınır elemanları yöntemi olarak dört sınıfa ayrılmaktadır.

4.7.2.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, homojen ve lineer olmayan yapı davranışlarını ve karmaşık maden geometrilerini tanımlayabilmektedir. Çalışma bölgesinin yapısal analizi, bölgenin stres altında olması ve yer değiştirmesi nedeniyle, bölgeyi özgün yapısal parçalara bölerek gerçekleştirilir. Yer değiştirme miktarı stres seviyesine ve bölgenin yapısal özelliklere bağlıdır. Sonlu elemanlar yöntemi süreksiz deformasyonların analizi için çok uygun bir yöntem değildir (Hacıosmanoğlu 2004).

4.7.2.2 Ayrık Elemanlar Yöntemi

Ayrık elemanlar yöntemi blok halindeki kaya kütlelerinin süreksiz sistemini tanımlamaktadır. Büyük göreceli hareketlerin, blok ayrılmalarının söz konusu olduğu deformasyon yapılarının modellenmesi için uygundur. Bu nedenle süreksiz deformasyonların belirlenmesinde bu yöntem kullanılabilmektedir (Hacıosmanoğlu 2004).

4.7.2.3 Sonlu Farklar Yöntemi

Çeşitli diferansiyel denklemlerin kapalı çözümleri elde edilemediğinde kullanılan sayısal ve yaklaşık bir yöntem olan sonlu farklar yöntemi lineer olmayan büyük gerilimli deformasyonlar için kullanılır (Ergün ve Kumbasar 2003, Hacıosmanoğlu 2004).

4.7.2.4 Sınır Elemanları Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemine alternatif olarak geliştirilen ve integral denklemler yönteminden türetilen, klasik sınır integrali yöntemleri ile sonlu elemanlar kavramlarının bileşimi olarak tanımlanabilen sınır elemanları yöntemi, jeolojik süreksizliklerin nispeten az olduğu durumlar için uygundur (Kükner ve Tapkan 1999, Hacıosmanoğlu 2004).



BÖLÜM 5

HEYELAN VE TASMAN DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde, inceleme alanının heyelan hareketlerine duyarlılıkları ve tasman etki alanlarının belirlenmesi irdelenmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesi için eğim, arazi durumu, jeoloji, bakı, yola olan uzaklık ve yükseklik parametreleri kullanılmıştır. Duyarlılık analizinde kullanılan yöntemler çok ölçütlü karar analizi (multi-criteria decision analysis) ve benzerlik oranı (likelihood ratio) yöntemleridir. Tasman tesir alanlarının belirlenmesi ise Python programlama dili ile geliştirilen bir bilgisayar kodu yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

5.1. KOZLU HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Kozlu İlçesi, Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, Zonguldak İli, Kozlu Belediyesi idari sınırları içindedir. Kozlu ilçe sınırları, 41-27 K. enlemleri ile 31-49 D. boylamları arasında yer almaktadır. İlçe sınırları içerisindeki alan 1063 hektar olup, ayrıca 1832 hektar büyüklüğünde mücavir alana sahiptir (Çizgi Şehir Planlama 2009). Kuzeydoğusunda Zonguldak ili, güneybatısında Ereğli, doğusunda Çaycuma, güneydoğusunda Beycuma ve Devrek ilçeleri yer almaktadır. İnceleme alanının kuzey-kuzeydoğu sınırını kıyı kenar çizgisi oluşturmaktadır. İnceleme alanının sınırlarının yer bulduru haritası Şekil 5.1'de verilmiştir.

İlçe sınırları içinde Merkez, Taşbaca, İhsaniye, Kılıç, 19 Mayıs, Güney, Fatih olmak üzere 7 mahalle bulunmaktadır. Bunun dışında mücavir saha içerisinde Esenköy Köyü (Abaz ve Ilıksu Mevkii), Aşağıçayır Köyü (Değirmenağzı ve Yamaha Mevkii) yer almaktadır.

Kozlu önemli kömür yataklarına sahip bir yerleşim yeridir. 1848 yılına kadar Örencik Köyü sınırları içindeki dere ve dere çevresinde ağaçlık ve sazlık bir yer olan Kozlu, kömürün bulunması ve daha sonra işletmeciliğin başlamasıyla gelişmeye başlamıştır. Günümüzde,

Kozlu yerleşim alanı tamamen dağlık alanlarla kuşatılmıştır. Kozlu, Karadeniz kıyısı ile Kuzey Anadolu Fay Zonu arasında kalan Batı Pontid bölgesinde yer almaktadır. Bölgede kabaca KD-GB uzanımlı dağ sıraları yer alır. Bu bölgedeki dağ sıraları yapısal denetimli olup, aynı doğrultuda uzanan kıvrım ve bindirmeler tarafından kontrol edilmektedir. Bölgede ortalama rakım deniz seviyesine göre 400 m. civarındadır. Bu civarda tüm dereler Karadeniz'e doğru boşalım göstermektedir. Bölgedeki dağ kuşakları Karadeniz'e doğru boşalan akarsu sistemleri tarafından derin bir şekilde yarılmış ve Pontid kuşağını enine kesen derin kanyon vadileri gelişmiştir. Bu büyük vadilerin ikincil kolları ise KD-GB doğrultulu kıvrım ve fayların uzanımına paralel olarak gelişmiştir. Bölgenin aşınım kökenli yer şekilleri esas olarak bu ikincil drenajlar tarafından biçimlendirilmiştir. Batı Karadeniz bölgesinde bozunma çok etkindir. Bölgede kireçtaşları hariç diğer jeolojik birimlerde yoğun bir drenaj ağı gelişmiş olup, dağ kuşağı bu drenaj ağı tarafından oldukça yarılmıştır (Çizgi Şehir Planlama 2009).

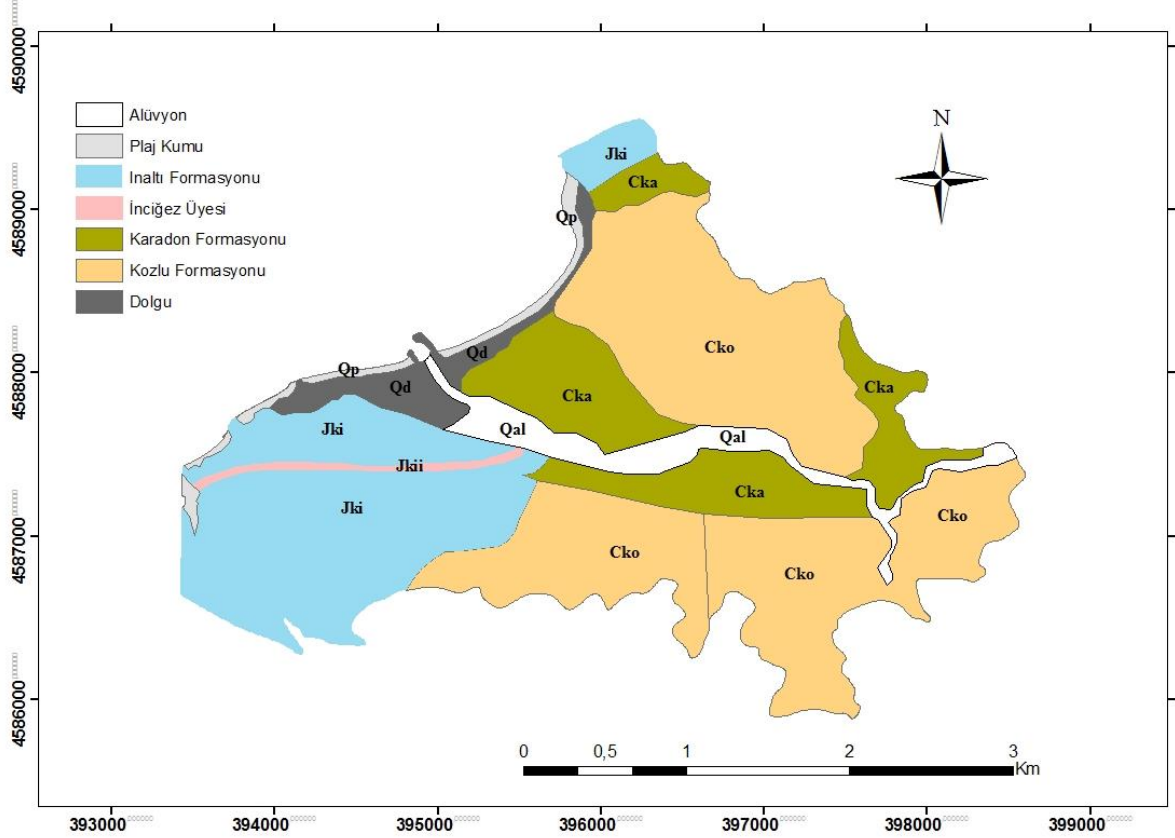
5.1.2 İklim ve Bitki Örtüsü

Kozlu yerleşim alanı Karadeniz İkliminin etkisi altındadır. Her mevsimi yağışlı ve ılık olan Kozlu'da kurak mevsime rastlanılmamaktadır. En fazla yağış sonbahar ve kış mevsimlerinde görülür. Mevsimler ve gece-gündüz arasında önemli bir sıcaklık farkı bulunmamaktadır. Denizden iç kesimlere doğru gidildikçe, iklim biraz daha sertleşir. Yıllık ortalama sıcaklıklarda beldelik genelinde önemli bir farklılaşma yoktur. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ilin en fazla güneşli günlerinin yaşandığı aylardır. Yine bu aylar arasında deniz sıcaklığı ortalama 20 °C düzeyindedir. En çok yağış alan aylar Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak aylarıdır. Yağışlar kıyılardan iç kesimlere doğru gidildikçe hem azalmakta hem de yağmurdan kara dönüşme özelliği göstermektedir.

Ülkemiz ormanları içerisinde zengin bir tür çeşitliliği ile doğal aboretum konumunda olan yöre ormanlarında kayın, meşe, gürgen, kestane, çınar, ıhlamur ve kızılğaç başta olmak üzere % 70'i yapraklı; gürgen, karaçam, sarıçam, kızılçam ve sahil çamı türleriyle % 30'u ibrelili ormanlardır. Her mevsimi yağışlı geçen yörenin yükseklikleri iğne yapraklı (köknar, çam), daha aşağıları yayvan yapraklı (kayın, meşe, kestane, karaağaç, ıhlamur, kavak), akarsu kenarları da kavak, söğüt ağaçlarıyla kaplıdır. Bu ana yeşil dokuyu orman gülü, pırnal meşesi, çobanpüskülü, defne, kocayemiş, kızılçak, kiraz, funda, ayı üzümü, kuşburnu, böğürtlen, dağ çileği, eğrelti otu gibi orman altı bitki örtüsü tamamlamaktadır (Bayer 2003).

5.1.3 İnceleme Alanının (Kozlu İlçesi) Jeolojisi

Bu bölgede Kozlu Formasyonu (Cko), Karadon Formasyonu (Cka) İnaltı Formasyonu (Jki), Alüvyon (Qal), Plaj Kumu (Qp), İnciğez üyesi (Jkü) ve TTK tarafından oluşturulan dolgular (Qd) yer almaktadır. İnceleme alanındaki formasyon sınırlarının dağılımı Şekil 5.2’de, stratigrafik kesiti ise Şekil 5.3 ‘de verilmiştir.



Şekil 5.2 Çalışma alanının formasyon sınırlarının dağılımı (Alan ve Aksay 2002’den değiştirilmiştir).

5.1.3.1 Kozlu Formasyonu (Cko)

Bu birimde litolojik olarak litofasiyes incelemesinde Erdal Kerey’e (1984) göre Kozlu Formasyonunun

- Mikalı karbonatlı kumtaşı
- Orta taneli kumtaşı
- Kaba taneli kumtaşı

- akıllı kumtaşı
- Masif veya yatay katmanlanmış konglomera
- Organik maddece zengin amurtaşı
- Kömür gibi litolojilerin ardalanmasından meydana geldiğini belirtmiştir.

Kozlu formasyonu konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kömür ardışımı olarak izlenir. Kongloremeralar değişik boyutlarda, hemen hemen tümüyle iyi yuvarlaklaşmış, kuvarsit, magmatik, metamorfik, kayaç çakıllarından oluşmuş, kumtaşları inceden-kaba taneliye kadar değişebilmektedir. Kozlu formasyonu Alacağzı Formasyonu üzerinde geçişli olarak yer alır. st dokunağı ise Karadon Formasyonu ile dereceli geçişlidir. Kozlu Formasyonun kalınlığı 700 metreden fazladır (Yergök vd. 1987). Kozlu Formasyonun alt seviyeleri Namuriyen (C)-Yeadonian ile st kısımları Westfaliyen (A) yaşındadır (Yergök vd. 1987).

5.1.3.2 Karadon Formasyonu (Cka)

Karadon formasyonu çok değişik litolojiden meydana gelir. Karasal konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kömür ve bazı refrakter killeri (şiferton) bu istif içerisinde yer alır. Karadon Formasyonunun st kesimleri organik maddelerce zengin kiltaları, içerisinde ateşe dayanıklı tuğla yapımında kullanılan Şiferton bulunmaktadır (Yergök vd. 1987). Dokanakları genellikle faylıdır. Bu faylanma boyunca yer alır. Zonguldak dolaylarında tabanda Kozlu Formasyonu ile tedrici geçişlidir. Kozlu-Zonguldak yolunda st dokanağında, Zonguldak Formasyonunun İnaltı yesi yine tektonik olarak yer alır. Karadon Formasyonun kalınlığı 300-400 metredir. Karadon Formasyonun yaşı Westfaliyen (A) (st), (B), (C)'dir (Yergök vd. 1987). Birim, tektonik etkinliğin olduğu örgülü akarsu ortamında ekelmiştir. İnce kömür damarları, tektonik etkinliğin geçici duraksamalarını yansıtır (Kerey 1984).

[illegible]

Şekil 5.3 Kozlu beldesi'nin stratigrafik kesiti (Alan ve Aksay 2002).

5.1.3.3 İnaltı Formasyonu (Jki)

İnaltı formasyonu taban seviyelerindeki bir bölümü dışında oldukça monoton platform tipi bir karbonat istifi ile temsil edilir. Birim sarp tepeler oluşturmaları, açık rengi, belirgin tabakalı görünümü ve karstik yapısı ile diğer formasyonlardan kolayca ayrılırken üzerinde uyumsuz olarak duran benzer nitelikteki Alt Kretase kireçtaşları ile de kolaylıkla karıştırılabilmektedir.

Litolojisi genellikle kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, konglomera araldanmasından meydana gelir. Konglomeralar çoğu kez monojeniktir. Konglomera çakıllarını çoğu kez Yılanlı Formasyonundan almaktadır. İnaltı Formasyonunun rengi gri, kahverengidir. Karasallaşmanın olduğu yerlerde kızıllaşma mevcuttur. Petrografik özellikleri mikrit, dolomitik kireçtaşı, silisli pelmikrit, biyopelmikrit, oolitik tane taşı, pelmikrit, litoklastik kalsi silttaşı, litoklastik dolotaşı, didolomit, dolomitik kireçtaşı gibi isimler altında toplanmıştır. Çatlaklar spar çimentolu, hamur içerisinde eser halde kuvars taneleri mevcuttur. Yer yer dolomitleşme mevcuttur. Sığlaşma ürünü olan kızıl renkli kumtaşı ve çamurtaşlarında küçük parçalar etrafında FeO zarları bulunmaktadır (Yergök vd. 1987).

Bu formasyondaki tabaka kalınlığı karbonatlı seviyelerde 20 cm ile 80 cm arasında değişmektedir. Ancak tabaka kalınlığı 2-4 m. arasına ulaşan kireçtaşı katmanları mevcuttur. Kumtaşı seviyeleri 10-30 cm arasında konglomera katmanları yine masif katmanlanmalıdır.

İnaltı Formasyonu, Öküşme Dere dolayında Jura-Barramiyen yaş aralığındadır. Üzerine batıya doğru Velibey kumtaşı gelmektedir. Zonguldak yakınlarında her yerde Üst Barramiyen-Alt Apsiyen yaşlı İnciğez Kırıntılı Üyesi yer almaktadır. Kilimli'den daha doğuya doğru ise Öküşne Kireçtaşı Üyesi Apsiyen yaşlı Kilimli Formasyonuna geçiş göstermektedir. Doğu kesimlerde bir stratigrafik eksiklik varmış gibi izleniyorsa da Zonguldak dolaylarında İnciğez Kırıntılısı ve Alt Apsiyen yaşlı Kapuz Kireçtaşı Üyesi ve Kilimli Formasyonu birbirine yanal olarak geçiş göstermektedirler. Karbonatlı fasiyeslerden kırıntılı fasiyeslere doğru geçiş izlenmektedir. İnaltı Formasyonunun yaşı Üst Jura-Barramiyen'dir (Yergök vd. 1987).

5.1.3.4 İnciğez Kırıntılı Üyesi (Jkii)

İnciğez kırıntılı üyesi; konglomera kaba kumtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı araldanmasından meydana gelen bir istifdir. İnciğez Üyesi tabanda tedrici olarak karbonat miktarının azalması kum miktarının artması ile kumlu kireçtaşı seviyeleri ile başlar. Tabanından itibaren oldukça kalın olarak kumlu deritik seviyeleri izlenir. Kumlu kireçtaşı seviyelerinden sonra sık sık birkaç kez çapraz tabakalanma ile boylanma ve derecelenmenin iyi olmadığı konglomeratik seviyeler yer alır. Bu seviyelerin arasında da karbonatlı katmanlar mevcuttur. Üst seviyelere doğru tekrar kil ve karbonatlı seviyelerin artması ile Kapuz Kireçtaşı Üyesine tedrici olarak geçmektedir (Alan ve Aksay 2002).

İnciğez Kırıntılı Üyesinin taban ilişkisinde İnaltı Formasyonunun tedricen karbonatının azalması deritik seviyelerde bir artma ile geçiş izlenmektedir. Üst dokanak ilişkisinde ise olay tersine dönmekte, tedrici olarak detritik seviyeler azalarak karbonatlı seviyeler artmakta ve sonra kireçtaşı olarak, Kapuz Kireçtaşı Üyesi yer almaktadır. Bu üyenin tabaka kalınlığı killi seviyelerde 10-20 cm kumlu kireçtaşı, kumtaşlarında 10-40 cm arasında, konglomera seviyelerinde masif katmanlanma göstermektedir. Konglomeralar çapraz katmanlanma gösterirler. Bu istifde yer alan konglomera seviyelerinin sadece bir tanesinde derecelenme mevcuttur. İnciğez dolaylarında bu üyenin içinde kolaylıkla yanan karbon zenginleşmesi mevcuttur. Bu karbon zenginleşmesi çatlaklar boyunca ve düzlemsel olmaması bakımından oldukça ilginç bir gidiş gösterir. İnciğez Kırıntılı Üyesinin yaşı Üst Barramiyen - Alt Apsiyen zaman aralığındadır. Bu kırıntılı üye Barramiyen sonlarında hızla sığlaşmıştır. Bu sığlaşma yine de sahil çizgisine oldukça yakın bir alanda olmuş sık sık kıvı oksidasyon zonları ile karbonatlı zonların sıkça araldanma göstermesi, kalın konglomeratik çapraz katmanlar ile karbonat araldanması (ancak bazı kısımları gölsel karakter) göstermektedir. Bu devirde Karadon çok fazla malzemenin geldiği hareketli, sıcak, çok sığ ayrıca karbonat oluşumu veren bir kenar resifi koşulları egemendir. Karadan bol malzeme ve kömür kırıntısı gelişi olmuştur. Çakılların oldukça yuvarlaklaşmış olması dalgalar tarafından işlenmiş olduğunu gösterir (Yergök vd. 1987).

5.1.3.5 Alüvyon (Qal)

Kozlu deresi; plaj çökelleri ile griik olarak Kozlu Beldesi içinden denize ulaşmaktadır. Kozlu deresi boyunca ince şerit halinde ve sahil boyunca alüvyon gözlenmektedir.

5.1.3.6 Plaj Kumu (Qp)

Kıyı kesiminde dar bir şerit halinde yer almaktadır. Bentler halinde ve değişik genişlikteki tutturulmamış kumlardan oluşmaktadır.

5.1.3.7 Dolgu (Qd)

TTK tarafından 1960 yılına kadar kent içinde, 1960 yılında deniz kıyısında olmak üzere dolgular kullanılmıştır. Sahil boyunca gözlenen dolgu, kömür üretiminden artık olarak geriye kalan pasa, kül vb. malzemedir. Bu malzeme kontrolsüz doğal süreç içinde sıkışmış, açık koyu gri renkli, organik maddece zengin, heterojen yapıda olup, kum çakıl ve blok boyutunda karışımdan oluşmaktadır.

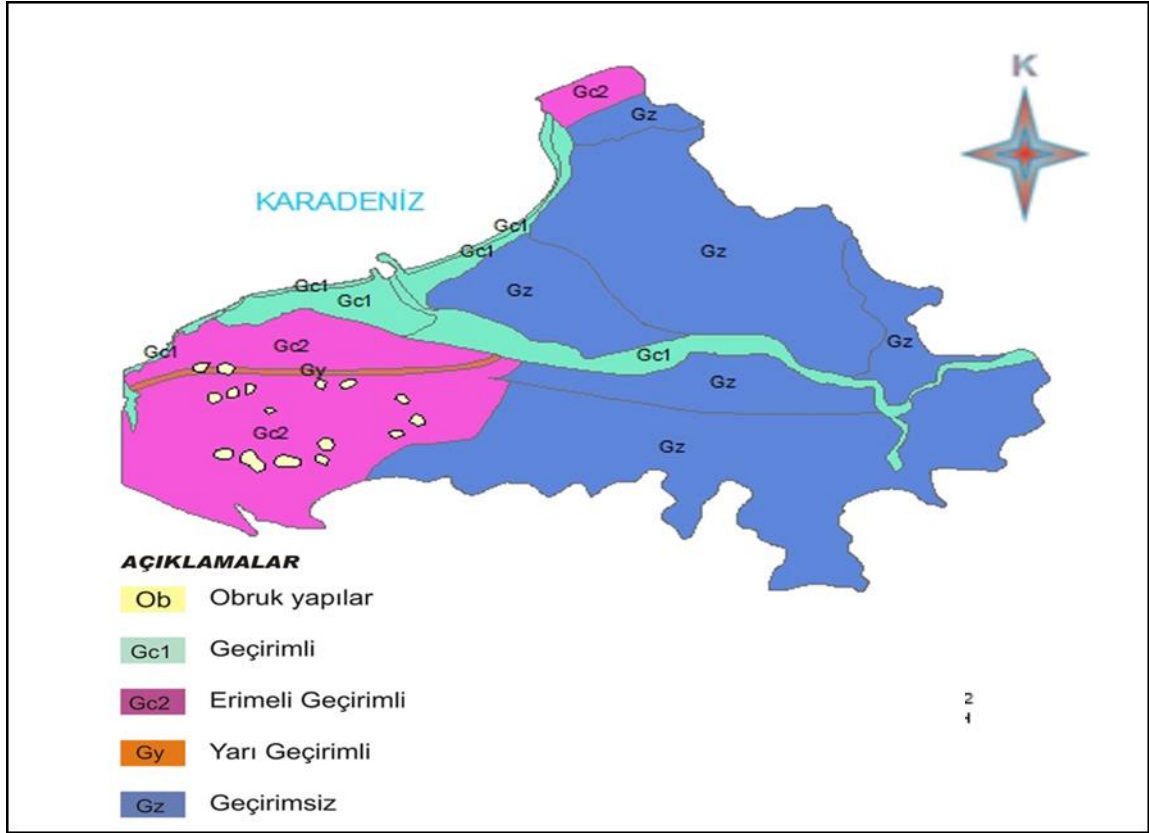
5.1.3.8 Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre geçirimli (Gç1), geçirimli erimeli (Gç2), yarı geçirimli (Gy), geçirimsiz (Gz) birimler olarak sınıflandırılmıştır. Burada geçirimli birimler yani çimentosuz ortamı Alüvyon (Qal), Plaj kumu (Qp) ve Dolgu (Qd) oluşturmaktadır. İnaltı formasyonu (Jki) erimeli geçirimli (erimeli kaya ortamı) birimini, İnciğez Kırıntılı Üyesi (JKii) yarı geçirimli, Kozlu Formasyonu (Cko) ve Karadon Formasyonu (Cka) ise geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Geçirimsizlik özelliklerine göre ayrıtılan birimler hidrojeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 5.4).

Geçirimli Birim-Gç2

Geçirimli erimeli kaya ortamını (Gç2) kumlu, killi ve kırmızı rengi ile karakteristik kireçtaşı istifinden oluşan İnaltı Formasyonu temsil etmektedir. Deniz kenarına paralel bir gidiş gösterir. Taban kısmında konglomeratik seviyelere de rastlanır. Birkaç kez tekrar eden konglomera ve kireçtaşı aralanmasından sonra birkaç kez kırmızı renkli kumtaşı seviyesi gelir. Kısaca İnaltı Formasyonunun litolojisi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve konglomera aralanmasıyla oluştuğundan erime boşluğu ve geniş çatlakları bulunan kalkerler önemli miktarda yer altı suyu taşıyabilir. Ayrıca formasyonda bulunan karstik boşluklar kimyasal olaylar nedeniyle zamanla yer altı drenaj düzenini belirleyici bir olgu taşımaktadır.

Formasyonun böyle erime boşlukları içermesi ve erime özelliğinin olması bu formasyonu geçirgen kılmaktadır.



Şekil 5.4 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası.

Yarı Geçirimli Birim-Gy

Yarı geçirimli ortamı (Gy) oluşturan İnciğez Kırıntılı Üyesi konglomera, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kireçtaşı aralanmasından oluşmuş bir istiftir. Çimentolanmasının oldukça kötü gelişmiş olması geçirgen özelliğini arttırmaktadır. Ayrıca kırıklı ve çatlaklı oldukları ve büyük geometrik boyutlara sahip oldukları zaman yeraltı suyu içerebilmektedir. Arada yer alan ve üst seviyelere doğru artan kiltası seviyeleri ise geçirgen özelliğini azaltmaktadır. Bu da formasyona yarı geçirimli bir özellik vermektedir.

Geçirimsiz Birim-Gz

Geçirimsiz ortamı (Gz) Kozlu ve Karadon Formasyonları oluşturmaktadır. Kozlu Formasyonu kumtaşı, çakıltaşı, masif veya yatay katmanlanmış konglomera, organik maddece zengin çamurtaşı ve kömür litolojilerinin aralanmasından oluşmaktadır. Çakıllar kırmızı renkli

çamurla birbirine tutturulmuştur. Karadon Formasyonu karasal konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kömür ve bazı refrakter killeri içermektedir. Kiltaları Formasyonun üst kesimlerinde de yer almaktadır. Bu geçirgenliğe engel bir durum oluşturur. Kozlu ve Karadon Formasyonları içinde bulunan çakiltaları gevşek tutturulmuş olduklarından akifer özelliği taşıyabilir ancak diğer geçirimsiz birimlerle ardalanmalı olması ve fazla kalınlığa ve yayılıma sahip olmaları nedeniyle geçirimsiz bir ortam oluşturmaktadır.

5.2 HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

5.2.1 Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Veri Katmanları

Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden çok, dikkate alınan parametrelerin etkisinin de önemli bir rolü vardır. Diğer bir ifade ile heyelan oluşumunda etkin olan parametreler doğru seçilirse, üretilecek haritaların, daha temsil edici ve/veya mevcut durumu daha iyi yansıtırıcı özellikte olacağı söylenebilir (Mazman 2005).

Literatüre bakıldığı zaman çalışmaların bütününde jeoloji ve eğim parametreleri hemen hemen bütün çalışmalarda kullanıldığı, yapısal unsurlara (faylara) yakınlık, yamaç yönü, arazi kullanımı/örtüsü gibi faktörlerin de yoğun olarak dikkate alındığı görülmektedir (Akgün 2007).

Coğrafi bilgi sistemli yapılan tüm uygulamalarda en çok vakit ve dikkat gerektiren işlemlerin başında veri üretimi gelmektedir. Veri, üretiminde en fazla zamanın ve işlem gücünün harcandığı bir CBS birleşenidir. Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler bazı veri kaynakları üzerinde işlemler yapılarak türetilen verilerdir.

Çalışmada kullanılan eğim, yükseklik, bakı verilerin üretilmesi için Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) faydalanılmıştır. SYM ve diğer parametrelerin elde edilmesinde ArcGIS 10.2.1 yazılımı ile yazılıma ait modüller kullanılmıştır.

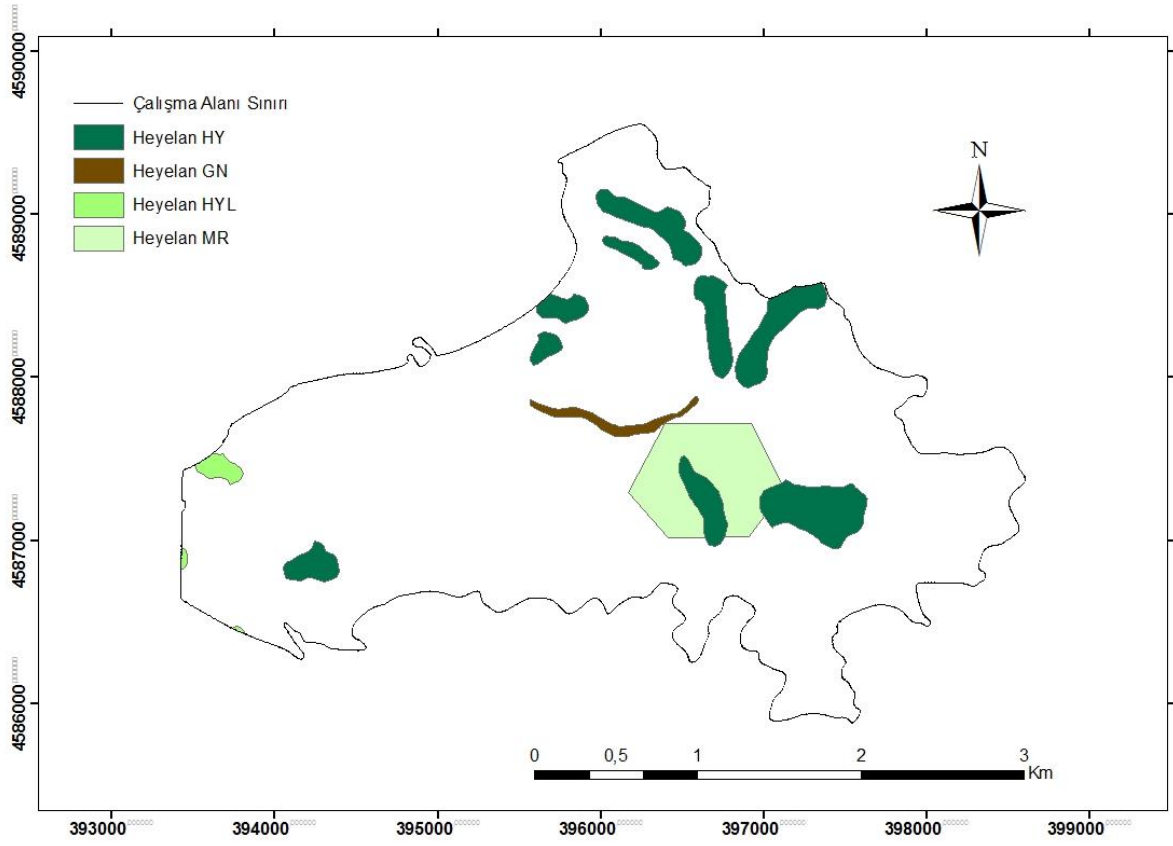
5.2.1.1 Heyelan Envanter Haritası

Heyelan envanteri, bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, aktivitesi ve fiziksel özellikleri gibi konulara ilişkin bilgileri içeren, çoğunlukla bir harita ve bununla ilişkilendirilmiş bir veri

tabanından oluşan veri topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Fell et al. 2008). Ayrıca, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk modellemeleri için temel altlık olmasından ötürü, son derece büyük bir öneme sahiptir. Diğer bir deyişle, yapılacak değerlendirme veya modelleme türü ne olursa olsun, herhangi bir heyelan çalışmasının başlangıç aşamasındaki en önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Aleotti and Chowdhury 1999, Guzzetti et al. 1999).

Bu haritaların hazırlanışında hem niteliksel (kalitatif) hem de niceliksel (kantitatif) analizler kullanılabilir. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin en önemli aşaması, heyelan envanterinin ve heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ilişkin veri tabanının oluşturulmasıdır. Çünkü geçmişe yayılmış hareketlerin yayılımı gelecekteki heyelan bölgeleri için bir ipucudur ve mevcut heyelanlara ait haritalar tehlikeyi tahmin etmeye yardımcıdır. Diğer bir deyişle, yapılacak değerlendirme veya modelleme türü ne olursa olsun, herhangi bir heyelan çalışmasının başlangıç aşamasındaki en önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Çellek 2013). Heyelan envanter haritaları diğer ek haritaların üretilmesi için temel gerekliliktir. Buna rağmen asıl amacı heyelanların dağılımlarını göstermektir.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1997 yılında bölgesel ve ulusal ölçekte heyelan envanter haritalarının oluşturulmasına yönelik olarak başlatılan proje, 2005 yılında tamamlanmıştır. Bu proje ile 1/25000, 1/100000 ve 1/500000 ölçekli heyelan envanter haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada MTA'dan elde edilen 1/25000 ölçekli Heyelan Envanter haritası kullanılmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Çalışma alanının heyelan envanter haritası.

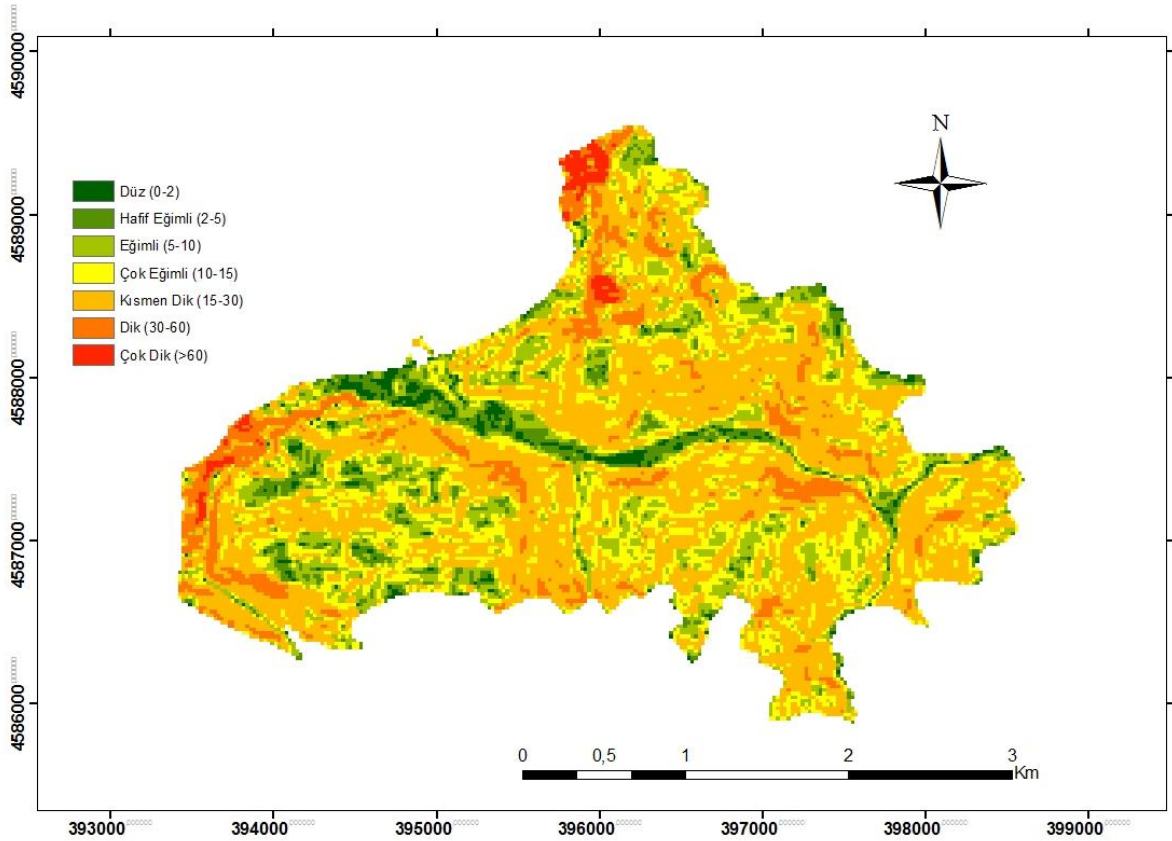
5.2.1.2 Eğim

Eğim, belirli iki nokta arasındaki düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjant açısıyla ifadesidir (Yomralıoğlu 2000). Arazi yüzeylerinin yataydan sapmaları olarak da bilinen eğim, yer bilimleri çalışmalarında diğer bilimlerde de olduğu gibi büyük bir öneme sahiptir. Coğrafi bilgi sistemleri programları aracılığıyla SYM verisinden kolay bir şekilde üretilebilmektedir.

Heyelanların oluşmasına etki eden en önemli topoğrafik faktörlerden biri arazinin eğimidir. Eğimlerin fazla olduğu ve artan sahalarda heyelan riski de artmaktadır. Yamaç eğiminin değişmesi ve buna bağlı olarak, yamaçta bulunan materyalin dengesinin bozulması, heyelanın meydana gelmesinde en önemli faktördür. Yamaç eğiminin artması, kaya bloklarının ağırlığının artmasını sağlar. Böylece yamaç dengesi bozulmaya başlar. Daha sonrada kayma meydana gelir (Öztürk 2002). Yamaç eğimlerinin % 20'yi geçmesi yüzeysel akışın hızlanmasına ve dolayısıyla eğimle uygun olarak, heyelanın şiddetlenmesine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada eğim verisinin elde edilmesi için çalışma alanına ait 10m çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden faydalanılmıştır. Üretilen eğim haritasın da en düşük eğim derecesi 0 ve en yüksek eğim derecesi 83'dür (Şekil 5.6). Eğim haritası, duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere Anonymous 2006 'dan yararlanılarak Düz (0-2), Hafif eğimli (2-5), Eğimli (5-10), Çok eğimli (10-15), Kısmen dik (15-30), dik (30-60) ve çok dik (>60) olmak üzere 7 sınıfa ayrılmıştır.

Eğim ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için eğim haritası ile heyelan envanter haritası karşılaştırılarak da heyelanların eğim sınıflarındaki dağılımlar belirlenmiştir. Çizelge 5.1'de heyelan yoğunluklarının yüzdesi hesaplanırken önce parametre sınıfı içerisindeki heyelanlı pikseller aynı parametre sınıfındaki piksel sayısına bölünmüştür. Bu şekilde her bir sınıf için B/A değeri elde edilmiştir. Bu değerler toplanarak, toplam B/A değeri bulunmuştur. Son olarak her bir sınıf için hesaplanan B/A değeri, toplam B/A değerine bölünerek 100 ile çarpılmış ve heyelan yoğunluğu (%) değeri elde edilmiştir (Ayalew and Yamagishi 2005, Dağ 2007). Benzer işlemler duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılacak olan tüm parametreler için gerçekleştirilmiştir.

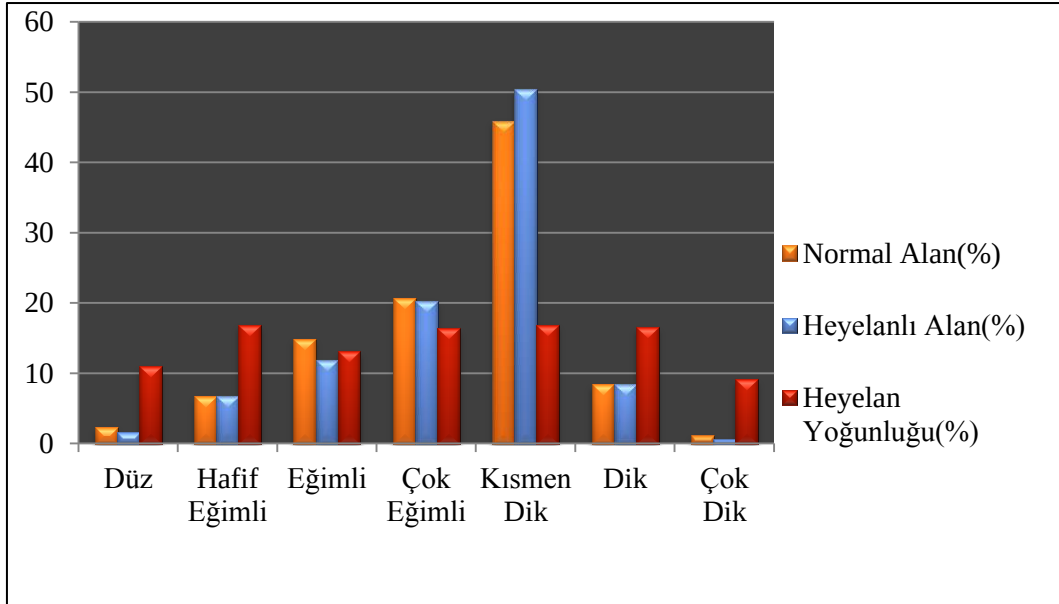


Şekil 5.6 Çalışma alanının eğim haritası.

Çizelge 5.1 Eğim sınırları ve heyelan arasındaki ilişkiler.

Eğim Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Düz	447	2,35	40	1,55	0,66	10,95
Hafif Eğimli	1273	6,68	176	6,80	1,02	16,92
Eğimli	2839	14,91	306	11,83	0,79	13,10
Çok Eğimli	3930	20,63	526	20,33	0,99	16,42
Kısmen Dik	8744	45,91	1306	50,48	1,02	16,92
Dik	1599	8,40	217	8,39	1,00	16,58
Çok Dik	215	1,13	16	0,62	0,55	9,12
Toplam	19047	100.00	2587	100.00	6.03	100.00

Çizelge 5.1’deki değerlerden yararlanarak histogram hazırlanmıştır (Şekil 5.7). Histogram incelendiğinde, inceleme alanı toplam alanın % 90,48’ inin eğim sınıflarının Düz-Kısmen dik arasında olduğu ve mevcut heyelanların yaklaşık % 74,3’ünün bu eğim sınıfları arasında olduğu görülmektedir. Heyelan yoğunluğu (%) değeri dikkate alındığında eğim sınıfları ortalama eşit çıkmıştır. Kısmen dik eğimli alanlar inceleme alanının geniş bir bölümünü oluşturmaktadır. Çok eğimli alanlar ikinci sırayı almaktadır.



Şekil 5.7 Eğim ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.

5.2.1.3 Formasyon

Bölgeye ait zemin özelliklerini gösteren litolojik yapı heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan ana faktörlerdendir (Ayalew et al. 2005, Wang et al. 2009, Dai and Lee 2002). Farklı litolojiye sahip birimlerde su iletim özelliklerinin ve birimlerin kayma gerilimlerinin farklı olması, bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığının da farklı olmasına neden olmaktadır. Farklı duyarlılık değerlerine sahip oldukları için heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynamaktadır.

Litoloji türlerinin geçirgenliği, zemin yapısının zayıflamasına ve yüksek eğimli yamaçlarda toprak direncinin azalmasına neden olmaktadır. Yer yüzeyinin sahip olduğu litolojik formasyon özellikleri, heyelan olaylarının oluşumuna sebep olan en önemli etmenlerden biridir.

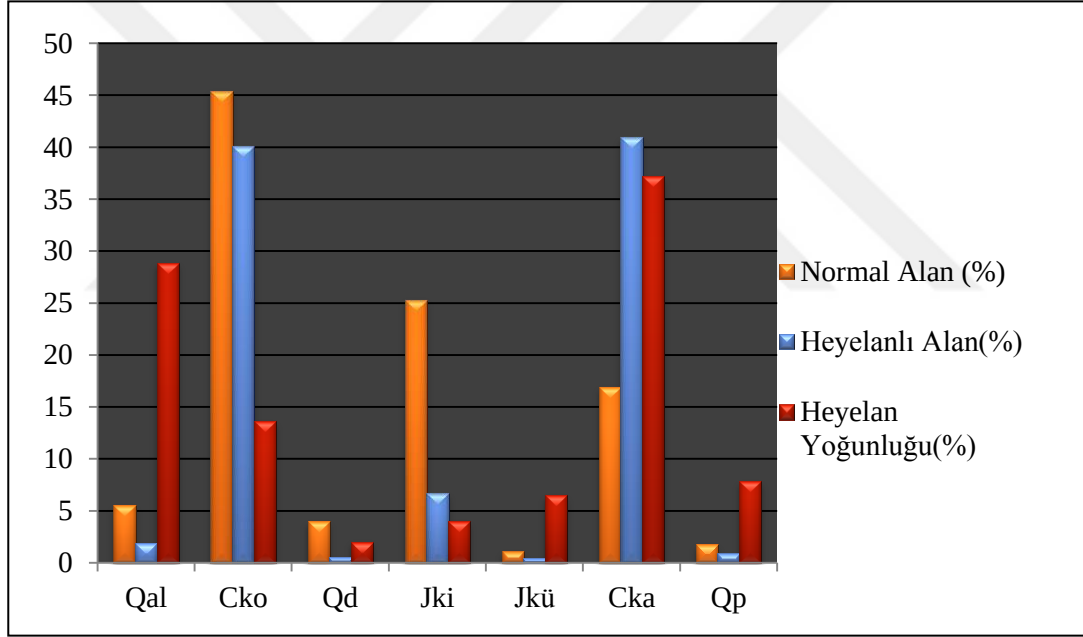
Çalışma alanında; Kozlu Formasyonu (Cko), Karadon Formasyonu (Cka) İnatlı Formasyonu (Jki), Alüvyon (Qal), Plaj kumu (Qp), İncigez Üyesi (Jkü) ve TTK tarafından oluşturulan dolgular (Qd) yer almaktadır. İnceleme alanının %45'ini Kozlu formasyonu, %25'ini İnaltı, %17'sini Karadon, %6'sını Alüvyon, %4'ünü Dolgu, %2'sini Plaj Kumu ve %1'ini İncigez üyesi oluşturmaktadır .

Jeoloji ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için jeoloji haritası ile heyelan envanter haritası karşılaştırılarak litoloji sınıfları ve heyelanların toplam alan içindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Çizelge 5.2).

Heyelan yoğunluğu değerleri ve alansal dağılımlar dikkate alınarak inceleme alanı için histogram hazırlanmıştır (Şekil 5.8). İnceleme alanı için hazırlanan histogram incelendiğinde; heyelan yoğunlukları dikkate alındığında Karadon,(Cka) %37 ile en yüksek heyelan yoğunluğu değerine sahiptir.

Çizelge 5.2 Formasyon sınırları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Formasyon	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Alüvyon	1057	5,55	269	10,40	1,87	28.86
Kozlu	8650	45,41	1038	40,10	0,88	13.58
Dolgu	760	3,99	14	0,54	0,13	2.01
İnaltı	4821	25,31	173	6,70	0,26	4.01
İncigez	201	1,06	11	0,44	0,42	6.48
Karadon	3227	16,94	1059	40,92	2,41	37.19
Plaj Kumu	331	1,74	23	0,89	0,51	7.87
Toplam	19047	100.00	2587	100.00	6.48	100.00



Şekil 5.8 Litoloji ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.

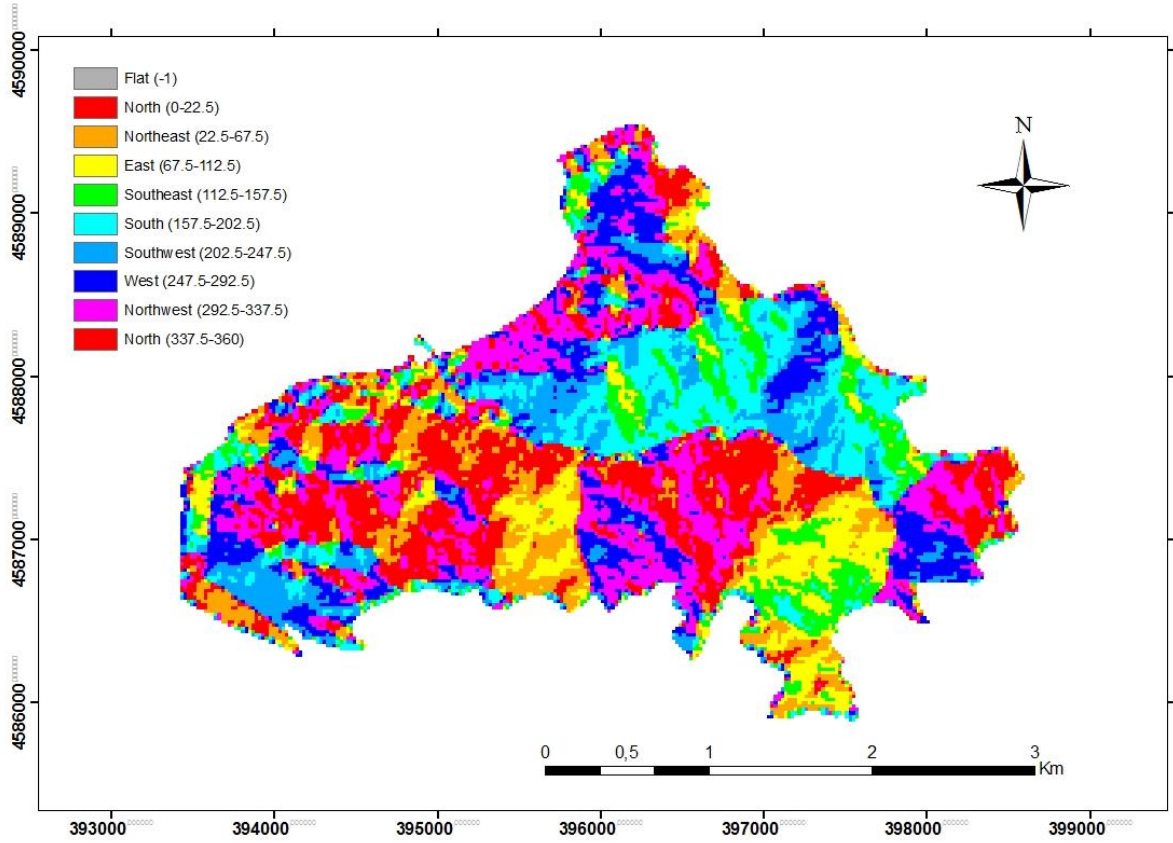
5.2.1.4 Bakı

Yamaç eğim yönü (bakı), adından da anlaşılacağı üzere yamaçların hangi coğrafi yöne doğru geliştiklerini ifade eden bir veri türüdür. Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir.

Bakı faktörü bitki ekolojisi, ormancılık, yer seçimi ve planlama, jeomorfolojik anlamıyla dış süreçlere in direkt nüfuzuyla aşınım ve birikim süreçleri üzerinde etkili olur. Bu etki çoğu

zaman klimatolojik faktörlerin yerel şartlara bağlı olarak (bakı, yükselti vb.) modifiye olması ve sahanın jeomorfolojik eğilimi sonucu karşımıza çıkar. Bu da bilindiği gibi bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir. Heyelan duyarlılığı ile bakının ilişkisi de bu noktada başlar. Literatürde bu konuda birçok araştırma olmasına rağmen, Carrara et al. de (1991) belirttiği gibi heyelanlarla bakı faktörü arasında bir ilişki olmasına rağmen bu konuda fikir birliği sağlanamamıştır. Bu araştırmacılar (Van Westen and Bonilla 1990, Carrara et al. 1991, Koukis and Ziourkas 1991, Anbalagan 1992, Juang et al. 1992, Pachauri and Pant 1992, Maharaj 1993, Mejia-Navarro and Wohl 1994, Gökçeoğlu ve Aksoy 1996, Fernandez et al. 1999, Guzzetti et al. 1999, Luzi and Pergalani 1999, Jakob 2000, Nagarajan et al. 2000) heyelanları ağırlıklı olarak yağışla ilişkilendirirken, Pachauri and Pant (1992) bu durumu sahanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmişlerdir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Fakat burada belirtilmesi gereken en büyük nokta sahanın morfolojik eğiliminin yani trendinin değişiminin iklimik faktörlere nazaran daha düşük dinamizm gösterdiğidir. Bunun en büyük sebebi ise genel morfolojik trendi denetleyen unsurların yapısal unsurlar olması ve varolan eğilimin değişmesi için daha uzun periyotlara ihtiyaç varken iklimik koşulların (yağış, arz radyasyonu, sıcaklık) daha kısa bir sürede değişim göstererek dış süreçler üzerinde etkili olmasıdır. Buna ek olarak bakı koşullarını oluşturan zaten sahanın morfolojik eğilimidir. Bu bakımdan aralarındaki bakı şartlarını oluşturan yapıcı unsurlardan ziyade var olan morfoloji sonucu ortaya konabilecek bakı faktörünün, iklimik parametreleri nasıl modifiye ederek etkilediği ilişkilendirilmelidir. Bu bakımdan yoğun yağış alan ve/veya güneş ışınlarına daha fazla maruz kalan yamaçlarda heyelanların daha yoğun olduğu gözlenebilmektedir. Bu noktada yağış birebir etkin bir süreç olabilir. Örneğin bölgedeki yağış eşik değerlerinin aşılmasıyla heyelanlar meydana gelebilir. Bu anlamıyla yağış karşımıza tetikleyici bir faktör olarak çıkarken, bakı hazırlayıcı faktör olarak çıkar.

İnceleme alanına ait oluşturulan sayısal arazi modeli (SYM), yamaç yönelim değişimi (bakı) verilerinin hesaplanmasında da model oluşturmuştur. Bu değer, heyelan duyarlılık değerlendirmesi aşamalarında çok önemli veri kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında üretilen Bakı haritası (Şekil 5.9), -1° kısım düzlük bölgeleri (deniz, göl, vs.), 0° - 360° aralığı ise $22,5^{\circ}$ 'lik aralıklarda 9 coğrafi yönü kapsamaktadır. düz yüzey (-1°), kuzey (0° - $22,5^{\circ}$), kuzey doğu ($22,5^{\circ}$ - $67,5^{\circ}$), doğu ($67,5^{\circ}$ - $112,5^{\circ}$), güney doğu ($112,5^{\circ}$ - $157,5^{\circ}$), güney ($157,5^{\circ}$ - $202,5^{\circ}$), güney batı ($202,5^{\circ}$ - $247,5^{\circ}$), kuzey ($247,5^{\circ}$ - $292,5^{\circ}$), kuzey batı ($292,5^{\circ}$ - $337,5^{\circ}$) ve kuzey ($337,5^{\circ}$ - 360°) şeklindedir. Minimum değer -1 , en fazla değer 360 derecedir.



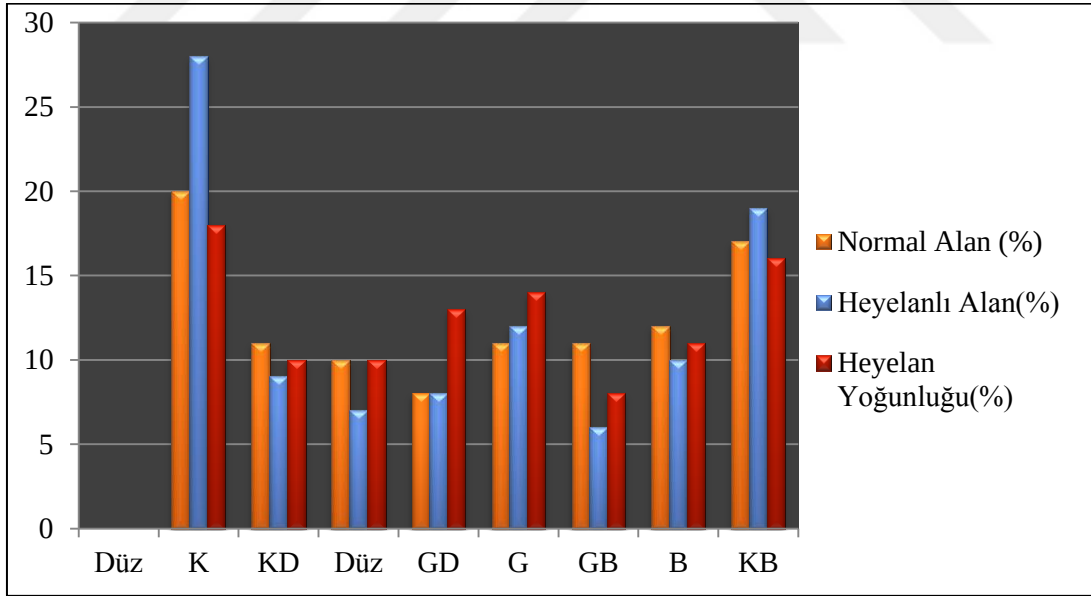
Şekil 5.9 Çalışma alanının yamaç eğim yönü (bakı) haritası.

Çalışma alanında tespit edilen heyelanlar bakı haritası ile karşılaştırılarak farklı bakı yönleri ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir. Üretilen bakı haritasında yamaç eğim yönleri dikkate alınarak 9 farklı eğim yönü (bakı) sınıfı ayrılmıştır. Çalışma alanındaki bakı sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Çizelge 5.3).

Heyelan yoğunluğu değerleri ve alansal dağılımlar dikkate alınarak inceleme alanı için histogram hazırlanmıştır (Şekil 5.10). Histogram incelendiğinde çalışma alanının kuzeye (%20,32) ve kuzeybatıya (%16,73) bakan yamaçların diğer yönlerle oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer şekilde heyelanlı alanların oranı da kuzeye bakan yamaçlarda (%18,57), kuzeybatıya bakan yamaçlarda (%15,52) ve güneye bakan yamaçlarda (%14,46) diğerlerine oranla fazladır. Çalışma alanı içerisindeki heyelanlı alanların yaklaşık % 48.55'si bu üç yönde gelişen yamaçlarda meydana gelmiştir. Heyelan yoğunluklarına (%) göre bakı yönleri değerlendirildiğinde ise kuzey, kuzeybatı ve güneye bakan yamaçlarda diğerlerine oranla fazladır.

Çizelge 5.3 Yamaç eğim yönü (bakı) sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Bakı Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Düz	6	0,03	0	0	0	0
K	3871	20,32	735	28,40	1,40	18,57
KD	2173	11,40	226	8,81	0,77	10,21
D	1819	9,56	182	6,96	0,73	9,68
GD	1525	8,01	198	7,65	0,96	12,73
G	2140	11,24	317	12,25	1,09	14,46
GB	2002	10,51	166	6,41	0,61	8,09
B	2324	12,20	257	9,93	0,81	10,74
KB	3187	16,73	507	19,59	1,17	15,52
Toplam	19047	100.00	2587	100,00	7.54	100,00



Şekil 5.10 Bakı ve heyelanlar arasındaki ilişkilere aithistogram.

5.2.1.5 Yükseklik

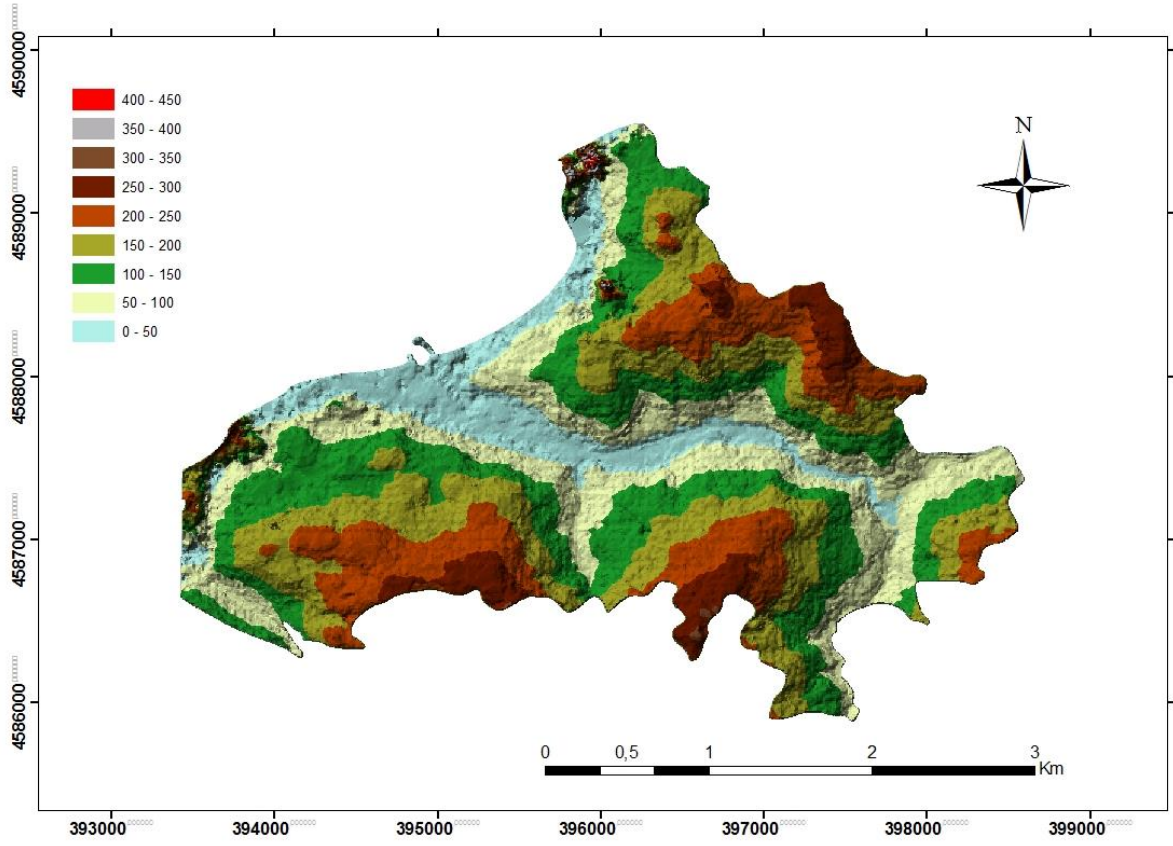
Yükseklik, bir noktanın deniz seviyesi veya lokal bir referans yerinden olan yükseltisi olarak tanımlanabilir. Heyelan riski üzerindeki etkisi tam olarak kesinlik kazanmamış ve araştırmaya

açık konulardan biri ise yükseklik faktörüdür. Bazı bilimsel çalışmalarda yüksekliğin farklı aralıklarda heyelan duyarlılığına etki eden bir faktör olduğu ifade edilmektedir (Dai and Lee 2002). Ayrıca yüksekliğin biyolojik etmenlere ve doğal-yapay unsurlara etki ettiği de bilinmektedir. Bu nedenle yükseklik faktörünün şev durağanlığına ve şev kırılmalarına yol açabilecek etkileri olduğu söylenebilir (Vivas 1992).

CBS analizlerinde yükseklik verisinin kullanılabilmesi için, kesiklilik arzeden bir veriden ziyade, süreklilik gösteren ve yükseklik değerlerinin yüzeylerle ifade edildiği sürekli verilere ihtiyaç vardır. Bu sürekli veri, “Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM) olarak bilinmektedir. DEM verisi ArcGIS 10.2.1 yazılımında “Create TIN” komut menüsü kullanılarak elde edilmiştir. Oluşturulan TIN yüzeyi 10 m çözünürlükte üretilmiştir. Çalışma içerisinde SYM verisinden üretilen yükseklik değerleri 9 adet sınıfa ayrılarak tanımlanmıştır. Üretilen yükseklik haritası Şekil 5.11’de gösterilmektedir.

Çalışma alanında tespit edilen heyelanlar yükseklik haritası ile karşılaştırılarak heyelanlarla arasındaki ilişki belirlenmiştir. Üretilen yükseklik haritasında çalışma alanı yükseklik değerleri farklı olan 9 sınıfa ayrılmıştır. Yükseklik sınıflarının ve heyelanların kapladığı alanlar ile heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Çizelge 5.4).

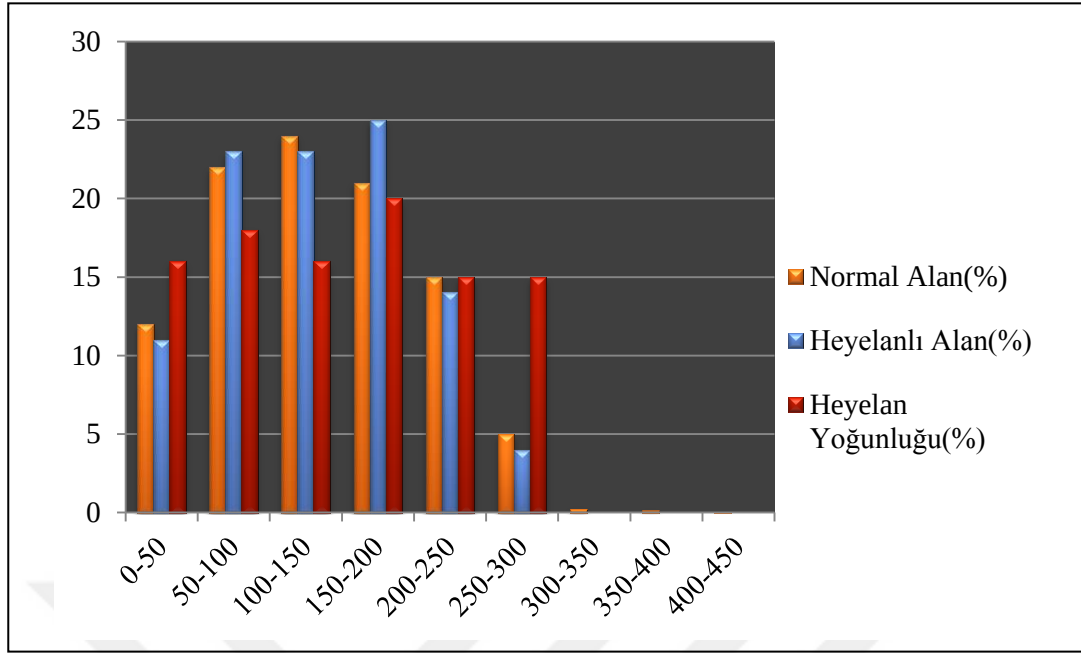
Çalışma alanının yaklaşık %79’lık kesiminin yüksekliği 0-200 m arasında değişmektedir. Çalışma alanında 300 m’nin üzerindeki yükseklikler ise toplam alanın yaklaşık % 1’ini oluşturmaktadır. Heyelanlı alanların sınıflar arasındaki % dağılımları incelendiği zaman, mevcut heyelanların yaklaşık % 34’inin 0-100 m, % 48’sinin 100-200 m yükseklikleri arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.12). Yüksekliğe göre heyelan yoğunluğu (%) değerlendirildiğinde ise 0-300 m yükseklikleri arasında heyelan yoğunluğunun çok yüksek olduğu (% 100) görülmektedir.



Şekil 5.11 Çalışma alanının yükseklik haritası.

Çizelge 5.4 Yükseklik sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Yükseklik Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
0-50	2331	12,24	290	11,21	0,92	15,70
50-100	4140	21,75	584	22,56	1,04	17,75
100-150	4599	24,13	600	23,18	0,96	16,38
150-200	4043	21,22	643	24,84	1,17	19,97
200-250	2891	15,18	359	13,87	0,91	15,53
250-300	964	5,06	113	4,37	0,86	14,68
300-350	48	0,25	0	0	0	0
350-400	25	0,13	0	0	0	0
400-450	6	0,03	0	0	0	0
Toplam	19047	100.00	2587	100,00	5,86	100,00

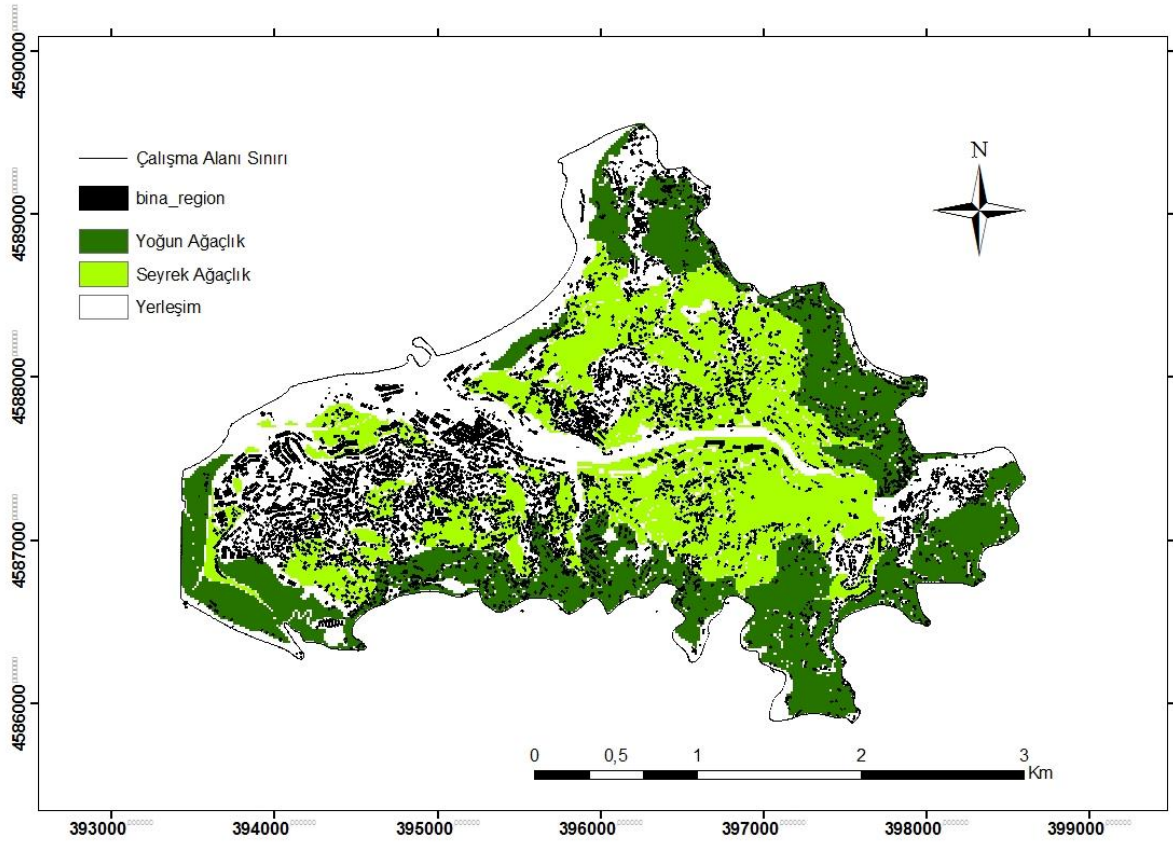


Şekil 5.12 Yükseklik ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.

5.2.1.6 Arazi Kullanım Yoğunluğu

Heyelan duyarlılık analizinde topoğrafik, jeolojik ve diğer tematik etmenlerin yanı sıra, arazi kullanım yoğunluğu ve önemi tartışılması gereken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi kullanım yoğunluğu, heyelan gelişim sürecindeki önemli faktörlerden biri olarak bilinmekte ve zaman içerisindeki değişimi hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile kolayca izlenmekte ve haritalanabilmektedir (Soeters and Van Westen 1996, Süzen 2002).

Arazi kullanım yoğunluğu insan ve doğal etkenlerden kolayca etkilenen ve değişime uğrayan bir özelliğe sahiptir. Önemli değişim süreçlerine sahip toprak hidrolojisini içinde barındıran arazi yoğunluğu heyelan duyarlılığının analizinde dikkate alınması gereken bir faktördür (Yalcin et al.2011). Bölgeye ait genel arazi kullanım yoğunluğunu gösteren tematik harita Google Earth görüntüsünden (GeoEye görüntüleri) elde edilmiştir (Şekil 5.13).



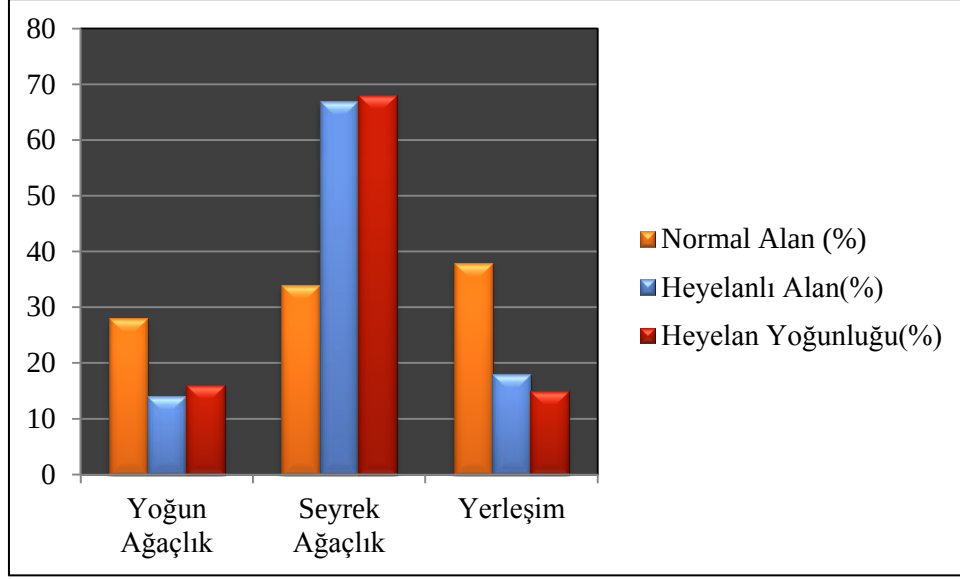
Şekil 5.13 Çalışma alanının arazi kullanım yoğunluğu.

Arazi sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için arazi durumu haritası ile heyelan envanter haritası çakıştırılmıştır ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Çizelge 5.5)

Çizelge 5.5 Arazi durumu sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Arazi Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Yoğun Ağaçlık	5320	27,93	353	13,65	0,49	16,39
Seyrek Ağaçlık	6403	33,62	1776	68,62	2,04	68,23
Yerleşim	7324	38,45	459	17,73	0,46	15,38
Toplam	19047	100.00	2587	100.00	2,99	100.00

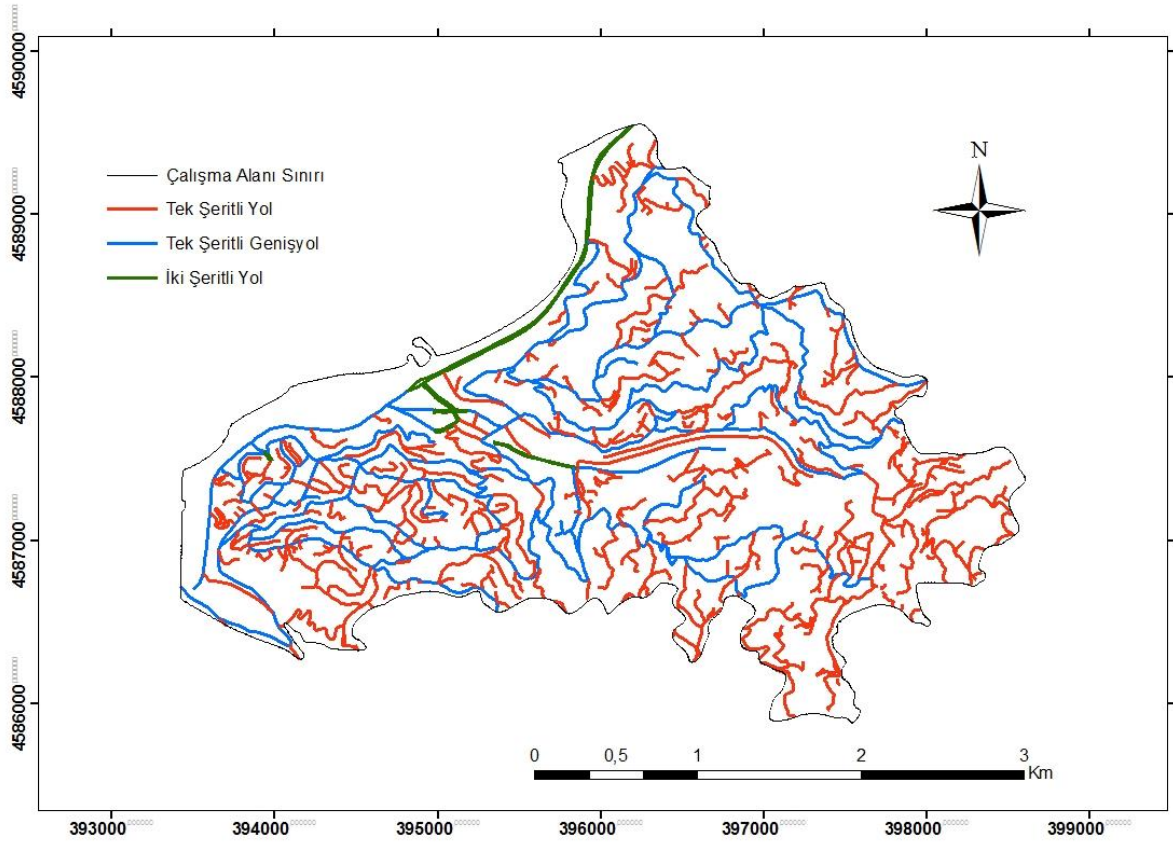
Şekil 5.14’de heyelan yoğunluğu değerleri ve alansal dağılımlar dikkate alınarak inceleme alanı için hazırlanan histogram verilmiştir.



Şekil 5.14 Arazi kullanım yoğunluğu ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.

5.2.1.7 Yola Yakınlık

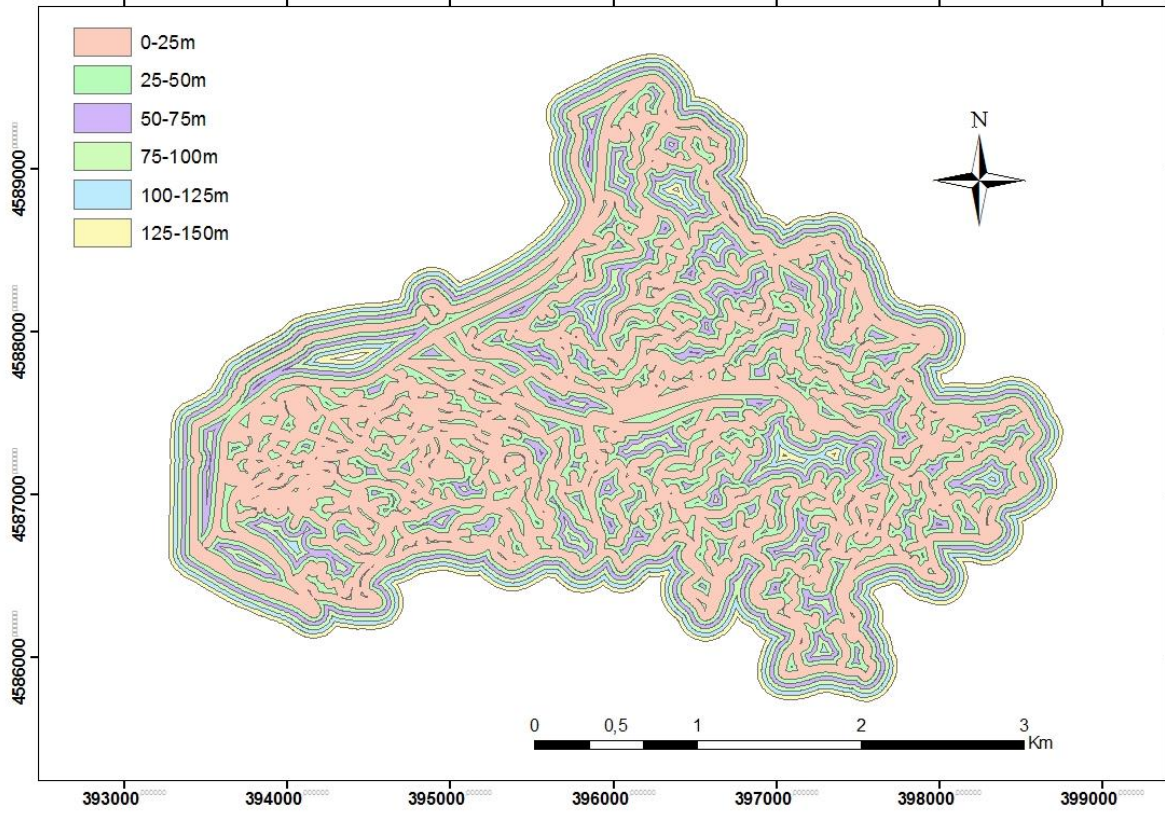
Doğal topoğrafyayı tahrip eden ve yamaçlardaki durağanlığı etkileyen faktörlerden birisi de mevcut yol ağlarının durumudur. Eğimli arazi üzerinde yapılan yollar topoğrafya üzerindeki mevcut durağan yük durumunu bozmakta, topoğrafik değişiklikler ile birlikte yük azalmasına sebep olmaktadır. Yol yapımı öncesi dengede olan yamaçlar, yol yapımı sonrasında yamaç gerisinde gerilim artışına sebep olarak çatlakların meydana gelmesine sebep olur. Oluşan çatlaklar dışarıdan gelebilecek su girişi gibi negatif etkilere maruz kalarak heyelan olaylarını tetikleyebilir (Reis et al. 2009). Çalışma alanındaki yol ağını gösteren harita Şekil 5.15’de sunulmuştur. Yol faktörünün heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin araştırılması için 25 metrelik aralıklarla 0 m ile 150 m arası tampon bölgeler oluşturulmuştur (Şekil 5.16). Bu yol ağı etrafında tampon bölgeler oluşturularak analiz aşamasında kullanılmıştır.



Şekil 5.15 Çalışma bölgesine ait yol ağı haritası

Yola yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için yola yakınlık haritaları ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmış, oluşturan tampon bölgelerin, alanlarının % değerleri, heyelanlı alanlarının % değeri ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Çizelge 5.6).

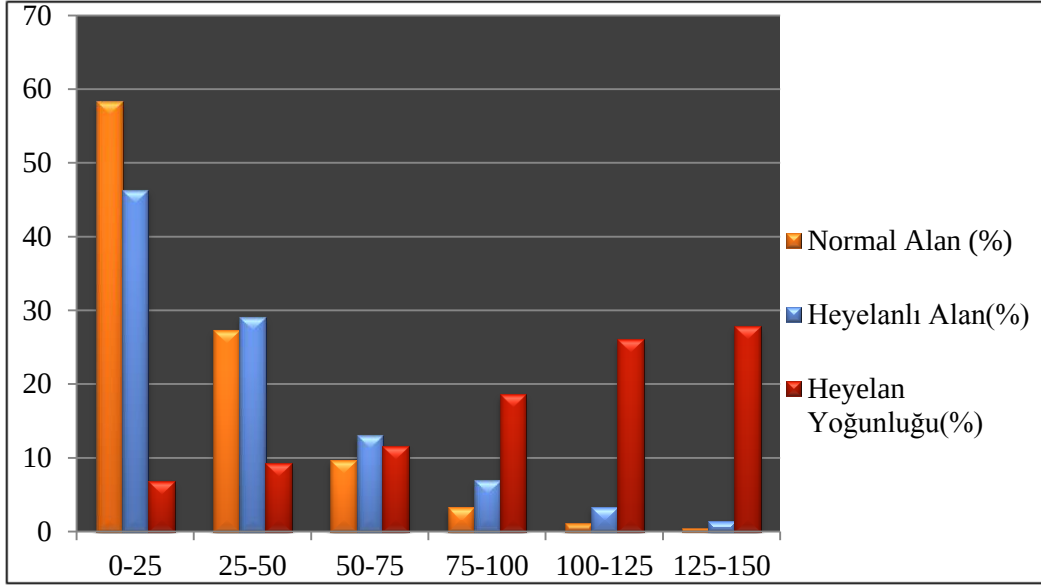
Çizelge 5.6’da hesaplanan değerler dikkate alınarak yola yakınlık sınıflarına ait histogram hazırlanmıştır (Şekil 5.17). Histogram incelendiğinde, inceleme alanının heyelan yoğunluğu dikkate alındığında 125-150 m %27,82 ile en yüksek heyelan yoğunluğu değerine sahiptir.



Şekil 5.16 Çalışma bölgesine ait yol ağı tampon haritası.

Çizelge 5.6 Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Yola Yakınlık Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
0-25	11115	58,35	1199	46,33	0,79	6,80
25-50	5186	27,23	752	29,06	1,07	9,22
50-75	1843	9,68	336	12,98	1,34	11,54
75-100	611	3,21	179	6,92	2,16	18,60
100-125	210	1,10	86	3,32	3,02	26,01
125-150	82	0,43	36	1,39	3,23	27,82
Toplam	19047	100.00	2587	100.00	11,61	100.00



Şekil 5.17 Yola yakınlık ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogram.

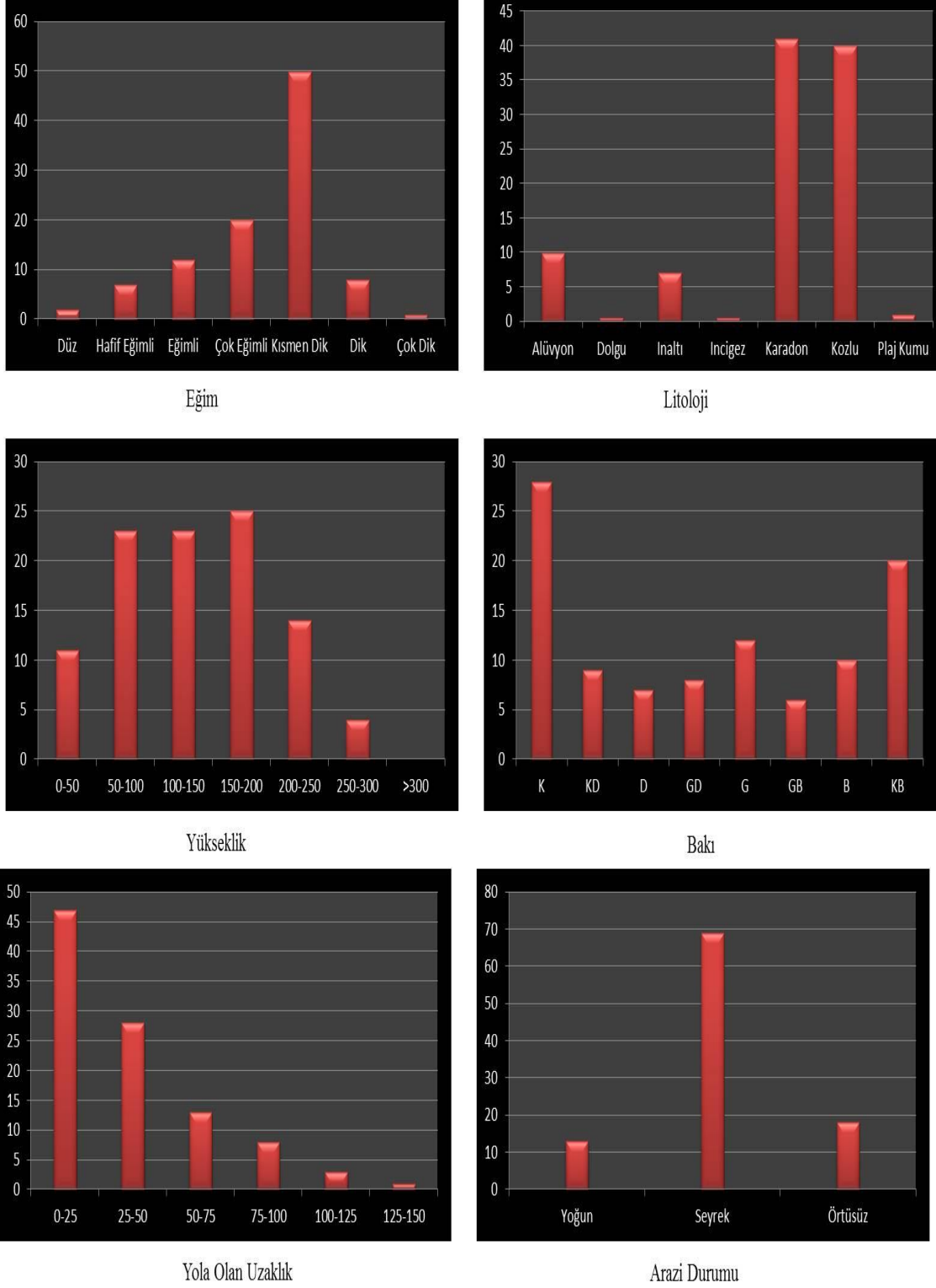
5.2.2 Çok Kriterli Karar Analizi İle Heyelan Duyarlılık Analizi

Çalışmada, heyelan yoğunluğunu dikkate alınarak, her bir parametrenin Heyelan envanter haritası ile ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucunda ağırlık değerleri oluşturulmuş ve AHP analiz yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

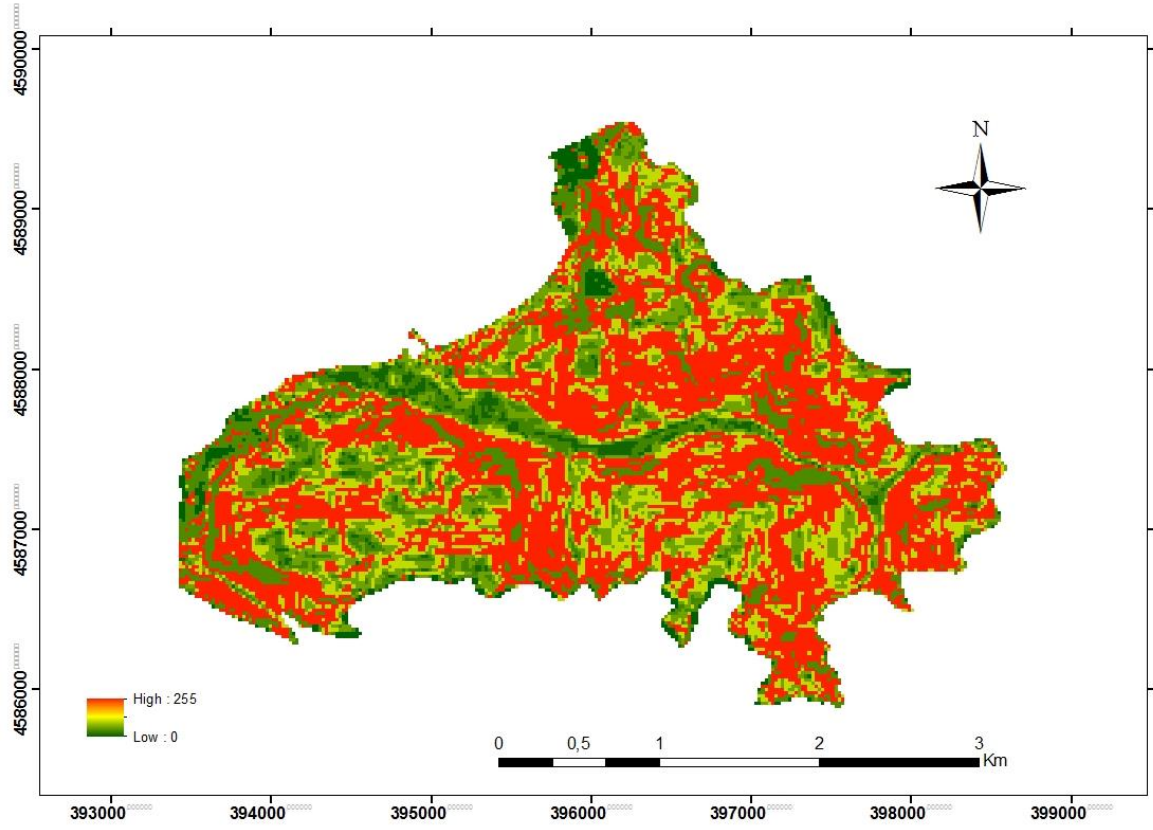
Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, ölçüt katmanları farklı değer aralıklarında ve ölçü birimlerinde olduğundan, ölçütleri bir arada işleme koyabilmek ve birbirleri ile karşılaştırmak için her katman 0-255 aralığında değerler alacak şekilde normalleştirilmiştir. Her bir faktör haritası için heyelana en az ve en çok duyarlı oldukları parametre değerleri dikkate alınarak bulanık küme setleri ile normalleştirme işlemi uygulanmıştır. Bulanık setlerin aralıklarının belirlenmesinde yardımcı olması amacıyla heyelan envanter haritasından faydalanılmıştır. Heyelan envanter haritası ile faktör haritaları karşılaştırılarak her bir faktör için heyelanlara duyarlı oldukları alanlarda frekans değerleri elde edilmiştir Şekil 5.18 de görüldüğü üzere tüm faktörlerin frekans değerleri incelenerek yüzdesel olarak verilmiştir.

Bu değerler ile birlikte karar vericilerin değerlendirmeleri ve literatüre ayrıca başvurulmuştur. Bulanık setler kullanılarak yapılan normalleştirme işlemi sonucu oluşan haritalar, hangi faktörlerin 0-255 aralığında ne kadar heyelan riskine duyarlı oldukları görülmektedir. 0-255 aralığı çizelgesinde 255'e yaklaştıkça yüksek duyarlılık, 0'a yaklaştıkça düşük duyarlılık

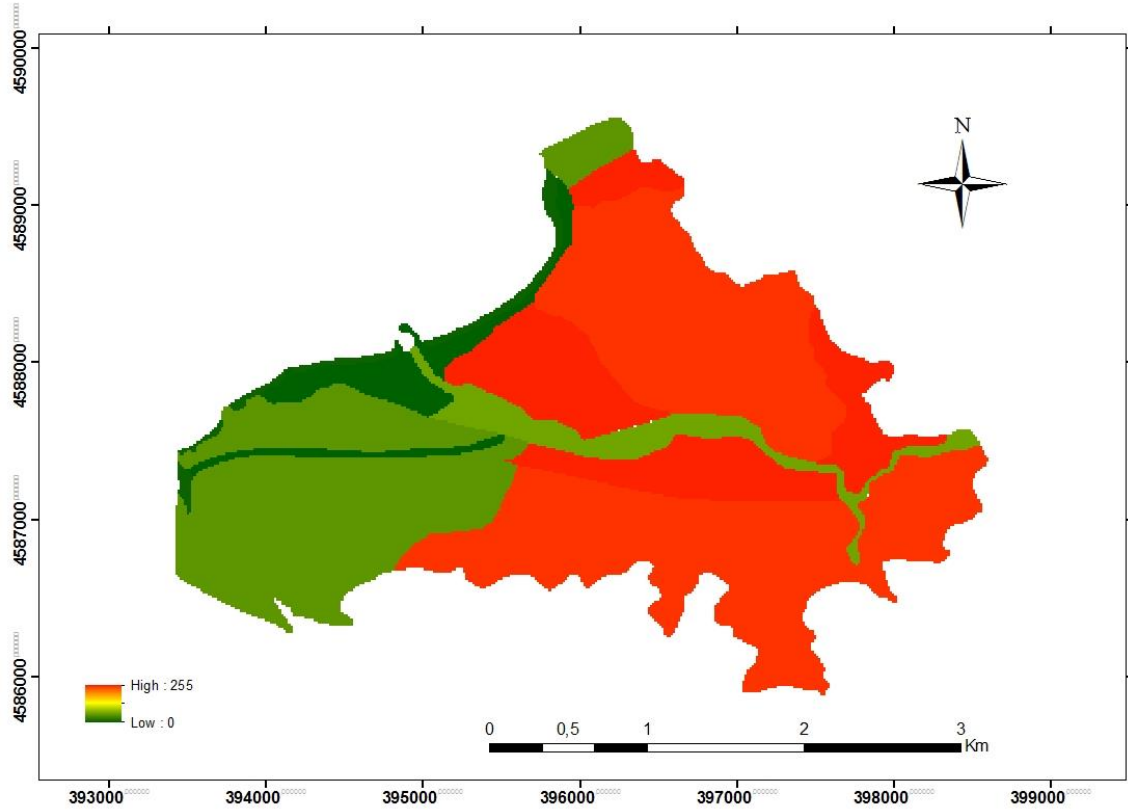
anlamına gelmektedir. Yapılan değerlendirmeler ışığında bulanık set teoremi altı kriter için uygulanmış ve elde edilen sonuçların haritadaki gösterimi Şekil 5.19 ve Şekil 5.24 arasında verilmiştir.



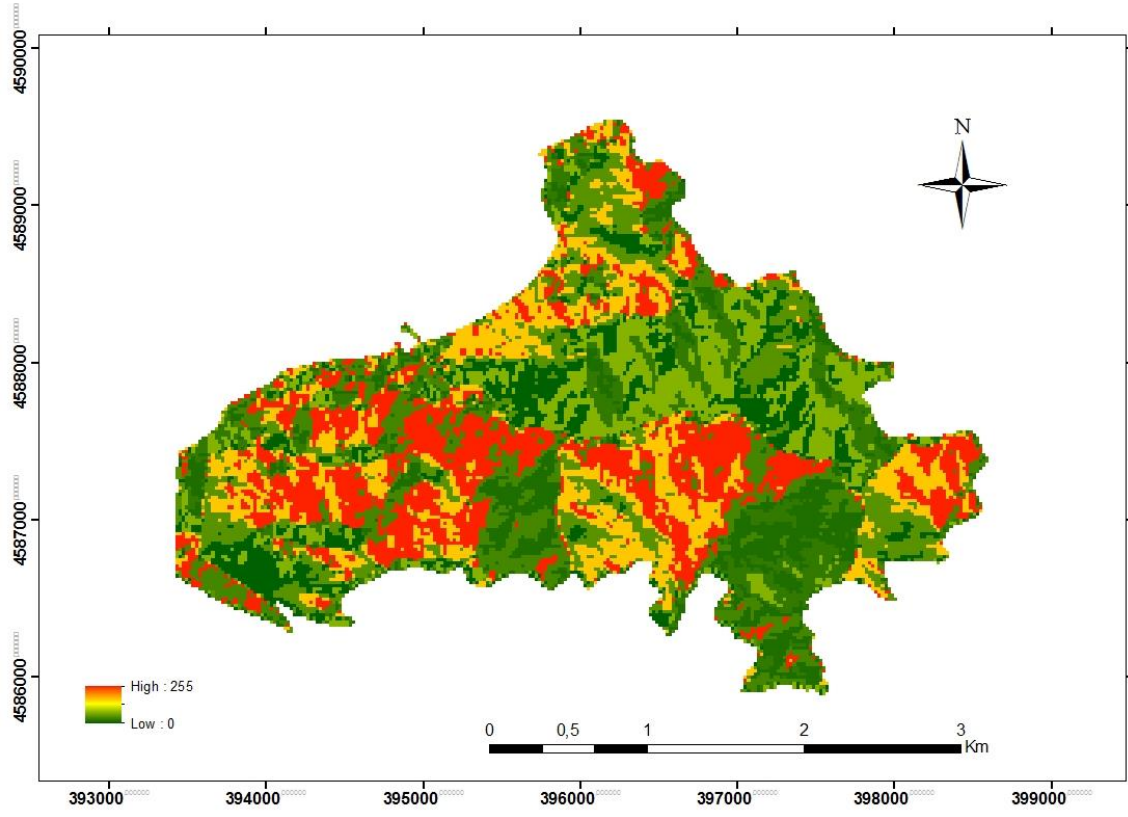
Şekil 5.18 Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörlerin frekans değerleri.



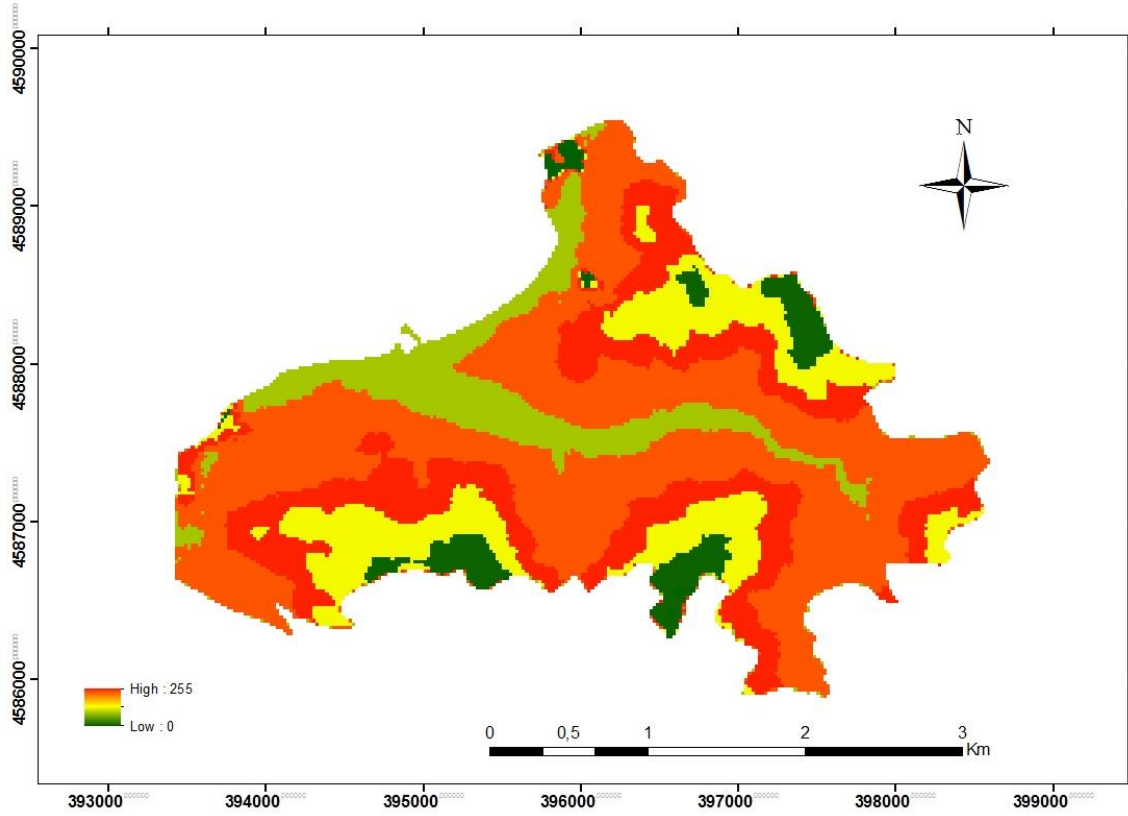
Şekil 5.19 Normalleştirme sonrası elde edilen eğim haritası.



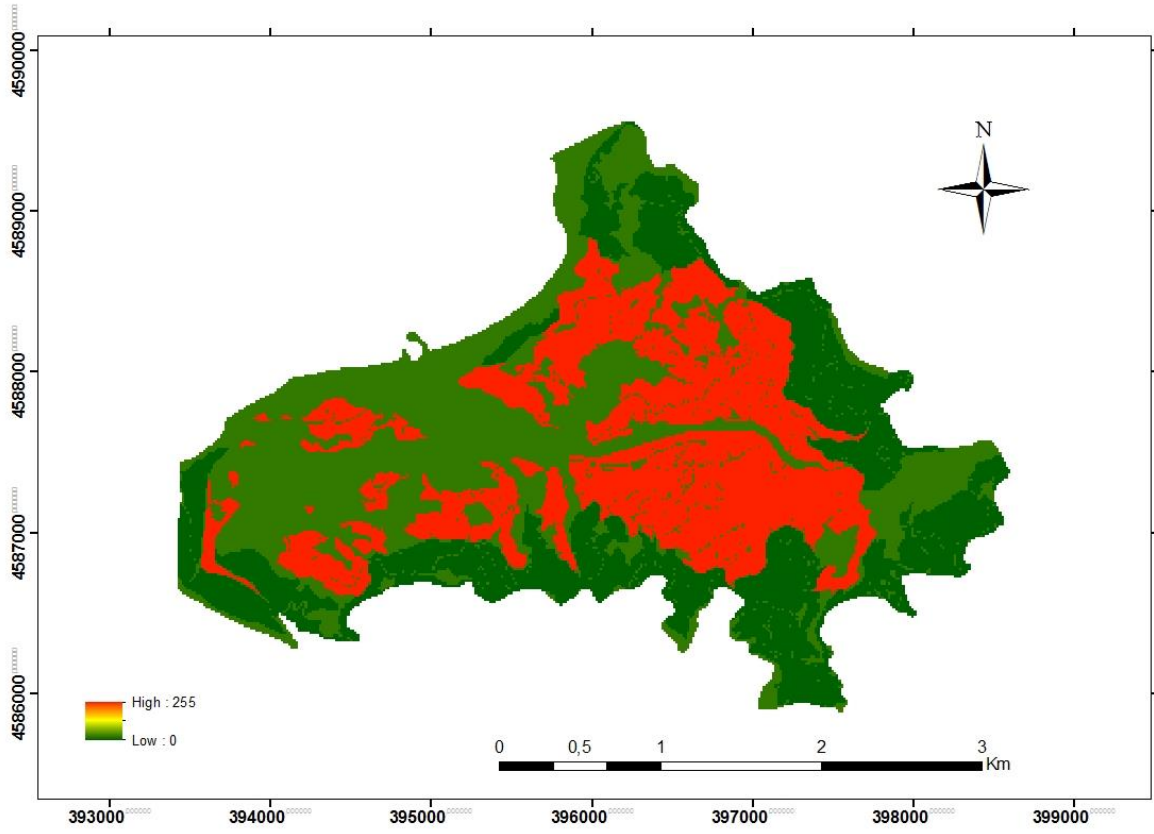
Şekil 5.20 Normalleştirme sonrası elde edilen formasyon haritası.



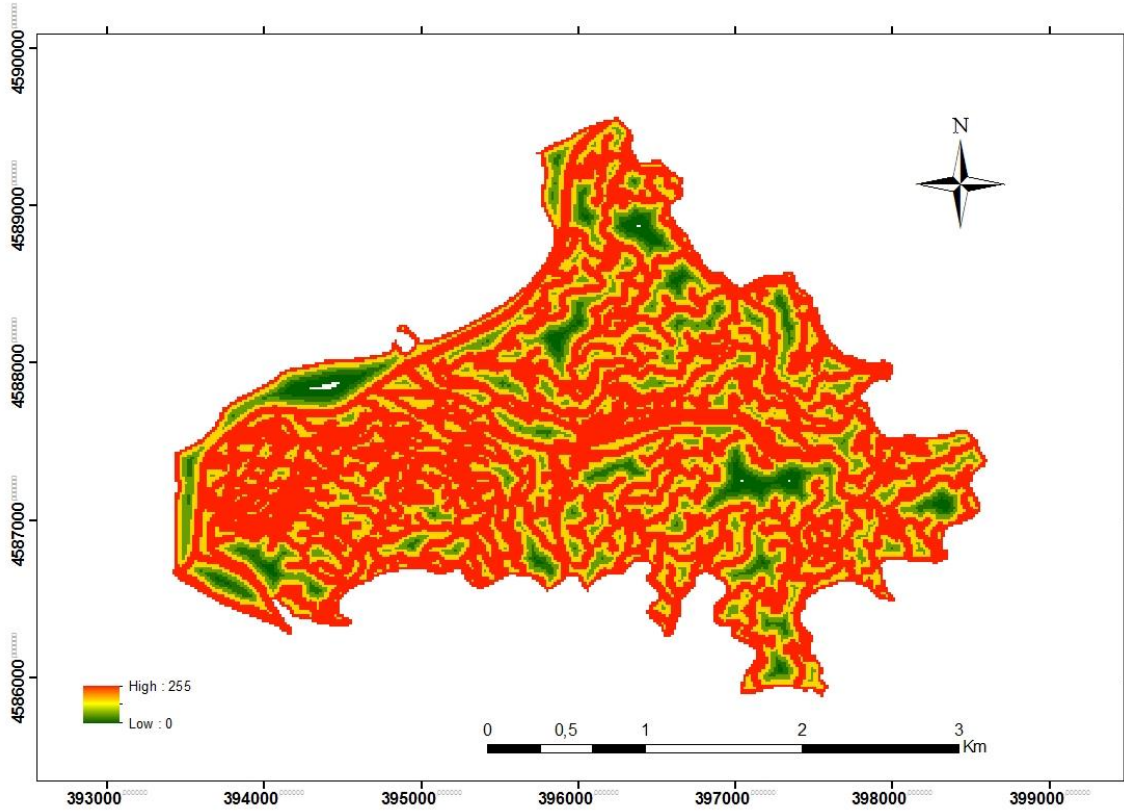
Şekil 5.21 Normalleştirme sonrası elde edilen bakı haritası.



Şekil 5.22 Normalleştirme sonrası elde edilen yükseklik haritası.



Şekil 5.23 Normalleştirme sonrası elde edilen arazi durumu haritası.



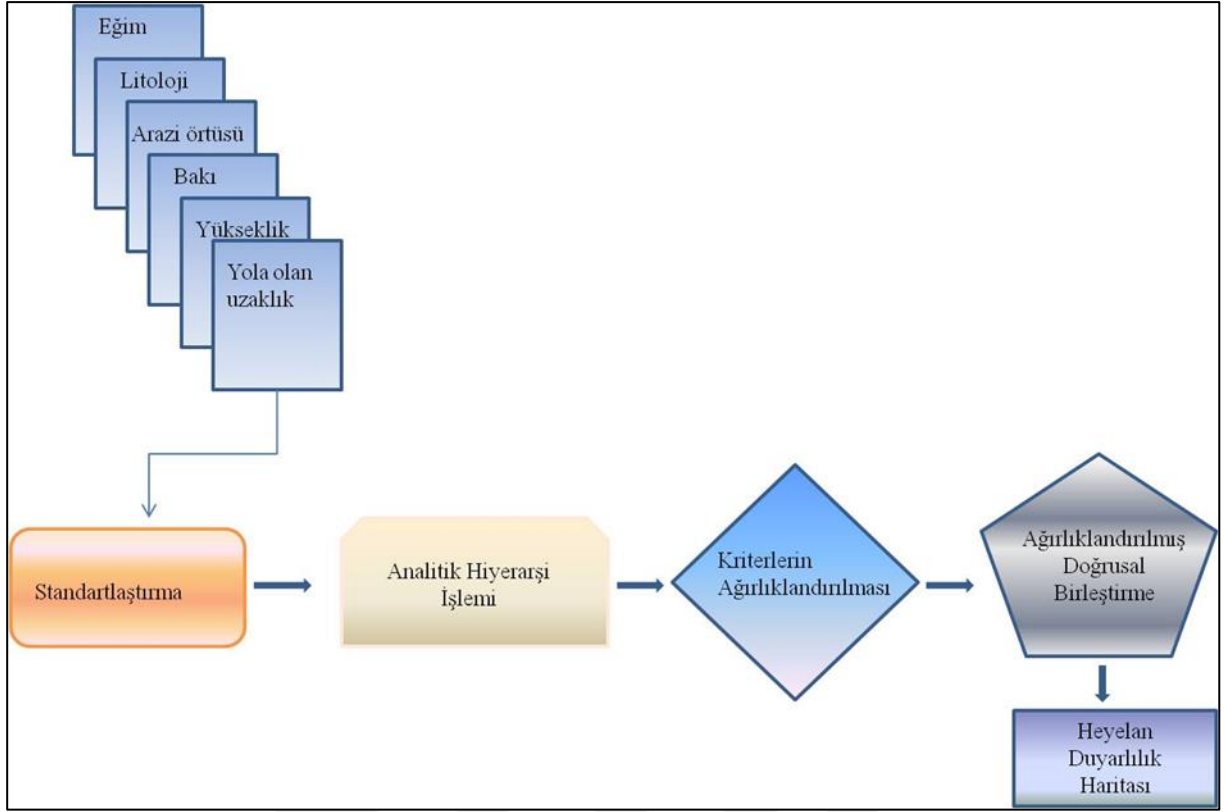
Şekil 5.24 Normalleştirme sonrası elde edilen yola yakınlık haritası.

Faktörlerin normalleştirilmesi sonrasında her bir faktörün birbirlerine olan göreceli öneminin tespiti için Analitik Hiyerarşi metodu uygulanmıştır. Çalışmada ağırlıkların belirlenmesinde, bölgede daha önce yaşanmış heyelanların etki alanlarına ait istatistiksel veriler ve literatür bilgileri dikkate alınmıştır.

Karşılaştırma matrisi sonrası her bir kriterin ağırlığı hesaplanarak Çizelge 5.7 verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sonra en yüksek ağırlığa sahip kriterler sırasıyla litoloji, eğim, yükseklik, yola olan uzaklık, Arazi kullanım yoğunluğu ve Bakı olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerlerin ve elde edilen ağırlıkların tutarlı olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla hesaplanan “Tutarlılık oranı” (CR) değeri ise 0,05 olarak bulunmuştur. Bu oran en yüksek değer olarak kabul edilen 0.10’nun altındadır (Saaty 1977). Tutarlılık oranı sonucu elde edilen değer ışığında ikili karşılaştırma matrisi sonucu bulunan değerlerin birbirleriyle tutarlı oldukları kanaatine varılmıştır. Elde edilen sonuçlardan sonra tüm kriter haritaları birbirleriyle toplama için ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme (ADB) karar kuralı metodu uygulanmıştır. ADB metodunun uygulanışına dair işlem akışını veren diyagram Şekil 5.25’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.7 Heyelan duyarlılık haritası için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları.

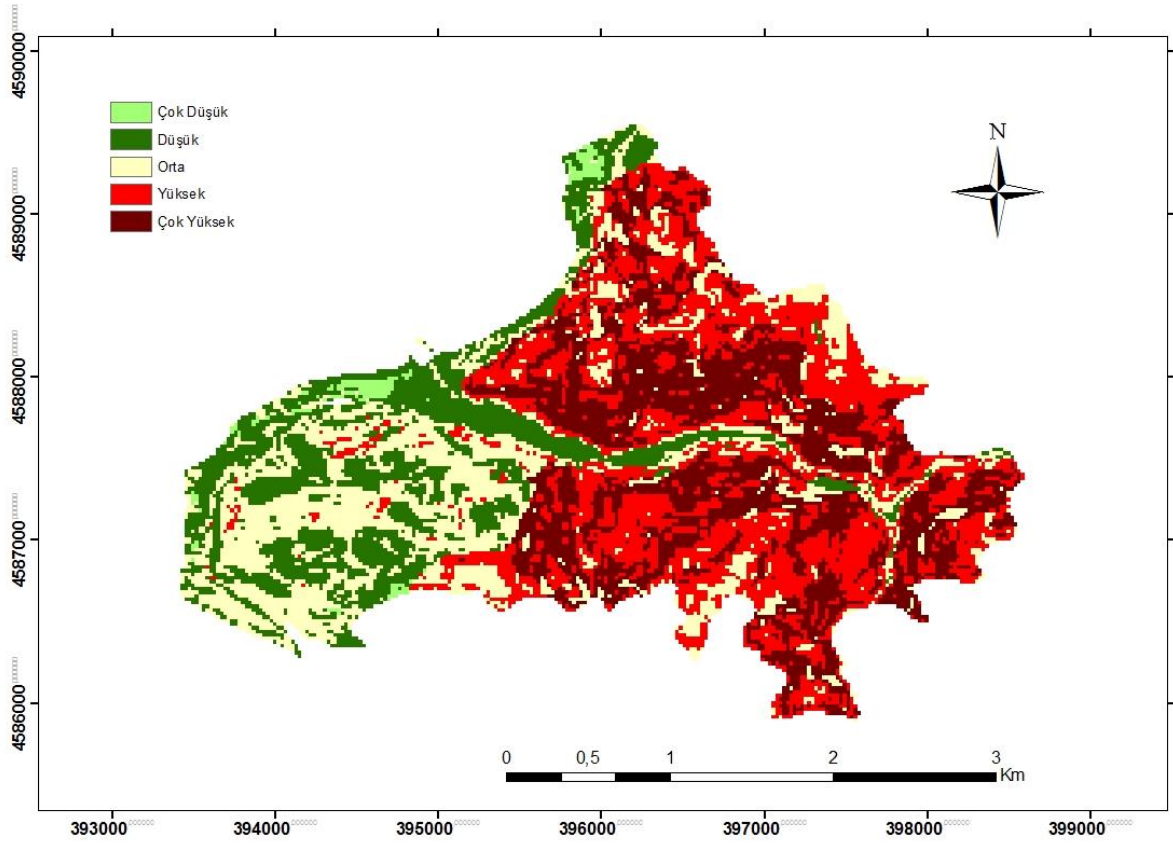
FAKTÖRLER	Eğim	Litoloji	Yükseklik	Bakı	Arazi Durumu	Yola Olan Uzaklık	Ağırlık Değerleri
Eğim	1						0,34
Litoloji	1	1					0,36
Yükseklik	0,2	0,2	1				0,13
Bakı	0,125	0,143	0,2	1			0,03
Arazi Kullanım Yoğunluğu	0,143	0,143	0,25	3	1		0,05
Yola Olan Uzaklık	0,17	0,2	0,33	5	3	1	0,09



Şekil 5.25 Ağırlıklı doğrusal birleştirme metodu için işlem akışı.

Tüm kriter haritaları ADB işlemine sokularak tek bir heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası tüm haritadaki raster değerleri göz önünde tutularak kullanıcı tabanlı bölümlenme yapılmıştır (Magliulo et al. 2009). Kullanıcı tabanlı bölümlenmede kullanılan yüzde değerlerinin belirlenmesinden çalışma bölgesinin heyelan tehlikesi taşıdığına inanılan alanlarının yüzdeleri kullanılmıştır. Diğer taraftan ÇKKA ile üretilen duyarlılık haritalarının diğer metotlar ile doğruluklarının objektif bir şekilde karşılaştırılması amacı ile de eşit dağılımlı bölümlenme tekniği kullanılmıştır.

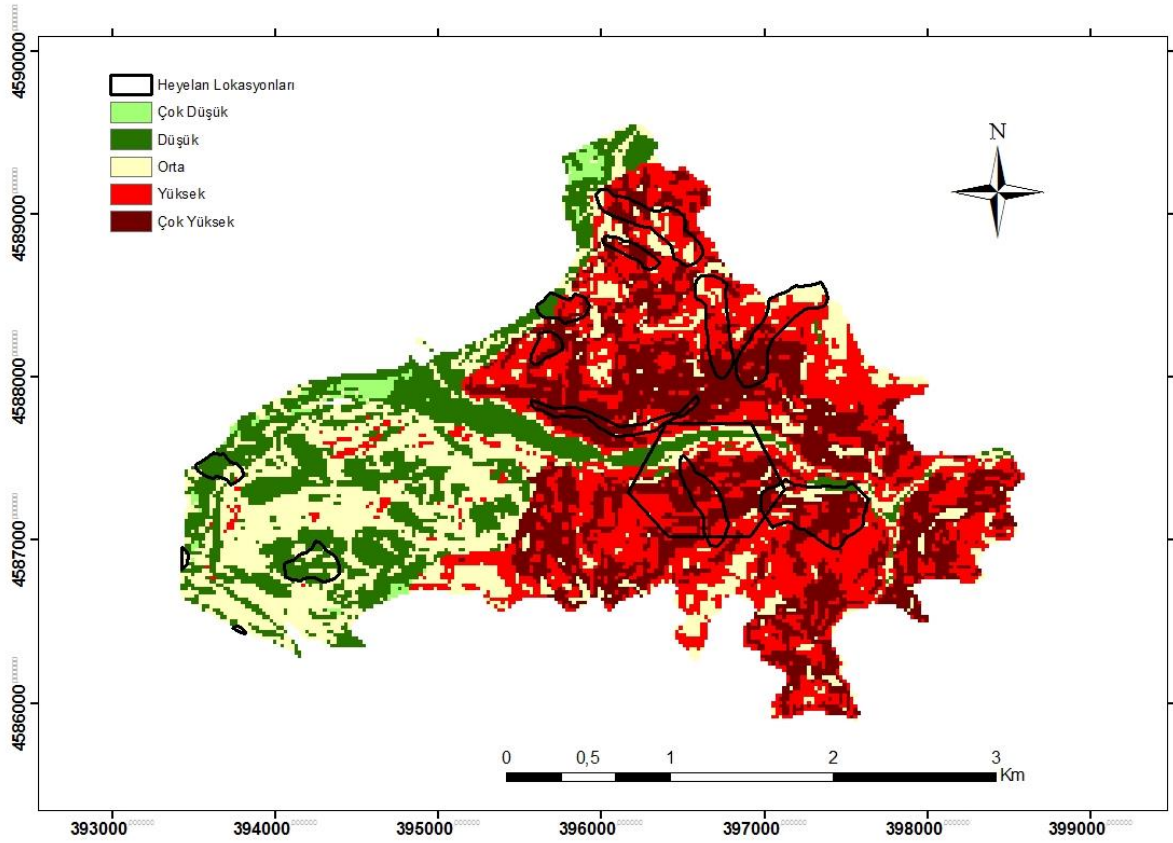
Kullanıcı tabanlı bölümlenme ile tüm görüntüdeki piksel değerleri belli yüzdelere bölünmüştür. Yapılan bölümlenme sonucu; çok düşük risk sınıfı için %0.08, düşük risk sınıfı için %3.70, orta risk sınıfında %16.50, yüksek risk sınıfı %44.86 ve en yüksek risk sınıfında ise %34.86 olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

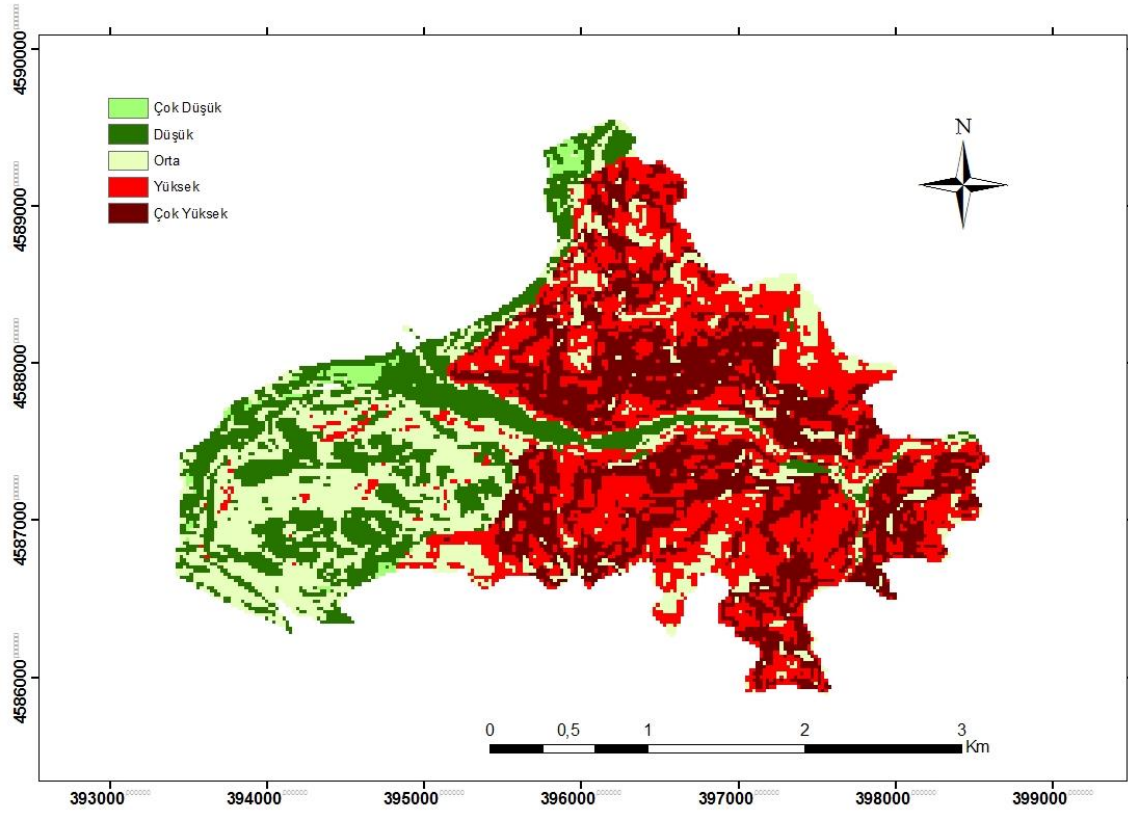
Kullanıcı tabanlı bölümleme (KTB) metodu sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.27). Çakıştırma sonucu elde edilen veriler şu şekildedir: çok düşük heyelan duyarlılığı %0.00, düşük duyarlılık %0.62, orta duyarlılık %11.22, yüksek %35.18 ve çok yüksek duyarlılık %52.98 oranında bulunmuştur. Diğer bir deyişle çalışma alanında gerçekleşmiş heyelanların karşılığı olan alanlar ile uygulama sonucu bulunan alanlar karşılaştırıldığında çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %88.16 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir.

Diğer bir duyarlılık aralıklarına bölme tekniği olarak "eşit dağılımlı bölümleme" tekniği kullanılmıştır. Yapılan bölümleme sonucu; çok düşük risk sınıfı için %1.13, düşük risk sınıfı için %18.09, orta risk sınıfında %25.13, yüksek risk sınıfı %28.94 ve en yüksek risk sınıfında ise %26.71 olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır. Bölümleme işlemi sonrası oluşan heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.28'de verilmiştir.

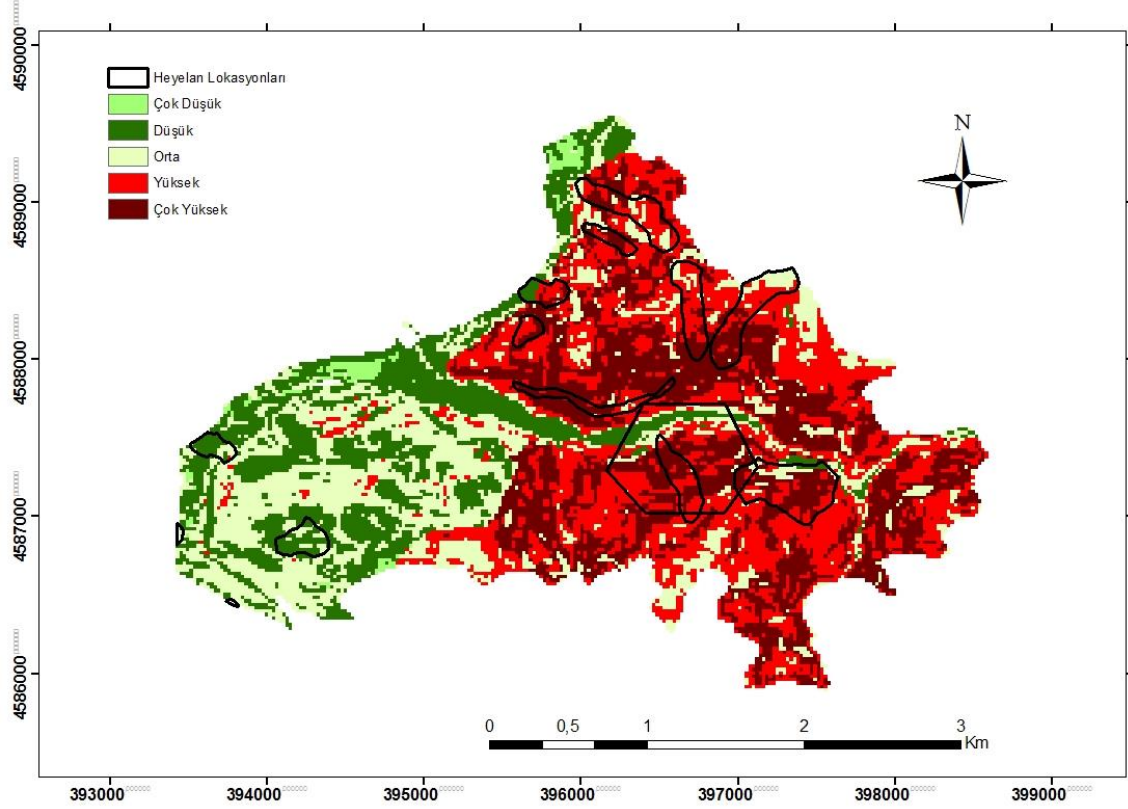


Şekil 5.27 ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.

Eşit dağılımlı bölümleme (EDB) metodu sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.29). Karşılaştırma sonucu elde edilen veriler şu şekildedir: çok düşük heyelan duyarlılığı %0.00, düşük duyarlılık %10.51, orta duyarlılık %15.39, yüksek %35.10 ve çok yüksek duyarlılık %39.00 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %74.10 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir.



Şekil 5.28 Eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 5.29 Eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.

5.2.3 Benzerlik Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Analizi

Genelde, heyelanların oluşumunu tahmin etmek için şu yaklaşıma gereksinim duyulmaktadır: Geçmişte, heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerden dolayı meydana gelmiş bir heyelan, gelecekte aynı faktörlerden dolayı yeni heyelanların meydana gelmesi konusunda ışıktutacaktır (Chung and Fabbri 1999). Bu yaklaşıma bağlı olarak, heyelanın meydana geldiği alanlar ile bu alanlardaki heyelan neden olan faktörler arasındaki ilişki, geçmişte heyelan olmamış alanlar ile heyelan neden olan faktörler arasındaki ilişkilerden ayırt edilebilir (Lee et al. 2004).

Sayısal olarak bu ayrımı göstermek için, bu tez kapsamında olasılık-benzerlik oranı yöntemi de kullanılmıştır. Bu oran, belirli bir doğal olayın meydana gelmesinin, aynı olayın meydana gelmemesine oranının olasılığını ifade etmektedir (Bonham and Carter 1996). Söz konusu doğal olayın heyelan olması durumunda, şayet heyelan olma olayını B ve heyelana neden olduğu düşünülen parametreleri de D olarak gruplandırırsak, D'deki olasılık-benzerlik oranı, şartlı olasılık olacaktır. Eğer bu oran 1'den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1'den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır.

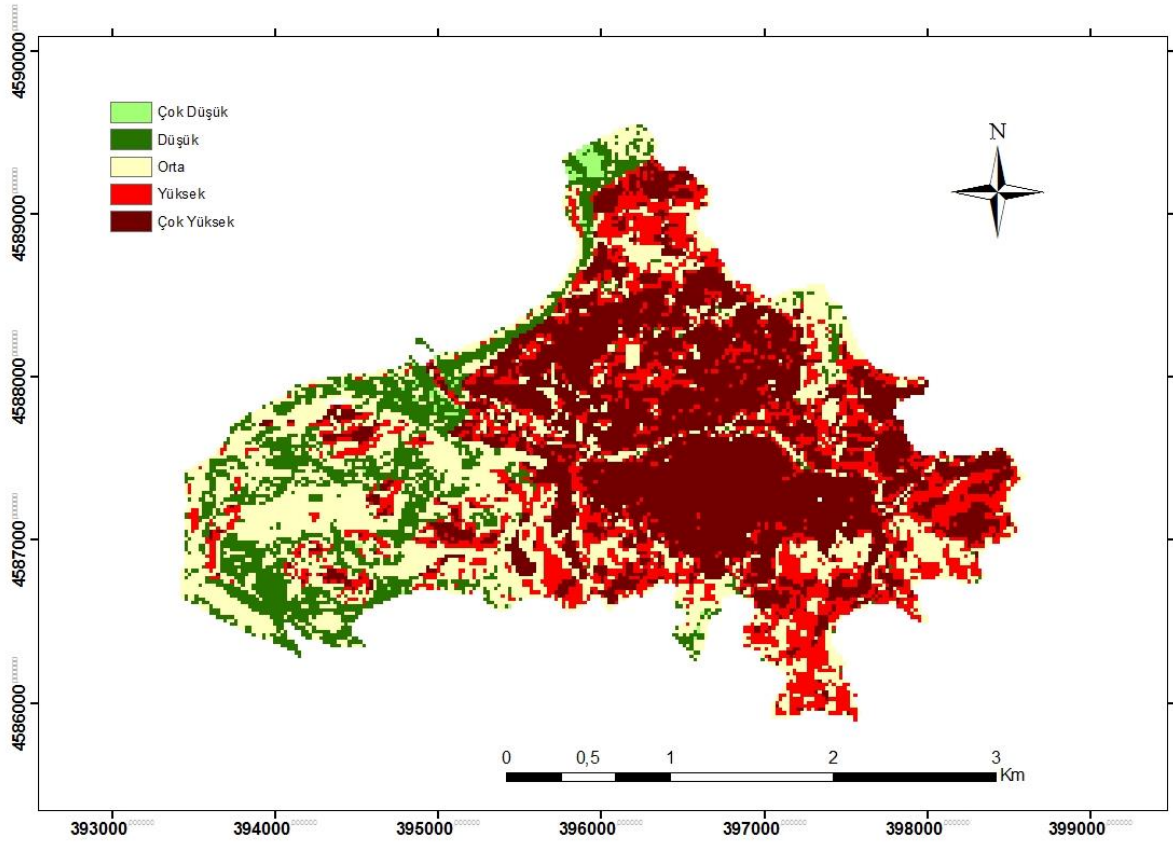
Bu yaklaşımdan hareketle, olasılık-benzerlik oranı değerlerini hesaplamak için mevcut heyelan verileri ve ilgili parametre ilişkileri kullanılarak bir olasılık çizelgesi hazırlanmıştır (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8 Olasılık-Benzerlik oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri.

PARAMETRE	DEĞER	NORMAL ALAN		HEYELANLI ALAN		(b/a)
		PİKSEL SAYISI	ORAN% ^(a)	PİKSEL SAYISI	ORAN% ^(b)	
Eğim	Düz	447	2,35	40	1,55	0,66
	Hafif Eğimli	1273	6,68	176	6,80	1,02
	Eğimli	2839	14,91	306	11,83	0,79
	Çok Eğimli	3930	20,63	526	20,33	0,99
	Kısmen Dik	8744	45,91	1306	50,48	1,02
	Dik	1599	8,40	217	8,39	1,00
	Çok Dik	215	1,13	16	0,62	0,55
Litoloji	Alüvyon	1057	5,55	269	10,40	1,87
	Kozlu	8650	45,41	1038	40,10	0,88
	Dolgu	760	3,99	14	0,54	0,13
	İnaltı	4821	25,31	173	6,70	0,26
	İncigez	201	1,06	11	0,44	0,42
	Karadon	3227	16,94	1059	40,92	2,41
	Plaj Kumu	331	1,74	23	0,89	0,51
Yükseklik	0-50	2331	12,24	290	11,21	0,92
	50-100	4140	21,75	584	22,56	1,04
	100-150	4599	24,13	600	23,18	0,96
	150-200	4043	21,22	643	24,84	1,17
	200-250	2891	15,18	359	13,87	0,91
	250-300	964	5,06	113	4,37	0,86
	300-350	48	0,25	0	0	0
	350-400	25	0,13	0	0	0
	400-450	6	0,03	0	0	0
Arazi Kullanım Yoğunluğu	Yoğun Ağaçlık	5320	27,92	353	13,65	0,49
	Seyrek Ağaçlık	6403	33,62	1776	68,62	2,04
	Örtüsüz	7324	38,45	459	17,73	0,46
Bakı	Düz	6	0,03	0	0	0
	K	3871	20,32	735	28,40	1,40
	KD	2173	11,40	226	8,81	0,77
	D	1819	9,56	182	6,96	0,73
	GD	1525	8,01	198	7,65	0,96
	G	2140	11,24	317	12,25	1,09
	GB	2002	10,51	166	6,41	0,61
	B	2324	12,20	257	9,93	0,81
	KB	3187	16,73	507	19,59	1,17
Yola Olan Uzaklık	0-25	11115	58,35	1199	46,33	0,79
	25-50	5186	27,23	752	29,06	1,07
	50-75	1843	9,68	336	12,98	1,34
	75-100	611	3,21	179	6,92	2,16
	100-125	210	1,10	86	3,32	3,02
	125-150	82	0,43	36	1,39	3,23

Çizelge 5.8’de, her bir parametreye ait alt parametre sınıfındaki piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (a) ile, bu alt parametre alt sınıflarında meydana gelen heyelanlı alanlara ait piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (b) hesaplanarak elde edilen a ve b değerlerinden olasılık-benzerlik oranı $[(b/a)]$ oranları hesaplanmıştır. Elde edilen bu olasılık-benzerlik değerleri her bir parametre için toplanmış ve ait oldukları parametre haritaları için parametre puanı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu parametre puanları, ilgili oldukları parametre haritaları ile çarpılmış, puanlandırılmış parametre haritaları elde edilmiştir. Daha sonra, puanlandırılmış parametre haritaları toplanarak bir olasılık-benzerlik oranı indeks haritası elde edilmiştir. Elde edilen duyarlılık haritasının bölümlenmesinde ilk olarak kullanıcı tabanlı bölümleme metodu kullanılmıştır. Bu bölümleme işleminde tüm heyelan haritası 5 ayrı sınıfa ayrılmıştır. Ayrılan sınıfların tercih edilen piksel yüzdeleri; çok düşük %0.55, düşük %12.98, orta %29.60, yüksek %19.97 ve çok yüksek %36.90 şeklindedir (Şekil 5.30).

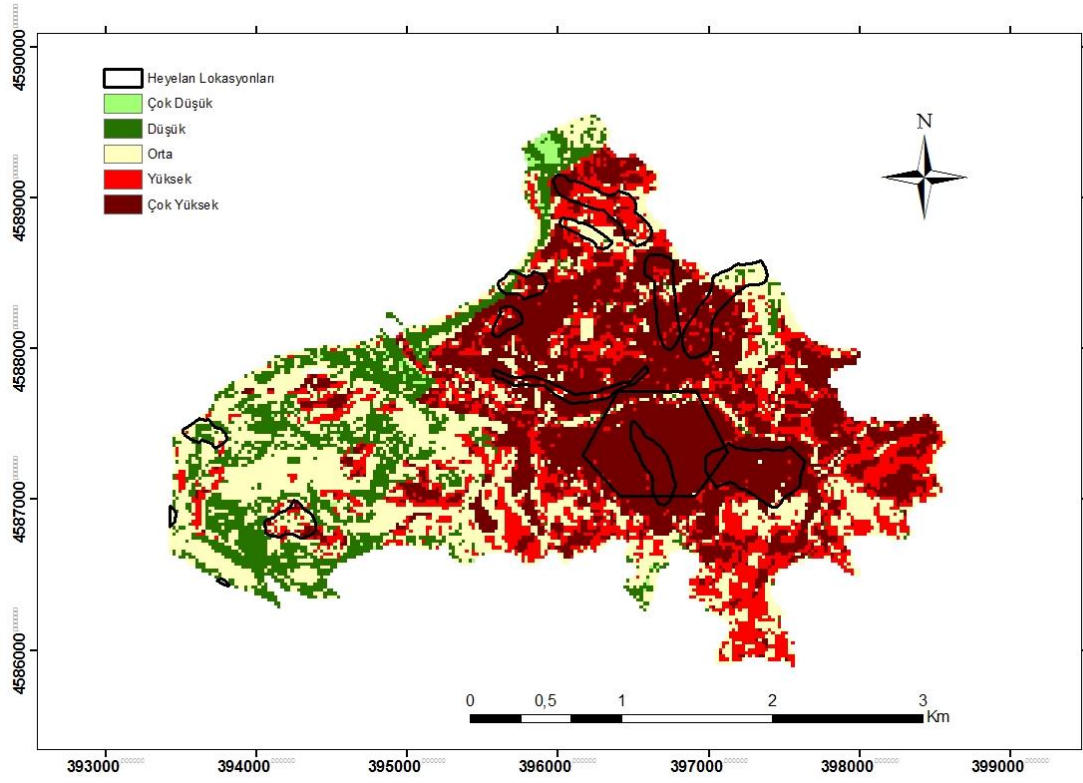
Sınıflandırma sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmış, elde edilen her bir duyarlılık sınıfına, haritalanan heyelanların hangi oranda düştükleri tespit edilmiştir (Şekil 5.31). Buna göre, inceleme alanında haritalanmış olan heyelanların % 0 çok düşük duyarlılık, % 2.76’sının düşük duyarlılık, % 12.93’ü orta derece duyarlılık, % 11.97’sinin yüksek duyarlılık ve % 72.34’ünün ise çok yüksek duyarlılık sınıfına düştükleri görülmektedir. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %84.31 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir.



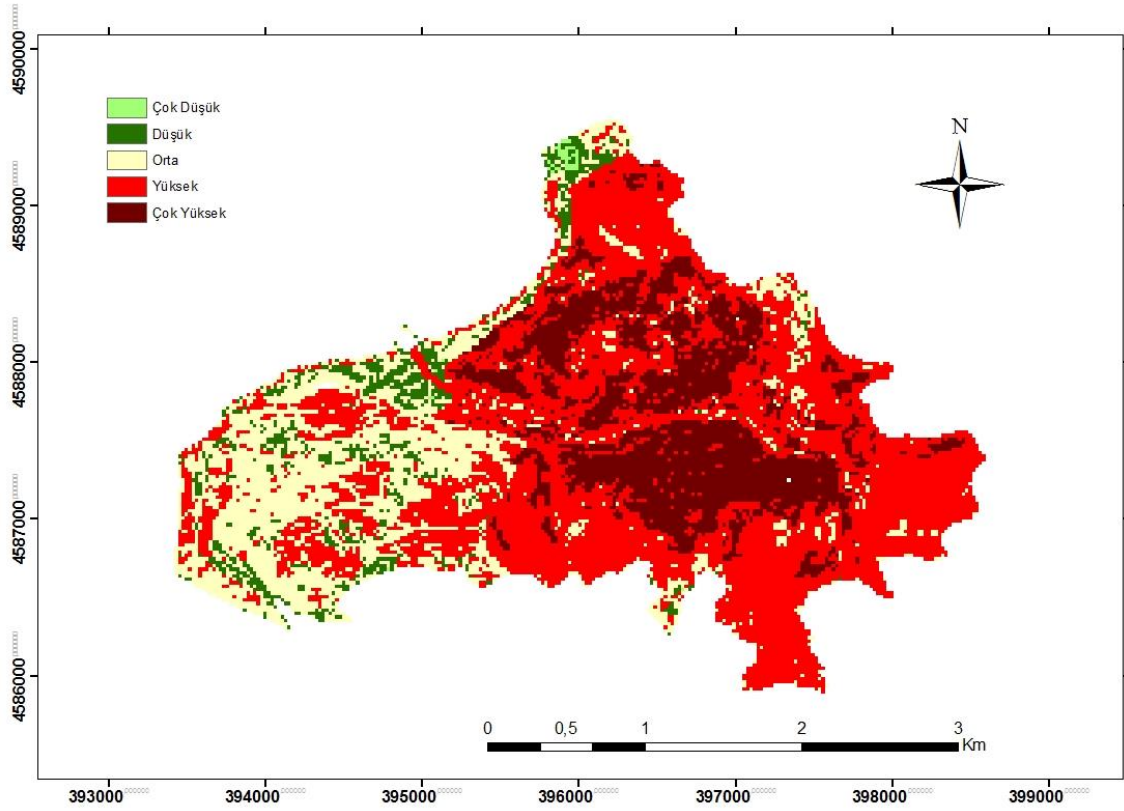
Şekil 5.30 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Diğer bir bölümlleme tekniği olarak "eşit dağılımlı bölümlleme" yöntemi kullanılmıştır. Olasılık-benzerlik oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritası 5 ayrı sınıfa ayrılmıştır. Ayrılan sınıfların tercih edilen piksel yüzdeleri; çok düşük %0.23, düşük %5.02 orta %22.76, yüksek %50.45 ve çok yüksek %21.54 şeklindedir (Şekil 5.32).

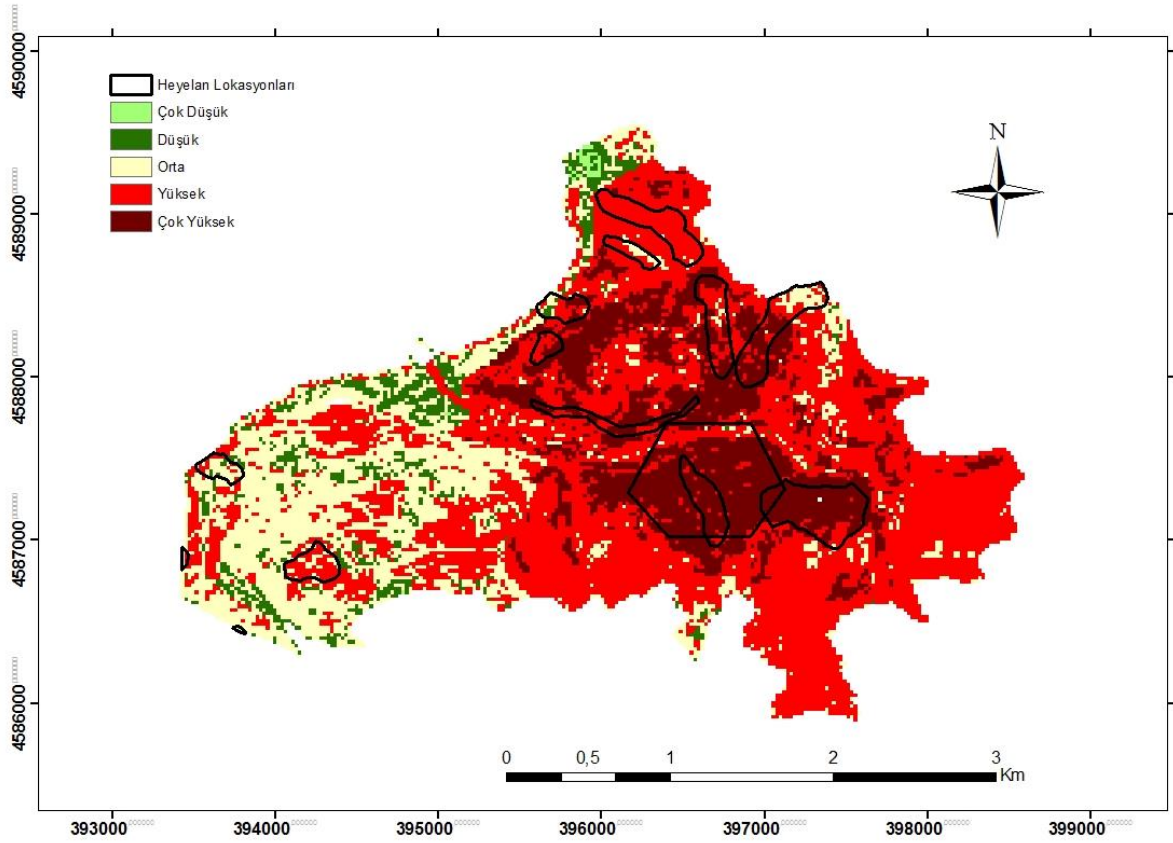
Yapılan bölümlleme sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmış ve 5 duyarlılık sınıf değeri için haritalanan heyelanların hangi oranda düştükleri tespit edilmiştir (Şekil 5.33). Buna göre, çok düşük duyarlılık %0, %0.66'sı düşük, %7.13'ü orta derece duyarlılık, % 32.02'si yüksek duyarlılık ve % 60.19'u ise çok yüksek duyarlılık sınıfına düştükleri görülmektedir. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %92.21 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir.



Şekil 5.31 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.



Şekil 5.32 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası eşit dağılımlı bölümlleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 5.33 Olasılık-Benzerlik oranı yöntemi sonrası eşit dağılımlı bölümlendirme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası ve heyelan envanter haritası.

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarında her bir duyarlılık sınıf aralığına karşılık gelen binaların alansal dağılımları değerlendirilmiştir. Böylelikle her bir duyarlılık sınıfı içerisindeki binaların değişimi ve dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çizelge 5.9’da iki farklı metot kullanılarak üretilen bölümlendirilmiş heyelan duyarlılık haritalarının Bina haritası ile karşılaştırma sonucu her bir duyarlılık sınıfını için elde edilen doğruluklar verilmiştir. Tabloda verilen değerler incelendiğinde; ÇKKAYöntemine göre KTB sonucu yüksek ve çok yüksek duyarlılık inceleme alanındaki toplam binaların %88.03’ini, EDB sonucu ise %63.10 olarak belirlenmiştir. Benzerlik oranı yöntemine göre ise KTB sonucu yüksek ve çok yüksek duyarlılık inceleme alanındaki toplam binaların %52.52, EDB sonucuna göre ise %72.27 olarak belirlenmiştir.

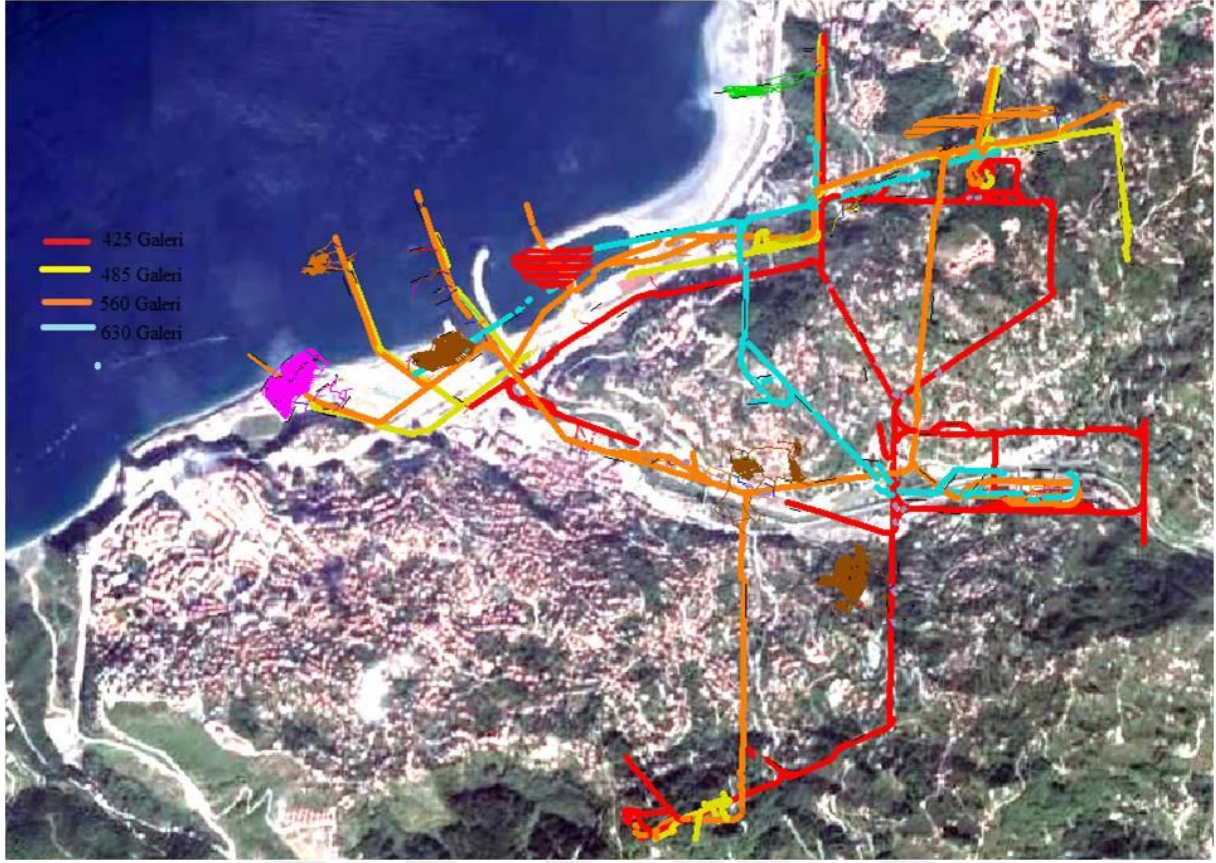
Çizelge 5.9 Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların Bina ile doğruluk karşılaştırmaları.

Duyarlılık Sınıfları	ÇKKA		Benzerlik Oranı	
	KTB	EDB	KTB	EDB
Çok Düşük	0	0.27	0	0
Düşük	0,72	12.92	10.90	2.06
Orta	11,25	23.71	37.58	25.67
Yüksek	42.94	27.59	16.29	52.94
Çok Yüksek	45.09	35.51	35.23	19.33
Toplam (Çok yüksek, Yüksek)	88,03	63.10	51.52	72.27

5.3 TASMAN ÖLÇMELERİNİN YAPILDIĞI KOZLU ÜRETİM BÖLGESİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN TASMAN ANALİZLERİ

5.3.1 Türkiye Taşkömür Kurumu Kozlu Müessesesi'nin Tanıtımı

Kozlu Müessesesi; Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun (TTK) 5 üretim müessesesinden biridir. Zonguldak şehir merkezinin 6 km batısında, batıda Öküşne Fayı, doğuda Damlar ve Adnan Bey Fayı, kuzeyde Karadeniz, güneyde Midi Fayı ile sınırlanan 9 km lik bir alanda üretim faaliyetlerini sürdürmekte olup, ülkemizin deniz altında metalürjik özellikte taşkömürü üreten tek müessesesidir. Üretilen kömürün kalorifik değeri 6700-7200 kcal/kg arasında değişmektedir (KTİ 2005). Kozlu Müessesesi'nin işletme planı Şekil 5.34'de gösterilmektedir.



Şekil 5.34 Kozlu Müessesesi'nin İşletme Planı.

5.3.2 TTK Kozlu Müessesesi'nin Tarihçesi

8 Kasım 1829 tarihinde Uzun Mehmet tarafından Karadeniz Ereğli'si Köseagzı mevkiinde, Niren deresi yatağında bulunan ve 173 yıllık bir geçmişe sahip olan taşkömürü yurdumuzda bilinen tek havzadır. Taşkömürü üretimine 1848 yılında Hazine-i Hassa idaresinde çeşitli madencilere kiralanmak suretiyle başlanmıştır. 1854 yılından itibaren İngilizler, 1865 yılından 1908 yılına kadar Bahriye Nezareti İdaresi, 1908 yılında Nafia Nezareti, 1909 yılında Havza Fahmiye (Kömür Havzası Müdürlüğü) üretim yapmıştır. 1920 yılında milli hükümet havzaya el koymuştur. İş Bankası tarafından 1924 ile 1926yılları arasında kurulan çeşitli şirketler tarafından kömür üretimi sürdürülmüş, 1937 yılında Etibank'ın kuruluşu ile başlayan devletleştirme çalışmaları 1940 yılında tamamlanarak, tüm havza EKİ'ye (Ereğli Kömür İşletmesi) devredilmiştir. EKİ, 1957 yılında TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri) Kurumu'na bağlanmış ve 1983 yılında TKİ'den ayrılarak TTK adıyla Genel Müdürlük olmuştur. Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi, TTK Yönetim Kurulu'nun 28.11.1985 tarih ve 444 sayılı kararı ile 1.1.1986 tarihinden itibaren müessese olarak faaliyetini sürdürmektedir (KTİ 2005).

5.3.3 Kozlu Üretim Bölgesinin Genel Jeolojik Özellikleri

Jeolojik istiflenme Mezozoik yaşlı örtü formasyonları ve Paleozoik yaşlı Karbonifer formasyonlarından oluşmaktadır. Üretim faaliyetleri tamamen Westfalen A yaşlı Kozlu formasyonunda devam etmekte olup, bu formasyonda kalınlıkları 0.80-8.00 m arasında değişen 22 adet kömür damarı mevcuttur (KTİ 2005). Bunlar sırasıyla Çay, Eski Çay, Acılık, Büyük ve Büyük Piç, Kesmeli, Sulu, Sülman, Büyük Eski, Hacı Memis, Domuzcu, Milopero (Kurul), Acenta, Hacıpetro (Akalin), Rabut (Karagöz), Papas, Tasbaca, Civelek, Lüküça (Dibek), Leonidas, Piriç ve Ali Molla'dır. Tavan ve taban taşı olarak, değişik kalınlıklarda (0.02 m-4.55 m) gre, sist konglomera, sist gre, konglomera gre kesilmektedir (KTİ 2005).

Havzanın jeolojisi oluşumundan bu yana maruz kaldığı tektonik olaylar nedeniyle katmanların büyüklü küçüklü faylarla parçalanması sonucu çok karışık bir durum göstermektedir (Akçın 1993). Kozlu, Zonguldak şehrinin batısından başlayarak Öküsne ve Değirmenağzı mevkillerine kadar yayılmıştır. Havza İhsaniye ve İncir harmanı üretim bölümlerine ayrılmış olup bölgenin yeryüzünde kalan kısmı erozyon etkileri altında kalmıştır. Ayrıca burada bulunan kömür damarları dik yatımlıdır.

Bölgenin güneyinde havzadaki Kozlu serisi damarlarını kesen midi fayı bulunur. Bu fayın güneyinde dik yatımlı Kılıç serisi kömür damarları bulunmaktadır. Midi fayının kuzeyinde ise üstte Westfaliyen BCD tabakası ve altta derinlere doğru ortalama 30°-40° eğime sahip kuzey yönelimli kömür damarları içermektedir (Akçın 1993, 1995). Bölgenin kuzeyinde, burada bulunan kömür damarlarını kesen Kuzey fayı bulunmaktadır. Bu fayın kuzeyinde de dik yatımlı Karadon serisi kömür damarları bulunmaktadır.

5.3.4 Kozlu Üretim Bölgesinde Bulunan Üretim Panolarının Geometrik Özellikleri

Çalışma bölgesindeki Göçertmeli Uzunayak yöntemine göre üretimi gerçekleştirilen üretim panoları oldukça eğimli bir yapıya sahiptir. Ayrıca bölgede bulunan Kozlu Limanı'nın altında ortalama -510 kotlarında bulunan ve aktif tasman oluşturma özelliğine sahip yeni üretim panolarında da derin denizaltı üretim çalışmaları yapılmaktadır. Bölgede yapılan üretim faaliyetleri nedeniyle zemin stabilizesini kaybetmiş ve parçalanmış durumdadır. Bu nedenle derin kotlarda yapılan üretim faaliyetleriyle oluşan tasman etkisi de yeryüzüne ulaşmakta ve yeryüzü arazi kullanımında olumsuz etkileri meydana getirmektedir.

Şekil 5.35’de Kozlu üretim sahası içinde bulunan, tasman etkisi oluşturmuş üretim panolarının konumlarını içeren GeoEye görüntüsü verilmektedir. Çizelge 5.9 da ise bölgede bulunan üretim panolarına ait, pano eğimi, pano kalınlığı, pano genişliği, pano etki alanı uzunlukları gibi bilgileri içeren geometrik özellikler ve üretim panoları için maksimum tasman bilgileri verilmektedir



Şekil 5.35 Kozlu üretim bölgesi içinde bulunan eski ve yeni üretim panolarının GeoEye görüntüsü üzerindeki konumları.

Çizelge 5.9’da hesaplanan veriler göz önüne bulundurularak Kozlu çalışma bölgesi için damar eğimi yönünde alt tasman sınır açısı ortalama γ_{alt} 32.8 üst tasman sınır açısı $\gamma_{üst}$ 79.5 pano ilerleme yönünde ise γ_{orta} 67.3° olarak bulunmuştur. Yine aynı çizelgeden çalışma bölgesi için düşey yöndeki maksimum tasman değerleri 0.92m ile 2.34 m arasında hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10 Kozlu üretim bölgesinde tasman etkisi oluşturan panoların geometrik özellikleri (TTK 2014).

Pano	Pano Eğim(°)	Kalınlık (m)	Genişlik (W)(m)	Halt Hort Hüst	γalt γort γüst	İlerleme Boyu (L)(m)	Max Tasman (So)(m)
Yeni Üretim 1	10	2	155	400 390 380	45 81 68	340	1,77
Yeni Üretim 2	45	3	240	440 430 420	28 61 85	220	1,91
Yeni Üretim 3	65	2.5	55	485 430 380	32 67 80	200	0,95
Yeni Üretim 4	65	2.5	105	560 520 485	32 67 80	110	0,95
Yeni Üretim 5	30	2	240	560 520 485	30 64 82	280	1,56
Yeni Üretim 6	30	3	115	560 520 485	30 64 82	240	2,34
Eski Üretim 1	35	3	125	560 520 485	28 63 83	250	2,21
Eski Üretim 2	70	3	50	560 520 485	35 70 78	510	0,92

5.3.5 Çalışma Bölgesinde Bulunan Üretim Panolarının Etki Alanlarının Belirlenmesi

Kozlu üretim bölgesinde bulunan panoların geometrik özelliklerinin belirlenmesinin ardından bölgedeki üretim panolarının etki alan sınırlarının belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Üretim panolarının etki alanlarının belirlenmesi için gerekli olan büyük ve küçük yarı eksen değerleri bu çalışmaya özel olarak Python programlama dili ile geliştirilen bir bilgisayar kodu yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Python, genel kullanımlı yüksek seviyeli bir programlama dilidir. Python'un geliştirilmesi 1980'lerde Hollanda'lı programcı Guido Van Rossum tarafından başlatılmıştır. 16 Ekim 2000 tarihinde 2.0 sürümüne “garbage collector” ve unicode desteği ile ulaşmıştır. 3 Aralık 2008'de 3.0 sürümü yayınlanmış fakat 2.x sürümleri ile uyumluluğu tam olmadığından dolayı henüz yaygın değildir (Rossum and Drake 2000). Bu çalışmada 2.7 sürümü temel alınmıştır.

Python'un geliştirilmesindeki tasarım hedefi kod okunabilirliğidir. Kodlama imlası ve semantik kurallar esnek ve minimaldir. Python kendisi yalın ve yüksek seviyeli bir dil olmasına rağmen geniş kütüphane desteği ile çok amaçlı kullanılabilir. Bu çalışmada ArcPy, Math ve sys kütüphaneleri kullanılmıştır. ArcPy kütüphanesi, ArcGis içinde verilere ulaşım, harita üzerinden seçim, veritabanı oluşturma gibi işlemleri gerçekleştiren özel bir kütüphanedir. Math kütüphanesi matematiksel işlemlerin gerçekleştirildiği kütüphanedir. Sys kütüphanesi, Python programlama dilindeki önemli standart kütüphane modüllerinden biridir ve kullandığınız Python sürümü ile ilgili bilgi edinmenizi ve kullandığınız Python sürümü ile çeşitli işlemler yapabilmenizi sağlar.

Programlamada ilk aşama olarak ArcPy ile üretimin seçilmesi gerekmektedir. Yapılan Tasman etki alanı analizinde Pano genişliği, pano ilerleme boyu, üretimin alt, orta ve üst yükseklik değerleri, panonun alt, orta ve üst sınır açıları olmak üzere sekiz adet ölçüt ile çalışılmıştır.

Şekil 5.36'da Python da oluşturulan tasman etki alanı penceresi şekil 5.37'de ise sonuç penceresi verilmiştir. Çizelge 5.10'da Kozlu üretim bölgesindeki tasman etkisi oluşturan üretim panolarının Çizelge 5.9 deki geometrik özelliklerinden faydalanılarak, etki alanlarının çizimi için Python programlama dilinde oluşturulan kodlar ile hesaplanmış büyük ve küçük yarı eksen değerleri verilmektedir.

Tasman Etki Alanı

Pano Genisligi Giriniz:

Pano İlerleme Boyu Giriniz:

Alt Yükseklik Degeri Giriniz:

Orta Yükseklik Degeri Giriniz:

Ust Yükseklik Degeri Giriniz:

Alt pano sinir acisini giriniz:

Orta pano sinir acisini giriniz:

Ust pano sinir acisi giriniz:

Tasman Katmanı:

Output:

Pano Genisligi Giriniz:

No description available

OK Cancel Environments... << Hide Help Tool Help

Şekil 5.36 Oluşturulan Tasman tesir alanı penceresi

Tasman Etki Alanı

Completed

Close

<< Details

☐ Close this dialog when completed successfully

```

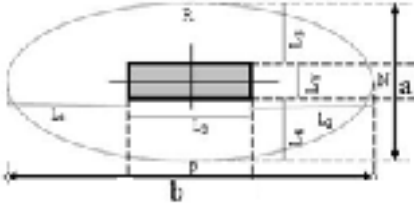
ÜRETİMLERYENI_ÜRETİMLER_region C:\Users\deniz\Documents
\ArcGIS\Default.gdb\ÜRETİMLERYENI_ÜRETİMLER_regi16
Start Time: Mon Nov 09 14:22:36 2015
Running script TasmanEtkiAlani...
L1 : 400.0
L2 : 153.529965817
L3 : 61.7699317266
L4 : 61.7699317266
a : 463.539863453
b : 708.529965817
Area : 0.257941841563 Square Kilometer
Completed script TasmanEtkiAlani...
Succeeded at Mon Nov 09 14:22:38 2015 (Elapsed Time: 2,32
seconds)

```

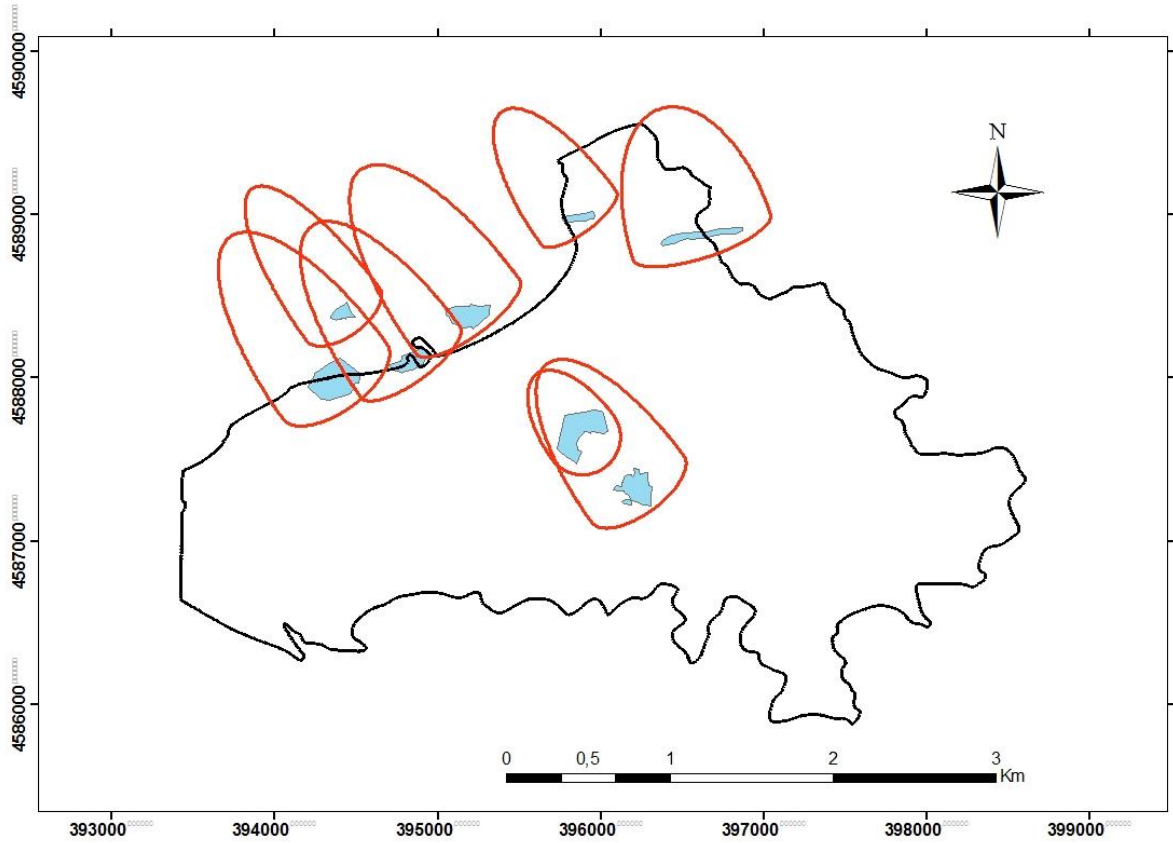


Şekil 5.37 Oluşturulan Tasman tesir alanı sonuç penceresi.

Çizelge 5.11 Kozlu üretim bölgesinde bulunan üretim panolarına ait etki alan değerleri.

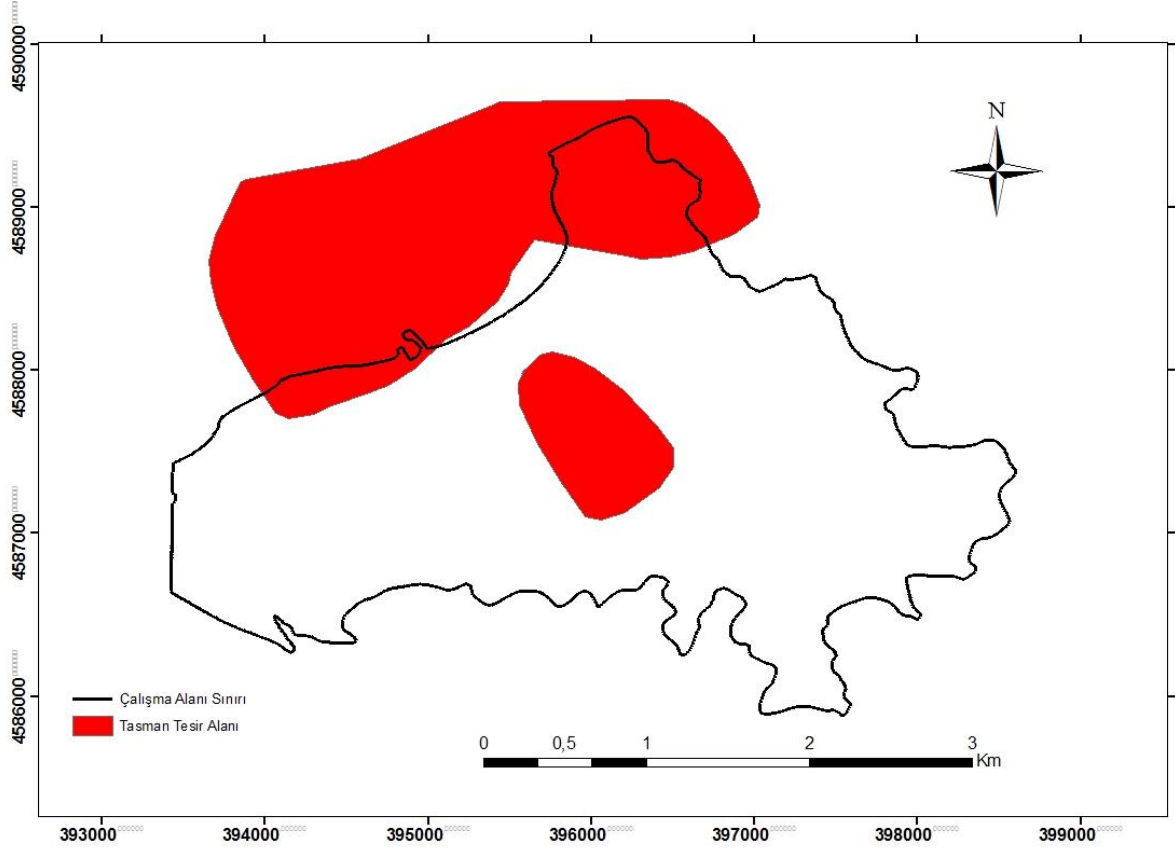
Üretimler						
	L1	L2	L3 ve L4	a(m)	b(m)	Alan(km ²)
Yeni Üretim 1	400	154	62	464	709	0,26
Yeni Üretim 2	827	37	238	697	1104	0,60
Yeni Üretim 3	776	67	183	565	898	0,40
Yeni Üretim 4	896	86	221	551	1087	0,47
Yeni Üretim 5	969	68	254	787	1278	0,79
Yeni Üretim 6	970	68	254	747	1153	0,68
Eski Üretim 1	1053	60	265	780	1238	0,76
Eski Üretim 2	800	103	189	889	953	0,66

Şekil 5.38’de tasman etkisi oluşturan üretim panolarının Çizelge 5.14’de hesaplanan değerlere göre çizilmiş olan etki alanları gösterilmiştir.



Şekil 5.38 Kozlu üretim bölgesindeki tasman etkisi oluşturan kömür üretim etki alanları.

Şekil 5.39’da Kozlu üretim bölgesi için bölgede bulunan yeni ve eski üretim pano etki alanlarının tümü kullanılarak genel etki alan sınırları belirlenmiştir. Bu sınır belirleme çalışmaları doğrultusunda çalışma bölgesinde toplam 4.36km²’lik bir alan tasman etki alanı içinde bulunmaktadır. Bu alanın 1.412km²’lik kısmı ise bölgedeki yerleşim alanları içinde kalmaktadır.



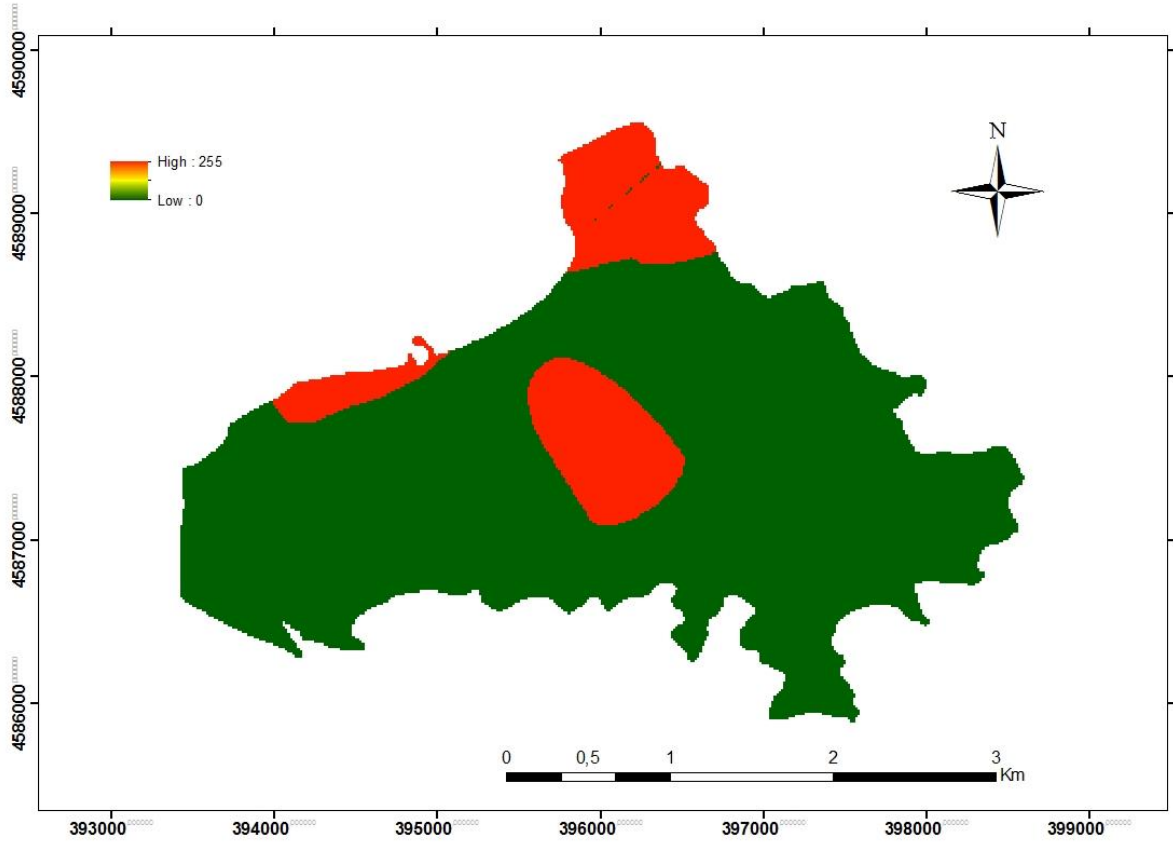
Şekil 5.39 Kozlu üretim bölgesinde bulunan tüm üretim panolarının oluşturduğu etki alanları ve bölge için belirlenen genel etki alan sınırı.

5.4 ÇALIŞMA ALANININ RİSK HARİTASININ OLUŞTURULMASI

Çalışmada, risk haritasının oluşturulması için heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan veri katmanları (eğim, litoloji, bakı, yükseklik, arazi kullanım yoğunluğu, yola yakınlık) ile tasman parametrelerinin ikili karşılaştırma ile ağırlık değerleri oluşturulmuş ve AHP analiz yöntemiyle risk duyarlılık haritası üretilmiştir.

Risk duyarlılık haritasının oluşturulmasında, ölçütleri bir arada işleme koyabilmek ve birbirleri ile karşılaştırabilmek için her katmanının 0-255 aralığında değerler alacak şekilde normleştirilmesi gerekmektedir. Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan

veri katmanlarında normalleştirme işlemi yapıldığından bu bölümde tasman parametresi normalleştirilmiştir (Şekil 5.40).



Şekil 5.40 Normalleştirme sonrası elde edilen tasman tesir haritası.

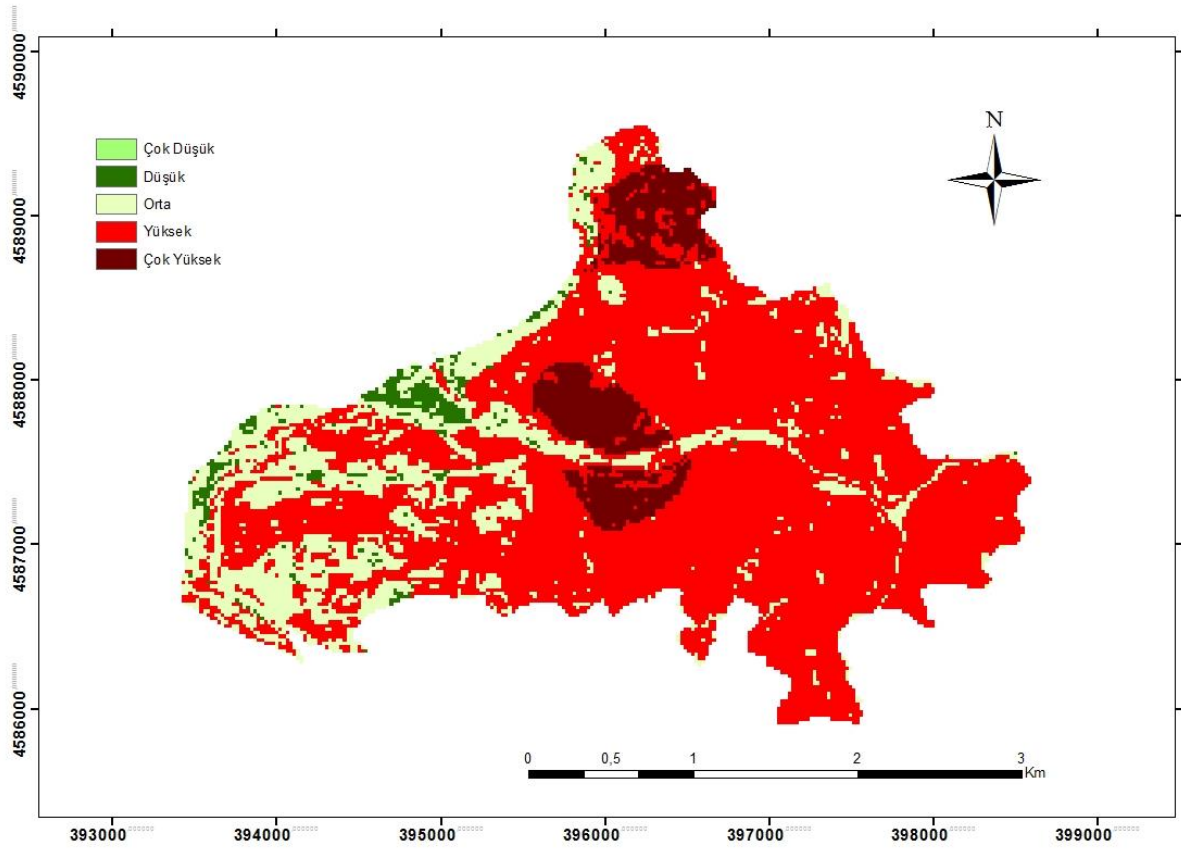
Faktörlerin normalleştirilmesi sonrasında her bir faktörün birbirlerine olan göreceli öneminin tespiti için Analitik Hiyerarşi metodu uygulanarak karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Karşılaştırma matrisi sonrası her bir kriterin ağırlığı hesaplanarak Çizelge 5.11’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sonra en yüksek ağırlığa sahip kriterler sırasıyla tasman, eğim, litoloji, yükseklik, yola olan uzaklık, Arazi durumu ve Bakı olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerlerin ve elde edilen ağırlıkların tutarlı olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla hesaplanan “Tutarlılık oranı” (CR) değeri ise 0,09 olarak bulunmuştur. Bu oran en yüksek değer olarak kabul edilen 0.10’nun altındadır (Saaty 1977). Tutarlılık oranı sonucu elde edilen değer ışığında ikili karşılaştırma matrisi sonucu bulunan değerlerin birbirleriyle tutarlı oldukları kanaatine varılmıştır. Elde edilen sonuçlardan sonra tüm kriter haritaları birbirleriyle toplama için ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme (ADB) karar kuralı metodu uygulanmıştır.

Çizelge 5.12 Risk duyarlılık haritası için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları.

Faktörler	Tasman	Eğim	Litoloji	Yükseklik	Bakı	Arazi Durumu	Yola Olan Uzaklık	Ağırlık Değerleri
Tasman	1							0,31
Eğim	1	1						0,23
Litoloji	0,25	1	1					0,24
Yükseklik	0,167	0,2	0,2	1				0,09
Bakı	0,2	0,125	0,143	0,2	1			0,03
Arazi Kullanım Yoğunluğu	0,143	0,143	0,143	0,25	3	1		0,04
Yola olan uzaklık	0,125	0,17	0,2	0,33	5	3	1	0,06

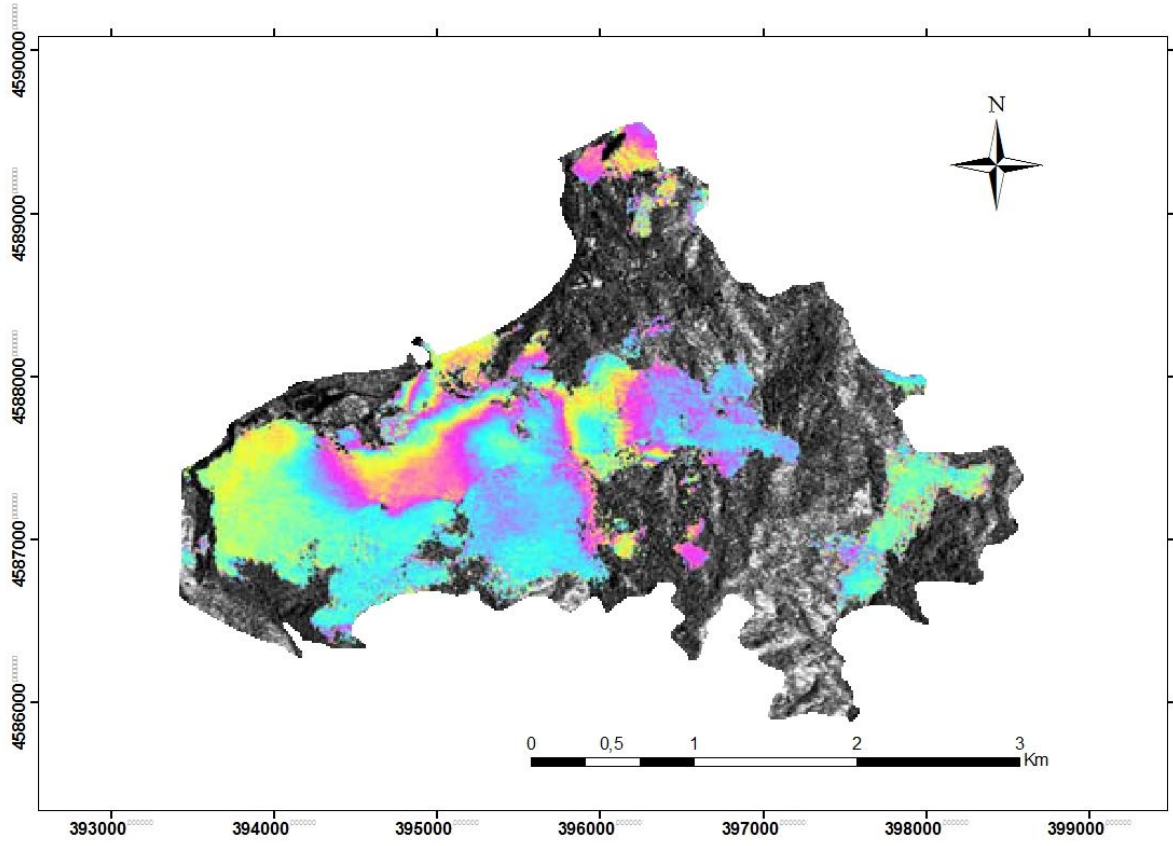
Tüm kriter haritaları ADB işlemine sokularak tek bir risk duyarlılık haritası elde edilmiştir. Elde edilen risk duyarlılık haritası tüm haritadaki raster değerleri göz önünde tutularak kullanıcı dağılımlı ve eşit dağılımlı bölümlere yapılarak düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Kullanıcı tabanlı bölümlere ile tüm görüntüdeki piksel değerleri belli yüzdelere bölünmüştür. Yapılan bölümlere sonucu; çok düşük risk sınıfı için %0.01, düşük risk sınıfı için %2.38, orta risk sınıfında %20.65, yüksek risk sınıfı %68.73 ve en yüksek risk sınıfında ise %8.23 olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır (Şekil 5.41).



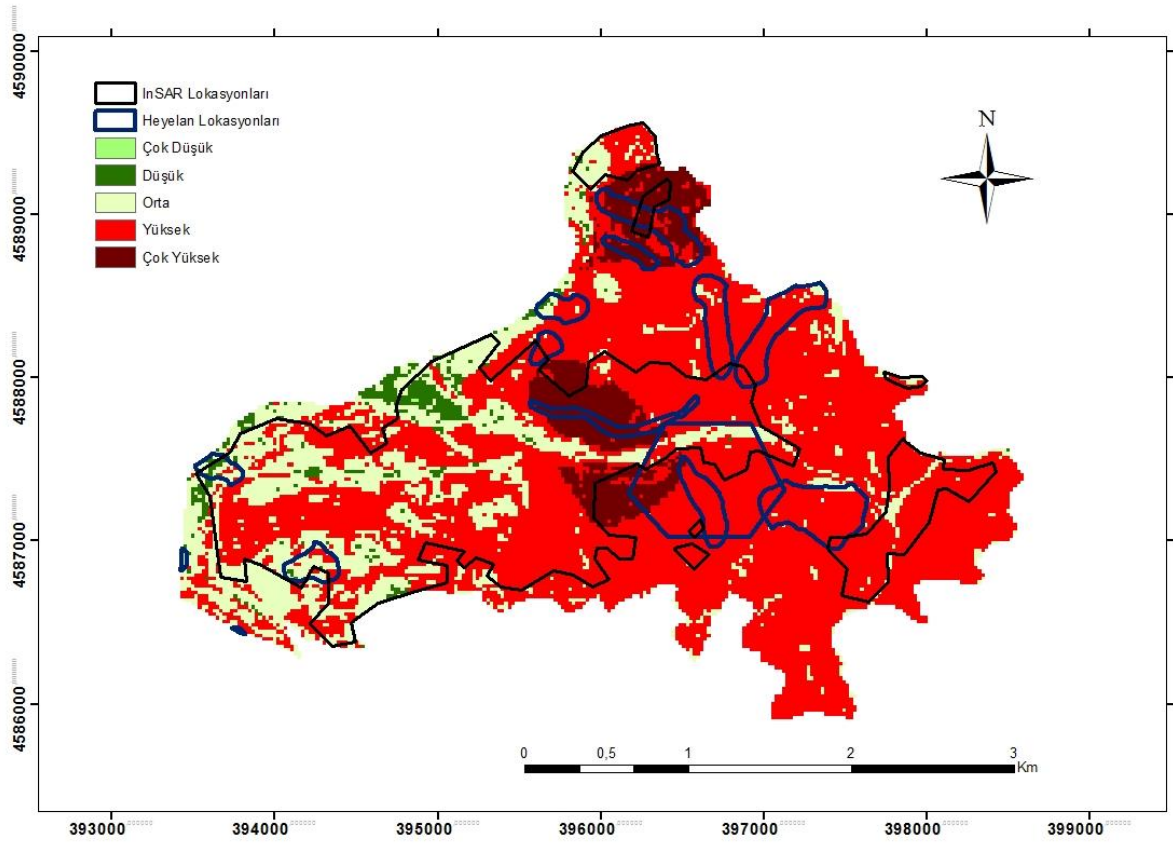
Şekil 5.41 ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümlleme ile elde edilen risk duyarlılık haritası.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen risk duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla Zonguldak Taşkömürü Havzasında (ZTH) gerçekleştirilen uydu bazlı InSAR tekniği ile elde edilen deformasyon haritasından yararlanılmıştır. Şekil 5.42’de InSAR tekniği ile elde edilen deformasyon haritasının çalışma alanı için kesilmiş görüntüsü verilmiştir (Kutoğlu vd. 2012).



Şekil 5.42 TERRASAR-X verisiyle 2011/3/15-2011/9/29 belirlenen zemin hareketleri

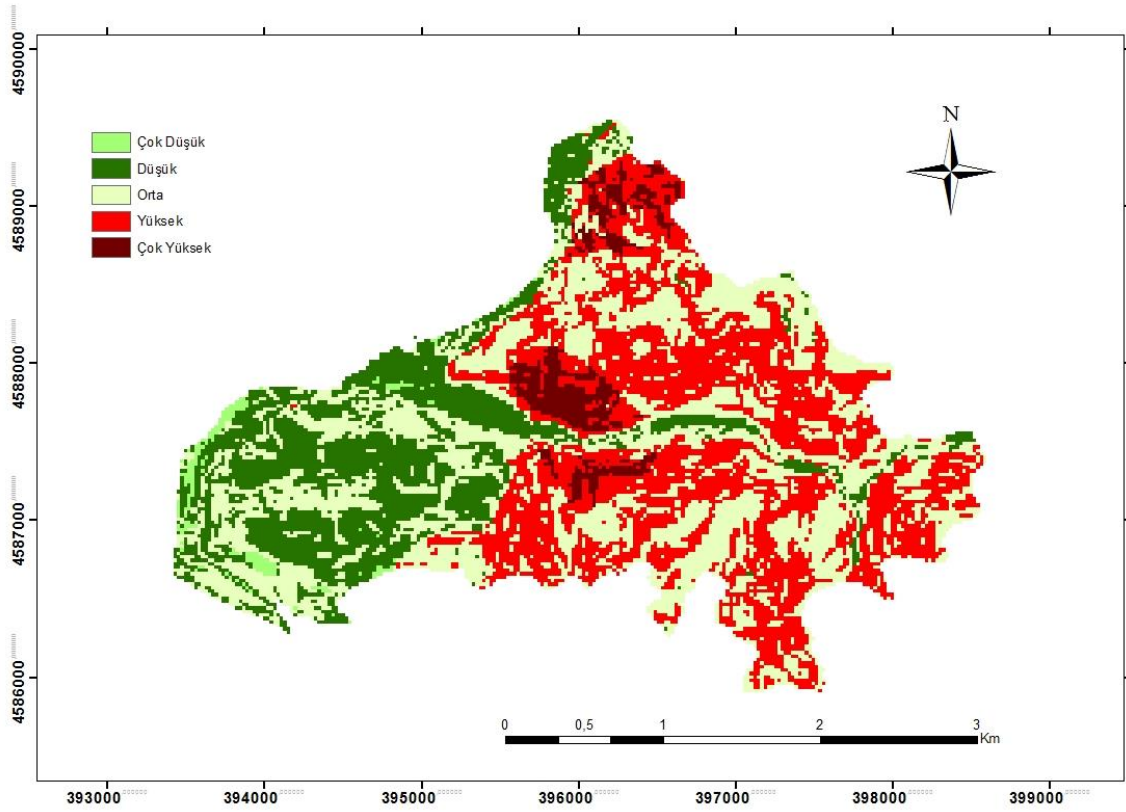
Kullanıcı tabanlı bölümlendirme sonucu elde edilen risk duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla InSAR haritası ve heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.43). Heyelan envanter haritasına (HEH) göre gerçekleştirilen karşılaştırmaların sonuçları; çok düşük duyarlılık %0.00, düşük duyarlılık %1.17, orta duyarlılık %10.12, yüksek %72.56 ve çok yüksek duyarlılık %16.15 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %88.71 oranında doğruluk üretilmiştir. InSAR tekniği ile elde edilen deformasyon haritasına göre gerçekleştirilen karşılaştırmaların sonuçları ise; çok düşük duyarlılık %0.02, düşük duyarlılık %3.24 orta duyarlılık %28.36, yüksek %60.33 ve çok yüksek duyarlılık %8.05 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %68.38 oranında doğruluk üretilmiştir.



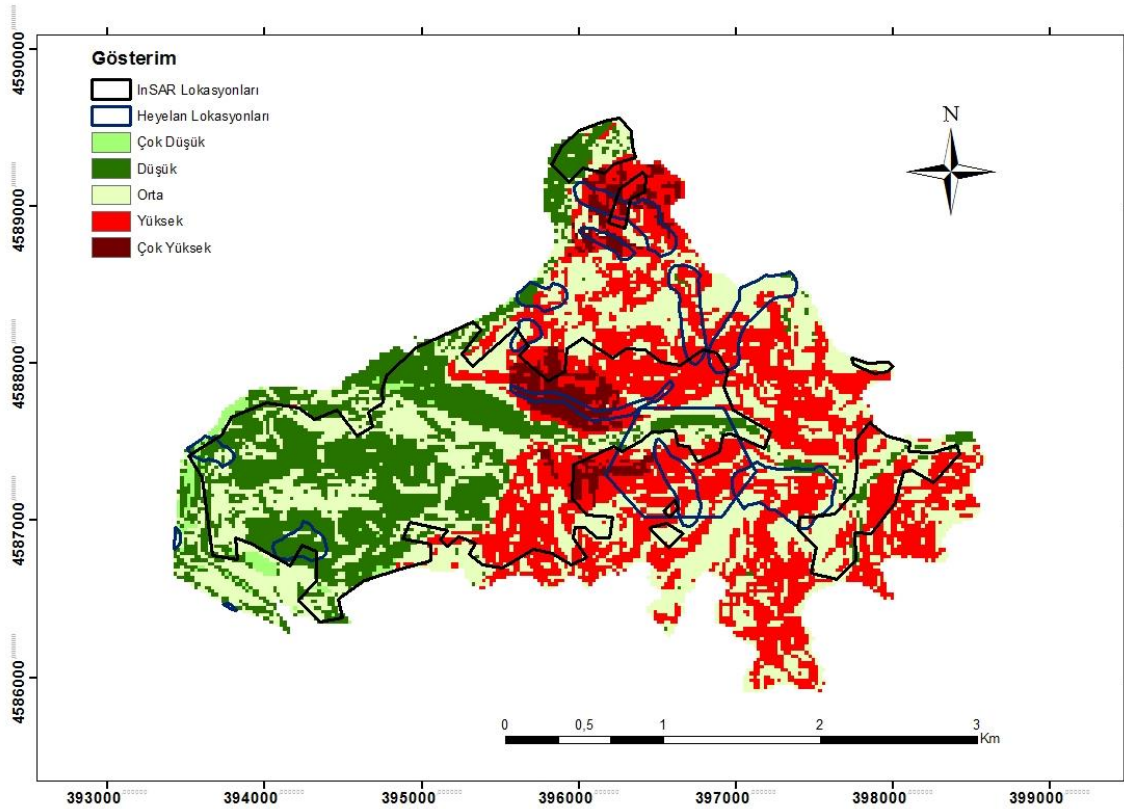
Şekil 5.43 KTB ile elde edilen risk duyarlılık haritası ile InSAR ve heyelan envanter haritası.

Diğer bir duyarlılık aralıklarına bölme tekniği olarak "eşit dağılımlı bölümlendirme" tekniği kullanılmıştır. Yapılan bölümlendirme sonucu; çok düşük risk sınıfı için %1.20, düşük risk sınıfı için %21.43, orta risk sınıfında %39.41, yüksek risk sınıfı %33.64 ve en yüksek risk sınıfında ise %4.32 olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır. Bölümlendirme işlemi sonrası oluşan risk duyarlılık haritası Şekil 5.44'de verilmiştir.

Eşit dağılımlı bölümlendirme metodu sonucu elde edilen risk duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla InSAR haritası ve heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.45). Heyelan envanter haritasına (HEH) göre gerçekleştirilen karşılaştırmaların sonuçları; çok düşük duyarlılık %0.58, düşük duyarlılık %10.86, orta duyarlılık %34.49, yüksek %45.89 ve çok yüksek duyarlılık %8.17 oranında bulunmuştur. InSAR tekniği ile elde edilen deformasyon haritasına göre gerçekleştirilen karşılaştırmaların sonuçları ise; çok düşük duyarlılık %0.78, düşük duyarlılık %37.53, orta duyarlılık %35.85, yüksek %20.93 ve çok yüksek duyarlılık %4.91 oranında bulunmuştur.



Şekil 5.44 ÇKKA metodu sonrası eşit dağılımlı bölümlere ile elde edilen risk duyarlılık haritası.



Şekil 5.45 EDB ile elde edilen risk duyarlılık haritası ile Insar ve heyelan envanter haritası.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; yerleşim yerlerinde ki zemin hareketleri bakımından riskli alanların yüksek doğruluklu olarak kestirebilmesi için uygun yöntemlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma alanı olarak hem doğal nedenlerin hemde yeraltı madencilik faaliyetlerinin incelenebileceği Zonguldak bölgesi seçilmiştir.

Çalışmanın kapsamı gereği, öncelikle yer altı madencilik faaliyetlerinin yer üstünde etkileyeceği tahmini tasman etki alanlarının belirlenmesi gerekli olmuştur. Bu amaca hizmet edecek yerli bir yazılım olmaması, yabancı yazılım veya yazılım modüllerinin de son derece pahalı olması, çalışma kapsamında tahmini tasman etki alanlarının otomatik çizimini mümkün kılacak bir yazılım geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bunun sonucunda maden üretim bilgilerine (derinlik, damar kalınlığı, eğim açısı, doğrultu gibi) dayalı olarak CBS destekli bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım Python programlama dili 2.7.3 sürümünde ArcPy, Math ve sys kütüphaneleri kullanılarak oluşturulmuştur. Programın çalışabilmesi için, ArcGIS ortamında tanımlanmış bir maden imalat projesinin bulunması gerekir. Kullanıcı, çalışmak istediği projeyi ArcGIS ortamında görüntüledikten sonra bir üretim panosu üzerine tıkladığında açılan pop up menüde kullanıcıdan panoya ilişkin bilgilerin girilmesi istenir. Kullanıcı bu bilgileri girdiğinde tasman etki alanı proje üzerinde otomatik olarak görüntülenmektedir. Geliştirilen bu yazılımın, madencilik alanında görev yapan kullanıcıların önemli bir ihtiyacını karşılayacağı düşünülmektedir. Böylece, dışarıya bağımlılık bir miktarda olsa azaltılmış olup ülke ekonomisine de katkı yapılmış olacaktır

Tezin ana konusunu oluşturan heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde iki farklı yöntem ve iki farklı sınıflandırmaya göre analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler heyelan envanter haritası ve uydu bazlı InSAR tekniği ile elde edilen deformasyon haritası olmak üzere iki farklı şekilde test edilmiştir. Heyelan envanter haritalarında; kayda geçmemiş heyelanlar ve gözle görünmeyecek kadar küçük zemin hareketleri, güvenilir ve doğru bir karşılaştırma.

bakımından sorun teşkil edebileceğinden, bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak adına ikinci bir test olarak InSAR haritasına başvurulmuştur Heyelan envanter haritasına (HEH) göre gerçekleştirilen karşılaştırmaların sonuçları Çizelge 6.1’de görülmektedir. Buna göre, ÇKKA ile KTB sınıflandırması %88,16 ve EDB sınıflandırması %74,10 doğruluk üretmektedir. Benzerlik Oranı yönteminde ise tersine EDB sınıflandırması %92.21 çakışma sağlayarak %84.31 çakışma sağlayan KTB’den daha iyi bir sonuç üretmiştir.

Çizelge 6.1 Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların doğruluk karşılaştırmaları.

Duyarlılık Sınıfları	ÇKKA		Benzerlik Oranı	
	KTB	EDB	KTB	EDB
Çok Düşük	0	0	0	0
Düşük	0,62	10,51	2,76	0,66
Orta	11,22	15,39	12,93	7,13
Yüksek	35,18	35,10	11,97	32,02
Çok Yüksek	52,98	39,00	72,34	60,19
Toplam (Çok yüksek,Yüksek)	88,16	74,10	84,31	92,21

KTB: Kullanıcı Tabanlı Bölümleme EDB: Eşit Dağılımlı Bölümleme

InSAR haritasına göre gerçekleştirilen karşılaştırılma sonuçları Çizelge 6.2’ de verilmektedir. Burada bir öncekinde olduğu gibi ÇKKA’da KTB, Benzerlik Oranında EDB sınıflandırması daha iyi sonuç üretirken, ÇKKA+KTB analizinin diğerlerine göre bariz bir üstünlüğü söz konusudur.

Zemin hareketlerinin risk değerlendirmesinin ikinci aşaması olarak yeraltı madenciliğinin etkileri işin içine katılmıştır. Bunun için risk modeli Çizelge 6.3’deki gibi yeniden yapılandırılmıştır. Buna göre, KTB sınıflandırmasına göre heyelan envanter haritası %88,71 ve InSAR %68,38 doğruluk üretmektedir. EDB sınıflandırmasına göre ise heyelan envanter haritası % 54,07 ve InSAR % 25,84 doğruluk üretmektedir. Burada görüldüğü üzere tasman faktörü işin içine katıldığında ÇKKA+KTB doğruluğu daha yüksek seviyeye çıkmaktadır. Buradan hareketle diğer faktörlerin dışında yeraltı madenciliğinden kaynaklı tasmanın bazı heyelanların tetikleyicisi olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.2 Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların Insar ile doğruluk karşılaştırmaları.

Duyarlılık Sınıfları	ÇKKA		Benzerlik Oranı	
	KTB	EDB	KTB	EDB
Çok Düşük	0	0,89	0,88	0,42
Düşük	3,77	29,56	18,18	7,03
Orta	24,99	30,94	34,95	32,14
Yüksek	46,21	18,73	16,31	45,07
Çok Yüksek	25,03	19,87	29,68	15,34
Toplam (Çok yüksek, Yüksek)	71,24	38,60	45,99	60,41

Çizelge 6.3 ÇKKA yöntemi ile üretilen risk haritasının InSAR ve HEH ile doğruluk karşılaştırmaları.

Duyarlılık Sınıfları	KTB		EDB	
	HEH	InSAR	HEH	InSAR
Çok Düşük	0	0,02	0,58	0,78
Düşük	1,17	3,24	10,86	37,53
Orta	10,12	28,36	34,49	35,85
Yüksek	72,56	60,33	45,89	20,93
Çok Yüksek	16,15	8,05	8,18	4,91
Toplam (Çok Yüksek, Yüksek)	88,71	68,38	54,07	25,84

Sonuç olarak, tüm yapılan analizler değerlendirildiğinde tüm analizler için ÇKKA+KTB yöntemi ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, InSAR destekli risk haritası değerlendirmesi ilk defa bu çalışmada yapılmış ve tasman faktörünü de işin içine katan yeni bir model önerilmiş ve bu model sayesinde çok daha tutarlı bir risk haritası üretilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda tasman faktörünün ağırlığın daha iyi belirlenebilmesi için çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Akçın H** (1993) Yeraltı Maden Üretiminden Kaynaklanan Tasman Hareketlerinin Yapısal ve Jeodezik Analizi. *Yüksek Lisans Tezi* (yayımlanmamış), YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 140.
- Akçın H** (1995) Zonguldak Taşkömürü Havzası (Zth)'Nin Özgün Mekanik Parametrelerine Dayalı Olarak Tasman Tahmini Uygulamaları, *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*.
- Akçın H, Degucci T, Kutoglu S H** (2006) Monitoring Mining Induced Subsidence Using GPS And Insar, TS 48 – Engineering Surveys for Construction Works II, *XXIII FIG Congress*, October 8-13, Munich, Germany, 12.
- Akcin H, Kutoglu SH, Kemaldere H, Degucci T** (2009) Zonguldak Taşkömürü Havzasında Düşey Hareketlerin İzlenmesine Yönelik Insar Çalışmaları. *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15 Mayıs, Ankara.
- Akgün A** (2007) Ayvalık Ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi. *Doktora Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir, 400.
- Akgun A and Bulut F** (2007) GIS-Based Landslide Susceptibility For Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region. *Environmental Geology*, 51: 1377-1387.
- Akıncı H, Doğan S, Kılıçoğlu C, Keçeci S B** (2010) Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Electronic Journal of Map Technologies*, 2, 3, 13-27.
- Aksoy G** (2011) Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aleotti P and Chowdhury R** (1999) Landslide Hazard Assessment: Summary Review And New Perspectives, *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 58:21-44.
- Alan İ ve Aksay A** (2002) *1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Zonguldak E27 Ve F27 Paftaları*. No 28, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara
- Anbalagan R** (1992) Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32: 269-277.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Anbalagan R and Singh B** (1996) Landslide Hazard And Risk Assessment Mapping of Mountainous Terrains A Case Study From Kumaun Himalaya, *India. Eng. Geol.*, 43: 237-246.
- Arioğlu Ergin, Yüksel A** (1985) Zonguldak Kömür Havzasında Tasman Yapı Hasarları ve Bunların Değerlendirilmesi, *Madencilik Dergisi*, Maden Mühendisleri Odası Yayın Organı, XXIV: 4, Ankara.
- Atkinson PM and Massari R** (1998) Generalized Linear Modelling of Susceptibility To Landsliding In The Central Appennines, Italy. *Computers and Geoscience*, 24: 373385.
- Ayalew L And Yamagishi H** (2005) The Application of GIS-Based Logistic Regression For Landslide Susceptibility Mapping In The Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2): 15-31.
- Ayalew L, Yamagishi H, Marui H, Kanno T** (2005) Landslides in Sado Island of Japan Part II. GIS-Based Susceptibility Mapping With Comparisons of Results from Two Methods And Verifications, *Engineering Geology*, 81: 432-445.
- Balamir M** (2007) Afet Politikası, Risk ve Planlama. TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, 120-124
- Bednarik M, Magulová B, Matys M, Marschalko M** (2010) Landslide Susceptibility Assessment of The Kral'ovany-Liptovsky' Mikuláš Railway Case Study, *Physics and Chemistry of the Earth*, 35: 162-171.
- Berggren B, Fallsvik J, Viberg L** (1991) Mapping and Evaluation of Landslide Risk in Sweeden. Proc.16th Int. Landslide Conf., Balkema, Rotterdam, 873-878.
- Bonham-Carter G.F** (1996) Geographic Information Systems For Geoscientists, Modelling With GIS. Pergamon Press, Canada, 369-398
- Borouhaki S and Malczewski J** (2008) Implementing An Extension of The Analytical Hierarchy Process Using Ordered Weighted Averaging Operators With Fuzzy Quantifiers In Arcgis. *Computers & Geosciences*, 34: 399-410.
- Brabb EE, Pompeyan EH, Bonilla MG** (1972) Landslide Susceptibility In San Mateo County, California, US Geol. Surv. Misc. Field Studies Map, MF-360, scale 1: 62.500.
- Brundsen D, Doornkamp JC, Fookes PG, Jones DKC, Kelly JMH** (1975) Large Scale Geomorphological Mapping And Highway Engineering Design. *J. Eng. Geol.*, 8: 227-253

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bughi S, Aleotti P, Bruschi R, Andrei G, Milani G, Scarpelli G** (1996) Slow Movements of Slopes Interfering with Pipelines: Modelling vs Monitoring. *Proc. 15th Int. Conf. OMAE*, Firenze, June 1996.
- Bulut F, Boynukalın S, Tarhan F, Ataoğlu E** (2000) Reliability of Landslide Isopleth Maps, *Engineering Geology and Environment*, 58 (2): 95-98.
- Can E ve Kuşçu Ş** (2009) Taşkömür Havzasında Eski Üretim Alanlarının Yerleşime Açılması Ve Potansiyel Sorunlar. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Can E ve Akçın H** (2010) Taşkömür Havzasındaki Tasman Oluşumlarının Kentleşme ve Arazi Kullanımı Üzerindeki Etkileri, Jeodezi, *Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2010/2 103: 33-38
- Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V, Reichenbach P** (1991) GIS Techniques And Statistical Models in Evaluating. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 427-445.
- Carrara A** (1983) Multivariate Methods For Landslide Hazard Evaluation. *Math. Geol.*, 15 (3): 403-426.
- Carrara A and Merenda L** (1974) Metodologia Per Un Censimento Degli Eventio Franso In Calabria. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 10: 237-255.
- Carver SJ** (1991) Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5 (3): 321-339.
- Cascini L, Critelli S, Gulla G, Di Nocera S** (1991) A Methodological Approach To Landslide Hazard Assessment: A Case History. *Proc. 16th Int. Landslide Conf.*, Balkema, Rotterdam, 899-904.
- Castellanos E and Van Westen C J** (2003) Landslide Hazard Assessment Using The Heuristic Models. ITC, Enschede, The Netherland.
- Chakhar S and Mousseau V** (2007) Spatial Multicriteria Decisionmaking. In Shekhar, S. and Xiong, H. (Eds.), *Encyclopedia of Geographical Information Science*. Springer.
- Champati ray P K, Dimri S, Lakhera R C, Sati S** (2006) Fuzzy-Based Method For Landslide Hazard Assessment In Active Seismic Zone of Himalaya. *Landslides Springer-Verlag*, 4: 101-111.
- Chung CF and Fabbri A G** (1999) Probabilistic Prediction Models For Landslide Hazard Mapping. *Photogrammetric Eng. and Remote Sen.*, 65 (12): 1388-1399.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Cömert Ç ve Bostancı H T** (1999) Kentsel Geliştirme Projeleri için Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Önemi: Trabzon Zağnos Dere Havzası Örneği. *Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 13-15 Ekim, Trabzon, 273-285.
- Çan T, Nefeslioğlu H A, Gökçeoğlu C, Sönmez H, Duman T Y** (2005) Susceptibility Assessments of Shallow Earthflows Triggered By Heavy Rainfall At Three Catchments By Logistic Regression Analyses. *Geomorphology* (Baskıda).
- Çellek S** (2013) Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 309.
- Çizgi Şehir Planlam San. ve Tic Ltd. Şti.** (2009) *Zonguldak-Kozlu Beldesi Ekonomik sosyal – fiziki mekan çözümleme raporu*. Zonguldak, 84.
- Çörekçioğlu Ş** (2004) Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yazı Havzasının (Orta-Çankırı) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniv. Jeo. Müh. Bölümü, 66 s. (Yayınlanmamış) Adana.
- Dağ S** (2007) Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. *Doktora Tezi*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon. 241.
- Dağ S ve Bulut F** (2012) Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 36 (1): 35-62.
- Dağ S, Bulut F, Akgün A** (2006) İki Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi İle Çayeli (Rize) ve Çevresindeki Heyelanların Değerlendirilmesi. *1. Heyelan Sempozyumu*, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 84 s.
- Dağlıyar A** (2003) Bir Manyezit Ocağı Sondaj Verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 58.
- Dai F C Ve Lee C F** (2002) Landslide Characteristics And Slope Instability Modeling Using Gis. Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42: 213228.
- Değirmenci N** (1989) *Etki Fonksiyonu (Influence Function)*. TTK Tasman Şube Müdürlüğü, Zonguldak, 24.
- Delikanlı M** (2010) Coğrafi Bilgi Sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) Bölgesinin Heyelan Duyarlılık İncelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Demir G** (2011) Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın Cbs Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi. *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 181.
- Dereli M A, Yalçın M, Erdoğan S** (2010) Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sisteminin Kullanımı. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: (3): 28-34.
- Diaz Fernandez M E, Alvarez-Fernandez M I, Alvarez-Vigil A E** (2010) Computation of Influence Function For Automatic Mining Subsidence Functions. *Computational Geosciences*, 14 (1): 83-103.
- Eastman J R** (1997) Idrisi For Windows, Version 2.0: Tutorial Exercises. Graduate School of Geography – Clark University, Worcester, MA.
- Ercanoğlu M** (2003) Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi-Yenice Kuzeyi). *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 203.
- Ercanoğlu M ve Gökçeoğlu C** (2004) Use of Fuzzy Relations To Produce Landslide Susceptibility Map of A Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75: 229-250.
- Erdoğan N** (2002) Monitoring Changes in Surface Mining Area by Using Spot Satellite Images. The Degree of Master of Science, The Middle East Technical University, Institute of Natural And Applied Sciences, Department of Mining Engineering, Ankara, 118.
- Erener A, Şebnem H, Düzgün B** (2010) Improvement of Statistical Landslide Susceptibility Mapping By Using Spatial And Global Regression Methods In The Case of More And Romsdal (Norway). *Landslides*, 7: 55-68.
- Ergün A ve Kumbasar N** (2003) İnce Plaklar İçin Geliştirilmiş Sonlu Farklar Yöntemi. *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 2 (1): 35-44.
- Ermını L, Catani F, Casagli N** (2005) Artificial Neural Networks Applied to Landslide Susceptibility Assessment. *Geomorphology* 66: 327-343.
- Fell R, Corominas J, Bonnard C, Cascini L, Leroi E, Savage W Z** (2008) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102: 85-98.
- Fernandez C I, Del Castillo T F, El Hamdouni R, Montero J C** (1999). Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surface Process and Landforms*. 24: 537-544.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Fishburn P C** (1967) Additive Utilites with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments. *Operations Research*, 15: 537-542.
- Gomez H ve Kavzoğlu T** (2004) Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin. Venezuela, *Engineering Geology*, 78: 11-27.
- Gökçeoğlu C. ve Aksoy H** (1996) Landslide Susceptibility Mapping of The Slopes In The Residual Soils of The Mengen Region (Turkey) By Deterministic Stability Analyses And Image Processing Techniques. *Eng. Geol.*, 44: 147-161.
- Gökçeoğlu C. ve Ercanoğlu M** (2001) Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi* 23, 189-206.
- Görüm T** (2006) Coğrafi Bilgi Sistemi ve İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Melen Boğazı ve Yakın Çevresi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Gupta P and Anbalagan R** (1997) Slope Stability of Theri Dam Reservoir, India, Using Landslide Hazard Zonation (LHZ) Mapping. *Q. J. Eng. Geol.*, 30: 27-36
- Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P** (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and the ir application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31: 181-216.
- Güneş N** (2003) Türkiye Doğal Taşların Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir, 129.
- Güneş K** (2005) Türkiye Feldspat Sahalarını Coğrafi Bilgi Sistemler Ortamında Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Hacıosmanoğlu M E** (2004) Çayırhan Kömür Madeni İçin Tasman Modeli Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 175.
- Hasekioğulları G D** (2010) Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 140.
- Hosmer D W and Lemeshow S** (1989) *Applied Regression Analysis*. Wiley, New York.
- İşleker H** (2009) Bir Maden Yatağının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 76.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jakob M** (2000) The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38: 279-300.
- Jankowski P** (1995) Integrating Geographical Information Systems And Multiple Criteria Decision-Making Methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 251-273
- Karakaya F** (2003) Yalova-Orhangazi Arasındaki Bölgenin Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, (Yayınlanmamış) Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Adana, 83.
- Kavas E** (2009) Analitik Hiyerarşik SÜREÇ Yöntemiyle İzmir İlinin Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 02-06 Kasım İzmir.
- Kavzoğlu T, Şahin E K, Çölkesen İ** (2012) Heyelan Duyarlılığının İncelenmesinde Regresyon Ağaçlarının Kullanımı: Trabzon Örneği. *Harita Dergisi*, 147.
- Kawabata D ve Bandibas J** (2009) Landslide Susceptibility Mapping Using Geological Data, A DEM From ASTER Images And An Artificial Neural Network (ANN). *Geomorphology*, 113: 97-109.
- Keeney R L and Raiffa H** (1976) Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. John Wiley, New York.
- Kızıldaş M** (2005) İstanbul Bölgesi Taşocaklarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ortamında Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 107.
- Kienholz H** (1984) Hangstabilitas Un Gefahrenbeurteilung Im Nepalischen Mittelgebirge. *Proceedings Intrapraevent. Villach, Austria, Band 2*, 331-342.
- Koukis G and Ziourkas C** (1991) Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. *Bulletin of International association of Engineering Geologists*, 43: 47-60.
- Kratzsch H** (1983) Mining Subsidence Engineering. *Springer Verlag Berlin Heidelberg*, New York, 111.
- KTİ** (2005) *Kozlu Taşkömürü İşletmesi Brifingi*. Kozlu Taşkömürü İşletme Müdürlüğü, Zonguldak.
- Kuruüzüm A and Atsan N** (2001) Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*. 1: 83-105.
- Kuşçu Ş** (1986) *Tasman Mühendisliği Ders Notları*. ZKÜ, Zonguldak.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kuşcu Ş** (1987) *Tasman Mühendisliği (Temel Kavramlar)*. Ders Notu (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 48.
- Kuşcu Ş** (1993) Yeraltı Maden İşletmeciliğinden Kaynaklanan Zemin Hareketlerinin Hesabı Ve Zonguldak Taşkömür Havzası İçin Öneriler. *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Genel Kurulu Bildiri Kitabı*, (TUJJB), Ankara, 14s
- Kutoğlu Ş H, Ecevitoglu B, Çapar Ö F, Güney Y, Kemaldere H, Avdan U, Çıtıröglü H K, Pekkan E, Kartal M E, Görmüş K S** (2012) *Zonguldak İncivez ve Bahçelievler Mahallesi Zemin Hareketleri Raporu*.
- Kükner A ve Tapkan K K** (1999) Başlangıçta Serbest Yüzeyinde Sinüzoidal Dalga Formuna Sahip Bir Tankta Çalkantı Probleminin Sınır Eleman Yöntemiyle Çözümü. *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 99 Bildiriler Kitabı*, İstanbul. 98-113,
- Lee C F, Ye H, Yeung M R, Shan X, ChenG** (2001) AIGIS-Based Methodology For Natural Terrain Landslide Susceptibility Mapping İn Hong Kong. *Episodes*, 24 (3): 150-159.
- Lee S** (2005) Application of Logistic Regression Model And İts Validation For Landslide Susceptibility Mapping Using GIS And Remote Sensing Data. *International Journal of RemoteSensing*, 26: 1477-1491
- Lee S, Ryu J H, Min K, Won J S** (2003) Landslide Susceptibility Analysis Using GIS And Artificial Neural Network. *Earth Surface Processes And Landforms*. 28: 1361–1376.
- Lee S, Choi J, Min K.** (2004) Landslide Hazard Mapping Using GIS And Remote Sensing Data At Boun, Korea. *Int J Remote Sensing* 25: 2037-2052.
- Leroi E** (1996) Landslide Hazard-Risk Maps At Different Scales: Objectives, Tools And Developments. *Proc. 7th Int. Symp on Landslides*, Trondheim, 1, June 1996, 1: 35-52.
- Liu JG and Mason P** (2009) *Essential image processing and GIS for remote sensing*: John Wiley & Sons).
- Luetkens O** (1957) *Bauen im Bergbauggebiet*. Springer Verlag. (Traduction CERCHAR No. 988-60).
- Luo Y and Cheng J W** (2009) An Influence Function Method Based Subsidence Prediction Program For Longwall Mining Operations İn Inclined Coal Seams. *Mining Science and Technology (China)*, 19 (5): 592-598.
- Luzi L and Pergalani F** (1999) Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the” Oltre Po Pavese” case history (Regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20: 57-82.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Magliulo P, Di Lisio A, Russo F** (2009) Comparison of GIS-Based Methodologies for the Landslide Susceptibility Assessment, *Geoinformatica*, 13: 253–265.
- Malczewski J** (1999a) GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, New York.
- Malczewski J** (1999b) Spatial Multicriteria Decision Analysis, Part 1 in Decision Making and Analysis: A Geographic Information Sciences Approach. Edited by Jean-Claude Thill, New York.
- Mazman T** (2005) Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve İstatistiksel Analiz Teknikleri İle Kumluca Havzası (Gd Bartın) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana s102.
- Meyer V, Scheuer S, Haase D** (2007) GIS-Based Multicriteria Analysis As Decision Support In Flood Risk Management. Floodsite-Report, T10-07-07.
- Nagarajan R, Roy A, Vinod Kumar R, Mukherjee, A, Khire M V** (2000) Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based On Terrain And Climatic Factors For Tropical Monsoon Regions. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58: 275-287.
- Nandi A ve Shakoor A** (2009) A GIS-Based Landslide Susceptibility Evaluation Using Bivariate and Multivariate Statistical Analyses. *Engineering Geology*, 110: 11-20.
- Nyerges T L and Jankowski P** (2010) Regional and Urban GIS. The Guilford Press, New York.
- Ohlmacher G C ve Davis J C** (2003) Using Multiple Logistic Regression and GIS Technology to Predict Landslide Hazard in Northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69: 331-343.
- Özcan H** (2008) İstanbul da Kentsel Yayılmanın Yapay Sinir Ağları ile Öngörülmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul, 67s.
- Özdemir H** (2007) Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS Ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın Ve Heyelan Risk Analizi. *Doktoro Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul, 281.
- Özdemir H, Akbulak C, Özcan H.** (2011) Çokal Barajının (Çanakkale) Çökme Modellemesi ve Taşkın Risk Analizi. İ.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri, YADOP 4400, İstanbul.
- Özrürk K** (2002) Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 22 (2): 35-50.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Pachauri A K and Pant M** (1992) Landslide Hazard Mapping Based On Geological Attributes. *Eng. Geol.*, 32: 81-100.
- Peng S S** (1992) Surface Subsidence Engineering. Littleton, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, 161.
- Pereira J M C and Duckstein L** (1993) A Multiple Criteria Decision-Making Approach To GIS-Based Land Suitability Evaluation. *Int. J. Geographic Information Systems* 7 (5): 407-424.
- Pradhan B, Lee S, Buchroithner M F** (2009) Use of Geospatial Data and Fuzzy Algebraic Operators to Landslide-Hazard Mapping. *Appl Geomat*, 1: 3-15.
- Pradhan B** (2010) Remote Sensing And GIS-Based Landslide Hazard Analysis And Crossvalidation Using Multivariate Logistic Regression Model On Three Test Areas In Malaysia. *Advances in Space Research*, 45: 1244–1256.
- Proctor W and Qureshi E** (2005) Multi-Criteria Evaluation Revisited. Conference Proceedings: Ecological Economics In Action, Australia New Zealand Society For Ecological Economics, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Proust A** (1964) Etude Sur Les Affaissements Miniers Dans Le Bassin Du Nord Et Du Pas-De Calais. Douai, Juin.
- Rashed T and Weeks J** (2003) Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards Through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17 (6): 547-576.
- Ren G, Whittaker B N, Reddish D J** (1987) Mining Subsidence And Displacement Prediction Using Influence Function Methods, *Mining Science And Technology* 5: 89-104
- Reis S, Yalçın A, Atasoy M, Nişancı R, Bayrak T, Sancar C, Ekercin S** (2009) CBS Ve Uzaktan Algılama Teknikleri İle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği. Türkiye Ulusal Fotogrametri Ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, Ankara, 2009.
- Rossum G and Drake F L** (2000) Python Tutorial, Release 2.0, BeOpen PythonLabs, 7-66.
- Saaty T L** (1977) A Scaling Method For Priorities In Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15: 234–281.
- Saaty T L** (1980) The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill, International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised, Pittsburgh: RWS Publications.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sağıroğlu S, Besdok E, Erler M** (2003) Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları. Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., Kayseri.
- Sanşan M** (1980) Topoğrafya, Eki yayın no. 39, Zonguldak, 154
- Saral A ve Musaoğlu N** (2011) Çok Kriterli Karar Verme ve Bilgi Difüzyonu Yöntemleri ile Taşkın Risk Analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 1822, Nisan 2011, Ankara.
- Scarpelli G, Aleotti P, Baldelli P, Milani G, Brambati E** (1995) Field Experience of Pipeline İn Geologically Unstable Areas. Proc. of The 14th Int. Conf., Offs. Mech. And Arctic Eng. (OMAE 95), Copenhagen, June 1995, 5: 87-96.
- Schuster R L and Fleming R W** (1986) Economic Losses And Fatalities Due To Landslides. *Bull. Ass. Eng. Geol.*, 23-1: 11-28.
- Seijmonsberger A C** (1992) Geomorphological Evolution of An Alpine Area And Its Application To Geotechnical And Natural Hazard Appraisal İn The NW. Ratikon Mountains And S. Walgau (Vrarlberg, Austria). Phd.
- Sezer M** (2005) Enerji İletim ve Dağıtım Projelerinde CBS Uygulamaları, Bitirme Tezi, YTÜ Elektrik -Elektronik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Sezer E, Pradhan B, Gökçeoğlu C** (2010) Manifestation of An Adaptive Neuro-Fuzzy Model On Landslide Susceptibility Mapping: Klang Valley, Malaysia, Expert Systems With Applications, Elsevier, Article İn Press.
- Shadbold C H** (1977) Mining Subsidence Historical Review And State-of-The-Art.Proc. Conf. Large Ground Movements, UWIST, Cardiff. Ed. J. D. Geddes, Pentech Pres, London: Plymouth, 705-748.
- Sheorey P R, Loui J P, Singh K B, Singh S K** (2000) Ground Subsidence Observations And Modified İnfluence Function Method For Complete Subsidence Prediction. *International Journal of Rock Mechanics And Mining Sciences*, 37(5): 801-818
- Simon H A** (1960) The New Science of Management Decision. Harper and Row, New York.
- Süzen M L** (2002) Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information Systems And Remote Sensing. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural And Applied Science, Ankara.
- Süzen M L, Doyuran V** (2004) Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method And Application To Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, Issues 3-4: 303-321.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Soeters R S and Van Westen C J** (1996) Slope İnstability Recognition, Analysis And Zonation. In: Landslides: Investigation And Mitigation. Turner, A.K. And Schuster, R.L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., 129-177.
- Sönmez V** (2002) Çevresel Atıkların Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) İle Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, 62.
- Stevenson P C** (1977) An Empirical Method For The Evaluation of Relative Landslide Risk. *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.*, 16, 69-72.
- Strager M P** (2002) Integrating Criteria Preferences and Spatial Data to Prioritize Lands for Preservation in Cacapon River Watershed, West Virginia. Final Report to the Canaan Valley Institute, Task Order NRAC 2002-09.
- Süzen M L** (2002) Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information Systems And Remote Sensing. Graduate School of Natural And Applied Sciences, Geo. Eng. Dept., Phd. Thesis, Metu, Ankara, 196.
- Şahin E.K.** (2012) Cbs Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 132.
- Tatlıdil H** (2002) Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz. Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, 424.
- Thomas F, Ulrich S, Schlenzig C** (2001) Ranking Methodologies for Sustainable Development and CDM Projects Checklists. Final Project Document.
- Torano J, Rodriguez R, Ramirez-Oyanguren P** (2000) Probabilistic Analysis of Subsidence-Induced Strains At The Surface Above Step Seam Mining, *International Journal of Rock Mechanics And Mining Sciences*, 37(7): 1161-1167.
- Tören T** (2001) Determination of Mining Induced Environmental Impacts Using Remote Sensing And Gİs, The Middle East Technical University, Institute of Natural And Applied Sciences, Department of Mining Engineering, The Degree of Doctor of Philosophy, Ankara, 181s.
- Triantaphyllou E. And Mann S. H** (1989) An Examination of The Effectiveness of Multidimensional Decision-Making Methods: Adecision-Making Paradox. *Decision Support Systems*, 5: 303-312.
- TTK** (2014). Türkiye Taşkömürü Kurumu, Kozlu Müessesesi, Zonguldak.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- UNESCO**, (1973) Annual summary of information on natural disasters, 1971-1975. Paris, Unesco.
- URL-1** (2011) <http://www.teara.govt.nz>, 12 Şubat 2011
- URL-2** (2011) http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/56763/Mine_Subsidence_-_Primefact_21-final.pdf, Prime Facts, Mine subsidence, 17 Şubat 2011
- URL- 3** (2015) <http://www.etimaden.gov.tr/t-186s.htm>, 25 Mayıs 2015.
- Uyguçgil H** (1994) Maden Mühendisliğinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir, 51.
- Uzunkavaklı Y** (1990) Zonguldak Taşkömür Havzasındaki Kuyularda Görülen Tasman Hasarlarının ve Alınabilecek Önlemlerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalı, Zonguldak, 88.
- Valvo M** (2002) Landslides: From Inventory To Risk, In: Rybar, J, Stemnerk, J., Wagner, P., (Eds.), Landslides, Proc. of The I ECI, Prague, Cz. Rep. June 24-26, 2002. Balkema, Netherland, 79-93.
- Varnes D J** (1978) Slope Movement Types And Processes. In Landslides: Analysis And Control. Edited By R. L. Schuster And R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington. Special Report 176, Chapter 2, 11-33.
- Varnes D J** (1984) Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles And Practtice. In Natural Hazards, Vol. 3, UNESCO, Paris. 63.
- Van Westen C J** (1993) Applicaition of Geographic Information Systems To Lanslide Hazard Zonation, ITC Publication Number 15, The Netherlands.
- Van Westen C J and Bonilla J B A** (1990) Mountain hazard analysis using a PCbased GIS. Proceedings of the 6th International Congress of Engineering Geology. 610 August 1990, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 265-271.
- Van Westen C J, Rengers N, Terlien M T J, Soeters R** (1997) Prediction of The Occurrence of Slope İnstability Phenomena Through GIS-Based Hazard Zonation. Geologische Rundschau, 86: 404-414.
- Vivas L** (1992) Los Andes Venezolanos. Academia Nacional de la Historia. Caracas.
- Wang W D, Xie C M, Du X G** (2009) Landslides Susceptibility Mapping Based On Geographical Information System, Guizhou, South-West China, *Environmental Geology*, 58: 33-43.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Whittaker B N, Reddish D J** (1989) Subsidence Occurrence prediction and Control, 528 sh. Elseer, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Yalçın A** (2005). Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Yalçın A, Reis S, Aydınöğlu A C, Yomralıoğlu T** (2011) A Gıs-Based Comparative Study of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process. Bivariate Statistics and Logistics Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping İn Trabzon, Ne Turkey, Catena 85: 274-287.
- Yeşilnacar E Ve Topal T** (2005) Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison of Logistic Regression And Neural Networks Methods In A Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey). *Engineering Geology*, 79 (3/4): 251–266.
- Yetişen H** (2007) Hava Fotogrametrisi Kullanılarak Tasman Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 96.
- Yılmaz H** (2010) Kürk Çayı Havzasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Elazığ, 90.
- Yiğiter N D** (2008) Planlamada Afet Bilgi Sistemi ve Yönetiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri Modellenmesi: Adana Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Plnlama Anabilim Dalı, Ankara, 217s.
- Yomralıoğlu T** (2000) Coğrafi Bilgi Sistemleri, Temel Kavramlar ve Uygulamalar. Trabzon.
- Yomralıoğlu T** (2002) Coğrafi Bilgi Sistemleri. Seçil Ofset, İstanbul.
- Yüksel N** (2007) Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında İstatistiksel Yöntemlerin Ve Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi. *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 293.
- Zahedi F** (1986) The Analytic Hierarchy Process A Survey of the Method And İts Applications. *Interfaces*, 16: 96-108.

ÖZGEÇMİŞ

Deniz ARCA 1986'da Zonguldak'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Zonguldak Atatürk Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2003 yılında ZKÜ Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2008' de bölüm birinciliği, fakülte ikinciliği ile mezun olduktan sonra aynı yıl ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı ve 2010 yılında mezun oldu. 2009-2013 yılları arası ZKÜ Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yaptı. Mart 2013 yılından itibaren DEÜ İzmir Meslek Yüksekokulu Harita Kadastro Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2011 yılında girdiği BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : DEÜ İzmir Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar Harita Kadastro Bölümü
35000/İzmir
Tel : 0232 440 29 29
E-Posta : deniz.arca@deu.edu.tr