T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

Emrehan Kutluğ ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2012

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

Emrehan Kutluğ ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

GEBZE
2012

YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.12.2011 tarih ve 2011/41 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09.01.2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Emrehan Kutluğ ŞAHİN'in tez çalışması Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

ÜYE : Doç. Dr. M. Halis SAKA

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Bülent Enis HEKİMBAŞI

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……/……/20… tarih ve ……/…… sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

YAZAR ADI : EMREHAN KUTLUĞ ŞAHİN

İlk uygulamasından günümüze Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), 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.

CBS tabanlı karar destek sistemleri literatürde en yaygın kullanılan uygulamalardandır. Bu geniş uygulama alanında, duyarlılık haritalarının üretilmesi CBS'de en fazla üzerinde çalışılan konulardandır. Söz konusu haritalar afet öncesi ve sonrasının yönetimi için vazgeçilmez bir kaynaktır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde literatürde birçok yöntem geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu metotlar içerisinde lojistik regresyon ve frekans oranı metodu en çok kullanılan metotlardandır. CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi metodu ise duyarlılık haritalarının üretiminde son yıllardan sıklıkla kullanılan metotlardan biridir.

Heyelan, insanların kontrolü dışında gerçekleşen mal ve can kaybına neden olan bir doğal afettir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi ve heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi karar destek sistemleri kapsamında üretilecek afet planlamaları için kritik bir işlem adımıdır. Üretilecek haritaların doğrulukları can ve mal kayıplarının azaltılmasında büyük öneme sahiptir. Günümüze kadar duyarlılık

haritalarının doğruluğunun artırılmasına yönelik birçok uygulama geliştirilerek çeşitli doğruluk seviyelerinde sonuçlar üretilmiştir.

Bu tez çalışmasında Trabzon iline ait litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı, topoğrafik ıslaklık indeksi, drenaj yoğunluğu ve yola olan uzaklık katmanlarından faydalanılarak Çok Kriterli Karar Analizi, lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemleriyle heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çok Kriterli Karar Analizi metodunun performansı lojistik regresyon ve frekans oranı metodu ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada üretilen sonuçlar, Çok Kriterli Karar Analizi metodu ile üretilen duyarlılık haritasının doğruluğunun lojistik regresyondan yaklaşık %5 ve frekans oranı metodundan ise yaklaşık %15 daha yüksek doğrulukta olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar çalışma bölgesi için kullanılan veriler dikkate alındığında ÇKKA metodunun lojistik regresyon ve frekans oranı metotlarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

SUMMARY

TITLE : GIS BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING USING MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS METHOD: THE CASE OF TRABZON PROVINCE

AUTHOR : EMREHAN KUTLUĞ ŞAHİN

Geographic Information Systems (GIS) have been successfully applied to solve many scientific problems. GIS has become an inevitable information technology following the advances in computer and software technologies. Having advanced capability of data processing and analysis, GIS is an effective tool for the collection, storage, analysis and query of spatial data. Furthermore, GIS is a powerful information system allowing users to evaluate both spatial and non-spatial data.

Decision support systems based on GIS technology are one of the most widely used applications in the literature. Within the wide application area, producing susceptibility maps has been one of the most practiced research topics in GIS. These maps are invaluable sources for pre-disaster planning and post-disaster management. Numerous methods have been developed and applied in the literature for landslide mapping susceptibility. Among these methods the frequency ratio and logistic regression have been the most popular ones. Also, GIS-based Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) method has been recently introduced to produce such susceptibility maps.

A landslide is a destructive natural disaster affecting a large number of people and properties negatively. Production of landslide susceptibility maps and determining areas at risk is a critical step in planning. The accuracy of the susceptibility maps is of great importance in reducing life and property losses. Until today, most applications were developed to increase the accuracy of the susceptibility maps, as a results at different levels have been obtained.

In this study, multi criteria decision analysis, logistic regression and frequency ratio methods were employed for landslide risk assessment of Trabzon province using lithology, slope, land cover, aspect, topographic wetness index, drainage density, slope length, elevation and distance to road. Performance of the Multi Criteria Decision Analysis method was compared with logistic regression and frequency ratio models. Results indicated that Multi Criteria Decision Analysis produced landslide susceptibility maps with approximately 5% higher accuracy than logistic regression and about %15 higher than frequency ratio method. In summary, results showed that MCDA method outperformed logistic regression and frequency methods for landslide risk assessment for the dataset considered in this thesis.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, gerekli olan her türlü imkânı sağlayan, tez danışmanım, değerli hocam sayın Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yararlandığım verilerin teminde bana yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Selçul REİS'e teşekkür ederim. Çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim dalında Araştırma Görevlisi İsmail ÇÖLKESEN'e teşekkür ederim.

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümündeki değerli hocalarıma ve çalışmalarım süresince deneyimlerinden ve bilgilerinden yararlandığım tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Akademik kariyerimin her aşamasında maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan babaannem Emine ŞAHİN'e, sevgili aileme ve müstakbel eşim Bilge PÜR'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET iv
SUMMARY vi
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
TABLOLAR DİZİNİ xv
1. GİRİŞ 1
2. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ 5
2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri 5
2.1.1. Donanım 6
2.1.2. Yazılım 6
2.1.3. Veri 7
2.1.4. İnsanlar 7
2.1.5. Metotlar 8
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Grafik ve Grafik Olmayan Bilgiler 8
2.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Modelleri 9
2.3.1. Vektörel veri modelleri 9
2.3.2. Raster veri modelleri 10
2.4. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Yükseklik Analizi: Sayısal Yükseklik Modelleri 12
3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNDE RİSK ANALİZİ 14
3.1. Heyelan Riski ve Duyarlılık Haritaları 14
3.2. Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler 17
3.2.1. Sezgisel yaklaşım 17
3.2.2. İstatistiksel yaklaşım 18
3.2.2.1. İki değişkenli istatistiksel analiz 18
3.2.2.2. Çok değişkenli istatistiksel analiz 19
3.2.3. Fiziksel tabanlı model yaklaşımı 20
3.2.4. Olasılığa dayalı yaklaşımlar 20
4. HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI ÜRETİLMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER 21

4.1. Çok Kriterli Karar Verme Analizi 21
4.1.1. Çok kriterli karar verme problemlerinin sınıflandırılması 23
4.1.2. Çok kriterli karar analizi birleşenleri 25
4.1.3. Çok kriterli analiz işlem adımları 26
4.1.4. CBS tabanlı çok kriterli karar analizi 27
4.1.5. Çok kriterli karar analizi genel modeli 29
4.1.5.1. Faktör (Kriter) puanlarını standartlaştırılması 31
4.1.5.2. Bulanık kümeler ile standartlaştırma 33
4.1.5.3. Kriterlerin ağırlıklandırılması 35
4.1.5.4. Karar kuralları 41
4.1.5.4.1. Analitik hiyerarşi yöntemi 42
4.1.5.4.2. Ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme karar kuralı 44
4.1.5.4.3. Sıralandırılmış ağırlıklı ortalama 46
4.1.5.4.4. Sözel niceliklerin sıralandırılmış ağırlıklı ortalama ile kombinasyonu 51
4.1.5.5. Sıralandırılmış ağırlıklar 53
4.1.5.6. Analitik hiyerarşi yöntemi ile ağırlıklandırılmış sıralı ortalama yönteminin birleşimi 55
4.1.5.7. Duyarlılık analizi 56
4.2. Lojistik Regresyon Analizi 57
4.3. Frekans Oranı Metodu 60
5. UYGULAMA 61
5.1. Çalışma Alanı 61
5.2. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri 63
5.3. Çalışmada Kullanılan Veri Katmanları 63
5.3.1. Eğim 64
5.3.2. Litoloji 65
5.3.3. Arazi Örtüsü 66
5.3.4. Yükseklik 67
5.3.5. Bakı 68
5.3.6. Drenaj yoğunluğu 69
5.3.7. Topoğrafik ıslaklık indeksi 70
5.3.8. Yola yakınlık 71
5.3.9. Eğim uzunluğu 72

5.3.10. Heyelan envanter haritası 73
5.4. Çok Kriterli Karar Analizi ile Heyelan Duyarlılık Analizi 74
5.5. Lojistik Regresyon ile Heyelan Duyarlılık Analizi 83
5.6. Frekans Oranı Metodu ile Heyelan Duyarlılık Analizi 87
6. SONUÇLAR 95
KAYNAKLAR DİZİNİ 100
ÖZGEÇMİŞ 108
EKLER DİZİNİ 109
Ek 1. Trabzon İlinin Stratigrafik Dikme Kesiti
Ek 2. Trabzon ilinin stratigrafik dikme kesitindeki litolojik birimlerin açıklamaları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADB	: Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CBS-ÇKKA	: CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizleri
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKA	: Çok Kriterli Karar Analizi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV	: Çok Öznitelikli Karar Verme
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TO	: Tutarlılık Oranı
RI	: Random Index
CI	: Consistency Index
SAO	: Sıralandırılmış Ağırlıklı Ortalama
FAST	: Fourier Genlik Hassasiyet Testi
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ROC	: Relative Operating Characteristic
KTB	: Kullanıcı Tabanlı Bölümleme
EDB	: Eşit Dağılımlı Bölümleme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil		Sayfa
2.1.	CBS'nin birleşenleri	6
2.2.	Vektör ve raster modellerin sayısallaştırılması	9
2.3.	Koordinat çiftlerine dayalı vektörel veri modeli	10
2.4.	Nokta, çizgi ve poligonun geometrik detay gösterimi	10
2.5.	Raster hücre bilgileri	11
2.6.	Raster görüntülerdeki piksellerin karşılığındaki gerçek dünyadaki öznitelik bilgileri	11
3.1.	1900 ve 2004 yılları arasında 5 kıtada gerçekleşen heyelanlar sonucu oluşan can ve mal kaybı	15
3.2.	Heyelan duyarlılık haritası analizinin şematik olarak genel gösterimi	17
4.1.	ÇKKA işlem akışı	24
4.2.	ÇKKA için karar verici tabanlı plan akışı	25
4.3.	ÇKKA için genel işlem akışı modeli	30
4.4.	Bulanık ve kesin üyelik fonksiyonları	33
4.5.	Genel sigmoidal üyelik fonksiyonu	34
4.6.	Genel J-Şekilli üyelik fonksiyonu	34
4.7.	Lineer üyelik fonksiyonu	35
4.8.	Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu	35
4.9.	Konumsal karar probleminde iki seviye içeren hiyerarşik akış planı	44
4.10.	Karşılıklı-tercih ve riski değerlendirilen karar strateji uzayı	48
4.11.	Düzenli artan niceliklere ait örnekler	51
4.12.	Düzenli artan (azalmayan) monoton nicelikler	52
4.13.	Lojistik regresyonla yapılan heyelan duyarlılık haritası veri akış şeması	59
5.1.	Çalışma alanı, Trabzon ili	61
5.2.	Çalışma bölgesine ait eğim haritası	65
5.3.	Çalışma bölgesine litoloji haritası	66

5.4.	Çalışma bölgesine ait arazi örtüsü haritası	67
5.5.	Çalışma bölgesine ait yükseklik haritası	68
5.6.	Çalışma bölgesine ait bakı haritası	69
5.7.	Çalışma bölgesine ait drenaj yoğunluğu haritası	70
5.8.	Çalışma bölgesine ait topoğrafik ıslaklık haritası	71
5.9.	Çalışma bölgesine ait yol ağı haritası	72
5.10.	Çalışma bölgesine eğim uzunluğu haritası	73
5.11.	Çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası	74
5.12.	Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörlerin frekans değerleri	75
5.13.	Duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörler için bulanık set fonksiyonları ve normalleştirme sonrası elde edilen haritalar	77-78
5.14.	Ağırlıklı doğrusal birleştirme metodu için işlem akışı	80
5.15.	ÇKKA sonrası elde edilen heyelan duyarlılık haritasının piksel dağılımına ait histogram görüntüsü	81
5.16.	ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası	82
5.17.	ÇKKA metodu sonrası eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası	83
5.18.	Lojistik regresyon sonrası elde edilen heyelan duyarlılık haritasının piksel dağılımına ait histogram görüntüsü.	85
5.19.	Lojistik regresyon metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası	86
5.20.	Lojistik regresyon metodu sonrası eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası	87
5.21.	Frekans oranı metodu ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası işlem adımları	89
5.22.	Frekans oranı sonrası elde edilen heyelan duyarlılık haritasının piksel dağılımına ait histogram görüntüsü	92
5.23.	Frekans oranı sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası	93
5.24.	Frekans oranı sonrası eşit dağılımlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası	94
6.1.	Çalışma bölgesindeki heyelan alanlarının yükseklik değerleri.	98

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo		Sayfa
2.1.	Vektöre ve raster veri modellerinin karşılaştırılması	12
4.1.	İkili karşılaştırma ölçek değerleri	38
4.2.	Analitik hiyerarşi işlemi matrisi	44
4.3.	Sıralandırılmış ağırlıklı ortalama ile faktör değer hesabı	49
4.4.	Farklı ağırlıklar için SAO ölçüm hesabı	50
4.5.	α parametrelerinin seçilen değerleri için düzenli artan monoton niceliklerin özellikleri	53
4.6.	Seçilen sözel nicelikler ve aldıkları α parametreleri	53
5.1.	İlçelere göre il/ilçe merkezi ve belde/köy nüfusu	62
5.2.	Heyelan duyarlılık haritası için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları	79
5.3.	Lojistik regresyon sonucu elde edilen regresyon katsayıları	84
5.4.	Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörlerin frekans değerleri	90-91
6.1.	Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların doğruluk karşılaştırmaları	97

1. GİRİŞ

İnsanoğlu 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. Eski yerleşim yerleri incelendiğinde, kurulan kentlerin ve ulaşım hatlarının mümkün olduğunca doğal etkilerden uzak ve güvenilir yerlerden seçildiği görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri dönem toplumlarının gerekli teknolojilere ve imkânlara sahip olamaması ve doğayı yönlendirme güçlerinin olmayışıdır. Geçmişte insanlar, doğal afetlerin yarattığı etkilerden korunmasız kalarak oluşan sonuçlara boyun eğmek zorunda kalmışlardır. Fakat günümüze kadar gerçekleşen birçok bilimsel gelişme, insanoğlunun çevre üzerindeki hükmünü de güçlendirmiştir. Artık geçmişte önlenemez ve ölümcül görülen doğal afetler insanlığın geliştirdiği güçlü yapılar, önceden tahmin sistemleri, afet öncesi planlamalar ve birçok teknolojik imkânlarla birlikte belli seviyede karşı koyulabilir noktaya gelmiştir.

Doğal afetler, insan yaşamını olumsuz etkileyen, büyük oranlarda can ve mal kayıplarına yol açan, yerel ve küresel anlamda büyük zararlar doğuran doğal olay ya da olaylar bütünüdür. 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. Ülkemizde görülen doğal afetlerin başında deprem, heyelan, erozyon, sel-taşkın, yangın ve çığ felaketi gelmektedir. Ülkemiz Kuzey Anadolu fay zonu depremlerin en etkin görüldüğü bölgedir. Bu kuşak üzerinde yaşanan ve dünyanın en büyük depremleri arasında yer alan 1939 Erzincan depreminde 32.962 kişi hayatını kaybetmiş, yaklaşık 100.000 insan yaralanmış ve deprem sonrası 116.720 bina yıkılmıştır. Son yıllarda yaşanan doğal afetlere bakıldığında ülkemizde depremden sonra en çok etki eden afet türü heyelanlardır. Türkiye'de görülen heyelanların önemli bir bölümü Karadeniz bölgesinde görülmektedir. 24 Haziran 1988 günü Trabzon ili Maçka ilçesine bağlı Çatak Köyünde kuvvetli yağışlara bağlı olarak oluşan heyelanlarda 65 kişi yaşamını

yitirmiştir. Ülkemizde deprem ve heyelanlardan sonra en büyük ekonomik kayıplara yol açan afetlerden bir diğeri de sel felaketleridir. Türkiye'de her yıl ortalama 200 sel-taşkın felaketi yaşanmakta ve bu felaketler sonucu yılda ortalama 100 milyon $ maddi kayıp meydana gelmektedir [Ceylan, 2010].

Ülkemizde orman yangınlarının istatistiğinin tutulması 1937 yılında orman kanunun kabul edilmesinden sonra başlanmıştır. 1937 yılından 2003 yılına kadar tutulan istatistiki bilgilere bakıldığında, ülkemizde yaklaşık 80 bin orman yangını çıkmış ve 1,6 milyon hektar orman alanı yanmıştır. Yapılan istatistiki çalışmalar orman yangınlarının çıkış nedenlerini %6 doğal ve %94 insan kaynaklı olduğunu göstermiştir [Orman Genel Müdürlüğü, 2003]. Diğer taraftan Çığ genellikle ülkemizde en yoğun kar yağışı alan Doğu Anadolu Bölgesi'nde görülmektedir. Türkiye'de 1958 yılından beri istatistiki verileri tutulmaya başlanan çığ felaketi kayıtlarında 448 adet çığ olayı bulunmaktadır. Bu olaylar sonucu ayrıca toplam 850 kişinin hayatını kaybettiği kayıtlarda yer almaktadır.

Afet öncesi planlama, bir afetin gerçekleşeceği ön görülen bölge için afet öncesi önlemlerin alınması, envanter ve veri tabanlarının oluşturulması, oluşabilecek olası afetlerin türü ve boyutları kapsamında acil durum planlarının hazırlanması ve afet sonrası yapılacakları kapsayan konumsal ve konumsal olmayan tüm verileri içine alan bir hazırlık aşamasıdır. İnsan hayatının güvenliğini sağlamak, olası can ve mal kayıplarını önlemek ile birlikte bölgesel ve ülke çapında ekonomi üzerinde yaratacağı olumsuz etkileri gidermek amacıyla afet öncesi planlamaların hazırlanması önemli bir husustur. Birçok afet planın hazırlanmasında kullanılan önemli altlık çalışmalardan biri de afet bölgesini içine alan detaylı ve istenilen amaca göre hazırlanmış haritalardır. Afet öncesi planlama da kullanılacak haritaların kapsamları, detayları ve konusu tamamen olası afetin türü ve içeriğiyle alakalıdır. Afet öncesi ve sonrasında kullanılmak üzere hazırlanan önemli haritalardan birisi ise heyelan duyarlılık haritalarıdır. Etkin bir planlama yapılabilmesi ve afet sonrası can ve mal kayıplarının en az seviyeye indirilebilmesi için heyelan duyarlılık haritalarının yüksek doğruluklu olarak üretilmesi önemli bir şarttır.

Ülkemizde özellikle Trabzon'u içine alan Doğu Karadeniz bölgesinde görülen heyelan olayları geçmiş yıllardan günümüze kadar etkili olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Bölgede yaşanan toprak kaymaları, alt ve üst yapılara zarar vermekte, inşaat faaliyetlerini kısıtlamakta ve büyük ölçekte ekonomik zararlara yol açmaktadır. Ekonomik kayıpların yanında plansız kentleşmenin de varlığı, yerleşim bölgelerinde yıkıma ve bunun sonucunda istenmeyen can kayıplarına sebebiyet vermektedir.

Heyelan duyarlılığının analizi topoğrafik faktörlerin yanında, doğal ve insan kaynaklı birçok faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı veri işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) metodundan faydalanılmıştır. Bu işlemin temelinde heyelana sebep olacak faktörlerin (kriterlerin) gerekli matematiksel fonksiyonlar ile düzenlenerek analiz edilmesi ve sorgulanması yer almaktadır. CBS ile birlikte ÇKKA metodunun bir arada kullanımı konumsal verilere ilişkin karar verme sürecinde oluşan problemlerin çözülmesinde birden fazla alternatif ortaya koyarken, kullanılan kriterlerin bir arada değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. CBS tabanlı ÇKKA metodu ayrıca farklı ilgi alanlarına sahip birçok karar vericilerin değerlendirme sürecine katılmalarına da olanak tanımaktadır [Malcezwski, 1999]. Günümüzde risk analizlerinde, en uygun yer belirleme gibi konumsal problemlerin çözümünü gerektiren uygulamalarda CBS tabanlı ÇKKA metodu yaygın olarak kullanılmaktadır [Anavberokhai, 2008, Boroushaki and Malczewski, 2008, Makropoulos and Butler, 2006, Phua and Minowa, 2005]. Literatürde gelişen teknolojilere paralel olarak farklı veri işleme teknikleri ile heyelan duyarlılık analizlerinin yapılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur. İstatistiksel çok değişkenli bir metot olan lojistik regresyon yöntemi, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir [Dai and Lee, 2002; Bai et al., 2011]. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde literatürde yaygın olarak kullanılan diğer bir metot ise olasılık modeline dayalı frekans oranı metodudur [Yalcin et al., 2011; Pradhan and Lee, 2010; Yilmaz, 2009; Lee and Sambath, 2006]. Bunun yanında yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, karar ağaçları gibi sezgisel algoritmalar ile duyarlılık haritalarının

üretilmesi konusunda araştırmalar bulunmaktadır [Gómez and Kavzoglu, 2005; Yao et al., 2008; Yilmaz, 2010].

Bu çalışma kapsamında literatürde kullanılan yöntemler incelenerek, Çok Kriterli Karar Analizi, lojistik regresyon ve frekans oranı yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde eğim, litoloji, bakı, topoğrafik ıslaklık indeksi, yükseklik, drenaj yoğunluğu, eğim mesafesi, arazi örtüsü ve yol olan uzaklık faktörlerinden faydalanılmıştır. ÇKKA metodunda faktörlerin birbirleri ile toplanarak tek bir risk haritası üretilmesi için bulanık setler kullanılarak normalleştirilmiştir. 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 ikinci bir yöntem lojistik regresyon metodudur. Bu yaklaşım ile heyelana neden olan faktörlerin, heyelan olan ve olmayan alanlar arasındaki ilişkiyi inceleyerek matematiksel olarak olası heyelan sahaların tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan son yöntem ise frekans oranı metodudur. Bu metotta heyelan envanter haritası ile heyelan olayının incelenmesinde kullanılan faktörlerin karşılaştırılarak elde edilen frekans değerlerine göre her bir sınıfa ait heyelanın meydana gelme olasılığı incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında Trabzon ili için Çok Kriterli Karar Analizi, lojistik regresyon ve frekans oranı metotları kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında heyelan duyarlılık haritasını üretilmesinde kullanılan ÇKKA metodu detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu metot haricinde diğer iki metotta incelenerek çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm yöntemler beş duyarlılık sınıfına bölünmüş ve her bir duyarlılık aralığı için elde edilen doğruluk değerleri karşılaştırılarak irdelenmiştir.

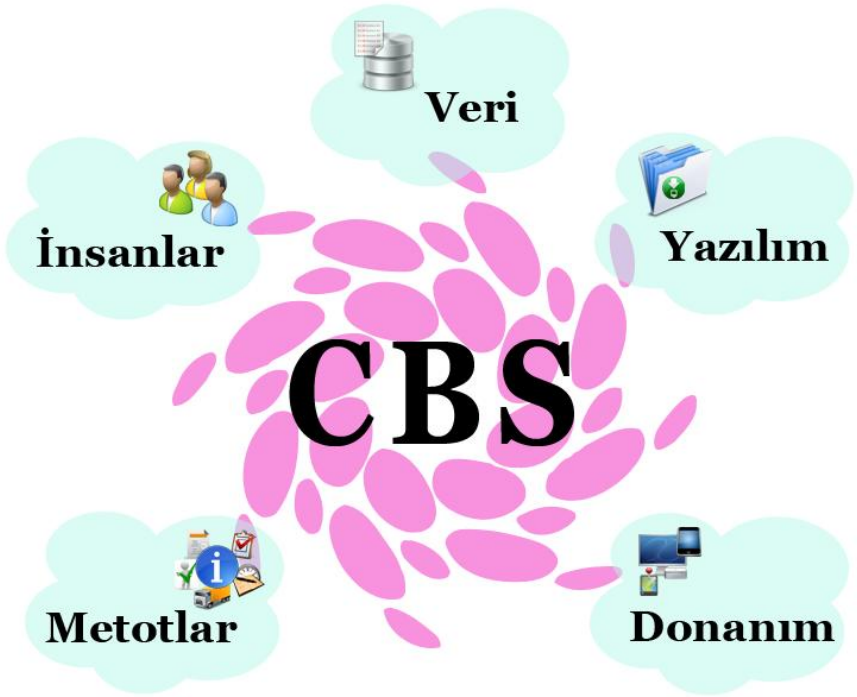
2. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

Coğrafi Bilgi Sistemi, konuma dayalı işlemlerle elde edilen konumsal ve konumsal olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlemlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir [Yomralıoğlu, 2002]. Bilginin toplanıp işlenmesi ve kullanılır hale dönüştürülmesi belli bir sistemin var olmasını gerektirmektedir. Sistem, bir sonuç elde etmeye yarayan yöntemler düzenidir. Bu amaçla kurulan sistemler genelde bilgi sistemleri olarak adlandırılmakla birlikte, bilgi sistemi; organizasyonların yönetimsel fonksiyonlarını desteklemek amacı ile bilgiyi toplayan, depolayan, üreten ve dağıtan bir mekanizma olarak tanımlanır. Dolayısıyla bir bilgi sistemi, bilgiye kolayca erişip, bilgiyi daha verimli kullanabilmek için oluşturulan bir sistem olarak algılanabilir [Yomralıoğlu, 2002; Star and Estes, 1990].

Bilgi sistemlerini konumsal ve konumsal olmayan bilgi sistemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Konumsal olmayan bilgi sistemleri, herhangi bir yer referansına sahip olmayan mekandan bağımsız işleyen bilgi sistemleridir. Muhasebe, firma yönetimi, organizasyon gibi sistemler için tasarlanan bilgi sistemleri örnek verilebilir. Konumsal bilgi sistemlerinde mevcut veriler mutlaka bir referans sisteminde tanımlanmış olması gerekmektedir. Bununla birlikte konumsal bilgi sistemleri sahip olduğu nesnelerin koordinat değerlerinin dışında bu nesnelere ait öznitelik verilerini de içeren bir bilgi sistemidir. Çevresel, altyapı, kadastral ve sosyo-ekonomik verilerin işlenmesi için geliştirilen bilgi sistemleri konumsal bilgi sistemleri olarak adlandırılır.

2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri

Coğrafi bilgi sistemleri temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için en az beş ana unsurun (Şekil 2.1) bir arada olması gerekir [Yomralıoğlu, 2002]. CBS'nin sahip olduğu bileşenler veri, insanlar, yazılım, donanım ve metotlardır.



Şekil 2.1. CBS'nin bileşenleri.

2.1.1. Donanım

CBS yazılımlarının çalıştırılması için gerekli olan bilgisayar sistemleri CBS'nin donanım kısmını oluşturmaktadır. Yapılacak uygulamalar ve kullanım ihtiyaçlarına göre donanım seçimleri kişisel bilgisayar ve süper bilgisayarlar olabilmektedir. Bu nedenle tercih edilen bilgisayar donanımının ihtiyacı karşılayacak şekilde işlemci, hafıza ve depolama birimleri belirlenmelidir. Bilgisayar bileşeni CBS donanımları içerisinde ana parça iken; yazıcı, tarayıcı ve çizici gibi yan donanımlara da ihtiyaç duyulabilmektedir.

2.1.2. Yazılım

CBS'de kullanılan yazılımlar, uygulamalarda kullanılacak verilerin depolanmasına, analizine ve görsel şekilde sunulmasına yarayan fonksiyonları ve araçları içerirler. Kullanılan yazılımlar uygulamalara göre farklılıklar göstermektedir. Bazı yazılımlar vektörel tabanlı çalışırken, bazı yazılımlar da raster tabanlı

çalışmaktadır. Tüm CBS yazılımları farklı ihtiyaçlara cevap vermekte ve her yazılımın kendine özgü arayüzleri bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan popüler CBS yazılımlarına örnek olarak Arc/Info, MapInfo, Idrisi, Grass, Genesis, SmallWord, vb. verilebilir. CBS'ye yönelik bir yazılımda; verilerin girilmesi, işlenmesi, veri tabanı yönetimi, konumsal sorgu, analiz, görüntüleme ve ek donanım desteği gibi gerekli araçlar bulunmalıdır.

2.1.3. Veri

Coğrafik veriler ve ilişkili öznitelikleri CBS'nin bel kemiğini oluşturmaktadır. Veriler mevcut kaynaklardan veya piyasada bulunan hazır verilerin satın alınması ile elde edilebilir. Veri CBS için temel öğe ve elde edilmesi en zor bileşenlerden biri olarak kabul edilir. Ayrıca elde edilen verilerin güvenilir olması önemlidir. Bu nedenle istenilen verilerin üretilmesi, toplanması ve depolanması gibi aşamalarda dikkatli olunması gerekmektedir. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları, bu verilerin toplanması için büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. Nitekim CBS'ye yönelik kurulması tasarlanan bir sistem için harcanacak zaman ve maliyetin yaklaşık %50'den fazlası veri toplamak için gerekmektedir [Yomralıoğlu, 2002].

2.1.4. İnsanlar

CBS kullanıcılarını basit amaçlı kullanıcıdan gelişmiş seviye kullanıcıya kadar sınıflandırmak mümkündür. CBS sistemlerini tasarlayan teknik işleri yürüten ve sürekli işleten gelişmiş seviye kullanıcıları iken, CBS'de yapılan uygulamaları basit amaçlarla, sınırlı sürelerde ihtiyaç halinde kullanan ise giriş seviyede kullanıcılarıdır. CBS operatörleri konumsal problemleri gerçek zamanlı çözerken, karar verme işlemlerinin çözümü için planlama, tasarım ve yürütme işlemlerini görürler.

2.1.5. Metotlar

Başarılı bir CBS modeli ve uygulaması her görev için iyi tasarlanmış bir plana göre çalışır. CBS uygulamaları kapsamında haritaların elde edilmesi, veri tabanlarının oluşturulması, analizi ve sunulması işlemleri belli bir uygulama, kural ve standartlarda işlemelidir. Bu işlem adımlarında seçilecek yöntem türleri yapısal organizasyonlarla ilgidir. Bu amaçla yürütülecek işlemlerde gerekli yönetmeliklere ve standartlara uygun olmalı ve bu amaca yönelik yöntemler belirlenmelidir.

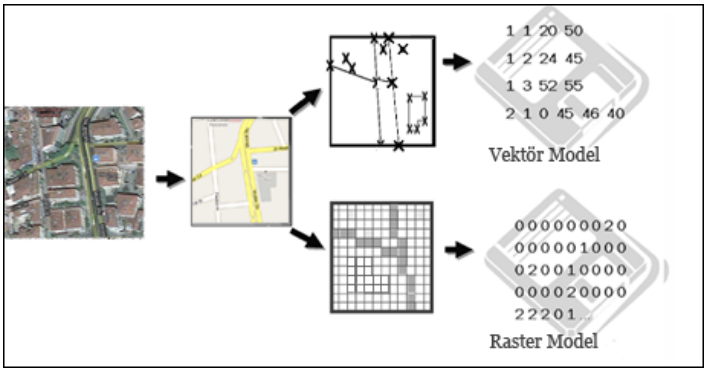
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Grafik ve Grafik Olmayan Bilgiler

Coğrafik verilerin ifade edilmelerinde grafik ve grafik olamayan veri türlerinden yararlanılır. Grafik veriler coğrafi varlığın konumu, geometrisi, büyüklüğü ve biçimi hakkında bilgi verirken, grafik olamayan veri türü ise bu coğrafi varlıkların sahip olduğu diğer yapısal özellikler hakkında bilgi verir. Grafik bilgiler, belli bir koordinat sistemini referans kabul ederek, sistem uzayında koordinatlarla ifade edilir. Grafik bilgiler koordinatlarla ifade edildiğinden detayın geometrisi ve büyüklüğü hakkında bilgi verirler [Yomralıoğlu, 2002].

Coğrafi varlıkların grafik olmayan veri yapılarını tanımlayıcı nitelikteki yazılı bilgilerine öznitelik bilgileri denir. Öznitelik bilgisi, coğrafi detayın sahip olduğu karakteristik özelliğin sayısal gösterimidir. Daha farklı bir şekilde ifade edilirse, grafik olarak ifade edilemeyen özniteliklerin şekilden bağımsız metinsel olarak ifade edilmesidir. Bu veri yapısı ile büyük çaplı ulaşılması zor kayıt altındaki dosyalara hızlı bir şekilde ulaşmak mümkün olmaktadır. CBS uygulamalarında kullanılan objelerin sahip oldukları grafiksel bilgilerin dışında cins/tür bilgileri, yükseklik bilgileri, zamansal bilgiler, sahiplik bilgileri gibi birçok yazılı bilgiye sahip olması için öznitelik verileri oluşturulur.

2.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Modelleri

Coğrafi bilgi sistemlerinde uygulamada kullanılacak konumsal ve konumsal olmayan verilerin öncelikle sayısallaştırılarak bir bilgisayar ortamına aktarılması gerekir (Şekil 2.2). Diğer bir taraftan ise coğrafi verilerin grafik olmayan öznitelik bilgileri ise tablo dokümanlar şeklinde metin formatında bilgisayara aktarılırlar. Bu iki veri grubunun bilgisayara aktarılmasından sonraki aşama, bunların birbirleri ile bağlantılarının kurulmasıdır. Kullanılan veriler klasik yöntemlerle hazırlanan bir harita olabileceği gibi uydu veya fotogrametrik yöntemlerle elde edilmiş raster verilerde olabilir. Günümüzde verilerin büyük bir kısmı artık sayısal olarak elde edilmektedir. Bu veri türleri nokta, çizgi ve poligon gibi gösterimlerle tanımlanmış ve koordinat değerlerinin kodlanarak depolandığı vektörel veriler ya da grid hücrelerden oluşan piksel tabanlı raster verilerdir.

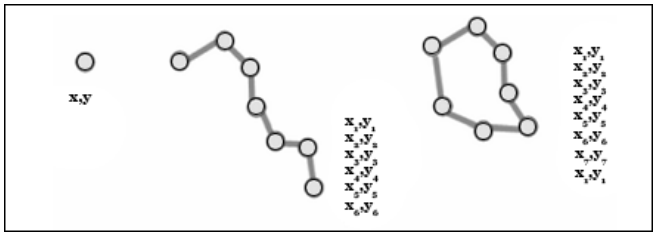


Şekil 2.2. Vektör ve raster modellerin sayısallaştırılması.

2.3.1. Vektörel veri modelleri

Vektörel veri modeli, koordinat değerlerine sahip başlangıç ve bitişi olan nokta, çizgi ve poligonlarla temsil edilen bir veri modelidir. Her bir nokta iki veya üç değer ile temsil edilmektedir. Noktalar tek bir koordinat ile temsil edilirken çizgiler ve poligonlar sıralı koordinatlar ile temsil edilmektedir (Şekil 2.3). Poligonlar çizgilerden farkı olarak başlangıç ve bitiş koordinatları aynıdır. X,Y,Z koordinat sisteminde ilk rakam olan X düzlemin sağından olan uzaklığı, Y düzlemin tepesinden olan uzaklığı ve Z ise noktanın düzlem üstünde veya altındaki yükseklik değerini

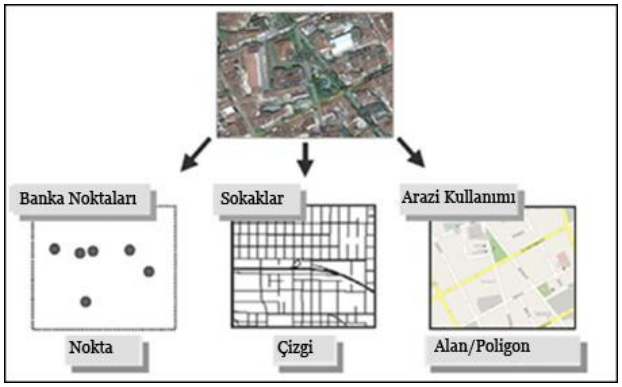
verir. Grafik veriler, coğrafi veri elementleri nokta, çizgi ve poligon biçiminde koordinatlandırılarak tanımlandırılırlar (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Koordinat çiftlerine dayalı vektörel veri modeli.

Vektör veriler aşağıdaki amaçlar ve uygulama problemleri için kullanılır [Fazal, 2008]:

- Yüksek doğruluk gerektiren işlerde,
- Dosya boyutlarının önemli olduğu uygulamalarda,
- Her bir ayrı harita özelliğinin analizine ihtiyaç duyulduğu durumlarda,
- Tanımlayıcı bilgilerin saklanması gerektiği zamanlarda.



Şekil 2.4. Nokta, çizgi ve poligonun geometrik detay gösterimi.

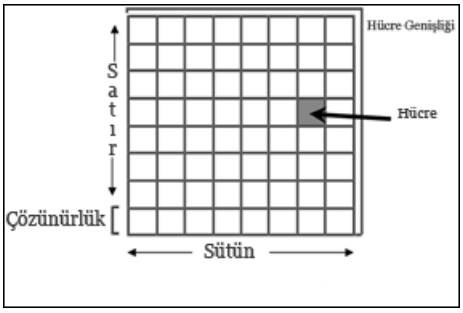
2.3.2. Raster veri modelleri

Grafik objelerin bütününün piksel veya hücreler ile temsil edildiği ya da gridlerden oluşan veri modelidir. Raster görüntüler, matris formunda oluşan küçük kareler şeklinde hücrelerden oluşur (Şekil 2.5). Her bir hücre kendine ait konumsal ve öznitelik verilerine sahiptir (Şekil 2.6). Gridler aynı boyutlarda farklı renklerde ya

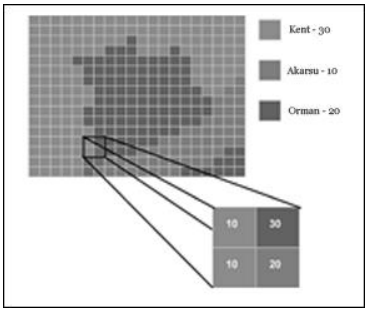
da renk tonlarında olabilirler. Raster gösterimlerde, farklı özellik gösteren coğrafi varlıklar arasında, vektörel gösterimdeki gibi bir sınır olmayıp, sürekli bir gösterim söz konusudur [Yomralıoğlu, 2002]. Raster veri yapısında olan haritaların doğruluğunun ölçülmesi için piksek boyutlarına bakmak gerekmektedir. Bir raster görüntüde piksel boyutu ile doğruluk ters orantılıdır. Piksel boyutu ne kadar küçülürse görüntüdeki doğruluk o kadar yükselmektedir. Piksel boyutu bilgisayar ölçeğinde mikron biriminde iken, gerçekteki boyutu metre veya santimetre cinsindendir. Pikselin gerçekteki boyutuna yersel ya da konumsal çözünürlük denir.

Raster veriler sıklıkla aşağıdaki amaçlar için kullanılır [Fazal, 2008];

- Çok detay gerektiren işlemlerde,
- Maliyetin düşük tutulması gerektiren işlemlerde,
- Haritadaki her bir detayın analize ihtiyaç gerektirmediği işlemlerde,
- Altlık harita ihtiyacı duyulan işlemlerde.



Şekil 2.5. Raster hücre bilgileri.



Şekil 2.6. Raster görüntülerdeki piksellerin karşılığındaki gerçek dünyadaki öznitelik bilgileri.

Vektör ve raster veri setleri arasında seçim yaparken, CBS uygulamasının gereksinimlerini ve amaçlarını göz önünde tutulması gerekmektedir (Tablo 2.1). Raster veri modellerinin basitliği, işlem operasyonlarındaki hızı, tampon bölge, bindirme gibi işlemlerdeki hızıyla tercih edilen bir veri modelidir. Diğer taraftan raster veri modelleri ile üretilen haritalarda birçok detay kaybolmakta ve göz ardı edilmektedir. Özellikle kartografik işlemlerin önem kazandığı uygulamalarda bu özelliği nedeniyle tercih edilmemektedirler. Vektör veri modelleri ise harita

gösterimlerinde hassas veriler sunması nedeniyle tercih edilen bir veri modelidir. Fakat verilerin hazırlanmasındaki zorluklar ve yüksek maliyetler vektör veri modellerinin en büyük dezavantajlarıdır.

Tablo 2.1. Vektör ve raster veri modellerinin karşılaştırılması.

Vektör veri modeli	Raster veri modeli
Avantajları • Az yer kaplayan veri yapısı • Ağ analizlerindeki verimliliği • Basit projeksiyon dönüşümü • Hassas harita üretimi **Dezavantajları** • Karışık veri yapısı • Üst üste veri bindirmede zorluklar • Gösterimde yüksek konumsal çeşitlilik olmayışı • Uzaktan algılanmış görüntüler ile ilişkilendirilememesi • Simülasyon işlemlerindeki zorluklar	**Avantajları** • Basit veri yapısı • Aynı alana ait verilerin üst üste değerlendirilebilmesi • Uzaktan algılanmış görüntülerle uyumluluk • Yüksek konumsal değişkenlerin hassas şekilde gösterimi • Programlamada basit oluşu • Tek bir gridin birçok öznitelik içermesi **Dezavantajları** • Yüksek depolama alanı gereksinimi • Ağ analizlerindeki zorluklar • Projeksiyon sistemlerinde düşük doğruluk • Düşük çözünürlüklerde veri kaybı

2.4. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Yükseklik Analizi: Sayısal Yükseklik Modelleri

Gerçek dünya matematiksel olarak tanımlanamayan üç boyutlu düzensiz bir yüzeydir. Bu düzensiz yüzey üzerindeki herhangi bir objenin yatay düzlemdeki konumu x,y koordinatları ile gösterilirken, objenin uzaydaki konumu üç boyutlu koordinatlarla (x,y,z) ifade edilmektedir. Söz konusu üç boyutlu yüzeyin tanımlanabilmesi ve yeryüzünü temsil eden bir yüzey elde edilebilmesi için sonsuz sayıda objeye ait uzaysal koordinatlara gereksinim duyulmaktadır [Yomralıoğlu,

2002]. Bu durumda yeryüzünü temsil eden belirli ve yeter sayıdaki nokta kümesinden yararlanılarak yüzey matematiksel olarak temsil edilmeye çalışılır [Yanalak, 2002]. Yeryüzeyinin bu şekilde temsili genel olarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) olarak tanımlanmaktadır. Bir başka ifadeyle SYM, fiziksel yeryüzünün tüm yapay ve doğal ayrıntılarının sayısal bir gösterimidir. Bilgisayar teknolojileri ve Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak Sayısal Yükseklik Modellerinin çeşitli alanlar için oluşturulması ve kullanımı daha da kolaylaşmıştır. Genel arazi özelliklerinden olan arazi eğimi, arazi bakısı, arazi eğriliği, havza alanı, eğim uzunluğu gibi özellikler sayısal yükseklik modelleri ile kolaylıkla belirlenebilmektedir [Gündoğdu, 2003].

3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNDE RİSK ANALİZİ

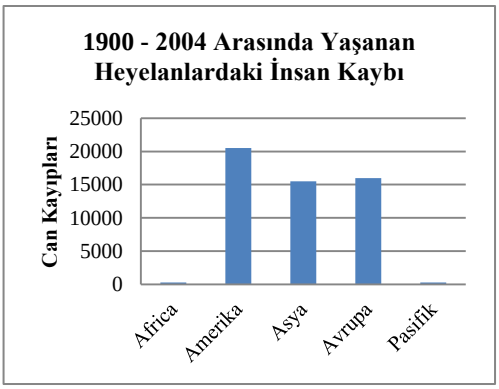
Risk, gelecekte bir olayın gerçekleşme olasılığı içerisinde sağlığa, maddi hasara veya çevreye olan olumsuz etkilere ve tehlikelere denilir. Tehlike ise geometrik ve mekanik yönden tanımlanabilen, insanların yaralanması, hastalanması, zarar görmesi veya bunların birleşimi olabilecek zarar potansiyeli 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. Risk analizi sürecinde; riski oluşturan faktörlere ait sonuçların ve meydana gelme olasılıklarının değerlendirilmesi yapılır [Yüksel, 2007; Özdemir, 2007].

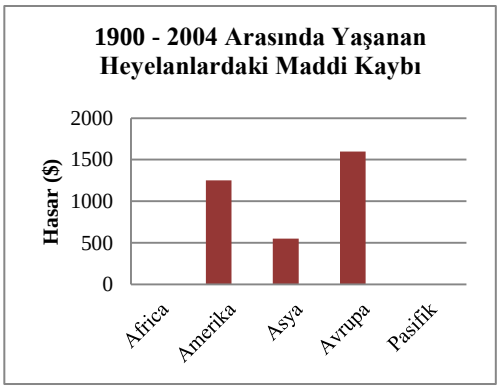
Coğrafi Bilgi Sistemleri görüntüleme, veri analizi, sorgu, çıktı ve benzeri araçlara sahip oluşu nedeni ile risk analizi ve yönetiminde kullanılabilir güçlü bir bilgi sistemdir. Doğal afetlerin (deprem, su taşkını, heyelan, vb.) belirlenmesinde uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve kartografik veriler 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 imkân verecek veri türleri belirlenmesi gerekmektedir. Veri türlerinin tespiti, araştırmanın yapısına bağlı olarak CBS'de kullanılabilen değerlendirme araçlarına başvurularak olası risk değerlendirmesi yapılır.

3.1. Heyelan Riski ve Duyarlılık Haritaları

Heyelan, yamaç dengesinin bozulması sonucu yer çekiminin etkisiyle arazinin bir bölümünün yamaç eğilimi doğrultusunda hareket ederek şekil ve yer değiştirmesidir [Öztürk, 2002]. Arazide oluşan büyük çaplı deformasyonlar, heyelanların etkili olabileceği yerleşim yerleri, tarım arazileri, kara ve demir yolları üzerinde can ve mal kaybına yol açabilirler. Bu nedenle insan hayatının güvenliği

sağlamak ile birlikte bölge ve ülke ekonomisine yaratacağı olumsuz etkileri önlemek amacıyla olası heyelan alanlarının tespiti önemlidir. Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde meydana gelen heyelan olaylarını incelediğimiz zaman en büyük insan kayıplarını Amerika, en yüksek maddi kayıpların ise Avrupa kıtasında verildiğini görmekteyiz (Şekil 3.1). Dünya genelinde heyelan olaylarının yol açtığı insan kaybı 64,000 dolayında iken zararın tutarı 3,6 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir [EM-DAT, 2004]. Heyelanlar, Türkiye'de depremlerden ve su baskınlarından sonra gelen en önemli doğal afetler içerisinde yer almaktadır. Türkiye'de yaşanan heyelanlar, başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere, İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinde, sıkça görülmektedir. Hemen her yıl ülkenin pek çok yerinde görülen heyelanlar, çok sayıda can ve mal kayıplarına yol açmaktadır.





Şekil 3.1. 1900 ve 2004 yılları arasında 5 kıtada gerçekleşen heyelanlar sonucu oluşan can ve mal kaybı [EMDAT, 2004].

1958-2000 yılları arasındaki dönemde, Türkiye'de meydana gelen heyelanlardan 4250 yerleşim birimi etkilenmiş ve bu olaylar sonucunda 197 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu dönemde, 63,000 konut boşaltılarak daha güvenli yerlere taşınılmıştır. Yapılan araştırmalarda Türkiye'de heyelan tehlikesi ve riski en yüksek olan üç il Trabzon, Kastamonu ve Zonguldak illeri olarak belirlenmiştir [Ergünay, 2007].

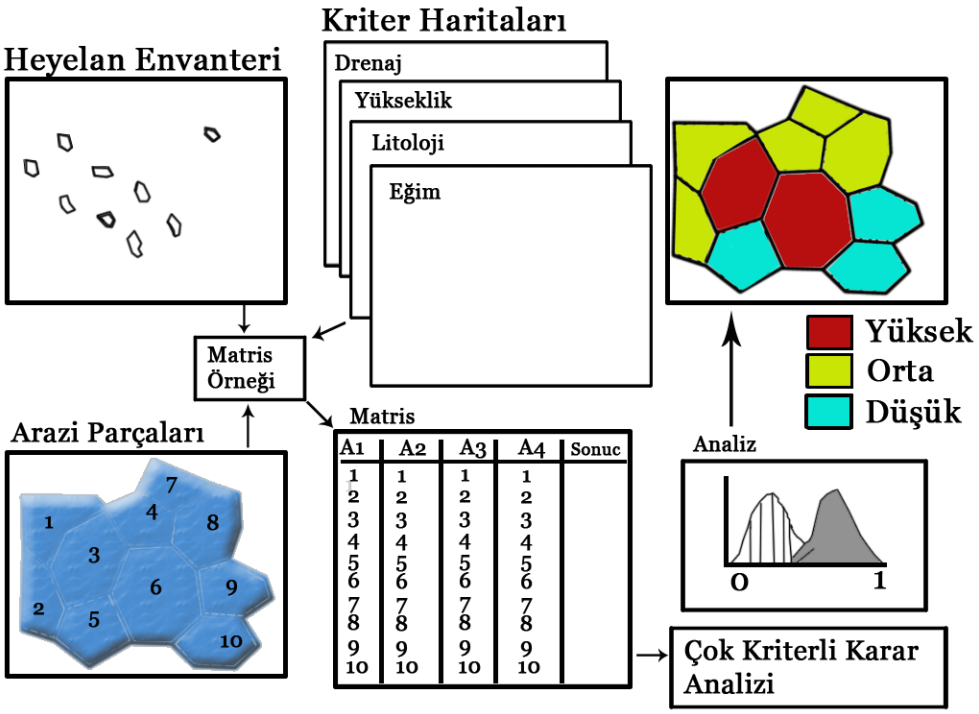
Heyelan duyarlılığı ile bir bölgenin göreceli olarak heyelan riskine karşı duyarlılığı sınıflandırılmaktır. Heyelan duyarlılığının belirlenmesindeki temel esaslar, meydana gelmiş heyelanların güncel ve geçmiş özelliklerinin belirlenmesi ve olaya sebebiyet veren faktörlerin bir araya getirilerek irdelenmesidir. Kullanılan

faktörlere ait haritaların üretilip bu faktörlerin heyelan olayı üzerindeki etkilerine göre ağırlık değerlerinin belirlenmesi sonrasında ilgili haritalarına atanması ve bir dizi işlem sonucunda duyarlılık haritası elde edilmektedir.

Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık analizlerinde belirli bir mantık ve akış sırasına göre işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir [Van Westen, 1993]. Bu işlemlerin yapılış sırası aşağıdaki gibi olmalıdır;

- Yapılacak çalışma için çalışma ölçeğinin ve metotların belirlenmesi,
- Birbirleri ile ilişkili harita ve verilerin toplanması,
- Uzaktan algılanmış görüntülerin yorumlanması ve yeni girdi haritalarının oluşturulması,
- Veri tabanı kurulması, hangi verinin nasıl toplanacağı ve toplanan verilerin depolama yönteminin belirlenmesi,
- Uzaktan algılanmış görüntü ve konu ile ilgili sayısal veri toplanması,
- Sınıflandırma için gerekli ise jeolojik verilerin analizi,
- Öznitelik verileri ile haritaların sayısallaştırılması,
- Girilen verilerin doğruluğunun irdelenmesi,
- Analizde kullanılacak ham verilerin kullanıma uygun biçimde dönüştürülmesi ve yöneltilmesi,
- Duyarlılık haritalarının hazırlanması için verilerin analiz edilmesi,
- Girdi haritalarının güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve bir önceki aşamada meydana gelen hataların ortaya konulması,
- Sonuç duyarlılık haritasının üretimi ve ilgili raporun tamamlanması işlemidir.

Bu işlem akışını özetleyen adımlarla gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Heyelan duyarlılık haritası analizinin şematik olarak genel gösterimi.

3.2. Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Heyelan duyarlılık haritaları ile doğa veya insan kaynaklı faktörlerin gelecekte etkili olabilecekleri alanlar belirlenir. Söz konusu haritaların hazırlanmasında genel olarak kullanılan üç temel yöntem mevcuttur: nitel yöntemler, yarı-nitel yöntemler ve nicel yöntemler. Nitel yöntemler geniş sahanlarda kullanılan konu-tabanlı yöntemdir. Nicel yöntemler ise çevresel faktörlerin birbirleriyle olan ilişkisini inceleyen ve yaşanmış heyelan olaylarını da kapsayan nesne-tabanlı bir yöntemdir. Nitel ve nicel yaklaşımlar kendi aralarında farklı şekillerde geliştirilerek ayrılmıştır [Lee and Jones, 2004; Wahono, 2010].

3.2.1. Sezgisel yaklaşım

Sezgisel yaklaşımın temeli uzman görüşlerine dayanmaktadır. Heyelan duyarlılık haritaları, heyelan envanter haritaları ve uzman görüşlerine dayanarak

ağırlıklandırılan çevresel faktör haritalarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulur. 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. Bu çalışmada içerisinde bir sezgisel yaklaşım olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır.

3.2.2. 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 yaklaşımda, iki değişkenli istatistiksel analiz ve çok değişkenli istatistiksel analiz olmak üzere iki yaklaşım mevcuttur.

3.2.2.1. İki değişkenli istatistiksel analiz

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

1) Heyelan oluşumunda etkin olan faktörlerin seçimi, normalleştirilmesi,
2) Heyelanların faktörlerinin haritalanması,

3) Her bir faktör haritasının heyelan envanter haritası ile çakıştırılması,
4) Her bir faktör sınıfındaki heyelan frekans yoğunluğunun belirlenmesi ve ağırlık değerlerinin atanması,
5) Faktörlerin ağırlık değerlerinin atanması,
6) Faktör haritalarının toplanması ile sonuç haritanın üretilmesi ve tanımlanan her bir haritalama biriminin duyarlılık değerlerinin hesaplanması.

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi, tecrübeye dayalı nitel yöntemler ile veri yönetimli analizlerin bileşimini temsil etmektedir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, uzman görüşünün kullanılmasına izin vermesidir.

3.2.2.2. Çok değişkenli istatistiksel analiz

Çok değişkenli istatistiksel analiz yönteminde, bilinen bir arazi dilimi için erozyon veya heyelana neden olabilecek faktörlerin göreceli olarak olayın meydana gelişine sebep olan katkılarını göstermektir. Bu analiz yöntemlerinde, çalışılan arazi parçası üzerinde heyelan ya da erozyonun meydana gelip gelmediği bilgisine dayandırılmaktadır [Akgün, 2007].

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi aşağıda sunulan işlem adımlarıyla gerçekleştirilir [Aleotti and Chowdhury, 1999].

1) Çalışma alanının alt birimlere ayrılması,
2) Heyelan oluşumunda etkin olan faktörlerin tanımlanması ve normalleştirilmiş heyelan faktör haritalarının oluşturulması,
3) Heyelan envanter haritasının oluşturulması,
4) Her alt birim içindeki heyelandan etkilenen alanların yüzdesinin bulunması,
5) Faktör haritalarının birleştirilmesi,
6) Çok değişkenli istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi,
7) 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 vardır. Bunlar, çoklu regresyon, lojistik regresyon ve diskriminant analizi yöntemleridir. Bu çalışma kapsamında heyelana duyarlı alanların belirlenmesinde son yıllarda literatürde sıklıkla kullanılan lojistik regresyon analizi kullanılmıştır [Yalcin et al., 2011; Yilmaz, 2010; Akgun and Bulut, 2007; Lee, 2005; Dai and Lee, 2002].

3.2.3. Fiziksel tabanlı model yaklaşımı

Fiziksel temellere dayalı modeller, kütle ve enerjinin korunumu kurallarını içermekte ve heyelan süreçlerinin temelinin bilinmesine dayanarak hazırlanan modeldir [Petter 1992]. Bu yaklaşımda heyelan tehlikesinin değerlendirilmesi için eğim stabilitesi modeli kurulur. Bu model kantitafik güvenlik faktörleri hesaplanarak stabilite endeksi üretilir. Bu yöntemin bazı zayıf tarafları bulunmaktadır. Güvenlik faktörlerinin hesaplanmasından sonra, veri setlerinin detaylarının gerekliliği ve parametrelerin konumsal dağılımlarıyla alakalı hesaplama karmaşıklığı bu yaklaşımın uygulanmasında zorluk etmenidir [Van Westen et al.,2005].

3.2.4. Olasılığa dayalı yaklaşımlar

Bu yaklaşımlarda, her bir parametre, olasılık dağılımı ya da ortalama ve standart sapma değeri olmak üzere en az iki istatistiksel parametre ile temsil edilmekte ve güvenlik katsayısı ile arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir [Chowdhury, 1984; Nguyen and Chowdhury, 1985]. Zemin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan arazi ve laboratuvar gözlem sayıları, harcanan zaman ve maliyet faktörlerinin yanında, kullanılan donanım ve yöntemlerden kaynaklanan hatalar, sistematik belirsizliklerin artmasına neden olmaktadır. Bu belirsizliklerden kaynaklanan hatalar, duyarlılık değerlendirmelerinin sonuçlarına yansımaktadır. Söz konusu hataların artması olasılığa dayalı yaklaşımların gelişmesinde ve kullanımında etkili olmuştur.

4. HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI ÜRETİLMİNDE 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.

Bu çalışmada, Trabzon bölgesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde CBS tabanlı Çok Kriterli Karar analizi metodunun etkinliği araştırılmıştır. ÇKKA metodun yanında lojistik regresyon ve frekans oranı metodu kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş ve elde edilen haritaların doğrulukları araştırılarak, metotların performansları karşılaştırılmıştır.

4.1. Çok Kriterli Karar Verme Analizi

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 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 uyuşumsuz 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, 1999]. 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 kullanılmasındaki temel amaç, karmaşık yapıdaki

gerçekleri basit ve ifade edilmesi kolay yapılara çevirmektir. Ayrıca birçok karmaşık koşul mevcut problemden bağımsızdır.

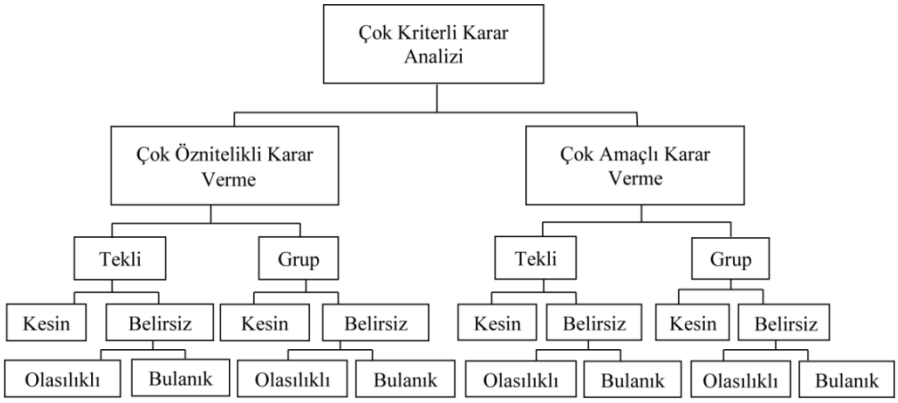
Konumsal karar verme açısından model, CBS veri tabanı ve model tabanlı sistemlerin bakış açısından değerlendirilmesi ya da ifadesi şeklindedir. Bu tarz karar durumlarının tarifinde, karar probleminin üretilmesinde ve şekillendirilmesinde kullanılan veri ve bilgilerin payı vardır. Konumsal karar alternatifleri 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.

4.1.1. Çok kriterli karar verme problemlerinin sınıflandırılması

ÇKKA problemleri bir önceki bölümde gösterilen çok kriterli karar analizi içerisindeki temel bileşenler yardımı ile sınıflandırılır. Bu sınıflandırma üçlü-ikili yapıdan oluşan karşılaştırmalar ile mümkündür. ÇKKA temelde iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar, çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve çok öznitelikli karar verme (ÇÖKV) sınıf türleridir. Bu iki sınıf alt başlık olarak *tek* ve *grup* karar verme altında ikiye ayrılırlar. Bu iki karar türü yine iki sınıfa ayrılarak *kesin* ve *belirsizlik* altında karar verme ve bu iki sınıf türü tekrar *olasılıklı* ile *bulanık* karar türü olarak ikiye ayrılmaktadır. Sınıflandırma Şekil 4.1'de gösterilmiştir. 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 çözümlenir, 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.



Şekil 4.1. ÇKKA işlem akışı.

Kriterler, ölçülebilen ve değerlendirilebilen bir karar için temel ölçütlerdir ve genel şartlar göz önünde bulundurulduğunda öznitelikleri ve amaçları kapsamaktadır. Konumsal karar problemlerinde, öznitelikler coğrafik verilerin niteliklerini temsil etmektedir. Daha özel bir ifade ile bir öznitelik, coğrafik veriler arasındaki ilişkilerin ölçülebilir niceliği veya niteliğidir. Karar verme problemleri için girdiler, veriler ve ilişkilerden kastedilen kararların amaçlarıdır [Drobne and Lisec, 2009].

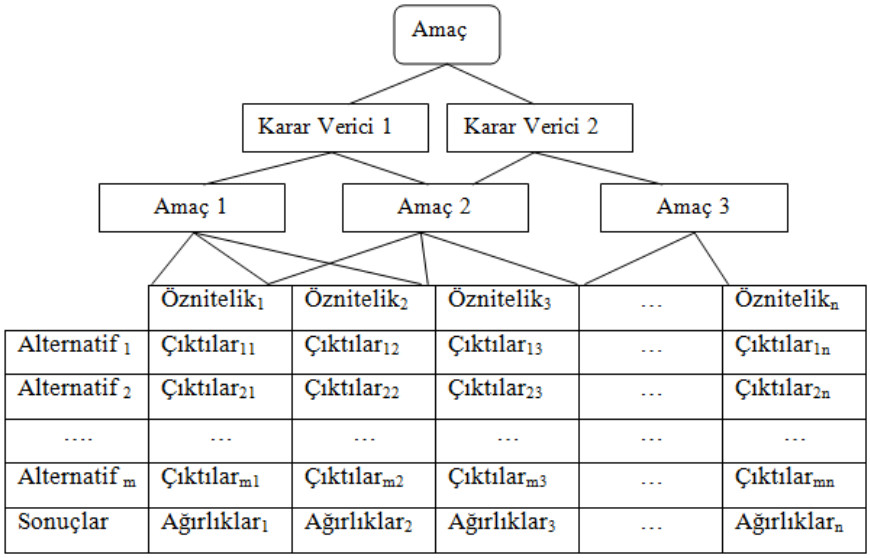
Çok-öznitelikli karar verme uygulamaları veri odaklı çalışırlar. Öznitelik, girdi türüne göre ölçülebilen ve diğer girdiler arasında ilişkilendirilebilen tanımlama özelliğine sahip somut bir değerdir. Çok Öznitelikli karar problemlerinde kullanılan özniteliklerin belirlenmesi için alternatifler arasında yapılacak seçimlerin tanımlanması gereklidir [Malczewaki, 1999]. Bu işlem ile öznitelik-amaç ilişkisi bir form içerisinde öznitelik, amaç ve karar değişken değerini alabilir. Yani öznitelikler hem karar değişkeni olarak hem de karar kriteri olarak kullanılabilirler.

Çok-amaçlı karar modelleri sıklıkla standart programlama metotları tarafından çözümlenebilen tek amaçlı problemlere dönüştürülürler [Rosentha, 1985]. Amaç, göz önünde bulundurulmak istenilen durum hakkında bir açıklama ve karar verme durumu için amaçlar ve perspektifler içerir ve kararın nasıl yapılandırılacağı kısmındaki rolünün tanımlanmasında görev alır. Amaçlar, belirli alternatifler ve karar setinin yapısının dikkate alınmasıyla tanımlanırlar. Bu yapılar, perspektif karar kuralını (kriterleri ne

seçecek, nasıl değerlendirilecek ve nasıl son karar verilecek) tanımlarlar [Eastman et al., 1998].

4.1.2. Çok kriterli karar analizi birleşenleri

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]. Karar kuralları ile bileşenleri arasındaki ilişki Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. ÇKKA için karar verici tabanlı plan akışı.

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.

4.1.3. Çok kriterli analiz işlem adımları

Çok Kriterli karar analizi işlemlerinde uygulanmak üzere genel belli işlem adımları izlenmektedir. Malczewski (1999)'ye göre bu işlem sekiz adımdan meydana gelmektedir.

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

Problem Tanımlama: Genel karar verme işlemlerinin önceliğinde problemlerin tanımlanması ve ifade edilmesi gereklidir. Problem, istenilen ve mevcut sistemin algılanan farkları şeklinde tanımlanmasıdır.

Değerlendirme Kriterlerinin Seçimi: Çok kriterli analizin ikinci adımı değerlendirme kriterlerinin seçilmesidir. 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 özniteliğine 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 sınırlandırılamadığı, yani özniteliklerinin farklı bileşenlerle dayandırılamadığı 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.

4.1.4. CBS tabanlı çok kriterli karar analizi

Konumsal verilere ilişkin karar verilirken, problemlerin çözümünde çok sayıda alternatifler ve bununla birlikte birbirleriyle uyumsuz ve yeterli derecede

değerlendirilmemiş kriter mevcuttur. Alternatifler çoğunlukla birçok kişi tarafından (karar vericiler, yöneticiler, toprak sahipleri ve ilgili kişiler) değerlendirme sürecinde dikkate alınır. Bu ilgili kişilerin birçoğunun tipik özellikleri, kendi ilgilendikleri konu üzerinde veya önem arz ettikleri kriterler üzerinde değerlendirmeler yapmalarıdır. Bu nedenle, birçok konumsal sorunlara ilişkin problemlerin çözümlenmesinde, verilecek kararların konumsal değerlendirmelerle güçlendirilmesi amacıyla CBS tabanlı çok kriterli karar analizlerine (CBS-ÇKKA) başvurulur [Prasad and Badarinath, 2010; Biotto et al., 2009; Baysal ve Tecim, 2006].

CBS-ÇKKA işlemleri coğrafik veriler (harita kriterleri) ve değerlendirilmiş kararların (karar vericilerin yargıları) birbirleriyle ilişkilendirilmesi ve dönüşüm işlemini kapsayan karar alternatiflerinin değerlendirilip oluşturma işlemidir [Malczewski, 1999]. ÇKKV analizleri coğrafi bilgi sistemleri araçları ile birleşerek konumsal problemlerin çözümümde, risk alanları tespitinde ve bunun gibi birçok uygulamada kullanılan bir konumsal karar destek sistemi olmuştur [Malczewski, 2006]. CBS-ÇKKA karar kurallarının oluşturulma işlemlerini veya değerlendirme algoritmalarını kapsar. Karar kuralları sıralanmış alternatiflerin veya bu kurallar içerisinde alternatiflerden hangisinin tercih edileceğini belirlemeye yarar [Starr and Zeleny, 1977]. Karar kuralları, karar vericilerin birçok alternatifi sıralayıp içerisinden en iyilerini veya en iyisini seçmeye yardımcı olur. Temel olarak karar kuralları CBS içerisinde iki kısma ayrılır. Booleam bindirme ve ağırlıklandırılmış toplama işlemleridir. CBS kapsamında en uygun karar verme işleminin yürütülebilmesi için karar durumu dört adımda oluşturulur [Mckenna, 1980].

1. ***Problemi tanımlama***: Mevcut durum ile istenilen durum arasındaki farklılığın tanımlanması gerekir. Uygulanan süreç “karar” olarak tanımlanır.
2. ***Seçilen kriter ve alternatiflerin araştırılması***: Uygun alternatifler (potansiyel problem çözümleri) ve değerlendirme kriterleri için alternatifler üretilir.
3. ***Alternatiflerin değerlendirilmesi***: Her değerlendirme kriterinin alternatifler üzerindeki etkileri değerlendirilir.
4. ***Alternatif seçimi:*** Alternatifler değerlendirilerek en uygun olan alternatiften en az olan alternatife göre sıralanır ve en uygun alternatif seçilir veya en

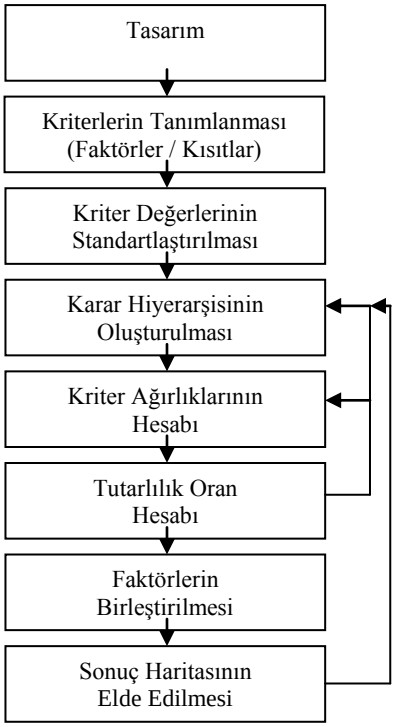
uygun olabilecek alternatif grubu daha fazla değerlendirilmek üzere tekrar işleme sokulur.

CBS'nin konumsal karar verme modeli üzerindeki önemli rolü en uygun alternatifin aranmasıdır. Çalışmalarda çok sayıda alternatifin içerisinde en iyi olanının belirlenmesi amacı ile farklı stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejilerden bir tanesi tüm kriterleri eşik değere indirgeyerek, yeterli sayıda uygun alternatifin geçirilmesidir. Eşik değer yalnız bir alternatif kalana kadar kademeli olarak daraltılır ve en uygun alternatifin seçimi de kolaylaştırılmış olur. Bu yaklaşıma "azaltma işlemi" denir [Hong and Vogel, 1991]. Bu yöntem zaman alıcı ve çok sayıda alternatifin mevcut olduğu durumlarda kullanımı uygundur. Bu işlemi daha hızlandıracak olan yaklaşım ise, bu metodun CBS içerisinde ÇKKA ile birlikte kullanımıdır. Bu yaklaşımda başlangıçtaki uygun alternatif setleri yine CBS dâhilinde üretilir, fakat azaltma işlemi ÇKKA teknikleri ile sağlanır. Sonuç olarak oluşacak durum CBS teknikleri ile görsel olarak sunulur [Jankowski, 1995].

Diğer bir alternatif azaltma tekniği ise uygun alternatiflerin karar vericilerin tercihlerine bakarak analiz içerisinde, birbirleriyle olan ilişkilerinin "ve/veya" sıralamasıyla azaltma işlemidir. Buradaki tercih her kriter üzerindeki kriter değerlendirmesi veya alternatiflerin performans seviyeleriyle ilgilidir. Karar vericilerin tercihlerinin belirlenmesinde, tüm kriterlerin tercih önceliğine bakılarak tespit edilmesi gereklidir ve özellikle çok sayıda kriter mevcutsa bu yöntem uygulanabilir. Tüm bu işleme tam işleme yöntemi denir ve diğer yöntem gibi CBS içerisinde entegre edilerek ÇKKA tekniği sayesinde karar verme tekniği geliştirilmesinde kullanılır [Jankowski, 1995].

4.1.5. Çok kriterli karar analizi genel modeli

Herhangi ÇKKA tekniğinin oluşturulmasındaki çıkış noktası, alternatif setleri sınırlandırılması, kriter kümelerinin formüle edilmesi ve her kriter üzerinde etkisi olan alternatiflerin değerlendirilmesidir. Tüm ÇKKA teknikleri ortak bir yaklaşıma sahiptir ve bu Şekil 4.3'deki işlem akışı ile gösterilebilir.



Şekil 4.3. ÇKKA için genel işlem akışı modeli.

Alternatiflerin her kriter üzerindeki tahmini etkileri, kriter puanı olarak adlandırılır ve aşağıdaki *C* karar matrisi şeklinde ifade edilir.

$$c = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \dots & & \dots \\ c_{n1} & & c_{nn} \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

Verilen eşitlikteki c_{ji} kriter puanı, *j* kriteri ve *i* ise alternatifi ifade etmektedir. ÇKKA tekniğine bağlı olarak kriter puanları standartlaştırılmamış (ham puan) veya standartlaştırılmış formatta (standart puan) toplanabilir. Çeşitli doğrusal ve doğrusal olmayan standartlaştırma işlemleri kriterler puanlarının normalleştirilmesinde kullanır, bunun için kriter puanı standartlaştırma sonrası, $0 \le cj \le 1$ değer aralıklarındadır [Hwang and Yoon, 1981; Voogd, 1983; Jankowski, 1995].

ÇKKA tekniğinin kriter puanın dışındaki ikinci elementi karar vericilerin tercihleridir. Tercihler kriter puanlarının düzenlenmesiyle (maksimim-minimum eşik değerlendirme) formüle edilebilir veya tercihler ışığında sıralandırılır [Lotfi et al.,

1992]. Karar kriterlerinin dikkate alınması ve normalleştirilmiş kriterlerin tercih ağırlıkları *w* şu şekilde formüle edilir:

$$w = (w_1, w_2, ..., w_j) \text{ , ve } 0 <= w_j <= 1 \tag{4.2}$$

4.1.5.1. Faktör (Kriter) puanlarını standartlaştırılması

CBS veri tabanı geliştirilmesinde ilk adım faktör ya da kriter puanlarının standartlaştırılması işlemidir. Çünkü kriterler farklı derecelerde ölçülürler, bu nedenle bu faktörlerin birleştirme işlemlerinden önce standartlaştırılma işleminin yapılması gereklidir. Standartlaştırma işlemi sonucunda tüm faktör haritaları birbirleriyle uygun bağlantılarla ilişkilendirilmesi sağlanmış olur.

CBS tabanlı ÇKKA işlemlerinde kriter puanlarının standartlaştırılmasında en çok kullanılan ve basit yöntemlerden biri *lineer dönüşüm* işlemidir. Bu işlemin formülü Eşitlik 4.3'de verilmiştir.

$$x_i = \frac{(R_i - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} \times SR \tag{4.3}$$

Eşitlik 4.3'de 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.

Birçok karar verme probleminde çoklu kriterler her bir bölgenin dağılımındaki uygunluk derecesinin dikkate alınmasıyla belirlenir. Bu nedenle uygunluk tespitinde boolean karakter yerine, bulanık küme gibi değişen derecelere sahip üyelik kümeleri kullanılır. Her bir kriterin tespitinde karar vericinin görev alması bir bölgenin bulanık küme üyeliğine dayalı olarak doğrudan ve doğrudan olmayan sonuçlar doğurur. Çok kriterli değerlendirme içerisinde tanımlanan faktör ve kısıtlı kriterlerin standartlaştırılmasında, faktörler için devamlı dereceli bulanık üyeler ile belirlenirken (0-255 byte veya 0-1 aralıklı reel sayılar), sınırlı kriterler 0 veya 1 ile belirlenir.

Bulanık üyelerle standartlaştırma yapmanın neden tercih edilen bir yöntem olduğu şöyle açıklanabilir. Birinci olarak, bu yöntem standartlaştırma işlemlerinde çok güçlü bir mantıksal değerlendirme sağlar. Doğrusal standartlaştırma işlemi ile karşılaştırıldığında, bulanık küme üyeliği ile standartlaştırma kriteri ve karar setleri arasında belirli bir ilişki gösterir. Açıkça görülmektedir ki üyelik küme fonksiyonlarının lineer ölçeklendirmeye oranla daha geniş bir çözüm aralığı sunmaktadır. Örneğin, en yaygın kullanılan sigmoidal fonksiyon 0 ve 1 asimptotik fonksiyon gerekli durumlarda daha basit bir mantık çözümü getirir. İkinci olarak, bulanık kümeler mantığı sınırlandırılmış ağırlıklı birleştirme için boolean değerlendirme ve devamlı ölçeklendirme arasındaki temel boşluğun doldurulmasında köprü görevi üstlenir [Jiang and Eastman, 2000].

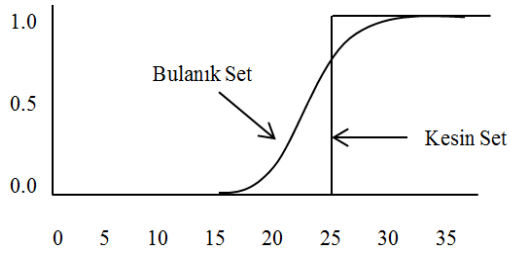
Bulanık kümeler yaklaşımında, boolean yaklaşımındaki gibi kesin sınırlara sahip klasik bir yaklaşım yerine, kriter değerlendirmedeki karar ve karar setleri arasındaki ilişkileri belirsiz olarak kabul eder ve sınırlandırmada bulunmaz. Bulanık

kümelerde değerler 0 ve 1'e yaklaştığında sonuçlar boolean yaklaşımı sonucu elde edilen sonuçlara yakın değerler alır.

Çok kriterli değerlendirme içerisinde bulanık kümeler, bulanık ölçmeler olarak genişletilebilir. Bulanık ölçmeler ile anlatılmak istenilen, herhangi küme fonksiyonunun üyelik setlerine göre tekdüzeliğidir (monotonik). Karar vermede kullanılan bulanık ölçümler başlıca, Bayes olasılık teoremi [Daellenbach et al., 1983], Zadeh bulanık setler [Zadeh, 1965] ve Dempster-Shafer belirginlik teoremidir [Shafer, 1976].

4.1.5.2. Bulanık kümeler ile standartlaştırma

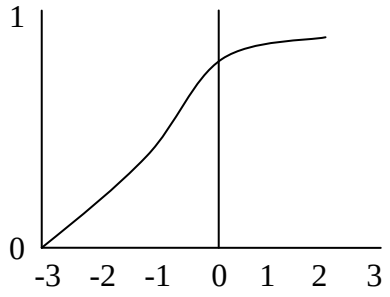
Bulanık kümeler (veya sınıflar) kesin sınırlar içermezler. Bulanık bir küme 0'dan 1'e kadar yayılan devamlı bulanık üyelerden oluşur ve üyeliğin tanımlanması için üyelik dışından (0) üyeliğe doğru (1) devamlı olarak artması gerekir. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi bulanık küme üyelik aralığı 0'dan 1'e kadar kademeli olarak artmaktadır. Bu durum klasik kesin setler ile belirgin farklılıklar göstermektedir (Şekil 4.4). Kesin sınırlara bulanık küme aralığında ulaşabilmek için bulanık üye değerlerinin 0 veya 1'e çekilmesi gereklidir.



Şekil 4.4. Bulanık ve kesin üyelik fonksiyonları.

Bulanık küme teoremi, karar problemlerinin anlaşılmasında, kriter değerlendirmesi ile kombinasyonu içinde karar kurallarının inşası için zengin bir matematiksel taban sağlar. Bulanık kümeleri tanımlamak için dört üyelik fonksiyonundan faydalanılır [Eastman, 2003].

Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu: Sigmonoidal üyelik fonksiyonu bulanık kümeler içinde en çok kullanılan fonksiyonlardan biridir. Sigmoidal fonksiyon aşağıdaki şekilde ifade edilir.

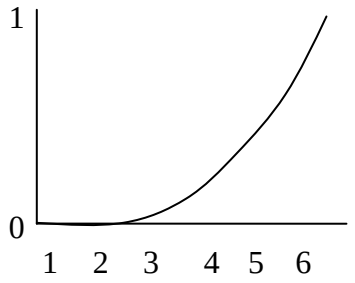


Şekil 4.5. Genel sigmoidal üyelik fonksiyonu.

Sigmoidal fonksiyon ismi, fonksiyon kartezyen uzaydaki gösterimindeki *S* harfinden (sigma) gelmektedir. Sigmoidal fonksiyonlar 0 ve 1 aralığında düşen ya da artan özellikler gösterirler. Sigmoidal fonksiyon genel formülü aşağıda verilmiştir

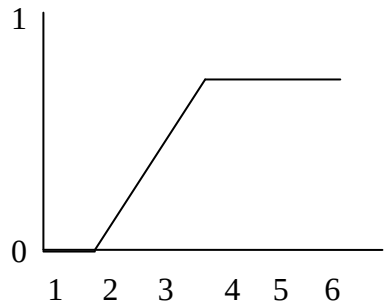
$$f\left(x\right)=1/\left(1+e^{-x}\right) \tag{4.4}$$

J-Sharped Üyelik Fonksiyonu: J-sharped fonkiyonunun farklı şekillerde ve dönüm noktalarında türevleri bulunmaktadır (Şekil 4.6). J-sharped fonksiyonu 0'a her ne kadar yaklaşsa da 0'nın karşılığı sonsuz olacağı için, *a* ve *d* noktalarında 0 yerine 0,5 seçilir. J-sharped fonksiyonu çok tercih edilen bir fonksiyon olsa da, birçok problemin çözümünde en iyi sonuç veren ve tercih edilen sigmoidal üyelik fonksiyonudur.



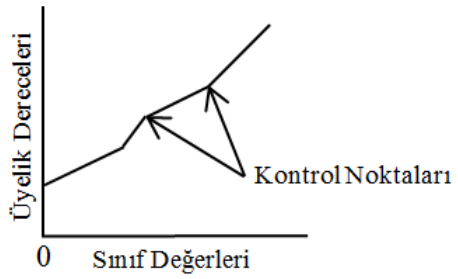
Şekil 4.6. Genel J-Şekilli üyelik fonksiyonu.

Lineer üyelik fonksiyon: Lineer fonksiyonun çeşitli şekillerdeki durumu ve dönüm noktalarının konumu gösterilmektedir (Şekil 4.7). Bu fonksiyon yaygın olarak elektronik cihazların lineer sensörlerinin çıkışlarının izlenmesinde kullanılır.



Şekil 4.7. Lineer üyelik fonksiyonu.

Kullanıcı Tanımlı Üyelik Fonksiyonu: Kullanıcı tanımlı fonksiyon türü ile problem çözümünde kullanılan parametrelerdeki değişim değerleri ve bulanık üyelik derecesi ile diğer üyelik fonksiyon türlerinin arasındaki ilişkinin tam olarak tanımlanamadığı durumlarda kullanılmaktadır. Sınırsız sayıda kontrol noktası ile bulanık üyelik derecesinin tanımlamada bu üyelik fonksiyonu kullanılabilir. Bulanık üye derecesinde herhangi iki kontrol noktası arası lineer olarak interpole edebilir. Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu.

4.1.5.3. Kriterlerin ağırlıklandırılması

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.

Sıralama yöntemi: Kriter ağırlıklarının saptanmasındaki en basit yöntem sıralama yöntemidir. Tüm kriterler karar vericilerin tercihleri doğrultusunda önemlilik derecelerine bakılarak sıraya dizilir. Sıralama yönteminde tercihler yapılırken normal sıralamada en önemli kriter 1. sırayı sonraki kriter 2. sırayı alır. Bir başka sıralama türü olan ters sıralama da ise en önemsiz kriter 1. sırada sonraki kriter 2. sırayı alarak bu şekilde sıralandırılır. Kriter kümesi sıralandığı vakit, sıralama düzeninin sayısal olarak elde edilmesinde kullanılan sıralama toplamı yöntemi aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

$$w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum (n - r_k + 1)} \tag{4.5}$$

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

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

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum(1/r_k)} \tag{4.6}$$

Sıralama yönteminin en büyük avantajı basitliğidir, dezavantajı ise çok fazla kriter kullanıldığında yöntemin teorik yapı bakımından eksik oluşudur. Diğer sıralama metotları ise sıralamanın tersinin alınması ve sıralamanın üst kuvvetlerinin alınması metodudur.

Puanlandırma Yöntemi: Puanlama yöntemi sıralama yöntemine göre daha hassas bir yöntemdir ve karar vericilerin sadece sıralı bir ölçeğe göre değil, daha önce tanımlamış olduğu bir sayısal aralık üzerinde ağırlıkların kestirilmesi temeline dayanır. Bu metotta karar vericilerin seçilen kriterler için toplamda 100 puan olacak şekilde puanların dağıtımı yapılır. Diğerlerine göre daha yüksek puanlı bir kriter, daha büyük bağıl önem anlamındadır. Puanlama yöntemi kriterlerin önemini hem sıralı hem de birbirlerine göre büyüklükleriyle göstermesi yönünden avantajlıdır. Puanlama yaklaşımındaki risk, kriter ağırlıklarının özel birimlerinin ve çeşitlerinin bilinmeden verilmesidir.

İkili karşılaştırma yöntemi: İkili karşılaştırma yöntemi 1970'lerde Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir ve çok kriterli değerlendirme literatürü içerisinde analitik hiyerarşi metodu olarak da adlandırılmaktadır. 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 çıktılardan ve karar vericilerden alınarak elde edilmesidir.

Bu tekniği, kriter çiftlerinin (C_1 ve C_2) karşılaştırılmasında iki soru yöneltmektedir: (1) Hangi kriter daha önemlidir (C_1 veya C_2) ?, (2) Önemli kriterin daha az önemli olan kritere göre ne kadar önemli olduğu cevabını "yaklaşık aynı" veya "çok daha önemli" ya da 1-9 aralığında aldığı değere göre önemliliği belirlenmesidir. Bu iki sorunun cevabının üretilmesi için i kadar satır ve j kadar sütuna sahip A kare matrisi kullanılır. A matrisinde her faktör eşit öneme sahip

olduğu için aynı faktörlerin karşılaştırılmasında kare matrisin çaprazı 1 değerlerini alır. Eğer C_i (satır elementi) ve C_j (sütun elementi) eşit önemlilikte ise a_{ij} (A matrisi içersindeki satır i ve sütun j'nin keşimi) 1'e eşit olur. Eğer C_i faktörü C_j faktöründen daha önemli ise, a_{ij} değeri 1'den büyük olacak tam tersi durumda ise küçük olacaktır. A matrisinin gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & & & \\ \cdots & & 1 & & \\ \cdots & & & 1 & \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & & \cdots & 1 \end{pmatrix} \tag{4.7}$$

A kare ve karşılaştırma matrisi içerisindeki a_{ij} değerleri temel olarak 1-9 aralığında ölçeklenmiş değerlerden oluşmaktadır (Tablo 4.1). ,

Tablo 4.1. İkili karşılaştırma ölçek değerleri.

Değer	**Tanımlama**
1	eşit önemlilikte
2	biraz daha önemli
3	zayıf daha fazla önemli
4	zayıf orta derecede önemli
5	orta derece önemli
6	orta kuvvetli derecede önemli
7	çok kuvvetli derecede önemli
8	çok fazla derecede önemli
9	son derece önemli

Ağırlıkların oluşturulmasında, tek veya grup şeklinde tüm olasılıklarda karşılaştırmalar yapılır ve ikili karşılaştırma matrisi veya matris oranları girilir. Derecelendirmenin simetrik matris türünden oluşu nedeni ile sadece matris üçgeninin alt veya üst kısmının doldurulması yeterlidir, geri kalanı ise doldurulan kısmın tersi ($1/a_i$) alınarak oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisi işlemlerinde ağırlıklar en iyi şekilde hesaplanması gereklidir. Bu yaklaşıma ulaşabilmek için izlenecek yol aşağıda verilmiştir.

1) Her ikili karşılaştırma matrisinin kolon değerleri toplanır,

2) Kolon toplamış sonrası, her matris elementine bölünür (bu işlem sonrası oluşan matris normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisidir),

3) Normalleştirilmiş matrisin satır elementlerinin her birinin ortalamasının elde edilmesi (her satır için normalleştirilmiş puanları toplamının kriter sayısına bölünmesi).

Karşılaştırma matrisinin elde edilmesinden sonraki aşama her matris öğesi için oluşturulan tercihlerin özetlenip görece önemliliklerinin yani kriter ağırlıklarının belirlenmesidir. Bu işlemde *q*. öğenin elde edilecek vektör ağırlıklar ve önceliklerinin hesabında, kriterler için

$$\mathrm{w} = \left[\mathrm{w}_1, \mathrm{w}_2, \ldots, \mathrm{w}_\mathrm{p} \right] \tag{4.8}$$

ve öznitelikler için ise

$$\mathrm{w}_{(\mathrm{q})} = \left[\mathrm{w}_{1(\mathrm{q})}, \mathrm{w}_{2(\mathrm{q})}, \ldots, \mathrm{w}_{\mathrm{p}(\mathrm{q})} \right] \tag{4.9}$$

öz değer vektörü hazırlanır. Bu işlem ikili karşılaştırma matrisinin maksimum öz değeri ile ilişkilendirilen normalleştirilmiş öz değer vektörün elde edilmesi ile tamamlanır.

Oluşturulan öz değer vektörü, kriterlerin göreceli ağırlıklarını verir. Normalleştirilmiş öz değer vektörü iteratif bir işlem ile oluşturulabilir. Bu iteratif işlem ile *a* matrisi normalleştirerek $\widehat{a}$ matrisi elde edilir [Boroushaki and Malczewski, 2008].

$$\widehat{a} = \left[a^*_{qt} \right]_{pxp} \tag{4.10}$$

Bu formüldeki a_{qt}^{*} 'nın elde edilmesi için ;

$$a_{qt}^{*} = \frac{a_{qt}}{\sum_{q=1}^{p} a_{qt}} \text{ için tüm } t = 1, 2, ...n \qquad (4.11)$$

eşitliği kullanılır. Sonraki işlem adımı olarak oluşturulan $\widehat{a}$ matrisi normalleştirilip hesaplanarak $\widehat{a}_2$ matrisine, sonra a_3, a_4,....a_n matrislerine iterasyon edilerek hesaplanır, bu işlemdeki tüm matris kolonları aynı olana kadar devem edilir. Sonuçta elde edilecek kolon *w* vektörünü:

$$w_q = \widehat{a}^{*}_{qt(z)}, \quad (q = 1, 2, ..., p) \qquad (4.12)$$

eşitliği hesaplanır. Özdeğer vektörü $w_{k(q)}$ aynı yöntemle şu eşitlikle hesaplanır;

$$a_{kh(q)}^{*} = \frac{a_{kh(q)}}{\sum_{q=1}^{1} a_{kh(q)}}, \quad (h = 1, 2, ..., l) \qquad (4.13)$$

Sonuç olarak özdeğer ağırlıklarını veren Eşitlik 4.14'de verilmiştir.

$$w_k = \widehat{a}^{*}_{kh(q)}, \quad (k = 1, 2, ..., l) \qquad (4.14)$$

Tüm işlemlerden sonra elde edilen ağırlıkların doğruluğu için tutarlılık oranı değerlendirmesi yapılır. Görece önemlilikleri elde edilen kriterler birden fazla yolla matris oranlamalarını kapsadığından değerlendirilmeleri mümkündür, bunun için gerekli olan koşul mümkün olan derecelendirmelerin elde edilmesinde kullanılmak üzere tutarlılık derecelerini belirtmektir. Saaty (1977)'de bu işlemi *tutarlılık oranı* olarak adlandırmıştır. Tutarlılık oranı (TO) matris derecelendirmelerinin rastgele elde edilmesi şeklinde tanımlanır ve önerilen oran 0.10'dur. Bu oranın üstünde bir değer elde edilirse, değerlendirme tekrar yapılmalıdır. Böyle durumlarda tutarlılık oranı yargılarının tekrar gözden geçirilmesi gerekebilir. Bu işleminde başarısız olması

durumunda, problemin daha doğru bir biçimde tekrar kurulması ve sürecin en baştan ela alınması gereklidir [Drobne and Lisec, 2009]. Tutarlılık oranı gösteren eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$TO = \frac{CI}{RI} \tag{4.15}$$

Bu eşitlikteki *RI* rastgele indeks değeri ve *CI* tutarlılık ayırma ölçütü sağlayan tutarlılık indeks değeridir. *CI* değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{4.16}$$

Burada ki λ tutarlılık vektör ortalaması ve *n* ise kriter sayısını ifade etmektedir.

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. Örneğin kriter *C1* kriter *C2* den 5 kat ve kriter *C2* kriter *C3*'den 5 kat daha önemli olarak kabul edilirse kriter *C1*'nin kriter *C3*'den 25 kat daha önemli olduğu hükmüne varılabilir ki böyle bir durum olanaklı değildir.

4.1.5.4. Karar kuralları

Karar kurallarının ÇKKA işlemlerinin merkezinde olduğu söylenebilir. Bu işlem ile son bir değerlendirme amacıyla sıralanan, puanlandırılan veya seçilen alternatiflerin, farklı kriter yargıları üzerinden toplanarak veya kümelendirilerek oluşturulmasıdır. Kısaca, karar kuralı ile yapılan işlem alternatiflerin en iyiden, en kötüye sıralamaktır. Karar kuralının kullanımı şu fonksiyonların kolaylaşmasını sağlamaktadır;

1. En uygun alternatifin seçilmesine,

2. Önceliklere göre alternatiflerin bir sınıf içerisinde sıralandırılmasına,

3. 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]. Bu tez çalışmasında analitik hiyerarşi işlemi ve ağırlıklı doğrusal yöntemi incelenmiştir.

4.1.5.4.1. Analitik hiyerarşi yöntemi

Analitik hiyerarşi yöntemi (AHY), 1970'lerde Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHY sadece alternatiflerin sıralanmasında kullanılan nümerik bir metot değil ayrıca kompleks karar verme problemlerini analiz eden ve çözümleyen bir yöntemdir. AHY işlemi bu analiz işlemlerini yaparken tüm kriteri, fonksiyonları ve nesneleri içine alacak şekilde bir hiyerarşik çatı altında çalışır [Yager and Kelman, 1999]. AHY, belirlilik ve belirsizlik altında çok sayıda alternatifin arasında seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli bir karar verme durumunda kalır. AHY işleminde alternatif setlerin sıralama/puanlama ya da en iyi alternatifin ya da setlerinin belirlenmesinde kullanılır. Sıralama işlemi kriter setlerinin (amaçlar, öznitelikler) içerisinde yapılacak analiz sonrası genel hedefe ulaşıldığında tamamlanır [Boroushaki and Malczewski, 2008].

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 öğesinden, en

özelle gidecek şekilde yol alınması, hiyerarşi oluşumunda son seviyeye geldiğinde alternatifler ve olası seçimleri içerecek şekilde özelliklerin belirlenerek, karar hiyerarşisinin oluşturulmasını kapsayan adımdır.

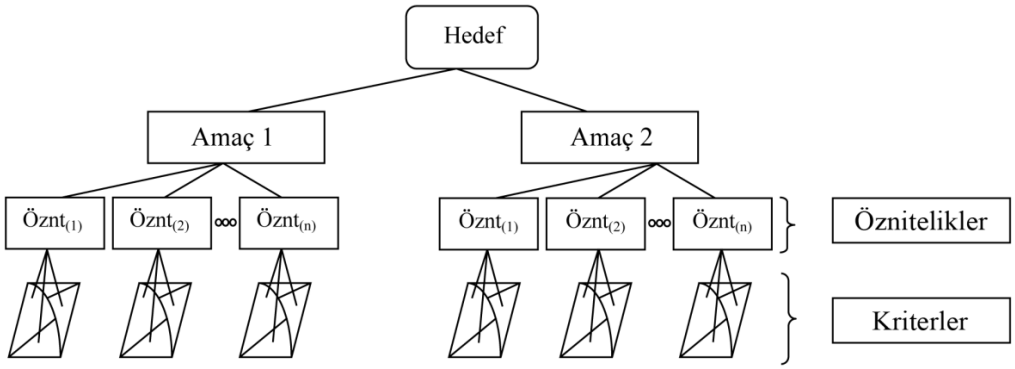
2. ***Tercih bilgilerinin toplanması***: Bu adım içerisinde karar vericilerin değerlendirdikleri kriter ağırlıkları ya da görece önemlilikleri kapsayan verilerin elde edilmesi, elde edilen bu verilerin ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında kullanımı.

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 adımıdır.

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).

AHY içerisindeki birinci adım, karar problemlerinin en önemli elementlerini içerecek bir şekilde karar problemi hiyerarşini göz önünde tutarak bileşenlerine ayırmaktır. CBS tabanlı çok kriterli karar analizinde alternatifler CBS veri tabanları ile gösterilirler. Her katman içerdiği öznitelik değerleri alternatifler ile belirlenir ve her alternatif (raster veya vektör) bir üst düzeydeki öğe ile ilişkilidir. Genellikle dört tür hiyerarşi seviyesi kurulur (Şekil 4.9), bunlar hedef, amaçlar, öznitelikler ve alternatiflerdir. Konumsal karar verme problemlerine göre coğrafik bileşenler alternatifleri (arazi parselleri), değerlendirme kriterlerini (hedef, amaçlar, öznitelikler) ve ağırlıkları içerir.



Şekil 4.9. Konumsal karar probleminde iki seviye içeren hiyerarşik akış planı.

Matematiksel olarak, analitik hiyerarşi işlemi basit matris tabanlı bir tekniktir. Tablo 4.2'de gösterildiği gibi matris elementleri, alternatifler, karar kriterleri, alternatiflerin performans değerleri ve kriter ağırlıklarından oluşur. $A_1,A_2,A_3,\ldots,A_m$ ile alternatifler $C_1,C_2,C_3,\ldots,C_n$ ile kriterler gösterilirse, m alternatifler ve n kriter sayısıdır.

Tablo 4.2. Analitik hiyerarşi işlemi matrisi.

	C_1	C_1	…	C_j	…	C_n
	w_1	w_2	…	w_j	…	w_1
A_1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1j}	…	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{21}	…	x_{2j}		x_{2n}
.	.	.	.	.	.	.
A_i	x_{i1}	x_{i2}	…	x_{ij}	…	x_{in}
.	.	.	.	.	.	.
A_m	x_{m1}	x_{m2}	…	x_{mj}	…	x_{mn}

4.1.5.4.2. Ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme karar kuralı

Ağırlıklı doğrusal birleştirme (ADB) ya da basit birleştirilmiş ağırlıklandırma 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 özniteliğin ağırlıklarının göreceli önemliliklerini kararlaştırırlar. 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.

$$e_i = \sum_{j=1}^{n} w_j . r_{ij},\ (i = 1, ..., m) \tag{4.17}$$

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.

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \times \left[w_1 ... w_n \right], \tag{4.18}$$

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]. Sonuç olarak; CBS tabanlı oluşturulacak bir uygulamada kullanılan ADB metodu aşağıdaki adımlardan meydana gelmektedir [Malczewski, 1999].

1. Değerlendirme kriterlerinin (harita katmanları) ve uygun alternatif dizilerin belirlenmesi,
2. Her harita katmanın standartlaştırılması,
3. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi; ağırlıkların (görece önemlilikler) direkt her kriter haritası ile değerlendirilmesi,
4. Ağırlıklandırılan harita katmanlarının standartlaştırma işlemi ve standartlaştırılmış harita katmanlarının karşılık gelen ağırlıklar ile çarpımı,
5. Standartlaştırılmış ağırlıklı harita katmanlarının üzerine ekleme operatörlerini kullanarak her alternatif için genel değerlendirme puanını elde edilmesi,
6. Performans sonuç değerlerine göre alternatiflerin sıralandırılması; sıralanmış alternatiflerden en yüksek puanı alan alternatifin en iyi olan alternatif şeklinde seçimidir.

4.1.5.4.3. Sıralandırılmış ağırlıklı ortalama

CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme işlemleri coğrafi olarak tanımlanmış alternatifleri ve harita katmanlarını temsil eden değerlendirme kriter setlerini barındırır. Buradaki problem kriter (öznitelik) değerlerine sahip kriter haritaları ile karar vericilerin karar kuralları sonrası oluşturdukları tercihleri birleştirmektir. Alternatiflerin tanımlanmasında (raster veya vektör), her alternatif ($i= 1,2,....,m$) standartlaştırılmış kriter değerleri ile tanımlanır.

Çok kriterli değerlendirme problemi (a) ayrıca kriter ağırlıkları olarak belirtilen tercihleri içerir;

$$w_j \epsilon [0,1] \text{ için } j=1,2,....,n \text{ ve } \sum_{j=1}^{n} wj = 1 \qquad (4.19)$$

Giriş verileri (kriterli harita katmanları ve kriter ağırlıkları) sıralandırılmış ağırlıklı ortalama (SAO) kombinasyon operatörleri i. konumuna göre, bir grup sıralanmış ağırlık ($v= v_1,v_2,..,v_n$) için v_j değerleri $v_j \epsilon [0,1], j=1,2,...,n$ ($\sum_{j=1}^{n} wj = 1$) şeklinde tanımlanır. Verilen eşitlikler sonucunda SAO genel formülü Eşitlik 4.20'de verilmiştir [Yager, 1988; Malczewski et al., 2003].

$$SAOi = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^{n} u_j v_j}\right) z_{ij} \quad z_{ij} \qquad (4.20)$$

Eşitlikteki $z_{i1}>z_{i2}>...>z_{in}$ dizisi $a_{i1},a_{i2},...,a_{in}$ dizisinin yeniden sıralanmasıyla elde edilir ve u_j kriter değeri ise z_{ij} deki yeniden sıralanmış öznitelik değerleridir.

Sıralandırılmış ağırlıklar ile kriter ağırlıkları arasındaki fark, kriter ağırlıkları değerlendirme kriterlerinin görece önemliliklerinin gösterilmesinde kullanılır ve j. kriter haritasındaki her nokta için aynı w_j değerine sahiptir. Sıralandırılmış ağırlıklar ise her konum üzerindeki kriter ağırlıkları ile ilgilidir ve i'nin konumdaki öznitelik değerleri, kriter haritalarından gelen değerleri dikkate alınmaksızın sıralı şekilde atanır.

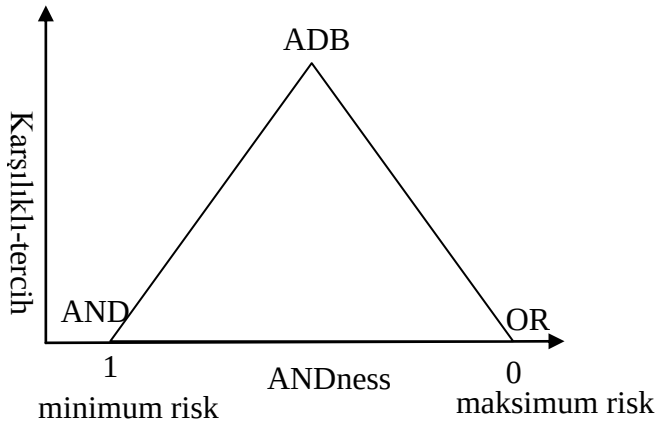
Sıralı ağırlıklar ile faktör ağırlıkları oldukça farklıdır, çünkü bu ağırlıklar faktör ağırlıklarında olduğu gibi özel faktörler için uygulanmaz. Bunun aksine piksel bazında faktör puanları temel alınarak her noktada ya da pikselde kendi sıralı faktör puan sonuçlarına göre belirlenir. Birinci sıralı ağırlık değeri aldığı piksel için en düşük sıradaki faktörü (en az puana sahip faktör), ikinci sıradaki faktör ise o piksel için daha yüksek sıralamadaki faktör olarak belirlenir ve bu işlem son sıralanmış faktöre kadar devam eder.

Ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme işlemlerinde tanımlanan ağırlıklar raster veri modellerinde tüm piksellerin göz önünde bulundurulmasıyla oluşturulan ağırlık hesabıyla özel olarak elde edilen ağırlıklardır. Karşılıklı tercih, düşük değere sahip bir kriterin kendisinden daha yüksek değere sahip başka bir kriter ile yerine konulabilmesinin (ikame) ölçütüdür. Sıralandırılmış ağırlıklı ortalama (SAO) içerisinde verilen ağırlıkların her faktör için karşılıklı-tercih koşulları tanımlanmıştır ve işlem içerisindeki sıralı ağırlıklar tüm karşılıklı-tercih seviyelerinin tespitine ayrıca imkân tanımaktadır [Malczewski, 1999]. Böylelikle karşılıklı-tercihin istenildiği gibi belirlenmesi ile birlikte AND ve OR arasında devam eden riskin tespitine imkân verir.

Farklı sıralı ağırlık setleri ile SAO operatörleri, CBS tabanlı hazırlanan haritaların birleşiminde kullanılırlar. Bu yöntemler: sıralı ağırlıklı ortalama ve Boolean birleşimi ya da başka bir değişle kesişim (AND veya MIN) operatörleri ve birleşim (OR veya MAX) operatörlerini kapsayan işlemlerdir. AND ve OR operatörleri SAO'nın uç değeri kapsayan işlemleri ifade eder ve MIN ile MAX operatörleri ile uyuşmaktadır. Sıralı ağırlıkların MIN operatörleri için $w=(w1,w2,....,w3)=(1,0,....,0)$ iken, $w=(0,....,1)$ içinde MAX operatöre karşılık gelir. AND operatörü ile bulanık setler arasındaki üyelik derecelendirmesi göz önünde bulundurulurken bu setler arasında verilen tercihler her zaman olumlu yönde olmamaktadır. Bu durum çok kriterli öznitelik analizi açısından incelendiğinde alternatifin bir öznitelik değerinin kötü performansa sahip olması durumunda (bu öznitelik değerinin diğer özniteliklerde olan performansı ortalama üzerinde olsa bile) bu alternatifin değerlendirmeden çıkarılması anlamına gelir. Mantıksal OR kendisine karşılık gelen MAX operatöründe birleştirilmiş tüm bulanık setler arasında en küçük bulanık setin oluşturulmasıdır. Bu herhangi bir kriter değerlendirilmesini temsil eden

bulanık setin maksimum üyelik derecesinde elde edilmesidir. Böylelikle OR operatörleriyle alternatiflerin içerdiği en yüksek değere sahip öznitelik en iyi ve en uygun alternatif olarak belirlenir, bu işlem sürecinde diğer özniteliklerin sahip oldukları kötü performanslar göz önünde bulundurulmayarak en uygun alternatif belirlenmiş olur.

Boolean yaklaşımında kullanılan AND operatörü yüksek riskten kaçınılması, OR operatörü ise yüksek risk alan durumlarını ifade eder. Ağırlıklı doğrusal birleştirme (ADB) yaklaşımı uç verilerden kaçan ve ortalama sonuçlar doğuran bir tekniktir. Sürekli risk değerlendirmesinde, oluşturulacak bir skalada ADB skalanın tam orta noktasında bulunur ve bu durum tam karşıklı-tercih ile ortalama risk almaya karşılık gelir (Şekil 4.10) [Malczewski, 2006;1999; Drobne and Lisec, 2009; Jiang and Eastman, 2000].



Şekil 4.10. Karşılıklı-tercih ve riski değerlendirilen karar strateji uzayı.

SAO operatörleri AND ve OR arasındaki konumlara göre sınıflandırılırlar, böylece verilen sıralı ağırlık setlerine göre ANDness, ORness ve karşılıklı-tercih (TRADE-OFF) ölçümleri yapılabilir. Bu üç ölçüm değerinin hesabı aşağıda ki gibidir.

$$ANDness = (1/(n-1))\sum((n-i)W_{orderi}) \tag{4.21}$$

$$ORness = 1 - ANDness \tag{4.22}$$

$$TRADE-OFF = 1\sqrt{\frac{\sum (W_{orderi} - 1/n)^2}{n-1}} \tag{4.23}$$

Yukarıdaki formülde *n* kriter sayısı, *r* sıralı kriter değeri, W_{order} *r*. sıradaki kriterin sahip olduğu ağırlık değeridir. W_{order} değeri eğer ANDness değerine sahipse 1'e yaklaşan, eğer değer ORness değerine sahipse 0'a yaklaşan durumdadır.

SAO operatörleri için verilen bir alternatifin faktör ağırlıkları kullanılarak AND, OR ve TRADE-OFF ağırlıklandırılmış sıralı değerleri ve farklı ağırlıklarla ANDness, ORness ve TRADE-OFF değerlerinin nasıl hesaplandığına bir örnek ile bakalım: A alternatifinin 3 faktöre (*A, B, C*) sahip olduğu farz edilirse ve bu faktörlerin sırasıyla değerleri *A* (0,5), *B* (0,1) ve *C* (0,4) olduğu kabul edilsin. Faktör değerlerini en azdan en çoğa doğru sıraladığımızda [*B, C, A*] şeklinde olacaktır. Böylelikle sıralamada *B* birinci, *C* ikinci ve *A* üçüncü faktör değeridir. *w*= [1,0,0]* sıralı ağırlık değeri için hesap yaparken *B* değeri 1 ile çarpılır, *C* ile *A* değerleri 0 ile çarpılarak toplanır, böylelikle bu alternatifin MIN operatörü için faktör değeri hesaplanmış olur. Aynı işlem *w*= [0,0,1]* için yapılırsa OR operatörü için *w= [0.333,0.333,0.333]* için TRADE-OFF operatörüne sahip faktör değeri hesaplanmış olur.

Tablo 4.3. Sıralandırılmış ağırlıklı ortalama ile faktör değer hesabı.

Kriter	**x**	**W***	**Değer**
B	0.33	1	0.33
C	0.46	0	0
A	0.52	0	0
Toplam Değer			0.2

Kriter	**x**	**W***	**Değer**
B	0.33	0	0
C	0.46	1	0.46
A	0.52	0	0
Toplam Değer			0.4

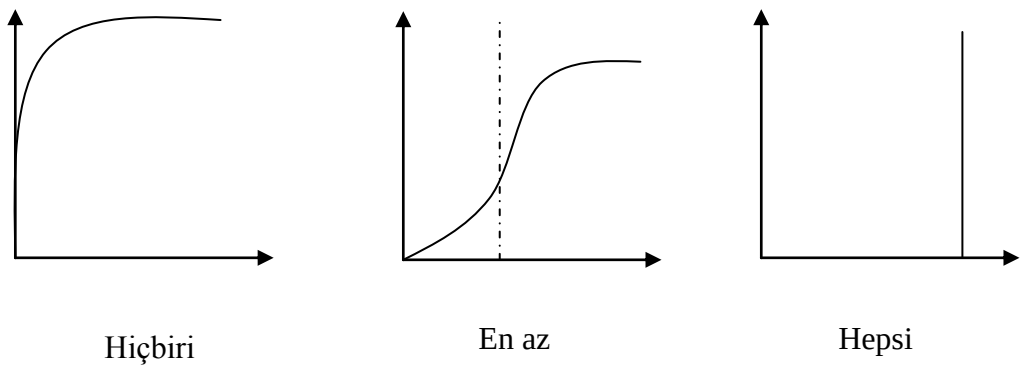
Tablo 4.4. Farklı ağırlıklar için ölçüm hesabı.

SAO Operatörü	Sıralı Ağırlık	ANDness	ORness	TRADE-OFF
MIN	1, 0, 0	1	0	0
	0.6, 0.3, 0.1	0.75	0.25	0.56
	0.5, 0.4, 0.1	0.7	0.3	0.64
Average	0.33,0.33, 0.33	0.5	0.5	1
	0.1, 0.4, 0.5	0.3	0.7	0.56
	0.1, 0.3, 0.6	0.25	0.75	0.64
MAX	0, 0, 1	0	1	0

SAO operatör uygulamaları karar belirsizliğinin (Risk veya ANDness) yorumlamasında kullanılabilir. Eastman (1997)'e göre, bir riskten kaçınma, karar kurallarında (karamsar çözüm) bulanık setin mantıksal AND operatörü yardımıyla elde edilebilirken, risk-alan karar kuralı (iyimser çözüm) ise bulanık set içerisinde mantıksal OR ile elde edilir. ANDness=0 (Risk=0) durumunda değerlendirme kriterleri arasında her bir bölge için karşılaştırmalı-tercih değeri verilemez. Böylelikle bu yöntem, harita üzerinde her bir alanda en az bir kriter için ağırlıklandırılmış kriter değerleri sıfırdır, böylelikle bu strateji altında her bir risk oluşturmayan alanların elde edilmesi mümkün olmaktadır. ANDness değeri değerlendirme kriter boyunca 0'dan 0.5'e doğru artması durumunda karşılaştırılmalı tercihlerinde arttığı görülür. Bu durumda, yüksek olasılıklı (sıralandırılmış ağırlıklar) üst sıralamadaki kriter verilen bölgelere atanırken, düşük olasılıklı alt sıralamadaki kriter değerleri bu alanlara dağıtılarak atanır. Sonuç olarak tavsiye edilebilir alanların önceliklendirilmesi yavaş yavaş artar. ANDness=0.5 durumu nötr (yansız) stratejiyi temsil eder. Bu durum kriterler arasında tam karşılaştırmalı-tercih işlemini mümkün kılar. ANDness değerinin 0'dan 1'e artması kriterler arasında karşılaştırmalı-tercih düzeyinin düştüğünü gösterir. Bu durumda altında en yüksek ve yükselen olasılıklar (sıralı ağırlıklar) kriter değerleri olarak belirlenir ve atanır. ANDness=1 çözümü bize en yüksek risk alanlarının ortaya çıktığı ve bu nedenle göz önünde bulundurulması gerektiğini gösterir [Valente and Vettorazzi, 2008].

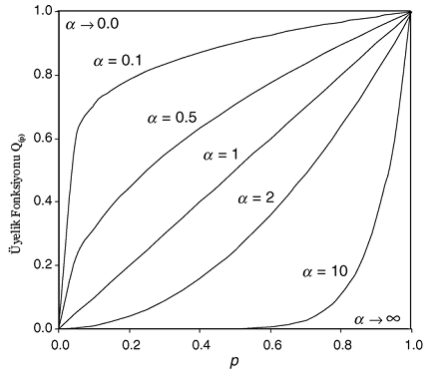
4.1.5.4.4. Sözel niceliklerin sıralandırılmış ağırlıklı ortalama ile kombinasyonu

Zadeh (1983)'de bulanık sözel niteleyicileri, çok kriterli analiz içerisinde kullanılan matematik fonksiyon değerlerin sözel ifadelerle tanımlanması olarak ifade etmiştir. Sözel nicel durumlar iki şekilde ifade edilebilir: kesin sözel nicelikler ve göreceli (orantısal) sözel nicelikler. Kesin sözel niceliklerin ifadesinde "en az yaklaşık 4, hemen hemen 10, 10'dan fazla değil, 5'ten fazla" gibi sözel ve birim içeren tanımlar kullanılır. Göreceli sözel ifadelerde ise "çok fazla, biraz, hemen hemen, çok, hepsi, yaklaşık yarısı, yaklaşık yüzde 60" şekildedir (Şekil 4.11). Bu ifadeler bulanık küme aralığı da [0,1] şeklinde temsil edilebilir. İfadelerin oranlanmasında 0'a karşılık %0 ve 1'e karşılık %100 olacak şekilde orantılandırılır. Örneğin, Q en çok ise ve $Q_{(0.95)=}1$ ise, burada iddianın sözel nicelik olarak en fazla %95 olarak uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, $Q_{(0,60)}=0.75$ ise bu %60 sadece tüm konsept içinde en fazla 0.75 kavramı kadar uyumlu oluğunu gösterir.



Şekil 4.11. Düzenli artan niceliklere ait örnekler.

İki sözel ifade tarzının (kesin sözel niceller, göreceli sözel niceller) çok kriterli değerlendirme ile uygun olduğuna dair hiçbir ampirik kanıt olmadığından çalışmalarda en çok kullanılan ve diğer yönteme göre daha basit olduğu için göreceli sözel niteleme metodu tercih edilmektedir [Yager, 1996]. Bu yöntem ayrıca, düzenli tek düze artan niceleyici olarak da bilinir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Düzenli artan (azalmayan) monoton nicelikler.

Niceleyiciyi tanımlamada kullanılan bu metot, birim aralığında bir parametre alt kümesini tanımlamak için kullanılan en basit ve en çok tercih edilen yöntemdir [Yager, 1996]. Yöntem genel bir ifade ile şu şekildedir:

$$Q(p) = p^{\alpha}, \qquad \alpha > 0 \tag{4.24}$$

$Q_{(p)}$, [0,1] aralığında bulanık dizisi ile gösterilir (Şekil 4.12). Tablo 4.5'de RIM niteleyiciler ve onların özellikleri verilmiştir. "α" parametresi değiştirilerek, tek bir farklı türde nicelik üretilebilir ve en az bir ve tüm iki uç durumlar arasındaki operatörlerle ilişkilendirilebilir. $\alpha=1$ için, $Q_{(p)}$ α ile orantılıdır ve bu yüzden ona kimlik niteleyicide denmektedir. Bu kimlik niteleyici Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (ADB) işlemine karşılık gösterilebilir (Tablo 4.5). Uç durumlara örnek vermek gerekirse, α'nın "0" yaklaşması durumunda, $Q_{(p)}$ en az bir niteleyicisi uç durumuna yaklaşır ve bu durum MAX (veya AND) operatörüne karşılık gelir. α'nın sonsuza yaklaşması durumunda, $Q_{(p)}$ niteleyicisi diğer bir uç durum olan tüm (veya OR) niteleyicisine yaklaşır ve bu durum MIN operatörüne karşılık gelir (Tablo 4.6).

Tablo 4.5. α parametrelerinin seçilen değerleri için düzenli artan monoton niceliklerin özellikleri (a: ölçüm değeri).

α	**Niceleyici (Q)**	**OWA Ağırlıklar**	**ORness**	**TradeOff**	**CBS Birleşimi İşlemleri**
α→0	En az bir	v_1=1; v_j=0, diğer tüm ağırlıklar için	1	0	OWA(OR, MAX)
α=0.1	En az	A	a	a	OWA
α=0.5	Biraz	A	a	a	OWA
α=1	Yarım	v_j=1/n, tüm j için	0.5	1	OWA (WLC)
α=2	Çok	A	a	a	OWA
α=10	Çok fazla	A	a	a	OWA
α=∞	Hepsi	v_n=1; v_j=0, diğer tüm ağırlıklar için	0	0	OWA(AND, MIN)

Tablo 4.6. Seçilen sözel nicelikler ve aldıkları *α* parametreleri.

Sözel Niceleyici (Q)	**En Az Bir**	**Az**	**Biraz**	**Yarım**	**Çok**	**Çok Fazla**	**Hepsi**
α	0.0001	0.1	0.5	1	2	10	1000
Operatörler	**OR**			**ADB**			**AND**

4.1.5.5. Sıralandırılmış ağırlıklar

Bulanık nicelikler içerik bakımından sıralı ağırlıkların oluşturulması için bir yöntem sağlar ve bu ağırlıklar RIM niceliklerine dayanmaktadır [Yager, 1996]. Aşağıdaki gösterimde olduğu gibi ifade edilir.

$$v_j = \left(\frac{\sum_{k=1}^{j} u_k}{\sum_{k=1}^{n} u_k}\right) - \left(\frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^{n} u_k}\right) \tag{4.25}$$

Kriter ağırlıkları genel olarak Eşitlik 4.26 deki gibi toplamları 1' eşittir.

$$\sum_{i=1}^{j} w_j = 1 \tag{4.26}$$

Sonuç olarak, $\sum_{i=1}^{n} u_j = 1$ ve Eşitlik 4.27'in basitleştirilmiş hali ise;

$$v_j = (\sum_{k=1}^{j} u_k)^{\alpha} - (\sum_{k=1}^{j-1} u_k)^{\alpha} \tag{4.27}$$

Böylece, sıralı ağırlıklar (v_j), kriter ağırlıklarından (w_j) üretilir. Niteleyici yönlendirmedeki SAO birleştirme işlemleri içerisinde, kriter ağırlıklarının tespiti için en uygun yöntem temel olarak sıralandırılmış değerlendirme kriterlerini almalarıdır [Malczewski, 1999]. Özniteliklerin sıralandırılması (rj) işleminde en önemli öznitelik 1'inci sırada ($rj=1$), ikinci en önemli öznitelik ($rj=2$) 2'inci sıradan ve son öznitelik ($rj=n$) ise son sıradadır. j'ninci kriterin ağırlığının tanımlanmasında Eşitlik 4.28 kullanılır.

$$w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_{j=1}^{n} n - r_k + 1}, \quad (k = 1, 2, ..., n). \tag{4.28}$$

Verilen kriter ağırlıkları w_j ve sıralanmış ağırlıklardan v_j için nicelik esaslı ASO işlemi aşağıda gösterilmiştir.

$$ASO_{(i)} = \sum_{j=1}^{n} \left(\left(\sum_{k=1}^{j} u_k \right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^{\alpha} \right) z_{ij} \tag{4.29}$$

4.1.5.6. Analitik hiyerarşi yöntemi ile ağırlıklandırılmış sıralı ortalama yönteminin birleşimi

Analitik hiyerarşi işlemi tüm işlemlerin analizinde ve her alternatifin değerlendirilmesinde hiyerarşik bir model yaratarak konumsal karar probleminin çözümünde kullanılan çok genel bir araçtır. Analitik hiyerarşi işlemi ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme işlemlerinde kullanıldığı gibi SAO işlemlerinde de kullanılmaktadır. SAO işlemleri içerisinde AHY'nin işlevi, amaçlar ve özniteliklerin görece önemliliklerinin ya da ağırlıklarının ikili karşılaştırma yöntemini esas alarak, hiyerarşik bir şekilde belirlenmesidir. AHY-SAO işleminde AHY işleminin tamamlanmasından sonra sözel niceliklerin belirlenmesi işlemine geçilir. AHY-ASO işlemi üç adımdan oluşmaktadır [Malczewski, 2006]. Bunlar;

1. Sözel niceliklerin belirlenmesi,

2. Q'ya bağlı olarak sıralandırılmış ağırlıkların oluşturulması,

3. Hiyerarşik olarak her alternatif için genel değerlendirmenin yapılması yani ASO birleştirme işleminin uygulanmasıdır.

Her *i*. alternatifin genel değerlendirme puanlarının tespiti iki adımla hesaplanır. İlk adım işlemi Eşitlik 4.30 ile *i*. alternatifin her bir amaca göre değerinin hesaplanmasıdır.

$$s_{iq} = \sum_{k=1}^{l} v_{k(q)}.z_{ik(q)}, \quad i = 1, 2, ..., m \text{ ve } q = 1, 2, ..., p \tag{4.30}$$

ve

$$v_{k(q)} = \left(\sum_{k=1}^{l} u_{k(q)} \right) - \left(\sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)} \right) \tag{4.31}$$

Bu işlemdeki $z_{ik(q)}$, q. amaca göre alternatif puanlarının yeniden sıralanışı ile elde edilir, $u_{k(q)}$ ise q. amaca bağlı olarak k. öznitelik ağırlığının yeninde sıralanmasıdır. Parametre α ise q amacına bağlı olarak elde edilen sözel niteleyiciye karşılık gelen değerdir.

Amaçlara bağlı olarak verilen her alternatifin değeri, s_{iq} ve i'nin alternatifinin genel değerlendirme puanı aşağıdaki eşitlikler ile elde edilir;

$$AHP_OWA_{(i)} = \sum_{q=1}^{p} v_q z_{iq}\ , \quad i = 1, 2, ..., m \tag{4.32}$$

ve

$$v_q = \left(\sum_{q=1}^{p} u_q \right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)} \right)^{\alpha} \tag{4.33}$$

Buradaki z_{iq}, q'nun amaç düzeyinde alternatif puanlarının yeniden sıralandırılması ile elde edilir, s_{iq} ve u_q ise q'nuncu amacın ağırlığının yeniden sıralandırılmasını ifade eder. Parametre α_p ise hiyerarşik yapıda konumsal karar probleminin amacına bağlı olarak atanmış sözel niteleyicidir.

4.1.5.7. Duyarlılık analizi

Çok kriterli karar analizi işlemlerinde, kriterlerinin belirlenen görece önemliliklerini, ne kadar dikkat edilse de, yapılacak analiz sonrasında tüm kriterlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin tekrardan kontrol edilmesi ve karar vericilerin tercihlerinin doğruluklarının tespiti gereklidir. Duyarlılık analizini, karar verme işlemlerinin doğruluğunun saptanması olarak tanımlamıştır. Daha açıklayıcı bir anlatımla denilebilir ki, ÇKKA'de yapılan tercihlerin ve alınan kararların, sonuç veriler üzerindeki etkisinin tespit edilmesi, tercihler üzerinde yapılacak ufak değişiklerin analizin kararlılığına olan etkisinin saptanmasıdır. Eğer kriter ağırlıklarında yapılacak ufak değişiklikler tercihlerin sıralanmasında bir değişikliğe

sebep teşkil etmiyor ise uygulamanın kararlılığı hakkında emin olunabilir. Diğer taraftan yapılan değişiklikler sıralandırmayı değiştiriyor ise tercihler tekrar gözden geçirilmeli ya da oluşan değişimler problemin genel analiz üzerindeki etkisi kabul edilebilir düzeyde ise değişikliğe gidilmemelidir.

Kriter ağırlıklarında meydana gelecek değişiklikleri anlaşılması için uygulanacak en hızlı yol en yüksek kriter değerine 100 verilerek diğer değerlerin 0 kadar çekilmesidir. İşlem sonrasında alternatiflerin alacakları genel değerlendirme puanlarına bakılarak sonuçlar gözlenmelidir. Değerlendirme kriterlerinin eklenmesi ya da çıkarılması da aynı sonuçlar doğurur. Duyarlılık analizi ile kriter değerlerinin doğruluğunun saptanmasında uygulanacak diğer bir yol ise kriterlerin eklenip çıkarılarak oluşacak durumun sonuç sıralanmadaki etkisinin incelenmesidir. Daha sistematik bir yaklaşımla her seferinde sadece bir kriter silinir ve silinen kriterlerin yaratığı etkiye bakılır. Yapılan işlem her kriter üzerinde denenerek "zayıf" (problem üzerinde etkisi kriter) kriter tespit edilir. Bu tarz kriterlerin silinmesi, sonuç üzerinde etki yaratmayacaktır [Nyerges and Jankowski, 2010].

Daha karmaşık bir yaklaşımda ise hangi kriterlerin zayıf olduğu ve bu kriterlerin hassasiyet analizi içerisinde çıkartılabilme olasılığına bakılır. Bu yaklaşımda kriterlerin hangilerinin ÇKKA işlemi sonrası çıktı verilerini tanımlayan faktör değişkenlerini ayrıştırdığının genel duyarlılık analizi içerisinde tespit edilme olasılığının bulunmasıdır. Bu yönteme örnek olacak genel duyarlılık analiz yöntemlerinden biri genişletilmiş Fourier genlik hassasiyet testidir (FAST).

4.2. Lojistik Regresyon Analizi

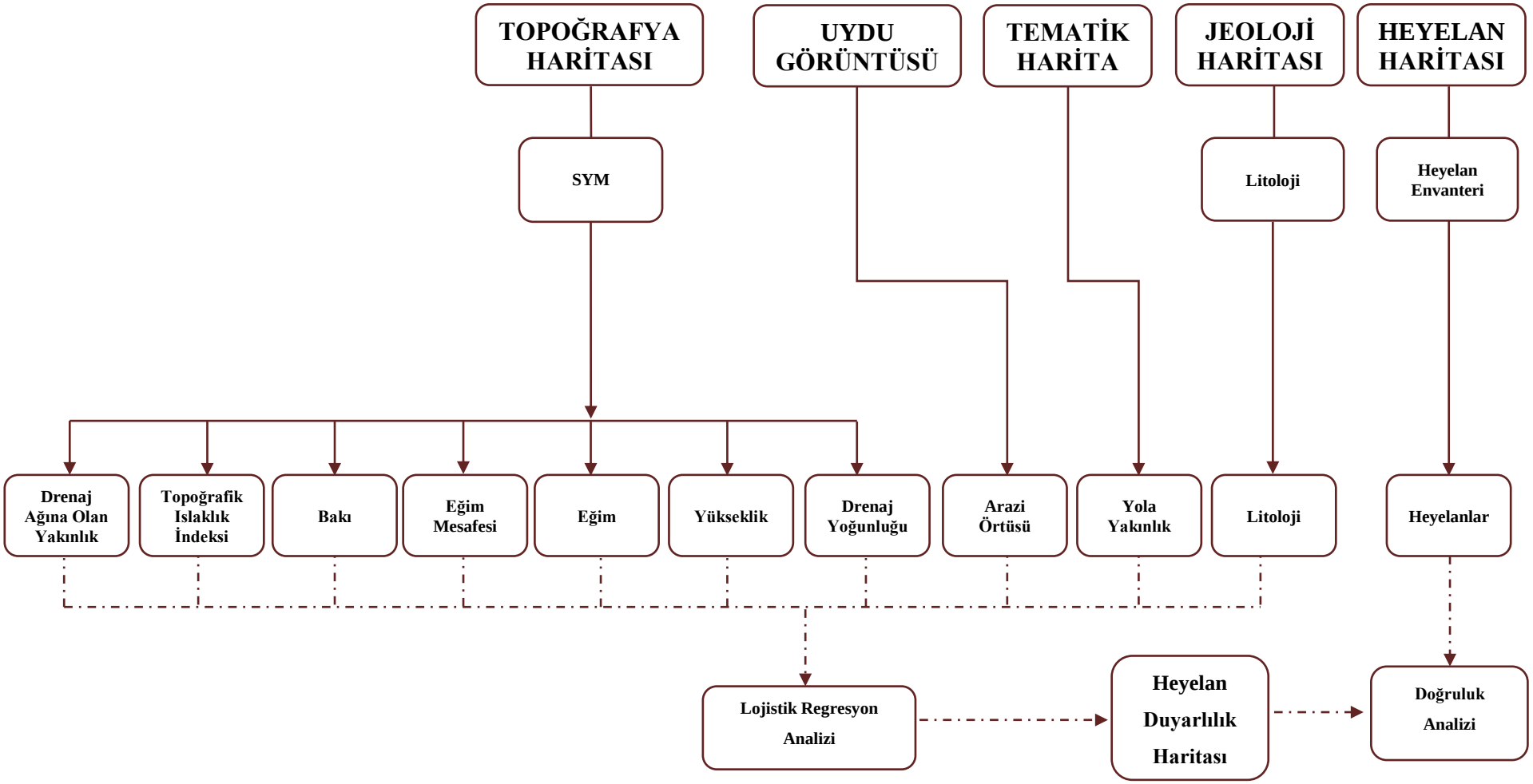
Lojistik regresyon metodu, bağımlı bir değişken ile bağımsız birçok değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi kurmayı sağlamaktadır [Lee, 2005]. Çok değişkenli analiz modellerinden biri olan lojistik regresyonunu kullanımındaki amaç, en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak 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.

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. Genel anlamıyla lojistik regresyon aşağıda verilen formüle dayanarak değişkenlere uygulanır.

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + ... + b_n x_n \tag{4.35}$$

Bu eşitlikteki *Y,* 0 ve 1 aralığındaki bağımlı değişkeni, b_0 bağımsız değişkenlerin sıfır değerini aldıklarındaki bağımlı değişken değeri ya da sabiti, $b_1,...,b_n$ bağımsız değişkenlerin regresyon katsayıları ve $x_1,...,x_n$ ise bağımsız değişkenleri göstermektedir. Yapılan çalışmada heyelan envanter haritasındaki mevcut heyelan alanları bağımlı değişkenleri temsil ederken, heyelan olayına sebep olan faktörler ise bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Her bir regresyon katsayısı risk faktörünün sonuca olan katkısının büyüklüğünü ifade etmektedir. Pozitif regresyon katsayısı sonuç olasılığının artığını ve doğru orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu gösterir. Negatif bir regresyon katsayısı negatif yönde yani ters orantılı bir ilişkiyi göstermektedir. Artan bir regresyon katsayısı sonuç olasılık üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu gösterirken regresyon katsayısı sıfıra yaklaştığında sonuç olasılık üzerindeki etkisinin az olduğunu ifade etmektedir. Çalışma içerisinde değerlendirilen bağımsız değişkenler; litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı, yükseklik, topoğrafik ıslaklık indeksi, eğim mesafesi, drenaj yoğunluğu ve yollara olan uzaklık katmanlarıdır. Heyelan envanter haritası ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Lojistik regresyonla yapılan heyelan duyarlılık haritası veri akış şeması.

4.3. 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 problemden kurtulmanın bir yolu, kullanıcının, verileri değerlendirirken bağımlı bir değişkenle birleştirme yapmak suretiyle yeni bir parametre haritası yapmasından geçmektedir [Akgün, 2007]. İki değişkenli istatistik yöntemde, her faktör haritasının piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (a) ve bu faktörlere bağlı elde edilen heyelanlı alanlara ait piksel sayıları ile yüzde değerleri (b) hesaplanarak, elde edilen a ve b değerlerinde olasılık-benzerlik oranı (b/a) oranları hesaplanmıştır. Bu oranlara bağlı olarak oluşturulan her bir faktör haritası yeniden sınıflandırılmış ve yeniden sınıflandırılan faktör haritaları birbirleri ile toplanarak bir heyelan duyarlılık indeks haritası elde edilmiştir. Heyelan duyarlılık indeksi (HDİ) haritasının formülü aşağıdaki gibidir.

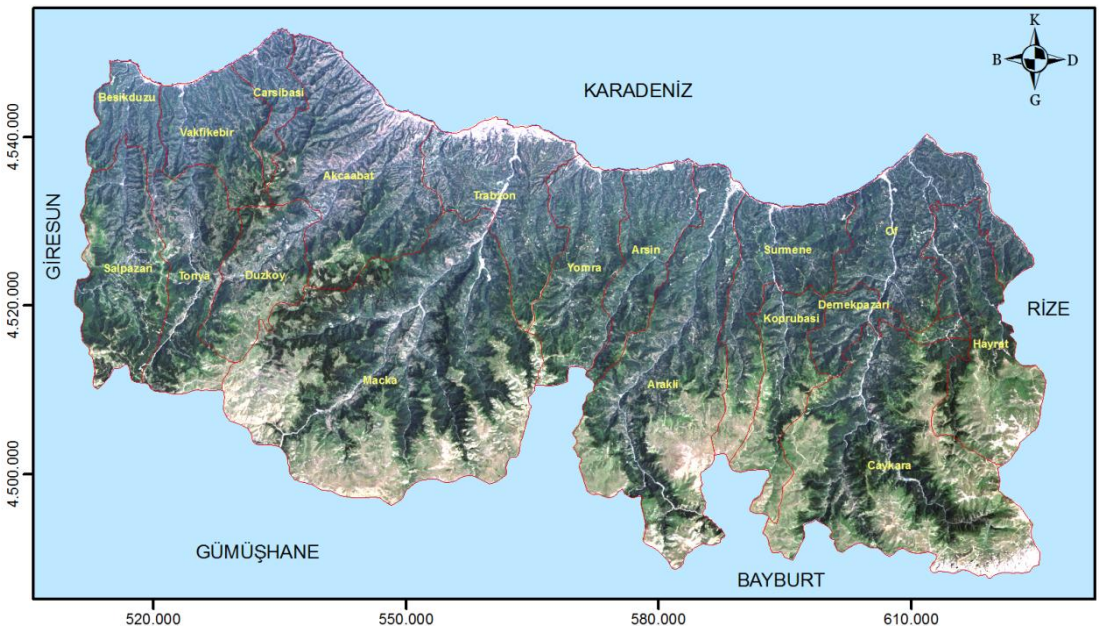
$$\text{HDİ} = \text{Fr1} + \text{Fr2} + \text{Fr3} + \ldots + \text{Frn} \tag{4.35}$$

Bu eşitlikteki *LSI* heyelan duyarlılık indeksi, *Fr* ise her bir faktör için elde edilen sınıflandırılmış oranları temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulacak heyelan duyarlılık indeks haritası için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir. Frekans oranı metodu, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ile birlikte farklı yöntemlerle üretilen haritaların performans değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [Reis, ve ark., 2009; Akgun and Turk, 2010; Yilmaz, 2010; Lee et al., 2003; Yalcin, 2008].

5. UYGULAMA

5.1. Çalışma Alanı

Çalışma bölgesi olarak seçilen Trabzon ili Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölümü içerisinde yer almaktadır. Trabzon ili 38° 31' ve 40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' ve 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Trabzon ilinin toplam yüz ölçümü 4.685 km^2 olup kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize ve batısında Giresun bulunmaktadır (Şekil 5.1). TUİK 2010 verilerine göre hazırlanan (Tablo 5.1) Trabzon ili için merkez, ilçe, köy ve belde nüfusları verilmiştir [URL-1]. İlin genel coğrafi yapısı dar bir sahil şeridinin ardından denize dikey uzanan dağlık bir arazi şeklindedir. Dağların kıyıdan itibaren yükselmeye başladığı bölgede en çok yağışı kıyı kesimleri alır ve hemen her mevsim yağış görülmektedir. Trabzon ilinin ortalama metrekareye düşen yağış miktarı 830,00 milimetredir.



Şekil 5.1. Çalışma alanı, Trabzon ili.

Trabzon ilinin başlıca yeryüzü şekilleri; güneyde su bölümü çizgisi boyunca doğu-batı doğrultusunda uzanan dağlık alanlar, bunların ana akarsuyun kolları arasına, kuzeye doğru sokulan ve gittikçe alçalan tepelik sahalar ile sahadaki mevcut şekillenmeyi sağlayan önemli bir dış etmen olan Solaklı, Yomra, Değirmen dere, Sera, Kalenima, Foldere gibi akarsularının

oluşturduğu vadiler ve deltalardır. Trabzon'da en geniş alan kaplayan Jeolojik birimler, üst kretase yaşlı volkanik oluşumlardır. Trabzon ilinin jeomorfolojisi tabaka katmanları alttan üste doğru kretase yaşlı, volkanik seriler, konglomera, kumtaşı, marn ve killi kuarterner yaylı taraça dolgular ve kıyı alüvyonları şeklindedir. Çalışma bölgesindeki zemin yapısının su doygunluğu yüksek killi formasyonlardan oluşması ve yıl içerisinde yüksek yağış alması, bölgenin heyelan riskini artıran önemli etkenlerdir. Ayrıca bölgenin kıyıdan itibaren sarp yükseklikler den oluşan topolojik yapısı heyelan riskini tüm bölge üzerinde arttıran başlıca diğer bir husustur [URL-2].

Tablo 5.1. İlçelere göre il/ilçe merkezi ve belde/köy nüfusu [URL-1].

İlçe	İl/İlçe merkezleri	Belde/Köyler	Toplam
Akçaabat	38.681	72.276	110.957
Araklı	21.908	27.291	49.199
Arsin	10.326	17.259	27.585
Beşikdüzü	11.768	9.931	21.699
Çarşıbaşı	7.297	8.657	15.954
Çaykara	2.469	14.47	16.939
Dernekpazarı	2.388	1.917	4.305
Düzköy	3.462	12.085	15.547
Hayrat	5.286	6.644	11.930
Köprübaşı	2.204	3.551	5.755
Maçka	5.750	18.744	24.494
Merkez	234.063	63.647	297.71
Of	18.898	29.565	48.463
Sürmene	14.707	13.401	28.108
Şalpazarı	3.397	7.908	11.305
Tonya	7.399	9.317	16.716
Vakfıkebir	14.111	12.323	26.434
Yomra	11.538	19.076	30.614
Toplam	**415.652**	**348.062**	**763.714**

Trabzon'da heyelana sebep olan faktörler incelendiğinde bunlar içerisinden öne çıkan en temel faktör bölgenin zemin yapısıdır. Bölgenin çok yağışlı olması, sıcak ve nemli yapısı nedeni ile kayaçlarda derin ayrışmalara sebep olmakta, oluşan bu durum bölgenin genelini de kapsayan yüksek eğimle birlikte büyük kütle hareketlerine neden olmaktadır. Doğal faktörlerin yanında bilinçsiz yapılaşma, alt ve üst yapı faaliyetleri ve ormanlık alanlarda yapılan tahribatlar bölgede heyelan olayına sebep olan insan kaynaklı faktörlerdendir. 1958-

2000 yılları arasındaki dönemde Trabzon'da 272 heyelan olayı görülmüş ve bu olaylardan 16.500 insan riske maruz kalmıştır [Bayrak ve ark., 2010].

5.2. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri

Türkiye içinde olduğu coğrafi konum sebebiyle büyük ölçüde can kaybı, yaralanma ve mal kaybına yol açan doğal afetlerin yaşandığı bir ülkedir. Heyelanlar ülkemizde gerçekleşen doğal afetler içerisinde depremlerden sonra en sık görülen afettir. Heyelanlar sonrası oluşan kayıpları en aza indirmek ve gerekli önlemleri alabilmek için potansiyel heyelan alanlarının yüksek doğrulukla tespiti büyük önem arz etmektedir. Olası heyelan alanlarının belirlenmesi, karar vericilerin yapacakları çalışmalar için altlık oluşturmak ve afet sonrası yaşanacak can ve mal kayıplarının önüne geçilebilecek önlemlerin alınabilmesi nedeniyle büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, heyelan olaylarının sıkça yaşandığı Trabzon ili için heyelan duyarlılık haritası oluşturularak olası heyelan alanlarının tespiti amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında bölgeye ait heyelan duyarlılık haritasının üretilebilmesi için CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analiz metodu kullanılmıştır. Analizde kullanılmak üzere, Trabzon bölgesi için heyelan olaylarına etkisi olduğu düşünülen ve literatürde en çok tercih edilen veri türleri; eğim, litoloji, arazi örtüsü, bakı, drenaj yoğunluğu, yükseklik, eğim uzunluğu, yola yakınlık ve topoğrafik ıslaklık indeksi faktörleri kullanılarak heyelan duyarlılığına olan etkileri irdelenmiştir. Çalışmada, söz konusu faktörler ile birlikte farklı metotlar kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritaları bölgeye ait heyelan envanteri haritası ile karşılaştırılarak yöntemlerin doğruluğu ve kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca ÇKKA ile üretilen heyelan duyarlılık haritası, frekans oranı ve lojistik regresyon metotlarıyla üretilen haritalar ile karşılaştırılarak doğruluk sonuçları analiz edilmiştir.

5.3. Çalışmada Kullanılan Veri Katmanları

Coğrafi bilgi sistemli yapılan tüm uygulamalarda en çok vakit ve dikkat gerektiren işlemlerin başında veri üretimi gelmektedir. Önceki konu başlıklarından da hatırlandığı gibi veri, üretiminde en fazla zamanın ve işlem gücünün harcandığı bir CBS birleşenidir. Bu

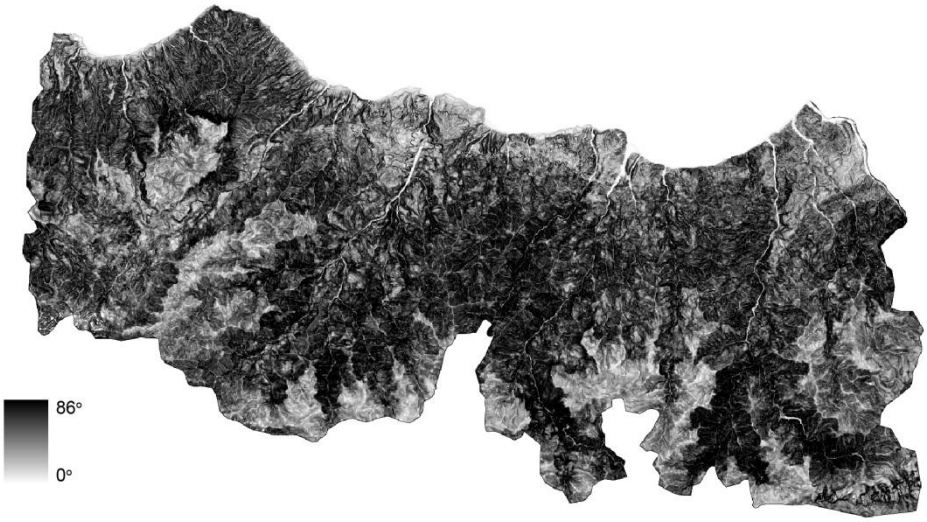
çalışma kapsamında kullanılan verilerin bir kısmı arazi çalışmaları ile üretilmişken, bir kısmı da bazı veri kaynakları üzerinde işlemler yapılarak türetilen verilerdir.

Çalışmada kullanılan eğim, yükseklik, bakı verilerin üretilmesi için 1/25.000 ölçekli eş yükseklik haritasından üretilen Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) faydalanılmıştır. SYM ve diğer parametrelerin elde edilmesinde ArcGIS 9.3.1 ve Idrisi Taiga yazılımı ile yazılımlara ait modüller kullanılmıştır.

5.3.1. Eğim

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). Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında bir çok araştırmacı [Gómez and Kavzoglu, 2005; Dai and Lee, 2002; Akgün, 2007; Ayalew, et al., 2004; Yeon, et al., 2010] eğim faktörünü heyelanı hazırlayıcı faktörlerden biri kabul ederek önemli bir veri altlığı olarak heyelan duyarlılık analizlerinde kullanmışlardır.

Bu çalışmada eğim verisinin elde edilmesi için çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden faydalanılmıştır. Üretilen eğim haritasın da en düşük eğim derecesi 0 ve en yüksek eğim derecesi 86'dır (Şekil 5.2). Eğim haritası, duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere 8 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 5.2. Çalışma bölgesine ait eğim haritası.

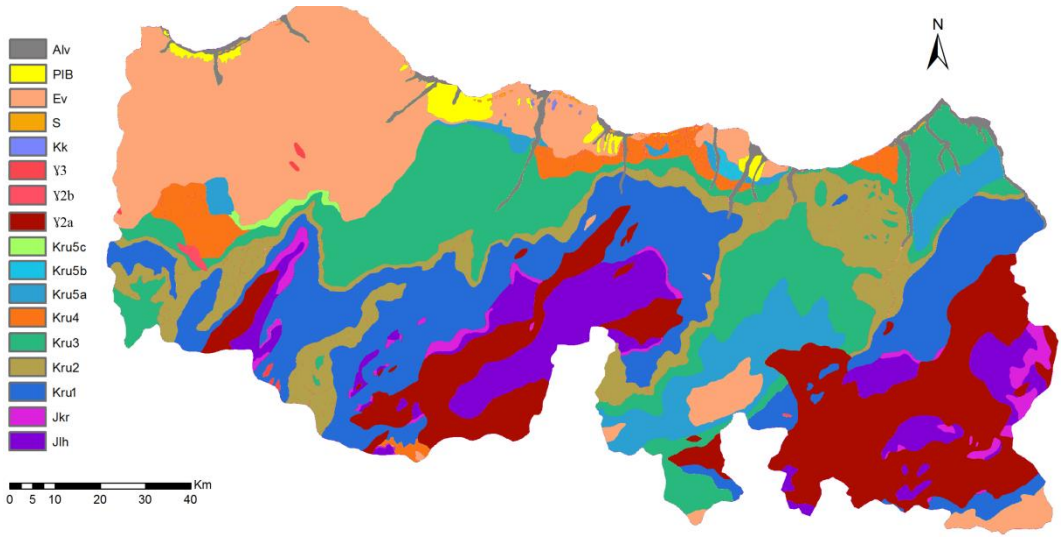
5.3.2. Litoloji

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 yapısal özelliklere sahip litolojik birimler, aktif jeomorfolojik süreçler (heyelan, toprak kayması vb.) için farklı duyarlıklara sahiptir [Carrara et al., 1991; Dai et al., 2002]. 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.

Trabzon ili Mesozoyik ve Senozoyik dönemine ait toloyitik kalkoalkalen kayaçlardan oluşmaktadır. Mesazoyik dönemi Liyas yaşlı volkanitlerle başlar ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatları ile devam eder. Üst Kretase dönemi yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Kaçkar Granitoyidi I granitoyid yerleşimi Paleosen sonlarında orojenik faaliyetlerle birlikte büyük ölçüde gelişmiştir. Kaçkar Granitoyidi II yerleşimi ise Eosen döneminde de devam etmiştir (Trabzon İl Çevre Durum Raporu, 2006).

Trabzon bölgesine ait 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası bölgenin genel jeolojisini yansıtan 17 ayrı formasyon içermektedir (Şekil 5.3). Çalışma bölgesine ait jeoloji haritasındaki

formasyonların stratigrafik dikme kesiti Ek 1'de sunulmuştur. Ayrıca Ek 2'de jeoloji haritasındaki her bir litolojik birimin detaylı açıklamaları verilmiştir.

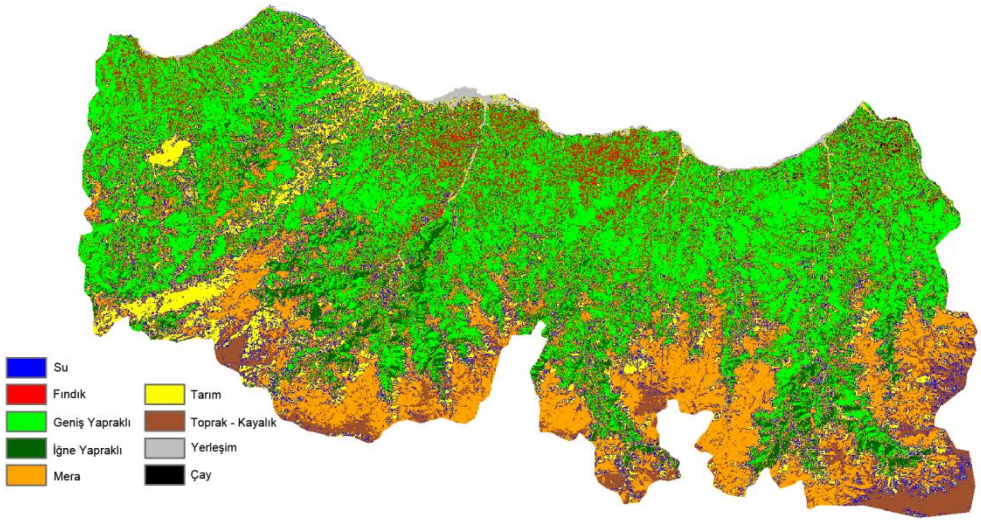


Şekil 5.3. Çalışma bölgesine ait jeoloji haritası (Trabzon İlinin Genel Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, 2006).

5.3.3. Arazi Örtüsü

Çalışmada dikkate alınan diğer bir faktör bölgeye ait arazi örtüsüdür. Arazi örtüsü insan ve doğal etkenlerden kolayca etkilenen ve değişime uğrayan bir özelliğe sahiptir. Arazi örtüsü içerisindeki vejetasyon türü, yağmurlu dönemler sonrası toprak hidrolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Arazi örtüsü türünün kısa dönemli yağış koşullarında çok etkili olmayacağı söylenebilmekle beraber, özellikle uzun yağış alan dönemlerde önemli etkilere yol açabileceği ifade edilmektedir. Böylelikle önemli değişim süreçlerine sahip toprak hidrolojisini içinde barındıran arazi örtüsü katmanı heyelan duyarlılığının analizinde dikkate alınması gereken bir faktördür [Yalcin et al., 2011]. Ayrıca bitki örtüsünün sahip olduğu köklerin derin yüzeylere kadar inmesi ve heyelan kayma yüzeylerinin de durumu dikkate alındığında bitki örtüsü türünün heyelanları önlemede etkisi olduğu söylenebilir. Diğer taraftan bölgenin tabaka yapısı ve arazi örtüsü yüksek geçirgenlik sağlayarak yağan yağmur sularının toprağın alt katmanlarına kadar emilimine neden olabilmektedir. Söz konusu durum yağan yağmur sularının killi tabakaya ulaşmasına ve toprak tabakasının eğim doğrultusunda yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bölgeye ait genel arazi örtüsü ve kullanımını gösteren

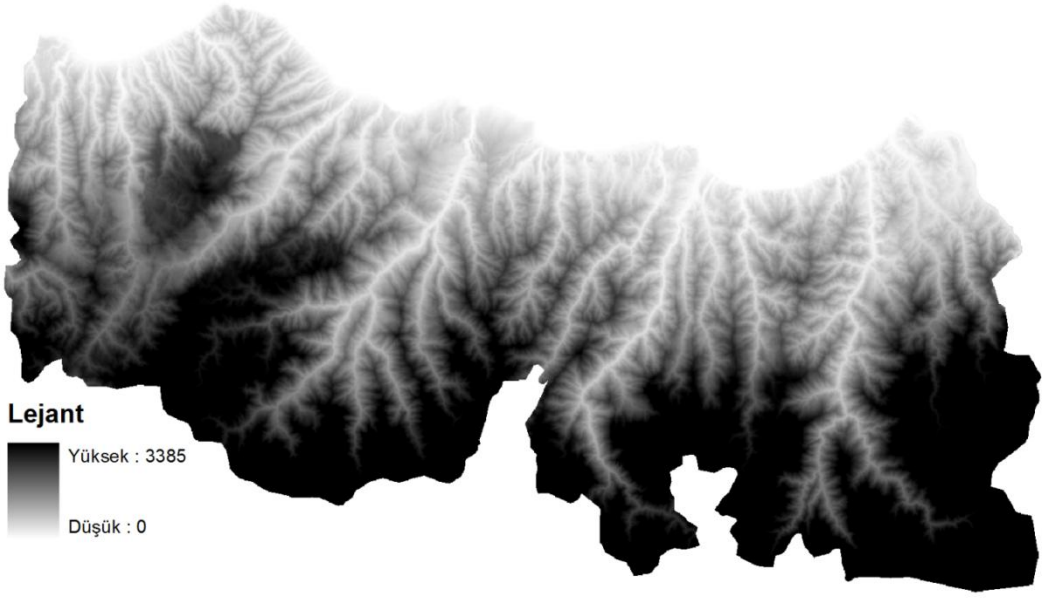
tematik harita 2001 ve 2002 yıllarında kaydedilen Landsat ETM+ uydu görüntülerinin sınıflandırılması ile elde edilmiştir. Sınıflandırma sonucunda üretilen tematik harita Şekil 5.4'den de görüleceği üzere mera, geniş yapraklı ağaç, fındık alanları, tarım alanları, iğne yapraklı ağaçlar, taşlık/kayalık alanlar, çay ve yerleşim alanları olarak 8 farklı arazi örtüsünü göstermektedir.



Şekil 5.4. Çalışma bölgesine ait arazi örtüsü haritası.

5.3.4. Yükseklik

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]. Çalışma alanına ait 0-3385 m aralığındaki yükseklik haritası (Şekil 5.5) değerlendirilmek amacı ile 7 eşit aralığa bölünerek sınıflandırılmıştır. Oluşturulan bu harita katmanı daha sonraki analiz adımlarında kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Çalışma bölgesine ait yükseklik haritası.

5.3.5. Bakı

Bakı yönü, topraktaki nem tutma oranı ve arazi örtüsü gelişimi gibi etkilere neden olduğu için toprak dayanımı ve heyelan duyarlılığı üzerinde etki oluşturur [Dai and Lee, 2002]. Topolojik durumun yağış miktarı, rüzgar etkisi, güneş ışığına maruz kalma durumu, nemlilik, arazi örtüsü gelişimi gibi bir çok faktörde etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle çalışmada -1 ve 360 derece aralığında 10 sınıfı kapsayacak şekilde bakı haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.6). Oluşturulan haritada -1° kısım düzlük bölgeleri (deniz, göl, vs.), 0°-360° aralığı ise 22,5^{o}'lik aralıklarda 9 coğrafi yönü kapsamaktadır. Üretilen bakı haritası Şekil 4.6'da gösterildiği üzere; düz yüzey (− 1°), kuzey (0°–22,5°), kuzey doğu (22,5°–67,5°), doğu (67,5°–112,5°), güney doğu (112,5°–157,5°), güney (157,5°–202,5°), güney batı (202,5°–247,5°), kuzey (247,5°–292,5°), kuzey batı(292,5°–337,5°) ve kuzey (337,5°–360°) şeklindedir.

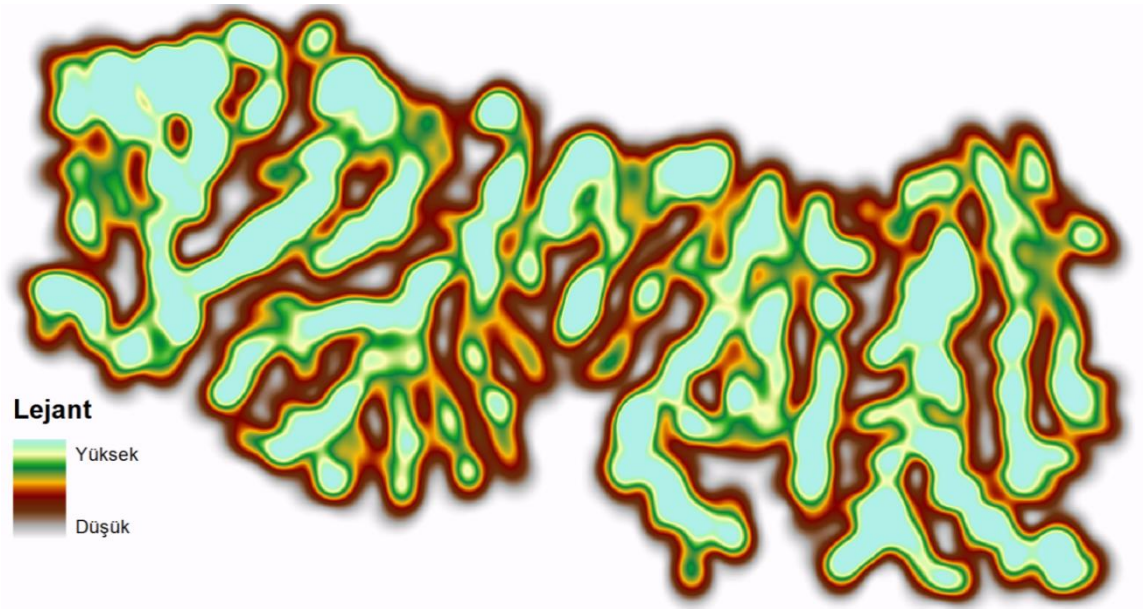
Şekil 5.6. Çalışma bölgesine ait bakı haritası.

5.3.6. Drenaj yoğunluğu

Yamaçlardaki durağanlığı etkileyen parametrelerden biri ise yamaçlarının suya olan doygunluğudur. Yamaçların drenaj hatlarına yakınlığı, yamacın durağanlığı açasında önemli bir etmendir [Reis ve ark., 2008]. Drenaj yoğunluğu, birim alana düşen akarsu uzunluğu olarak tanımlanmaktadır [Bayazıt, 1982]. Drenaj yoğunluğunun hesaplanmasında alt havza alanları ile birlikte toplam su yolları uzunluğuna ait bilgileri içeren drenaj ağları kullanılmaktadır. Drenaj yoğunluk hesabı aşağıda gösterilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$D_y = \sum L / A \tag{5.1}$$

Verilen eşitlikte D_y drenaj yoğunluğu, L akarsu uzunluğu, A ise havza alanını ifade etmektedir. Drenaj yoğunluğunun arttığı alanlarda heyelan duyarlılığı artmakta, drenaj yoğunluğunun azaldığı noktalarda ise heyelan duyarlılığı azalmaktadır [Akgün, 2007]. Çalışma bölgesi için oluşturulan drenaj yoğunluğu haritası Şekil 5.7'de verilmiştir.



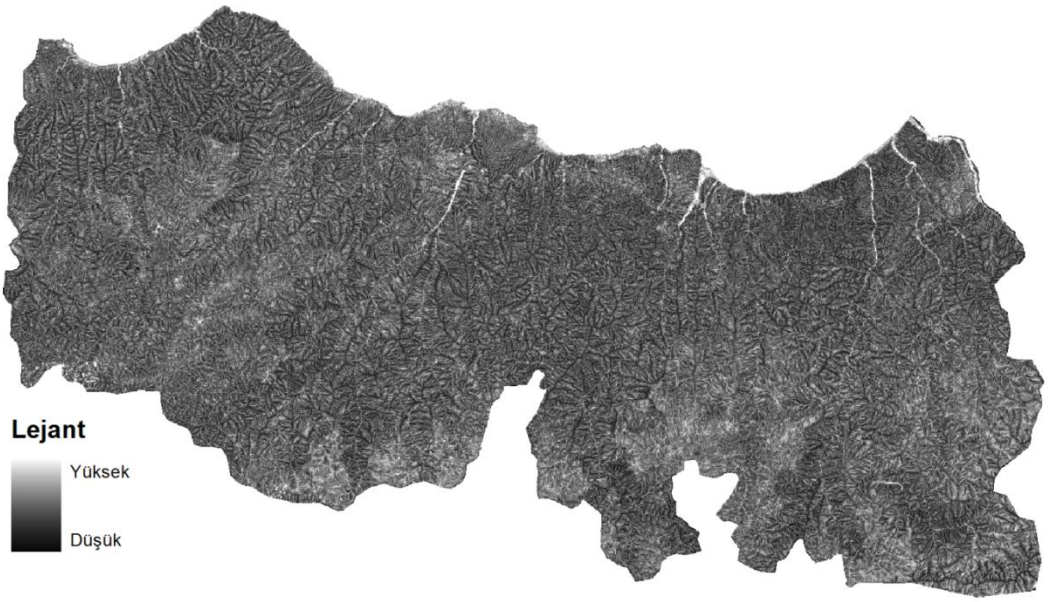
Şekil 5.7. Çalışma bölgesine ait drenaj yoğunluğu haritası.

5.3.7. Topoğrafik ıslaklık indeksi

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan önemli faktörlerden bir diğeri de topoğrafik ıslaklık indeksi faktörüdür [Gokceoglu et al., 2005, Gómez and Kavzoglu, 2005]. Topoğrafik ıslaklık indeksi (Tİİ) haritaları, yüzey akış modeline bağlı olarak üretilen ve bir alanın bağıl nemliliğine bakarak ne kadar ıslak olduğunu gösteren verilere sahiptir. Eğime bağlı olarak yamaçlardaki su muhtevasının artma ihtimalinin ve dolayısıyla suya doygun, kaymaya karşı duyarlı hale gelen zeminlerin belirlenmesinde bir değerlendirme parametresi olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik ıslaklık indeksi, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$\text{Tİİ} = \ln(A_s / \tan\beta) \tag{5.2}$$

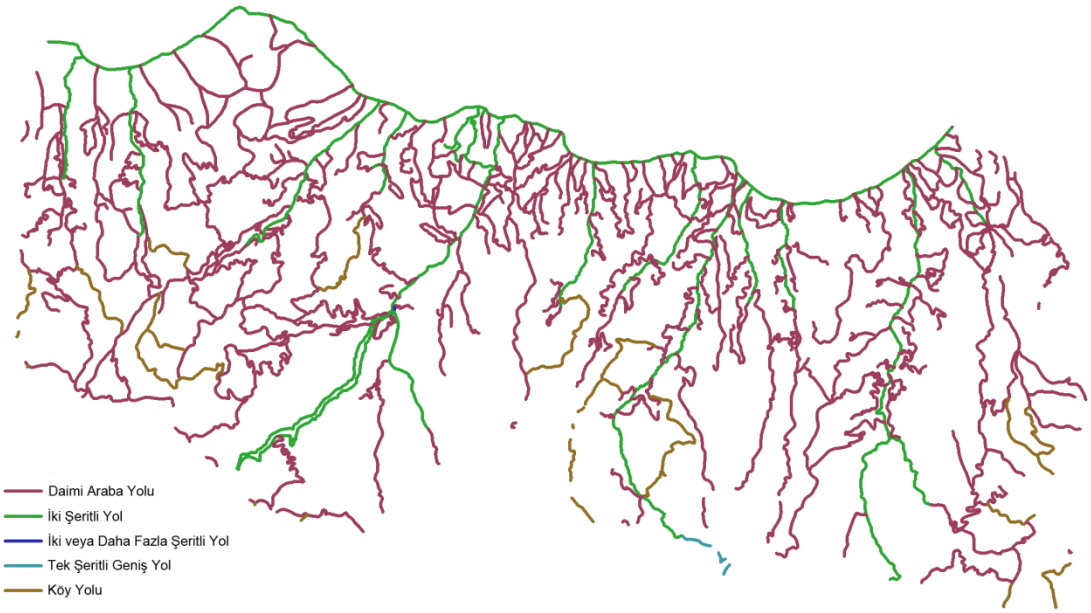
Eşitlikteki A_s değeri akış toplama modelinden elde edilen verileri, β ise derece olarak eğim değerini ifade etmektedir. Eşitlik sonucu elde edilen Tİİ haritası Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Çalışma bölgesine ait topoğrafik ıslaklık haritası.

5.3.8. 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 ve ark., 2009]. Yol faktörünün heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin araştırılması için 25 metrelik aralıklarla 0 m ile 150 m arası tampon bölgeler oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki yol ağını gösteren harita Şekil 5.9'da sunulmuştur. Bu yol ağı etrafında tampon bölgeler oluşturularak analiz aşamasında kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Çalışma bölgesine ait yol ağı haritası.

5.3.9. Eğim uzunluğu

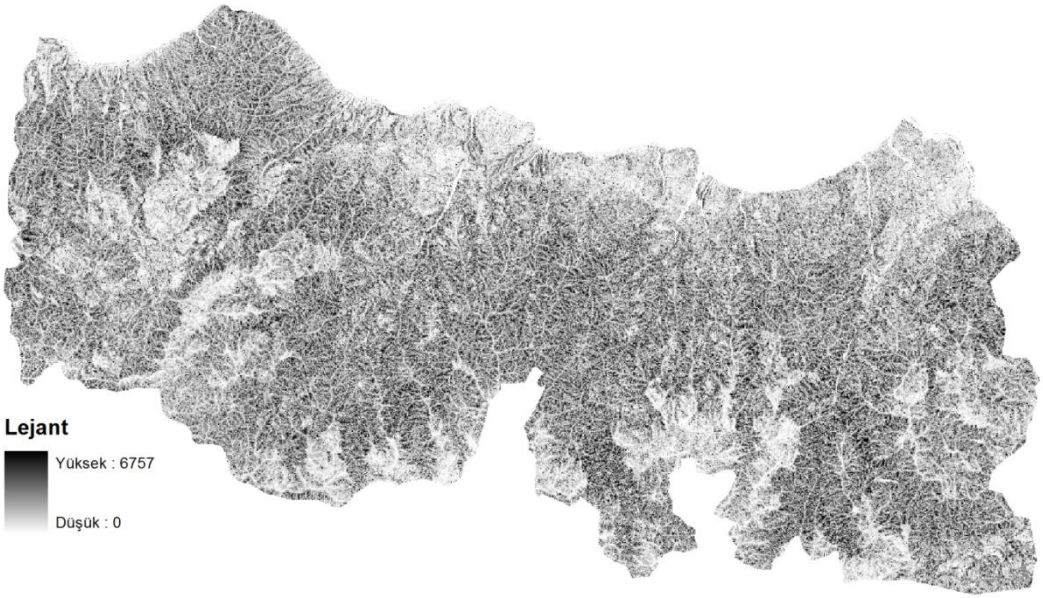
Eğim uzunluğu, yüzey akışının başladığı noktadan veya iyi tanımlanmış akış başlangıcından itibaren, eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı noktaya kadar devam eden eğim akışı uzunluğudur [Wischmeier and Smith, 1978]. Eğim mesafesi faktörü (L) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$L=(l/22,1)^{m} \tag{5.3}$$

Bu eşitlikte, *L* eğim uzunluğu faktörü, *l* arazi eğim uzunluğunu ve *m* ise eğim uzunluğu ve derecesi ilişkisini gösteren üstü ifade etmektedir. Eşitlikte kullanılan birimler metre cinsindedir.

Eğim mesafesi yüzeye yatak geçecek şekilde eş yükseklik eğrileri boyunca hesaplanır. Bu ölçüm aslında, yamaç yüzeyi boyunca ölçülen eğim uzunluğunun yatay izdüşümüdür. Eğim uzunluğu toprak kaymasına neden olan etmenleri etkileyen ve topraktaki materyalleri eğim boyunca hareketini güçlendiren bir olgu olduğundan heyelan tehlikesi için önemli bir faktördür. Bir diğer nokta ise yamaç boyunca oluşan sel sularının hızı eğim boyunca

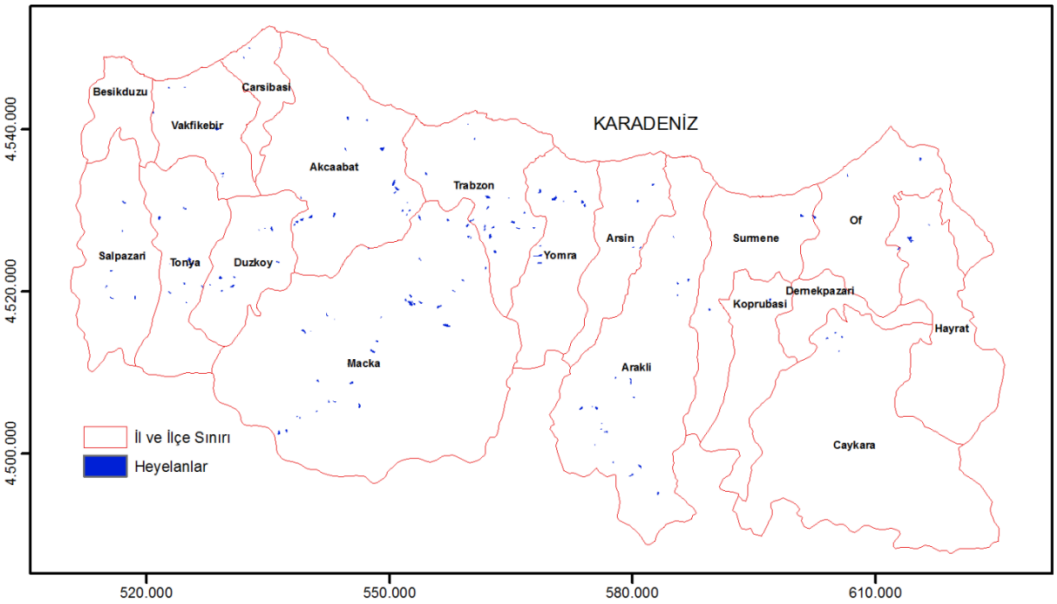
artmaktadır. Bu durum eğim uzunluğunun yamaç boyunca materyal hareketinin üzerindeki en önemli etkisidir [Gómez and Kavzoglu, 2005]. Bu çalışmada eğim uzunluğu SYM'den faydalanılarak ArcInfo 9.3.1 yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Üretilen eğim uzunluğu haritası Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Çalışma bölgesine eğim uzunluğu haritası.

5.3.10. Heyelan envanter haritası

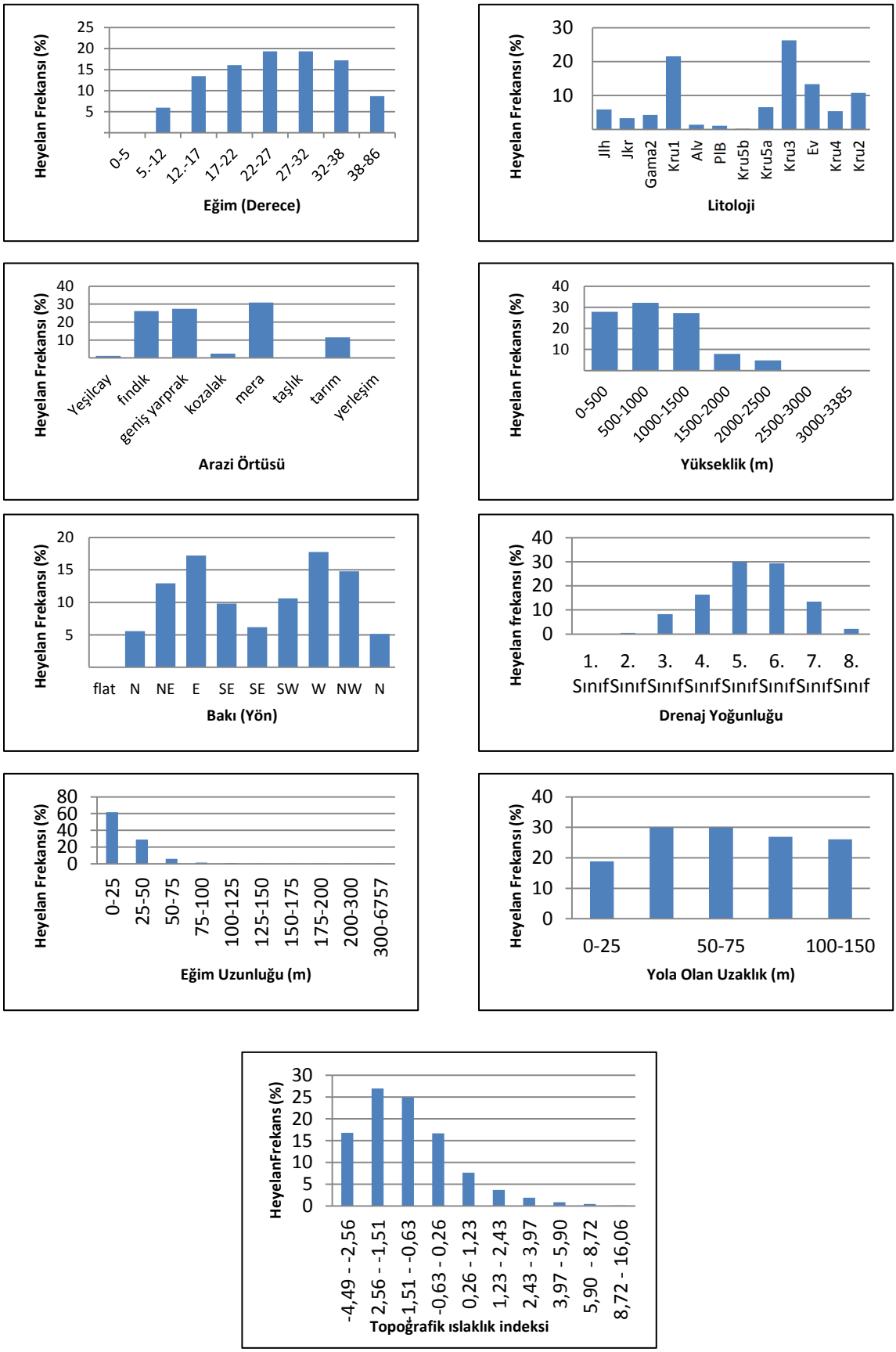
Çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluklarının belirlenmesi amacıyla heyelan envanter haritasından faydalanılmıştır. Kullanılan heyelan envanter verisi son yıllarda görülmüş 147 heyelan alanını içermektedir. Heyelan duyarlılığının en iyi şekilde belirlenebilmesi duyarlılık haritasının sahip olduğu veri kalitesi ile doğru orantılıdır. Heyelan envanter haritasının sahip olduğu heyelanın verileri heyelan olaylarının meydana gelmesinden sonra bölgeden elde edilen verilerden oluşmaktadır. Bu mevcut durum toplanan heyelan verilerinin yanında heyelana sebep olmayan verilerin de analize dahil edilmesine neden olmaktadır. Bu problem göz önünde bulundurularak, heyelan envanteri haritasından doğruluğu etkileyebilecek veriler (yollar, göl ve göletler, su kenarları vb.) ayıklanarak heyelan envanter haritası güncellenmiştir (Şekil 5.11). Çalışmada ayrıca heyelan envanter haritası lojistik regresyon metodu için bağımsız değişken verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası.

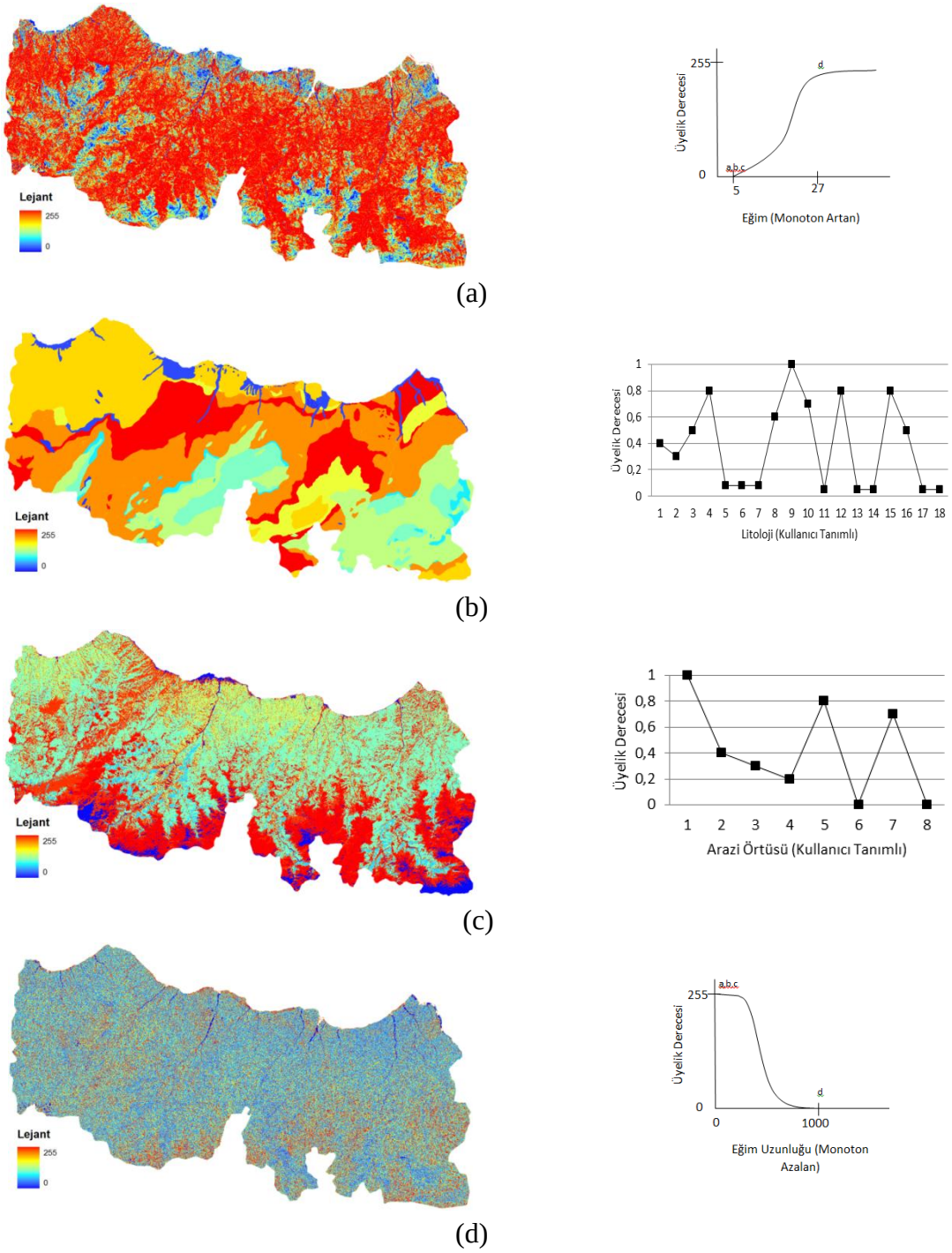
5.4. Çok Kriterli Karar Analizi ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Kriterlerin karar kuralları kullanılarak toplanması işleminden önce her bir kriterin normalleştirilmesi gerekmektedir. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılmak üzere eğim, litoloji, arazi örtüsü, bakı, topoğrafik ıslaklık indeksi, drenaj yoğunluğu, yolla uzaklık, eğim mesafesi ve yükseklik faktörleri normalleştirme işlemine sokulmuştur. 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 çakıştırılarak her bir faktör için heyelanlara duyarlı oldukları alanlarda frekans değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.12). 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.

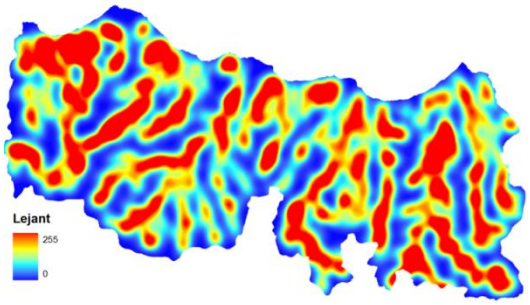


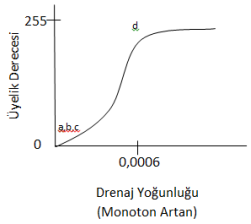
Şekil 5.12. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörlerin frekans değerleri.

Şekil 5.12'de görüldüğü gibi her bir kriterin heyelanla olan ilişkisinin belirlenmesi için frekans tespiti yapılmıştır. Söz konusu işlem ile birlikte bulanık set kurallarının belirlenmesine yardımcı olması ve daha hassas normalleştirme amacıyla literatürde yapılan çalışmalar ve çalışma konusunda bilgi sahibi kişilerden (Jeoloji ve Harita Mühendisleri) yardım alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler ışığında bulanık set teoremi dokuz kriter için uygulanmış ve elde edilen sonuçların haritadaki gösterimi ile bulanık set fonksiyonları Şekil 5.13'de verilmiştir. Eğim haritası için yapılan normalleştirmede (Şekil 5.13a) sigmoidal monoton artan fonksiyon kullanılmış ve 5 ile 27 derece aralığında sürekli artan bir fonksiyon kurulmuştur. 27 derecelik eğime sahip yamacın üyelik derecesi 1 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.13b'de görüldüğü gibi litoloji kriteri için kullanıcı tabanlı normalleştirme için oluşturulan bulanık fonksiyon ve sonuç haritası verilmiştir. Litoloji katmanın sahip olduğu değişim değerleri için üyelik dereceleri ile fonksiyonlar arasındaki ilişkinin tanımlanamaması nedeniyle kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Litoloji faktörü için tanımlanan fonksiyonda 18 litolojik katman için 0 ve 1 aralığında üyelik dereceleri belirlenerek 0-255 aralığında ölçeklenmiştir. Arazi örtüsü faktör haritası için tanımlanan kullanıcı tabanlı üyelik fonksiyonu ve normalleştirilmiş harita Şekil 5.13c'de verilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılan eğim uzunluğu faktörünün normalleştirilmesi için monoton azalan üyelik fonksiyonu belirlenmiş ve üyelik derecesi 0 ile 1000 metre aralığında 255 den 0 yaklaşan eğim çizmektedir (Şekil 5.13d). Kullanılan bu fonksiyon ile eğim uzunluğun 0'a yakın mesafelerde heyelan duyarlılığında etkisinin yüksek, mesafenin çok uzaması durumda ise duyarlılık üzerinde etkisinin azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, drenaj yoğunluğunun normalleştirilmesi için monoton artan üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 5.13e). Bu fonksiyon türü ile drenaj yoğunluğunun 0 ile 0,0006 aralığında, 0 ile 255 üyelik derecesi arasında artan duyarlılık gösterdiği ifade edilmektedir. Ayrıca, bakı faktörünün sahip olduğu parametrelerin üyelik derecesi ve fonksiyonlar arasındaki ilişkinin en iyi şekilde tanımlanması amacıyla kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu tercih edilmiş ve 9 sınıf için normalleştirilmiştir (Şekil 5.13f). Yükseklik için elde edilen frekans değerlerine bakarak en uygun üyelik fonksiyonunun monoton azalan olduğuna karar verilmiştir (Şekil 5.13g). Yükseklik faktörünün artan değer aralıklarında heyelan duyarlılığı üzerinde negatif etkiye sahip ve ters orantılı bir ilişkide olduğu görülmektedir. Topoğrafik ıslaklık indeks değerleri -4,49 ve 16,46 değer aralıklarında monoton artan üyelik fonksiyonu kullanılarak normalleştirilmiştir. Elde edilen normalleştirilmiş harita ve üyelik fonksiyonu Şekil 5.13h'de verilmiştir. Sigmoidal simetrik üyelik fonksiyonu ile normalleştirilen yola olan uzaklık faktörü Şekil 5.13ı'da verilmiştir. Bu üyelik fonksiyonu için faktör haritası 0 metreye karşılık gelen a noktasında 0 değerini almakta b ve c (25 m ve 75 m) noktaları aralığında 255 üyelik derecesine ve c'den d'ye (125 m) olan aralıkta ise azalarak yine 0 değerine düşmektedir.

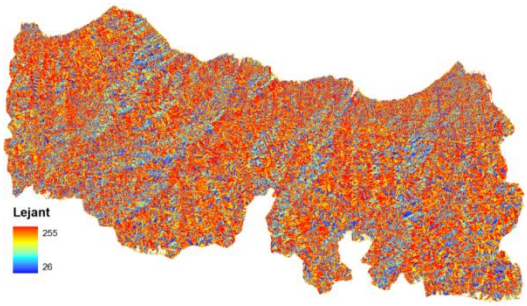


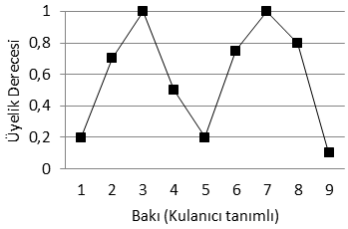
Şekil 5.13. Duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörler için bulanık set fonksiyonları ve normalleştirme sonrası elde edilen haritalar. (a) Eğim, (b) Litoloji, (c) Arazi örtüsü, (d) Yükseklik, (e) Bakı, (f) Drenaj yoğunluğu, (g) Eğim uzunluğu, (h) Yola olan uzaklık, (ı) Topoğrafik ıslaklık indeksi.



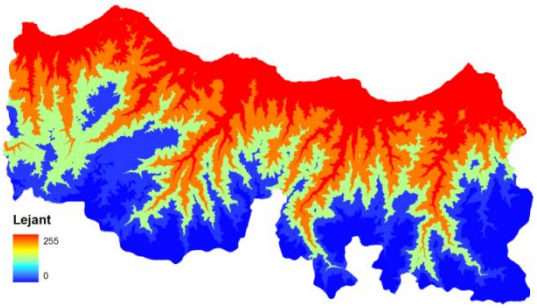


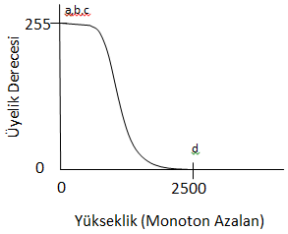
(e)



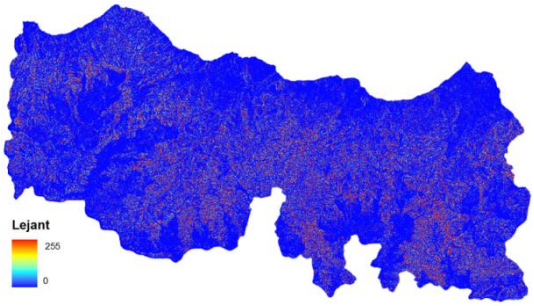


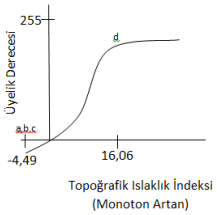
(f)



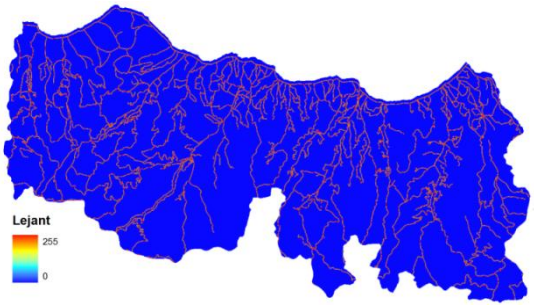


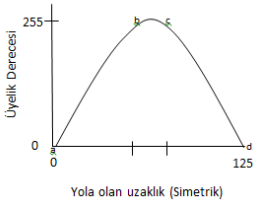
(g)





(h)





(ı)

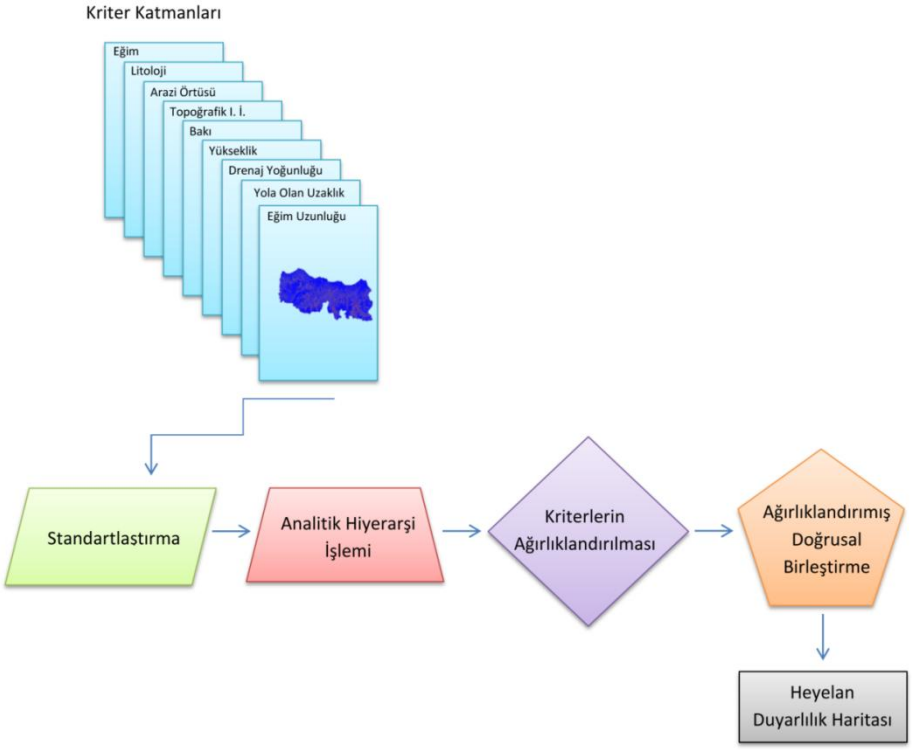
Şekil 5.13. (devamı)

Faktörlerin normalleştirilmesi sonrasında her bir faktörün birbirlerine olan göreceli öneminin tespiti için Analitik Hiyerarşi metodu uygulanmıştır. Metotta kullanılan kıyaslama değerleri karar vericiler tarafından seçilmektedir. Çalışma kapsamında bu değerlerin belirlenmesinde ayrıca literatürden ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır.

Karşılaştırma matrisi sonrası her bir kriterin ağırlığı hesaplanarak Tablo 5.2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sonra en yüksek ağırlığa sahip kriterler sırasıyla litoloji, eğim, arazi örtüsü, topoğrafik ıslaklık indeksi, bakı, eğim uzunluğu, drenaj yoğunluğu, yükseklik ve yola olan uzaklık olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerlerin ve elde edilen ağırlıkların tutarlı olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla hesaplanan "Tutarlılık oranı" (TO) değeri ise 0.06 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 5.14 gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Heyelan duyarlılık haritası için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları.

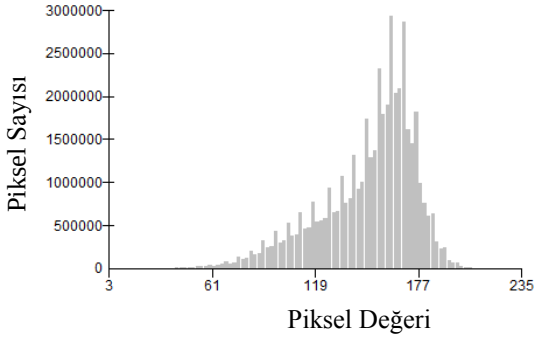
FAKTÖRLER	Litoloji	Eğim	Tİİ	Arazi Örtüsü	Drenaj Yoğunluğu	Bakı	Eğim Uzunluğu	Yükseklik	Yola Olan Uzaklık	**Ağırlık Değerleri**
Litoloji	1									0.3074
Eğim	1	1								0.2900
Tİİ	0.20	0.20	1							0.0920
Arazi Örtüsü	0.20	0.20	2	1						0.1259
Drenaj Yoğunluğu	0.143	0.143	0.25	0.20	1					0.0355
Bakı	0.143	0.25	0.50	0.50	2	1				0.0567
Eğim Uzunluğu	0.143	0.143	0.333	0.20	2	1	1			0.0481
Yükseklik	0.143	0.143	0.20	0.167	0.50	0.333	0.333	1		0.0265
Yola Olan Uzaklık	0.125	0.125	0.20	0.167	0.25	0.25	0.25	0.333	1	0.0181



Şekil 5.14. Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme metodu için işlem akışı.

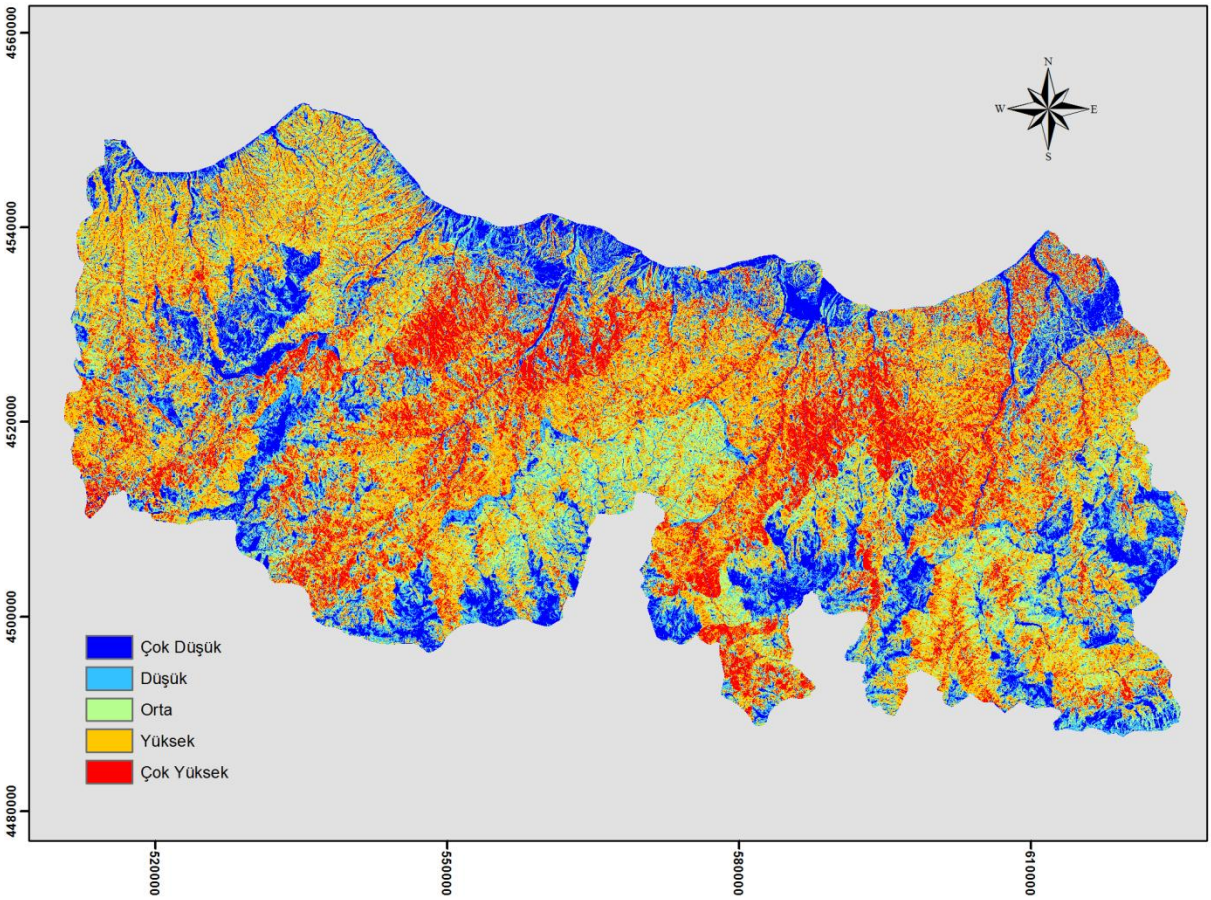
Tüm kriter haritaları ADB işlemine sokularak tek bir heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası tüm haritadaki raster değerleri göz önünde tutularak kullanıcı tabanlı bölümleme yapılmıştır [Magliulo et al., 2009]. Üretilen duyarlılık haritasının sahip olduğu piksel değerlerinin oluşturduğu histogram Şekil 5.15'de verilmiştir. Mevcut histogram görüntüsü çalışmada ÇKKA için oluşturulacak duyarlılık bölümlemesi için ön bir bilgi sunmaktadır. Histogramdaki piksel dağılımları kullanıcı tabanlı ve eşit dağılımlı bölümlemenin istenilen şekilde çalışmaya yansıtılabilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle çalışma bölgesine ait ÇKKA ile oluşturulan duyarlılık haritasının bölümlemesi yapılırken kullanılacak yüzde değerlerinin bölgenin gerçek durumunu yansıtan değerlerin dikkate alınması ve bu değerlerin kullanılması önemli bir husustur. Söz konusu sebep nedeniyle çalışmada ÇKKA ve diğer metotların duyarlılık bölümlerinin belirlenmesinde kullanıcı tabanlı bölümleme tercih edilmiştir. Kullanıcı tabanlı bölümlemede 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 bölümleme tekniği kullanılmıştır. Sonuç olarak, ÇKKA analizi sonrası elde edilen

piksel dağılımı aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere her iki bölümleme tekniğinin uygulanmasına imkân verecek homojen bir dağılım göstermektedir.



Şekil 5.15. ÇKKA sonrası elde edilen heyelan duyarlılık haritasının histogramı.

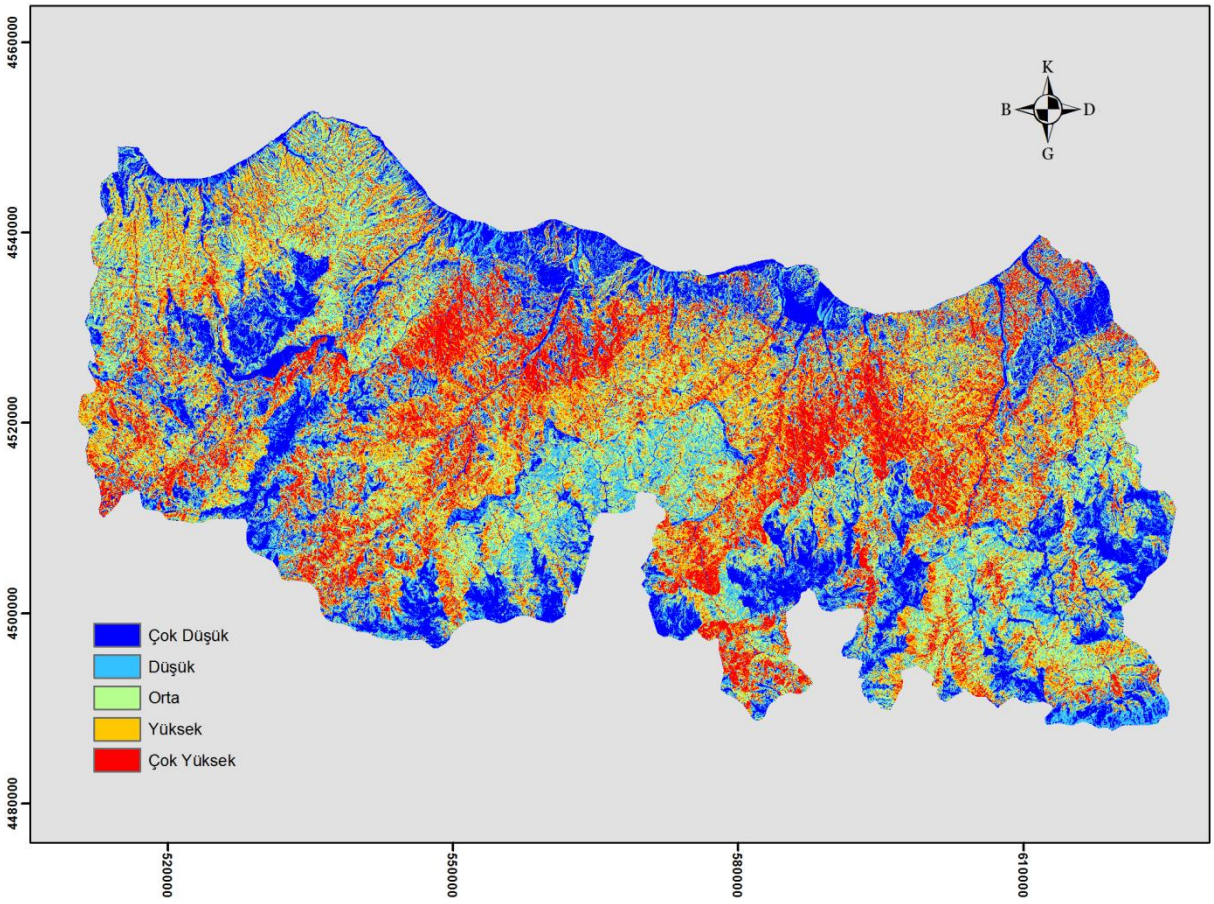
Kullanıcı tabanlı bölümleme ile tüm görüntüdeki piksel değerleri belli yüzdelere bölünmüştür. Yapılan bölümleme sonucu; çok düşük risk sınıfı için %16, düşük risk sınıfı için %16, orta risk sınıfında %16, yüksek risk sınıfı %34,5 ve en yüksek risk sınıfında ise %17,5 olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır. Bölümleme işlemi sonrası oluşan heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.16'de verilmiştir. Kullanıcı tabanlı bölümleme metodu sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile çakıştırılmıştır. Çakıştırma sonucu elde edilen veriler şu şekildedir: çok düşük heyelan duyarlılığı %2.98, düşük duyarlılık %12,50, orta duyarlılık %13,41, yüksek %38,23 ve çok yüksek duyarlılık %32,89 oranında bulunmuştur. Diğer bir değişle çalışma alanında gerçekleşmiş heyelanların karşılığı olan alanlar ile uygulama sonucu bulunan alanlar karşılaştırıldığında çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %71,12 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Heyelan alanlarının %2.98'i uygulama sonucunda heyelan olma olasılığı çok düşük alanlara rast gelmiştir. Bunun bir nedeni heyelan sonrası kayan toprağın heyelan riski taşıyan alan üzerine gelmesi ve bu alanın da heyelan potansiyeli olan alan olarak işaretlenmesidir.



Şekil 5.16. ÇKKA metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Diğer bir duyarlılık aralıklarına bölme tekniği olarak ”eşit dağılımlı bölümleme” tekniği kullanılmıştır. Tüm sonuç görüntü yaklaşık %20’lik aralıklarda eşit dağılımlı bölümleme ile heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Eşit dağılımlı bölümleme metodu sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacı ile heyelan envanter haritası ile çakıştırılmıştır. İşlem sonrası elde edilen veriler şu şekildedir; çok düşük heyelan duyarlılığı %6,09, düşük duyarlılık % 16.94, orta duyarlılık %17,39, yüksek %26,69 ve çok yüksek duyarlılık %32,89 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %59,58 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Eşit dağılımlı bölümlemenin diğer bir analizi ise çok düşük heyelan duyarlılığı olan alanlarının karşılaştırılmasıdır. Çakıştırma sonucu elde edilen veriler incelendiğinde heyelan alanlarının %6,09’luk kısmı çok düşük heyelan riski olan alan içinde kalmıştır. Bu

alan kullanıcı tabanlı bölümleme sonrası analizden %3,11 daha çoktur. Eşit dağılımlı sınıflandırma sonucu oluşan heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.17'da verilmiştir.



Şekil 5.17. ÇKKA metodu sonrası eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

5.5. Lojistik Regresyon ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan bir diğer yöntem ise Lojistik Regresyon ya da Mantıksal Regresyon analizidir. Lojistik regresyon analizi, bağımlı bir değişken ile bağımsız birden fazla değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi oluşturulur. Yapılan çalışmada heyelan envanter haritasındaki mevcut heyelan alanları bağımlı değişkenleri temsil ederken, heyelan olayına sebep olan faktörler ise bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Analizde kullanılan faktörler aynı bulanık mantık standartlaştırma değerleri ile değerlendirmeye sokulmuştur. Lojistik regresyon analizi Idrisi Taiga yazılımı içinde bulunan

“LOGISTICREG” modülü ile gerçekleştirilmiştir. Regresyon modülünde kullanılan “Örneklem Oranı” %10 olarak belirlenmiştir [Eastman, 2004]. Yapılan analiz sonucu verilen regresyon denklemi ve istatistiksel veri grupları aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 5.3’de lojistik regresyon analizinde hesaplanan katsayılar verilmiştir. Verilen katsayılar içerisinde en ağırlıklı katsayıya sahip katman litoloji faktörü çıkmıştır. Litoloji katmanında sonra sırasıyla yükseklik, eğim, Tİİ, bakı, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, eğim uzunluğu ve yola olan uzaklık katmanları ağırlıklı etkiye sahiptirler. Yola olan uzaklık ve eğim uzaklığı katsayıları negatif değerlerde bulunmuştur. Bu iki faktörün değerlerinde meydana gelecek artışın heyelan duyarlılığı üzerinde ters bir ilişkinin olduğu böylelikle duyarlılık üzerinde azalan bir etkiye sahip olduğu ifade edilebilir. Diğer faktörler ise pozitif katsayı değerlerine sahiptir ve bu faktörlerin değerlerinde meydana gelecek artışların heyelan duyarlılığını artıran bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

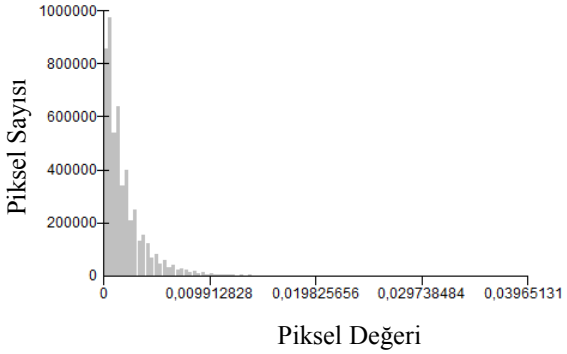
Tablo 5.3. Lojistik regresyon sonucu elde edilen regresyon katsayıları.

Regresyon Katsayıları	
Değişkenler	**Katsayılar**
Regresyon katsayısı	-12,15381401
Bakı	0,00331044
Drenaj yoğunluğu	0,00136900
Yükseklik	0,00500704
Arazi örtüsü	0,00188841
Litoloji	0,01872717
Yola olan uzaklık	-0,00016142
Eğim	0,00363509
Eğim uzaklığı	-0,00100789
Topoğrafik ıslaklık indeksi	0,00331987
ROC	0,8895

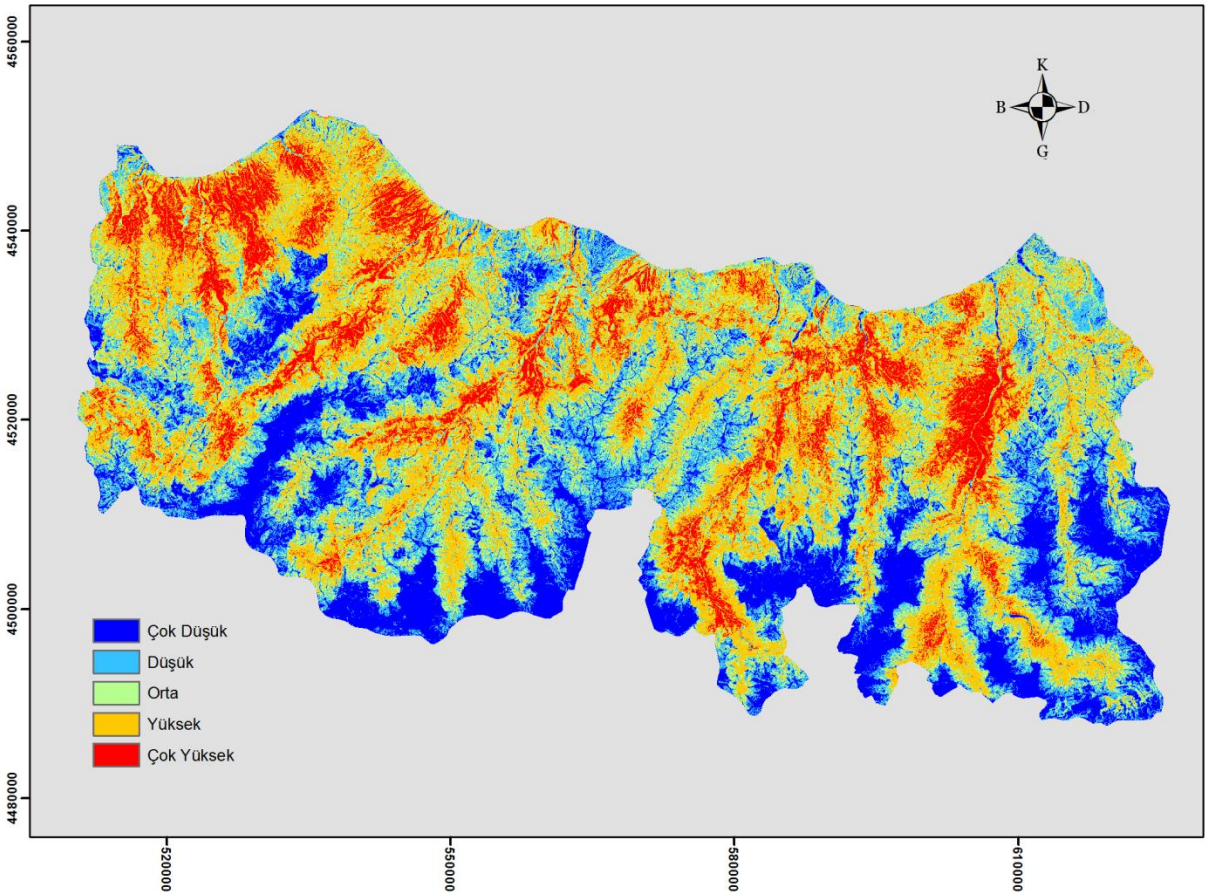
Çalışmada kullanılan lojistik regresyon yöntem sonucunun anlamlılığının yorumlanması için Relative Operating Characteristic (ROC) sonucuna bakılmıştır. Bu veri, Boolean formatında olan “heyelan var/yok” haritası ile olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC değeri 0.5 ile 1 arasında değişmekte olup 1 değeri mükemmel uyumu, 0.5 ise rastgele bir uyumu işaret etmektedir [Ayalew ve Yamagishi, 2005; Akgün, 2007]. Bu çalışmada elde edilen ROC değerleri 0,8895’dir (Tablo 5.3). Böylelikle elde edilen heyelan duyarlılık haritasının iyi bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir.

Lojistik regresyon analizinden sonra, üretilen heyelan duyarlılık haritasının bölümlenmesi işlemine geçilmiştir. Bölümlemelerde kullanılacak yüzde değerlerinin verilmesi bölümleme sonucu ve doğruluk değerlerinin tespiti için önemlidir. Lojistik regresyon sonucu elde edilen duyarlılık haritasının piksel dağılımı (Şekil 5.18) incelendiğinde piksellerin çok kısıtlı bir alanda yayılan ve homojen olmayan bir dağılım elde edildiği görülmüştür. Bu sonuç bölümlemede kullanılan her iki teknik içinde istenilen yüzde değerlerinin uygulanabilirliğinde sorun yaratmıştır.

Elde edilen duyarlılık haritasının bölümlenmesinde ilk olarak kullanıcı tabanlı bölümleme metodu kullanılmıştır. Bu aralıklarına ayırma işlemi için tüm heyelan haritası 5 ayrı sınıfa bölünmüştür. Ayrılan sınıfların tercih edilen piksel yüzdeleri; çok düşük %15,47, düşük %15, orta %15,49, yüksek %36,29 ve çok yüksek %17,75 şeklindedir. Sınıflandırma sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile çakıştırılmıştır. Çakıştırma sonucu elde edilen veriler şu şekildedir; çok düşük heyelan duyarlılığı %2.77, düşük duyarlılık %9.55, orta duyarlılık %20.84, yüksek %47.20 ve çok yüksek duyarlılık %19,62 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %66.82 elde edilmiştir. Heyelan olma olasılığı çok düşük alanlar %2,77 değerinde elde edilmiştir. Kullanıcı tabanlı sınıflandıra sonucu üretilen heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.19'de verilmiştir.



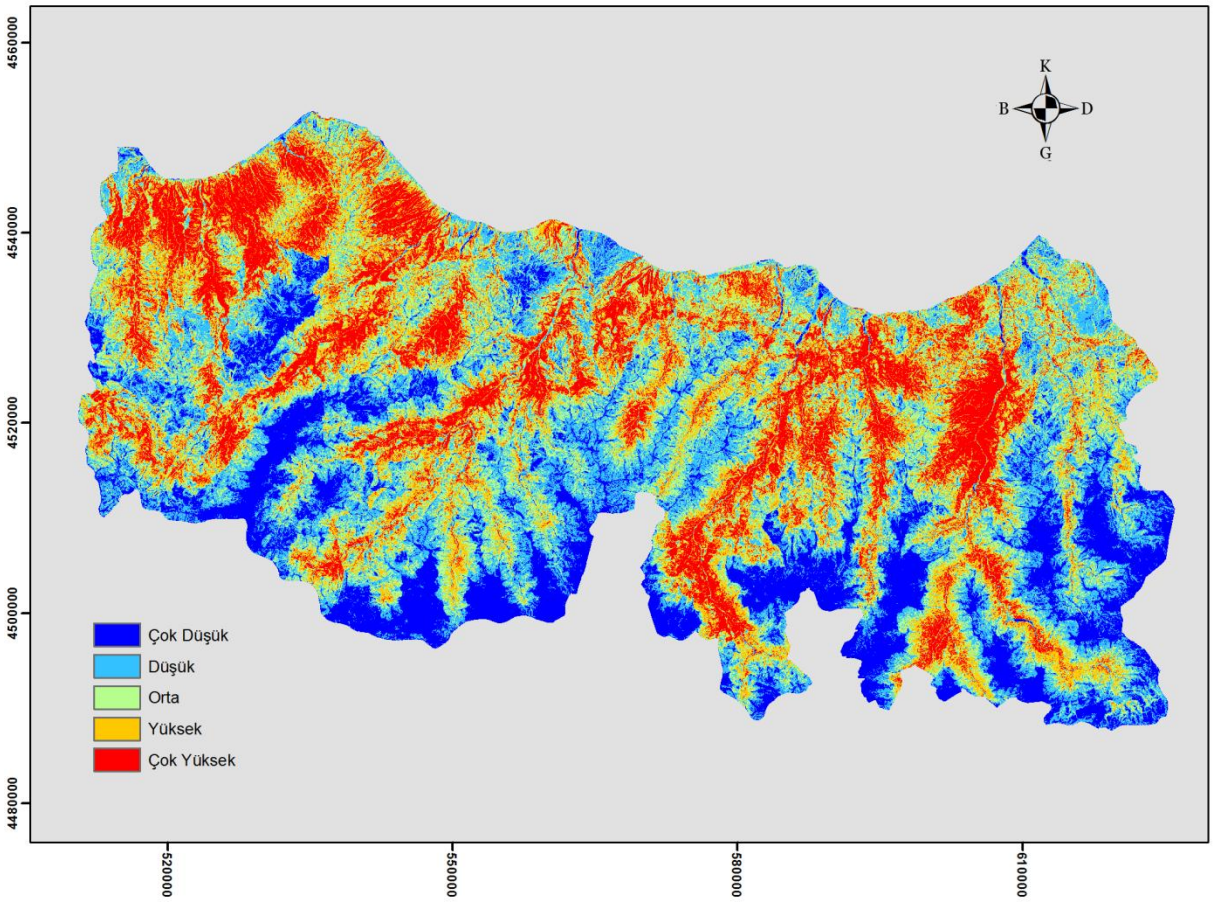
Şekil 5.18. Lojistik regresyon sonrası elde edilen heyelan duyarlılık haritasının histogramı.



Şekil 5.19. Lojistik regresyon metodu sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Lojistik regresyon sonucu üretilen görüntü 5 sınıfa yaklaşık %20'lik aralıklara gelecek şekilde bölünerek heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Yapılan sınıflandırma sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacı ile heyelan envanter haritası ile çakıştırılmış ve 5 sınıf değeri için frekans verileri elde edilmiştir. İşlem sonrası elde edilen veriler şu şekildedir; çok düşük heyelan duyarlılığı %2.77, düşük duyarlılık % 9.56, orta duyarlılık %20.85, yüksek %30.96 ve çok yüksek duyarlılık %35.86 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %67.82 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Diğer bir taraftan çok düşük duyarlılıklı alanlar ise %2,77 değerini vermiştir. Eşit dağılımlı bölümleme sonucu elde edilen heyelan doğruluğu kullanıcı tabanlı bölümleme doğruluğundan %1 oranında daha yüksek çıkmıştır. Çıkan sonuç irdelendiğinde, iki sınıflandırma metodunun da birbirlerine yakın sonuç verdikleri görülmektedir. Diğer bir taraftan ise sınıf aralıkları ile karşılaştırıldığı vakit eşit dağılımlı bölümlemede çok yüksek duyarlılık

derecesi için %35.86 ve kullanıcı tabanlı bölümlemede ise çok yüksek duyarlılık derecesi için %19.62 olduğu görülmektedir. Böylelikle eşit dağılımlı bölümlemenin çok yüksek duyarlılık derecesine sahip heyelan alanlarının tespitinde daha duyarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eşit dağılımlı bölümleme sonucu oluşan heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Lojistik regresyon metodu sonrası eşit dağılımlı sınıflandırma ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

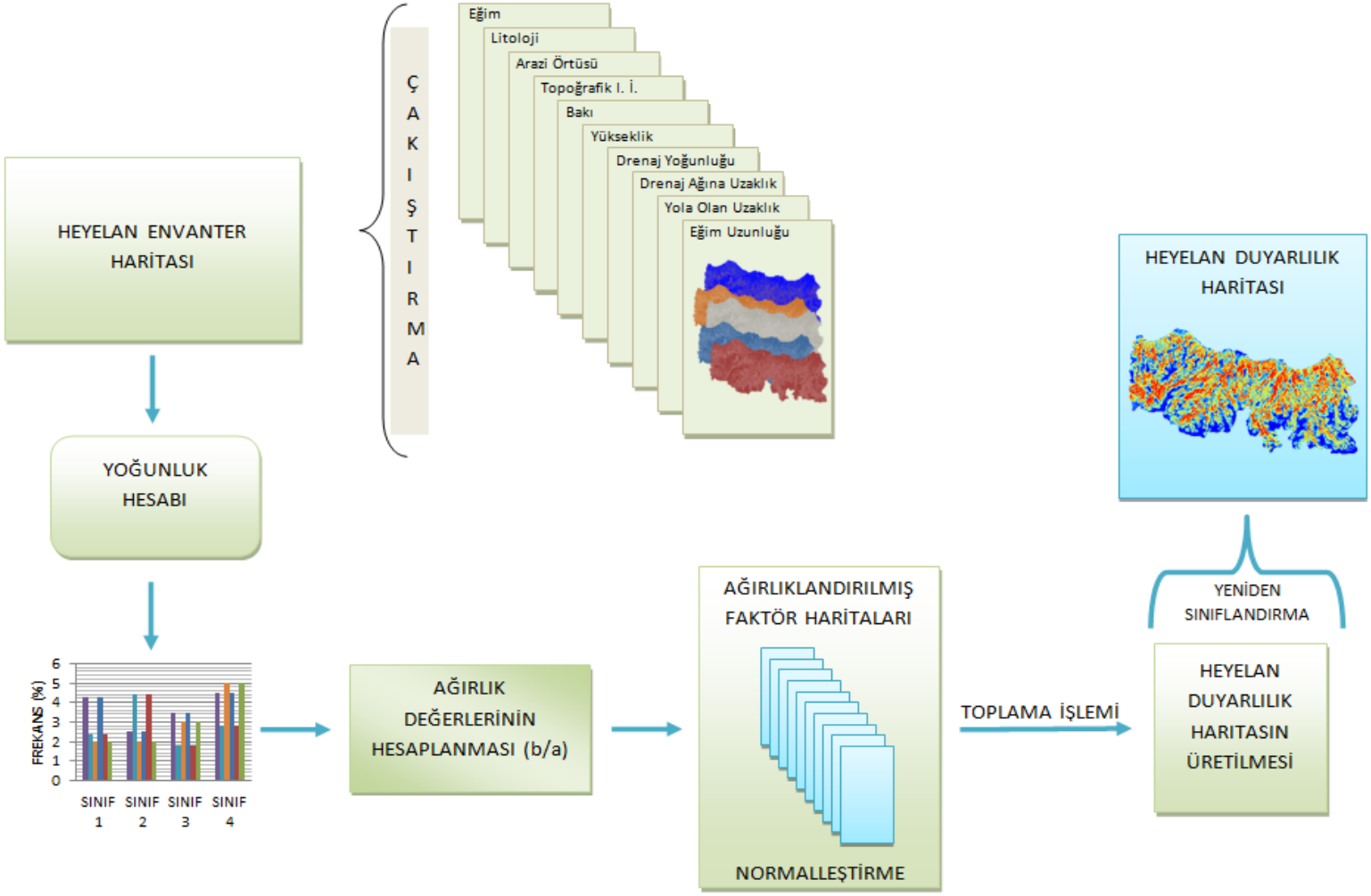
5.6. Frekans Oranı Metodu ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Heyelan olaylarının meydana geldiği alanlar ile bu alanların etkileşiminde bulunduğu faktörler arasındaki ilişki kullanılarak heyelana duyarlı alanların tespiti mümkündür. Böylelikle her bir faktörün, heyelan olan alanlardaki frekans değerlerine bakılarak incelenmesi, heyelana duyarlı alanların tespiti olayına frekans oranı metodu ile çözümlenme denir. Frekans oranı metodunda herhangi bir faktördeki heyelan frekans oranının

değerlendirmesi yapılırken ortalama değer 1 alınır. Oranın 1'den büyük olması yüksek bir korelasyona, 1'den düşük olması ise düşük korelasyona işaret etmektedir [Reis ve ark., 2009]. Bütün faktörler parametrelerine ait frekans oranı değerleri Tablo 5.6'de gösterilmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan Frekans oranı metodu şu adımlarda gerçekleşmektedir.

a) Faktör sınıflarının sahip olduğu piksel değerlerin yüzdeleri (a) ile bu sınıflar içerisinde meydana gelen heyelan alanlarına ait piksel sayılarının yüzdelerinin (b) hesaplanması,
b) Hesaplana a ve b parametrelerinin birbirine oranlanması (b/a),
c) Oran sonucu her bir faktör haritasının tekrar sınıflandırılması ve normalleştirilmesi,
d) Sınıflandırılan faktör haritalarının birbirleri ile toplanarak heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi.

Frekans oranı kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretimini gösteren akış şeması Şekil 5.21'de verilmiştir. Frekans oranı ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası kullanıcı tabanlı ve eşit dağılımlı sınıflandırma metotları kullanılarak 5 duyarlılık sınıfına bölünmüştür. Elde edilen her bir duyarlılık sınıfı için mevcut heyelan envanter haritası kullanılarak yapılan karşılaştırma sonucu bulunan doğruluk sonuçları incelenmiştir.



Şekil 5.21. Frekans oranı metodu ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası işlem adımları.

Tablo 5.4. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktörlerin frekans değerleri.

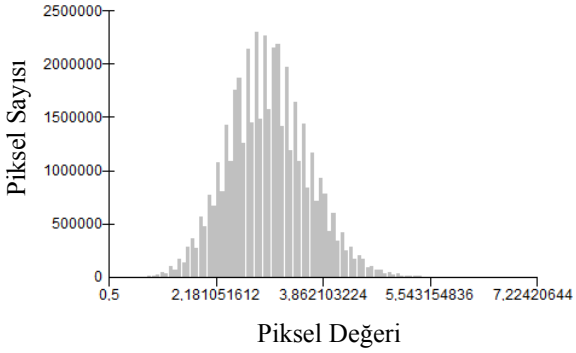
Faktörler	Öznitelikler	Toplam Alan Yüzdesi (a)	Heyelan Alanı Yüzdesi (b)	Frekans Oranı (b/a)
Litoloji	Jlh	7,49	5,78	0,77
	Jkr	1,49	3,35	2,26
	Gama2	16,19	4,32	0,27
	Kru1	17,83	21,77	1,22
	Alv	1,62	1,41	0,87
	Pl	0,98	1,06	1,08
	Kru5b	0,28	0,23	0,82
	Kru5a	5,23	6,46	1,24
	Kru3	16,69	26,19	1,57
	Ev	19,44	13,28	0,68
	J r	0,04	0,00	0,00
	Kru4	2,88	5,27	1,83
	Gam 2	0,11	0,00	0,00
	Gama3	0,08	0,00	0,00
	Kru2	9,42	10,83	1,15
	S	0,08	0,00	0,00
	K u5a	0,13	0,00	0,00
	Kk	0,03	0,00	0,00
Eğim	0-5	4,46	0,00	0,00
	5.-12	10,24	5,93	0,58
	12.-17	11,35	13,35	1,18
	17-22	13,86	16,02	1,16
	22-27	17,05	19,34	1,13
	27-32	18,01	19,41	1,08
	32-38	16,42	17,26	1,05
	38-86	8,61	8,69	1,01
Arazi Örtüsü	Yeşil Çay	1,43	1,82	1,27
	Fındık	12,49	20,30	1,63
	Geniş Yapraklılar	38,31	43,85	1,14
	Kozalaklılar	3,56	3,05	0,86
	Mera	18,63	8,87	0,48
	Taşlık Alanlar	4,77	1,11	0,23
	Su	0,03	0,00	0,00
	Tarım Alanları	20,06	20,74	1,03
	Yerleşim Yerleri	0,73	0,25	0,34
Topoğrafik Islaklık İndeksi	-4,49 - -2,55	16,46	17,73	1,08
	-2,55 - -1,51	26,50	27,04	1,02
	-1,51 - -0,62	24,88	25,10	1,01
	-0,62 - 0,26	16,74	16,56	0,99
	0,26 - 1,22	8,20	7,34	0,89
	1,22 - 2,43	3,94	3,42	0,87
	2,43 - 3,96	1,79	1,70	0,95
	3,96 - 5,90	0,90	0,74	0,83
	5,90 - 8,72	0,45	0,33	0,73
	8,72 - 16,05	0,13	0,04	0,28
Bakı	Düz	1,64	0,01	0,01
	Kuzey	7,42	5,60	0,75
	Kuzeydoğu	14,10	13,18	0,93
	Doğu	14,09	17,22	1,22
	Güneydoğu	10,42	9,89	0,95
	Güney	8,09	6,21	0,77
	Güneybatı	9,90	10,45	1,06
	Batı	13,74	17,56	1,28

Tablo 5.4. (devamı)

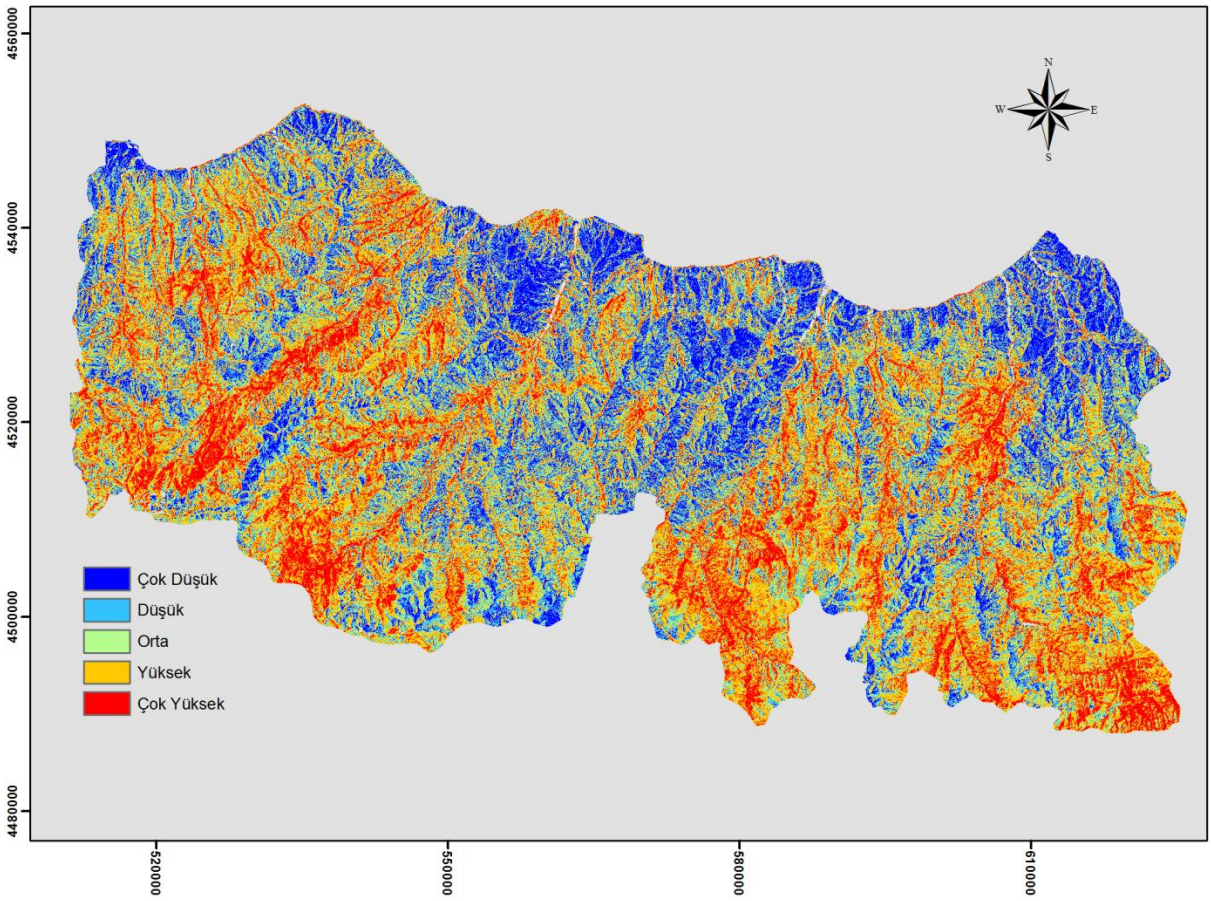
	Kuzeybatı	14,23	14,72	1,03
	Kuzey	6,37	5,16	0,81
Drenaj Yoğunluğu	1. Yoğunluk	4,95	0,33	0,07
	2. Yoğunluk	14,03	6,02	0,43
	3. Yoğunluk	16,71	12,80	0,77
	4. Yoğunluk	17,71	20,16	1,14
	5. Yoğunluk	15,98	25,46	1,59
	6. Yoğunluk	13,07	19,62	1,50
	7. Yoğunluk	10,32	11,06	1,07
	8. Yoğunluk	5,15	3,77	0,73
	9. Yoğunluk	1,83	0,78	0,42
	10. Yoğunluk	0,26	0,00	0,00
Yükseklik	0-500	23,15	27,40	1,18
	500-1000	21,54	32,08	1,49
	1000-1500	19,38	27,49	1,42
	1500-2000	17,64	8,13	0,46
	2000-2500	14,67	4,89	0,33
	2500-3000	3,24	0,00	0,00
	3000-3385	0,38	0,00	0,00
Eğim Uzunluğu	0-25	65,25	63,19	0,97
	25-50	25,98	27,69	1,07
	50-75	5,36	5,64	1,05
	75-100	1,43	1,53	1,07
	100-125	0,64	0,67	1,05
	125-150	0,37	0,36	0,96
	150-175	0,24	0,22	0,90
	175-200	0,17	0,15	0,91
	200-300	0,31	0,32	1,04
	300-6757	0,24	0,23	0,94
Yola Yakınlık	25	20,47	10,56	0,52
	50	20,30	24,73	1,22
	75	20,08	22,30	1,11
	100	19,78	21,56	1,09
	125	19,37	20,85	1,08

Frekans oranı analizinden sonra, üretilen heyelan duyarlılık haritasının bölümlenmesi işlemine geçilmiştir. Bölümleme sonucu elde edilecek duyarlılık haritasının çalışma bölgesinin durumunu iyi şekilde yansıtmasında elde edilen haritanın piksel dağılımı önemlidir. Frekans oranı metodu sonucu üretilen duyarlılık haritasının piksel dağılımını veren histogram görüntüsü Şekil 5.22'de verilmiştir. Bu dağılım sonucu bölümlemelerde istenilen yüzde değerlerinin verilmesine olanak sağlamıştır. Diğer taraftan piksel dağılımlarının histogram tabanındaki dağılım incelendiği takdirde, piksellerin normal dağılım gösterdiği görülmüştür. 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 %15,50, düşük %16,80, orta %15,88, yüksek %35,19 ve çok yüksek %16,62 şeklindedir. Sınıflandırma sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan

envanter haritası ile çakıştırılmıştır. Çakıştırma sonucu elde edilen veriler şu şekildedir; çok düşük heyelan duyarlılığı %12,71, düşük duyarlılık % 15,63, orta duyarlılık %14,95, yüksek %37,25 ve çok yüksek duyarlılık %19,47 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %56,72 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Çok düşük duyarlılık aralıklarında ise %12,71 duyarlılık derecesi tespit edilmiştir. Bu duyarlılık derecesi ile çok fazla alanın düşük alanlar içerisinde olduğu görülmektedir. Bu kadar yüksek bir değerin elde edilmesi yapılan analizin doğru sonuçlar vermediğini ayrıca göstermektedir. Kullanıcı tabanlı bölümleme sonucu üretilen heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.23'de verilmiştir



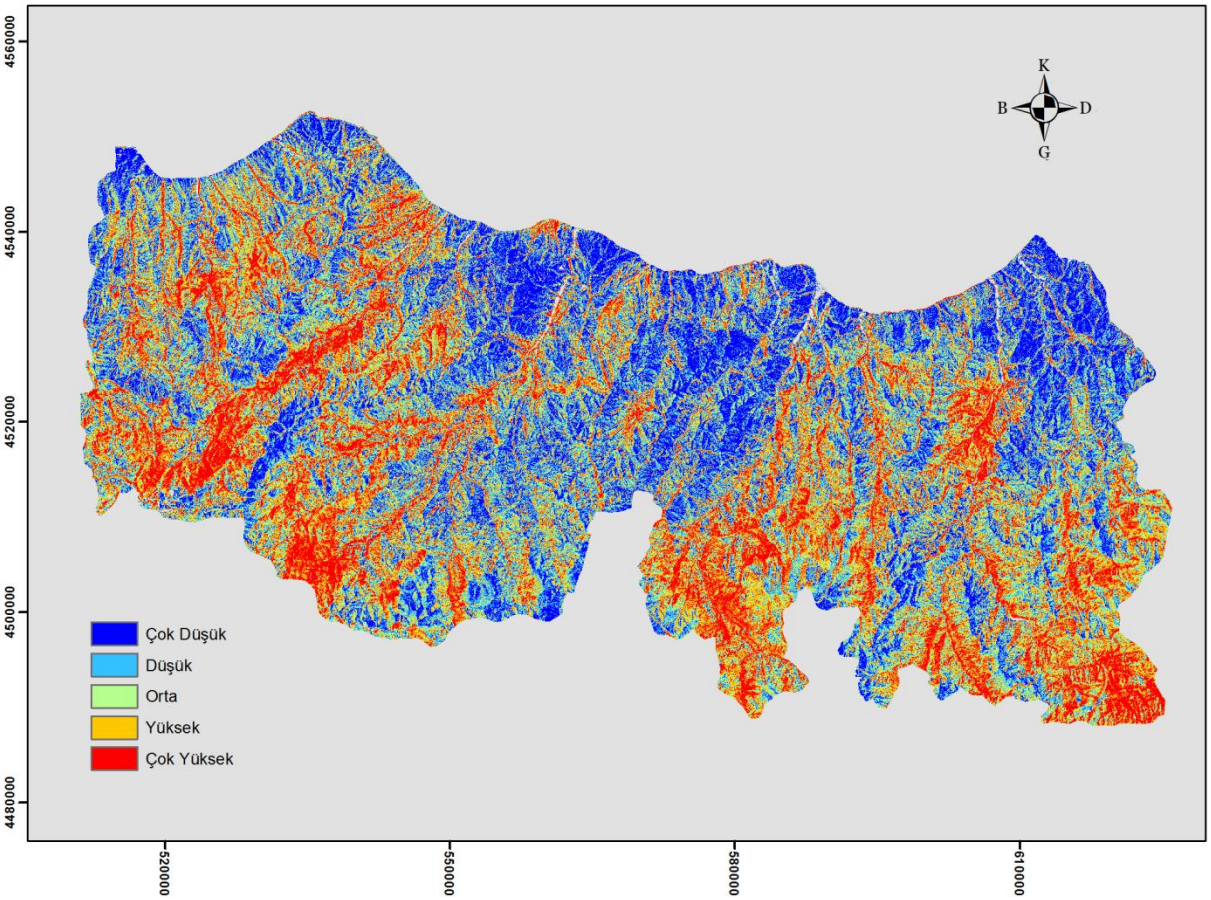
Şekil 5.22. Frekans oranı sonrası elde edilen heyelan duyarlılık haritasının histogramı.



Şekil 5.23. Frekans oranı sonrası kullanıcı tabanlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Diğer bir bölümleme tekniği olarak ”eşit dağılımlı bölümleme” yöntemi kullanılmıştır. Frekans oranı sonucu üretilen görüntü yaklaşık %20’lik aralıklarla 5 duyarlılık sınıfına bölünerek heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Yapılan bölümleme sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun tespiti amacıyla heyelan envanter haritası ile çakıştırılmış ve 5 duyarlılık sınıf değeri için frekans verileri elde edilmiştir. İşlem sonrası elde edilen veriler şu şekildedir; çok düşük heyelan duyarlılığı %16,47, düşük duyarlılık % 19,86, orta duyarlılık %20,00, yüksek %21,23 ve çok yüksek duyarlılık %22,44 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %43,67 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. “Yüksek” ve “Çok yüksek” duyarlılıklı alanların eşit dağılımlı sınıflandırma ve kullanıcı tabanlı sınıflandırma sonuç toplamları birbirleri ile karşılaştırıldığında kullanıcı tabanlı bölümleme tekniğinin eşit dağılımlı bölümleme yöntemine oranla daha iyi bir sınıflandırma sonucu elde ettiği görülmüştür. Ayrıca bölümleme sonuçlarında çok düşük heyelan duyarlılığı alanı

incelendiğinde %16,47 çıktığı görülmektir. Söz konusu sonuç kullanıcı tabanlı sınıflandırma sonucunda %3,71 kadar yüksek çıkmıştır. Bu duyarlılık derecesi incelendiğinde göstermektedir ki frekans oranı metodu bu çalışma için en kötü performansı vermiştir. Eşit dağılımlı sınıflandırma sonucu oluşan heyelan duyarlılık haritası Şekil 5.21'de verilmiştir.



5.24. Frekans oranı sonrası eşit dağılımlı bölümleme ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

6. SONUÇLAR

Coğrafi Bilgi Sistemleri sahip oldukları konumsal ve konumsal olmayan verileri bütünleştirme ve bu verilerin depolama, işleyebilme, analiz etme ve sorgulama kabiliyeti ile birçok alanda önemli kullanım alanlarına sahip olan bir bilgi teknolojisidir. CBS tabanlı karar destek sistemleri ile risk analizleri bu uygulamalardan birisidir. CBS tabanlı risk analiz uygulamaları bu konu ile ilgili kişi ve kurumlar tarafından yapılacak planlamalar için önemli bir altlık sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında 9 faktör için üretilen tematik haritalar kullanılarak Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Duyarlılık haritası üretiminde Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) metodu ile literatürde jeolog ve jeomorfolog araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan lojistik regresyon ve frekans oranı metotları kullanılmıştır. Bu metotlarla çalışma bölgesi için üretilen heyelan duyarlılık haritaları detaylı şekilde karşılaştırılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılacak faktörlerin seçimi ve bu faktörlerin birbirleriyle göreceli ağırlıklandırılması yapılan çalışmanın en kritik ayağını oluşturmaktadır. Bu nedenle heyelana duyarlı alanların tespiti için heyelan afetiyle doğrudan ilgili dokuz faktör (litoloji, eğim, arazi örtüsü, yükseklik, bakı, drenaj yoğunluğu, topoğrafik ıslaklık indeksi, eğim mesafesi ve yola olan uzaklık) dikkate alınmıştır. Heyelan duyarlılık haritası üretilmesiyle ilgili literatür araştırmalarının çoğunluğunda eğim ve litoloji katmanı kullanılmıştır. Bilimsel olarak heyelan olayının gerçekleşmesi için belli bir eğimin var olması gerektiği bir gerçektir. Diğer önemli bir faktör olan litolojinin ise yoğun yağışlar ardından heyelan olaylarının görülme olasılığını yükselten diğer bir değişle tetikleyen katmanlardan biridir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bu katmanlar haricinde belirlenecek diğer katmanlar ise elde edilecek haritanın doğruluğunu artırmasında katkı sağlayıcı niteliktedir. Bu sebeple, çalışma bölgesi için Landsat ETM+'dan üretilmiş arazi örtüsü haritası, bölgeye ait 1/25.000'lik eş yükseklik haritalarından üretilen SYM kullanılarak oluşturulan eğim, bakı, yükseklik, drenaj yoğunluğu ve eğim mesafesi haritaları, ayrıca yol ağı haritası kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesinden sonra her bir metot için üretilen risk haritaları beş farklı duyarlılık seviyesinde (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) sınıflandırılmıştır. Yapılan tez çalışmasında elde edilen tüm risk haritaları kullanıcı tabanlı bölümleme ve eşit dağılımlı bölümleme teknikleri ile duyarlılık alanlarına bölünmüştür. Kullanıcı tabanlı bölümleme yöntemi ile çalışma bölgesinin mevcut koşulları göz önünde tutularak ve gerçek duruma yakın risk aralıklarında yüzdesel olarak dağılım imkânı vermiştir. Üretilen haritaların birbirleri ile karşılaştırılması amacıyla eşit piksel dağılımlı (quantile) bölümleme yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ÇKKA ile elde edilen duyarlılık haritasının sahip olduğu piksel dağılımı diğer iki metoda oranla daha iyi bir dağılım göstermiştir. Bu nedenle ÇKKA metodunun hem kullanıcı tabanlı hem de eşit piksel dağılımı ile yapılan bölümleme sonucu elde edilen risk haritalarının görsel ve sayısal analizlerde daha tutarlı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Yorumlanması en zor piksel dağılımına sahip tematik duyarlılık harita, lojistik regresyon sonucu elde edilmiştir. Bu duyarlılık haritasının sahip olduğu piksel histogramının çok dar alanlarda yığıldığı, tüm histogram içerisinde homojen dağılmadığı ve daha kesin sınırlara sahip olduğu görülmüştür. Frekans oranı metodu sonucu oluşan piksel histogramı tablosu yorumlanması kolay fakat dağılım olarak homojenlikten uzak ve aynı gruba ait piksellerin farklı alanlar üzerinde dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacını gerçekleştirmek üzere uzman görüşüne dayalı bir yöntem olan ÇKKA yönteminin Trabzon ili için heyelan duyarlılık haritası üretimi ve üretilen haritanın performans ile doğruluğunun kendi içerisinde ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. ÇKKA tabanlı duyarlılık haritası üretiminde analitik hiyerarşi yönteminden faydalanılarak kriterler görece önemliliklerine göre karşılaştırılmış ve kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Kriterlerin birbirleri ile karşılaştırılmasında ikili karşılaştırma yönteminden kullanılmıştır. Bu metotta kriterleri karşılaştırırken verilen puanlar için literatürden ve uzman kişilerden destek alınmıştır. İkili karşılaştırma soncu elde edilen matrise göre en yüksek ağırlığa sahip kriter litolojidir. Litolojiden sonra sırası ile kriter ağırlıkları eğim, arazi örtüsü, topoğrafik ıslaklık indeksi, bakı, eğim uzunluğu, drenaj yoğunluğu, yükseklik ve yola olan uzaklık çıkmıştır.

Tablo 6.1’de üç farklı metot kullanılarak üretilen bölümlendirilmiş heyelan duyarlılık haritalarının her bir duyarlılık sınıfını için elde edilen doğruluklar verilmiştir. Tabloda verilen

değerler incelendiğinde; ÇKKA ile elde edilen heyelan duyarlılık haritasının KTB sonucu %71,12 ve EDB sonucu ise %59,58 doğruluk verdiği görülmektedir. İki sınıflandırma metodu elde edilen doğruluklar arasında %11,54 değerinde fark bulunmaktadır. Bu farkın yüksek olması ÇKKA metodu için EDB ile yapılan sınıflandırmanın doğru bir seçim olmadığını göstermiştir. EDB metodunun görüntüdeki tüm pikselleri eşit sayıda piksel içerek şekilde beş sınıfa ayırmaktadır. Ancak gerçek hayatta çalışma bölgesi için böyle bir durum olası değildir. Bu nedenle, KTB sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının gerçeğe daha yakın bir sınıflandırma olduğu ve daha yüksek doğruluk verdiği görülmektedir. Böylelikle EDB sonucu elde edilen duyarlılık haritası ve verilerinin gerçek durumdan uzak olduğu da gözlenmiştir.

Tablo 6.1. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan metotların doğruluk karşılaştırmaları.

Duyarlılık Sınıfları	**ÇKKA**		**Lojistik Regresyon**		**Frekans Oranı**	
	KTB	EDB	KTB	EDB	KTB	EDB
Çok Düşük	2,98	6,09	2,77	2,77	12,71	16,47
Düşük	12,50	16,94	9,55	9,56	15,63	19,86
Orta	13,41	17,39	20,84	20,85	14,95	20,00
Yüksek	38,23	26,69	47,20	30,96	37,25	21,23
Çok Yüksek	32,89	32,89	19,62	35,86	19,47	22,44
TOPLAM (Yüksek ve Çok Yüksek)	71,12	59,58	66,82	66,55	56,72	43,67

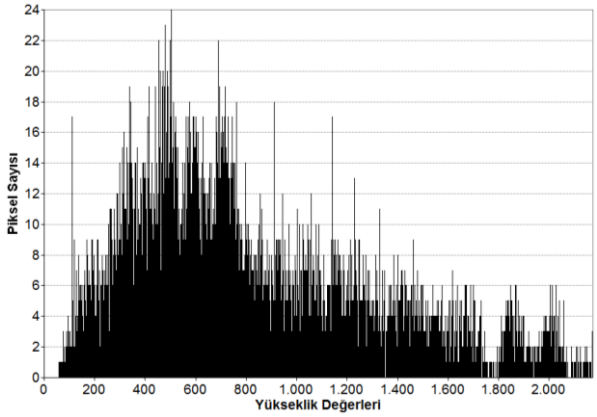
KTB: Kullanıcı Tabanlı Bölümleme

EDB: Eşit Dağılımlı Bölümleme

Lojistik regresyon analizi, bağımlı bir değişken ile bağımsız birden fazla değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi esasına dayanmaktadır. Yapılan çalışmada heyelan envanter haritasındaki mevcut heyelan alanları bağımlı değişkenleri temsil ederken, heyelan olayına sebep olan faktörler ise bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Lojistik regresyon ile üretilen haritada %10 örneklem alanı kullanılarak, 0 ve 1 aralığında heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Regresyon analizi sonrası pozitif (litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı, yükseklik, topoğrafik ıslaklık indeksi ve drenaj yoğunluğu) ve negatif (yola olan uzaklık

ve eğim uzunluğu) regresyon katsayıları elde edilmiştir. Negatif ilişkiye sahip faktörlerin heyelan duyarlılığı ile ters orantılı bir ilişkiyi, pozitif katsayılı faktörler ise doğru orantılı bir ilişkiyi temsil etmektedir. Ağırlık katsayıları incelendiğinde; etki derecelerine göre faktörlerin litoloji, yükseklik, eğim, topoğrafik ıslaklık indeksi, bakı, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, yola olan uzaklık ve eğim uzunluğu katmanları olarak sıralandığı görülmektedir.

Sonuç olarak, en yüksek katsayı değerine sahip eğim faktörünün heyelan duyarlılık analizine etkisinin en fazla, en düşük katsayı değerine sahip eğim uzunluğu katmanının ise en az olduğu ifade edilebilir. Çalışma bölgesinde oluşmuş heyelanlar için iki ana faktörün heyelan oluşturma etkisi diğerlerine göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Arazinin sahip olduğu litolojik özellikler ve arazinin yükseklik değerleri heyelan olasılığını artırdığı görülmektedir. Ancak Trabzon ilinde heyelanlar dikkate alındığında yüksek kısımlarda değil ağırlıklı olarak 300-800 m yükseklikler arasında olduğu mevcut heyelanlardan tespit edilmiştir (Şekil 6.1).



6.1. Çalışma bölgesindeki heyelan alanlarının yükseklik değerleri.

Lojistik regresyon sonucu elde edilen duyarlılık haritası KTB ve EDB metodları ile duyarlılık sınıflarına ayrılmıştır. Tablo 6.1'de görüldüğü üzere KTB %66,82 ve EDB ise %66,55 sınıf doğruluğu elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar lojistik regresyon ile elde edilen duyarlılık haritasının KTB için ÇKKA'den kötü fakat EDB sonuçlarının ÇKKA'ya oranla daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Lojistik regresyon sonucunun histogram sonucu incelendiğinde piksel değerlerinin yüksek duyarlılık alanında yığılması nedeniyle EDB ile elde edilen duyarlılık haritasının ÇKKA sonucuna oranla daha doğru sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, lojistik regresyon sonucu elde edilen heyelan duyarlılık haritasının her ne kadar EDB için iyi sonuç verdiği görülse de çalışma bölgesi için gerçek durumu

yansıttığı söylenemez. Bu durum ayrıca elde edilen tematik haritanın görsel yorumlanmasıyla da ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, bu metotla elde edilen tematik harita doğrulukları her iki bölümleme metodu içinde frekans oranı metodundan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Frekans oranı metodu ile belirlenen bağımlı ve bağısız faktörler ile her bir heyelan sınıfına ait frekans oranları yani olasılık değerleri belirlenmiştir. Faktör haritalarının heyelan olasılık verilerinin belirlenmesinden sonra her bir faktör harita normalleştirilmiş ve sonra tüm haritalar toplanarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Frekans oranı ile elde edilen heyelan duyarlılık haritasında çok yüksek ve yüksek riskli alanlar, genellikle Trabzon ilinin güneydoğu ve güneybatı kesimlerinde çıkmıştır. Elde edilen bu sonuç diğer yöntemler sonrası üretilen haritalar daha farklı bir sonuç niteliğindedir. Tablo 6.1'de verilen doğruluk analizi incelendiğinde frekans oranı metodunun KTB için %56,72 ve EDB için %43,67 sonuçları ürettiği görülmüştür. Yapılan sınıflandırma sonuçları karşılaştırıldığında, frekans oranı metodunun her iki sınıflandırma sonucundan daha düşük doğruluk değerleri verdiği görülmüştür.

Afet öncesi planlamalar için altlık olarak kullanılan risk haritalarının doğru ve güvenilir bir şekilde üretilmesi, bu haritalardan faydalanacak karar vericiler ve ilgililer için çok büyük önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan Çok Kriterli Karar Analizi metodu son yıllarda risk analizleri dâhil birçok konuda yapılan çalışmalarda kullanılmış etkin bir yöntemdir. Lojistik regresyon ve frekans oranı metotları heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde literatürde kabul görmüş diğer önemli metotlardandır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan duyarlılık haritası çalışmalarında elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; ÇKKA ile üretilen duyarlılık haritası lojistik regresyon haritasından %4,3 ve frekans oranı ile elde edilen haritadan %14,4 daha yüksek doğruluktadır. Bu sonuçlar, çalışma alanı göz önüne alındığında ÇKKA metodunun lojistik regresyon haritasına göre yaklaşık 227km^2 ve frekans oranı metoduna göre 636km^2 daha fazla alanı doğru sınıflandırıldığı yani tanımladığı görülmüştür. Frekans oranı metodu ile elde edilen heyelan duyarlılık haritasının sınıflandırma sonrası doğruluk sonuçları diğer yöntemlere oranla çok daha düşük çıkmıştır. Ayrıca elde edilen duyarlılık haritasının istenilen duyarlılık aralıklarında sonuçlar vermediği ve diğer sonuç haritalara göre yanlış sahalarda heyelan riskli alanları işaret ettiği görülmüştür. Sonuç olarak; yapılan bu çalışmada kullanılan veri setleri için CBS tabanlı ÇKKA yönteminin risk haritalarının hazırlanmasında etkin ve başarılı bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Akgun, A. and Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, 51, 1377-1387.
2. Akgun, A. and Turk, N., 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. Environmental Earth Sciences, 61, 595-611.
3. Akgün, A., 2007. Ayvalık ve yakın çevresinin erozyon ve heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
4. Aleotti, P. and Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives, Bulletin of Engineering Geology and The Environment, 58, 21–44.
5. Anavberokhai, I.O., 2008. Introducing GIS and Multi-criteria analysis in road path planning process in Nigeria A case study of Lokoja, Kogi State. Ph.D. Thesis, Univesity Of Gavle.
6. Atkinson, P.M. and Massari, R., 1998. Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Appennines, Italy. Computers and Geoscience, 24, 373-385.
7. Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides, 1, 73-81.
8. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. and 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.
9. Bai, S.B., Lu, G.N., Wang, J.A., Zhou, P.G. and Ding, L.A., 2011. GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China. Environmental Earth Sciences, 62, 139-149.
10. Bayazıt, M., 1982. Hidroloji. İTÜ kütüphanesi, No: 1229, Teknik Üniversite matbaası, İstanbul.
11. Bayrak T., Ulukavak M. and Açar S., 2010. Gümüşhane heyelanları. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 1-12.

12. Baysal, G. ve Tecim, V., 2006. Katı atık depolama sahası uygunluk analizinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar yöntemleri ile uygulaması. 4.Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildiriler Kitabı, 151-158.
13. Biotto, G., Silvestri, S., Gobbo, L., Furlan, E., Valenti, S. and Rosselli, R., 2009. GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills. International Journal of Geographical Information Science, 23, 1233-1244.
14. Boroushaki, 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.
15. Brabb, E.E., Pompeyan, E.H. and Bonilla, M.G., 1972. Landslide susceptibility in San Mateo County, California, US. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-360, scale 1:62,500.
16. Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating. Earth Surface Processes and Landforms, 16, 427-445.
17. Castellanos, E. and Van Westen, C. J., 2003. Landslide hazard assessment using the heuristic models. ITC, Enschede, The Netherland.
18. Ceylan, A., 2010. Sel risk azaltımında erken uyarı sistemlerinin önemi ve devlet Meteoroloji İşleri Genel müdürlüğü'nün çalışmaları. Sel Risk Yönetimi Konferansı, Diyarbakır, Türkiye.
19. Chakhar, S. and Mousseau, V., 2007. Spatial multicriteria decisionmaking. In Shekhar, S. and Xiong, H. (Eds.), Encyclopedia of Geographical Information Science. Springer.
20. Chowdhury, R.N., 1984. Recent developments in landslide studies: probabilistic methods. In Proceedings of 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 209-228.
21. Daellenbach, H.G., George, J.A. and McNickle, D.C., 1983. Introduction to Operations Research Techniques. Allyn & Bacon, Boston.
22. Dai, F.C. and Lee, C.F., 2002. Landslide characteristics and, slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 42, 213-228.
23. Drobne S. and Lisec A., 2009. Multi-attribute decision analysis in GIS: Weighted linear combination and ordered weighted averaging. Informatica, 33, 459–474.

24. Eastman J.R., 1997. Idrisi for Windows, Version 2.0: Tutorial Exercises, Graduate School of Geography – Clark University, Worcester, MA.
25. Eastman J.R., 2003. IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing, Clark University, Worcester, MA.
26. Eastman J.R., Jiang, H. and Toledano, J., 1998. Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. In Multi-criteria analysis for land-use management, Beinat, E. and Nijkamp, P., (Eds.), Kluwer Academic, 9, 227-251, Netherlands.
27. Eastman, J.R., 2004. IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, USA.
28. EM-DAT, 2004. The OFDA/CRED International Disaster Database", www.em-dat.net, Université Catholique de Louvain, Brussels.
29. Ergünay, O., 2007. Türkiye'nin Afet Profili. TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, 42-45.
30. Fazal, S., 2008. GIS Basics. New Age International, New Delhi.
31. Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y. and Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. Engineering Geology, 81, 65-83.
32. Gómez, H. and Kavzoglu, T., 2005. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. Engineering Geology, 78, 11-27.
33. Gündoğdu, K.S., 2003. Sayısal yükseklik modellerinin arazi boy kesitlerinin çıkarılmasında kullanımı. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 17, 149–157.
34. Hong, I.B. and Vogel D.R., 1991. Data and model management in ageneralized MCDM-DSS. Decision Science, 22, 1-25.
35. Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981. Multiple attribute decision making: Lecture notes in economics and mathematical systems, 1st Edn. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
36. Jankowski, P., 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. International Journal of Geographical Information Systems, 251–273.
37. Jiang, H. and Eastman, J.R., 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS, International Journal of Geographical Information Systems,. 14, 173–184.

38. Lee, E. M. and Jones, D.K.C., 2004. Landslide Risk Assessment. Thomas Telford, London.
39. Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. International Journal of RemoteSensing, 26, 1477-1491.
40. Lee, S., Ryu, J.H., Min, K. and Won J.S., 2003. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. Earth Surface Processes and Landforms, 28,1361–1376.
41. Lee, S., Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. Environmental Geology, 50, 847–855.
42. Lotfi, V., Stewart.T.J., and Zionts, S., 1992. An aspiration-level interactive model for multiple criteria decision making. Computer Operations Research, 19, 671-681.
43. Magliulo, P., Lisio, A.D., and Russo, F., 2009. Comparison of GIS-based methodologies for the landslide susceptibility assessment. In Proceedings of GeoInformatica. 253-265.
44. Makropoulos, C.K., Butler, D., 2006. Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making. Environmental Modelling & Software, 21, 69-84.
45. Malczewski J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, Toronto.
46. Malczewski, j., 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8, 270-268.
47. Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D. And Healy, M.A., 2003. GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): Case study of developing watershed management strategies. Environment Planning, 35, 1769–1784.
48. Mckenna, C. K., 1980. Quantitative methods for public decision making. McGraw-Hill, New York.
49. Meyer, V., Scheuer, S. and Haase, D., 2007. GIS-based Multicriteria analysis as decision support in flood risk management. Floodsite-Report, T10-07-07.

50. Nguyen, V.V. and Chowdhury, R.N., 1985. Risk analysis with correlated variables. Geotechnique, 35, 47-59.
51. Nyerges, T. L. and Jankowski, P., 2010. Regional and Urban GIS. The Guilford Press, New York.
52. Orman Genel Müdürlüğü, 2003. 2003 Yılı Değerlendirme Raporu. OGM Koruma Dairesi, Ankara.
53. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006. Trabzon İl Çevre Durum Raporu, Trabzon Valiliği, Trabzon.
54. Özdemir, H., 2007. Havran çayı havzasinin (Balikesir) CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi. Doktoro Tezi, İstanbu Üniversitesi.
55. Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, 35-50.
56. Petter, P. 1992. GIS and remote sensing for soil erosion studies in Semi-arid environments. PhD Thesis, University of Lund, Sweden.
57. Phua, M. H. and Minowa, M., 2005. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. Landscape and Urban Planning, 71, 207-222.
58. Pradhan, B. and Lee, S., 2010. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. Environmental Earth Sciences, 60, 5, 1037–1054.
59. Prasad, V. and Badarinath, K.V.S., 2010. Fire risk evaluation using Multi-criteria analysis - A Case study. Environmental Monitoring and Assessment. Environmental Monitoring and Assessment, 166, 223-239.
60. Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar C. ve Ekercin, S., 2009. CBS Ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği. Türkiye Ulusal Fotogrametri Ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, Ankara, 2009.
61. Rosenthal, R.E., 1985. Concepts, theory and techniques: Principals of multiobjective optimization. Decision Sciences, 16, 133–152.
62. Saaty ,T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15, 234–281.
63. Shafer, G., 1976. A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, Princeton, NJ.

64. Simon, H.A., 1960. The New Science of Management Decision. Harper and Row, New York.
65. Star, J. and Estes, J., 1990. Geographic Information Systems: An Introduction. Prentice Hall, New Jersey, USA.
66. Starr, M.K. and Zeleny, M., 1977. MCDM: state and future of the arts. In: M.K. Starr and M. Zeleny (Eds.), Multiple criteria decision making. Amsterdam: North−Holland, 5−29.
67. URL-1 http://www.tuik.gov.tr (11.08.2011).
68. URL-2 http://www.trabzon.gov.tr/ (18.03.2011).
69. URL-3 http://www2.cedgm.gov.tr/ (10.01.2012).
70. Valente, R.D.A., Vettorazzi, C.A., 2008. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. Forest Ecology and Management, 256, 1408-1417.
71. Van Westen, C.J., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. ITC Publication, International Institute for Aerospace and Earth Resources Survey, The Netherlands.
72. Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J. and Soeters, R., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologısche Rundschau, 86, 404-414.
73. Van Westen, C.J., Van Ash, T.W.J. and Soetoers, R., 2005. Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult? Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65, 167-184.
74. Vivas, L., 1992. Los Andes Venezolanos. Academia Nacional de la Historia, Caracas.
75. Voogd, H., 1983. Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion, London.
76. Wahono, B.F.D., 2010. Applications of statistical and heuristic methods for landslide susceptibility assessments. PhD. Thesis, Central Java Province, Indonesia.
77. Wang, W.D., Xie, C.M. and Xiang, G.D., 2009. Landslides susceptibility mapping based on geographical information system, GuiZhou, south-west China. Environmental Geology, 58, 33-43.

78. Wischmeier, W. and Smith, D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. a guide to conservation planning, U.S. Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC.
79. Yager, R.R. and Kelman, A., 1999. An extension of the Analytical Hierarchy Process using OWA operators, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. Applications in Engineering and Technology, 7 , 401-417.
80. Yager, R.R., 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 18, 183–190.
81. Yager, R.R., 1996. Quantifier guided aggregation using OWA operators. International Journal of Intelligent Systems, 11, 49–73.
82. Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. CATENA, 72, 1-12.
83. Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C. and Yomralioglu, T.,2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. CATENA, 85, 3, 274-287.
84. Yanalak, M., 2002. Sayısal arazi modellerinde yükseklik enterpolasyonu. Harita Dergisi, 128, 44–58.
85. Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C., 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China. Geomorphology, 101, 572-582.
86. Yeon, Y.K., Han, J.G. and Ryu, K.H., 2010. Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree. Engineering Geology, 116, 274-283.
87. Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). Computers and Geosciences, 35, 1125–1138.
88. Yilmaz, I., 2010. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine. Environmental Earth Sciences, 61 , 821-836.
89. Yomralıoğlu, T., 2002. Coğrafi Bilgi Sistemleri. Seçil Ofset, İstanbul.

90. Yüksel, N., 2007. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında istatistiksel yöntemlerin ve yapay sinir ağlarının kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
91. Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information Control, 8, 338-353.
92. Zadeh, L.A., 1983. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computers and Mathematics with Applications, 9, 149–184.
93. Zahedi F., 1986. The analytic hierarchy process - A survey of the method and its applications. Interfaces, 16, 96-108.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Erzincan Refahiye ili Cengerli köyü doğumludur. İlköğretimini Ankara Abidinpaşa İlköğretim Okulu, ortaokul öğrenimini Ankara 29 Ekim Ortaokulunda ve lise öğrenimini ise Ankara Kurtuluş lisesi yabancı dil ağırlıklı bölümünde tamamlamıştır.

2008 yıllında Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2008-2009 yılları arasında çeşitli inşaat şirketlerinde harita mühendisi olarak çalışmıştır.

2009 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başlamış ve aynı üniversitede 2010 yılında açılan Kartoğrafya Anabilim dalı Araştırma Görevlisi kadrosunu kazanmıştır. Halen araştırma görevlisi olarak Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde görevine devam etmektedir.

EKLER DİZİNİ

Ek 1. Trabzon İlinin Stratigrafik Dikme Kesiti (Trabzon İlinin Genel Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, 2006).

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	TERSİYER	KUMA		Aly	>	Aly	Aly: Çakıl, Kum, Kil
		PLİYOSEN	BEŞİRLİ	PLC	150	PIÇ	PIÇ: Konglomera
				PLB	75	PIB	PIB: Kumtaşı, Kil taşı, Konglomera, Bazalt, Aglomera
		EOSEN	KABAKÖY	Ev	800		γ_3: Kaçkar Granodiyoriti II. Ev: Andezit Bazalt lav ve piroklastlar (Kumtaşı, Kumlu Kireçtaşı, Tüf)
MESOZOYİK	JÜRA KRETASE	ÜST KRETASE - PALEOSEN	Kaçkar Granodiyoniti		Kru 5a / Kru 5b: 250 / 200		γ_2: Kaçkar Granodiyoriti II. Krü 5a: Kumtaşı, Mam. Şeyl, Kıllı Kireç taşı, Tüf Krü 5b: Resifat Kireçtaşı, Kumlu Kireçtaşı
			ÇAYIRBAĞ		Kru 4b: 200	Krü 4b	Krü 4b: Riyolit, Riyodasitik lav ve piroklastları
			ÇAĞLAYAN	MESCİTLİ	Kru3: 800		Krü 3: Bazalt, Andezit lav, piroklastları (Çamurtaşı, kumtaşı, Tüf)
			KIZILKAYA		Kru2: 500		Krü 2: Riyodasit, Dasitik lav ve piroklastları
			ÇATAK		Kru1: 1000		Kru 1:Bazalt Andezit lav ve piroklastları (Kumtaşı, Kıllı Kireç taşı, Silttaşı)
		ÜST JÜRA – ALT	BERDİGA	JKR	200	JKR	JKr: Resifal Kireçtaşı, Kumlı Kireç taşı, Çörtlü Kireçtaşı (Kuzey Zonu)
		LİYAS-DOGGER	HAMUR-KESEN	JLH	500		Jlh: Bazalt Andezit, Dasitik lav ve piroklastları (Kırmızı renkli Kumtaşı, Kireçtaşı)

Ek 2. Trabzon ilinin stratigrafik dikme kesitindeki litolojik birimlerin açıklamaları (Trabzon İlinin Genel Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, 2006).

1. MESOZOYİK DÖNEM

1.1. Liyas

1.1.1. Hamurkesen Formasyonu (Jlh): AĞAR (1977) tarafından adlandırılan ve Bayburt-Demirözü yöresinde Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları altında izlenen volkano-tortul karakterli bir birimdir.

Formasyona ait birimler genelde Maçka-Meryemana, Maçka-Hamsiköy, Yomra-Maden, Dumanlı Köyü (Santa-Gümüşhane), Çaykara İlçesi güneyinde Uzungöl (Şerah)-Çakıroğlu Yayla-Varda Yayla yörelerinde izlenir. Birim genellikle mor ve yeşilimsi gri renkli bazalt lav ve piroklastlarından oluşur. Bazalt lavları genellikle bol olivinli olup, entergranüler ve mikrolitik pofirik dokuya sahiptir. Lav ve piroklastlar arasında kalınlığı 3-5m kadar olan kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşları ve kumtaşları izlenir.

Bu formasyon Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları (Berdiga formasyonu) ile uyumlu olarak örtülür. Formasyonun görünür kalınlığı 500m, yaşı kırmızı-bordo renkli pelajik kireçtaşlarında saptanan fosil türlerine göre Liyas olarak belirlenmiştir.

1.2. Üst Jura-Alt Kretase

1.2.1. Berdiga Formasyonu (Jkr): İlk defa PELİN (1977) tarafından tanımlanmıştır. Formasyona ait yüzeylenmeler Kadırga yaylası, Maçka-Hamsiköy, Maçka-Meryemana, Maçka-Şimşirli, Arsin-Çatak, Çaykara-Uzungöl, Çaykara-Günbuldu yörelerinde izlenir. Birim genellikle gri renkli ve tabakalı killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşur. Hamurkesen Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen bu Formasyonun kalınlığı 100-200m arasında değişir. Formasyonun yaşı Malm-Alt Kretase-Senomaniyen olarak belirlenmiştir.

1.3. Üst Kretase

1.3.1. Çatak Formasyonu (Krül): Doğu Pontidlerin kuzey zonunda Üst Kretase dönemi başlarında oluşan toleyitik ve kalko-alkalen nitelikli volkanitler derin denizel bir ortamda yayılarak tortullarla birlikte volkano-tortul bir istif meydana getirmişlerdir. Doğu Karadeniz Bölgesi kuzey zonunda çok geniş alanlarda yüzeylenen bu oluşuklara ait en güzel kesit Trabzon ili, Maçka ilçesi güneydoğusunda, Değirmendere Vadisi boyunca Çatak mevkiinde izlenir. Bu nedenle Üst Kretase döneminin bazik volkanik karakterli ilk oluşukları GÜVEN (1993) tarafından Çatak Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Bu formasyon bazalt-andezit karakterli lav ve piroklastların kumtaşı, kiltaşı, silttaşı ve marn tabakaları ile ardalanmasından oluşur. Bazaltlarda iyi gelişmiş yastık lav yapıları görülür. İstif içinde genellikle gri-yeşil renk egemendir. Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen formasyonun kalınlığı 750-1000m arasında değişir. Yaşı Üst Kretase (Turoniyen-Koniasiyen - Santoniyen) olarak belirlenmiştir.

1.3.2. Kızılkaya Formasyonu (Krü2): Giresu İli Espiye İlçesi güneyinde bazik karakterli Çatak Formasyonunun üzerinde çok geniş yayılımlı olarak bulunan dasitriyodasit lav ve piroklastları Kızılkaya Mevkiinde tipik olarak görülmüş ve GÜVEN(1993) tarafından bu isimle adlandırılmıştır.

Kızılkaya Formasyonuna ait yüzeylenmeler; Maçka kuzeyi, Yomra-Arsin güneyi, Sürmene-Çamburnu yöresi, Dernekpazarı, Çaykara ve Dağeteği yörelerinde izlenir. Formasyon bazik volkano-tortul karakterli Çatak Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Gri-beyaz ve gri-sarımsı renkli dasit-riyodasit karakterli lav ve piroklastlarından oluşur. Lavlarda genellikle prizmatik kolon yapılar izlenir. Tabakamsı akıntı yapıları da olağandır. Formasyonun üst kısmına doğru tüf ve tüf-breş özelliği gösteren kısımlar izlenir. Özellikle bu bölümlerde hidrotermal ayrışmalar yaygındır. Bu ayrışma türleri: silisleşme, serizitleşme, killeşme, limonitleşme ve kloritleşme şeklinde gelişmiştir.

Kalınlığı 200-500m arasında değişen formasyonun içinde nadir olarak 1-10m arasında değişen kırmızı bordo renkli çamurtaşları izlenir. Bu çamurtaşları birimin tavanına yakın tüf ve tüf breşler içinde yer alır. Yomra-Kayabaşı (Kanköy) sahasında sondaj çalışmalarında

rastlanan mikrofosiller Senoniyen yaşı vermiştir (YILMAZ-1988). Diğer taraftan Kızılkaya Formasyonu Kampaniyen-Maestrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile üstten uyumlu olarak örtülmektedir. Altta ise, Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu izlenir. Bu sebeple Kızılkaya Formasyonun yaşı, Üst Kretase (Santoniyen-Kampaniyen-Maestrichtiyen) olarak belirlenmiştir.

1.3.3. Çağlayan Formasyonu (Krü3): Bu formasyon volkano-tortul karakterli bir istif olup, GÜVEN (1993) tarafından adlandırılmıştır. Andezit-bazalt karakterli lav ve piroklastları ile genellikle kırmızı-bordo renkli biyomikrit, kumtaşı ve marn ara tabakalarından oluşur. Formasyon içinde iyi gelişmiş yastık lavlı yapılar izlenir. Lavların soğuması sırasında oluşan gaz boşlukları genellikle kalsit, klorit ve zeolit gibi minerallerle dolgulanmıştır. Gri-yeşil ve gri-morumsu bir renk tonunun egemen olduğu formasyonun kalınlığı yaklaşık 800m, yaşı ise Üst Kretase (Kampaniyen-Maastrichtiyen) olarak belirlenmiştir. Çağlayan Formasyonu; Çayırbağı, Düzköy, Derecik, Esiroğlu, Yomra-Arsin-Araklı güneyi, Köprübaşı ve Of İlçesi yörelerinde yüzeylenir.

1.3.4. Çayırbağı Formasyonu (Krü4): Bu formasyon Tonya ilçesinin güneyinde Çağlayan formasyonunun üzerinde uyumlu olarak bulunan riyolit-riyodasit lav ve piroklastlarından oluşur. Çayırbağı buçağında en iyi şekilde yüzeylenen bu asit volkanitler GÜVEN (1993) tarafından isimlendirilmiştir.

Bu birimde vilkanojenik dom yapıları iyi gelişmiştir. Lavlarda prizmatik kolonlu ve akışlı (flüvdal) yapılar izlenir. Formasyon, Çayırbağı dışında Yomra-Kayabaşı-Kömürcü, Arsin-Yolüstü-Elmaalan ve Sürmene-Çamburnu doğusu ile Araklı güneybatısında ve Yanbolu Dere Vadisinde yüzeylenir.

Yeşilimsi gri, pembemsi ve morumsu-gri renk tonlarında izlenen formasyonun tahmini kalınlığı 100-200m arasındadır. Çayırbağı formasyonu içinde fosil içerebilecek sedimanter aratabaka bulunmadığı için, formasyon yaşı göreceli olarak, birim üzerine gelen Bakırköy Formasyonu yaşıyla aynı kabul edilerek Üst Kretase (Kampaniyen - Maastrichen) olarak saptanmıştır.

1.3.5. Bakırköy Formasyonu (Krü5a): Doğu Pontid kuzey zonunda, Üst Kretase döneminde asit ve bazik volkanik aktivitenin faaliyetlerinin tamamlamalarından sonra sığ ve derin denizel havzalarda türbiditik veya resifal çökeller oluşmuştur. Türbiditik karakterli olan bu çökeller Doğu Pontid kuzey zonunda Artvin İli kuzeyinde Bakırköy yöresinde en iyi yüzeylenme gösterdiğinden GÜVEN (1993) tarafından Bakırköy ismiyle adlandırılmıştır.

Bakırköy Formasyonu; Polut Dağı, Hayrat civarı, Aktoprak, Araklı ve Yomra güneyi, trabzon Merkez Hacımehmet-Uğurlu ve Gürbulak yöreleri ile Tonya yörelerinde yüzeylenir. Tonya yöresinde Ağıllar Formasyonuyla yanal geçişlidir. Birim çoğunlukla gri renkli marn, gri-beyaz renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve az oranda kumtaşlarından oluşmuştur. İnce ve orta kalınlıkta tabakalı yapı izlenir. Kesin olmayan kalınlığı 100-250m arasındadır. Formasyonun yaşı Üst Kretase (Maestrichtiyen-Paleosen) olarak saptanmıştır.

1.3.6. Ağıllar Formasyonu (Krü5b): Birim Çalköy ve Düzköy civarında izlenir. Benzer litoloji ve stratifrafik konuma sahip Bakırköy Formasyonu ile korole edilerek bu isim verilmiştir. Tonya İlçesi güneyinde bu iki birim yanal geçişli olarak izlenir. Birim, gri-beyaz renkli, kumlu ve resifal kireçtaşlarından oluşur. Fomasyonun kalınlığı yaklaşık 200 m, yaşı ise Üst Kretase (Meastrichtiyen-Paloesen geçişli) olarak belirlenmiştir.

1.3.7. Mescitli Formasyonu (Krüf): Bu formasyon Doğu Pontid güney zonunda Üst Kretase dönemini temsil eden, filiş karakterli bir formasyondur. Malm-Alt Kretase-Senomaniyen yaşlı kireçtaşlarının (Berdiga Formasyonu) üzerinde uyumlu olarak bulunur. Birim kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşları ile başlayıp, gri renkli marn, şeyl, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanması ile devam eden bir istif oluşturur.

Mescitli formasyonu, Doğu Pontid kuzey zonunda Üst Kretase dönemini kapsayan; Çatak, Kızılkaya, Çağlayan, Çayırbağı, Bakırköy/Ağıllar formasyonlarına karşılık gelmektedir. Birimin kalınlığı 600m kadardır. Mescitli formasyonunun yaşı; Globotruncana Lapparenti (BROTZEN), Globotruncana Lapparenti (BOLLİ), Globotruncana Lapparenti Tricarinata (QUER), Globotruncana Leopeldi (BOLLİ), Globotruncana Inflata (BOLLİ), Globotruncana Lapparenti Coronata (BOLLİ), Gümbelina sp., Globigerina sp., Lenticulina sp. fosil türlerine göre Türoniyen-Kampaniyen-Maestrchtiyen-Paleosen zaman aralığı olarak belirlenmiştir.

1.3.8. Kaçkar Granitoyidleri (82, 83): Rize ilinin güneydoğusunda bulunan yüksek dağ silsilesi Kaçkar Dağları olarak bilinmektedir. Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler içerisinde sokulum yapan granitoyidler yoğun şekilde bu yörede izlendikleri için, "Kaçkar Granitoyidi" olarak isimlendirilmiştir. Bu granitoyidler ÇOĞULLU-1970 tarafından "Rize Graniti" olarak isimlendirilmiştir. Söz konusu intrüziflerin kompleks bir yapı içerisinde granitten gabroya kadar değişim göstermesi nedeniyle, granitoyid tanımına daha uygun olacağı GÜVEN-1993 tarafından belirtilmiştir.

Burada Mesozoyik yaşlı istifler içerisine sokulum yapan ve Senozoyik yaşlı istiflerden daha yaşlı olduğu belirlenen intrüzif kayaçlar Kaçkar Granitoyidi I(82) olarak, Senozoyik yaşlı istifler içine sokulum yapanlar ise Kaçkar Granitoyidi II(83) olarak ayırtlanmış ve haritalanmıştır.

İnceleme alanında Kaçkar Granitoyidi I (82) olarak belirtilen intrüziflere ait büyük stoklar saptanmıştır. Bunların birincisi; Maçka-Güzelyayla ile Yomra-Özdil arasında GB-KD doğrultusunda uzanım gösteren stoktur. Bu stok çoğunlukla Liyas volkanitleri ve Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşları ile dokanaklıdır. Granit, granadiyorit, kuvarslı diyorit ve diyoritten oluşur. İkinci stok; Araklı-Dağbaşı bucağı ve yöresinde yüzeylenir. Yine Liyas volkanitleri ve Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşları ile dokanaklıdır. Üçüncü stok ise; Uzungöl yöresinde yüzeylenir. İnceleme alanının en büyük stoğudur.

Kaçkar Granitoyidi II(83)'ye ait stoklar ise; Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu içinde izlenir. İlimizde Vakfıkebir-Karadağ Yayla ve Akçaabat-Sisli Yayla yöresinde iki küçük stokla temsil edilmiştir.

Kaçkar Granitoyidlerinin Üst Kretase devresi boyunca gelişimini sürdürerek Paleosen sonlarında yerleşimini büyük ölçüde tamamladığı izlenmektedir. Bu kayaçlar genellikle Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonunca aşınma uyumsuzluğu ile örtülür. Eosen döneminde tekrar intrüzyon yapan granitoyidler, bu defa Kabaköy Formasyonuna sokulum yapmışlardır. Kaçkar Granitoyidleri; bölgemizde kontakt, skarn ve porfiri cevherleşmelerin oluşumu ile yakından ilişkilidir.

2. SENOZOYİK DÖNEM

2.1. Tersiyer

2.1.1. Kabaköy Formasyonu (Ev): Vakfıkebir-Beşikdüzü güneyi, Yomra ve Araklı civarında yüzeylenen bu birim, kumtaşı-kumlu kireçtaşı ve marn ara seviyeleri içeren gri renkli andezit lav ve piroklastları ile yeşilimsi gri renkli andezit lav ve piroklastları ile yeşilimsi gri renkli, bol ojitli ve hornblendli bazalt lav ve piroklastlarından oluşur. Formasyon Üst Kretase dönemine ait çeşitli birimlerin üzerine aşınma uyumsuzluğu ile oturur. Kalınlığı 800m olan bu formasyonun yaşı Alt-Orta Eosen olarak saptanmıştır.

2.1.2. Beşirli Formasyonu (PLB): Formasyon GÜVEN (1993) tarafından tanımlanmıştır. Tipik yüzeylemeleri Trabzon İl Merkezinde Boztepe Mahallesi, batıda Beşirli ve Akyazı Beldesi ile Yıldızlı (Sera) Deresi, Söğütlü (Kalanima) Deresi, Akçaabat Yöresi, Vakfıkebir-Beşikdüzü yöresi, Yomra ve Araklı yörelerinde izlenir. Formasyon genellikle kötü katmanlı, gevşek çimentolu, polijenik heterojen konglomera ve breşden oluşmuştur. İçinde yer yer ince taneli kumtaşları ile kalın ve kötü katmanlı kumlu kireçtaşları (Akçaabat-Kireçhane) ve bazaltik aglomeralardan izlenir.

Beşirli Formasyonu Boztepe Mahallesinde, Miyosen (Ponsiyen) yaşlı kumlu-killi silttaşları üzerine uyumsuz olarak oturur. Genelde ise, Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak izlenir. Formasyonun kalınlığı 250m olup, yaşı; Miyosen formasyonları üzerine uyumsuzlukla oturması nedeniyle göreceli olarak Pliyosen verilmiştir.

2.1.3. Konglomera (Plc): Gevşek malzemeli ve volkanik materyallidir. Tabandan tavana doğru çakılların çapları 3,5cm'den 30cm ye kadar çıkmaktadır. Mikroskobik incelemede, çakılların; feldspatoidli dolerit ve bazalt, mikroesseksit veya mikroteralit, foidolit gibi feldspatoidce zengin kayaçlardan ve diğer birimlere ait kayaçlardan oluştuğu gözlenmiştir. Ortalama kalınlığı 150m olan formasyonun yaşı Pliyosen olarak saptanmıştır.

2.2. Kuvaterner

2.2.1. Alüvyon (Aly): İç kesimlerden doğan ve Karadeniz'e dökülen derelerin denize yakın kesimlerinde (mansap bölgesi), düzlük alanlarda çökelen; kum, mil ve çakıl yığınlarından meydana gelmiş, kötü boylanmalı güncel oluşuklardır.

2.2.2. Kaymaklı Formasyonu (My): Trabzon İli Kaymaklı Mahallesinde en güzel kesitini veren bu birim, Kalkınma Mahallesi civarında da yüzeylenir. Genellikle sarımsı gri, bazen koyu gri renkte izlenen birim Ponsiyen yaşlı olup, kumlu-killi silttaşı olarak adlandırılmıştır. Çok gevşek çimentoludur ve elle kolayca ufalanır.

Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu üzerine açısal uyumsuzlukla oturur. İçerdiği makroskopik molusk faunası yardımıyla ÖZSARAY (1971) tarafından Ponsiyen (Üst Miyosen) yaşı verilmiştir. Yaklaşık olarak 5-30m kalınlıktaki bu birim içerisinde Congerina vuki, Dreissensia rostiformis, Limnocardium aquammulosum, Phyllicardium planum fosilleri izlenmiştir.

2.2.3. Kırmızı Killer (Kk): Trabzon civarında; Boztepe, Soğuksu, Bostancı, Pelitli, Yalıncak köyleri yörelerinde dar alanlarda izlenen ve kalınlıkları 1-5m arasında değişen kırmızı renkli killerdir. Alttaki volkanik kayacın ayrışmasından türemişlerdir. İllit grubu kil mineralleri içeren bu birim ile alttaki ana kayacın tedrici geçişi izlenebilmektedir. Yaşları, Pliyo-Kuvaterner olarak düşünülmektedir.

2.2.4. Sekiler (S) : Topografik yükseltilere göre, altı seviyeye halinde izlenir. Tüm sekiler benzer özelliktedirler. Blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutundaki elemanlardan oluşan sekilerin egemen elemanını kum ve çakıl oluşturur. Çakıllar genelde yassı ve elipsoidal biçimlidir. Boyutları, 2-60mm arasında değişir. İçlerinde bazen 40-50cm boyutunda bloklar da izlenmektedir. Sekilerin kalınlıkları; 0.50m ile 10m arasında değişmektedir. Yaşları Kuvaternerdir.