

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TRABZON İLİ KATI ATIKLARI İÇİN DÜZENLİ DEPOLAMA YERİ SEÇİMİ
VE ÖNERİLEN DÜZYURT DÜZENLİ DEPOLAMA ALANININ
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Hakan ERSOY

HAZİRAN 2007

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora tezi danışmanlığını 2001-2005 yılları arasında üstlenen, 2005 yılında emekli olan ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimini benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. Remzi DİLEK'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Prof. Dr. Fikri BULUT'a şükranlarımı sunarım.

Doktora tez izleme komitesinde yer alarak çalışmalarına destek veren Prof. Dr. Mehmet BERKÜN ve Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasının her aşamasına bilgi, eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan Sayın Yrd. Doç. Şener CERYAN'a içten teşekkürlerimi sunarım. KTÜ CBS Ar-Ge Laboratuvarı ekibine ve özellikle Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU'na teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları sırasında sondaj çalışmalarını gerçekleştiren JFZ Mühendislik ekibine ve özellikle Jeoloji Mühendisi Derya TUĞLU'ya, jeofizik çalışmaları esnasında gerek arazi ölçümleri, gerekse verilerin değerlendirilmesi aşamasında yardımcı olan sayın Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ, Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞEREN ve Arş. Gör. Ali BABACAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz teknik elemanlarından Yakup YAVUZ, Murat KAYIKÇI ve Erdoğan TİMURKAYNAK'a, arazi ve büro çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencilerine içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmanın 2002.112.05.3 kod nolu proje ile desteklenmesini sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu Birimi'ne teşekkür ederim.

Doktora tezinin değişik aşamalarında katkıda bulunan, görüş ve önerileri ile destek olan Jeoloji Yük. Müh. Arzu FIRAT ERSOY'a, Jeoloji Yük. Müh. İrfan TEMİZEL'e ve Orman Yüksek Mühendisi Fatih SİVRİKAYA'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakarlığı için eşime, oğluma, anneme, babama ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hakan ERSOY

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Düzenli Depolama Kavramı.....	3
1.3.1. Düzenli Depolama Yöntemleri.....	4
1.3.1.1. Hendek (Çukur) Yöntemi.....	5
1.3.1.2. Alan Yöntemi	5
1.3.1.3. Rampa Yöntemi.....	5
1.3.1.4. Kanyon (Vadi) Yöntemi	6
1.3.2. Düzenli Depolama Yeri Seçimi.....	6
1.4. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	9
1.4.1. Coğrafi Durum ve Arazi Kullanımı.....	9
1.4.2. Yerleşim ve Ulaşım	11
1.4.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....	12
1.4.4. Bölgesel Jeoloji.....	13
1.5. Literatür Özeti.....	16
1.5.1. Katı Atık Yönetimi ile İlgili Genel Çalışmalar	17
1.5.2. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Katı Atık Yönetimi ile İlgili Çalışmalar	19
1.5.3. Katı Atık Yönetiminde CBS ile İlgili Çalışmalar.....	21
1.5.4. Katı Atık Yönetiminde Fuzzy, Matriks ve Analitik Hiyerarşi Yöntemlerinin Kullanılmasıyla İlgili Çalışmalar	23
1.5.5. Katı Atık Yönetiminde Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları	24
1.6. Trabzon İli Mevcut Katı Atık Yönetimi	25

1.6.1.	Giriş	25
1.6.2.	Yönetim Düzeni.....	25
1.6.3.	Katı Atık Toplama ve Taşıma Sistemi	26
1.6.4.	Geri Dönüşüm Faaliyetleri	26
1.6.5.	Katı Atık Kompozisyonu	27
1.6.6.	Katı Atıkların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	30
1.6.7.	Katı Atık Bertaraf Sistemi	31
1.6.8.	Trabzon İli İçin Katı Atık Bertaraf Yöntemlerinin Karşılaştırılması	31
1.6.8.1.	Pulverisasyon ve Yüksek Yoğunlukta Balyalama	32
1.6.8.2.	Yakma ve Piroliz	32
1.6.8.3.	Kompostlaştırma.....	34
1.6.8.4.	Tekrar Kullanım, Geri Dönüşüm ve Geri Kazanım	35
1.6.8.5.	Düzenli Depolama	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	36
2.1.	Giriş	36
2.2.	Coğrafi Bilgi Sistemi ve Analitik Hiyerarşi Yönteminin Uygulanması.....	36
2.3.	Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar.....	38
2.3.1.	1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması	38
2.3.2.	Mikroskobik tayinler	38
2.3.3.	X-Işınlari Difraksiyonu İncelemeleri.....	39
2.4.	Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları	40
2.4.1.	Süreksizliklerin Özelliklerinin Tayini ve Hat Etüdü Çalışmaları.....	41
2.4.1.1.	Süreksizliklerin Yönelimi	43
2.4.1.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı	43
2.4.1.3.	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	44
2.4.1.4.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallığı	45
2.4.1.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği.....	46
2.4.1.6.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	48
2.4.1.7.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu	50
2.4.1.8.	Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı.....	51
2.4.1.9.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	53
2.4.2.	Sondaj Çalışmaları.....	54
2.4.3.	Laboratuar Çalışmaları	56

2.4.3.1.	Schmith Çekici Geri Tepme Sayısı	58
2.4.3.2.	Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi	59
2.4.3.3.	Nokta Yükleme Deneyi	60
2.4.3.4.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi.....	61
2.4.3.5.	Özgül Ağırlık Deneyi	62
2.5.	Sismik Kırılma Yöntemi.....	63
3.	BULGULAR	65
3.1.	Giriş	65
3.2.	Nüfus Yoğunluğu ve Katı Atık Üretimi	65
3.2.1.	Nüfus Yoğunluğu	65
3.2.2.	Katı Atık Üretim Tahmini	70
3.3.	Düzenli Depolama İçin Gerekli Olan Alan ve Hacim Hesabı.....	71
3.4.	Trabzon İli Katı Atıkları İçin Uygun Düzenli Depolama Alanı Seçimi.....	73
3.4.1.	Düzenli Depolama Yeri Seçimine Etkiyen Kriterler ve Ağırlık Yüzdeleri..	73
3.4.2.	Düzenli Depolama Yeri Seçiminde Konumsal Analiz Modüllerinin Kullanılması.....	77
3.4.2.1.	Şehir Merkezine Uzaklık.....	79
3.4.2.2.	Arazi Eğimi.....	79
3.4.2.3.	Yerleşim Alanlarına Uzaklık	82
3.4.2.4.	Yüzey Sularına ve Doğal Kaynaklara Uzaklık.....	82
3.4.2.5.	Fay Zonlarına ve Heyelan Alanlarına Uzaklık	87
3.4.2.6.	Arazi Kullanımı	90
3.4.2.7.	Hava Alanına ve Yola Uzaklık.....	90
3.4.2.8.	Kültürel Yapılara Uzaklık	93
3.4.2.9.	Jeoloji.....	93
3.4.3.	Düzenli Depolama Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi	96
3.4.3.1.	Uygun Düzenli Depolama Alanı Seçimi İçin Hiyerarşinin Oluşturulması.....	97
3.4.3.2.	Sınırlayıcı Faktörlerin Belirlenmesi	97
3.4.3.3.	Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması	98
3.4.4.	Uygun Düzenli Depolama Alanı Seçimi Haritasının Oluşturulması.....	100
3.5.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Genel Jeolojisi	104
3.5.1.	Çağlayan Formasyonu	104
3.5.2.	Tonya Formasyonu	105

3.5.3.	Kabaköy Formasyonu.....	110
3.6.	Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması.....	112
3.6.1.	Yeraltı Çalışmaları.....	115
3.6.2.	Yüzey Çalışmaları.....	120
3.7.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Malzemesinin Fiziksel ve Dayanım Özellikleri.....	126
3.7.1.	Fiziksel Özellikler.....	126
3.7.2.	X-Işınları Difraksiyonu İncelemeleri.....	128
3.7.3.	Dayanım Özellikleri.....	130
3.8.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri.....	131
3.8.1.	Süreksizlik Özellikleri.....	131
3.8.1.1.	Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Setleri.....	132
3.8.1.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	134
3.8.1.3.	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	137
3.8.1.4.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgalılığı.....	139
3.8.1.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği.....	141
3.8.1.6.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	145
3.8.1.7.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu.....	146
3.8.1.8.	Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı.....	146
3.8.1.9.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	147
3.8.2.	Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri.....	149
3.8.3.	Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özelliklerinin Sismik Kırılma Yöntemiyle Belirlenmesi.....	153
3.8.4.	Kaya Kütlelerinin Geçirimsizliği.....	155
3.9.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	159
3.9.1.	Jeomekanik Sınıflama (RMR Sistemi).....	159
3.10.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü.....	164
3.11.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Kazılabilirliği.....	166
3.11.1.	Kazılabilirliğin Sismik Kırılma Yöntemiyle Belirlenmesi.....	167
3.11.2.	Kazılabilirliğin Jeomekanik Özelliklerle Belirlenmesi.....	169
3.12.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Şevlerinin Stabilitesi.....	173
3.12.1.	Kinematik Analizler.....	174

3.12.2.	Şev Duraylılığı İçin Jeomekanik Sınıflama (SMR).....	176
3.13.	Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Projelendirilmesi.....	181
3.13.1.	Düzenli Depolama Alanının Kapasitesi.....	181
3.13.2.	Düzenli Depolama Tesisi Üniteleri	183
3.13.2.1.	Bekçi Kulübesi, Kantar Binası ve Platformu.....	186
3.13.2.2.	İdari Bina	186
3.13.2.3.	Tamir Bakım Atölyesi, Garaj, Trafo ve Jeneratör	186
3.13.2.4.	Araç Yıkama Ünitesi ve Su Deposu	187
3.13.2.5.	Katı Atık Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi ve Geri Devir Binası	187
3.13.3.	Ekipman ve Personel	188
3.13.4.	Düzenli Depolama Metodunun Seçimi ve Atıkların Depolanması	189
3.13.4.1.	Taban Sızdırmazlığı	193
3.13.4.2.	Depo Gazı Toplanması ve Kontrolü.....	195
3.13.4.3.	Sızıntı Suyu Kontrolü	198
3.13.5.	Kaplama ve Sahanın Nihai Restorasyonu	200
4.	İRDELEME VE TARTIŞMA	202
5.	SONUÇLAR.....	206
6.	KAYNAKLAR.....	211
7.	EKLER	230
	ÖZGEÇMİŞ.....	248

ÖZET

Bu çalışmada Trabzon İli'ndeki mevcut katı atık yönetim sistemi ve aksaklıkları incelenmiş, analitik hiyerarşi yöntemi ve konumsal analiz teknikleri kullanılarak katı atık düzenli depolama uygunluk haritası üretilmiştir. Uygunluk haritasından, Düzyurt Mevkii'nde bulunan eski bir açık işletme sahasının Trabzon İli için en uygun düzenli depolama alanı olacağı belirlenmiş ve bu alan jeoteknik açıdan incelenmiştir.

Çalışma alanında yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu, Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeylenme vermektedir.

Önerilen düzenli depolama alanındaki jeoteknik birimleri tanımlamak, yanal ve düşey devamlılıklarını belirlemek amacıyla yüzey (hat etüdü ve sismik kırılma) ve yeraltı çalışmaları (sondaj) gerçekleştirilmiş ve bu alanının 1/2000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır. Kaya ortamının geçirimsizliğini belirlemek amacıyla basınçlı su deneyleri uygulanmıştır.

Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesinin fiziksel ve dayanım özelliklerini belirlemek için araziden alınan bloklar ve sondaj karotları üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Süreksizliklerin özelliklerini belirlemek amacıyla hat etüdü çalışmaları yapılmış, farklı süreksizlik takımları için süreksizlik ara uzaklığı, açıklığı, pürüzlülüğü, bozunma derecesi, devamlılığı gibi parametreler belirlenmiştir.

Hat etüdü çalışmaları ve kayaçlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, kaya kütlelerinin dayanım özellikleri Hoek-Brown ampirik yaklaşımıyla belirlenmiştir.

Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri RMR sistemi ile belirlenmiş, depolama alanındaki şevlerin duraylılığı SMR sistemi kullanılarak araştırılmıştır.

Düzenli depolama alanının projelendirilmesi sırasında kazı ortamının tanımlanması ve kazı makinelerinin seçiminin yapılabilmesi amacıyla, kayaçların kazılabilirlik dereceleri sismik kırılma yöntemiyle ve jeomekanik parametrelerle belirlenmiştir.

Sonuç olarak, düzenli depolama alanı olarak önerilen Düzyurt eski açık işletme sahasının jeoteknik açıdan uygun olduğu belirlenmiş ve düzenli depolama için projelendirilme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzenli depolama, jeoteknik, katı atık, Trabzon, yer seçimi

SUMMARY

LANDFILL SITE SELECTION FOR SOLID WASTES IN TRABZON, AND ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT OF PROPOSED DÜZYURT LANDFILL SITE

In this study, solid waste management strategy and its faults were investigated in Trabzon City, landfill suitability map were prepared by using AHP and spatial analysis techniques. It is concluded that, Düzyurt area was suggested as the most suitable landfill site for Trabzon and geotechnical investigations were performed in this site.

The geological units are the Late Cretaceous aged Çağlayan Formation, Late Cretaceous-Paleocene aged Tonya Formation, Eocene-Neogene aged Kabaköy Formation and Quaternary alluvium in the area.

Subsurface and surface studies were conducted for description of vertical and horizontal homogeneity of geotechnical units in the site, and 1/2000 scaled engineering geological map was prepared. Lugeon tests were applied for determination of bedrock permeability.

In the laboratory studies, physical and strength properties were determined on the samples collected from the boreholes and rock blocks.

In the field, scan-line surveys on natural rock exposures were performed and the quantitative description of discontinuities was conducted.

Rock mass strength was calculated with Hoek-Brown empirical approach using by data obtained from laboratory studies and scan-line surveys.

Engineering properties of rock masses were performed with the RMR system and stability of slopes was investigated using SMR system

During the landfill project, to describe the area to be excavated and to select suitable excavating equipments, excavability properties of the rock masses were determined using the seismic methods and geomechanic parameters.

It is determined that proposed landfill site, an old open pit area, is geotechnically suitable. Besides, project studies to the landfill site for Trabzon City were performed.

Key Words: Sanitary landfilling, geotechnic, solid waste, Trabzon, site selection

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Düzenli depolama yöntemleri: hendek yöntemi (a) alan yöntemi (b), rampa yöntemi (c) ve kanyon yöntemi (d).....	7
Şekil 1.2.	Düzenli depolama yeri seçiminde üzerleme/çakıştırma yönteminin Kullanılması.....	8
Şekil 1.3.	Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	10
Şekil.1.4.	Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı	12
Şekil 1.5.	Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı	13
Şekil 1.6.	Doğu Karadeniz Bölümü'nün genelleştirilmiş jeoloji haritası	15
Şekil 1.7.	Gelir seviyesine göre katı atık kompozisyonundaki değişimler.....	28
Şekil 1.8.	Mevsimlere göre katı atık kompozisyonundaki değişimler.....	29
Şekil 1.9.	Trabzon İli ortalama atık kompozisyonu.....	30
Şekil 2.1.	Kaya kütlelerinin özelliklerini tanımlayan parametreleri gösteren blok diyagram	42
Şekil 2.2.	Kaya kütlesi özelliklerini tanımlayan parametreler.....	42
Şekil 2.3.	Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC (eklem pürüzlülük katsayısı) değerleri aralığı	47
Şekil 2.4.	Manşonlardaki yük kaybını belirlemede kullanılan grafik.....	57
Şekil 3.1.	Trabzon merkez ilçe, Trabzon Belediyesi'nin hizmet verdiği 11 belediye ve hizmet dışında kalan 12 belediyenin dağılımı	66
Şekil 3.2.	Farklı belediyelere ait yıl-nüfus değerlerinin saçılma diyagramları.....	68
Şekil 3.3.	Düzenli depolama alanı için gerekli alan hesabı grafiği.....	72
Şekil 3.4.	Çalışma alanına ait eğim haritası.....	81
Şekil 3.5.	Çalışma alanına ait yerleşim merkezlerine uzaklık haritası	83
Şekil 3.6.	Çalışma alanına ait doğal kaynaklara uzaklık haritası.....	85
Şekil 3.7.	Çalışma alanına ait akarsulara uzaklık haritası.....	86
Şekil 3.8.	Çalışma alanına ait faylara uzaklık haritası	88
Şekil 3.9.	Çalışma alanına ait heyelanlara uzaklık haritası.....	89
Şekil 3.10.	Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası.....	91
Şekil 3.11.	Çalışma alanına ait yola ve havaalanına uzaklık haritası	92
Şekil 3.12.	Çalışma alanına ait tarihi alanlara uzaklık haritası	94
Şekil 3.13.	Çalışma alanına ait jeoloji haritası ve jeolojik bariyer niteliğinde olmayan birimlere atılan tampon alanları.....	95

Şekil 3.14. Düzenli depolama uygunluk haritalarının oluşturulmasında kullanılan akış şeması.....	98
Şekil 3.15. Düzenli depolama uygunluk haritalarının oluşturulmasında CBS fksiyonları	101
Şekil 3.16. Trabzon İli katı atık düzenli depolama uygunluk haritası	102
Şekil 3.17. Çalışma alanının jeoloji haritası	105
Şekil 3.18. Gözalan Mahallesi'nde yüzeylenme veren Çağlayan Formasyonunda ait kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve marn ara seviyeleri (a ve b), mercek şeklinde bulunan ve yanall devamlılığı olmayan tüffitler arasında bulunan bazanit sili (c) ve formasyonun taban kesimlerinde eksfoliasyon gösteren yüksek derecede ayrıışmış bazalt ve andezitler (c ve d).....	106
Şekil 3.19. Çağlayan Formasyonu'ndaki bazaltların polarizan mikroskoptaki görünümleri (Ç.N., Kpir: Klinopiroksen, Pl: Plajiyoklas, op)	107
Şekil 3.20. Düzyurt Mevkii'nde bulunan eski çimento hammadde ocağında yüzeylenme veren orta kalın tabakalı kireçtaşları (a) ve kireçtaşlarının tabanında görülen dasidik çakıllar (b), ince tabakalı kiltası, çamurtaşı, marn, kireçtaşı ve tuf ar dalanması (c ve d).....	108
Şekil 3.21. Tonya Formasyonuna ait kireçtaşlarının ve bu kayaçlarda bulunan mikrofaunaların ince kesitlerdeki görünümü	109
Şekil 3.22. Bulak Mahallesi'nde yüzeylenme veren ve Kabaköy Formasyonu'nun taban kesimlerinde gözlenen kireçtaşları (a) ve bunların üzerine gelen bazaltik kayaçlar (b).....	111
Şekil 3.23. Kabaköy Formasyonu'nundaki bazaltlara ait ince kesit görünümü (Ç.N., Kpir: klinopiroksen, B: biyotit).....	112
Şekil 3.24. Önerilen Düzyurt katı atık düzenli depolama alanına ait mühendislik jeolojisi haritası.....	113
Şekil 3.25. Önerilen Düzyurt katı atık düzenli depolama alanına ait enine jeolojik kesitler.....	114
Şekil 3.26. Taş ocağının üst kotlarında açılan sondajlar (kot: 185 m).....	116
Şekil 3.27. Taş ocağının alt kotlarında açılan sondajlar (kot: 150 m)	116
Şekil 3.28. SK1 sondajına ait kaya sondaj logu.....	117
Şekil 3.29. SK2 sondajına ait kaya sondaj logu.....	118
Şekil 3.30. SK3 ve SK4 sondajlarına ait kaya sondaj logu.....	119
Şekil 3.31. Düzenli depolama yapılacak alanın sondaj ve arazi gözlemleri (ÖSK) sonucunda çizilmiş stratigrafik kesiti	120
Şekil 3.32. Litolojik birim A (a) ve bu birim içerisinde ar dalanmalı olarak bulunan A-1 ve A-2 jeoteknik birimleri (b)	121
Şekil 3.33. Litolojik birim B (a) ve bu birimde taban kesimlerinde görülen volkanik kayaç blokları (b)	121

Şekil 3.34. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S9-S10 profili)	123
Şekil 3.35. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S7-S8 profili)	123
Şekil 3.36. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S5-S6 profili)	124
Şekil 3.37. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S1-S2 profili)	124
Şekil 3.38. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S3-S4 profili)	125
Şekil 3.39. Önerilen düzenli depolama alanında yüzeyleme veren A1 jeoteknik Birimine ait marn ve silttaşlarının simektitçe zengin kil fraksiyonu, normal ve etilen glikolde doyurulmuş yönlü XRD difraktogramları	129
Şekil 3.40. Çatlak kontur diyagramları ve eğim açısı histogramları	133
Şekil 3.41. Jeoteknik birimler için süreksizlik ara uzaklığı histogramları (a: A1 jeoteknik birimi, b: A2 jeoteknik birimi, c: B1 jeoteknik birimi)	135
Şekil 3.42. Jeoteknik birimler için süreksizlik devamlılığı histogramları	138
Şekil 3.43. Jeoteknik birim A-1, A-2 ve B-2'deki farklı süreksizlik yüzeylerine ait genlik parametresi histogramları	140
Şekil 3.44. A-1 jeoteknik birimindeki süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar	141
Şekil 3.45. A-2 jeoteknik birimindeki süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar	142
Şekil 3.46. B-1 jeoteknik birimindeki süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar	143
Şekil 3.47. Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi	151
Şekil 3.48. A-1 ve A-2 jeoteknik birimine ait kayaçlar üzerinde yapılan deneyler ve arazi gözlemleri sonucunda elde edilen verilere göre çizilmiş majör asal gerilme-minör asal gerilme (σ_1 - σ_3) ve normal gerilme-kırılma gerilmesi (σ - τ) grafikleri	152
Şekil 3.49. B-1 jeoteknik birimine ait kayaçlar üzerinde yapılan deneyler ve arazi gözlemleri sonucunda elde edilen verilere göre çizilmiş majör asal gerilme-minör asal gerilme (σ_1 - σ_3) ve normal gerilme-kırılma gerilmesi (σ - τ) grafikleri	153
Şekil 3.50. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri	161
Şekil 3.51. RMR kaya kütle sınıflama sisteminde RMR puanını hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması	163
Şekil 3.52. Kazılabilirlik değerlendirme grafiği	171
Şekil 3.53. Farklı kazı metodları için GSI-Kaya Kütle Dayanımı Grafiği	171

Şekil 3.54. Farklı konumlu şevler için yenilme zarfları kullanılarak kaya şevlerindeki olası yenilmelerin belirlenmesi.....	175
Şekil 3.55. SMR puanına göre şevlerin duraylılık sınıflaması, şevde görülebilecek yenilme türleri ve duraylılığı sağlamak için gerekli önlemler.....	178
Şekil 3.56. Proje süresince öngörülen katı atık yönetim sistemi akış şeması.....	182
Şekil 3.57. Düzyurt düzenli depolama alanına ait sayısal arazi modeli	184
Şekil 3.58. Düzyurt düzenli depolama alanı genel yerleşim planı.....	185
Şekil 3.59. Düzyurt düzenli depolama alanı için önerilen sızıntı suyu arıtma tesisi akış şeması	188
Şekil 3.60. Düzenli depolama alanında kullanılan iş makineleri, a: paletli dozer (crawler), b: çelik tekerlekli kompaktör, c: vinç (dragline) ve d: kendinden yüklemeli scraper.....	189
Şekil 3.61. Düzenli depolama alanının ilk hücreden itibaren doldurulması ve ilk fazın tamamen doldurulmuş olması hali için kesiti	192
Şekil 3.62. Düzenli depolama alanı için planlanan çevre çiti.....	193
Şekil 3.63. Depo gazı kontrolünde kullanılan pasif gaz toplama borusu kesiti	196
Şekil 3.64. Sızıntı suyu toplama sistemi ve tasfiye çukurunun detaylı kesiti.....	199
Şekil 3.65. Düzenli depolama sahasının üst kaplamasında kullanılan elemanlar.....	201

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Katı atık türüne göre sınıflanan düzenli depolama tipleri	4
Tablo 1.2. Trabzon İli toprak kullanımı.....	9
Tablo 1.3. Trabzon İli arazi sınıflaması	11
Tablo 1.4. Trabzon İli'ne ait meteorolojik veriler	12
Tablo 1.5. Farklı atık boşaltma sahalarındaki atıkların kaynakları.....	25
Tablo 1.6. Trabzon İli'ndeki örnek noktalarının yerleri.	28
Tablo 1.7. Gelir gruplarına göre evsel katı atıkların bileşenleri.	28
Tablo 1.8. Mevsimlere göre katı atık kompozisyonundaki değişimler.....	29
Tablo 1.9. Trabzon İli ortalama atık kompozisyonu	30
Tablo 1.10. Trabzon İli katı atıklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	31
Tablo 2.1. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri	44
Tablo 2.2. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri.....	45
Tablo 2.3. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler.....	47
Tablo 2.4. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama	49
Tablo 2.5. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflaması.....	50
Tablo 2.6. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama	50
Tablo 2.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri.....	51
Tablo 2.8. Dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri.....	51
Tablo 2.9. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması	53
Tablo 2.10. Güncel J_v sınıflaması.....	53
Tablo 2.11. RQD sınıflaması	54
Tablo 2.12. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri.....	59
Tablo 2.13. Schmidt çekici geri tepme sayılarının aşağıya doğru dik olarak tutulmuş durumuna göre düzeltme değerleri	59
Tablo 3.1. Trabzon merkez ilçe, Trabzon Belediyesi'nin hizmet verdiği belediyeler ve hizmet dışında kalan belediyelerin yıllara göre nüfus dağılımı	66
Tablo 3.2. Nüfus-Yıl değişkenlerine göre hazırlanan regresyon tablosu (Trabzon Merkez İlçe).....	69

Tablo 3.3. Nüfus-Yıl değişkenlerine göre hazırlanan regresyon tablosu (Hizmet alan belediyeler).....	69
Tablo 3.4. Nüfus-Yıl değişkenlerine göre hazırlanan regresyon tablosu (Hizmet almayan belediyeler).....	69
Tablo 3.5. Trabzon İli belediyelerine ait mevcut nüfus bilgileri ve gelecek yıllara ait nüfus projeksiyonu.....	70
Tablo 3.6. Çalışma kapsamındaki belediyelerin 2025 yılı sonuna kadar üretecekleri katı atık miktarı.....	71
Tablo 3.7. Ayır mühendislik grubuna yaptırılan anket sonuçları.....	74
Tablo 3.8. Çift yönlü varyans analizinin anket sonuçları üzerine uygulanması.....	75
Tablo 3.9. Ki kare testinde serbestlik derecesinin hesaplanması.....	75
Tablo 3.10. Ki kare testinin anket sonuçları üzerine uygulanması.....	76
Tablo 3.11. Doğu Karadeniz Bölümü katı atıkları için düzenli depolama yeri seçiminde etkili olan kriterlerin ağırlık yüzdeleri.....	77
Tablo 3.12. Düzenli depolama alanı seçimine etki eden kriterler, sınırlama faktörleri ve konumsal analizlerde kullanılan puanlar.....	78
Tablo 3.13. AHP tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği.....	99
Tablo 3.14. Düzenli depolama alanı seçimine etki eden kriterlerin ağırlık yüzdeleri.....	99
Tablo 3.15. Önerilen düzenli depolama alanında elastik dalgaların jeoteknik birimler içerisindeki yayılma hızları.....	125
Tablo 3.16. Jeoteknik birimlere ait kayaçların fiziksel özellikleri.....	127
Tablo 3.17. Jeoteknik birimlere ait kayaç örneklerinin nokta yük dayanım indeksi ve tek eksenli sıkışma dayanımı.....	130
Tablo 3.18. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	136
Tablo 3.19. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	137
Tablo 3.20. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik yüzeylerine ait dalgalılık ve ortalama JRC değerleri.....	139
Tablo 3.21. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	144
Tablo 3.22. Jeoteknik birimlere ait farklı süreksizlik yüzeylerin bozunma indeksi değerleri.....	145
Tablo 3.23. Jeoteknik birimler için blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri.....	146

Tablo 3.24. Jeoteknik birimler için sondaj verileri ve arazi ölçümleriyle hesaplanan RQD değerleri.....	147
Tablo 3.25. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin özellikleri ve bu değerlerin literatürdeki tanımlama ölçütlerine (ISRM, 1981; Gökçeoğlu, 1997; Palmstrom, 1996) göre değerlendirilmesi	148
Tablo 3.26. Önerilen düzenli depolama alanında sismik kırılma yöntemiyle hesaplanan elastik parametreler.....	154
Tablo 3.27. Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin elastik hızlara göre belirlenen sağlamlık sınıflaması	154
Tablo 3.28 SK1 sondajında uygulanan basınçlı su deneyleri sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri.....	156
Tablo 3.29. SK2 sondajında uygulanan basınçlı su deneyleri sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri	157
Tablo 3.30. SK3 ve SK4 sondajında uygulanan basınçlı su deneyleri Sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri..	158
Tablo 3.31. Farklı jeoteknik birimler için tanımlanmış ortalama K değerleri.....	159
Tablo 3.32. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminin son versiyonu.	160
Tablo 3.33. RMR sınıflama sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi	161
Tablo 3.34. RMR sınıflama sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme	162
Tablo 3.35. Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları	162
Tablo 3.36. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları.	163
Tablo 3.37. Jeoteknik birimlerin temel, nihai ve değiştirilmiş RMR puanları	164
Tablo 3.38. Kaya kütleleri için RMR puanına göre izin verilebilir net taşıma gücü.....	165
Tablo 3.39. Jeoteknik birimler için temel RMR puanına göre hesaplanmış taşıma gücü	165
Tablo 3.40. Düzenli depolama alanındaki jeoteknik birimlerin boyuna dalga hızlarına göre taşıma gücü değerleri.....	166
Tablo 3.41. Farklı yöntemlerle belirlenmiş taşıma gücü değerleri	164
Tablo 3.41. Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin arazide yapılan ölçümlerle belirlenen elastik dalga hızlarına göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmesi	168
Tablo 3.42. Depolama alanındaki yamaç molozu ve döküntü malzemesinin arazide yapılan ölçümlerle belirlenen elastik dalga hızlarına göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmesi.....	168
Tablo 3.43. Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin Caterpillar tipi sökücü aletler ile sökülebilirliğinin belirlenmesi.....	169
Tablo 3.44. Düzenli depolama alanındaki kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmesi	172

Tablo 3.45. Düzenli depolama alanındaki kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmesi	173
Tablo 3.46. Düzenli depolama alanındaki şevlerin geometrik özellikleri ve bu şevlerde beklenen olası kütle hareketleri.....	176
Tablo 3.47. Süreksizlikler için SMR sistemindeki düzeltme faktörleri (F_1 , F_2 ve F_3) ile kazı için düzeltme puanı	177
Tablo 3.48. Düzyurt düzenli depolama alanındaki şevler için SMR puanı hesaplamasında kullanılan düzeltme faktörleri	179
Tablo 3.49. 90/80 duruşlu şevdeki jeoteknik birimler için hesaplanan SMR puanları	180
Tablo 3.50. 147/80 duruşlu şev için hesaplanan SMR puanları	180
Tablo 3.51. 157/80 duruşlu şevdeki jeoteknik birimler için hesaplanan SMR puanları	180
Tablo 3.52. Projelendirme süresince oluşabilecek biyogaz ve metan gazı hacim hesapları.....	198
Tablo 4.1. Alternatif düzenli depolama sahalarının değerlendirilmesi.....	203
Tablo 4.2. Çalışma alanında yüzeyleme veren jeoteknik birimlerin süreksizlik ve kaya kütle özellikleri.....	205

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Aktivite katsayısı
A	: Silindirik örneğin kesit alanı
Ad	: Süreksizlik yüzeyinin toplam alanı
Adi	: Süreksizlik yüzeyindeki kohezyonun olmadığı alanların toplamı
AHP	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
ARC/INFO	: ArcView Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımları
B	: Profil hattı boyunca jeolojik kesit
B _j	: Süreksizliğin eğimi
c	: Kohezyon
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	: Kıvam indisi
C _o	: Başlangıçtaki organik karbon miktarı
C _{oe}	: Toplam bozunabilir karbon miktarı
C _v	: Gerekli örtü malzemesinin miktarı
d	: Depolama derinliği
D	: Karot çapı
D _e	: Çapsal deneylerde karotun çapı
e	: Boşluk oranı
E _m	: Elastisite modülü
ET	: Etilen glikollü difraktogramlar
F	: Boyut düzeltme faktörü
G	: Kesme modülü
G _s	: Tanelerin özgül ağırlıkları
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
G _t	: t zamanına kadar oluşacak biyogaz hacmi
G _w	: Suyun özgül yoğunluğu
H	: Deney kademesine uygulanan gerçek basınç
I _{d1}	: Birinci çevrim suda dağılmaya karşı dayanım indeksi
I _{d2}	: İkinci çevrim suda dağılmaya karşı dayanım indeksi
I _{d3}	: Üçüncü çevrim suda dağılmaya karşı dayanım indeksi
I _b	: Süreksizlik sıklığının hacimsel ifadesi

I_s	: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi
I_2	: Nokta yükü dayanımı
i	: Kriter numarası
j	: Kriter sayısı
J	: 0.002 mm'den küçük tanelerin ağırlıkça oranı
J_a	: Çatlak alterasyon sayısı
JCS	: Süreksizlik yüzeyinin dayanımı
J_{li}	: Süreksizlik izi uzunluğu
J_n	: Çatlak takım sayısı
J_r	: Çatlak pürüzlülüğü
JRC	: Eklem pürüzlülük katsayısı
J_{si}	: Görünür ara uzaklık
J_v	: Hacimsel eklem sayısı
k	: Ayrışma sabiti
K	: Süreksizlik devamlılığı
KF	: Kil fraksiyonu
K_{kop}	: Süreksizlik izi hattı üzerinde kaya köprüsü uzunluğu
l	: Basınç uygulanan kısmın uzunluğu
L	: Lugeon birimi
LI	: Likitlik indisi
LL	: Likit limit
L_n	: Gözlenen her bir eklem setine dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu
m_b	: Kırıksız kaya için malzeme sabit
$MCDA$: Çok Kriterli Karar Analizi
MCE	: Çok Kriterli Değerlendirme
M_s	: Kütle direnci sayısı
M ve s	: Malzeme sabitleri
n	: Porozite
N	: Vuruş sayısı
N_n	: Her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı
N_r	: İncelenen alandaki rasgele gelişmiş süreksizlik sayısı
$ÖSK$: Ölçülü stratigrafik kesit
P	: Yenilme yükü

PL	: Plastisite indeksi
PL	: Plastik limit
Q	: Deney kademesine pompalanan su miktarı
qu	: Zemin taşıma gücü
R	: Determinasyon katsayısı
R _f	: Taze yüzeyin schmith geri tepme sayısı
RMR	: Kaya Kütlesi Puanlaması
R _w	: Bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin schmith geri tepme sayısı
RQD	: Kaya kalite göstergesi
R0	: Aşırı derecede zayıf kayaç
R1	: Çok zayıf kaya
R2	: Zayıf kayaç
R3	: Orta derecede sağlam kayaç
R4	: Sağlam kayaç
R5	: Çok sağlam kayaç
R6	: Aşırı derecede sağlam kayaç
Si	: Her bir süreksizlik takımı için ara uzaklık
SL	: Likit limit eksenini kestiği nokta büzülme limiti
ss	: Standart sapma değeri
Sso	: Standart sapma oranı
S1, S2, S3	: Her eklem seti için hesaplanmış ortalama modal aralık değerleri
t	: Yıl cinsinden zaman
T	: Sıcaklık
USGS	: United States Geological Survey
UTM	: Universal Tranverse Mercator
V	: Depolama yapılacak hacim
V _p	: Boyuna dalga hızı
V _s	: Enine dalga hızı
v(y)	: Uygunluk indeksi
w	: Bir kriter için önem faktörü veya ağırlık derecesi
wa	: Suyla dolu piknometre ağırlığı
wb	: Zemin ve su dolu piknometre ağırlığı
W	: Örnek ağırlığı

W_c	: Bozunma katsayısı
w_d	: Doygun ağırlık
w_k	: Kuru ağırlık
w_n	: Zeminin doğal su muhtevası
X	: Ortalama süreksizlik aralığı
XRD	: X ışınları difraktometreleri
y	: Kriterin uygunluk derecesi
β_j	: Süreksizlik eğim açısı
σ_c	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
σ_{cd}	: D çapında bir örneğin sıkışma dayanım
σ_1	: Eksenel gerilim
δ_1	: Süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı
σ_3	: Yanal basınç
σ_{ci}	: Kırıksız kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_1'	: Majör efektif asal gerilme
σ_3'	: Minör efektif asal gerilmeler
λ	: 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısı
α_j	: Süreksizlik eğim yönü
α_s	: Şev eğim yönü
γ	: Birim hacim ağırlık
\emptyset	: İçsel sürtünme açısı
Φ^0	: Yenilme düzleminin açısı
μ	: Deney sıcaklığındaki suyun viskozitesi
ρ	: Yoğunluk
ν	: Poisson oranı
δ	: Şev ve süreksizlik yüzeyinin doğrultusu arasındaki açı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemiz hızla büyümekte ve endüstrileşmektedir. Bu büyüme, endüstrileşme ve nüfus artışı giderek büyük boyutlara ulaşan çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Bu durumun en önemli sebebi olarak, çarpık kentleşme ve düzensiz yerleşim göze çarpmaktadır. Bunun sonucunda da uygun teknoloji ve hizmet, yerleşim bölgelerine tam olarak götürülememekte ve sorunlar giderek artmaktadır.

Basit olarak, canlı ve cansız varlıkların tümünü üzerinde bulduran dünya ve onu çevreleyen atmosfer şeklinde tarif edilebilen çevre, canlı ve cansız tüm varlıkların faaliyetlerinden direk olarak etkilenmektedir. Bu nedenle, doğadaki mevcut dengenin bozulması da kaçınılmazdır. Bu bozulmaların bir kısmı doğal olayların etkisi ile meydana gelse de insan faaliyetlerinin çok daha fazla bozucu etkiye sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Çevre kirliliğinin tamamen engellenmesi mümkün olamayacağından, izlenecek en doğru yol, çevre kirlenmesinin ve doğal dengedeki bozulmaların kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasını sağlayacak ve çevre kirliliğini minimuma indireyecek uygun kalkınma ve çevre programlarının geliştirilmesi olacaktır.

Çevre kirliliği su, hava, toprak, görüntü ve gürültü kirliliği şeklinde beş ana gruba ayrılabilir. Özellikle son yıllarda, başta çevre mevzuatı olmak üzere, yürürlükteki mevzuatlara aykırı olarak depolanan katı atıklar, en önemli çevre problemlerinden birini oluşturmaktadır. Uzun yıllar devam etmekte olan ve hiçbir ön çalışma yapılmadan gelişmiş güzel bir şekilde deniz sahiline, derelere ve boş arazilere depolanan katı atıklar, insan ve çevre sağlığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır. Bu yüzden atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Çevre kirliliği hızla artmasına karşın, ancak son yıllarda katı atık yönetim kavramı ortaya çıkmıştır. Türkiye, çevre yönetimi konusunun anayasası içinde yer aldığı birkaç ülkeden biridir.

1982 yılında yürürlüğe giren anayasanın 56. maddesinde çevre yönetimiyle ilgili kararlar mevcuttur. 1983 yılında yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanunu, kirliliği kaynaktan önleme, çevreye zarar verecek faaliyetleri yasaklama, çevresel etki değerlendirme çalışmalarını destekleme, doğal bölgeleri koruma, çevre yönetimiyle ilgili

yönetmelikler çıkarma ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik edici çevresel bir araç olarak kirlilik önleme fonunu oluşturma gibi bir dizi önlemi ortaya koymaktadır. Çevre Kanunu'nun etkin bir şekilde uygulanması için bütün yönetmelikler yürürlüğe sokulmuş, 1980'li yıllarda, Hava Kirlenmesi Kontrolü, Su Kirliliği Kontrolü, Gürültü Kirliliği Kontrolü yönetmelikleri, 1991 yılında Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Buradan yola çıkarak, ülkemizde çevre kirliliğini önleyecek ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlayacak yasal bir altyapının hemen hemen eksiksiz olduğu sonucunu çıkartmak mümkündür. Buna rağmen sorunlar teoride olmayıp, uygulama aşamasında ortaya çıkmaktadır. Bu da hızla artan ve gittikçe büyüyen çevre problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre katı atık, üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru olarak tanımlanmıştır. Aslında çöp olarak atılan hemen hemen her şeyin bir kullanım imkanı vardır. Geri dönüşebilen atıkların kaynağında ayrılarak tekrar ekonomiye kazandırılması birçok gelişmiş ülkenin çevre politikası içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle atık yönetim kavramının iyi bir şekilde uygulanması, katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğini asgari düzeye indirgeyeceği gibi, ülke ekonomisine de katkıda bulunacaktır.

Katı atık yönetimi kavramının ortaya çıkmasıyla beraber çeşitli atık bertaraf stratejileri geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak yakma, düzenli depolama, kompostlaştırma, anaerobik çürütme, pulverisasyon, piroliz ve geri kazanım uygulamalarıdır.

Yakma, kompostlaştırma ve geri kazanım yöntemlerinin yaygın olduğu ülkelerde bile bu uygulamalardan sonra geri kalan atık maddeler için de depolama ihtiyacı bulunmaktadır (Ekinci, 1990). Bu nedenle, seçilen bertaraf yöntemi ne olursa olsun, düzenli depolama işlemi tüm bertaraf uygulamalarının vazgeçilmez bir unsurudur. Düzenli depolama uygulamalarında ise en önemli unsur depolama yapılacak uygun alanın seçimidir.

Sonuç olarak, ülkemizde uygun yerleşim yerleri sağlamak, iyi projelendirilmiş alt yapı sistemleri kurmak, arıtma tesislerine hız vermek, su havzalarının yönetim planlarını hazırlamak, kirletici özelliği yüksek sanayi kuruluşlarını yerleşim bölgelerinden yeterli uzaklıklarda kurmak, temiz enerji yöntemlerine yönelmek, atık miktarını azaltmak ve geri kazanımını sağlamak için gerekli düzenlemeler yapmak uygun ve kaçınılmaz çözüm alternatifleri olacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Çağın gerektirdiği modern teknolojiye bağlı olarak gittikçe artan katı atıklar, toplum sağlığına yaptığı olumsuz etkiler nedeniyle gelişmekte olan bir çok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de önemli çevre problemlerinden birini oluşturmaktadır. Bu nedenle atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Doğu Karadeniz Bölümü’nde genellikle evsel ve endüstriyel nitelikli katı atıklar, düzensiz olarak depolanmaktadır. Bu denetimsiz depolamada gerekli önlemlerin alınmamış olması, çevre sağlığını tehlikeye sokmaktadır. Genellikle evsel nitelikli katı atıklarla birlikte uzaklaştırılan endüstriyel nitelikli katı atıklar, içerdikleri ağır metaller nedeniyle kanserojen riskler taşımaktadır. Bu yüzden katı atık depolama alanlarında acil olarak çevre kirlilik analizlerinin yapılması, kirlilik boyutlarının belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle, son yıllarda toplumların katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği bilincinin artması katı atık yönetim kavramını ortaya çıkarmıştır. Katı atık yönetimi, atıkların üretimi, toplanması, nakliyesi, depolanması, bertarafı, geri kazanımı ve onlardan enerji elde edilmesi ile ilgili bir uygulamadır. Günümüzde katı atık yönetimi, mühendislik prensiplerinin yanı sıra ekonomik ve sosyal durum, yerel ve bölgesel planlama gibi faktörlerle de ilişkili bir aktivitedir. Bu nedenle, kamu tutumunu ve ilgisini gözardı eden geçmişteki mühendislik çalışmaları artık kabul görmemektedir.

Bu çalışmanın amacı, Trabzon İli’nde mevcut katı atık bertaraf sistemi ve aksaklıkların incelenmesi, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) konumsal analiz özelliklerinden yararlanılarak Trabzon İli için uygun düzenli depolama alanlarının belirlenmesi, uygulanan güncel metotlar ile çevre kirliliğinin önlenmesi ve eski bir çimento hammadde ocağı olan Düzyurt açık işletme sahasının düzenli depolama için uygun olup olmadığının jeoteknik açıdan araştırılmasıdır.

1.3. Düzenli Depolama Kavramı

Düzenli depolama, atıkların koku çıkarmasını, estetiği bozucu görünüşlerini, hastalık taşıyıcı mikroplarının çevreye dağılarak çevre sağlığını tehdit etmesini en basit ve ucuz şekilde önlemek için yeraltına belli mühendislik prensiplerine uygun olarak gömülmesi işlemi olarak tanımlanabilir (Baştürk, 1976).

Günümüzde ise, bu tanım katı atıkların, kamu baskısını ve yer seçim kriterlerini mühendislik anlayışıyla dikkate alarak belirlenen uygun alanlarda, yeraltısuyunun ve topografyanın özelliklerini göz önünde bulundurarak önceden belirlenen tekniklerle yeraltına gömülmesi, atıklardan oluşacak sızıntı suyunun ve gaz emisyonların kontrolü ve depolama işlemi tamamlandıktan sonra belli periyotlarda depolama alanının çevre kirliliği açısından takibi işlemlerinin tümü olarak tanımlanabilir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

Düzenli depolama, katı atıkların bertarafı için uygulanan ilk ve en yaygın yöntemdir. Günümüzde zaman zaman ikinci planda düşünülse de, diğer tekniklerde geriye bertaraf edilmesi gereken kalıntılar kalması nedeniyle, düzenli depolama tek nihai katı atık uzaklaştırma yöntemi olarak kabul edilmektedir (Baştürk, 1976; Karpuzcu, 1984, 1985; Sürücü, 1990).

1.3.1. Düzenli Depolama Yöntemleri

1980'li yıllara kadar, farklı katı atık türlerine göre bir çok düzenli depolama tekniği geliştirilmesine karşın, 1984 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde ortaya atılan ve Kaliforniya sınıflama sistemi olarak adlandırılan düzenli depolama sınıflama sistemi, belki de dünyada en yaygın olarak kullanılan sınıflama sistemidir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002). Bu sisteme göre katı atık tipleri düşünüldüğünde, üç farklı tür düzenli depolama şekli söz konusudur (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Katı atık türüne göre sınıflanan düzenli depolama tipleri

Depolama Sınıfı	Atık Tipi
I	Tehlikeli ve radyoaktif atıklar
II	Tanımlanmış atıklar
III	Kentsel (evsel) katı atıklar

Tablo 1.1.'de üçüncü sınıf atık grubuna giren kentsel (evsel) katı atıkların düzenli depolanması için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar hendek (çukur), rampa, alan ve kanyon (vadi) yöntemleridir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

1.3.1.1. Hendek (Çukur) Yöntemi

Bu yöntem uygun arazi bulunduğu takdirde, örtü malzemesinin temininin açılan çukurlardan sağlanabilmesi koşuluyla ve yeraltısu tablasının yüzeye yakın olmaması durumunda uygulanabilir. Tipik olarak katı atıkların zemin içinde birbirine paralel olarak açılan çukurlara gömülmesi esasına dayanır (Şekil 1.1a). Çukur açılması sırasında elde edilen malzeme, katı atıkların üzerini günlük ve nihai olarak kaplamak üzere kullanılır. Kazılmış alanın tabanı, sızıntı suyu ve gaz hareketini minimuma indirmek için sentetik membran, kil veya ikisinin kombinasyonu ile kaplanır. Çukurlar genellikle kenar eğimi 2:1 veya 3:1 ve kenar uzunluğu 30 metre olan kareler şeklinde açılır. Bir hücrenin derinliği 90-300 cm arasında değişmektedir.

1.3.1.2. Alan Yöntemi

Düzenli depolama yapılacak alan, atıkların depolanması için çukur kazılmayacak bir yapıda ise ve katı atıkların üzerini örtecek malzemenin başka alanlardan temini söz konusu olduğunda, alan yöntemi uygulanır (Şekil 1.1b). Yöntemde depolama yapılacak alanın düz veya düze yakın olması gerekmektedir. Genellikle yeraltısu potansiyelinin fazla ve yer altı suyu tablasının yüzeye yakın olması durumunda tercih edilir. Bu yöntem, katı atıkların üzerini örtecek malzemenin başka alanlardan getirilmesi söz konusu olduğu için, başka bir düzenli depolama yönteminin uygulanamayacağı durumlarda tercih edilir.

1.3.1.3. Rampa Yöntemi

Arazi eğiminin katı atık depolanmasına elverişli olması durumunda ve depolanan atığın üstünün kaplanmasından sonra oluşacak eğimin, yeni depolamaya uygun hale getirilebilmesi durumunda rampa yöntemi uygulanır (Şekil 1.1c). Bu yöntemde depolama yapılacak alanın düz olması gerekmez. Kazı söz konusu olmadığı için örtü malzemesi farklı bölgelerden temin edilir.

1.3.1.4. Kanyon (Vadi) Yöntemi

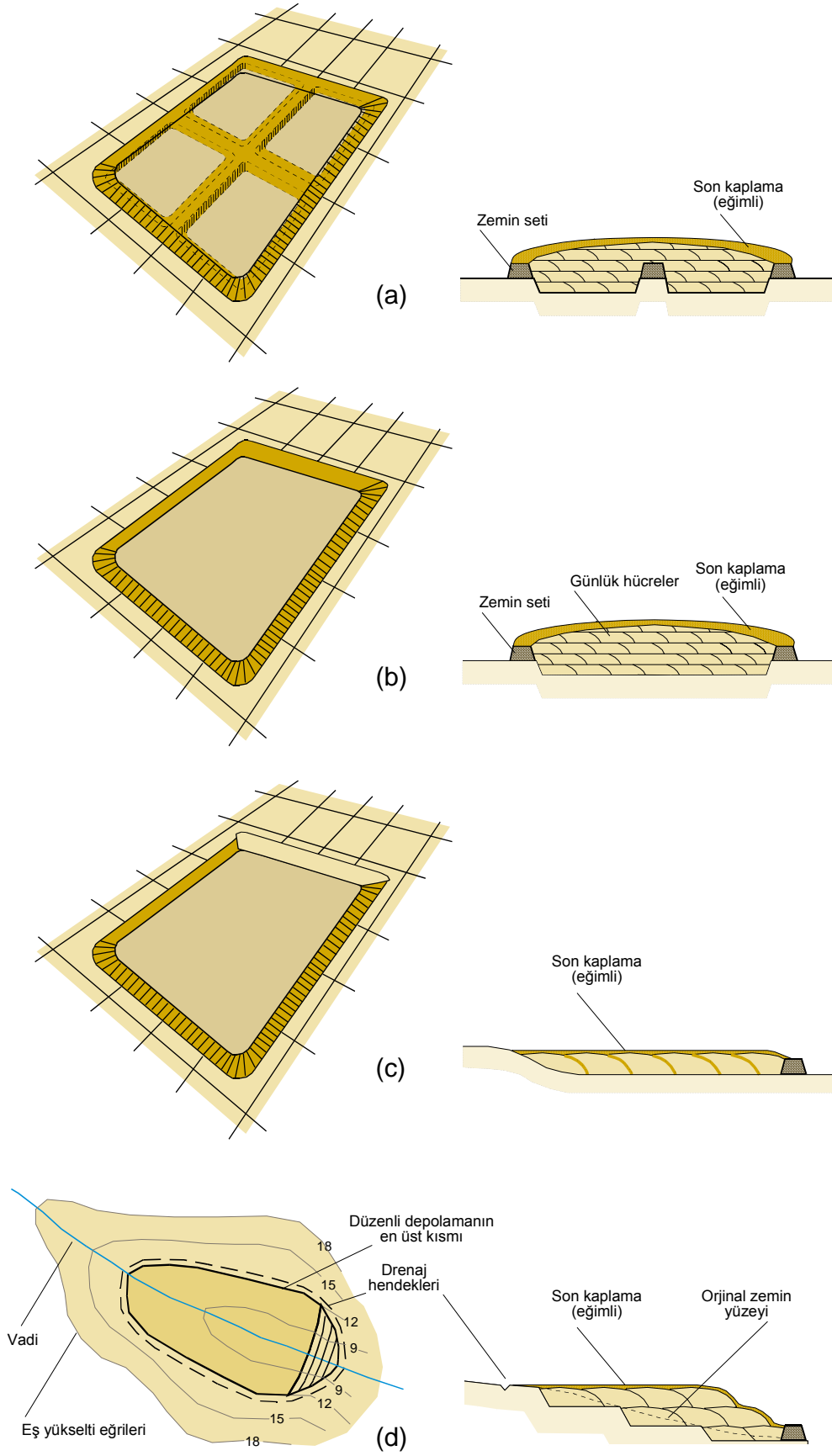
Kanyonlar, derin vadiler, doğal veya yapay çukurlar ve taş ocakları düzenli depolama alanları için kullanılabilirler (Şekil 1.1d). Yüzey drenajının kontrolü, bu yöntemde en önemli problemdir. Genellikle depolama işlemi vadi veya kanyon tabanından başlayarak en üst noktada son bulur. Dolgu işlemi, vadi veya kanyon tabanı düz ise hendek (çukur) yönteminde olduğu gibidir.

1.3.2. Düzenli Depolama Yeri Seçimi

Katı atık yönetiminde gerek kamu gerekse özel kuruluşlarının karşılaştığı güçlüklerin en önemlisi, depolama yapılacak uygun alanın seçimidir. Düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin ve önem derecelerinin belirlenmesi katı atık yönetiminin vazgeçilmez bir unsurudur. Bu kriterler başlıca aşağıdaki gibi sıralanabilir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002):

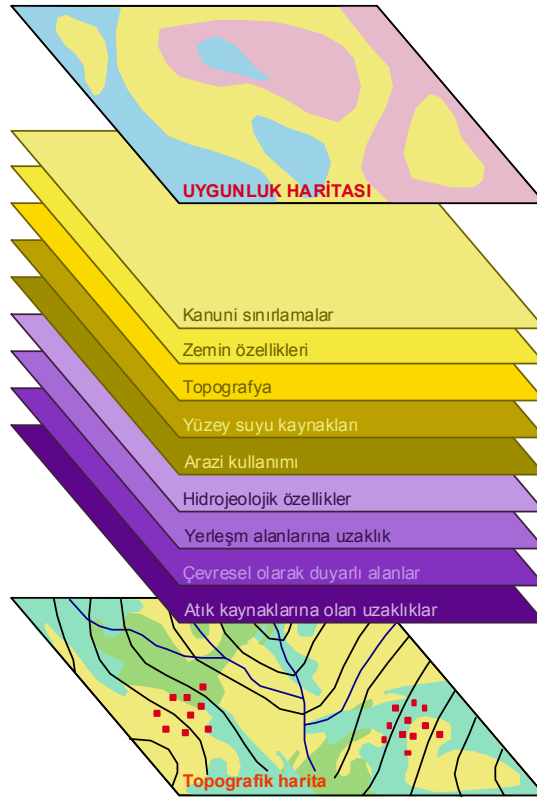
- Taşıma mesafesi
- Yasal sınırlamalar ve yersel çevresel faktörler
- Mevcut arazi potansiyeli ve arazi kullanımı
- Ulaşım
- Nüfus yoğunluğu
- Topografya ve zemin yapısı
- İklimsel koşullar
- Yüzey suyu hidrolojisi
- Jeolojik ve hidrojeolojik faktörler

Bu kriterlerin tamamı veya bir kısmı dikkate alınarak birçok yer seçim yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler, checklist yöntemi (Dee ve Drobny, 1972), lineer vektör yaklaşımı (Zieman, 1971; Odum vd., 1972; Whitlatch, 1976), lineer olmayan vektör yaklaşımı (Dee ve Drobny, 1972; Dee vd., 1973; Whitlatch, 1976), ekonomik (Mc Bean vd., 1995) ve kartografik yöntem (Kao ve Lin, 1996) şeklinde sıralanabilir. Günümüzde en çok uygulanan yöntemler puanlama yöntemleridir. Birkaç alternatif alan, çeşitli kriterlere göre puanlanarak en uygun depolama alanı belirlenir.



Şekil 1.1. Düzenli depolama yöntemleri: hendek yöntemi (a), alan yöntemi (b), rampa yöntemi (c) ve kanyon yöntemi (d)

Puanlama kriterleri, önem sırasına göre kendi içinde bağımsız olarak düşünülür ve en yüksek puana sahip olan alan, düzenli depolama alanı olarak seçilir. Bu yöntemlerin belirsizliği verilen puanların göreceli olarak belirlenmesinden ve kriterlerin kendi içinde bağımsız olarak düşünülmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yöntemlerdeki belirsizlikleri ortadan kaldıran yeni geliştirilmiş yöntemlerde ise, kriterlerin birbirleriyle olan ilişkileri dikkate alınarak puanlama yapılır. Her alt grup, üst grup puanına göre değerlendirilir. Bunlar, matris (Leopold vd., 1971) fuzzy (Zadeh ve Tanaka, 1975) ve analitik hiyerarşi (Saaty, 1980) yaklaşımlarıdır. Kartografik yöntem, düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin harita ortamında yorumlanması esasına dayanır. Yer seçiminde CBS uygulamaları zamanın optimum şekilde kullanılmasını ve gelecekteki depolama alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmaların hazırlanmasını kolaylaştırır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarda katı atık yönetiminde CBS'nin konumsal analiz teknikleri kullanılmaya başlanmıştır (Barlaz vd., 1989; Baldasano vd., 1999; Blight ve Fourie, 1999). CBS uygulamalarında uygunluk haritası, oluşturulan tüm haritaların konumsal analiz modülleri yardımıyla çakıştırılması (overlay) sonucunda elde edilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Düzenli depolama yeri seçiminde üzerleme/çakıştırma yönteminin kullanılması (Barlaz vd., 1989).

1.4. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

1.4.1. Coğrafik Durum ve Arazi Kullanımı

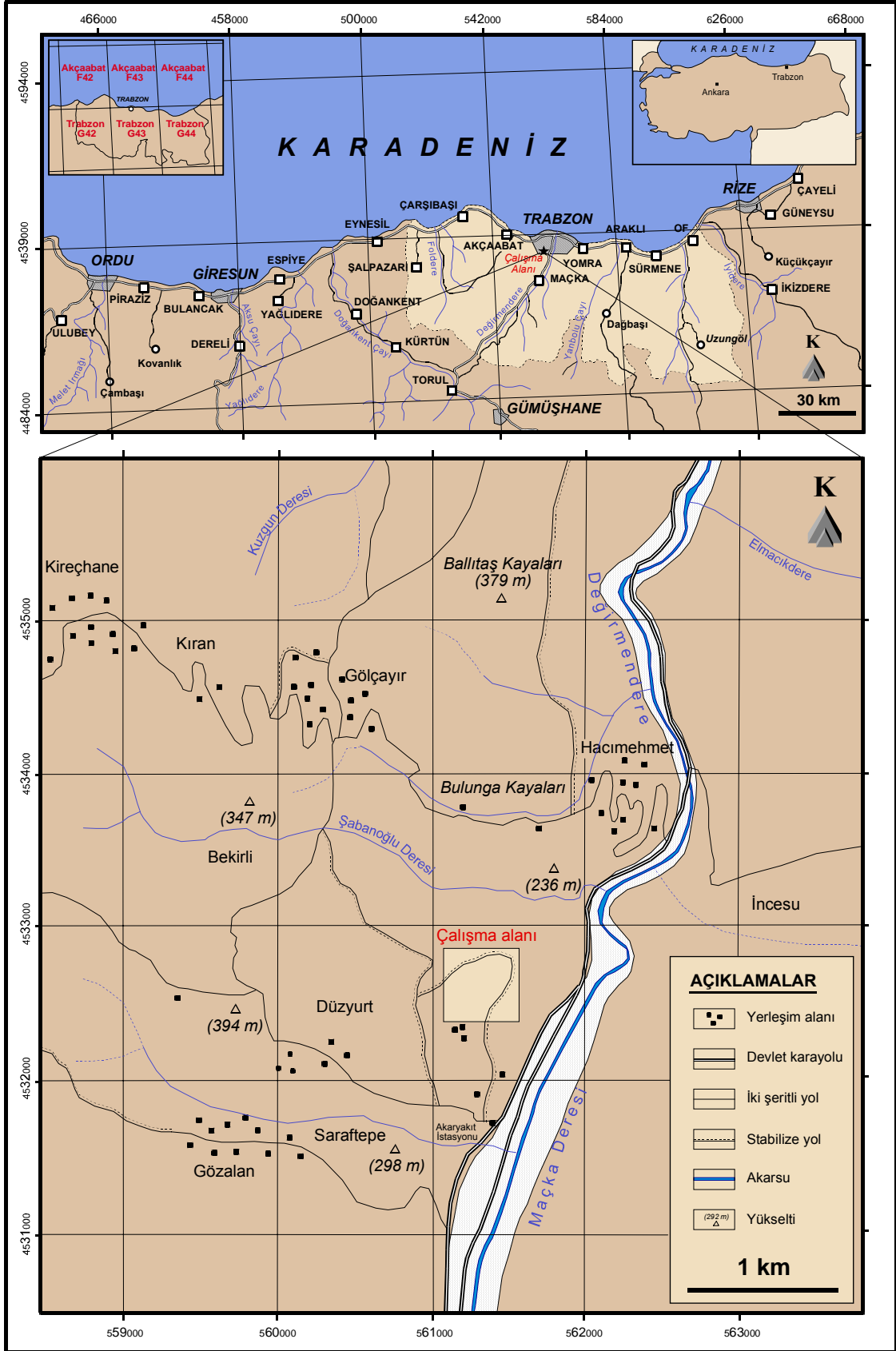
Trabzon İli, Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde ve 1/100000 ölçekli Akçaabat F42 ve F43, Trabzon G42, G43 ve G44 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.3).

İlde deniz kıyısına paralel yüksek sıradağlar hakimdir. Doğu-Batı doğrultusundaki bu dağlar, Karadeniz kıyısının hemen gerisinde uzanmaktadır. Bu nedenle kıyı bölgelerde düz alanlar kısıtlıdır. Nüfusun çoğu dağlar ve kıyı şeridi arasında kalan dar ve düzlük alanlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte, sahile dik vadiler boyunca da yerleşim görülmektedir. Belli alanlardaki kısıtlı tarım uygulamalarına karşın biyolojik çeşitlilik açısından zengin ve değerli orman kaynakları bu doğal yapının bir sonucudur.

Doğu Karadeniz Bölümü'nün toplam alanı içerisinde tarım alanının payı 1996 yılı verilerine göre yaklaşık %15'dir (Nippon Koei Co., Ltd., Recs International Inc., 2000). Bölge geneli bu değerle % 35'lik ülke ortalamasının çok altındadır. Ancak bu pay kıyı illerinde % 35, Trabzon İli'nde de yaklaşık % 34 civarındadır (Tablo 1.2). İlde tarım arazisi payının düşük olmasının sebebi coğrafik koşulların uygun olmayışdır.

Tablo 1.2. Trabzon İli toprak kullanımı (Nippon Koei Co., Ltd., Recs International Inc., 2000).

Toprak Kullanımı	Doğu Karadeniz (hektar)	Trabzon (hektar)	Trabzon İli'nin Bölge İçindeki Oranı (%)
Tarım Arazisi	744006	159230	34
Çay ve Fındık	459918	89161	
Bağ ve Bahçeler	9	-	
Sulanan Arazi	12696	1599	
Sulanmayan Arazi	271383	68470	
Orman Arazisi	914991	176040	37.5
Orman	806231	154495	
Fundalık	105780	21545	
Çayır ve Meralar	389016	120672	25.7
Kullanılmayan Alan	93416	8074	1.8
Yerleşim Alanları	12091	4437	1
Suyla Kaplı Alan	458	40	
Toplam	2153978	468493	



Şekil 1.3. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bölgedeki araziler, tarımsal verimlilik açısından 8 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 1.3). Bu sınıflar, erozyon tehlikesi, toprağın nemliliği ve fizyolojik özelliklere göre belirlenmiştir. Birinci sınıfta yer alan topraklar tarım için en uygun arazilerdir. Buna karşın 8. sınıfta yer alan arazilerde ise herhangi bir ürün yetiştirmek mümkün değildir Trabzon İli'nde, toprağın ve arazinin olumsuz özelliklerinden dolayı genel olarak tarım yapılamayan 7. sınıf arazilerin hakim olduğu görülmektedir. Bu araziler ilin yaklaşık % 63'ünü kaplamaktadır.

Tablo 1.3. Trabzon İli arazi sınıflaması (Nippon Koei Co., Ltd., Recs International Inc.,2000).

Verimlilik Sınıfı	Trabzon	Toplam Arazi İçindeki Oran (%)
I	0	0
II	17	0.36
III	39	0.83
IV	215	4.6
V	0	0
VI	1382	29.5
VII	2927	62.5
VIII	59	1.26
Bilinmeyen	44	0.95
Toplam (km²)	4683	

1.4.2. Yerleşim ve Ulaşım

Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki şehir merkezlerinin çoğu kıyı şeridinde yer almaktadır ve kırsal yerleşmeler büyük alanlara dağılmıştır. Bölgede 2714 adet köy bulunmaktadır. Yaklaşık 1.5 milyon olan kırsal nüfus, köy sayısına bölünerek, ortalama köy nüfusu 550 olarak tespit edilmiştir. Bu dağınık yerleşim yapısı, sosyal hizmetlerin ulaştırılmasının pahalı olmasına ve yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Trabzon İli'de, bölgenin tipik yerleşim ve ulaşım yapısını yansıtmaktadır.

İlde tek ulaşım hattı doğu-batı doğrultusunda uzanan devlet karayoludur. Kuzey-güney istikametinde geçiş kapasitesi ise çok sınırlıdır. Birçok dar dağ yolu ana sahil yolundan güneye doğru uzanmaktadır. Bu yollar köyleri sahildeki şehir ve ilçelere bağlamaktadır. Bu durum, doğu-batı yönündeki yüksek dağ sıralarının şekillendirdiği sert topografyanın bir sonucudur.

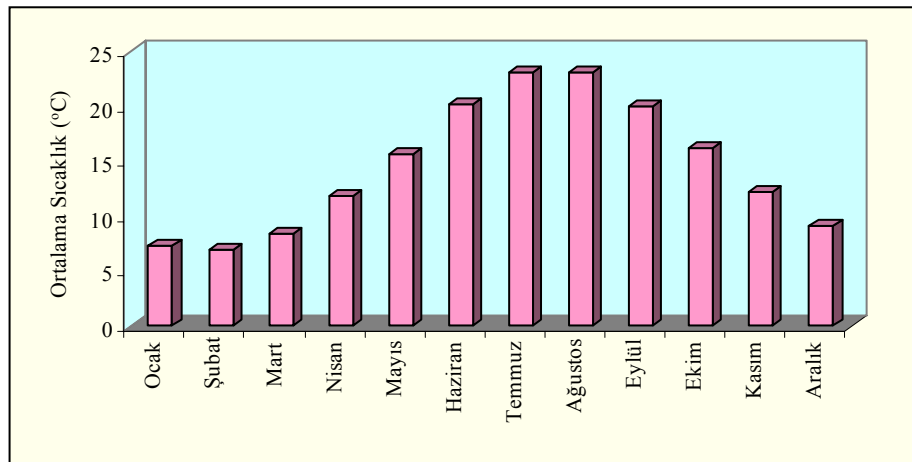
1.4.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Doğu Karadeniz Bölümü kıyı şeridinde yazlar sıcak, kışlar ılık ve her mevsim yağışlı bir iklim hakimdir. Aylık ortalama sıcaklık kıyı bölgesindeki illerde hemen hemen aynıdır. Yıllık ortalama sıcaklık 13.7 °C ile 14.5 °C arasında değişmektedir (Nippon Koei Co., Ltd., Recs International Inc., 2000). Yıllık yağış miktarı ise bölge içinde farklılıklar göstermektedir. Batıda yıllık yağış yaklaşık 1000 mm iken, doğuda bu değer 2000 mm'nin üzerindedir.

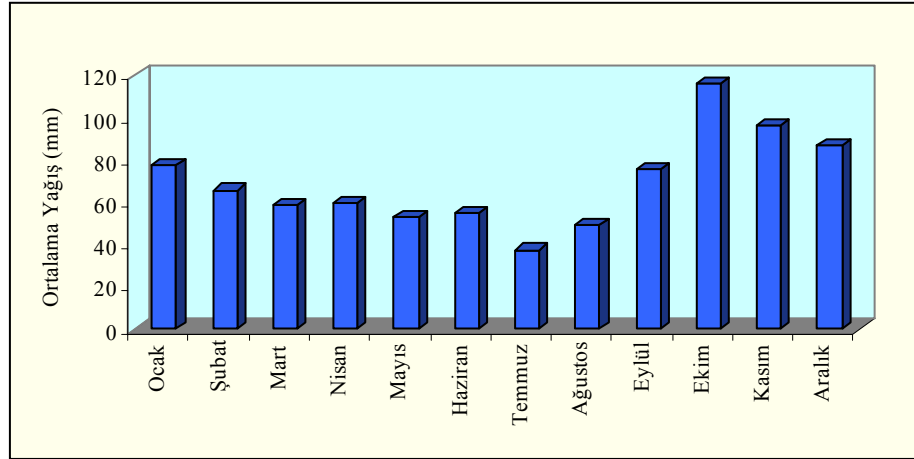
Bölgede, kıyı kesimlerdeki nem oranı iç kesimlere göre yüksektir ve iç kesimlerin aksine yazın yüksek kışın düşüktür. Trabzon İli ise 14.5 °C derecelik ortalama sıcaklığı ve 803.1 mm'lik yıllık ortalama yağış ve % 71 oranındaki nem değeriyle Doğu Karadeniz kıyı illerinin en sıcak, en az yağış alan ve en düşük nem yüzdesine sahip ilidir (Tablo 1.4, Şekil 1.4 ve 1.5).

Tablo 1.4. Trabzon İli'ne ait meteorolojik veriler (DMİGM, 2005; 1975-2004 yılları arası).

AYLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.3	6.9	8.4	11.9	15.7	20.2	23.1	23.1	20.0	16.2	12.3	9.2	14.5 (ort.)
Ortalama Yağış (mm)	77.5	65.7	58.6	59.5	52.9	55.1	37.3	49.0	75.3	116.5	96.2	86.5	830.1
Buharlaşma (mm)	35.9	37.7	51.2	63.3	80.6	105.5	116.5	107.8	82.5	60.3	46.2	41.1	828.6
Ort. Bağıl Nem (%)	66	67	70	74	76	74	74	74	73	72	68	65	71 (ort.)
Hakim Rüzgar Yönü	G	G	G	KD	KD	G	G	G	G	G	G	G	G
	GB	GB	GB			GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB



Şekil.1.4. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı



Şekil 1.5. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı

1.4.4. Bölgesel Jeoloji

Bölgede, genellikle Liyas'tan Eosen'e kadar belli zaman aralıklarında gelişimini sürdüren magmatik faaliyetlerin ürünleri olan magmatik kayalar ve magmatik faaliyetlerin durduğu dönemlerde çökelen tortul istifler yaygındır (Şekil 1.6). Bölgede, Doğu Pontidler Kuzey ve Güney Zon olmak üzere farklı litostratigrafik özellikler taşıyan iki ayrı zona ayrılmıştır (Ketin, 1966)

Bölgesel olarak, Paleozoyik, metamorfik kayalarla temsil edilmektedir ve bunlar temel kayaları oluşturmaktadır. Birim genellikle, gnays, mikaşist, kuvars-klorit şist ve metabazaltlardan oluşmaktadır (Ketin, 1951). Liyas yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenen temel kayaların yaşı, bölgesel metamorfizmanın yaşı ve stratigrafik konumu göz önünde bulundurularak Paleozoyik olarak kabul edilmiştir. Birim, Paleozoyik yaşlı granitler tarafından kesilmiştir (Yılmaz, 1972).

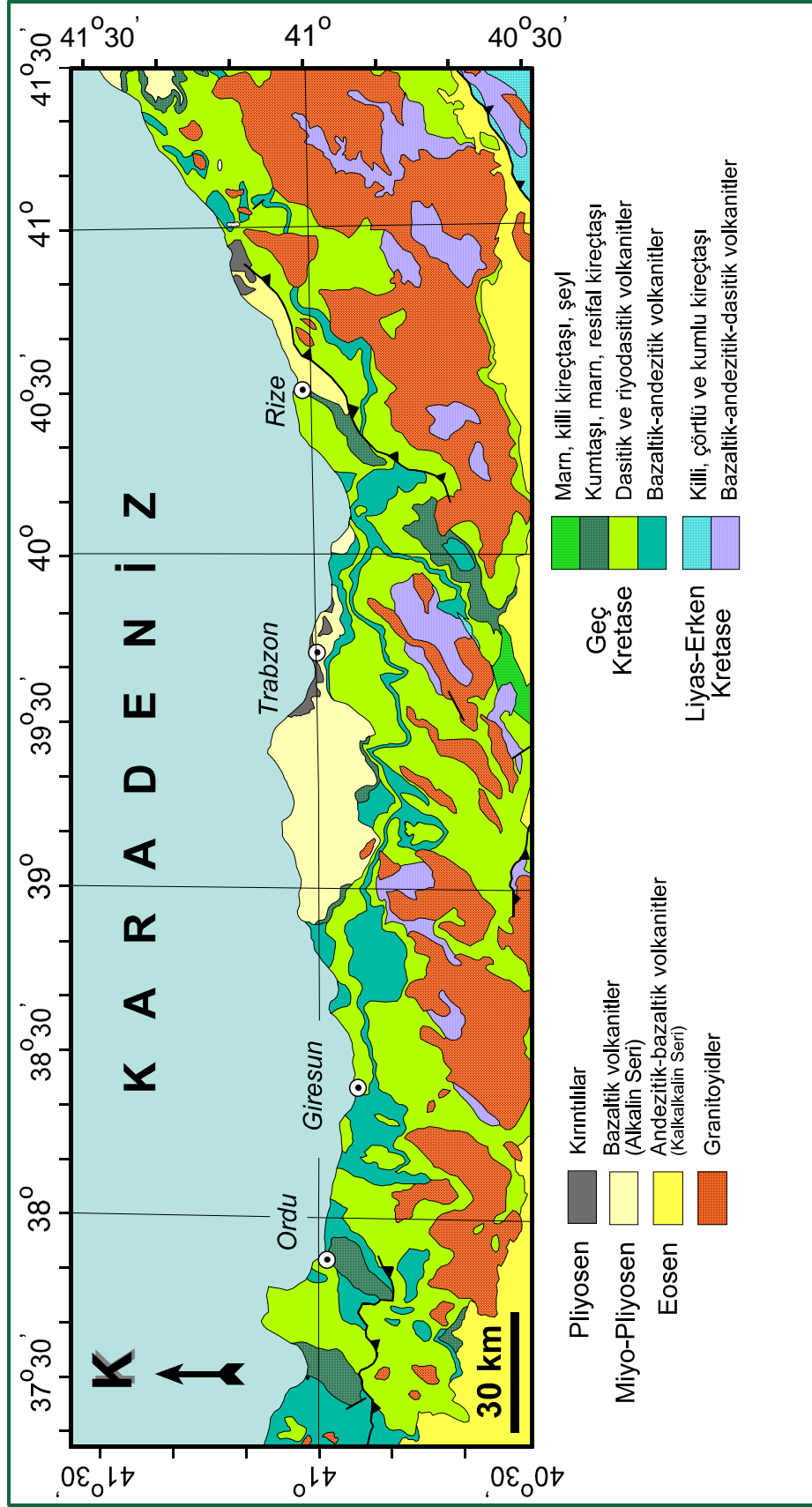
Çalışma alanı ve çevresinde Mesozoyik, Liyas, Geç Jura-Erken Kretase ve Geç Kretase yaşlı birimler yüzeyleme vermektedir. Liyas'ın volkanik, Üst Jura-Alt Kretase'nin platform karbonatlarıyla temsil edildiği bölgede Üst Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile karakteristiktir. Magmatik aktivitelerin yoğun olduğu Kuzey Zon'da kalın volkanik ve volkano-tortul istifler gelişirken, Güney Zon'da karbonatlı kayalar ve fliş karakterli tortul seriler çökelmiştir. Mesozoyik'in en alt seviyesinde her iki zonda da yüzeylenen volkano-tortul seri (Ağar, 1977) genellikle, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitlerinden oluşmuştur ve birimin kalınlığı 500 metrenin

üzerindedir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenen birimin yaşı, stratigrafik konuma, bölgesel deneştirme sonuçlarına ve fosil bulgulara dayandırılarak Liyas olarak kabul edilmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Ağar, 1977).

Bölgede, volkanik birimler arasında yer alan platform karbonatlarının kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir ve bu seri her iki zonda da yüzeylenmektedir. Birim Kuzey Zon'da daha masif yapılı killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapan kireçtaşları, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı, bölgesel korelasyona ve paleontolojik bulgulara dayandırılarak Üst Jura-Senomaniyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993, 1998).

Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeylenen flişler kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir ve bu birimin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bazik karakterli genellikle kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatlı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil tanımlamalarına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir. Asidik karakterli riyodasit, dasit ve proklastitlerden oluşan birim ise yer yer tuf, aglomera ve breş arakatlıları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur. Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katlı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik kayalar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. 100-200 metre kalınlığında olan birimin yaşı, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1.6. Doğu Karadeniz Bölümü'nün geliştirilmiş jeolojik haritası (Güven, 1993)

Bunları uyumlu olarak üzerleyen seri ise tortul kayalardan oluşmaktadır (Güven, 1993). Bu birim genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Kalınlığı 200-250 metre arasında olan birimin yaşı, fosil bulgularından yararlanılarak, Maastrichtiyen-Erken Paleosen olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında sadece Kuzey Zon'da yüzeyleyen resifal kireçtaşları (Güven, 1993) 150-200 metre kalınlığındadır ve Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı birimler ile yanal geçişlidir ve Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nün doğu kesimlerinde yer alan Kaçkar Dağları, Doğu Pontid Kuzey Zonu içerisindeki granitoidlerin en fazla yüzeylendiği bölgedir. Bu bölgede, genellikle Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan intrüzyon kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır. Üst Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayalarda kontakt etkiler yapmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinde Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısız uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birim, kumlu ve killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içeren ve Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir (Güven, 1993).

Tüm bu birimlerin üzerine Kuvaterner yaşlı taraçalar ve alüvyonlar gelmektedir.

1.5. Literatür Özeti

Geçmişte katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği, nüfusun az, kullanılabilir arazi miktarının fazla olması nedeniyle önemli bir çevre problemi olarak görülmemektedir. Ancak son yıllarda artan nüfus, gelişen endüstrileşme ve buna bağlı olarak kullanılabilir arazi miktarının azalması, katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin büyük boyutlara ulaşmasına ve insanların bu konuya hassasiyetle önem vermesine yol açmıştır.

Türkiye'de, çevre kirliliği ile ilgili çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Katı atıklar konusunda modern uygulamalara ancak 1983 yılında yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanunu ile geçilmiştir. Daha sonra 14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı Resmî

Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile Türkiye’de katı atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi ile ilgili yasal düzenlemeler getirilmiştir. Yönetmelik, belediyelere, katı atıkları fiziksel bileşimine göre ayrı ayrı toplama ve bu konuda gerekli tedbirleri alma, tüketicilere de geri kazanma konusunda yapılacak çalışmalara katılma zorunluluğu getirmiştir.

1.5.1. Katı Atık Yönetimi ile İlgili Genel Çalışmalar

Baştürk (1976), İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi’nde yapmış olduğu doktora tezinde, laboratuvar tesislerinde katkı maddesiz, evsel katı atıklar ile arıtma çamurundan yararlanarak kompostlaştırma işlemi üzerine etki eden faktörleri sistemli olarak değerlendirmiş, bu bilgileri şekil ve grafiklerle açıklamıştır.

Tabasaran (1978), İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi’nde, katı atıkların toplanması, uzaklaştırılması ve zararsız hale getirilmesi hakkında çalışmalarda bulunmuştur.

Patrick (1979), katı atıklarla ilgili yapmış olduğu çalışmaları derleyip, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi’nde, Katı Atık Teknolojisinde Gelişmeler adı altında kurs notları yazmıştır.

Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi (BOUN), 1990 yılında Boğaziçi Üniversitesi’nde katı atıkların tanımı, toplanması ve uzaklaştırılmasına yönelik bir kurs vermiş ve kurs notlarını bir kitapçık halinde derlemiştir. Kurs boyunca, katı atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri, düzenli depolama, yakma, kompostlaştırma ve atıklardan kaynaklanan kirlilik üzerine tartışmalar yapılmıştır.

Karagüzel ve Irlayıcı (1993), yerleşim merkezlerindeki şehir kanalizasyon sularının ve çöp döküm sahalarının Isparta İli için en büyük potansiyel kirletici unsur olduğunu belirlemişlerdir. Kanalizasyon deşarj ve çöp döküm sahalarına ait ÇED raporlarındaki eksikliklerden yola çıkarak, jeoloji mühendisleri açısından ÇED raporlarının hazırlanmasına yönelik Isparta İli’ni kapsayan bir çalışma hazırlamışlardır.

Kulein ve Ergun (1993), Samsun-Alaçam İlçe Merkezi katı atıklarının bileşimi hakkında çalışmalarda bulunmuş, evsel ve diğer kentsel faaliyetlerden kaynaklanan katı atıkların karakterleri ve miktarlarının, lokal şartlardan, meteorolojik özelliklerden, özelliklede sosyo-ekonomik faktörlerin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra,

katı atık yönetimindeki ilk ve temel çalışmanın katı atıkların bileşiminin belirlenmesinde olduğunu vurgulamışlardır.

Akbulut (1995), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, katı atıklardan kaynaklanan kirlilik probleminin çözümünde temel oluşturan, katı atık depolama alanlarının jeoteknik yönden değerlendirilmesini yapmış, doğal ve sentetik şilte sistemlerini, sızıntı toplama ve uzaklaştırma tesislerini, depo gazı toplama kuyularını ve örtü tabakası sistemlerini incelemiştir.

Kayabalı ve Ünsal (1995), yapmış oldukları çalışmada, Mamak (Ankara) katı atık depolama sahasının düzenli depolama sahasına dönüştürülebilirliğini jeolojik ve jeoteknik açıdan incelemiştir. Mevcut sahadaki formasyonların mühendislik özelliklerini (hidrolik iletkenlik, katyon değiştirme kapasitesi vb.) araştırmışlar, bölgenin topografyasını dikkate alarak bir düzenli depolama dizaynı sunmuşlardır.

Ergun vd. (1995), Bafra (Samsun) İlçesi'nde yapmış oldukları çalışmada, katı atık sorununun çözümüne basamak oluşturması amacıyla kentsel katı atıkların miktar ve bileşimlerini belirlemiştir. İncelemede, ilçe katı atıklarının çeşitli sosyo-ekonomik yapıdaki bölgelere ve mevsimlere göre değişim gösterdiğini belirlemiştir.

Coşkuner (1996), Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, Sivas İli için alternatif depolama alanlarının seçilmesi ve projelendirilmesine yönelik çalışmalarda bulunmuş ve seçilen depolama sahasında, projelendirme süresi olarak tespit edilen 30 yıl zarfında oluşacak katı atıkları depolamak için yeterli hacmin bulunduğunu belirlemiştir.

Abacı (1997), yapmış olduğu çalışmada katı atık depolama alanlarının hidrojeolojik açıdan değerlendirmiş, düzensiz veya düzenli depolama sistemlerinin her ikisinde de depolanan atıkların kendi bünyelerinden veya yağışlardan atık içerisine giren suların sızmasından kaynaklanan bir sızıntı suyu akımının geliştiğini ve katı atık depolama alanlarında meydana gelen en önemli çevre kirliliğinin sızıntı sularından ileri geldiğini belirtmiştir.

Kaya vd. (1999), katı atık depolama alanlarının oluşturduğu toprak ve yeraltısuyu kirliliğini, hidrojeolojik, toprak kimyası ve özdirenç yöntemleriyle araştırmış, Isparta Belediyesi katı atık depolama sahası çevresinde gelişen sızıntı sularının son derece kirliliği ve sızıntı suyu akım yönünün yer altı sularına doğru olduğunu, ancak henüz yer altı suyu kirliliğinin gerçekleşmediğini jeofizik yöntemlerle tespit etmişlerdir.

Yeşilnacar (2000), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, tehlikeli nitelikli katı atıkların uygunsuz olarak depolandığı GAP Bölgesi'nde düzenli depolama yer seçimi hakkında çalışmalar yapmıştır. Çalışmaların sonucunda nihai yer seçim haritası oluşturmuş ve bu haritanın değerlendirilmesi sonucunda, bölge yer seçimi açısından 5 ayrı sınıfa ayrılmıştır.

Özçakıl (2001), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, katı atık düzenli depolama alanlarından elde edilen depo gazının özelliklerini, toplanması ve kullanma metotlarını incelemiştir. Türkiye genelinde nüfusu 500.000'den fazla olan illerdeki depo gazı potansiyelini araştırmış, dünyada kurulmuş tesislerden örneklere dikkat çekerek, ülkemizin durumunu dünya geneliyle karşılaştırmış ve bunun sonucunda Türkiye'nin bugün itibarıyla depo gazı teknolojisini geriden takip ettiğini belirlemiştir.

Samsun Büyükşehir Belediyesi, KFW (Almanya), Environmental Resources Management (ERM) ve KENTKUR'un ortaklaşa yürüttüğü projede, il için katı atık yönetimine ve fizibilite projelendirilmesine yönelik çalışmalarda bulunulmuş ve fizibilite çalışma raporu 2001 tarihinde tamamlamıştır. Raporda, yer seçimi ve seçilen uygun alanların projelendirilmesine yönelik çalışmalar olduğu gibi, il ve çevresinin coğrafik, iklimsel, topografik ve jeolojik bilgileri de bulunmaktadır.

1.5.2. Doğu Karadeniz Bölümü'nde Katı Atık Yönetimi ile İlgili Çalışmalar

Karadeniz Teknik Üniversitesi bünyesinde ve özel kuruluşlara verilen ihaleler sonucunda gerçekleştirilen çalışmalar dışında, Doğu Karadeniz Bölümü'nde katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğine yönelik çalışmalar kısıtlıdır:

Berkün vd. (1992), yaptıkları çalışmada, Doğu Karadeniz Bölümü'nde katı atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlemişler ve bu özelliklerden yararlanarak katı atıkların bertarafına yönelik çalışmalarda bulunmuşlardır.

T.C. Çevre Bakanlığı bünyesinde, Environmental Resources Management (ERM) ve Tugal Çevre Teknolojisi (TÇK) tarafından "Katı Atık Uygulama Çalışması: Türkiye Cumhuriyeti, Trabzon ve Rize için Atık Bertaraf Stratejisi" adlı çalışma yürütülmüş ve 1997 yılında nihai rapor sunulmuştur. Çalışma kapsamında, proje alanındaki katı atık yönetiminin mevcut durumu belirlenmiş, bölge için 10 yıllık bir plan dönemini kapsayan atık bertaraf projesi geliştirilmiş, plan dönemi boyunca bölgeye hizmet verecek düzenli

depolama alanları ve transfer istasyonları belirlenmiş, büyük alt yapı önerileri için ön çevresel değerlendirmeler yapılmış ve son olarak ta ayrı belediyeler için işbirliği stratejileri geliştirilmiştir. Proje kapsamındaki iki ana merkez arasındaki belediyeler, Darıca, Kavaklı, Akçaabat, Söğütlü, Yıldızlı, Akyazı, Çukurçayır, Yalınca, Yomra, Arsin, Araklı, Sürmene, Yeniay, Çamburnu, Of, Kıyıcık, İyidere, Der pazarı ve Gündoğdu belediyeleridir. Pilot proje için yapılan yer seçim çalışmaları sonucunda Sürmene Çamburnu'ndaki terk edilmiş eski maden sahasının bu proje kapsamında en uygun alternatif alan olduğu sonucuna varılmıştır. Çamburnu Beldesi'nin 4 km güneyinde yer alan sahaya kurulması planlanan ve 10 yıllık bir süreyle hizmet verecek olan tesisin, yöreye hiçbir zararı olmayacağı ve bakır madeninin alınması ile çukur haline gelmiş bu sahanın rehabilitesine katkıda bulunacağı belirtilmiştir.

Apaydın (1998), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu yüksek lisans tezinde Trabzon İli katı atıklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak alternatif bertaraf metotlarını karşılaştırmış, en uygun bertaraf metodunun düzenli depolama olduğunu belirlemiştir. Bunun yanı sıra, Trabzon İli evsel katı atıklarda geri kazanılabilir madde miktarını belirlemiştir.

İşseveroğlu ve Büyükgüngör (1998), Doğu Karadeniz sahil şeridinde seçilen 7 ayrı kirletici kaynaktan mevsimsel olarak örnekler almışlar ve bu örneklerde kirlilik parametrelerini belirlemiştir. Ayrıca, Trabzon İli Moloz Mevkii'nde denize deşarj edilen kanalizasyon sularının, ortamda oluşturacağı kararlı hal konsantrasyonları ve hesapla bulunan ortam konsantrasyonlarını karşılaştırmışlardır.

Gökbulut vd. (1999), Karadeniz Bölgesi'nde katı atıklardan kaynaklanan çevre sorunları ele almışlar, Samsun, Sinop, Ordu İl Merkezleri ile Bafra, Alaçam ve Ünye İlçe Merkezleri için katı atık miktarlarını belirlemiştir. Bölge genelinde, evsel katı atıkların bileşimlerini, toplanma ve taşınma şekillerini, bertaraf metotlarını tartışmışlar ve Karadeniz Bölgesi'ndeki en önemli çevre problemlerinden birinin katı atıklar olduğunu vurgulamışlardır.

Özbay (1999), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu doktora tezinde, katı atıklar için farklı bertaraf metotlarını karşılaştırmış, Doğu Karadeniz Bölümü'nde katı atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalarda bulunmuş ve katı atıkların deniz suyunda biyokimyasal oksidasyonuna metal zehirliliğinin etkilerini araştırmıştır.

Trabzon-Rize Belediyeler Birliği, KFW (Almanya), Tempo Mühendislik-Müşavirlik ve Environmental Resources Management (ERM) tarafından 2004 yılında tamamlanan “Trabzon-Rize Belediyeler Birliği Bölgesel Katı Atık Yönetim Sistemi” adlı çalışma sonucunda, ilde oluşan katı atıkların etkin şekilde toplanması, nakledilmesi ve transfer edilmesi işlemleri, geri kazanım ve atık azaltma uygulamaları hakkında bilgiler vermişlerdir. Bunun yanı sıra çalışmada, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak, uygun depolama alanları belirlenmeye çalışılmış ve CBS çalışmaları sonucunda uygun nitelikte depolama alanı bulunamamıştır. Bu nedenle, en uygun depolama alanının önceki çalışmalarda belirtildiği üzere Sürmene İlçesi’ndeki eski bir maden işletme sahası olduğu kabul görmüştür.

1.5.3. Katı Atık Yönetiminde CBS ile İlgili Çalışmalar

Katı atık yönetiminde uygun çöp depolama yeri seçimi uzun zaman alan bir uygulamadır. Bu yüzden yer seçiminde CBS’nin konumsal analiz özelliklerinin kullanımı zamanın optimum şekilde değerlendirilmesine olanak kılacaktır. Ülkemizde katı atık yönetimi üzerine CBS tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar çok kısıtlıdır. Gelişmiş ülkelerde ise son 10 yıl içerisinde bu tür çalışmalar hızlanmıştır.

Hrasna (1991), CBS destekli düzenli depolama yeri seçimiyle ilgili yaptığı çalışmada, ilk aşamada çevresel faktörlerden yararlanarak 1/200000 ölçekli haritalar oluşturmuş, ikinci aşamada, jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik faktörleri içeren 1/50000 ölçekli uygunluk haritaları oluşturmuştur.

Van der Wall vd. (1992), evsel katı atıklar için düzenli depolama yeri seçiminde, CBS ortamında 1/100000 ölçekli haritalardan yararlanmıştır. Konumsal analizlerde, heyelan, tektonik, volkanik tehlike ve jeoloji haritalarını kullanmış, bunun yanı sıra yer seçimine etkiyen kriterlerin, hidroloji, hidrojeoloji, jeoloji, taşıma mesafesi, yol ve yerleşim durumu, morfoloji, toprak kullanımı ve arazi potansiyeli gibi faktörlerin olduğunu ortaya koymuştur.

Irıgaray vd. (1994), düzenli depolama yeri seçiminde CBS tekniklerinden yararlanmış, CBS’nin konumsal modüllerinden iki kademede kullanmışlar, oluşturulan haritaların temelinde jeolojik, jeoteknik ve çevresel verilerden yararlanmışlardır. Düzenli depolama yeri seçiminde arazi eğiminin % 10’dan düşük olması gerektiğini belirtmişler,

eğimin % 30'dan yüksek alanların hiçbir şekilde düzenli depolamaya uygun olmadığını ortaya koymuşlardır.

Abellera (1996), yapmış olduğu çalışmada, katı atık düzenli depolama yeri seçiminde, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi tekniklerinden yararlanmıştır. CBS tekniklerinin, plan aşamasında olduğu kadar uygulama aşamasında da zamanın optimum şekilde kullanılmasını sağlayacağı sonucuna varmıştır.

Muttiah vd. (1996), katı atık depolama yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmışlar, yer seçiminde sayısal parametreler kadar, sosyal faktörlerin de önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Yomralıoğlu ve Akça (1999), yapmış oldukları çalışmada, Değirmendere Havzası'nın (Trabzon) coğrafi yapısı yanında, evsel atık ve sanayi atığı üretirek vadiyi kirleten suni yapılarla ilgili grafik-sözel bilgiler ve uydu görüntüleri değişik kaynaklardan toplanarak ARC/INFO-ArcView Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarıyla değerlendirilmiş ve havzanın sayısal modeli oluşturulmuştur.

Li vd. (1996), katı atıkların toplanmasına ve taşınmasına yönelik çalışmalarda coğrafi bilgi sistemlerinden (ArcView yazılımı) yararlanmışlardır.

Yagoub ve Buyong (2004), katı atıklar için düzenli depolama yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmışlardır. CBS tekniklerinin, katı atık yönetimindeki en büyük rolünün konumsal veri depolamada olduğunu ortaya koymuşlar, atık toplama ve transfer işlemlerinde de CBS tekniklerinin önemini belirtmişlerdir.

Catalano vd. (2004), katı atık yönetiminde, uygun depolama yeri araştırmalarında toplanan verilerin analizi ve yönetimi çalışmalarında coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmışlardır. Özellikle, yer seçiminde, coğrafik, jeolojik ve hidrolojik özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde CBS tekniklerinin önemini vurgulamışlardır.

Shrivastava ve Nathawat (2004), çalışmalarında, katı atık düzenli depolama yeri seçiminde, uzaktan algılama ve CBS tekniklerinden yararlanmışlardır. Bunun yanı sıra, CBS tekniklerinin kullanımının konumsal analizlerde, sorgulamaya yönelik çalışmalarda yararlı olacağını belirtmişlerdir.

1.5.4. Katı Atık Yönetiminde Fuzzy, Matris ve Analitik Hiyerarşi Yöntemlerinin Kullanılmasıyla İlgili Çalışmalar

Katı atıkların düzenli depolanması uzun yıllardan beri uygulanan bir yöntemdir. Günümüze kadar, tüm bertaraf uygulamalarında kamu sağlığı ve güvenliği ön planda tutulmasına karşın, modern depolama uygulamaları ancak son 10 yılda gündeme gelmiştir. Bunun yanı sıra, katı atık depolama yeri seçiminde, yer seçimine etki eden kriterlerin tespiti önemli bir aşamadır. Ülkemizde yer seçim kriterlerine verilen önem derecelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Buna karşın, gelişmiş ülkelerde, matris ve fuzzy yöntemleri gibi yer seçim kriterlerinin belirlenmesine ve yorumlanmasına yönelik yöntemler yaygındır:

Crawford and Smith (1985), Bagchi (1990), Pfeffer (1992) ve Tchobanoglous vd. (1993) yapmış oldukları çalışmalarda modern katı atık depolama uygulamalarına değinmişlerdir. Çalışmalarda, katı atık düzenli depolama yönteminin tespiti, yer seçimi ve yer seçiminde kamu tutumunun belirlenmesi, deponi gazı ve sızıntı suyu yönetiminin planlanması ve depolama işleminden sonra çevre düzenlemesinin yapılması konularına ayrıntılı olarak değinmişlerdir.

Mc Bean vd. (1995), yazmış oldukları kitapta, katı atıklar için düzenli depolama yeri seçiminde kullanılan yöntemleri karşılaştırmıştır. Bunlar, checklist yöntemi (Dee ve Drobny, 1972), lineer vektör yaklaşımı (Zieman, 1971; Odum vd., 1972; Whitlatch, 1976), lineer olmayan vektör yaklaşımı (Dee ve Drobny, 1972; Dee vd., 1973; Whitlatch, 1976), ekonomik (Mc Bean vd., 1995) ve kartografik yöntem (Kao ve Lin, 1996) şeklinde sıralanabilir. Bunun yanı sıra yer seçiminde önemli kriterlerin, depolama alanının heyelan ve sel potansiyeli bulunan alanlara uzaklığı, alanın çevresindeki yol durumu ve yeraltısuyunun konumuyla ilişkisi olarak tanımlamışlardır. Ancak bu yöntemlerde, düzenli depolama yeri seçimine etkiyen kriterlerin her yerleşim bölgesi için farklı önemde olabileceğini göz önünde bulundurulmamıştır.

Manoliadis vd. (2001), yapmış oldukları çalışmada, katı atık yer seçiminde matris yönteminden (Leopold vd., 1971) yararlanmışlardır. Bunun yanı sıra yer seçim kriterlerinin önem derecelerinin farklı bölgeler için farklı değerlere sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Gupta vd. (2003), katı atıklar üzerine yaptığı çalışmalarda, uygun düzenli depolama yeri seçiminde puanlamaya yönelik yöntemlerden yararlanmışlar, yer seçimine etki eden kriterleri önem derecelerine göre belirtmişlerdir. Sonuç olarak, tüm bu verilerden yararlanarak bir matris oluşturmuşlar, bu matrisi fuzzy yöntemi (Zadeh vd., 1975)

kullanarak çözmüşlerdir. Birkaç alternatif alan üzerinde uyguladıkları bu yöntemle, en uygun depolama alanını belirlemişlerdir.

1.5.5. Katı Atık Yönetiminde Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

Katı atık düzenli depolama yeri uygunluk haritaları ilk olarak, 1970’li yıllarda çeşitli bilimsel kuruluşlar tarafından hazırlanmaya başlamıştır. Özellikle United States Geological Survey (USGS) ve çeşitli üniversiteler tarafından hazırlanan uygunluk haritaları günümüzde hazırlanan haritaların temelini teşkil etmektedir. Bu haritalarda yer seçimine etkiyen kriterlerin başında, hidrojeolojik, jeolojik ve hidrolojik faktörler gelmektedir (Hackett ve McCamas, 1984).

Gartner (1979), septik sistemlerin depolanmasına yönelik yaptığı çalışmalarda, 1/100000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritalarından yararlanmış ve yer seçiminde zeminlerin yapısının, tipinin, permeabilitesinin, ve yer altı sularıyla ilişkilerinin önemli olduğu kadar, yüzey eğiminin de önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Van Driel (1982), yaptığı çalışmada, düzenli depolama yeri seçiminde zeminlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin önemine değinmiş, ekonomik faktörler ve kamu baskısının göz ardı edilmemesi gerekliliğini savunmuştur. Bunun yanı sıra, uygunluk haritalarının hazırlanmasında zemin kalınlığının ve permeabilitenin önemini vurgulamıştır.

Barisone vd. (1994), katı atık düzenli depolama yeri seçiminde, jeolojik formasyonların uygunluklarını bilgisayar destekli haritalarla yorumlamaya çalışmışlardır. Yer seçiminde düzenli depolama alanı yapılacak zeminlerin geçirgenliklerin önemli olduğu kadar, mineralojik özelliklerinin, katyon değiştirme kapasitelerinin ve formasyon kalınlığı ve homojenlik gibi fiziksel özelliklerin de önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Dorn ve Tantiwanit (1999, 2001), düzenli depolama yeri seçimi için dijital veri toplama ve değerlendirme haritaları geliştirmişler, bu haritalar yardımıyla potansiyel uygunluk haritaları hazırlamışlardır. Potansiyel bariyer kayaçlarının düşük permeabilitesi, düşük efektif poroziteli ve yüksek oranda kil ve silt içerikli olması gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Bariyer kayacın en az 5 m kalınlığında olması, zemin yüzeyinden itibaren 2 m’den az derinlikte bulunması ve planlanan düzenli depolama alanını yatay yönde en az 50 m kat etmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.

1.6. Trabzon İli Mevcut Katı Atık Yönetimi

1.6.1. Giriş

Doğu Karadeniz kıyı illerinde günde yaklaşık 600 ton evsel ve endüstriyel nitelikli katı atık, doğal çevrede oluşturdukları çevre kirliliği göz önünde bulundurulmaksızın düzensiz olarak depolanmaktadır. Trabzon İli'nde ise bu miktar yaklaşık 173 tondur. Fakat diğer belediyelerden (12.8 ton) ve sanayiden (4.8 ton) gelen atıklarla birlikte, Trabzon İli'nde depolanan atık miktarı günde yaklaşık 191 tona ulaşmıştır (KFW ve ERM, 2004). Katı atıklar sahil bölgelerde, deniz kıyısına dökülürken, iç bölgelerde vadilere ve boş alanlara dökülmektedir. Bu nedenle katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği gün geçtikçe artmaktadır.

İlde, sahile depolanan katı atıkların kaynağı Tablo 1.5'de verilmiştir. Tüm belediyeler dikkate alınarak, katı atık üretim oranları belirlenmiş ve alternatif düzenli depolama alanları araştırılmıştır.

Tablo 1.5. Farklı atık boşaltma sahalarındaki atıkların kaynakları (ERM ve TÇK, 1997; KFW ve ERM, 2004).

Atık Sahasının Bulunduğu Yer	Katı Atıkların Kaynak Noktaları
Trabzon	Trabzon, Akoluk, Akyazı, Çağlayan, Çukurçayır, Esiroğlu, Maçka, Pelitli, Yalıncağ, Yomra, Yeşilyalı, Kaşüsütü
Akçaabat	Akçaabat, Darıca, Kavaklı, Mersin, Söğütlü, Yıldızlı
Araklı	Araklı
Arsin	Arsin
Sürmene	Sürmene, Yeniay
Çamburnu	Çamburnu
Of	Of

1.6.2. Yönetim Düzeni

Bölgede olduğu gibi Trabzon İli'nde de katı atık yönetim sorumluluğu ilgili belediyelerdeki zabıta, temizlik ve fen işleri bölümlerince yürütülmektedir. Bu bölümler sadece atık temizleme, toplama ve cadde temizliği işlerinde aktif rol üstlenirken, bertaraf konusunda denetleyici bir rol üstlenmişlerdir. Bu nedenle atık toplama hizmetleri ve cadde temizliği standartları çok yüksektir. Atık toplama işleminde genellikle tekerlekli

konteynırlardan ve sıkıştırmalı çöp toplama araçlarından yararlanılmaktadır. Ancak, Trabzon İli'nde 2003 yılı itibariyle bu uygulamadan vazgeçilmiş ve çöpler sadece belirli saatlerde semtleri dolaşan kamyonlar tarafından toplanmaya başlanmıştır. Buna karşın, atık toplama hizmetinden sadece kent merkezleri yararlanabildiği için nüfusun önemli bir bölümüne günümüzde hizmet verilememektedir.

1.6.3. Katı Atık Toplama ve Taşıma Sistemi

Trabzon İli'nde 2003 yılına kadar evsel katı atıklar konteynırlar, zemin ve direk tipi plastik kutular vasıtasıyla toplanmasına karşın, Mart 2003 tarihinden itibaren farklı bir uygulamaya geçilmiştir. Plastik torbalarla toplanan evsel atıklar, 20.00-21.00 saatleri arasında belediyeler tarafından belirlenen noktalara vatandaşlar tarafından bırakılmakta ve 21.00-03.00 saatleri arasında belediye çöp kamyonları tarafından toplanmaktadır.

İlde sadece 1000'e yakın konteynır kullanılmaktadır ve bu konteynırlar genellikle nüfus yoğunluğu daha fazla olan mahallere ve ticari binaların yakınlarna yerleştirilmiştir. Uygulamanın devamıyla beraber bu konteynırların da kaldırılması düşünölmektedir.

Trabzon İli'nde hemen hemen her belediye sıkıştırmalı çöp toplama kamyonlarına sahiptir. Trabzon Belediyesi'nde 1997 yılında toplam 16 adet çöp toplama aracı bulunmakla beraber (ERM VE TÇK, 1997), Nisan 2004 tarihi itibariyle bu sayı 26'ya çıkmıştır (KFW ve ERM, 2004).

1.6.4. Geri Dönüşüm Faaliyetleri

Trabzon İli'nde, katı atıkların geri dönüşümü ve yeniden değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hem belediye bünyesinde hem de anlaşmalı özel şirketler tarafından yürütölmektedir. İlde toplanan katı atıkların yaklaşık % 15'i geri dönüşebilir nitelikte olmasına karşın, bu atıkların ancak % 2'si değerlendirilmektedir.

Belediye konuyla ilgili olarak pilot projeler yürütmüş, kağıt ve kartonlar için toplama kampanyaları düzenlemiş ve nihai çöp döküm noktalarında atıkların geri dönüşümüne yönelik çalışmaların yapılmasını sağlamıştır. 1996 ile 1999 yılları arasında, bir pilot proje kapsamında geri dönüşebilir atıklar olan kağıt, cam, metal ve plastiklerin ayrı ayrı toplanabilmesi için üç farklı tür konteynır belli merkezlere yerleştirilmiştir. Ancak geri

dönüştürülebilir atıkların yalnızca % 25'inin ayrı olarak toplanabilmesi nedeniyle Trabzon Belediyesi 1999 yılında bu pilot projeyi durdurmuştur. Bu projeden sonra, belediye kağıt ve karton kutular için toplama kampanyaları düzenlemiştir. Atıklar, üniversiteden, resmi dairelerden ve evlerden toplanmış ve Giresun'daki kamu iktisadi teşekkülü olan kağıt fabrikası SEKA'ya satılmıştır. Ancak fabrikanın özelleştirilmesinden sonra, fabrika kağıt kabul etmemiştir. Bunun sonucu olarak ta 2001 yılında toplanan kağıt miktarı 44080 kg iken, bu değer 2002 yılında 30860 kg'a düşmüştür.

Trabzon çöp depolama sahasında özel şirketler tarafından da geri kazanım faaliyetleri yürütülmektedir. Bu firmalar kağıt, karton, plastik ve metal gibi geri dönüştürülebilir atıkları toplarken, nakliye masrafı fazla olduğu için cam ürünlerini toplamamaktadır.

1.6.5. Katı Atık Kompozisyonu

Katı atık yönetimi, çok disiplinli bir aktivite olduğu için, ekonomik, kentsel ve bölgesel planlamayı da beraberinde gerektirmektedir. Bu nedenle, katı atık yönetiminde, atıkların bileşimlerinin ve kaynağının, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, atık üretim oranlarının belirlenmesi önemli aktivitelerdir. Katı atıkların kaynağı genellikle, iklim, arazi kullanımı ve sosyo-ekonomik faktörlere bağlıdır.

Trabzon İli'nde günde yaklaşık 191 ton katı atık üretilmektedir (KFW ve ERM, 2004). Trabzon İli'nde katı atıkların bileşimini belirlemek amacıyla il, farklı gelir gruplarına ait 3 bölgeye ayrılmıştır (Tablo 1.6). Trabzon nüfusunun % 5.8'i yüksek gelirli sınıfa girerken, % 43.15'i orta sınıf olarak, kalan % 51.17'lik bölümü ise düşük gelir grubu olarak kabul edilebilir (KFW ve ERM, 2004).

Bu bölgelerden toplanan atıklar, hacim hesaplamalarında kolaylık sağlamak amacıyla 90 litre hacmindeki çöp poşetleri kullanılarak ayrılmıştır. Ayırma analizleri çöp boşaltılan sahanın yakınında bulunan belediyeye ait araç parkında yapılmıştır. Ayırım için 10 ve 40 mm gözenekli elekler kullanılmıştır. Ayırma analizlerinde 40 mm'den büyük olan organik atıklar dışında kalan tüm atıklar kullanılmıştır (KFW ve ERM, 2004).

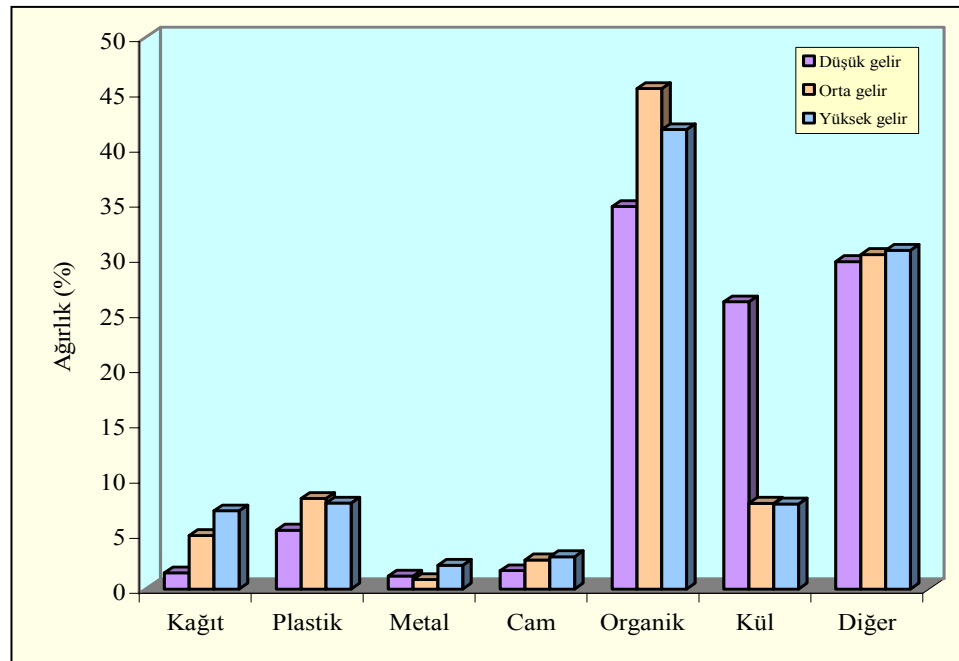
Tablo 1.6. Trabzon İli'ndeki örnek noktalarının yerleri (KFW ve ERM, 2004).

Düşük Gelir Grupları	Orta Gelir Grupları	Yüksek Gelir Grupları
1. Esentepe Mahallesi, Ayhan İnce Kara Caddesi	1. 3 Nolu Erdoğan Mahallesi, Çember Sokak 2. 1 Nolu Erdoğan Mahallesi, Sönmez Sokak 3. Boztepe Mahallesi, Çember Sokak	1. 2 Nolu Beşirli Mahallesi, Eşref Bitlis Caddesi
2. Değirmendere Mahallesi, Sezai Uzun Caddesi	4. Yeşiltepe Mahallesi, Fatih Caddesi 5. Kalkınma Mahallesi, Akif Saruhan Caddesi	2. Kalkınma Mahallesi, Mekan Sokak

Gelir gruplarına göre evsel katı atıkların bileşenleri Tablo 1.7'de verilmiştir. Tablo 1.7'de farklı bölgelerden alınan atıkların kompozisyonu arasında farklar olduğu görülmektedir. Düşük gelirli bölgelerden toplanan örneklerde kül oranı çok yüksekken, geri kazanılabilir atıkların oranı oldukça düşüktür (Şekil 1.7).

Tablo 1.7. Gelir gruplarına göre evsel katı atıkların bileşenleri (KFW ve ERM, 2004).

	Düşük Gelir Grubu	Orta Gelir Grubu	Yüksek Gelir Grubu
Kağıt	% 1.46	% 4.85	% 7.08
Plastik	% 5.34	% 8.20	% 7.79
Metal	% 1.17	% 0.85	% 2.16
Cam	% 1.66	% 2.64	% 2.93
Organik Atıklar	% 34.67	% 45.36	% 41.63
Kül	% 26.03	% 7.78	% 7.70
Diğer	% 29.67	% 30.32	% 30.71

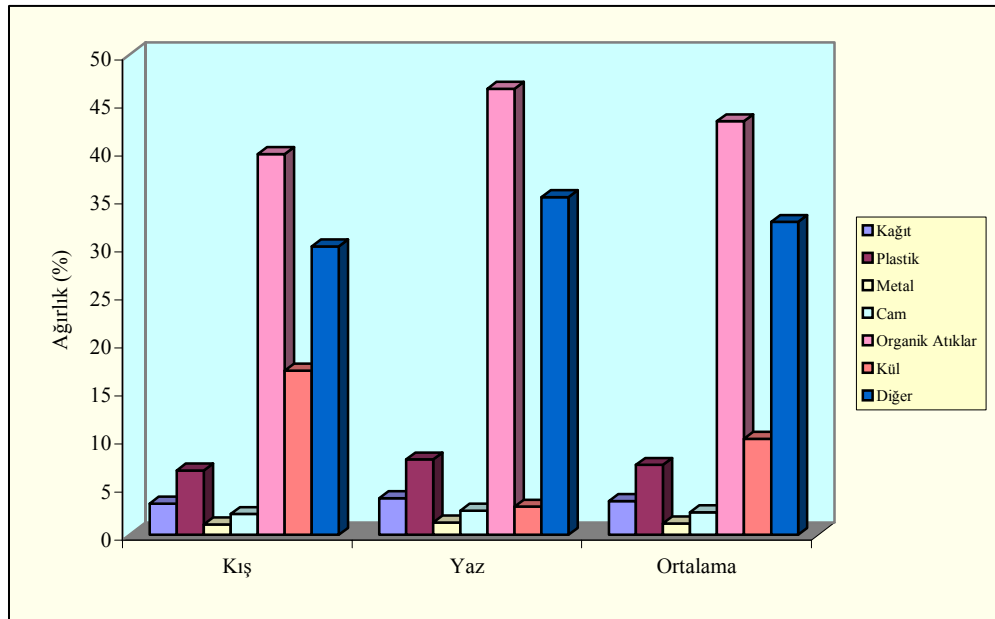


Şekil 1.7. Gelir seviyesine göre katı atık kompozisyonundaki değişimler

Bilindiği gibi, sosyo-ekonomik yapıya bağlı olarak katı atıkların bileşenleri farklı mevsimlerde farklılıklar göstermektedir (Tablo 1.8, Şekil 1.8). İlde özellikle kış aylarında kül oranının, yaz aylarında ise organik madde oranını yüksek olduğu görülmektedir (KFW ve ERM, 2004).

Tablo 1.8. Mevsimlere göre katı atık kompozisyonundaki değişimler (KFW ve ERM., 2004).

	Kış	Yaz	Ortalama
Kağıt	3.24	3.8	3.52
Plastik	6.71	7.86	7.29
Metal	1.09	1.27	1.18
Cam	2.16	2.52	2.34
Organik Atıklar	39.67	46.46	43.07
Kül	17.11	2.93	10.02
Diğer	30.02	35.15	32.58



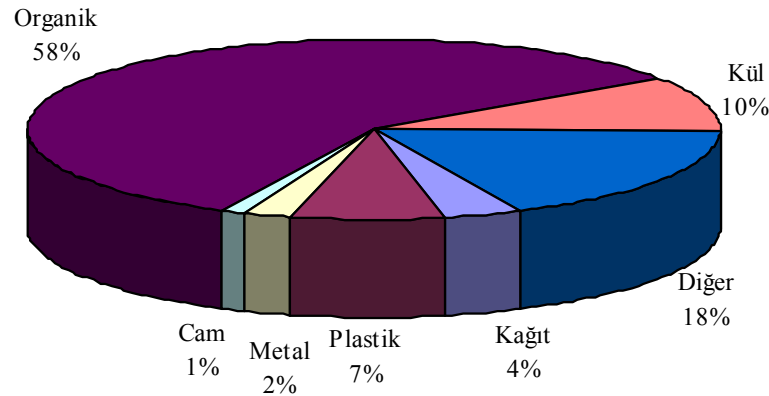
Şekil 1.8. Mevsimlere göre katı atık kompozisyonundaki değişimler

Tablo 1.7’de görüldüğü gibi, katı atık kompozisyonunda diğer kısmı yüksek oranlara sahiptir. Bunlar elektrik ürünleri atıkları, tekstil, ağaç ve odun parçalarıdır. Diğer atıkların % 21’i, yani toplam atık miktarının % 6.4’ü 10 mm’den küçük taneli atıklardır. Ancak atık kompozisyonunu belirlemek amacıyla yapılan örnek toplama işlemi sırasında küller genellikle ayrı olarak poşetlenmiştir. Bu nedenle, 10 mm’den küçük taneler külden ayrı olarak hesaplandıkları için organik madde sınıfına dahil edilmişlerdir. Bunun yanı sıra 1 ile

40 mm arasındaki tanelere sahip parçaların % 50'si organik atıklardır. Buradan yola çıkarak, Trabzon İli atık kompozisyonu Tablo 1.9'da verildiği gibi düzenlenmiştir (Şekil 1.9).

Tablo 1.9. Trabzon İli ortalama atık kompozisyonu (KWF ve ERM., 2004).

Tane Boyutu	Atık Sınıfı	Ağırlık (%)
> 40 mm	Kağıt/Karton	3.5
	Plastik	7.3
	Metal	2.3
	Cam	1.2
	Organik	43.1
	Diğer	10
< 40 mm	Kül	10
	Organik	14.7
	Diğer	7.9



Şekil 1.9. Trabzon İli ortalama atık kompozisyonu

1.6.6. Katı Atıkların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Katı atık yönetiminde özellikle uygun katı atık bertaraf yönteminin seçiminde katı atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Trabzon Valiliği ve Karadeniz Teknik Üniversitesi bünyesinde, bertaraf stratejileri geliştirmek amacıyla, atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Trabzon İli katı atıkları fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10. Trabzon İli katı atıklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (ERM ve TÇK, 1997; Berkün vd., 1992; Apaydın, 1998)

Atık Niteliği	Ortalama Değer
pH	5-6.3
Toplam azot (%)	0.51
Toplam karbon (%)	35.12
Toplam azot/Toplam karbon (%)	68-70
Su içeriği (%)	76
Organik madde oranı (%)	21
İnorganik madde oranı (%)	3
Kalorifik değer (kJ/kg)	3000-4000

1.6.7. Katı Atık Bertaraf Sistemi

Atık toplama ve cadde temizliğinin yüksek standartlarına rağmen, Trabzon İli'nde atık bertarafının standartları zayıftır. İlde herhangi bir ön arıtma tesisi ve geri kazanımına yönelik tesis bulunmamaktadır ve katı atıklar, deniz kıyısına (% 88), nehirlere (% 1.5) ve boş arazilere (% 10.5) denetimsiz olarak depolanmaktadır. Nispeten daha iyi kontrol edilen açık döküm sahalarındaki işletme şekli, denizin bir kısmının tahkimat ile doldurulması ve dökülen atıkların paletli buldozerlerle dağıtılmasından oluşmaktadır. Daha az kontrol edilen sahalarda atıklar, tahkimat inşa edilmeden doğrudan denize dökülmektedir. Genellikle kıyıya boşaltılan çöpler, dalgalar tarafından dağıtılmakta ve bunun sonucu olarak da deniz suyu ve tabanı kirlenmektedir. Bu nedenle yıllardan beri süren bu uygulama çevre sağlığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır.

1.6.8. Trabzon İli İçin Katı Atık Bertaraf Yöntemlerinin Karşılaştırılması

İnsan faaliyetlerin hemen hemen tümü katı atık üretir. Bu tür atıkların değişken ve heterojen bir yapıya sahip olması nedeniyle, bertaraf yönteminin seçiminde ve uygulanabilirliğinde güçlüklerle karşılaşmaktadır.

Hiçbir katı atık değerlendirme yöntemi atıkların ve atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin tamamıyla yok edilmesine olanak kılamayacağından, katı atık bertaraf yöntemlerinin en önemli amacı katı atık miktarının azaltılması ve çevre kirliliğinin minimuma indirilmesi olmalıdır. Fakat seçilen bertaraf yöntemi ne olursa olsun, atıkların ekonomik değerinin olduğu ve bunlardan yararlanılması gerektiği, yöntemin amacını oluşturmalıdır. Bunun yanı sıra, hangi yöntem seçilirse seçilsin, yöntemin uygulanma

aşamasında, katı atıkların toplanması ve yok edilmesindeki hizmet yetersizliğinin ortadan kaldırmak, çevre sağlığına zarar vermemek, ekonomik malzemeleri geri kazanmak ve uzun süreli yok etmeyi amaçlamak gerekmektedir (Taylor ve Allen, 1981). Bu kapsamda, son yıllarda katı atık yönetim kavramı tanımlanmış ve farklı bertaraf stratejileri geliştirilmiştir. Bunların en çok uygulananları, pulverizasyon, yüksek yoğunlukta balyalama, yakma, kompostlaştırma ve düzenli depolamadır.

1.6.8.1. Pulverizasyon ve Yüksek Yoğunlukta Balyalama

Pulverizasyon terimi, katı atığın çekiçli değirmende veya döner tamburlarda parçalanması ve boyutlarının küçülmesi işlemidir (Patrick, 1979). Boyut küçültme, genel anlamda kompostlama işleminin entegre bir parçası olabildiği gibi, arazi dolgu işlemleri için ön işlem olarak da tanımlanabilir. Fakat boyut küçültme tesisleri yüksek enerji ile çalıştığından, gürültü ve tozlardan kaynaklanan sorunlara yol açabilirler. Yüksek yoğunlukta balyalama işleminde ise katı atıklar, düzenli depolama işlemini kolaylaştırmak ve nakliye maliyetini düşürmek amacıyla balyalanır. Balyalama işlemi, basınçlı hidrolik presleme sistemiyle gerçekleştirilebileceği gibi, atıkların yatay bir pres içinde telle bağlanması şeklinde de gerçekleştirilebilir. Pulverizasyon ve yüksek yoğunlukta balyalama maliyeti yüksek uygulamalardır. Bu nedenle faydalarının maliyeti karşılayıp karşılamadığının tespiti çok önemlidir.

1.6.8.2. Yakma ve Piroliz

Gelişmiş ülkelerin çoğunda, nihai depolama alanındaki atık miktarının azaltılması ve atıktan enerji elde edilmesi amacıyla en çok tercih edilen yöntemlerden biri yakmadır. Bu yöntemde, maliyet ve verimlilik analizi yapmak yöntemin uygulanabilirliğini belirlemede en önemli iki faktördür. Yakma, yanabilir organik nitelikli maddelerin, önceden tespit edilmiş bir zaman aralığında gazlaştığı ve oksijen yardımıyla okside olduğu bir kimyasal reaksiyondur (Tabasaran, 1978). Bu reaksiyonun ürünleri, uçucu küller, katı haldeki cüruf, gazlar ve ısı enerjisidir. Yakma genellikle, depolama yeri seçiminin zor olduğu yüksek nüfuslu illerde, hastane çöplerinde olduğu gibi depolanmasında özel tedbirler gerektiren atıkların fazla olduğu durumda ve ısıl değeri yüksek katı atıklardan enerji üretiminin söz

konusu olduğu durumlarda uygulanabilir (Ekinci, 1990). Yanma sonucunda kalan hacim, ilk hacmin % 10-12'si olmasına karşın, bu oran toplam ağırlığın % 30'u kadardır (Patrick, 1979). Geri kalan kül ve cürufun, normal olarak düzenli depolanması gerekmektedir. Bununla beraber, bazı durumlarda çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra yapı malzemesi olarak kül ve cüruftan yararlanmak mümkündür. Yanma sırasında açığa çıkan enerji elektrik üretiminde de kullanılabilir. Fakat ısının bu şekilde geri kazanımı sadece büyük tesislerde ekonomiktir (600 ton/gün). Yakma tesislerinden kaynaklanan en büyük problem, baca gazıdır. Bu yüzden baca gazları için özel önlemlerin alınması gerekmektedir. Piroliz, oksijensiz bir ortamda çöpün termal çürümesidir (Patrick, 1979). Bu olay sonucunda organik maddeler hidrojen, karbonmonoksit, karbondioksit ve metan gibi basit bileşiklere ayrılırlar. Yöntem, sıcaklık, basınç ve reaksiyon zamanını ayarlamak suretiyle kontrol edilebilir. Meydana gelen ürün yanabilen gaz, katran ve atıl cüruf maddelerinden oluşur. Piroliz yöntemiyle katı atıkların bertaraf edilmesi, gelişmiş ülkelerde henüz uygulama aşamasına giren yeni ve maliyeti yüksek bir yöntemdir. Tesislerin yatırım maliyeti yakma tesislerin yatırım maliyetiyle hemen hemen aynıdır (Erdin, 1981). Fakat katı atık bileşiminin ve katı atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmemesi sebebiyle yakma yöntemine göre tercih edilebilir. Piroliz işleminden sonra geriye kalan bakiyenin ekonomik bir değerinin olması bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajıdır (Karpuzcu, 1984). Ancak bu yöntemin uygulanabilirliğinin belirlenmesi aşamasında, maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra maliyeti yüksek olan bu yöntemler, nüfusu fazla olan kentlerde uygulandığı takdirde ekonomiktir.

Katı atıkların yakılabilmesinde kalorifik değer en önemli kriterdir. Ekonomik olarak katı atıkların ek ısı gerekmeden yanabilmeleri gerekmektedir. Kalorifik değeri 1200 kcal/kg'dan (Uluatam, 1984; Yeşilnacar vd., 2001) düşük olan atıkların yakılabilmesi enerji ilavesiyle mümkün olmaktadır. Kalorifik değeri 800 kcal/kg'dan düşük olan atıklar ise ilave yakıt yardımıyla dahi yakılamazlar. Bunun yanında, katı atıkların su muhtevası, organik ve inorganik madde içerikleri de yakma işlemine etkiyen önemli kriterlerdir.

Trabzon İli katı atıkları için 1992 verilerine göre alt kalorifik değerinin 1500 kJ/kg (Berkün vd., 1992) ve 1997 verilerine göre 3000-4000 kJ/kg (ERM ve TÇK, 1997) arasında olması, atıkların ekonomik olarak yakmaya uygun olmadıklarını göstermektedir.

1.6.8.3. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma işlemi, katı atığın içindeki organik atıkların aerobik biyokimyasal bir reaksiyonla bozunması işlemidir (İpekoğlu, 1990). Organik maddeler mikroorganizmaların etkileriyle daha basit bileşikler olan CO₂ ve suya dönüştükleri için bu işlem, katı atığın içinde bulunan bitki ve hayvan atıklarını daha duraylı ve toprağın özelliklerini iyileştirici bir hale dönüştürür. Çöplerdeki organik maddeler genel anlamda, suda çözünebilen maddelerden, hemisellülozlardan, sellülozlardan, yağlardan, ligninlerden ve lignosellülozlardan oluşmaktadır (İpekoğlu, 1990). Kompost ve humus ise mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda sentezlenmiş hücre materyallerinin, ligninlerin, bitki ve mikrobial orijinli kısmen bozunmuş bileşenlerin bir karışımıdır. Kompostlaşma sonucunda katı atık, hafif kumlu toprağın yapısını iyileştirir ve suyun toprakta kalma süresini artırır. Katı atıklardan kompost üretilmesi için, çöpün kümeler halinde yığılıp zaman zaman karıştırılması gibi basit yöntemlerden, ayırma işlemini hızlandıran karmaşık mekanik tesislere kadar bir çok farklı teknik vardır.

Kompostlaştırma işlemlerine geçilmeden önce, bu işleme etki eden faktörlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Havalandırma, sıcaklık, pH seviyesi, karbon-azot oranı ve su muhtevası, kompostlaştırmaya etkiyen en önemli faktörlerdir. pH seviyesi, karbon-azot oranı (C/N) ve su muhtevası katı atıkların özelliklerini yansıtırken, sıcaklık ve havalandırma kompostlaştırma işlemi esnasında etkili olan kriterlerdir. Kompostlaştırma işlemi, Baştürk'e (1976) göre, pH değerinin 4.5-9.5 (tercihen 8'den büyük), C/N oranının % 35'den küçük, su muhtevasının % 45-50 arasında olması, Erdin'e (1981) göre tane boyutunun 15-20 mm, C/N oranının % 25'den küçük, su muhtevasının % 45-55 arasında olması, Uluatam'a (1984)'e göre pH değerinin 8'den büyük, C/N oranının % 20-50 arasında olması ve Yeşilnacar vd.(2001)'e göre pH değerinin 6-8, C/N oranının % 20-35, su muhtevasının % 45-55 arasında olması durumunda gerçekleşir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus kompostlaşmaya geçilmeden, bölgenin kompost malzemeye olan talebinin ve pazar payının belirlenmesi gerekliliğidir.

Trabzon İli atıklarının C/N oranı % 68-70 (Berkün vd., 1992; Apaydın, 1998) ve pH değerinin 5 olması (Berkün vd., 1992) bunların kompostlaştırmaya uygun olmadığını ortaya koymaktadır. Fakat atıklar kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre kompostlaştırmaya uygun olsalar bile kompost ürünü için belirli bir pazar söz konusu olmadan uygulamaya geçilmemelidir.

1.6.8.4. Tekrar Kullanım, Geri Dönüşüm ve Geri Kazanım

Tekrar kullanım, atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekliyle ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılması, geri dönüşüm ise atıkların fiziksel ve /veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikinci hammadde olarak üretim sürecine sokulması işlemidir. Geri kazanım, tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Maddesel geri kazanım ise, katı atık içindeki kağıt, plastik, cam gibi yeniden değerlendirilebilir nitelikli maddelerin herhangi bir kimyasal ve biyolojik işleme tabi tutulmadan ekonomiye tekrar kazandırılması işlemidir.

Trabzon İli katı atıklarının yaklaşık % 15'i geri dönüşebilir nitelikli atıklardır. Ancak bu miktar, kaynağında ayırım yapılması durumunda tamamıyla geri dönüştürülebilir. Nihai boşaltma sahalarında yapılan geri dönüşüm faaliyetlerinde, özellikle kağıt ve karton gibi atıkların yağıştan ve diğer organik atıklardaki nemden etkilenmeleri nedeniyle geri dönüşümleri zordur.

1.6.8.5. Düzenli Depolama

Tüm dünyada yaygın olarak uygulanan bir katı atık bertaraf yöntemi olan düzenli depolama işlemi tek nihai çöp uzaklaştırma yöntemidir. Buna karşın yakma ve kompostlaştırma yöntemlerinde, geriye kalan kalıntıların depolanması gerekmektedir. Bu nedenle atıkların bertarafı için hangi yöntem uygulanırsa uygulansın düzenli depolama yöntemi kaçınılmazdır. Trabzon İli katı atıkları için diğer yöntemlerin uygulanmasının günümüz koşullarında ekonomik olmaması nedeniyle, düzenli depolama işlemi, katı atıkların bertarafında en ekonomik yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Ülkemizde plansız kentleşme, endüstrileşme ve nüfus artışı, büyük boyutlara ulaşan çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Özellikle son yıllarda, başta çevre mevzuatı olmak üzere, yürürlükteki mevzuatlara aykırı olarak depolanan çöpler, önemli çevre problemlerinden birini oluşturmaktadır. Günümüzde hiçbir ön çalışma yapılmadan gelişmiş güzel bir şekilde sahile, derelere ve boş arazilere depolanan katı atıklar, insan ve çevre sağlığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır. Bu nedenle atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı, yeniden kullanımı ve bertaraf edilmesi çevre sağlığı açısından da büyük önem taşımaktadır. Katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği ülkemizde olduğu gibi Doğu Karadeniz kıyı illerinde de karşılaşılan en büyük çevre problemlerinden biridir.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölümü'nün en büyük ili olan Trabzon'daki mevcut katı atık bertaraf sistemi ve aksaklıkları incelenmiş, çok kriterli karar verme analizleri kullanılarak konumsal analizlerle üretilen haritalar yardımıyla, Trabzon İli için uygun düzenli depolama alanları araştırılmıştır. Belirlenen alternatif alanlar içerisinde, eski bir çimento hammadde ocağı olan Düzyurt açık işletme sahasının düzenli depolama için uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla jeoteknik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Analitik Hiyerarşi Yönteminin Uygulanması

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı verilerin toplanması, saklanması, analizi ve sunulması işlemlerini bir bütün halinde gerçekleştirebilen bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2002). Planlama ve operasyon aşamasında yüksek oranda veri söz konusu olduğu için katı atık yönetiminde de CBS'nin rolü büyüktür. Katı atık yönetiminde uygun katı atık depolama yeri seçimi uzun zaman alan bir uygulamadır. Bu nedenle yer seçiminde CBS'nin konumsal analiz özelliklerinin kullanımı zamanın optimum şekilde değerlendirilmesine olanak kılacaktır. Bunun yanı sıra, CBS uygulamaları gelecekteki depolama alanlarının belirlenmesine ve yönetimine yönelik çalışmalarda da kullanılabilecek nitelikli bir bilgi teknoloji sistemidir.

Katı atık depolama yeri seçimine etkiyen kriterler jeoloji, hidrojeoloji, hidroloji, biyolojik çevre, yerleşim durumu, maliyet, arazi kapasitesi, arazi kullanımı, mühendislik çalışmaları, ulaşım, trafik güvenliği, kamu baskısı, görüntü, toz, koku ve gürültü şeklinde sıralanabilir (Lober, 1995; Salim vd. 1995). Düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterler dünyanın her yerinde hemen hemen aynıdır. Fakat bu kriterlerin önem dereceleri bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebilmektedir (Michael, 1991). Bu nedenle CBS uygulamalarında kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlere verilecek sınırlamaların iyi şekilde değerlendirilmesi çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen litolojik, topoğrafik, fotogrametrik ve çevresel veriler, bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan Arc\Info 8.01 ve Arc View 3.2 programları kullanılarak sayısallaştırılmış ve aynı koordinat sistemine işlenmiştir. Bu verilerin depolanması, analiz edilmesi ve sunulmasında belirtilen yazılımlar kullanılmıştır.

CBS temelli katı atık düzenli depolama yeri seçimi çalışmalarında, düzenli depolama yeri seçim modellemesi 4 önemli aşamadan oluşmaktadır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Konumsal verilerden yararlanarak veri katmanlarının dijital ortamlarda oluşturulmuştur.
- Oluşturulan her bir katmanın düzenli depolama yeri seçimine etki yüzdesi araştırılmıştır. Bunun için ilk olarak her bir katman kendi içerisinde alt gruplara ayrılarak bu alt grupların yer seçimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir.
- Her bir veri katmanı için bu uygulama gerçekleştirildikten sonra katmanların birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiş ve her bir katmanın düzenli depolama yeri seçimine etkisi belirlenmiştir.
- Veri katmanlarının gerek kendi alt gruplarıyla gerekse birbiri arasındaki ilişkileri, karmaşık ve çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan Analitik Hiyerarşi Yöntemi teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak katı atık düzenli depolama yeri seçimi uygunluk haritası elde edilmiştir ve bu haritadan elde edilen veriler gerçek arazi verileriyle karşılaştırılmıştır.

2.3. Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar

2.3.1. 1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması

Çalışma Doğu Karadeniz Bölümü'nün en büyük ili olan Trabzon'u kapsamaktadır. Trabzon İli Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde ve 1/100000 ölçekli Akçaabat F42 ve F43, Trabzon G42, G43 ve G44 paftalarında yer almaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda Değirmendere Vadisi boyunca Trabzon İli'nin yaklaşık 10 km güneyindeki Düzyurt Mahallesi'nde bulunan eski bir çimento hammadde ocağı (Trabzon G43-a2 paftası içerisinde), Trabzon İli için en uygun düzenli depolama alanı olarak belirlenmiştir.

Uygun düzenli depolama alanı ve çevresini kapsayan yaklaşık 30 km²'lik alanın jeoloji haritası hazırlanırken, farklı stratigrafik özelliğe sahip litolojik birimler ve bu birimlerin birbirleriyle yaptığı dokanaklar belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Genel jeoloji çalışmalarında, Taslı (1984), Gülibrahimoğlu (1985), Dokuz (1990), Yalçınalp (1992), Güven (1993), Aydın (2003), Arslan ve Aslan (2006) ve Kırmacı ve Akdağ (2005) tarafından yapılmış olan çalışmalardan yararlanılmıştır.

2.3.2. Mikroskopik Tayinler

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yaptırılan ince kesitler, James Swift (Model MP3500MBL) marka polarize mikroskopta incelenerek kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır.

Bunun yanı sıra kayaçlardaki önemli mineralojik özelliklerin gösterilmesi amacıyla mikroskopik ölçekte fotoğraflar çekilmiştir.

2.3.3. X-Işınları Difraksiyonu İncelemeleri

Çalışma alanında yapılan sondajlardan alınan örneklere ait kil numunelerinin XRD incelemeleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü Katı Hal Fiziği Laboratuvarı'nda Rigaku marka DMAX IIIC model X ışınları difraktometreleri kullanılarak yapılmıştır. İncelemelerde kullanılan aletsel koşullar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Anot : Cu ($\text{CuK}_\alpha = 1.541871 \text{ \AA}$),
- Filtre : Ni,
- Gerilim : 35 kV,
- Akım : 15 mA,
- Ganyometre hızı : 2°/dakika,
- Kağıt hızı : 2 cm/dakika
- Duyarlılık : 4×10^2 ,
- Zaman sabiti : 1 saniye,
- Yarıklar : $1^\circ - 0.1-1^\circ$ ve
- Ölçüm aralığı : $2\theta = 2-35^\circ$

Kil fraksiyonu çalışmalarında kullanılacak olan örnekler yaklaşık bir ay oda sıcaklığında kurutulduktan sonra plastik çekiç yardımıyla 3-5 cm'lik parçalara bölünmüş ve bu parçalar ahşap plakalar arasında ezilerek ufalanmıştır. Ufalama işleminden sonra, örnekler 200 nolu elekten elenmiştir.

Kil fraksiyonunun tüm kayaç içerisindeki diğer minerallerden ayrılmasını sağlamak amacıyla Jackson (1956), Kunze (1965), Gündoğdu ve Yılmaz (1983) tarafından önerilen kimyasal çözme, santrifüjleme-boşaltma-yıkama ve sedimentasyon-sifonlama-santrifüjleme işlemleri 8 adet örnek üzerinde uygulanmıştır. Aşağıda uygulama aşamaları sırasıyla açıklanmıştır.

- Kimyasal çözme: Kil ayırma işlemi uygulanırken kil olmayan minerallerin kimyasal çözme ile atılması işlemine denir. 1-10 gr arasında öğütülmüş örnek 100 ml'lik beherlere konur ve karbonat minerallerinin atılması için bunların üzerine 40 ml 1 N'lik asetik asit eklenir. 30 dakikalık bekleme işleminden sonra örnek santrifüj tüplerine alınır ve 2000 devirde 5 dakika süre ile santrifüjlenir. Bu durumda sıvı ile örnek ayrılmış olur. Bu işleme karbonatlar atılıncaya yani CO_2 gaz çıkışı duruncaya kadar devam edilir (Jackson, 1956, Kunze, 1965). Organik maddenin atılması hidrojen peroksit (H_2O_2) ile oksidasyona uğraması ile

gerçekleşir. Karbonatların atılması işlemi uygulanmış ve minimum miktardaki saf su ile 100 ml'lik behere alınmış olan örnek üzerine % 30'luk H_2O_2 'den 5 ml eklenir ve zaman zaman karıştırılarak örnek bekletilir. Bu işleme örnekteki organik maddeden kaynaklanan koyu renk giderilene kadar devam edilir. Örnek santrifüj tüpüne alınır ve 2000 devirde 5-10 dakika süre ile santrifüjlenerek örnek ile asidin ayrılması sağlanır ve asitli sıvı atılır (Jackson, 1956, Kunze, 1965).

- Kararlı süspansiyon elde edilmesi: Kilin süspansiyonda kalmasını sağlayan bazı özellikleri vardır. Bunlar, yer çekimi etkisi, suyun kaldırma kuvveti, kilin (-) yüklü olması ile birbirini itmesi ve bu sebeple serbest kalarak çökmemesidir. Asitleme işleminden sonra çözültide kalan katyonlar (-) yüklü iyonlarla birleşerek kili nötr hale getirirler ve onların çökmesine neden olurlar. Bu nedenle asitleme işleminden sonra ortamdaki yabancı anyon ve katyonların uzaklaştırılması için örneğe santrifüjleme-boşaltma ve saf su ile yıkama işlemi uygulanır. Bu işleme 2500 devir/dakika hızla santrifüjleme sonucunda bile çökmeyen kararlı bir süspansiyon elde edilinceye kadar devam edilir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983).
- Kil fraksiyonunun kazanılması: Elde edilen kararlı süspansiyon 3 saat 40 dakika süre ile dinlenmeye bırakılır. Sedimentasyon süreci sonucunda süspansiyonun üstteki 4 cm'lik kısmı alınır. Stokes yasasına göre kil boyutlu partiküllerden oluşan çözelti, 3600 devir/dakika hızla 30-40 dakika santrifüjlenerek kil çamuru elde edilir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983).

XRD kil fraksiyonu (KF) çözümlenmeleri için her örneğe yukarıdaki işlemler uygulanmış, kil çamurundan 2 adet cam lam üzerine örnekler sıvanmış ve hazırlanan bu örneklerin normal (N) ve etilen glikollü (ET) difraktogramları çekilmiştir. Normal çekimler direk lamla yapılan çekimlerdir. Etilen glikollü çekimlerde ise kil minerallerinin şişmesi sağlanır. Bu amaçla lama sıvanmış örnek etilen glikol buharı bulunan desikatörde 12 saat süre ile bekletildikten sonra XRD çekimi yapılır.

2.4. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

CBS çalışmaları sonucunda uygun katı atık düzenli depolama alanı olarak, Değirmendere Vadisi (Trabzon), Düzyurt Mevkii'nde bulunan eski çimento hammadde ocağı belirlenmiştir. CBS uygulamalarına göre uygun alan sınıfına giren çalışma alanının,

mühendislik jeoloji çalışmaları sonucunda düzenli depolama için uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

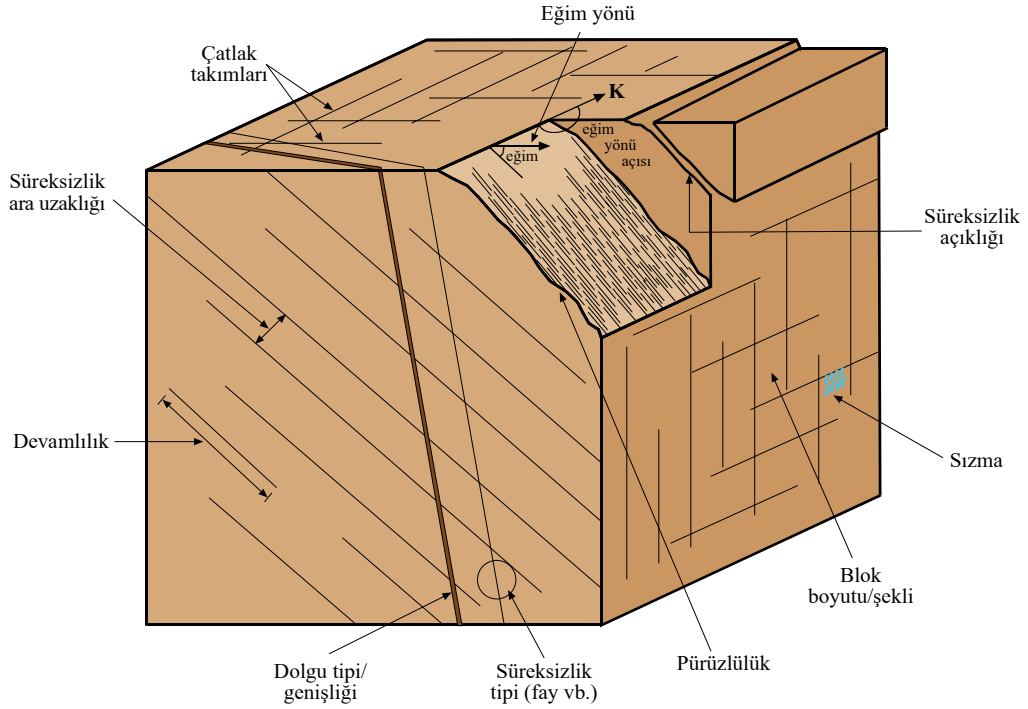
Mühendislik jeolojisi çalışmaları iki kademedeyi gerçekleştirilmiştir. Arazi gözlemleri ve yerinde yapılan deneyler (sondaj ve jeofizik çalışmaları) çalışmanın ilk aşamasını oluştururken, laboratuvar deneyleri (kaya malzemesinin indeks ve dayanım özelliklerinin ölçümü) ikinci aşamayı oluşturmaktadır. Tüm bu verilerin ışığında mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken, ANON (1976), ISRM (1976) ve IAEG (1976 ve 1979) tarafından önerilen, ANON (1981a,b) ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılmıştır.

2.4.1. Süreksizliklerin Özelliklerinin Tayini ve Hat Etüdü Çalışmaları

Süreksizliklerin, dolayısıyla kaya kütlelerinin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntem, hat etüdü yöntemidir. Jennings (1970) tarafından önerilen yöntem, daha sonra Piteau (1970) tarafından revize edilmiş, Attewell ve Denness (1969), Attewell ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1976) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından geliştirilmiştir. Geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bu yöntemin ilk olarak süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler genellikle tek hat üzerinde yapılmıştır. Mostranın seçiminde, süreksizliklerin en az % 50'sinin ucu görünecek şekilde olması ve en az 150 adet süreksizliğin ölçülebilmesi koşulu dikkate alınmıştır. Bazı durumlarda mostraların yer yer döküntüyle kapanmış olması nedeniyle daha kısa mesafeler boyunca çalışma zorunluluğu duyulmuştur. Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş noktaları ahşap kazıkla işaretlenmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizlikler ölçülmüş ve tanımlanmıştır.

Çalışmada her bir süreksizlik takımı için ayrı ölçümler yapılmış, farklı süreksizlik takımları için, o süreksizlik takımının doğrultusuna dik ölçüm hatları belirlenmiş ve bu hatlar boyunca süreksizliklerin özellikleri tespit edilmiştir.

Şekil 2.1 ve 2.2'de hat etüdü çalışmalarında tespit edilmesi gereken ve kaya kütlelerini karakterize eden parametreler görülmektedir.



Şekil 2.1. Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin özelliklerini tanımlayan parametreleri gösteren blok diyagram (Wyllie ve Mah, 1999).



Şekil 2.2. Kaya kütlesi özelliklerini tanımlayan parametreler (Wyllie ve Mah, 1999).

2.4.1.1. Süreksizliklerin Yönelimi

Gül diyagramları, süreksizlik yönelimlerinin grafiksel sunumunda çok sayıda verinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan pratik bir yöntemdir. Genellikle doğrultu ve eğimler için ayrı gül diyagramları hazırlanır. Bu diyagramlarda doğrultuyla birlikte eğiminde birlikte gösterilemeyeşi bir dezavantajdır.

Söz konusu eksiklik, süreksizliklere ait doğrultu ve eğimleri bir bütün olarak nitelendiren kontur diyagramlarıyla giderilmiş, bununla birlikte eğim değerleri histogramları çizilmiştir.

2.4.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Süreksizlik ara uzaklığı veya süreksizlik aralığı kaya kütlelerinde birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizlik arasındaki dik mesafedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Kaya kütlelerinin geçirgenliğini ve kaya kütlelerinde oluşan blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle kaya kütlelerinin en önemli özelliklerin biridir.

Süreksizlik ara uzaklığı, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile belirleneceği gibi, sondaj karotlarında da tayin edilebilmektedir. Ölçüm hattı veya sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık görünür ara uzaklık olarak bilinir. Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin bir birine paralel olduğu çok ender görüldüğü için gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Bu çalışmada süreksizlik takımlarında görünür ara uzaklık değerlerinden yararlanarak gerçek ara uzaklık (iki süreksizlik arasındaki dik mesafe) değerlerini bulmak için aşağıdaki düzeltme yapılmıştır.

$$\text{Gerçek süreksizlik aralığı} = Jsi \times \sin(\delta_1) \times \sin(B_j) \quad (1)$$

Burada, J_{si} : görünür ara uzaklık, δ_1 : süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı, B_j : süreksizliğin eğim açısıdır.

Arazide alınan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (X) ve süreksizlik sıklığı (1 metredeki süreksizlik sayısı, λ) aşağıdaki ifadelerden belirlenir.

$$X = L/N \quad (2)$$

$$\lambda = N/L \quad (3)$$

Burada, L : ölçüm hattının uzunluğu, N : ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısıdır. Eşitlik 2 ve 3'de verilen parametreler istatistiksel analizlerle belirlenmedikleri için ancak genel değerlendirme amaçlı kullanılırlar. Priest ve Hudson (1976) süreksizlik sıklığının daha duyarlı bir şekilde belirlenmesi amacıyla istatistiksel dağılım modellerinden yararlanmışlar, süreksizlik ara uzaklığı parametrelerinin, istatistiksel dağılım modellerinden negatif eksponansiyel dağılıma en iyi uyduğunu belirlemişlerdir. Attewell ve Farmer (1976), Ulusay (1991), Gökçeoğlu (1997), Ulusay vd. (1998) kaya kütlelerinde yapmış oldukları değişik çalışmalarda zayıf kaya kütlelerinin içerdiği süreksizlik aralıklarının da negatif eksponansiyel dağılıma uygunluk gösterdiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada tüm bu parametreler dikkate alınarak kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Aralık (mm)	Tanımlama
< 20	Çok dar ara uzaklıklı
20-60	Dar ara uzaklıklı
60-200	Yakın ara uzaklıklı
200-600	Orta derecede ara uzaklıklı
600-2000	Geniş ara uzaklıklı
2000-6000	Çok geniş ara uzaklıklı
> 6000	İleri derecede geniş ara uzaklıklı

2.4.1.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup, duraylılığı etkileyen önemli bir parametredir. Başka bir

deyişle, süreksizlik devamlılığı (K), kohezyonun olmadığı alanların toplam çatlak alanına oranı olarak tanımlanmıştır (ISRM, 1981)

Devamlılık alansal oran olarak tanımlanmasına karşın, alansal ölçümün zor olması nedeniyle genellikle mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunmaktadır (ISRM, 1981). Bu durumda devamlılık, süreksizlik izi olarak ele alınmakta veya aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$K = \frac{\sum Jli}{\sum (Jli + Kkop)} \quad (4)$$

Burada, Jli: süreksizlik izi uzunluğu, Kkop: süreksizlik izi hattı üzerinde kaya köprüsü uzunluğudur.

Süreksizlik ara uzaklığı için yapılan değerlendirilmelere benzer biçimde gerçekleştirilen istatistiksel analizler, aralık parametresinin aksine, devamlılık parametresine ait verilerin tek bir dağılım modeline uymadığı görülmektedir (Ulusay, 1991; Gökçeoğlu, 1997).

Bu nedenle bu çalışmada devamlılık parametresi, ISRM (1981)'deki tanımlamalar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile belirlenmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Süreksizlik izinin uzunluğu (m)	Tanımlama
< 1	Çok düşük devamlılık
1-3	Düşük derecede devamlılık
3-10	Orta derecede devamlılık
10-20	Yüksek devamlılık
> 20	Çok yüksek devamlılık

2.4.1.4. Süreksizliklerin Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgahlığı

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgahlık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütü olarak tanımlanabilir (ISRM, 1981). Her iki özellik te süreksizlik yüzeylerine ait makaslama dayanımının önemli bir bileşeni olarak rol oynar. Ancak süreksizlik açıklığı veya dolgu

malzemesinin kalınlığının artmasıyla, pürüzlülüğün süreksizlik makaslama dayanımı üzerine etkisi de azalmaktadır.

Süreksizlik pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik değişik yöntemler önerilmiştir (ISRM, 1981). Bunlar doğrusal profil alma yöntemi, pusula ve disk şeklindeki klinometre ile yapılan ölçümler ve mekanik profilometreler ile yapılan ölçümler şeklinde sıralanabilir. Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan mekanik gereçlerdir (Wissbach, 1978; Swan, 1981; Aydan vd., 1995).

Standart profillerde verilen süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı (JRC) değerleri 0-20 arasında değişmektedir. Barton ve Bandis (1982 ve 1990) süreksizlik yüzeyinde alınan değişik ölçüm uzunlukları için JRC değerlerini bulmak amacıyla pürüzlülük genliği ve ölçüm uzunluğundan yararlanmışlardır.

Tüm bu veriler yorumlanmış ve bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde, Barton ve Choubey (1977) tarafından küçük ölçekli pürüzlülüğü tanımlamak için önerilen ve arazide telli profilometre ile ölçülen süreksizlik yüzeyi profillerinin, mevcut standart profillerle (Şekil 2.3) karşılaştırılması esasına dayanan bir yöntem tercih edilmiştir.

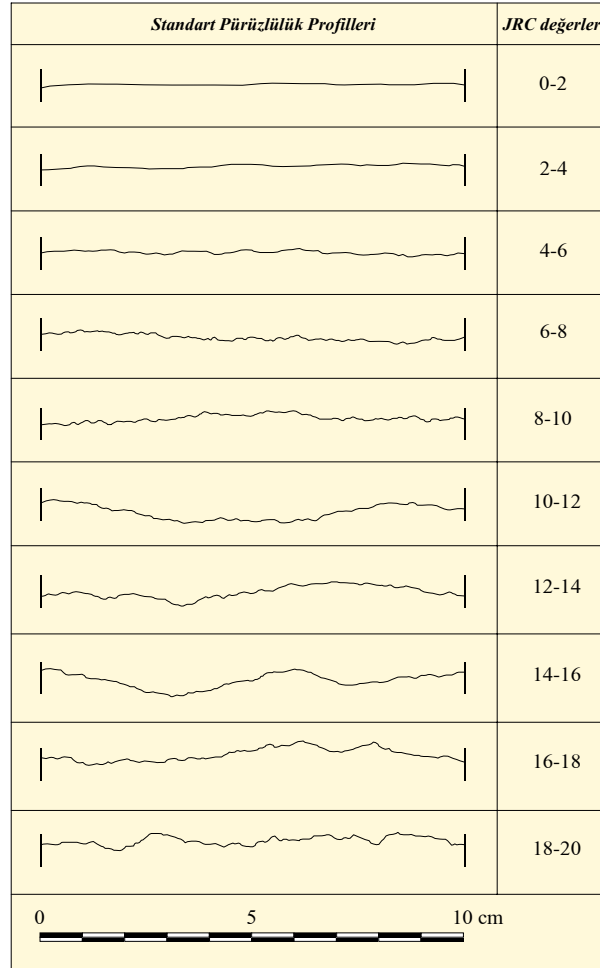
Süreksizlik yüzey profillerinin değerlendirilmesi amacıyla ayrıca büyük ölçekte dalgalılığın dalga boyu ve genlik parametreleri de ölçülmelidir. Söz konusu yöntemde, 1 metre uzunluğunda bir cetvel süreksizlik yüzeyine dayanmış ve yüzeyin cetvele olan en uzak mesafesi ölçülmüştür.

2.4.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Açıklık, bir süreksizlik yüzeyinin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik mesafe olarak tanımlanır (ISRM, 1981). Süreksizlik yüzeyleri kapalı olabileceği gibi su veya dolgu malzemesiyle doldurulmuş olabilir. Eğer süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı ise diğer süreksizlik parametreleri jeoteknik tanımlama için yeterli olabilmektedir. Ancak süreksizlik yüzeyi açık ise bu açıklığın ölçülmesi gerekmektedir. Açıklığın ölçümünde milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanılacağı gibi, daha hassas mikrometrelerden de yararlanılabilir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Çalışmada milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, her süreksizlik takımı için açıklıklar ayrı ayrı ölçülmüş ve ortalama açıklık değerleri belirlenmiştir. Ortalama açıklık değerinden çok daha büyük açıklığa sahip süreksizlikler not edilmiştir. Çalışmada

süreksizliklerin pürüzlülüğü ve açıklığı ISRM (1981) tarafından önerilen standart pürüzlülük profilleri (Şekil 2.3) ve süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (Tablo 2.3) kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.3. Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC (eklem pürüzlülük katsayısı) değerleri aralığı (ISRM, 1981a).

Tablo 2.3. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981).

Açıklık (mm)	Tanımlama	
< 0.1	Çok sıkı	
0.1-0.25	Sıkı	Kapalı yapılar
0.25-0.5	Kısmen açık	
0.5-2.5	Açık	
2.5-10	Orta derecede geniş	Boşluklu yapılar
> 10	Geniş	
10-100	Çok geniş	
100-1000	Aşırı geniş	Açık yapılar
> 1000	Boşluklu	

2.4.1.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde genellikle bozunmuş, daha derinlerde ise hidrotermal süreçlere bağlı olarak alterasyona uğramış olabilirler. Bu nedenle süreksizlik yüzeylerinin dayanımı, bu yüzeylerin ve yakın çevredeki kayaç malzemesinin bozunma derecesiyle yakından ilişkilidir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Süreksizlik yüzeylerinin dayanıma etkisi açısından taşıdığı önem dikkate alınarak, önce kaya kütlelerinin daha sonra kayaç malzemesinin bozunma derecesinin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla ISRM (1981) tarafından, arazi çalışması sırasında kullanılacak bozunma sınıflaması ölçütleri önerilmiştir (Tablo 2.4 ve 2.5). Bu sınıflamalar tamamen gözleme dayalı olduklarından bazı durumlarda öznel değerlendirmelere yol açmakta, aynı süreksizlik yüzeyleri için farklı yorumlamalar yapılabilmektedir.

Bu nedenle dayanımın tahmin edilmesi amacıyla Schmith çekici geri tepme sayısından yararlanılmaktadır. Barton ve Choubey (1977), geri tepme sertlik değeri, kayacın birim hacim ağırlığı ve süreksizlik yüzeyinin dayanımı arasında aşağıda belirtilen eşitliği önermişlerdir.

$$\text{Log } JCS = 0.00088 \gamma R + 1.01 \quad (5)$$

Burada JCS: süreksizlik yüzeyinin dayanımı (Mpa), γ : birim hacim ağırlık (kN/m^3) ve R: geri tepme sertlik değeri sayısıdır.

Grasso vd. (1992), bu deneyle ilgili bazı sınırlamaların bulunduğunu belirtmekle birlikte, ISRM (1981) tarafından bu deneyin laboratuvarında NX (54.7 mm) çaplı karotlar veya bir kenarı en az 60 mm olan küp şeklindeki örnekler üzerinde yapılması önerilmektedir. Deney standartlarının uygulanabilirliğinin zor olması bu yöntemin pratikte kullanılmasını zorlaştırmaktadır.

Singh ve Gahrooe (1989) öznel değerlendirmeleri giderebilmek amacıyla bozunma derecesini sayısal indeksle tanımlamışlar ve bozunma katsayısı veya indeksi adı verilen bir parametre ortaya atmışlardır.

$$W_c = \sigma_c / JCS \quad (6)$$

Burada, W_c : bozunma katsayısı, σ_c : taze ayrışmamış kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı ve JCS: süreksizlik yüzeyinin dayanımıdır.

Kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı doğrudan deney sonucundan elde edilirken, eklem yüzeyinin sıkışma dayanımı dolaylı olarak Schmith çekici kullanılarak belirlenmektedir. Bu nedenle, Gökçeoğlu (1997) tarafından modifiye edilmiş ve söz konusu hata payını ortadan kaldıran yeni bir formül geliştirmiştir.

$$W_c = R_f / R_w \quad (7)$$

Burada, R_f : taze yüzeyin Schmith geri tepme sayısı, R_w : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmith geri tepme sayısıdır.

Bu çalışmada RMR ve M-RMR kaya kütle sınıflamaları uygulanırken, süreksizlik yüzeyi bozunma tanımlamasında Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen bozunma indeksine göre yapılan sınıflamadan yararlanılmıştır (Tablo 2.6).

Tablo 2.4. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981).

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozunmanın derecesi
Bozunmamış (taze)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	1
Az bozunmuş	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kayaç taze halinden zayıf olabilir.	2
Orta derecede bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrışmış ve/veya parçalanmıştır. Taze veya rengi değişmiş kaya sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	3
Tamamen bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrışmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	4
Artık zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır.	5

Tablo 2.5. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflaması (ISRM, 1981).

Simge	Tanım	Saha tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	Kayaçın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir.	0.25-1.0
R1	Çok zayıf kayaç	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye ufalanan kayaç, çakı ile doğranabilir.	1.0-5.0
R2	Zayıf kayaç	Kayaç çakı ile güçlkle doğranır. Jeolog çekiciyle yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır.	5.0-25
R3	Orta derecede sağlam kayaç	Kayaç çakı ile doğranmaz. Kayaç, jeolog çekiciyle yapılacak tek ve sert bir darbeye kırılır.	25-50
R4	Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50-100
R5	Çok sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle çok sayıda darbe gerekmektedir.	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	Kayaç örneği jeolog çekiciyle sadece yontulabilir.	> 250

Tablo 2.6. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama (Gökçeoğlu, 1997).

$\frac{W_c}{(R_f / R_w)}$	Sınıf	Tanım
< 1.1	1	Bozunmamış (taze)
1.1-1.5	2	Az bozunmuş
1.5-2	3	Orta derecede bozunmuş
> 2	4	Tamamen bozunmuş

Burada, R_f : taze yüzeyin Schmith çekici geri tepme sayısı, R_w : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmith çekici geri tepme sayısıdır.

2.4.1.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbiriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca (ikincil geçirgenlik) meydana gelen akışla gerçekleşir. Sızma hızı, kabaca yerli hidrolik eğime ve yönsel geçirgenliğe bağlıdır.

Bu çalışmada, süreksizliklerdeki su durumunun sondajlar, kazı ve yarmalar ile takip edilebilmesindeki güçlükler nedeniyle, ISRM (1981) tarafından önerilen kayaç mostralarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntılarıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmıştır (Tablo 2.7 ve 2.8).

Tablo 2.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış (bu durumda sürekli akışın gözlendiği süreksizlikler gözlenmelidir)
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Tablo 2.8. Dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
<i>Dolgusuz süreksizliler</i>	
1	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru, su akışı gözlenmiyor
2	Süreksizlik yüzeyi kuru ve suyun aktığına ilişkin bir gösterge yok
3	Süreksizlik yüzeyi kuru, ancak suyun akmış olduğuna ilişkin izler var
4	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
5	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor
6	Süreksizlik yüzeyi boyunca sürekli bir su akışı var (lt/dak olarak ölçülebilir veya düşük, orta veya yüksek basınç şeklinde tanımlanabilir)
<i>Dolgulu süreksizliler</i>	
1	Dolgu malzemesi aşırı konsolide olmuş malzemeden oluşuyor ve geçirgenliğin az olması nedeniyle önemli derecede su akışı gözlenmiyor
2	Dolgu ıslak ve yer yer su damlacıkları gözleniyor
3	Dolgu malzemesi su damlacıkları ile ıslanmış
4	Dolgu malzemesinin yıkanmış ve ıslanmış olduğuna ilişkin izler ve sürekli su akışı gözleniyor
5	Dolgu malzemesi yerel olarak yıkanmış ve taşınmış, yıkama kanalları boyunca önemli miktarda su akışı var
6	Dolgu malzemesi tamamen taşınmış ve su basıncı yüksek

2.4.1.8. Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı

Blok boyutu indeksi (I_b), süreksizlik sıklığının hacimsel olarak ifadesi olup kaya kütle kalitesini gösteren en önemli göstergelerden biridir (Palström, 1996; Cai vd., 2004). Blok boyutu süreksizlik ara uzaklığı, süreksizlik yönelimi, süreksizlik takım sayısı ve süreksizlik devamlılığı gibi parametrelere bağlıdır.

Sedimanter kayaçlarda birbirine dik yönde gelişmiş iki eklem seti ve tabakalanma, kübik veya prizmatik bir blok şekli oluşturur ve blok boyutu indeksi aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir

$$I_b = \frac{(S1 + S2 + S3)}{3} \quad (8)$$

Burada, S1, S2 ve S3 her eklem seti için hesaplanmış ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleridir.

Palström (1982; 1985 ve 1996) ile Şen ve Essa (1992) tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v), birim hacimdeki bir kaya kütleğinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Bu parametrenin tayininde rasgele gelişmiş süreksizlikler de dikkate alınabilir. Ancak tanımlanan hacimsel eklem sayısını önemli ölçüde etkilemez. Bu konuda elde edilen deneyimler, ölçüm hattı uzunluklarının 5-10 metre arasında seçilebileceğini göstermiştir (Palström, 1996).

$$J_v = \frac{N1}{L1} + \frac{N2}{L2} + \frac{N3}{L3} + \dots + \frac{Nn}{Ln} \quad (9)$$

veya

$$J_v = \sum (1/Si) + (Nr/5) \quad (10)$$

Burada, N_n : gözlenen her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı, L_n : gözlenen her bir eklem setine dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu, S_i : her bir süreksizlik takımı için ara uzaklık (m) ve N_r : incelenen alandaki rasgele gelişmiş süreksizlik sayısıdır.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen formüller dikkate alınarak blok boyutu indeksi ve hacimsel eklem sayısı hesaplanmış, ISRM (1981) ve (Palström, 1982 ve 1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerinden yararlanılmıştır (Tablo 2.9 ve 2.10).

Tablo 2.9. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM, 1981).

Tanım	J_v (eklem/m ³)
Çok geniş bloklar	< 1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükteki bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	> 30

Tablo 2.10. Güncel J_v sınıflaması (Palström, 1982 ve 1996).

Sınıf No	Eklem tanımı	J_v tanımı	J_v (eklem/m ³)
1	Masif	İleri derecede düşük	< 0.3
2	Çok az eklemli	Çok düşük	0.3-1.0
3	Az eklemli	Düşük	1-3
4	Orta derecede eklemli	Orta derecede düşük	3-10
5	Çok eklemli	Yüksek	10-30
6	İleri derecede eklemli	Çok yüksek	30-100
7	Parçalanmış	Aşırı derecede yüksek	100-300

2.4.1.9. Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)

% RQD, bir sondajda herhangi bir ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifade edildiği sayısal bir indekstir. Deere (1964) tarafından önerilen RQD, aşağıda verilen ifadeden belirlenir.

$$\% RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} \times 100 \quad (11)$$

Burada, n: ilerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı; l: RQD'ye dahil edilen ve boyu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları, L: ilerleme uzunluğudur.

Çalışmada, sondaj sırasında yapılan zorlama veya karotların karotiyerden çıkartılırken ya da sandığa yerleştirilirken kırılması sonucu oluşan ve doğal olmayan mekanik kırıklar RQD'nin tayininde dikkate alınmamıştır. Bunun yanı sıra karotun yatay eksenine dik veya dike yakın süreksizlik içeren karotlar % RQD hesaplanmasına dahil edilmiştir.

Sondaj yapılamayan alanlarda ise RQD aşağıdaki formül (Priest ve Hudson, 1976) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ RQD} = 100 e^{(-0.1\lambda)}(0.1\lambda+1) \quad (12)$$

Burada λ : 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısıdır.

RQD değerlerinin değişim aralıkları esas alınarak, Deere (1964) tarafından kaya kalitesi tanımlamaları yapılmıştır (Tablo 2.11). RQD değeri, Tablo 2.11'deki değişim aralıklarına göre puanlandırılarak kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde bir girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2.11. RQD sınıflaması (Deere, 1964).

RQD	Kaya kalite göstergesi
Çok zayıf	< 25
Zayıf	25-50
Orta	50-75
İyi	75-90
Çok iyi	90-100

2.4.2. Sondaj Çalışmaları

Bu çalışmada, kaya ortamının yanal ve düşey devamlılığı ile fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, süreksizliklerin özelliklerinin tayin edilmesi ve ortamın permeabilite katsayısının hesaplanmasına yönelik basınçlı su deneylerinin yapılması amacıyla sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Pratikte düzenli depolama işleminde 2 hektarlık alan için 5 adet sondaj yer altının düşey ve yatay değişimi belirlemek için yeterlidir. Eklenen her hektar için 2 sondaj daha fazla yapılması gerekmektedir. Sondajların minimum derinliği 7.5 olmalıdır (Bagchi, 2004). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (1991) göre, depolama yapılacak alana sıkıştırılmış ve kalınlığı en az 60 cm olan kil serilmelidir. Bu kil tabakasının geçirimsizlik katsayısı en az 1×10^{-8} m/sn olmalıdır. Ancak az çatlaklı kayalarda bu değer 1×10^{-7} m/sn olarak alınır. Çalışmada, ana kayanın geçirimsizlik özelliğinin belirlenmesi amacıyla 5 lokasyonda toplam 80 metre sondaj açılmış ve basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Uygulamada döner sondaj yöntemi seçilmiş, 89 mm çapında

muhafaza borusu, 3 metrelik delikli borular, 54.5 mm çapında ve 305 mm uzunluğunda sondaj boruları kullanılmış, ilerleme hattı 1.5 m olarak seçilmiştir.

Basınçlı su deneyleri uygulamada tek lastik ve çift lastik yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Tek lastik yöntemi genellikle az çatlaklı ve ayrışmamış kayaçlarda uygulanırken, çift lastik yöntemi ayrışmış, çok parçalı ve kırıklı kayaçlarda uygulanır. Bu çalışmada da ortamın kırıklı kayaçlardan oluştuğu için tek lastik yöntemi kullanılarak basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Deney aralığı kayaçların içerdiği süreksizliklere bağlı olarak 0.5-5 m arasında değişebilir. Çalışmada süreksizliklerin tabaka kontrollü olması ve kısa mesafelerde litolojinin değişmemesi nedeniyle deney mesafesi 5 m olarak alınmıştır. Bu yöntemde kuyu deney aralığına kadar delinmiş ve lastik şişirilerek, deney aralığının üst tarafı ile ilişkisi kesilmiştir. Deney aralığına, deney lastiği içinden geçen tij ile basınçlı su pompalanmıştır. Her deney kademesinde sırasıyla 2, 4, 6, ve 8 atm basınçlar uygulanmış ve aynı basınçlarla geri dönmüştür. Her basınç kademesinde deney aralığına 5'er dakika ara ile toplam 10 dakika su verilmiştir. Basınç değerleri manometreden, pompalanan su miktarı da su saatinden okunarak not edilmiştir. Bunu yanı sıra manometrenin kuyu ağzından olan yüksekliği, kullanılan tij türü, çapı, boyu ve pompa kapasitesi not edilmiştir (deneyde 300 mm boyunda ve 66 mm çapında deney lastiği, 150 lt/dak kapasiteli pompa kullanılmıştır). Sondaj bitene kadar her 5 m'de bir aynı işlem tekrar uygulanmıştır. Deneyde 10 atm basınca ulaşamadığı için Houlsby (1960) tarafından önerilen aşağıdaki formüller kullanılarak Lugeon birimi belirlenmiştir.

$$Lu = \frac{Eks - Ekö}{Ps - Pö} x (10 - Pö) x Ekö \quad (13)$$

$$Ek = (\text{toplam kaçak, lt}) / (\text{dakika cinsinden zaman} \times m \text{ cinsinden kademe boyu}) \quad (14)$$

$$P = Pm + \frac{H}{10} - Pc \quad (15)$$

Burada, Lu: 10 atm basınca uyarlanmış Lugeon değeri, Eks: emilme katsayısı sonraki (lt/dakika/m), Ekö: emilme katsayısı önceki (lt/dakika/m), Ps: gerçek basınç değeri sonraki (atm) ve Pö: gerçek basınç değeri önceki (atm), Ek: emilme katsayısı, P: gerçek basınç (kg/cm²), Pm: manometrede okunan basınç (kg/cm²), H: deney kademesinin ortasından

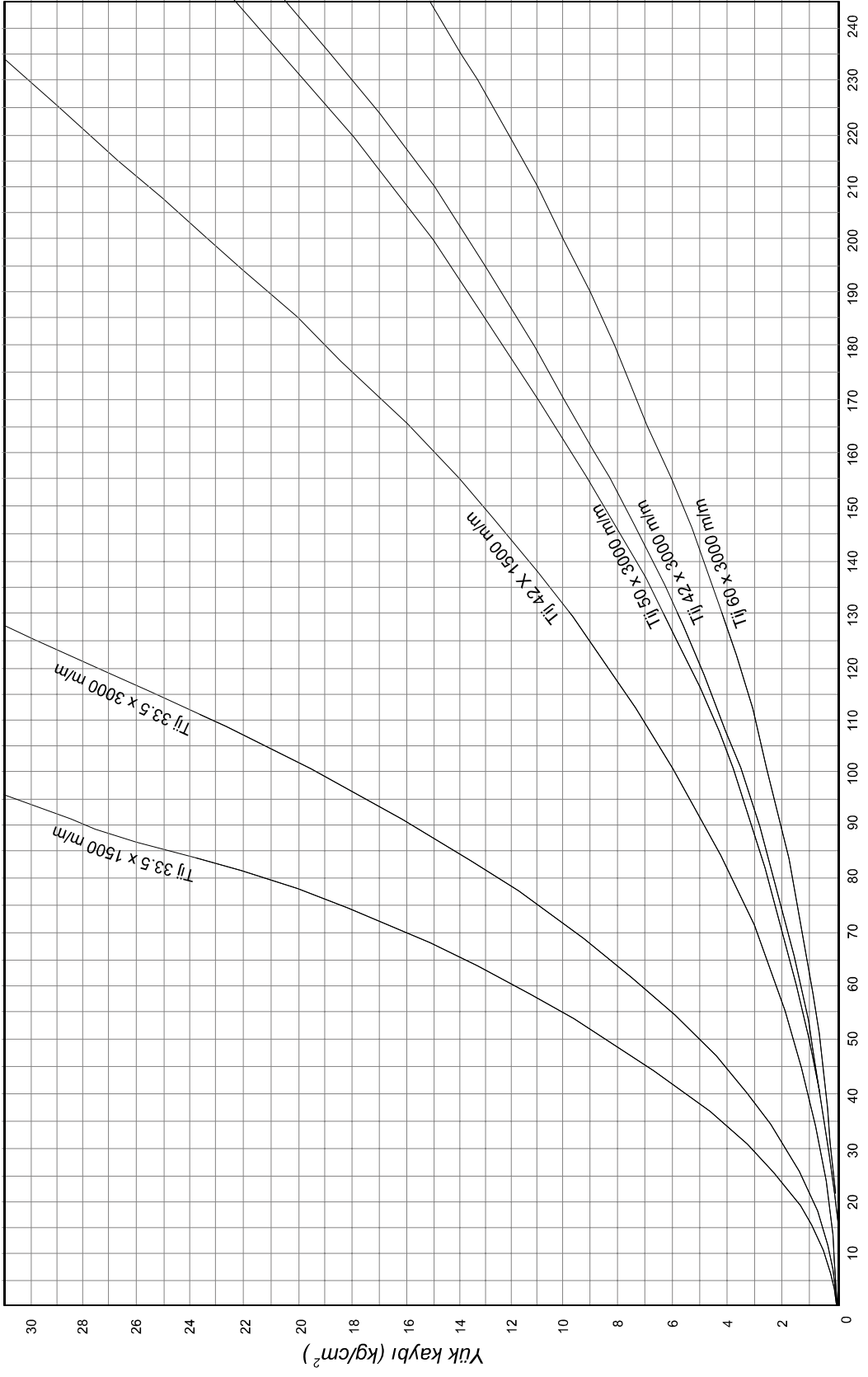
manometreye olan uzaklık (m) ve P_c : yük kaybıdır (Yük kaybı Şekil 2.4'den hesaplanmaktadır).

Grafik metodu kullanılarak yapılan hesaplamada, deney yapılan tüm kademelerde okunan basınçlar hakiki basınca çevrilmekte ve bu basınçlara karşılık gelen su kayıplarından emilme katsayısı değerleri hesaplanmaktadır. Grafik çiziminden sonra elde edilen eğrinin lineer olarak devam ettiği varsayılarak 10 atm hakiki basınca karşılık gelen emilme katsayısı Lugeon (lt/m/dak) olarak alınmaktadır.

2.4.3. Laboratuvar Çalışmaları

Kayaçların mühendislik amacıyla sınıflandırılması ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, kaya mekaniği biliminin ve bununla ilgili tasarım uygulamalarının ayrılmaz ve önemli bir parçasıdır. Kayaç malzemesini mühendislik sınıflaması açısından tanımlamaya yönelik özellikler, indeks özellikler olup, bunların arasında yüksek korelasyon elde edilmesi mümkündür. Doğru indeks deneylerinin seçilmesi koşuluyla, kökenine bakılmaksızın, birbirine yakın indeks değerine yakın kayaçların benzer mühendislik davranış göstermeleri beklenir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Bununla birlikte, bu tür indeks deneylerin elde edilen veriler, mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılmaktadır. Kayaçların tek eksenli ve üç eksenli sıkışma koşulları, çekilme ve makaslama kuvvetleri altındaki davranışları ve bunlarla ilgili parametreler ise mühendislik tasarımlarında dikkate alınan girdi parametreleri olup, bunların tasarım deneyleri olarak gruplandırılan deneylerle tayin edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, su içeriği, yoğunluk, birim hacim ağırlık, porozite tayini, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi, nokta yükü dayanım indeksi deneyi ve Schmith sertlik çekici deneyi ile tek eksenli sıkışma dayanımı, ve sonik hız deneyi gibi tasarım deneyleri ve bu deneylerde kullanılacak karot örneklerinin hazırlanması ISRM (1981 ve 1985), ASTM (1992a ve b; 1994), CANMET (1997a ve b) ve TSE (1975, 1987 ve 1990) standartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Deneyler sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen ve laboratuvara getirilen blok örneklerden alınan karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda ve DSİ XXII Bölge Müdürlüğü, Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.



Şekil 2.4. Lugeon yönteminde yük kaybını belirlemede kullanılan grafik

2.4.3.1. Schmith Çekici Geri Tepme Sayısı

Bu deney, Schmith çekici kullanılarak, kayaçların Schmith geri tepme sertliğinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Deney, çok zayıf ve çok sağlam kayaçalarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir (Xu vd., 1990).

Schmith çekiciyle okunan geri tepme sayısını etkileyen en önemli parametreler, kullanılan çekiç tipi (L ve N tipi), uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir. Bu çalışmada ISRM (1981) tarafından önerilen N tipi Schmith sertlik çekici kullanılmıştır.

Uygulamada birbirinden farklı bir çok ölçme ve değerlendirme yöntemi vardır (Poole ve Farmer, 1980; Haramy ve De Marco, 1985; ISRM, 1978; Gökten ve Ayday, 1993). Uygulamada en yaygın kullanılan yöntem, ISRM (1978 ve 1981) tarafından önerilen değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde, deney örneği veya kayaç yüzeyi üzerinde birbirinden uzaklığı en az çekicinin uç çapına eşit olan en az 10 ayrı noktada okunan geri tepme sayıları, çekicinin konumuna göre standardize edilerek en küçük 5 değer çıkarılır ve ortalama geri tepme sayısı hesaplanır. Ancak, Gökten ve Ayday (1983), bu yöntemde en yüksek % 50'lik kesimin keyfi olarak seçildiğini, böylece sertliği ölçülen yüzeyde sert kısımların, zayıf kısımlara ait veriler üzerinde belirgin duruma geldiğini vurgulamaktadır. Yazarlar, zayıf kısımların göz ardı edilmesinin kaya sınıflandırılmasında yanlış yaklaşımlara yol açabileceğini vurgulamaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla, yazarlar ölçüm dağılımını temsil edecek verilerin seçiminde Chauvenet Ölçütü'nün kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Chauvenet ölçütü t dağılımının özel bir durumudur ve bir dağılımdaki verilerden dağılımı temsil edecek verilerin seçilip ortalamaya katılması esasına dayanır. Bu çalışmada da uygulanan ölçütün uygulanış şekli aşağıda verilmiştir:

- Ölçülen tüm verilerin ortalaması ve standart sapması bulunur.
- Aşağıdaki formül yardımıyla her bir veri için ayrı ayrı standart sapma oranı hesaplanır.

$$Sso = (Ri - X) / ss \quad (16)$$

Burada, Sso: standart sapma oranı, X: ortalama geri tepme değeri, ss: standart sapma değeridir.

Standart sapma oranının mutlak değeri Tablo 2.12’da verilen değerlerden büyük olan ölçüm değerleri ortalamaya katılmaz. Geri kalan değerlerin ortalaması geri tepme sayısını vermektedir.

Bu çalışmada Schmith sertlik değerleri bulunurken Chauvenet Ölçütü’nden yararlanılmıştır. Ölçüm yapılırken düşeyden farklı bir açıyla yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre değerlendirilmiştir (Tablo 2.13)

Tablo 2.12. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri

Örnek Sayısı (N)	Standart Sapma	Örnek Sayısı (N)	Standart Sapma
2	1.15	12	2.04
3	1.38	15	2.13
4	1.54	20	2.24
5	1.65	25	2.33
6	1.73	30	2.40
7	1.80	35	2.45
8	1.86	50	2.58
9	1.91	100	2.81
10	1.96	250	3.09

Tablo 2.13. Schmidt çekici geri tepme sayılarının aşağıya doğru dik olarak tutulma durumuna göre düzeltme değerleri (Barton ve Choubey, 1977).

Geri Tepme Sayısı (R)	Çekiç Aşağıya Doğru		Çekiç Yukarıya Doğru		Çekiç Yatay $\alpha: 0$
	$\alpha: -90$	$\alpha: -45$	$\alpha: +90$	$\alpha: +45$	
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

2.4.3.2. Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi

Bu deneyde amaç, kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflanmaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesidir. Genellikle ayrışmış ve kil içeriği yüksek olan zayıf kayaçlar üzerinde uygulanan deney, ilk kez Gamble (1971) ve Franklin ve Chandra (1972)

tarafından çamurtaşlarının kısa süreli ıslanma-kuruma gibi fiziksel etkilerle parçalanma durumunu belirlemek için önerilmiş ve ISRM (1979) tarafından standart hale getirilmiştir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (ikinci çevrime göre) tamburda en son kalan malzeme ağırlığının deneyin başlangıcındaki malzeme ağırlığına oranı şeklinde ifade edilir.

Suda dağılmaya karşı duraylılığı yüksek olan kayaçlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, bu tür kayaçların değerlendirilmesi için ikiden daha fazla, tercihen 4 çevrim yapılarak, bu çevrimden elde edilen değerlerin esas alınması önerilmiştir (Ulusay vd., 1995; Gökçeoğlu vd., 2000).

Bu çalışmada ise kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi belirlenirken Ulusay vd. (1995), Gökçeoğlu vd. (2000) önerilen yöntem uygulanmıştır.

2.4.3.3. Nokta Yükleme Deneyi

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütle sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. Bununla birlikte, günümüzde nokta yükü dayanım indeksinin, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tahmini amacıyla tercih edilmemesi yönünde bir eğilim vardır (Ulusay vd., 2001).

Bu çalışmada nokta yükleme deneyi uygulanırken ISRM (1985) tarafından önerilen standartlar uygulanmıştır. Deneyler gerek sondajlardan elde edilen gerekse araziden alınan kaya bloklarından alınan karotlar üzerinde uygulanmıştır. Deney uygulanırken karot örneklerinin uzunluklarının, çaplarına oranının 1.0-1.5 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Çapı ve boyu kompas ile ölçülen örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, yükleme örnekler 10-60 sn içinde kırılacak şekilde gerçekleştirilmiştir. ISRM (1985) bu deney için kaya malzemesini tanımlamak amacıyla en az 10 örneğin deneye tabi tutulmasını önermiştir. Nokta yükü dayanım indeksi sonuçları aşağıdaki formüller yardımıyla belirlenmiştir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (17)$$

Burada, I_s : düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa), D_e : çapsal deneylerde karotun çapı (mm), P : yenilme anında manometreden okunan yüküdür (kN).

I_s değeri, çapsal deneyde D 'nin diğer deneylerde ise D_e 'nin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu nedenle I_s değerinin standart bir karot çapına (D : 50 mm) göre düzeltilmesi gerekmektedir (ISRM, 1981). Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (18)$$

$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (19)$$

Burada F , boyut düzeltme faktörüdür.

2.4.3.4. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Ayrıca kaya kütlesinin basınç dayanımı ve kayma parametrelerinin tahmini için geliştirilen görgül yaklaşımlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak örnek sayısı pratik gereksinimlere bağlı olmakla birlikte, ISRM (1981) tarafından her kayaç türünden en az 5 örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (20)$$

Burada, F : yenilme anında kaydedilen yük, A : silindirik örneğin en kesit alanıdır.

Çalışmada NX (54.7 mm) ve 50 mm çaplı karotlar üzerinde deneyler yapılmış, deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak referans çapa (50 mm) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown, 1980).

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{(50/D)^{0.18}} \quad (21)$$

Burada, σ_c : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_{cd} : D çapında bir örneğin sıkışma dayanımı, D: örnek çapıdır.

2.4.3.5. Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlığı belirlenmek istenen örnekler 105°C'de 48 saat kurutulduktan sonra plastik tokmakla ezilerek ufalanmış ve ISRM (1981) standartlarına göre deneye uygun hale getirilmiştir. Ardından örneklerden yarılama metoduyla 8-10 gr alınarak piknometreye konulmuş ve örneğin üzerini örtecek kadar saf su ilave edilmiştir. Vakum desikatörüne konulan örnek ve su karışımı malzemenin havası alınmış ardından piknometre içine hava kabarcığı oluşmayacak ve piknometreyi tam dolduracak şekilde saf su ilave edilmiştir. Tekrar vakumlama işlemi yapıldıktan sonra piknometre üzerindeki su partikülleri kurulanmıştır. Deney sırasında piknometre, piknometre+örnek, piknometre+su ve piknometre+örnek+su ayrı ayrı tartılmış ve özgül ağırlık değerleri aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{wn}{wn + (wa - wb)} \quad (22)$$

Burada, wn: fırında kurutulmuş numune ağırlığı, wa: suyla dolu piknometre ağırlığı ve wb: zemin ve su dolu piknometre ağırlığıdır.

2.5. Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi yer yüzünde veya çok sığ derinliklerde yapay olarak meydana getirilen sismik dalgaların yer içerisinde kırılarak yayıldıktan sonra yer yüzündeki alıcılara gelmeleri için geçen zamandan faydalanarak yer altının yapısı, farklı birimlerin devamlılığı, fiziksel ve elastik özellikleri hakkında fikir veren ve en çok tercih edilen bir yöntemdir.

Çalışmada, sismik kırılma ölçülerinin alınmasında 12 kanallı, Geometrics marka ve ES3000 model araştırma sismografi kullanılmıştır. P dalgalarını (boyuna dalga) üretmek için enerji kaynağı için zemin üzerine yerleştirilmiş çelik levhaya (20 cm x 30 cm ebadında) balyozla vurulmuştur. S dalgalarını (enine dalga) üretmek için ise zemine açılmış yaklaşık 50 cm derinliğindeki çukura çelik levha düşey olarak yerleştirilmiş ve aynı işlem uygulanmıştır. P dalgalarını algılayabilmek için düşey bileşenli alıcılar (jeofon), S dalgalarını algılayabilmek için ise yatay bileşen alıcılar kullanılmıştır. 5 farklı istasyonda alınan profillerde düz, ters, ara ve orta vuruşlar yapılmıştır.

Sismik yöntemlerde kaya kütlelerine ait yoğunluk, poisson oranı, kesme modülü, bulk modülü ve elastisite modülü aşağıda verilen eşitlikler (Telford vd., 1993) yardımıyla belirlenmiştir.

$$\rho = 0.31xVp^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (23)$$

$$\nu = \left[0.5\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 - 1 \right] / \left[\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 - 1 \right] \quad (24)$$

$$G = \rho xVs^2 \quad (25)$$

$$k = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (26)$$

$$E_m = 2G(1 + \nu) \quad (27)$$

Burada, V_p : boyuna dalga hızı (m/sn), V_s : enine dalga hızı (m/sn), ρ : yoğunluk (gr/cm^3), ν : poisson oranı, G : kesme modülü (MPa), k : bulk modülü (MPa) ve E_m ise elastisite modülüdür (MPa).

3. BULGULAR

3.1. Giriş

Trabzon İli'nde karşılaşılan en önemli çevre problemi katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğidir. Özellikle hiçbir önlem alınmadan denize ve açık alanlara endüstriyel ve hastane atıkları ile beraber depolanan evsel atıklar çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu nedenle, çalışmanın ilk aşamasında Trabzon İli'nde katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin önüne geçilmesi için, önerilen proje süresince Trabzon İli'nde üretilecek katı atık miktarı belirlenmiş, belirlenen katık atık miktarına göre düzenli depolama için ihtiyaç duyulan asgari alan ve hacim hesapları yapılmıştır. Bunu takiben, alternatif depolama alanları bilgisayar destekli istatistiksel ve konumsal analizlerle tespit edilmiş ve sonuç olarak Düzyurt Yöresi'ndeki eski çimento hammadde sahasının düzenli depolama alanı olabilirliği araştırılmıştır.

3.2. Nüfus Yoğunluğu ve Katı Atık Üretimi

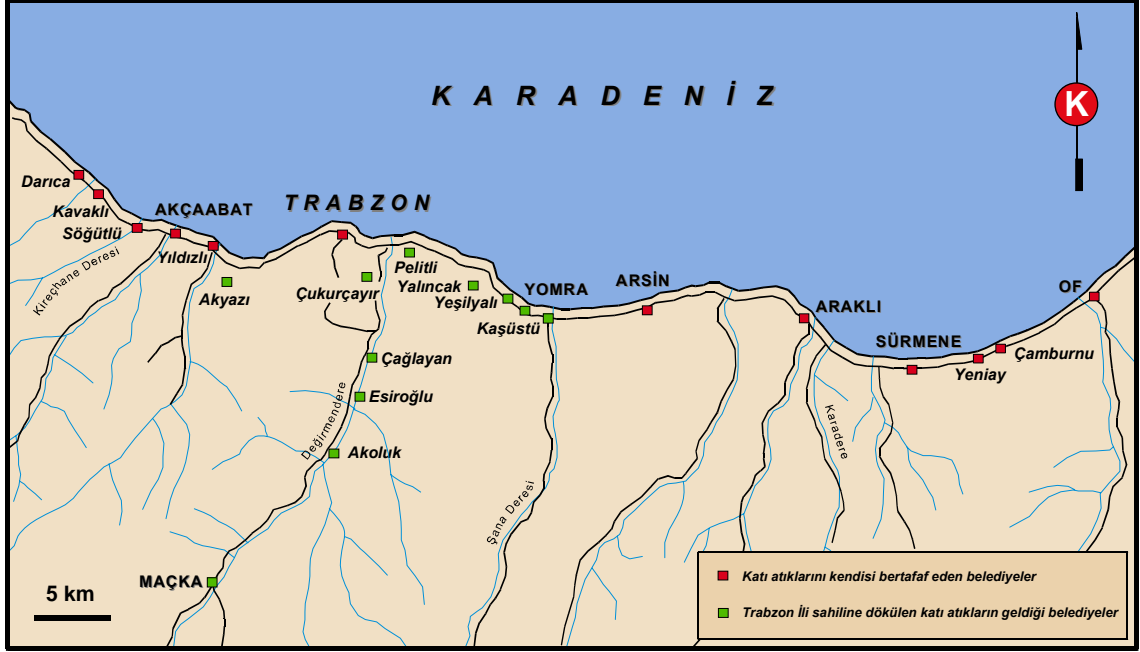
Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (1991) göre, evsel ve evsel katı atık özelliğindeki endüstriyel atıklar ve bunların atık su arıtma çamurlarını depolamak üzere inşa edilen depo tesislerinin asgari kapasiteleri, nüfusu 100000'den küçük yerleşim bölgelerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayacak şekilde, nüfusu 100000'den büyük olan yerlerde 500000 m³ olmalıdır. Bu nedenle çalışmanın ilk aşamasında, Trabzon İli'nin gelecekteki nüfus yoğunluğu ve atık üretim oranlarını belirlenmiştir.

3.2.1. Nüfus Yoğunluğu

Bu çalışmada Trabzon İli, Trabzon Belediyesi'nin hizmet verdiği 11 belediye, hizmet dışında kalan 12 belediye ve merkez ilçe olmak üzere 3 farklı bölgeye ayrılmıştır. Farklı nüfus artışı ve buna bağlı olarak değişen katı atık üretim oranlarına göre, nüfus

yoğunlukları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Trabzon İli katı atıkları için düzenli depolama alanı araştırılırken sözü geçen tüm belediyeler için ortak bir alternatif alan aranmıştır.

Trabzon merkez ilçe, katı atık hizmeti alan ve almayan belediyelerin dağılımları Şekil 3.1’de ve bu belediyelerin yıllara göre nüfus sayım sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir (KFW ve ERM, 2004).



Şekil 3.1. Trabzon merkez ilçe, Trabzon Belediyesi’nin hizmet verdiği 11 belediye ve hizmet dışında kalan 12 belediyenin dağılımı

Tablo 3.1. Trabzon merkez ilçe, Trabzon Belediyesi’nin hizmet verdiği belediyeler ve hizmet dışında kalan belediyelerin yıllara göre nüfus dağılımı (KFW ve ERM, 2004).

Yıllar	Trabzon Merkez İlçe	Hizmet Alan Belediyeler	Hizmet Almayan Belediyeler
1970	80795	15502	41868
1975	97208	18483	54303
1980	108403	22797	54754
1985	142008	26294	71090
1990	143941	31184	83118
1995	177904	47597	123187
2000	214949	54630	145828

Mevcut nüfus sayım sonuçlarından yararlanarak gelecek yıllardaki nüfus miktarlarını tahmin edebilmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılan aritmetik ve geometrik artış yöntemidir. Bu yöntemlerde nüfusun birim zamandaki artışının zamanla sabit kaldığı kabul edilir (Karpuzcu, 1985). Fakat nüfusun birim zamandaki artış kabulü pratikte hatalara sebep olmaktadır. Bu nedenle, nüfus tahminine yönelik istatistiksel değerlendirilmelerle denetlenen çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunların arasında en çok kabul gören yöntem ise lineer regresyon yöntemidir (en küçük kareler yöntemi).

Bu nedenle bu çalışmada lineer regresyon yönteminden yararlanarak gelecekteki nüfus miktarları belirlenmiştir.

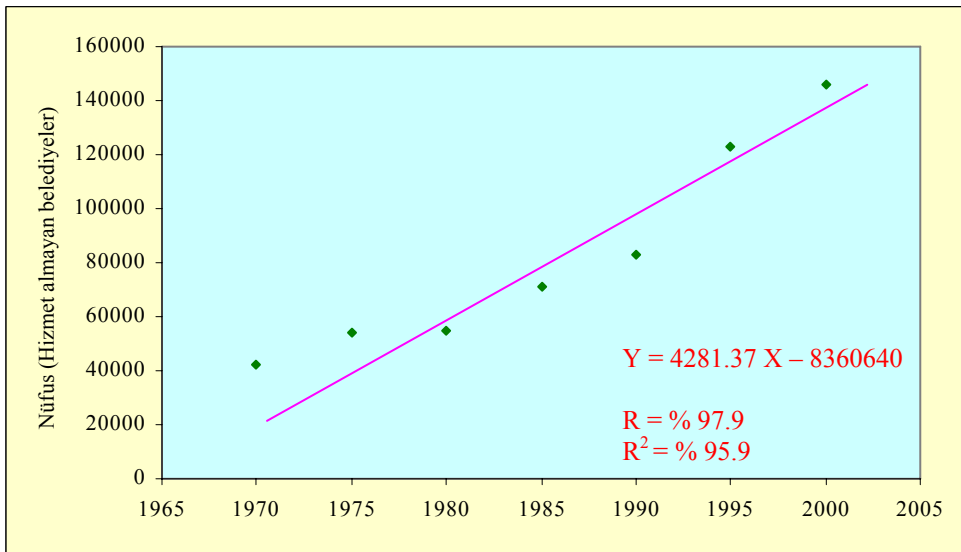
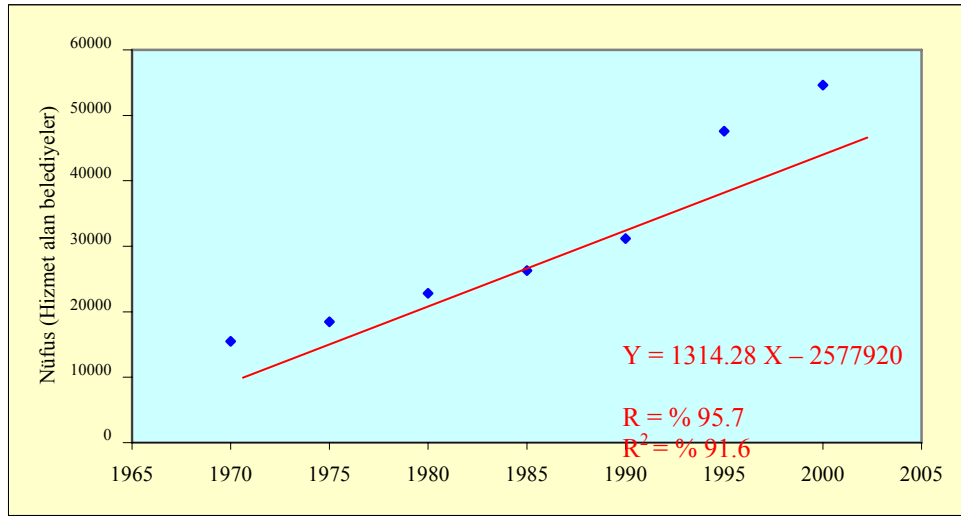
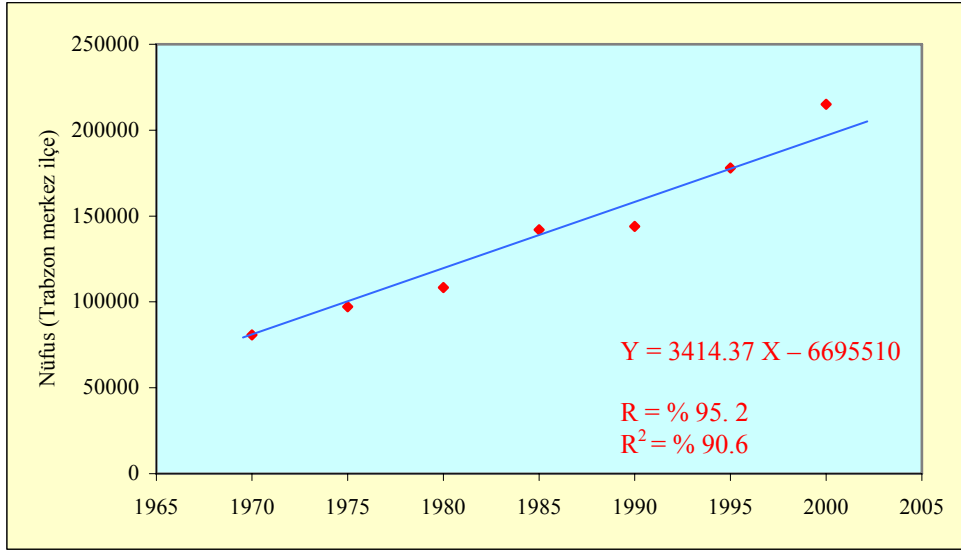
Regresyon analizi aralarında ilişki olan iki ya da daha fazla değişkenden birinin bağımlı değişken, diğerlerinin bağımsız değişkenler olarak ayrımı ile aralarındaki ilişkinin bir matematiksel eşitlik ile açıklanmasıdır.

İki değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olup olmadığını anlamak için saçılma diyagramlarından yararlanılmıştır. İki boyutlu düzlemde değişkenlerin değerlerine göre her bir denek için hazırlanan noktaların oluşturdukları bir küme söz konusudur. Bu noktalar kümesi için çizilecek bir regresyon doğrusundan aşırı sapma gösteren uç değerler, ilişkinin doğrusallığına zarar verebilir. Bu nedenle bu tür değerlerin olup olmadığı, saçılma diyagramları kullanılarak incelenmelidir (Büyüköztürk, 2002). Şekil 3.2’de nüfus değerlerine ait saçılma diyagramları görülmektedir.

Saçılma diyagramları üzerinde daha kolay yorum yapabilmek için, grafikler üzerinde regresyon doğruları gösterilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere nüfus ve yıl değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

Saçılma diyagramlarının yorumlarından sonra lineer regresyon analizi yapılmış, analizlerde yıllar bağımsız, nüfus değerleri de bağımlı değişkenler olarak tanımlanmış ve SPSS 10.0 (Statistical Analysis of Social Sciences) programında yapılan yorumlamalar sonucunda her bir grup için regresyon denklemleri belirlenmiştir.

Oluşturulan regresyon analizi tabloları ve regresyon doğrusu denklemleri Şekil 3.2’de ve Tablo 3.2-3.4 verilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı belediyelere ait yıl-nüfus değerlerinin saçılma diyagramları

Tablo 3.2. Nüfus-Yıl değişkenlerine göre hazırlanan regresyon tablosu (Trabzon Merkez İlçe)

Değişimin Katsayısı	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F (Hesap)	F (Tablo)
Lineer Regresyon	1.28×10^{10}	1	12831098917	117.494	6.61
Sapma	5.46×10^8	5	109206106.86		
Toplam	1.34×10^{10}	6			

Tablo 3.3. Nüfus-Yıl değişkenlerine göre hazırlanan regresyon tablosu (Hizmet alan belediyeler)

Değişimin Katsayısı	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F (Hesap)	F (Tablo)
Lineer Regresyon	1.21×10^9	1	1209129714.3	54.464	6.61
Sapma	1.11×10^8	5	22200558.621		
Toplam	1.32×10^9	6			

Tablo 3.4. Nüfus-Yıl değişkenlerine göre hazırlanan regresyon tablosu (Hizmet almayan belediyeler)

Değişimin Katsayısı	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F (Hesap)	F (Tablo)
Lineer Regresyon	8.16×10^9	1	8160552576.6	47.995	6.61
Sapma	8.50×10^8	5	170030124.06		
Toplam	9.01×10^9	6			

Regresyon analizlerinden görüldüğü gibi determinasyon katsayısı (R) değerinin 1'e çok yakın olması ve F (hesap) değerlerinin F(tablo) değerlerinden yüksek olması (Pearson ve Hartley, 1972) nüfus ve yıl değişkenleri arasında % 95 düzeyde anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, regresyon eşitliklerinden yararlanılarak gelecek 20 yıl için nüfus tahminlerinde bulunulmuştur (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Trabzon İli belediyelerine ait mevcut nüfus bilgileri ve gelecek yıllara ait nüfus projeksiyonu

Yıllar	Trabzon Merkez İlçe	Hizmet Alan Belediyeler	Hizmet Almayan Belediyeler
1970	80795	15502	41868
1975	97208	18483	54303
1980	108403	22797	54754
1985	142008	26294	71090
1990	143941	31184	83118
1995	177904	47597	123187
2000	214949	54630	145828
2004	219225	55897	146887
2005	223507	57211	150302
2006	227788	58526	153716
2007	232070	59840	157131
2008	236351	61154	160545
2009	240632	62469	163959
2010	244914	63783	167374
2011	249195	65097	170788
2012	253476	66411	174202
2013	257758	67726	177617
2014	262039	69040	181031
2015	266321	70354	184446
2016	270602	71668	187860
2017	274883	72983	191274
2018	279165	74297	194689
2019	283446	75611	198103
2020	287727	76926	201517
2021	292009	78240	204932
2022	296290	79554	208346
2023	300572	80868	211761
2024	304853	82183	215175
2025	309134	83497	218589

3.2.2. Katı Atık Üretim Tahmini

2004 yılı itibariyle Trabzon Merkez İlçe’de üretilen katı atık miktarı günde 177.8 tondur. Buradan kişi başına üretilen atık yoğunluğunun 0.81 kg/kişi/gün olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde hizmet alan diğer belediyelerin ürettiği katı atık miktarı (12.8 ton) nüfus sayısına bölünürse bu belediyeler için kişi başına üretilen atık yoğunluğunun, 0.23 kg/kişi/gün olduğu görülür. Bunun yanı sıra hizmet görmeyen diğer belediyeler için

kişi başına üretilen atık yoğunluğunun, 0.65 kg/kişi/gün olarak belirtilmiştir (KWF ve ERM, 2004).

Tüm bu değerler kullanılarak çalışma kapsamındaki belediyelerin 2025 yılı sonuna kadar üretecekleri katı atık miktarları hesaplanmıştır (Tablo 3.6). Hesaplamalar sonucunda 2025 yılı sonu itibariyle üretilen katı atık miktarı 2481208 ton olarak bulunmuştur.

Tablo 3.6. Çalışma kapsamındaki belediyelerin 2025 yılı sonuna kadar üretecekleri katı atık miktarı

Yıllar	Nüfus Değerleri			Katı Atık Miktarı (ton)		
	Trabzon Merkez İlçe	Hizmet Alan Belediyeler	Hizmet Almayan Belediyeler	Trabzon Merkez İlçe	Hizmet Alan Belediyeler	Hizmet Almayan Belediyeler
2007	232070	59840	157131	68611	5024	37279
2008	236351	61154	160545	69877	5134	38089
2009	240632	62469	163959	71143	5244	38899
2010	244914	63783	167374	72409	5355	39709
2011	249195	65097	170788	73675	5465	40519
2012	253476	66411	174202	74940	5575	41330
2013	257758	67726	177617	76206	5686	42140
2014	262039	69040	181031	77472	5796	42950
2015	266321	70354	184446	78738	5906	43760
2016	270602	71668	187860	80003	6017	44570
2017	274883	72983	191274	81269	6127	45380
2018	279165	74297	194689	82535	6237	46190
2019	283446	75611	198103	83801	6348	47000
2020	287727	76926	201517	85067	6458	47810
2021	292009	78240	204932	86332	6568	48620
2022	296290	79554	208346	87598	6679	49430
2023	300572	80868	211761	88864	6789	50240
2024	304853	82183	215175	90130	6899	51050
2025	309134	83497	218589	91396	7010	51860
Proje süresi için toplam: 2 481 208 ton						

3.3. Düzenli Depolama İçin Gerekli Olan Alan ve Hacim Hesabı

Düzenli depolama için gerekli olan alan ve hacim hesabı katı atık yönetiminin vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle bu çalışmada, çöp üretim oranına ve çöpün yoğunluğuna bağlı olarak Tchobanoglous vd. (1977) tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılarak düzenli depolama için gerekli alan ve hacim hesapları yapılmıştır.

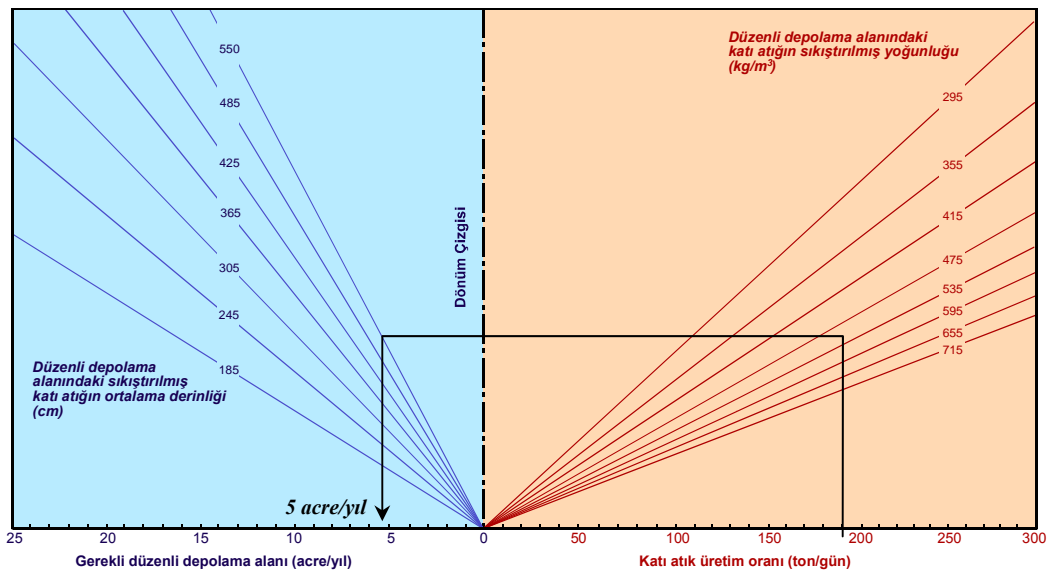
$$V = \frac{FxR}{D} \left[1 - \frac{P}{100} \right] + Cv \quad (3.1)$$

$$A = \frac{V}{d} \quad (3.2)$$

Burada, V: depolama yapılacak hacim (m^3), F: derinliği fazla olan yerlerde 1.17 (özellikle kanyon yöntemi için), sıg derinlikler için 1.33 alınan örtü malzemesine ilişkin sabit, R: proje süresi boyunca toplanacak atık miktarı (ton), D: çöpün ortalama yoğunluğu (ton/m^3), P: katı atık hacmindeki azalma yüzdesi (0-% 70), Cv: gerekli örtü malzemesinin miktarı, A: depolama yapılacak alan (m^2) ve d: depolama derinliğidir (m).

Çalışmada katı atık yoğunluğu $0.56 ton/m^3$, katı atık hacmindeki azalma yüzdesi % 50 olarak alınmış ve örtü malzemesi hacmi ihmal edilmiştir (Tchobanoglous, 1977). Hesaplamalar ile 20 yıllık bir projelendirme sonucunda yaklaşık 5.5 metrelik bir çöp dolgu kalınlığı için gerekli olan depolama sahası hacmi $2\,705\,556 m^3$, depolama alanı ise $491\,920 m^2$ olarak belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca Tchobanoglous ve Kreith (2002) tarafından gerekli düzenli depolama alanı tahminine yönelik geliştirilen grafik (Şekil 3.3) kullanılarak 20 yıllık proje süresince, yoğunluğu $560 kg/m^3$ olan atığın 5.5 metrelik dolgu yapılacak şekilde ne kadar alan gereksinimi olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Düzenli depolama alanı için gerekli alan hesabı grafiği (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

Trabzon İli'nde depolanan atık miktarı günde yaklaşık 191 tona ulaşmıştır (KFW ve ERM, 2004). Sonuç olarak, 20 yıl için gerekli olan depolama alanı ihtiyacı yaklaşık 405 000 m² (100 acre) olarak belirlenmiştir.

Her iki yöntem için hesaplanan alanların yaklaşık aynı değerde olması yöntemlerin doğruluğunun kanıtıdır.

3.4. Trabzon İli Katı Atıkları İçin Uygun Düzenli Depolama Alanı Seçimi

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı verilerin toplanması, saklanması, analizi ve sunulması işlemlerini bir bütün halde gerçekleştirebilen bir bilgi sistemi olduğu için katı atık yönetimi uygulamalarında CBS'nin önemli bir yeri vardır. Planlama ve operasyon aşamasında yüksek oranda veri söz konusu olduğu için katı atık yönetiminde de CBS'nin rolü büyüktür. Katı atık yönetiminde uygun düzenli depolama alanı seçimi uzun zaman alan bir uygulamadır. Bu yüzden yer seçiminde CBS'nin konumsal analiz özelliklerinin kullanımı zamanın optimum şekilde değerlendirilmesine olanak kılacaktır. Bunun yanı sıra CBS uygulamaları gelecekteki depolama alanlarının belirlenmesine ve yönetimine yönelik çalışmalarda da kullanılacak nitelikli bir bilgi teknoloji sistemidir.

Bu nedenle bu çalışmada düzenli depolama yeri seçiminde CBS'nin konumsal analiz tekniklerinden yararlanılmış, bu anlamda ilk olarak düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin ağırlık yüzdeleri belirlenmiştir.

3.4.1. Düzenli Depolama Yeri Seçimine Etkiyen Kriterler ve Ağırlık Yüzdeleri

Günümüzde artan nüfus ve endüstrileşmeyle beraber katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin büyümesi nedeniyle son yıllarda katı atık bertarafına yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı düzenli depolamadır. Düzenli depolama işleminde ise en önemli unsur, atıkların depolanacağı yerin seçimi ve kullanıma uygun hale getirilmesidir.

Alternatif alanlar arasında puanlama yapılırken, yer seçimine etki eden kriterler, bölgesel anlamda farklılıklar gösterebilirler. Bu çalışmada ise benzer coğrafik, iklim, ulaşım, jeolojik ve hidrojeolojik özellikler göstermeleri sebebiyle Doğu Karadeniz kıyı illeri için yer seçiminde ortak kriterler kullanılmıştır.

Doğu Karadeniz kıyı illerindeki katı atıklar için düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin önem dereceleri 3 ayrı uzmanlık grubuna yaptırılan anketler sonucunda belirlenmeye çalışılmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Ayrı mühendislik grubuna yaptırılan anket sonuçları

Öncelikli Gruplar	Alt Gruplar	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık
		Yüzdesi (Jeoloji Müh.)	Yüzdesi (İnşaat Müh.)	Yüzdesi (Çevre Müh.)
Kamu Sağlığı ve Güvenliği		33	29	23
	<i>Kaynaklar ve yeraltı suları</i>	27	28	26
	<i>Yüzey suları</i>	30	28	29
	<i>Jeoloji (faylar ve heyelanlar)</i>	25	32	26
	<i>Ulaşım</i>	18	12	19
Doğal Çevre		18	24	19
	<i>Arazi sınıflaması</i>	49	49	45
	<i>Arazi kullanımı</i>	51	51	55
Sosyal Çevre		22	20	22
	<i>Kamu baskısı</i>	16	21	24
	<i>Mülkiyet ve arazi kullanımı</i>	18	15	22
	<i>Konut ve yerleşim</i>	19	23	24
	<i>Toz ve koku</i>	18	17	11
	<i>Gürültü</i>	14	14	8
	<i>Görüntü</i>	15	10	1
Kültürel Çevre		8	13	13
	<i>Kültürel ve tarihi Çevre</i>	100	100	100
Maliyet ve Mühendislik		19	22	23
	<i>Arazi eğimi</i>	44	33	38
	<i>Maliyet ve mühendislik</i>	30	37	32
	<i>Şehir merkezine uzaklık</i>	26	30	30

Anketler çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak yorumlanmış ve Doğu Karadeniz kıyı illeri için katı atık düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir.

Üç ayrı mühendislik grubunun farklı kriterler için verdikleri puanların ortalaması alınmadan önce bu grupların birbiriyle olan ilişkileri test edilmiştir. Anlamlılık düzeyi test edilirken ki kare testinden ve çift yönlü varyans analizinden yararlanılmıştır.

Çalışmada ilk olarak çift yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Çift yönlü varyans analizinde, mühendislerin hem katı atık düzenli depolama yer seçim kriterleri (öncelikli gruplar) hakkındaki görüşlerinin benzer olup olmadığı hem de öncelikli gruplar arasındaki anlamlılık düzeyi test edilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. Çift yönlü varyans analizinin anket sonuçları üzerine uygulanması

	Karelerin Toplamı	df	Ortalama Kareler	F(hesap)	F (Tablo)
Gruplar	515,067	4	128,767	4.02	3.84
Mühendislik	83,200	2	41,600	1.3	4.46
Gruplar * Mühendislik	256,133	8	32,017		
Hata	,000	0			
Toplam	6384,000	15			
Doğrulanmış Toplam	854,400	14			

*Öncelikli gruplar (yer seçim kriterleri) arasında her hangi bir ilişki yokken, mühendislerin 5 ayrı kriter için yaklaşımları aynıdır.

Tablo 3.8’de görüldüğü gibi üç ayrı mühendislik grubunun (jeoloji, inşaat ve çevre mühendisleri) yer seçim kriterlerine (kamu sağlığı ve güvenliği, doğal çevre, sosyal çevre, kültürel çevre, maliyet ve mühendislik) verdikleri önemin 0.05 anlamlılık düzeyinde ilişkili olduğu belirlenmiştir ($F_{4-8} = 1.3$, $P < .05$ ve $F_{hesap} = 1.3 < F_{tablo} = 4.46$).

3 ayrı mühendislik grubunun yer seçim kriterleri hakkındaki görüşlerinin aynı düzeyde anlamlı olup olmadığı ki kare testiyle de belirlenmeye çalışılmıştır (Tablo 3.9). Burada gözlenen değerleri (G_i) veri seti oluşturmaktadır. Beklenen değerler (B_i) gözlenen değerler yardımıyla hesaplanmıştır (Tablo 3.10).

Tablo 3.9. Ki kare testinde serbestlik derecesinin hesaplanması

Öncelikli Gruplar	Ağırlık Yüzdesi (Jeoloji Müh)	Ağırlık Yüzdesi (İnşaat Müh)	Ağırlık Yüzdesi (Çevre Müh)	Sütun Toplamı
Kamu Sağlığı ve Güvenliği	33	29	23	85
Doğal Çevre	18	24	19	61
Sosyal Çevre	22	20	22	64
Kültürel Çevre	8	13	13	34
Maliyet ve Mühendislik	19	22	23	64
Satır Toplamı	100	108	100	308

*Serbestlik Derecesi : 8

Tablo 3.10. Ki kare testinin anket sonuçları üzerine uygulanması

Gözlenen Değerler (G_i)	Beklenen Değerler (B_i)	(G_i / B_i)² / 2
33	27.60	1.06
18	19.81	0.17
22	20.78	0.072
8	11.04	0.84
19	20.78	0.15
29	29.81	0.022
24	21.40	0.32
20	22.44	0.27
13	11.92	0.1
22	22.44	0.01
23	27.60	0.77
19	19.81	0.033
22	20.78	0.072
13	11.04	0.35
23	20.78	0.24
Ki Kare (hesaplanan)		4.48
Ki Kare (tablo)		15.50
*Ki Kare (hesaplanan) < Ki Kare (tablo) olduğu için % 90 güven aralığında üç grup arasında ilişki mevcuttur.		

Tablo 3.10'de görüldüğü gibi ki kare (hesaplanan) < ki kare (tablo) olduğu için 0.10 anlamlılık düzeyinde, üç ayrı mühendislik grubunun yer seçim kriterlerine verdikleri önemin benzer olduğu anlaşılmaktadır.

Testlerden de anlaşılacağı gibi, mühendislerin katı atıkları için düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlere verdikleri önem dereceleri benzerlik gösterdiği için, bunların ortalaması alınarak kriterlerin önem dereceleri Doğu Karadeniz Bölümü için belirlenmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. Doğu Karadeniz Bölümü katı atıkları için düzenli depolama yeri seçiminde etkili olan kriterlerin ağırlık yüzdeleri

Öncelikli Gruplar	Alt Gruplar	Ağırlık Yüzdesi (Ortalama)
Kamu Sağlığı ve Güvenliği		30
	<i>Kaynaklar ve yer altı suları</i>	25
	<i>Yüzey suları</i>	35
	<i>Faylar ve heyelanlar</i>	26
	<i>Ulaşım</i>	14
Doğal Çevre		18
	<i>Arazi sınıflaması</i>	45
	<i>Arazi kullanımı</i>	55
Sosyal Çevre		22
	<i>Kamu Baskısı</i>	21
	<i>Mülkiyet ve Arazi Kullanımı</i>	18
	<i>Konut ve Yerleşim</i>	25
	<i>Toz ve koku</i>	16
	<i>Gürültü</i>	10
	<i>Görüntü</i>	10
Kültürel Çevre		8
	<i>Kültürel ve Tarihi Çevre</i>	100
Maliyet ve Mühendislik		22
	<i>Arazi eğimi</i>	40
	<i>Maliyet ve Mühendislik</i>	32
	<i>Şehir merkezine uzaklık</i>	28

3.4.2. Düzenli Depolama Yeri Seçiminde Konumsal Analiz Modüllerinin Kullanılması

Katı atık depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin önem dereceleri bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle CBS uygulamalarında kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlere verilecek sınırlamaların iyi şekilde değerlendirilmesi çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, düzenli depolama alanı seçimine etki eden konumsal analizlerde kullanılacak kriterler arazi eğimi, yerleşim alanına uzaklık, akarsulara uzaklık, doğal kaynaklara uzaklık, faylara ve heyelanlara uzaklık, hava alanına uzaklık, tarihi yapılara uzaklık, yol durumu, arazi kullanımı ve jeoloji olarak seçilmiştir. Konumsal analizlerde kullanmak amacıyla belirlenen sınırlama faktörleri (depolama için uygun olmayan alanlar) tampon alanları ve puanları Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Düzenli depolama alanı seçimine etki eden kriterler, sınırlama faktörleri ve konumsal analizlerde kullanılan puanlar

Yer seçim kriterleri	Sınırlama faktörleri (maskeler)	Tampon zonları	Puanlama	Kaynak haritalar	Referanslar
1. Arazi eğimi (%)	>20	0-5	10	1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalardan oluşturulmuş arazi modeli	EPA,1998
		5-10	8		Leao vd., 2001
		10-15	6		Leao vd., 2004
		15-20	3		URL-1
2. Yerleşim alanına uzaklık (m)	<1000	10000-20000	10	1/25 000 ölçekli topoğrafik harita	Leao vd., 2001
		5000-10000	8		RAMBOLL-ERM Consortium, 2003
		2000-5000	6		Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991
		1000-2000	4		
3. Akarsulara uzaklık (m)	<100 (100 yıllık taşkın alanı dışında)	> 1000	10	1/25 000 ölçekli topoğrafik harita	Bagchi, 1990
		1000-500	7		EPA, 1993, 1998, 1999
		500-200	4		URL-1
		200-100	2		Jesus ve Costa, 1997 Krause, 1997; Tecinvest, 1994
4. Doğal kaynaklara uzaklık (m)	Doğal kaynaklardan uzaklık > 300 m	>500	10	1/25 000 ölçekli topoğrafik harita ve arazi gözlemleri	Zuquette ve Gandolfi, 1994
		500-400	5		
		400-300	2		
5. Faylara uzaklık (m)	<60	1000-500	10	1/25 000 ölçekli jeolojik harita	Allen vd. , 2000; EPA, 1993
		500-300	5		Jesus ve Costa, 1997
		300-60	2		Krause, 1997; Lolos vd., 1997
6. Heyelanlara uzaklık (m)	<100	Yok		1/100 000 heyelan envanter haritası (KTU CBS Ar-Ge Lab.)	EPA,1998 URL-2
7. Şehir merkezine uzaklık	Minimum taşıma mesafesi > 30 km	Yok		1/25 000 ölçekli topoğrafik harita	Allen vd. , 2000 Gupta vd., 2003
8. Arazi kullanımı	Orman, mera ve taşkın alanı	Kayalık	10	KTÜ CBS Ar-Ge Laboratuvarı	ERM ve TÇK, 1997
		Sulu tarım	7		
		Fındık ve kuru tarım	5		
		Fundalık	4		
		Kentsel yerleşim ve gelişim	2		
9. Hava alanına uzaklık	Hava alanından uzaklık > 3 km	Yok		1/25 000 ölçekli topoğrafik harita	Chalkias ve Stournaras, 1997 EPA, 1993, 1998 URL-1 Jesus ve Costa, 1997; Siddiqui vd., 1996
10. Tarihi yapıların uzaklık (m)	Yok	> 3000	10	KTÜ CBS Ar-Ge Laboratuvarı	Langer, 1995 Gupta vd., 2003
		3000-1000	5		
		< 1000	1		
11. Yol durumu	Yok	100-500	10	1/25 000 ölçekli topoğrafik harita	Sener vd., 2006
		500-1000	5		
		>1000	1		
12. Jeoloji	Konsolide olmamış litoloji	Yok		1/25 000 ölçekli jeolojik harita	Langer, 1995; ERM ve TÇK, 1997

3.4.2.1. Şehir Merkezine Uzaklık

Düzenli depolama yeri seçiminde en önemli kriterlerden biri de maliyet analizidir. Katı atık yönetim sisteminde atık toplama maliyeti % 65-95 arasında bir paya sahiptir. Bu pay içinde taşıma maliyetinin yeri büyüktür (Armağan ve Demir, 2005). Bu nedenle kaynak alanlardan nihai depolama alanına taşıma mesafesinin minimum olması istenir. Taşıma mesafesinin düşük olması, maliyeti azaltmakla beraber taşıma sırasında meydana gelecek çevre kirliliğinin de en az seviyede olmasını sağlar. Bu nedenle, bir çok kaynakta taşıma mesafesinin 30 km'den az olması gerekliliği savunulmaktadır (Allen vd. , 2000; Gupta vd., 2003).

Bu çalışmada da katı atık kaynağının en fazla olduğu Trabzon merkez ilçe baz alınarak 30 km'lik tampon bölge oluşturulmuş, bu bölgenin dışında kalan alanlar maskelenmiştir. Konumsal analizler Trabzon İl merkezi çevresinde oluşturulan 30 km yarıçapındaki bu alan içerisinde gerçekleştirilmiştir.

3.4.2.2. Arazi Eğimi

Düzenli depolama yapılacak alanın eğimi, yüzey ve yeraltı suyu drenaj sistemlerini, zemin erozyon riskini, taşıma işlemini ve atık stabilitesini doğrudan etkilediği için, yer seçimindeki en önemli parametrelerden biridir.

Özellikle dağlık ve sarp topografik yapısı ve düz alanların yetersizliği nedeniyle Doğu Karadeniz kıyı şeridinde bulunan yerleşim alanlarındaki katı atıklar için uygun düzenli depolama alanı seçiminde eğimin önemi büyüktür. Bu nedenle CBS uygulamalarında, eğim haritası konumsal analizin temelini oluşturmaktadır.

Bir çok kaynakta (EPA, 1998; Leao vd., 2001, 2004) farklı uygulamacılar tarafından farklı görüşler sunulsa da en yaygın görüş, atıkların az eğimli (10 dereceden az) arazilerde depolanmasının uygun olacağıdır (Irigaray vd., 1994; Langer, 1995; Leao vd., 2001).

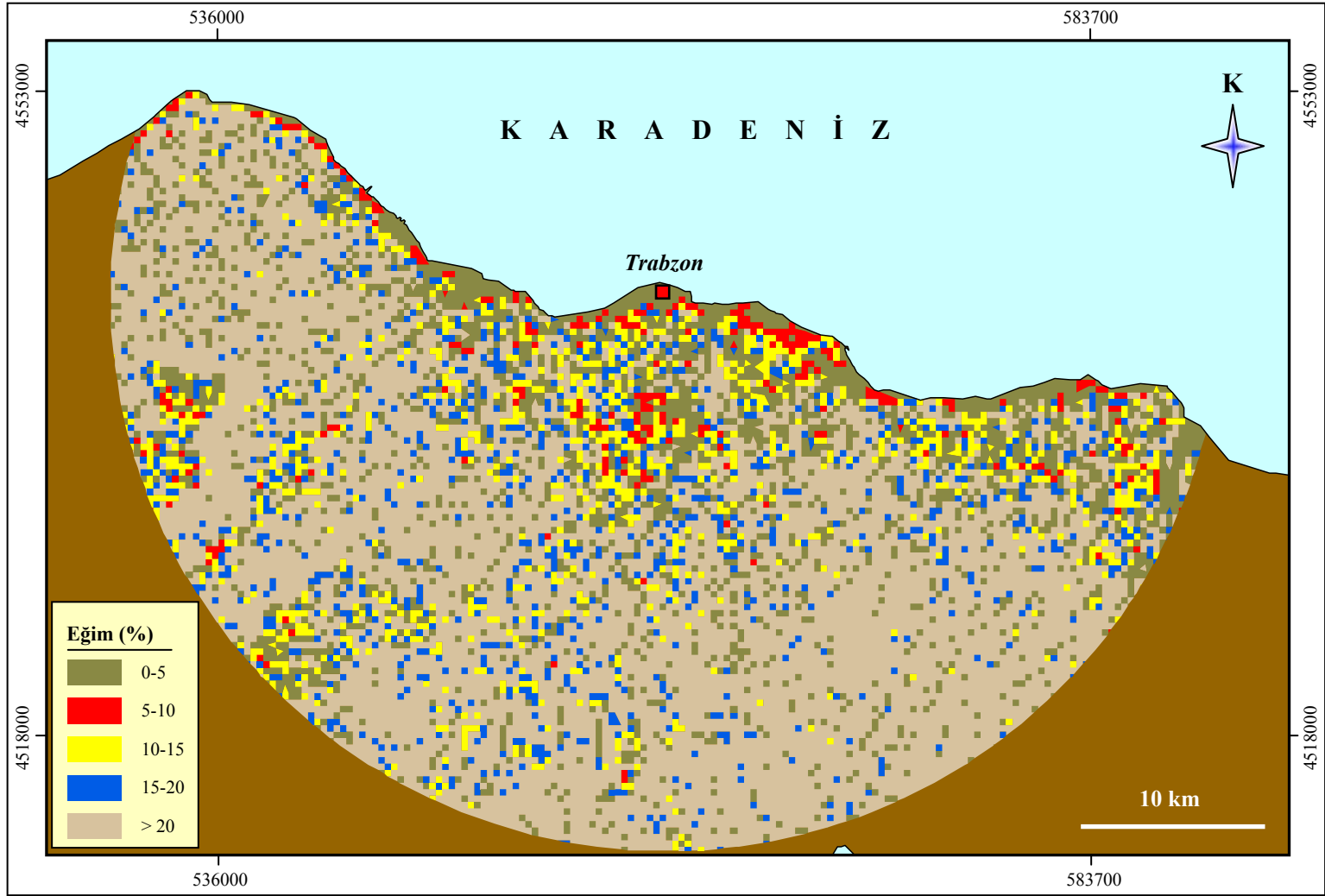
Oldukça düz arazilerde yağışın yeraltına süzülmesi kolaydır. Yeraltına süzülen yağış ise sızıntı suyunun kaynağını oluşturur. Bu yüzden tamamen düz araziler düzenli depolama işlemi için uygun değildir. Eğimi yüksek araziler ise (% 20'den büyük), çeşitli mühendislik problemleri ile karşılaşılacağından tercih edilmezler (EPA, 1998; Leao vd., 2001; Leao vd., 2004; URL-1).

Bu çalışmada, eğim haritasının oluşturulması amacıyla Trabzon İli'ne ait sayısallaştırılmış eş yükselti eğrileri KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. CBS Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılmış çalışmalarda, arazi modeli ve eğim haritası oluşturulması için 1/100000 ve 1/25000 ölçekli haritalar arasında bir karşılaştırma yapılarak zaman ve maliyet açısından en uygun ölçeğin seçilmesi amaçlanmıştır. Bunun için her iki ölçekte aynı konumda olan 100 km²'lik pilot bölgeler seçilmiş ve eş yükselti eğrileri 50 metre aralıklarla sayısallaştırılmıştır. Oluşturulan modelde iki harita ölçeğine ait 50 metre aralıklı eş yükselti eğrileri arasındaki farkın olup olmadığı araştırılmıştır. 1/25000 ve 1/100000 ölçekli haritalardaki detay kayıpları incelendiğinde beklendiği gibi 1/100000 ölçekli haritadaki detay kaybının daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak bu detay kaybının eğim haritasını etkileyecek duyarlılıkta olmadığı tespit edilmiştir (Reis, 2003). Bu nedenle sayısallaştırma işlemi 1/100000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde 50 metre aralıklı eş yükselti eğrileri kullanılarak yapılmıştır.

Topografik harita üzerindeki eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılmasında, topografik haritalar tarayıcı ile raster formatında taranarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve ArcView yazılımı ile ekrandan sayısallaştırma metoduyla vektör formatta kaydedilmiştir. Eş yükselti eğrileri ekran üzerinde manuel olarak sayısallaştırılmış, resim koordinatlarında elde edilen vektörel eğriler afin dönüşümü ile UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine dönüştürülmüştür (Reis, 2003).

Bu çalışmada, sayısallaştırılmış eş yükselti eğrileri kullanılarak 20 metre piksel boyutu tanımlanmış ve ArcView 3.2 yazılımı kullanılarak eğim haritası oluşturulmuştur. Ancak bu yazılım eğim değerlerini derece olarak vermektedir. Bir çok kaynakta düzenli depolama seçiminde eğim, yüzde olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, derece olarak elde edilen eğim değerleri yüzde olarak alınmış ve konumsal analizlerde kullanmak üzere kendi aralarında beş gruba ayrılmıştır (Şekil 3.4).

Sınırlama faktörü olarak % 20'den fazla eğim değerine sahip olan alanlar konumsal analizlerden çıkarılmış, geri kalan ve % 20'den düşük eğim değerine sahip olan alanlar üzerinde CBS'nin konumsal analiz teknikleri uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Çalışma alanına ait eğim haritası

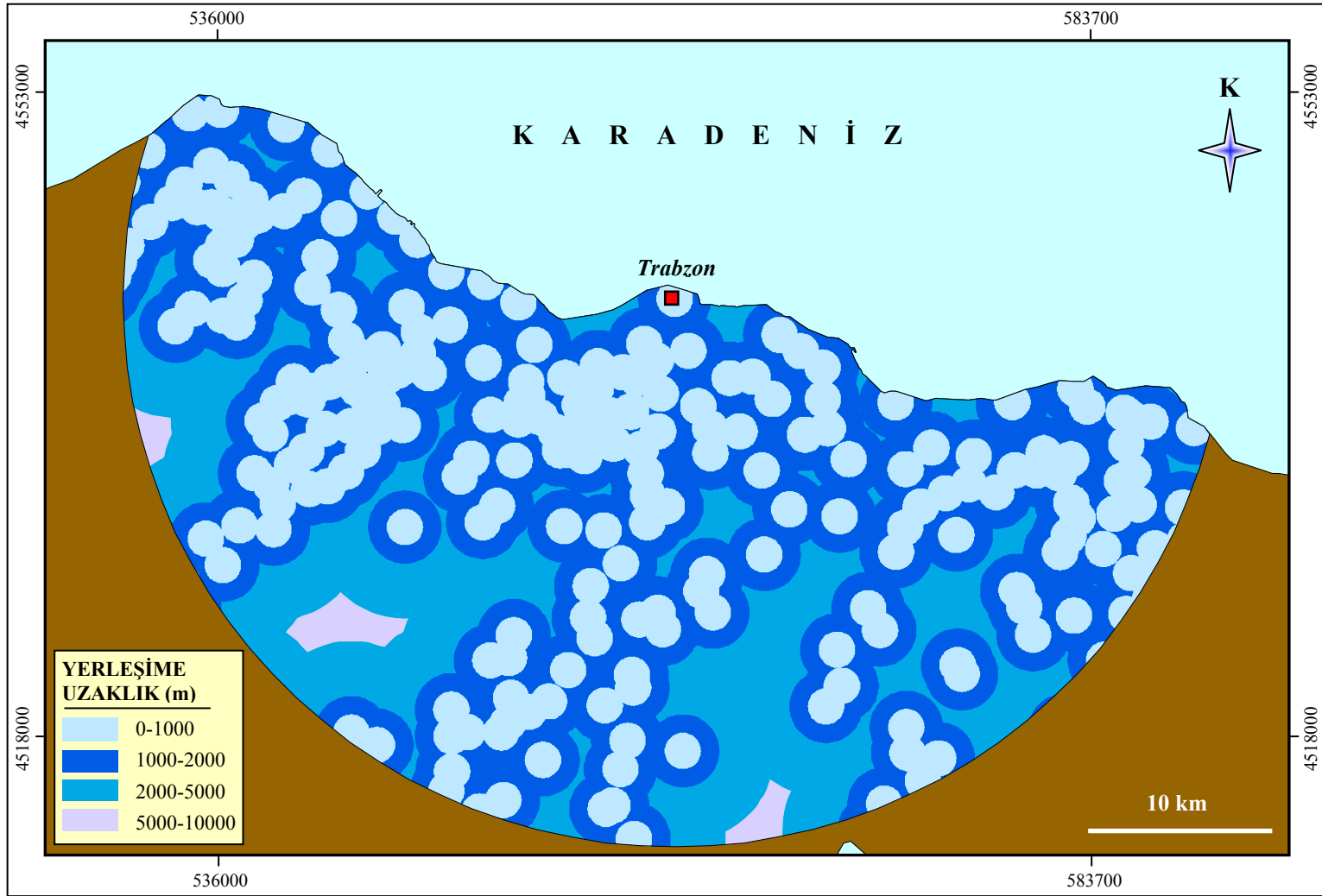
3.4.2.3.Yerleşim Alanlarına Uzaklık

Düzenli depolama yeri seçimine etki eden en önemli faktör oluşabilecek çevre kirliliği ve kamu baskısı nedeniyle depolama yapılacak olan alanın yerleşim alanlarına uzaklığıdır. 09.08.1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu, 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre düzenli çöp depolama tesisleri en yakın yerleşim bölgesine uzaklığı 1000 metreden az olan yerlerde inşa edilemez. Ancak çöp depolama tesislerinin çevresinde tepe, yığın ve ağaçlandırma gibi engeller varsa Çevre Bakanlığı'nın uygun görüşüyle bu mesafeden daha az olan yerlerde de ilgili belediye ve mahallin en yüksek mülki amirliğince depo kurulmasına müsaade edilebilir. Bunun yanı sıra bir çok kaynak (Leao vd., 2001; RAMBOLL-ERM Consortium, 2003) katı atıkların yerleşim merkezlerine 1000 metre uzaklıktaki alanlara depolanmasının uygun olduğu görüşündedir.

Bu çalışmada, yerleşim alanlarına uzaklık haritasının oluşturulması amacıyla Trabzon İli'ndeki idari merkezlere (bucak, belde, köy ve ilçe merkezleri) ait sayısallaştırılmış veriler KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiş, bu yerleşim alanları çevresine beş farklı tampon alan (buffer zone) oluşturulmuş ve bu alanlar kullanılarak yerleşim alanına uzaklık haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.5).

3.4.2.4. Yüzeysel Sularına ve Doğal Kaynaklara Uzaklık

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yeraltı sularının gelişme potansiyeli, yüzeysel sularına göre oldukça düşüktür. Yıllık ortalama $4.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ olarak tahmin edilen yeraltı suyu potansiyeli, ülkemizin toplam su kaynakları potansiyelinin % 2'sine karşılık gelmektedir (Nippon Koei Co., Ltd., Recs International Inc., 2000). Bölgedeki yüzeysel suları genellikle kayaçların çatlaklarında birikmekte ve daha sonra yavaşça akarsulara boşalmaktadır. Bölgede alüvyonlu ovalar bulunmadığından, kum ve çakıldan oluşan ve yüzeysel sularını yeraltında bir veya daha fazla hidrolojik yıl boyunca bekleten potansiyel akiferler mevcut değildir. Bölgede olduğu gibi, Trabzon İli'nde de içme suyu akarsulardan ve akarsu alüvyonlarında bulunan yeraltı sularından temin edilmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi, katı atık depolama alanından etkilenecek yeraltı suyu taşıyan akiferlerin olmayışı ve genel olarak volkanik kayaçlardan oluşan jeolojik bariyerler nedeniyle yer seçiminde hidrojeoloji önemli bir faktör değildir.



Şekil 3.5. Çalışma alanına ait yerleşim merkezlerine uzaklık haritası

CBS uygulamalarında akarsulara atılacak tamponlar, alüvyonları sızıntı suyundan koruyacağından, hidrojeolojik açıdan sadece doğal kaynakların konumu önem taşır.

Katı atık depolama yeri seçiminde hidroloji, yüzeysel akış ve yağış ile ilgili konuları içerir. Birçok kaynakta (EPA, 1993; EPA, 1997; URL-1) ve özellikle Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde depolama alanının akarsuyun 100 yıllık taşkın alanındaki bir bölgeye kurulamayacağı belirtilmektedir. Bu nedenle bölge için taşkın riski olan akarsuların taşkın alanları belirlenmeli ve her akarsuyun kendi tampon bölgesi belirlenmelidir. Ancak bu işlem zaman alıcıdır ve çalışmanın temelini oluşturmamaktadır.

Bu çalışmada, akarsulara ve doğal kaynaklara uzaklık haritalarının oluşturulması amacıyla Trabzon İli'ne ait sayısallaştırılmış noktasal veriler, KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

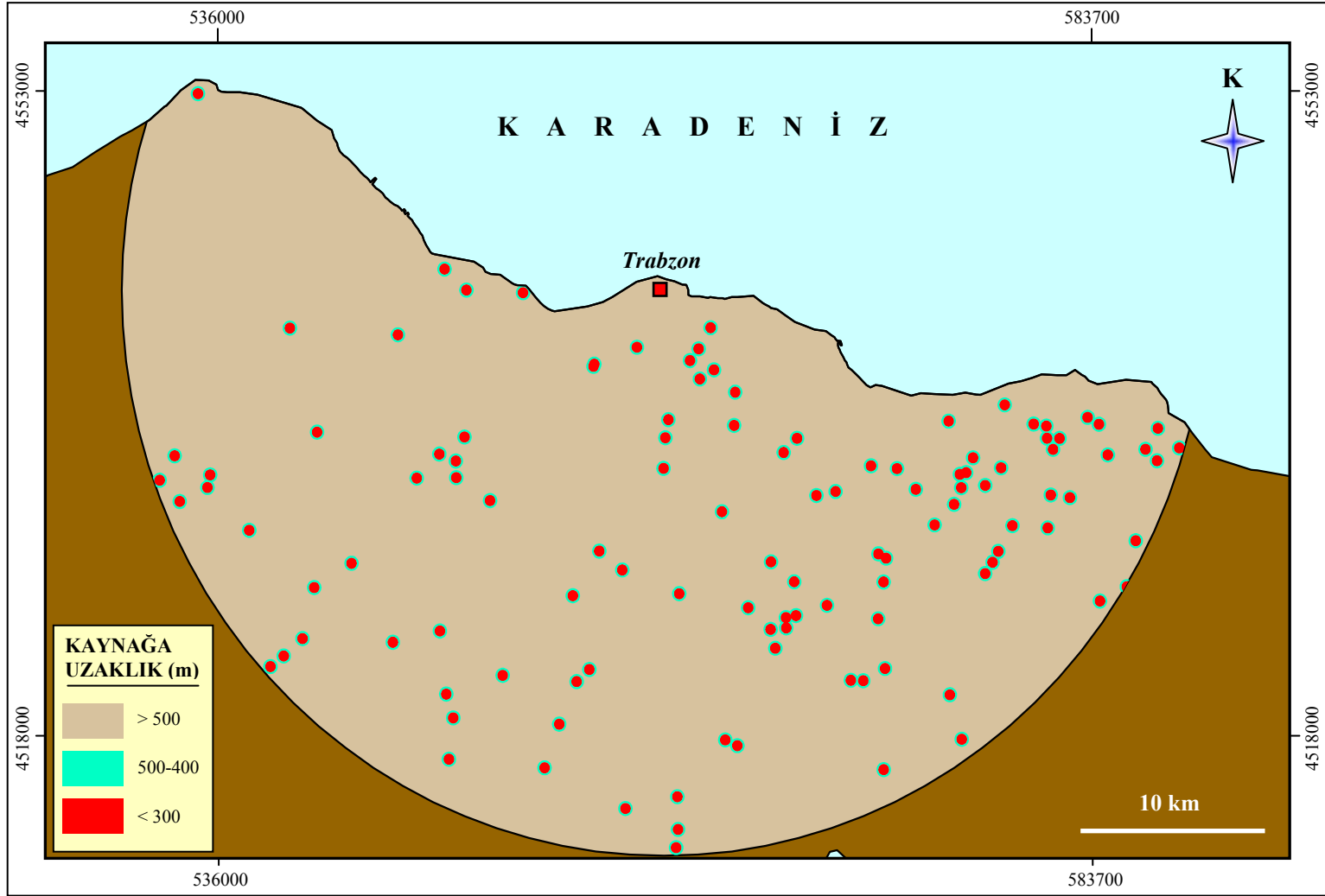
CBS Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılmış çalışmalarda, akarsular ilk etapta MTA tarafından 1998 tarihinde sonuçlandırılan 1/100000 ölçekli arazi kullanım haritası üzerinden sayısallaştırılmıştır. Akarsu verilerinin sayısallaştırma ve dönüşüm işlemlerinden sonra, grafik veriler üzerinde ismi yazılı akarsuların bilgileri veri tabanına sözel veri olarak girilmiştir. Bu şekilde elde edilen akarsular, uydu görüntüleri kullanılarak kontrol edilmiş ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Bununla birlikte 1/100000 ölçekli harita verileri kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu arazi modeli üzerine karşılaştırılan akarsu verileri görsel olarak ta kontrol edilmiştir.

Tatlı su ve maden suyu kaynakları MTA tarafından üretilen 1998 tarihli doğal kaynaklar haritası ve 1/25000 ölçekli topoğrafik harita ikilisinden beraber üretilmiş ve ayrı bir veri katmanında depolanmıştır.

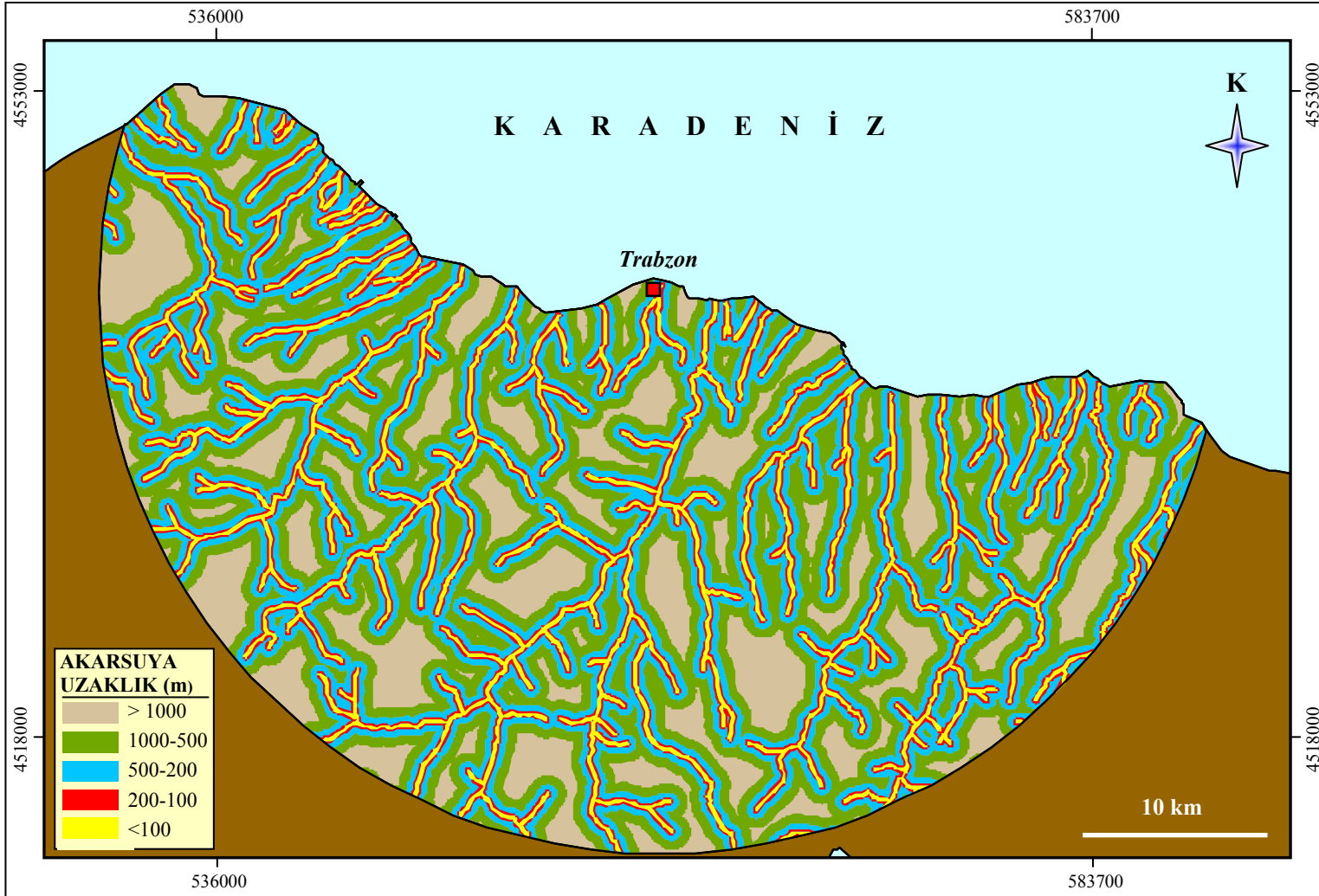
Çalışmada CBS ortamında bu kaynaklar işaretlenmiş ve depolama alanı seçiminde kaynakların konumu dikkate alınarak üç farklı tampon alan oluşturulmuştur (Şekil 3.6).

Bunun yanı sıra, bir çok kaynakta belirtildiği gibi (Tecninvest, 1994; Bagchi, 1994; EPA, 1993, 1998 ve 1999; Jesus ve Costa, 1997; Krause, 1997; URL-1; URL-2) akarsuların çevresinde 5 farklı tampon alan oluşturulmuş ve CBS uygulamalarında kullanılmıştır (Şekil 3.7).

Sınırlama faktörü olarak akarsulara 100 m, doğal su kaynaklarına ise 300 metreden yakın alanlar konumsal analizlerden çıkarılmış, geri kalan alanlar üzerinde konumsal analiz teknikleri uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Çalışma alanına ait doğal kaynaklara uzaklık haritası



Şekil 3.7. Çalışma alanına ait akarsulara uzaklık haritası

3.4.2.5. Fay Zonlarına ve Heyelan Alanlarına Uzaklık

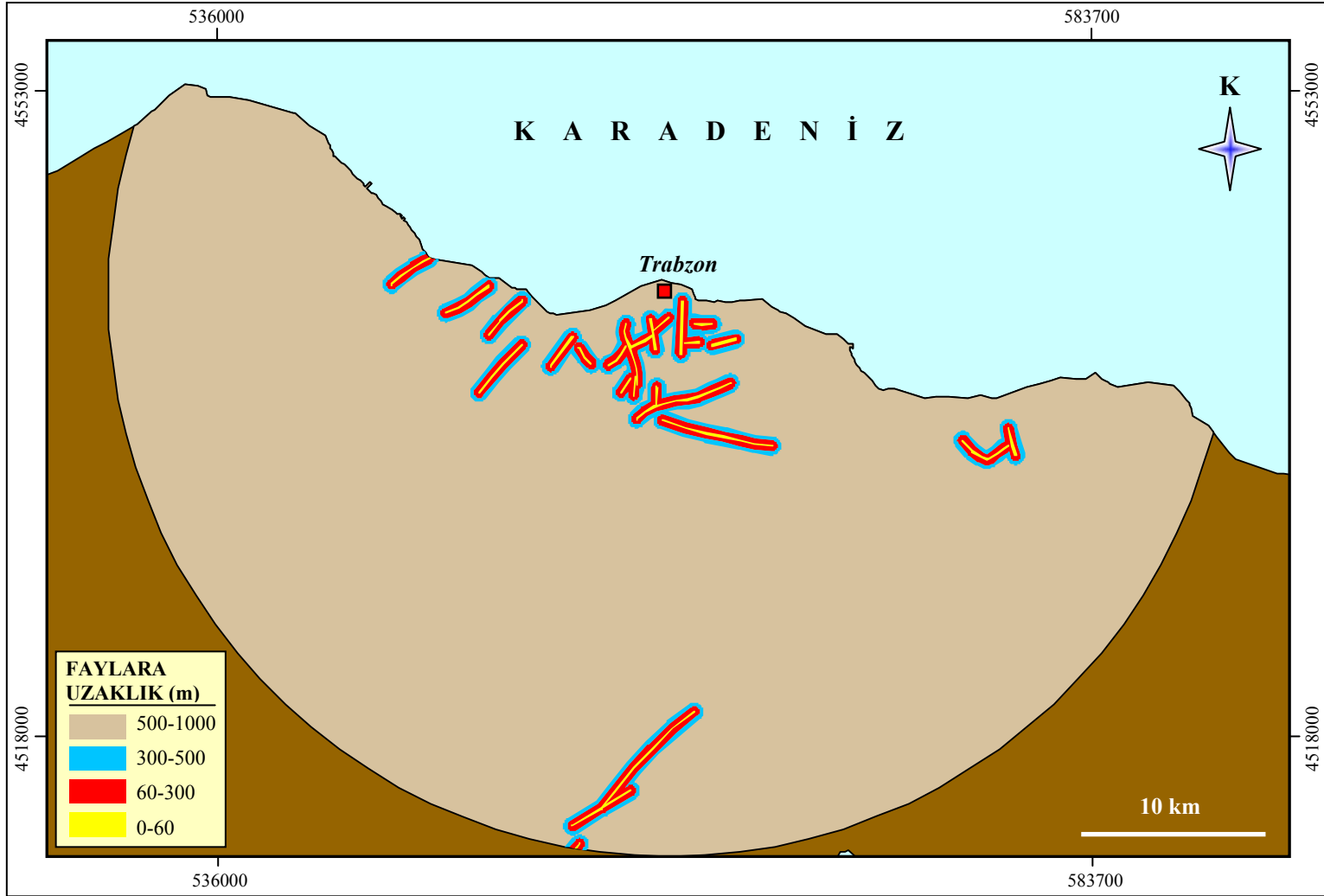
Katı atık depolama yeri seçiminde uygun jeolojik bariyer olarak nitelendirilecek kayaçların tektonik özellikleri dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerden biridir. Özellikle faylı veya faylanmadan etkilenmiş kırıklı ve kıvrımlı kayaçlar, katı atık sızıntı sularının alıcı ortamlara taşınımını kolaylaştırır. Bunun yanı sıra aktif faylardaki hareketlenmeler katı atık depolama alanlarında çeşitli stabilite problemlerine yol açabilir. Bu nedenle, faylanmanın etkisinde olmayan ve faylanma ile oluşabilecek çatlakların çok az görüldüğü alanlar, depolama alanları için uygundur (Langer, 1995). Bu nedenle katı atık düzenli depolama yeri seçiminde hareketini tamamlamış aktif olmayan faylardan en az 60 metre uzaktaki alanlar tektonik açıdan uygun alan olarak nitelendirilirler (EPA, 1993; Jesus ve Costa, 1997; Krause, 1997, Lolos vd., 1997).

Bu çalışmada faylar, MTA tarafından 1998 yılında hazırlanan “Trabzon İli Çevre Jeolojisi ve Doğal kaynakları” adlı raporda bulunan 1/100000 ölçekli jeoloji haritası kullanılarak sayısallaştırılmıştır ve sonuç olarak fay zonları çevresinde beş farklı tampon alan oluşturulmuştur (Şekil 3.8).

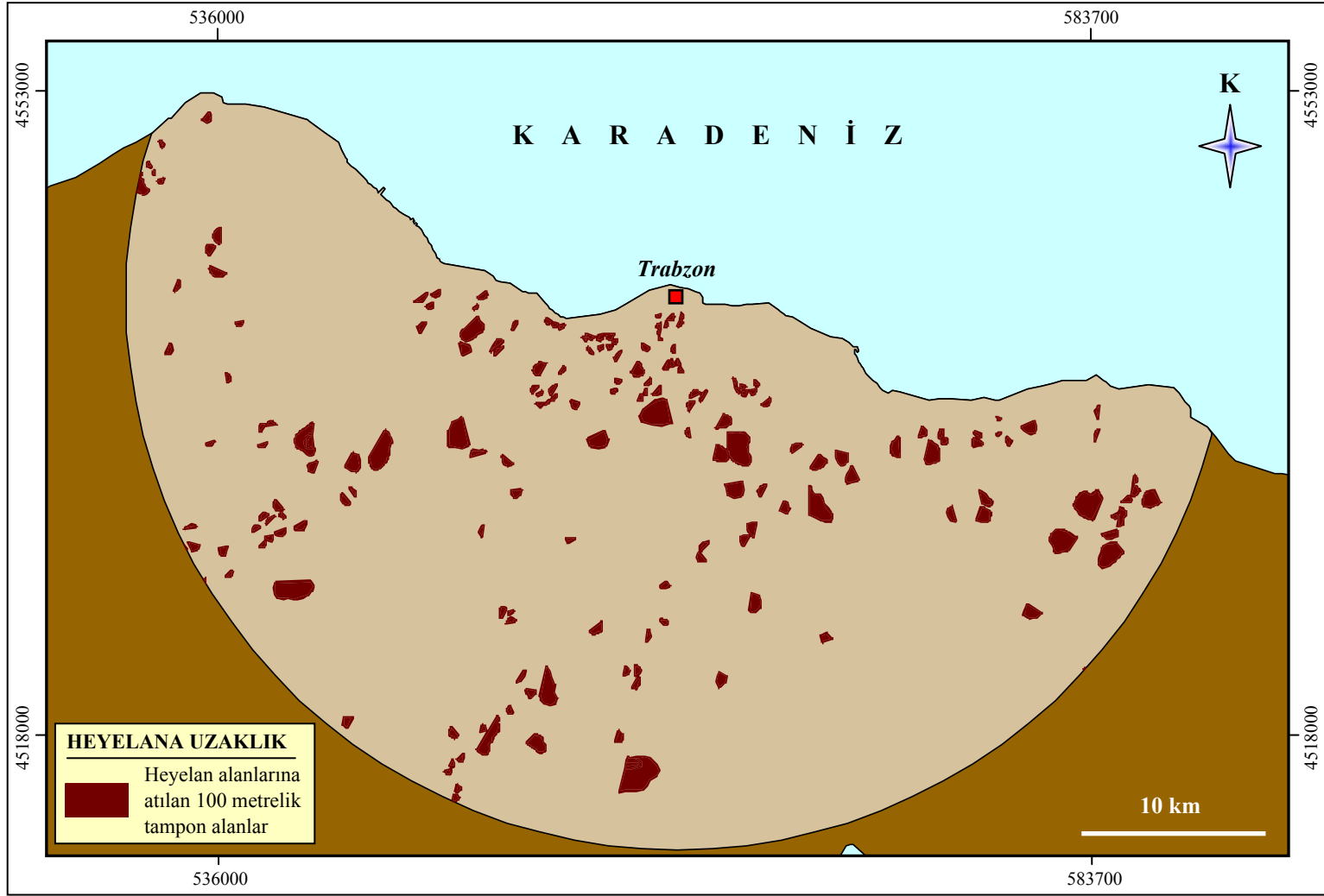
Düzenli depolama yeri seçiminde fayların konumlarının önemi kadar mevcut veya potansiyel heyelan sahalarının konumları da önem taşır. Araştırmalarda, kuvvetli yapay sarsıntılardan etkilenmeyecek alanların uygun depolama alanları olarak seçilmesi önerilmektedir (Langer, 1995). Bu çalışmada, Trabzon İli’nde karşılaşılan en önemli çevre problemlerinden biri olan heyelanların düzenli depolama alanı için oluşturabilecekleri potansiyel tehlikenin ortadan kaldırılması ve heyelan alanlarına uzaklık haritalarının oluşturulması amacıyla ildeki mevcut heyelanlara ait sayısallaştırılmış poligonal veriler, KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı’ndan temin edilmiştir.

CBS Ar-Ge Laboratuvarı’nda yapılmış çalışmalarda, heyelanlar MTA tarafından 1998 tarihinde sonuçlandırılan 1/100000 ölçekli arazi jeoloji haritası üzerinden sayısallaştırılmıştır. Çalışmada eski heyelan alanları, aktif heyelan alanları ve potansiyel heyelan alanları ayrı katmanlarda tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, heyelan alanları bir bütün olarak düşünülmüş, heyelan katmanı oluşturulurken, heyelanlara 100 metreden yakın alanlar maskelenmiştir (EPA, 1993 ve 1998; URL-2). Sonuç olarak geri kalan maskelenmiş bölgelerin dışındaki alanlar üzerinde konumsal analizler uygulanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Çalışma alanına ait faylara uzaklık haritası



Şekil 3.9. Çalışma alanına ait heyelanlara uzaklık haritası

3.4.2.6. Arazi Kullanımı

Düzenli depolama yeri seçiminde arazi kullanım haritalarının rolü büyüktür. Gerek ekonomik, gerekse kamu baskısı gibi faktörler nedeniyle, bugün ve gelecekteki arazi kullanım potansiyelinin bilinmesi, katı atık yönetim çalışmalarında önem taşır. Bir çok çalışmada orman, mera ve taşkın alanlarının düzenli depolama için uygun olmadığı ortak görüşü mevcuttur. (ERM ve TÇK, 1997; Langer, 1995; Gupta vd., 2003).

Bu çalışmada, Trabzon İli'ne ait arazi kullanım haritası sayısallaştırılmış olarak KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

CBS Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılmış çalışmalarda, MTA Bölge Müdürlüğü'nün ürettiği 1/100000 ölçekli arazi kullanım haritası baz alınmıştır. Oluşturulan katmana öz nitelik bilgisi olarak arazi kullanım sınıfları girilmiştir.

Bu çalışmada arazi KTU CBS Ar-Ge laboratuvarından temin edilen arazi kullanım potansiyeli haritasında 6 farklı tampon alan oluşturulmuştur (Şekil 3.10)

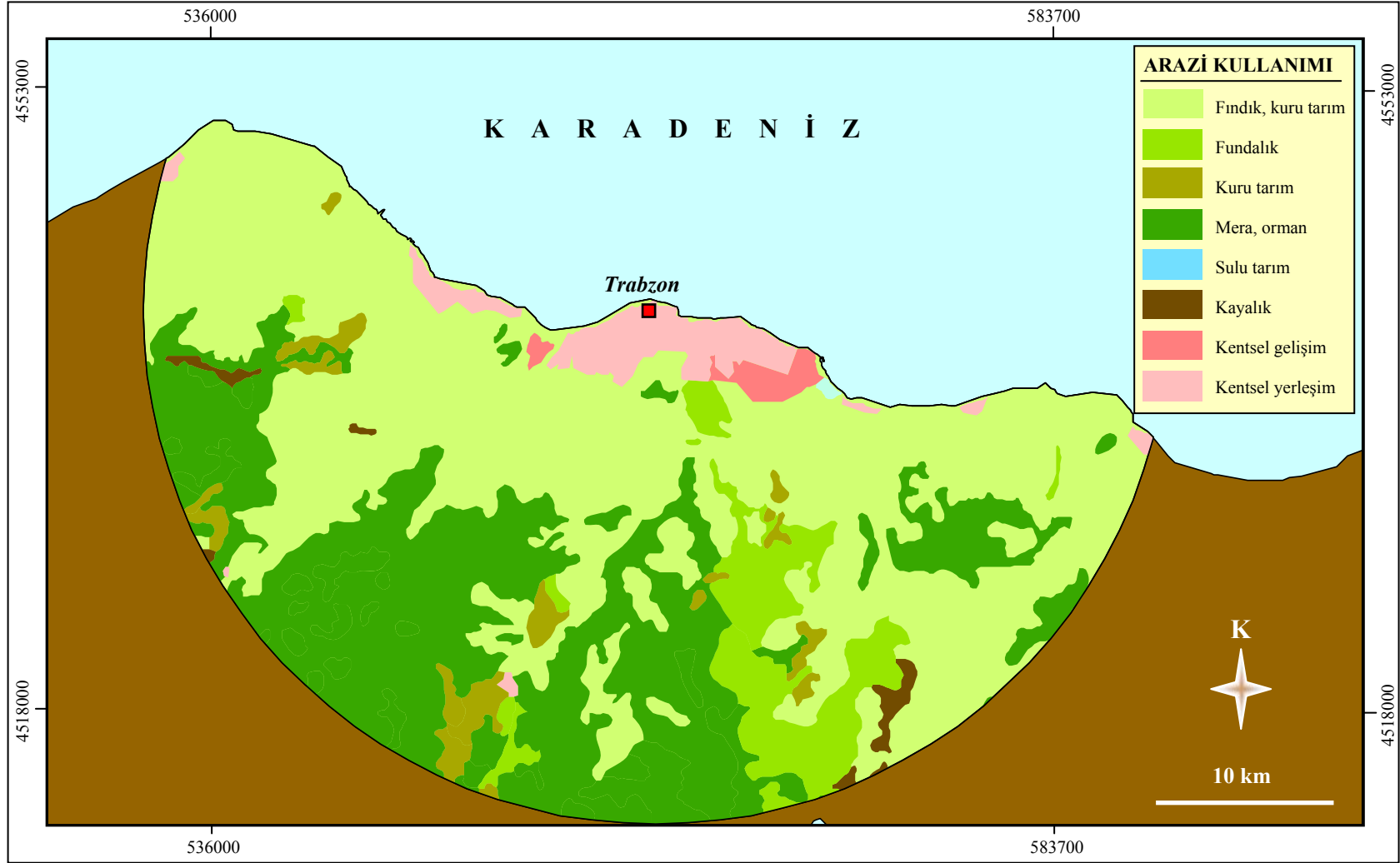
3.4.2.7. Hava Alanına ve Yola Uzaklık

Düzenli depolama yeri seçiminde, depolama alanı ile mevcut hava alanı arasındaki mesafe 3000 metreden az olmamalıdır (EPA, 1993, 1997, 1998; Chalkias ve Stournaras, 1997; Siddiqui, 1996). Bu nedenle Trabzon merkez ilçe sınırları dahilinde bulunan hava alanına 3000 metrelik tampon atılmış ve konumsal analizlerde bu değer kullanılmıştır (Şekil 3.11).

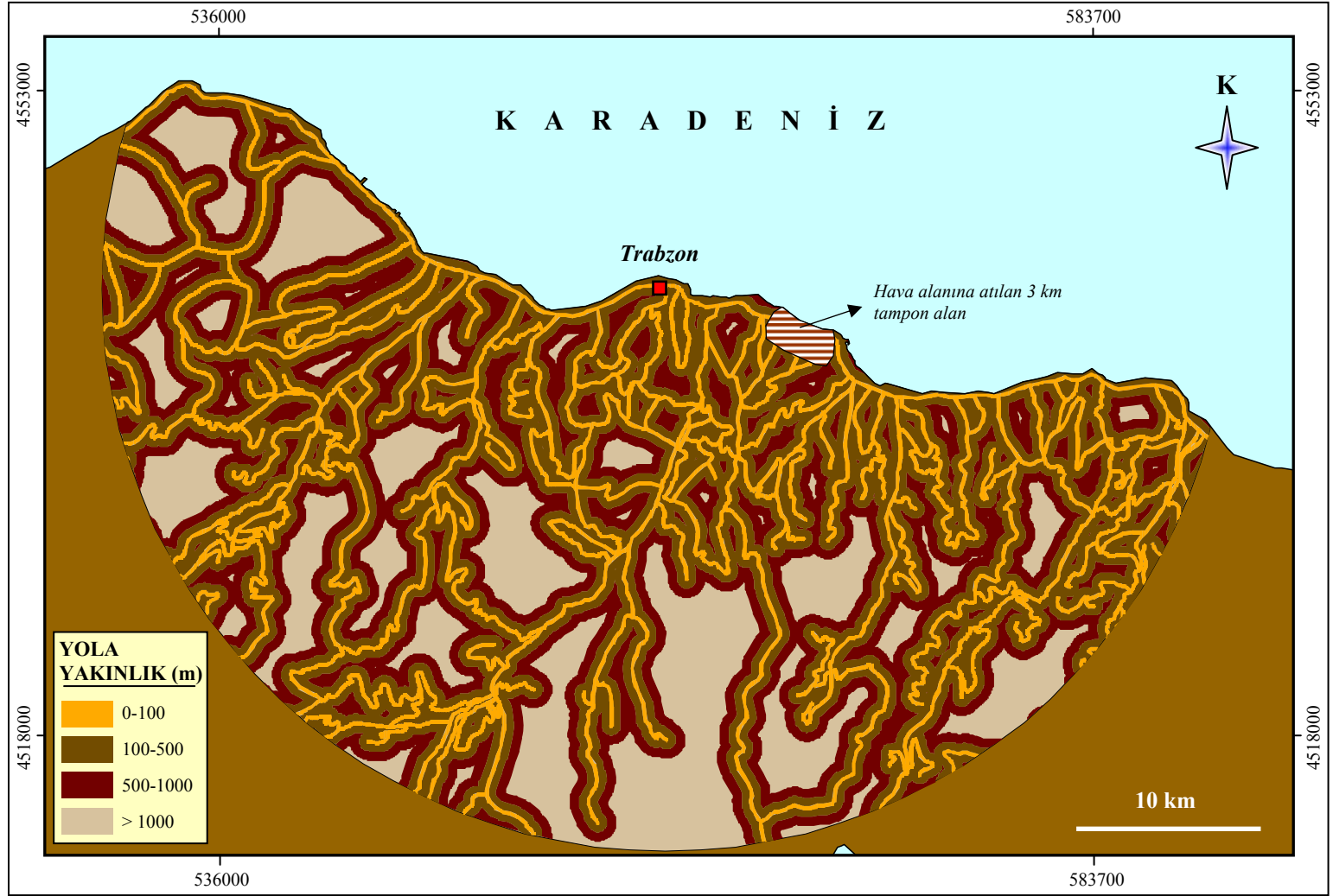
Ulaşım konusunda farklı kaynaklarda farklı yorumlar yapılmaktadır (Leao vd., 2001 ve 2004). Fakat genellikle depolama alanının ana yola veya ulaşımın kolayca sağlandığı tali yola 1 km'den uzak olmaması ve bu değer 100 metrenin altına düşmemesi istenir (URL-1; URL-3; Şener vd., 2006).

Bu çalışmada, Trabzon İli'ndeki kara yollarına ait veriler sayısallaştırılmış olarak KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. CBS Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılmış çalışmalarda, yol verilerinin toplanması için kamu kuruluşlarından toplanan kaynaklar kullanılmıştır

Çalışmada temin edilen sayısallaştırılmış veriler kullanılarak üç farklı tampon alan oluşturulmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası



Şekil 3.11. Çalışma alanına ait yola ve havaalanına uzaklık haritası

3.4.2.8. Kültürel Yapılara Uzaklık

Bu çalışmada, Trabzon İli'ndeki kültürel yapılara ait sayısallaştırılmış veriler, KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. CBS Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılmış çalışmalarda bu veriler, MTA ve Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü, Trabzon İl Turizm Müdürlüğü'nce oluşturulan haritalar ve 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Nokta özelliğinde olan bu katmana öz nitelik bilgisi olarak kültür ve turizm merkezlerinin isimleri girilmiştir. Trabzon İli turizm verileri başlığı altında, yaylalar, turizm merkezleri ve il genelindeki önemli tarihi yapılar toplanmıştır.

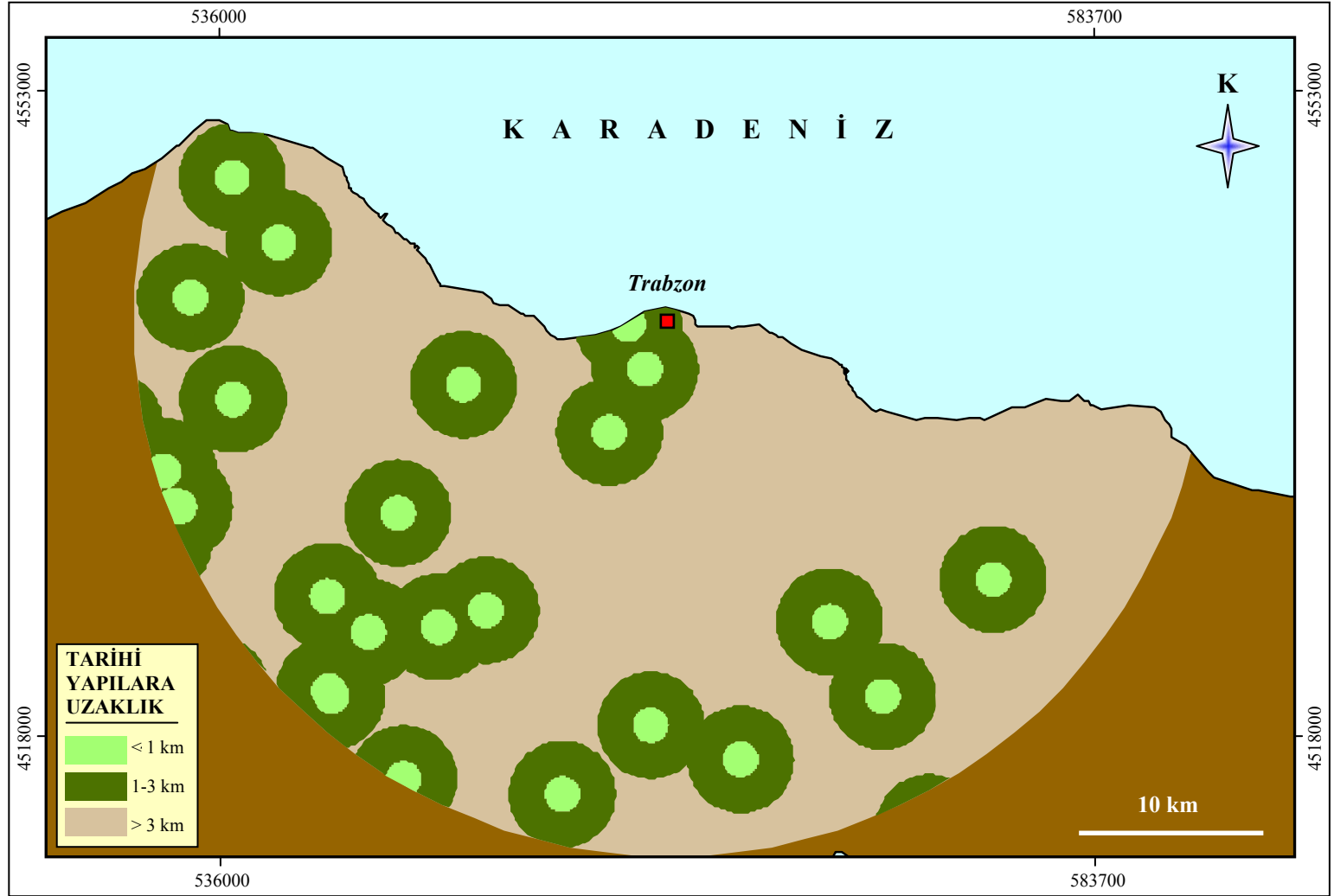
Çalışmada kültürel yapılar çevresinde 3 farklı tampon alan (ERM ve TÇK, 1997; Langer, 1995; Gupta vd., 2003) oluşturulmuş ve konumsal analizler bu tampon alanlara göre uygulanmıştır (Şekil 3.12).

3.4.2.9. Jeoloji

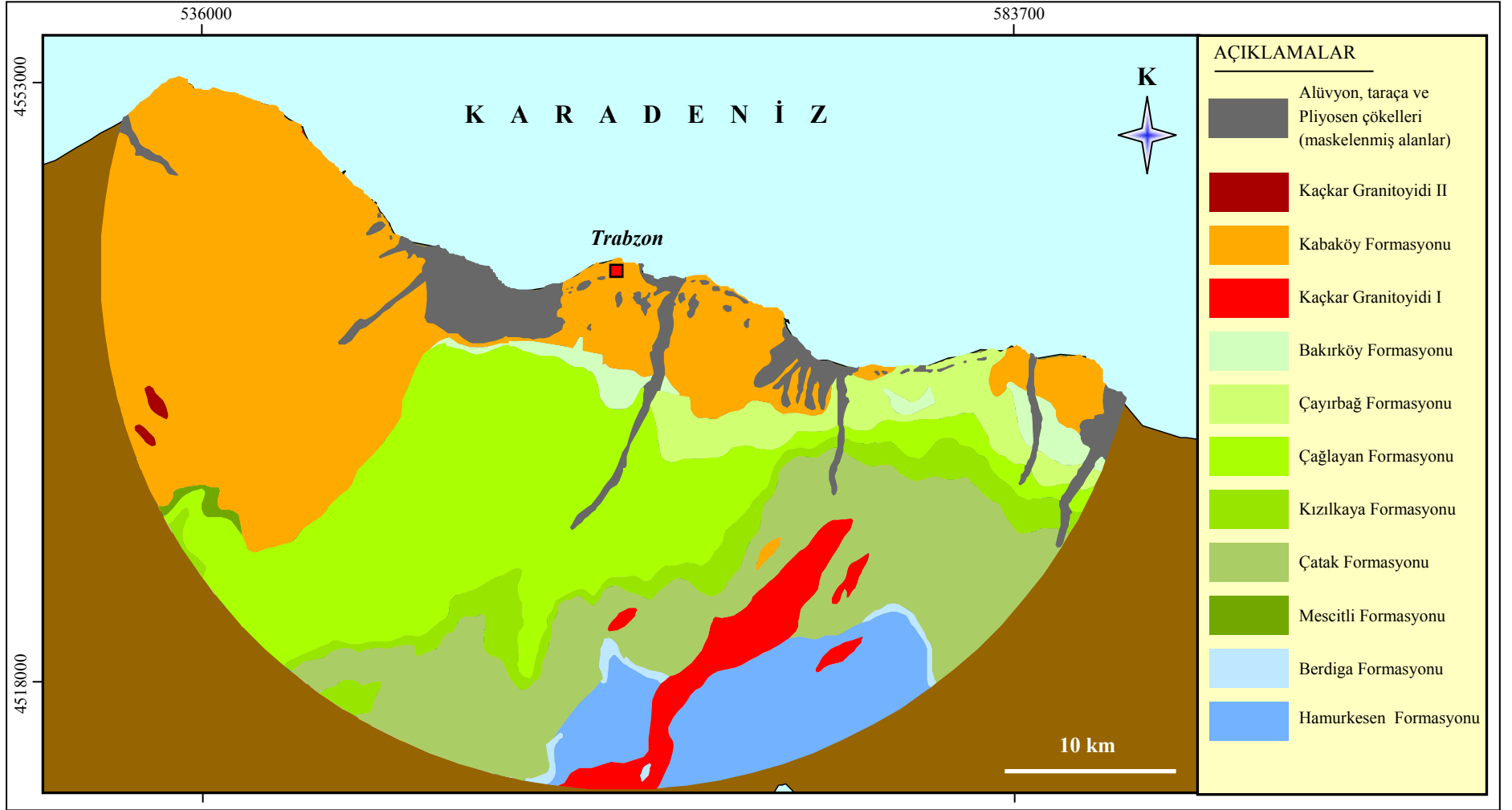
Düzenli depolama alanının altında bulunan jeolojik bariyerin kalınlığı ve katyon değiştirme kapasitesine bağlı olarak, sızıntı sularının bünyesinde bulunan elementlerin tutulması ve alıcı ortamlara iletilmeden kirletici etkisinin azaltılması özelliği değişken ve sınırlıdır (Baghci, 1990). Bu nedenle, katı atık düzenli depolama yeri seçiminde önemli kriterlerden biri, jeolojik bariyerin geçirimsizliğidir (Dorn, 2001). Katı atık yönetiminde, jeolojik bariyerin geçirimsizliğinin 10^{-8} m/s den fazla olmaması (az çatlaklı kaya için 10^{-7} m/s) bir çok kaynağın ortak görüşüdür (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991; Langer, 1995; Dörthöfer ve Siebert, 1998).

Çalışma alanı ve çevresinde tortul ara katkılı volkanik birimler hakimdir. Yer yer bunları kesen granitoidik kayalara da rastlanır. Buradan da anlaşılacağı gibi tortul ara katkılı volkanik birimlerin hakim olduğu Trabzon İli'nde, çatlaksız ve ayrışmamış kayalar depolama alanları için uygun jeolojik bariyer özelliği taşımaktadır. Alüvyonlara, taraçalara ve pekişmemiş güncel çökellere atılacak tampon alanlar (Şekil 3.13) jeolojik olarak maskeleme için yeterli olacaktır (Şener vd., 2006).

Çalışmada, sayısallaştırılmış jeoloji haritası verileri, KTU CBS Ar-Ge Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. CBS Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılmış çalışmalarda, MTA tarafından 1998 tarihinde sonuçlandırılan 1/100000 ölçekli jeoloji haritası baz alınmıştır.



Şekil 3.12. Çalışma alanına ait tarihi alanlara uzaklık haritası



Şekil 3.13. Çalışma alanına ait jeoloji haritası ve jeolojik bariyer niteliğinde olmayan birimlere atılan tampon alanları

3.4.3. Düzenli Depolama Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriterlerin önem dereceleri bölgeden bölgeye farklılıklar gösterir (Michael, 1991). Bu nedenle çalışılan bölgenin özelliklerine göre kriterlere verilecek sınırlamaların iyi şekilde değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Düzenli depolama seçimine etkiyen kriterlerin ve bu kriterlerin birbirleriyle ilişkilerinin belirlenmesine yönelik günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde nicel ya da nitel parametrelerden birbirleriyle ilişkili olanları bir arada değerlendirilerek karar mekanizması oluşturulur. Bu parametrelerden bazıları birbirleriyle çeliştiğinde daha güvenilir sonuçların elde edilmesi amacıyla Çok Kriterli Değerlendirme (Multi Criteria Evaluation, MCE) veya Çok Kriterli Karar Analizi (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA) olarak adlandırılan karar verme süreci kullanılır (Saaty, 1994; McDaniels, 1999; Linkov vd., 2004).

Çok kriterli karar analizinde, kriterlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi, kriterlerin bazı durumlarda çelişkili olması nedeniyle, en iyi alternatifin seçimi açısından zordur. Bu nedenle, en iyi sonuçları elde edebilmek için, kriterler arasındaki çelişkileri ele alıp, bu çelişkileri giderecek yöntemlerin kullanılması kaçınılmazdır.

Bu anlamda, Saaty (1980) tarafından, çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu ve Çok Kriterli Karar Analizi yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Analytic Hierarchy Process, AHP) geliştirilmiştir. Günümüzde yaygın bir karar verme yöntemi olarak kabul gören AHP, karar verme aşamasında, en uygun alternatif seçimine etki eden kriterlerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve ağırlık yüzdelerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

AHP, katı atık yönetimiyle ilgili çalışmalarda da yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Siddiqui (1996), Kao ve Lin (1996), birçok alan içinden en uygun düzenli depolama alanının seçimi aşamasında AHP'in çoklu karar verme mekanizmasından yararlanmışlardır.

Bu çalışmada ise düzenli depolama yeri seçiminde AHP çalışmaları CBS destekli konumsal analizlerle beraber yürütülmüştür. CBS destekli AHP çalışmalarında, 5 ana başlık altında düzenli depolama modeli oluşturulmuştur. Bunlar,

- Problemin akış şemasının oluşturulması,
- Dijital CBS veri tabanının geliştirilmesi ve sınır koşullarını değerlendirerek karşıtlık haritalarının oluşturulması (maskeleme),

- Düzenli depolama yeri seçimine etki eden kriter ve alt kriterlerin ağırlık yüzdelerinin bulunması ve AHP kullanılarak çok kriterli karar analizi hiyerarşisinin yapısının oluşturulması
- CBS çalışmalarıyla, AHP kullanılarak belirlenen kriterlerin ağırlık yüzdelerinden yararlanarak konumsal analizlerin yapılması,
- CBS tabanlı analizlerle alternatif depolama alanı içerisinde düzenli depolama için en uygun olanının belirlenmesi

şeklinde sıralanabilir.

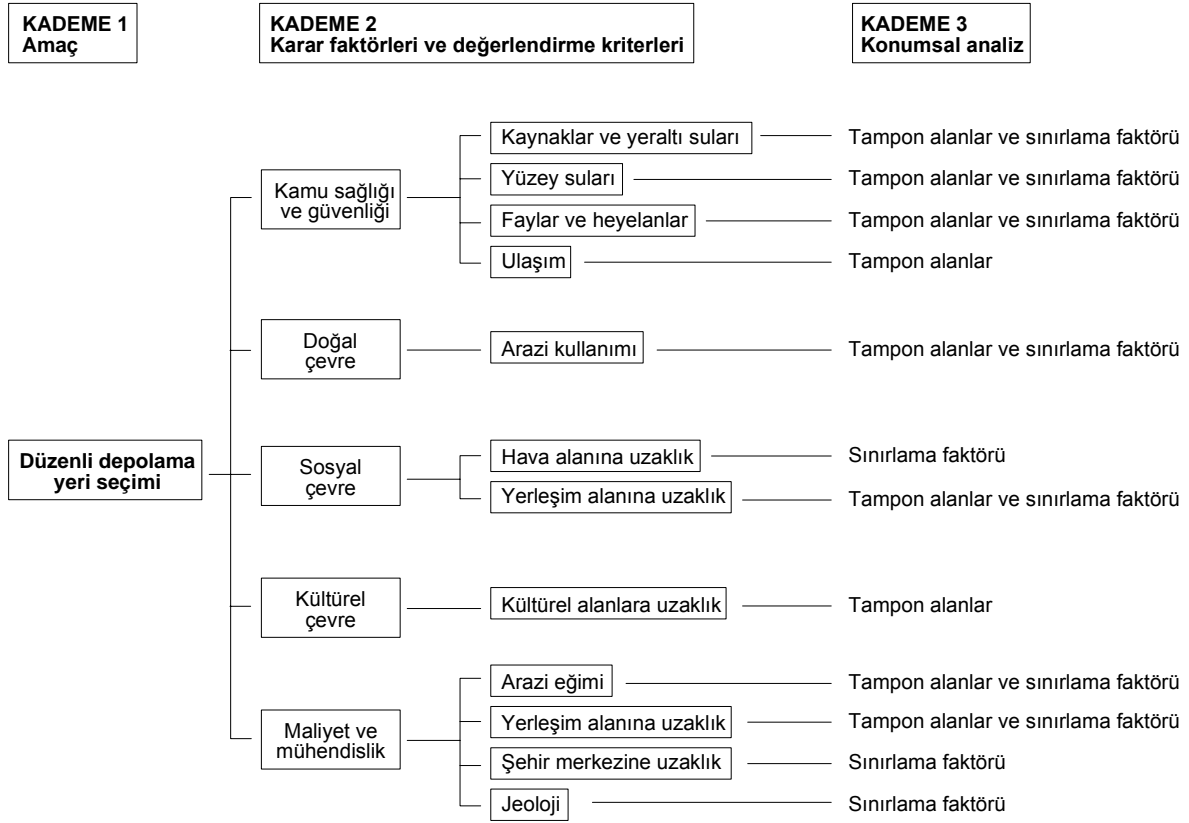
3.4.3.1. Düzenli Depolama Alanı Seçimi İçin Hiyerarşinin Oluşturulması

Çalışmanın ilk aşamasında, genel amaç, kriterler ve karar alternatiflerine göre problemin grafiksel akış şeması oluşturulmuştur. Düzenli depolama uygunluk haritasının oluşturulması için tasarlanan akış şeması Şekil 3.14’te verilmiştir.

Bu akış şeması problemin hiyerarşisini vermekte ve ilk düzeyi genel amacın düzenli depolama yeri seçimi olduğunu göstermektedir. İkinci düzeydeki 12 adet kriter genel amaca ulaşmada katkıda bulunurken, üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi kriterler için ayrı ayrı değerlendirilmekte ve CBS ortamında oluşturulan tampon alanlar ve sınır faktörler belirlenmektedir.

3.4.3.2. Sınırlayıcı Faktörlerin Belirlenmesi

İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından risk oluşturan, yasal olarak uygun olmayan, maliyet açısından riskli olan ve yerel olarak uygun görülmeyen alanlar, belirlenen ölçüler çerçevesinde CBS uygulamaları yardımıyla maskelenmiştir (bu alanlar değerlendirme dışına atılmıştır). Uygulamada, konumsal analizlerde kullanılmak üzere toplanan veriler (Tablo 3.12) sayısallaştırılmış, tampon veya çakıştırma teknikleri kullanılarak sınırlama haritaları oluşturulmuştur. Sınırlama haritaları, her bir kriter için oluşturulmuş konumsal haritalar içerisinde altlık olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.14. Düzenli depolama uygunluk haritalarının oluşturulmasında kullanılan akış şeması

3.4.3.3. Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması

AHP’de yer seçimine etki eden kriterlerin ağırlık yüzdelerinin belirlenmesi amacıyla aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Saaty, 1980).

$$v(y) = \sum_{j=1}^q w_j y_{ij} \quad (3.3)$$

Burada, $v(y)$: uygunluk indeksi, w : bir kriter için önem faktörü veya ağırlık derecesi, y : kriterin uygunluk derecesi, i : kriter numarası ve j ise kriter sayısıdır.

Bunun yanı sıra AHP’de her bir kriterin göreceli önem derecesini bulmak için karşılaştırmalı matrisler (pairwise comparison matrix) kullanılmıştır. Haritalar oluşturulurken, parametrelerin ağırlıkları, parametrelerin ikişerli karşılaştırılması ve bunların bir birine göre etkileri hesaplanmıştır. Matris oluşturulurken aşağıdaki formülden

yararlanılmış, değerler arasındaki ilişkiler sayısal olarak Tablo 3.13'e göre tayin edilmiştir (Saaty, 1990)

$$w_{ij} = w_{ji}^{-1} \quad (3.4)$$

Tablo 3.13. AHP tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği

Önem derecesi	Bir kriterin kendisi ile karşılaştırılan diğer kritere göre önem derecesinin tanımlanması
1	Eşit önemde
3	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter değerine göre biraz daha fazla tercih edilir
5	Bir kriter değerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Bir kriter değerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir
9	Bir kriter değerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir
2, 4, 6, 8	Yukarıdaki değerler arasındaki değerler

Oluşturulan karşılaştırmalar matrisinden alt kriterlerin ağırlık yüzdeleri bulunmuştur. Bu işlem AHP'de sentezleme olarak adlandırılır ve matematiksel olarak özdeğer ve öz vektör hesaplamalarını içerir.

Her bir öncelikli gruba ait alt grupların kendi içerisindeki ağırlık yüzdelerinin belirlenmesinden sonra, tüm kriterleri kapsayan ve birbirleriyle karşılaştıran genel bir matris oluşturulmuştur (Tablo 3.14).

Tablo 3.14. Düzenli depolama alanı seçimine etki eden kriterlerin ağırlık yüzdeleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Öz vektör	Önem derecesi
A	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	4.744	0.202
B	1/2	1	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	3.697	0.157
C	1/3	1/2	1	2	3	3	4	4	4	5	5	5	6	2.997	0.127
D	1/3	1/3	1/2	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	2.389	0.102
E	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3	3	4	4	4	4	5	1.984	0.084
F	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	3	4	4	4	4	5	1.774	0.075
G	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	3	4	4	4	4	5	1.471	0.063
H	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	4	4	4	5	1.228	0.052
I	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1	3	3	3	5	0.919	0.039
J	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1	3	3	4	0.766	0.033
K	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1	3	4	0.653	0.028
L	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1	3	0.531	0.023
M	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/4	1/4	1/3	1	0.378	0.016

A: Yüzey suları, B: Heyelanlar, C: Faylar, D: Kaynaklar ve yeraltı suları, E: Arazi eğimi, F: Mühendislik işleri ve jeoloji, G: Yerleşim, H: Ulaşım, I: Şehir merkezine uzaklık J: Arazi kullanım potansiyeli, K: Gürültü ve görüntü, L: Hava alanına uzaklık, M: Tarihi özellikler

Matris sonucunda her bir kriterin model içindeki ağırlık yüzdesi belirlenmiştir. Matris oluşturulurken, kriterlerin birbirleri arasındaki ilişkileri, yapılan istatistiksel çalışmalar neticesinde belirlenen kriterlerin ağırlık yüzde değerleri (Tablo 3.11) yardımıyla belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak düzenli depolama yeri seçimine etki eden her bir kriterin kendisi ile karşılaştırılan diğer kritere göre önem derecesi AHP tercihleri için ikili karşılaştırma ölçüleri kullanılarak tanımlanmıştır.

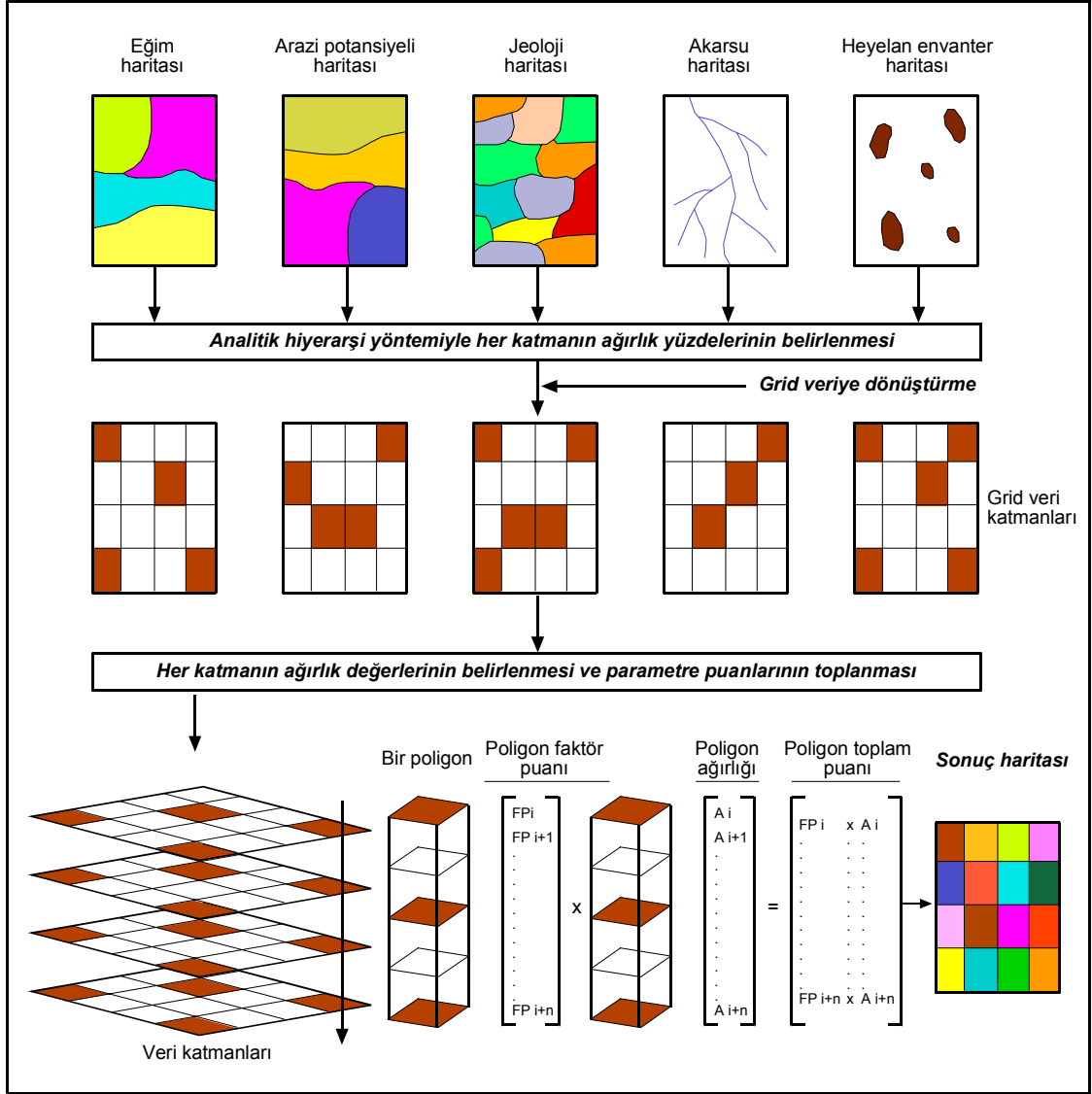
3.4.4. Uygun Düzenli Depolama Alanı Seçimi Haritasının Oluşturulması

Düzenli depolama işleminin en önemli kademesi olan uygun düzenli depolama alanı seçiminde zamanın optimum şekilde değerlendirilmesi amacıyla son yıllarda CBS'nin konumsal analiz tekniklerinden sıkça yararlanılmaktadır (Hrasna, 1991; Van der Wall vd., 1992; Irıgaray vd., 1994; Abellera, 1996; Muttiah vd., 1996; Li vd., 1996; Yagoub ve Buyong, 2004; Catalano vd., 2004; Shrivastava ve Nathawat, 2004).

Bu çalışmada, düzenli depolama uygunluk haritalarının oluşturulmasına yönelik arazi ve büro çalışmaları sonucu elde edilmiş veriler yardımıyla konumsal veri tabanları oluşturulmuştur.

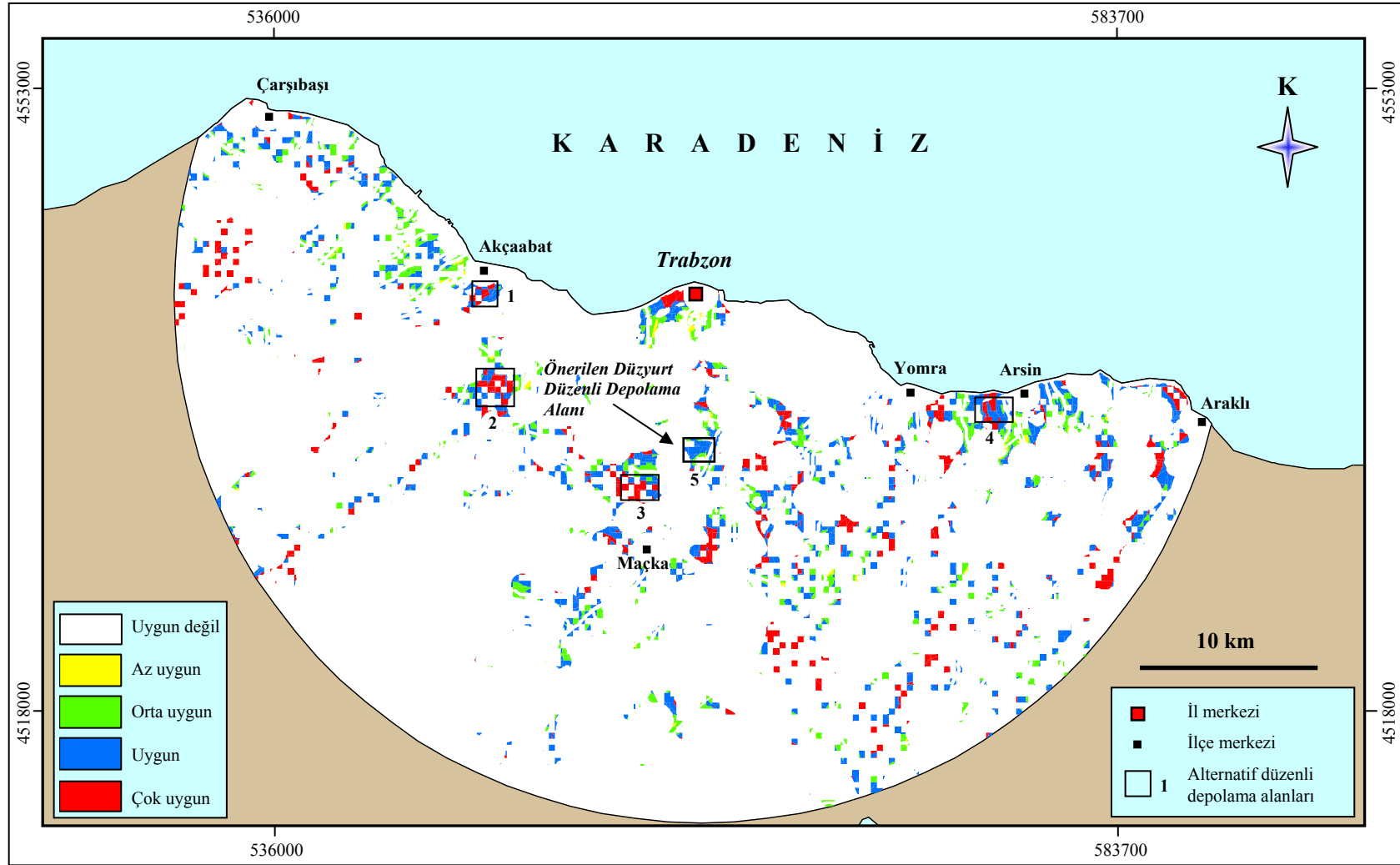
Raster veri modeline dönüştürülen veri katmanlarının, daha önceki bölümlerde anlatılan Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle oluşturulan model yardımıyla hem veri katmanı bazında hem de kriterler bazında ağırlıkları belirlenerek analizler yapılmıştır. Ağırlık değerlerinden büyük olanlar düzenli depolama yeri seçimine en çok etki eden kriterlerdir. Bu analizlerin temeli, her katmanda aynı bir poligonun alacağı özellik ile bunun matematiksel değeri ve uygunluk haritasındaki etkisini belirlemeye dayanmaktadır. CBS'nin bu işlem akışı Şekil 3.15'de verilmiştir.

Her bir katmanın alt kriterine karşılık gelen ağırlık değerleri (poligon faktör puanı) ait oldukları poligonlara atanmış ve katmanların belirlenen ağırlık değerleri (poligon ağırlığı) poligon faktör puanı ile çarpılarak sonuç haritası üretilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Düzenli depolama uygunluk haritalarının oluşturulmasında CBS fonksiyonları (Yalçın vd., 2002'den değiştirilerek).

Yapılan analizler sonucunda Trabzon İli için 5 farklı alternatif düzenli depolama alanı belirlenmiştir (Şekil 3.16). Bunlar Akçaabat İlçesi'nin 3 km güneyindeki 1 numaralı alan, Akçaabat İlçesi'ne bağlı Akören, Derecik ve Demirtaş Köyleri arasındaki 2 numaralı alan, Trabzon merkez ilçenin yaklaşık 10 km güneyindeki merkeze bağlı Alaçam ve Geçit Köyleri arasında kalan 3 numaralı alan, Yorma ve Arsin İlçeleri arasındaki Gölcük Mevkii'nde bulunan 4 numaralı alan ve Trabzon İli'ne bağlı Düzyurt Mevkii'nde bulunan 5 numaralı alan şeklinde sıralanabilir.



Şekil 3.16. Trabzon İli katı atık düzenli depolama uygunluk haritası

Çalışmada konumsal analiz tabanlı çok değişkenli karar verme analizi yapılarak oluşturulan uygunluk haritası sonucunda belirlenen alternatif düzenli depolama alanları arazi gözlemleri yapılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken, taşıma mesafesi, kamu baskısı ve hacimsel kapasite gibi, CBS’de kullanılamayacak nitelikte kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

Trabzon İli katı atık düzenli depolama uygunluk haritası incelendiğinde (Şekil 3.16), ilk 4 alternatif düzenli depolama alanının çok uygun ve uygun alan niteliğinde, Düzyurt Mevkii’nde bulunan alanının uygun alan niteliğinde olduğu görülmektedir.

Çalışmada 5 farklı alan ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Özellikle, 1 ve 4 numaralı alternatif depolama alanları çok uygun-uygun alan niteliğinde olmalarına karşın ilçe merkezlerine çok yakın olmaları ve bu nedenle kamu baskısının yüksek olma durumu söz konusu olduğu için düzenli depolama alanı olarak tercih edilmemiştir. Bununla birlikte bu alanlarda arazi gözlemleri yapılmış ve bu alanların düzenli depolamaya uygun hale getirilebilmesinin ancak yüksek maliyetli çalışmalar sonucunda gerçekleşeceği sonucuna varılmıştır.

2 ve 3 numaralı alanlar incelendiğinde ise, bu alanların çok uygun alan niteliğinde olduğu görülmektedir. Ancak bu alanların, 20 senelik bir proje süresince Trabzon İli’nde üretilen katı atıkları depolayacak kapasitede olmadıkları belirlenmiştir.

Konumsal analizler sonucunda uygun alan olarak belirlenen 5 numaralı alan ise, eski bir açık işletme sahasıdır. Gerek hacimsel kapasite, gerekse sahanın düzenli depolamaya uygun hale getirilmesi aşamasındaki düşük maliyet, Trabzon ili katı atıklarının depolanması için bu alanın diğer 4 alana göre üstünlükleridir. Bunun yanı sıra, depolama alanının yakın çevresinde yerleşim alanının olmaması kamu baskısını ortadan kaldırmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada Trabzon İli katı atıklarının düzenli depolanması için Düzyurt’ta bulunan eski açık işletme sahası uygun görülmüş ve bu alanın jeoteknik açıdan uygunluğu araştırılmıştır.

3.5. Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu, Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonların yüzeyleme verdiği belirlenmiştir (Şekil 3.17).

3.5.1. Çağlayan Formasyonu

Bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve tortul kayaçlardan oluşan ve genel olarak Çağlayan Köyü (Trabzon) çevresinde ve Arsin güneyinde (Trabzon) yüzeyleme veren birim, ilk olarak Güven (1993) tarafından Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında gözlenen sedimanter arakatlı volkanitler, Çağlayan Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır.

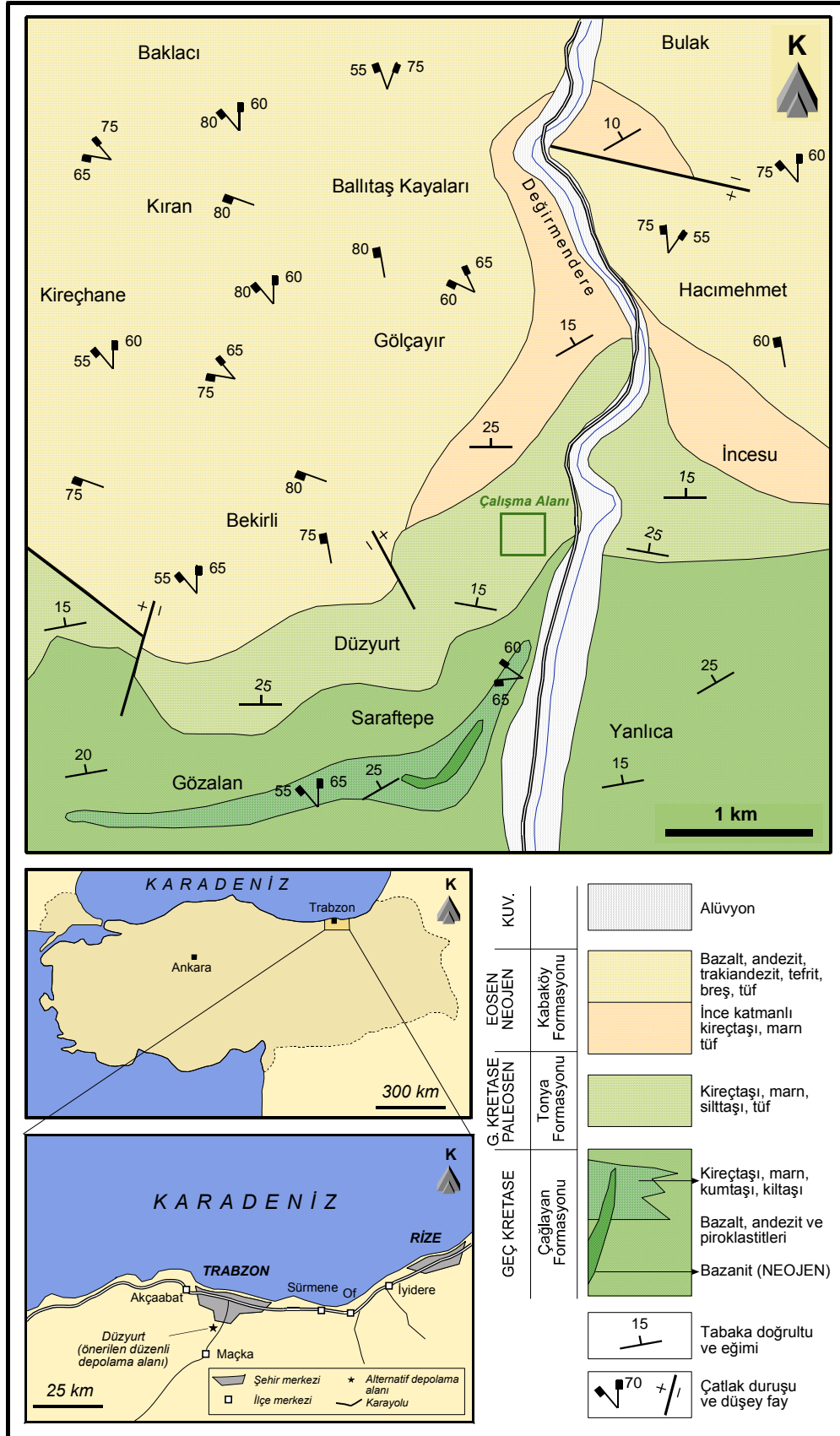
Çağlayan Formasyonu'na ait kayaçlar, çalışma alanında genellikle Yanlıca, Saraftepe ve Gözalan Mahalleleri çevresinde yüzeyleme vermektedir.

Birim genellikle kumtaşı, kireçtaşı, marn ve killi kireçtaşı ara seviyeleri içeren bazalt, andezit ve bunların piroklastitlerinden oluşmaktadır.

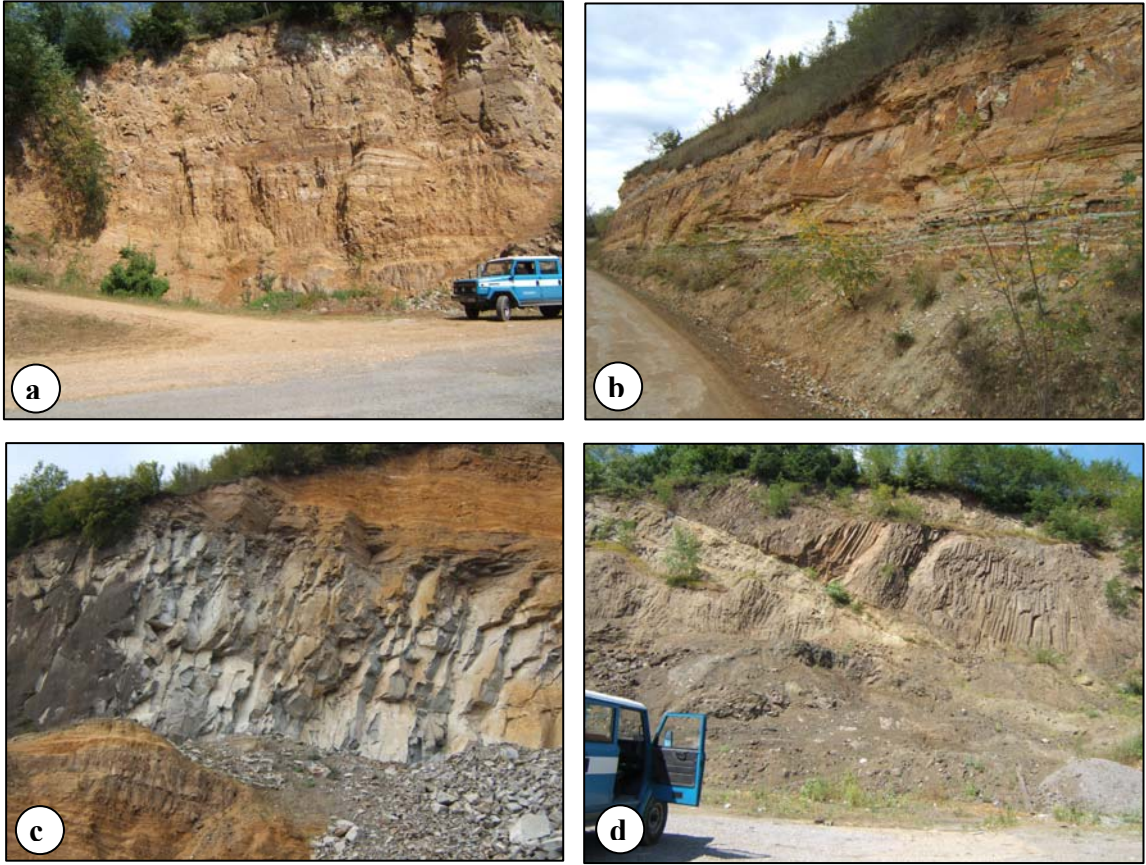
Genellikle koyu renkli olan, kırıklı ve çatlaklı yapı gösteren volkanik birimler orta derecede ayrılmıştır. Yer yer prizmatik ve yastık debi gösteren bu kayaçlarda (Şekil 3.18a ve b) kloritleşme ve epidotlaşma yaygın olarak görülen alterasyon ürünleridir. Kayaçlarda gelişen boşluklar ikincil kalsit ve klorit ile dolguludur.

Volkanik breşler ve iyi tabakalanma gösteren tüfitler içinde volkanik parçaların yanında kırmızı kireçtaşı ve killi kireçtaşı parçaları da gözlenmektedir.

Gözalan Mahallesi ve çevresinde yüzeyleme veren tortul seviyeler ise genel olarak kumtaşı, kireçtaşı, kiltası, marn ve tüfit araldanmasından oluşmaktadır (Şekil 3.18c ve d). Mikritik kireçtaşları, marn ve kumtaşları genellikle ince-orta tabakalı yapı gösterirken, tüfitler kalın tabakalı mercekler şeklinde gözlenmektedir. Kırıntılı tortulların ana bileşenini genellikle volkanik kayaç parçaları oluşturmaktadır. Çağlayan Formasyonu içerisinde merceğimsi şekilde bulunan bu tortul kayaçların yanal devamlılığı bulunmamaktadır.



Şekil 3.17. Çalışma alanının jeoloji haritası



Şekil 3.18. Gözalan Mahallesi'nde yüzeyleme veren Çağlayan Formasyonuna ait kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve marn ara seviyeleri (a ve b), merccek şeklinde bulunan ve yanal devamlılığı olmayan tüffitler arasında yer alan bazanit sili (c) ve formasyonun taban kesimlerinde eksfoliasyon gösteren yüksek derecede ayrılmış bazalt ve andezitler (c ve d)

Mikroskobik incelemelerde, Çağlayan Formasyonu içerisinde bulunan volkanik kayaların, genelde porfirik, intergranüler, mikrolitik, mikrolitik porfirik dokuda olduğu görülmüştür (Şekil 3.19).

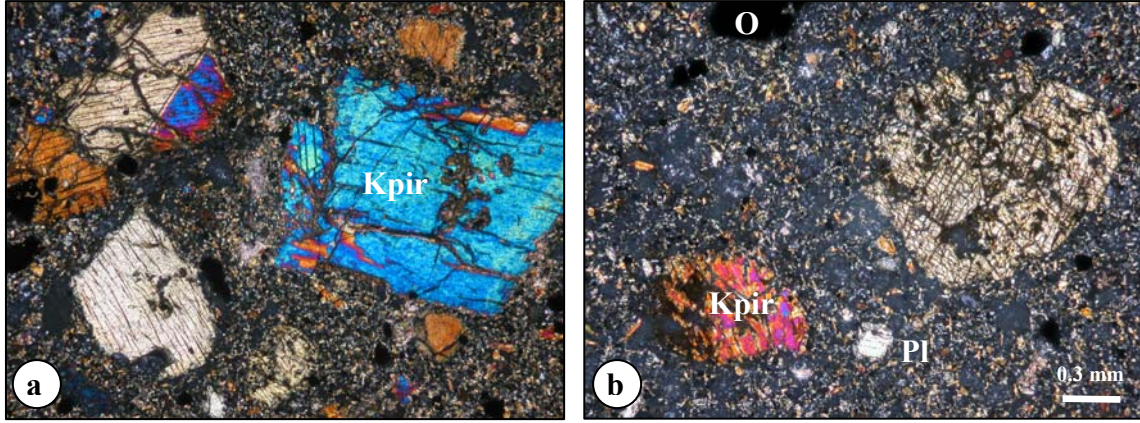
Plajiyoklaslar, genellikle çok küçük mikrolitler halinde görülürken, daha az oranda mikro fenokristaller halinde de bulunmaktadır. Genellikle yarı özşekilli ve özşekilli olan plajiyoklas mikro fenokristallerinde silisleşme ve serisitleşme hakimdir. Bol çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahip olan plajiyoklaslar yer yer opak mineral inklüzyonları içermektedir.

Genellikle mega kristaller halinde gözlenen ojitler yer yer mikro fenokristaller ve mikrolitler halinde de bulunmaktadır. Çoğunlukla yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halinde bulunan ojitlerin megakristal şeklinde olanlarında zonlanma mevcuttur. Opak mineral ve plajiyoklas inklüzyonları içeren ojitler bol çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahiptir.

Amfiboller çok küçük mikro fenokristaller halinde ve az miktarda bulunmaktadır. Genellikle mızrak şekilli küçük latalar şeklinde gözlenmiştir.

Opak mineraller çoğunlukla iri ve çok iri fenokristaller halinde bulunmaktadır ve genellikle ojit ve plajiyoklaslar içinde inklüzyonlar şeklindedir.

Sarımsı yeşilimsi renk tonlarında görülen kloritler, klinopiroksenlerin, kalsitler plajiyoklasların alterasyon ürünüdür.



Şekil 3.19. Çağlayan Formasyonu'ndaki bazaltların polarizan mikroskoptaki görünümleri (Ç.N., Kpir: Klinopiroksen, Pl: Plajiyoklas, O: Opak mineral)

Formasyon içerisinde ara seviyeler halinde bulunan kırmızı-bordo renkli kireçtaşlarındaki *Globotruncana cf. arca* (Chusman), *Globotruncana lapparenti-tricarinata* (Quereau), *Globotruncana cf. Bulloides* (Vogler), *Globotruncana coronata* (Bolli), *Globigerina sp.* fosilleri, formasyonun yaşının Kampaniyen-Maastrichtiyen olduğunu göstermektedir (Güven, 1993).

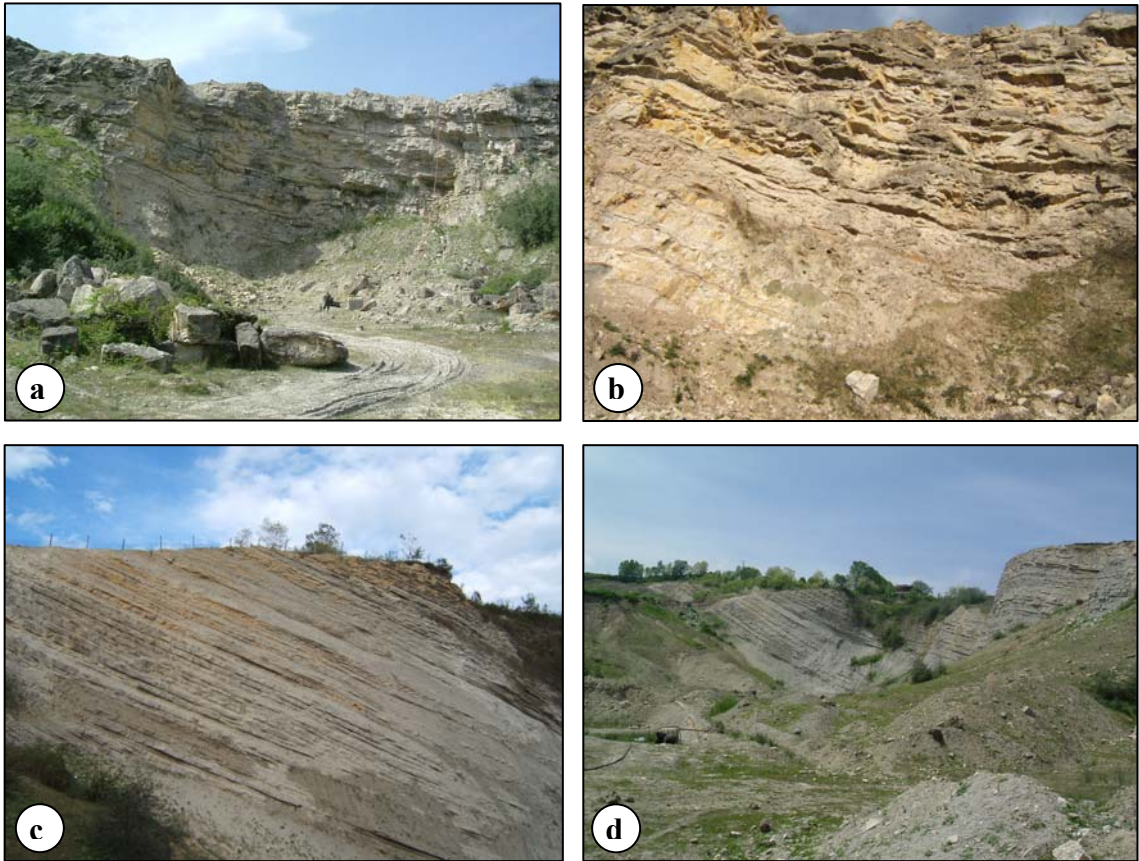
Çağlayan Formasyonu, Korkmaz (1993) tarafından adlandırılan ve tipik olarak Düzköy'de yüzeyleme veren volkano-tortul seriyle denestirilebilir özelliktedir.

3.5.2. Tonya Formasyonu

Bazik karakterli volkanitlerden ve tortul ara seviyelerden oluşan Çağlayan Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen birim ilk olarak Hacımehmet (Trabzon) yöresinde Özsayar (1971) tarafından tanımlanmış, ardından Tonya yöresinde ise Korkmaz (1993) tarafından Tonya Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, silttaşı ve tüflerden oluşan birim

Korkmaz (1993) tarafından tanımlanan Tonya Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır.

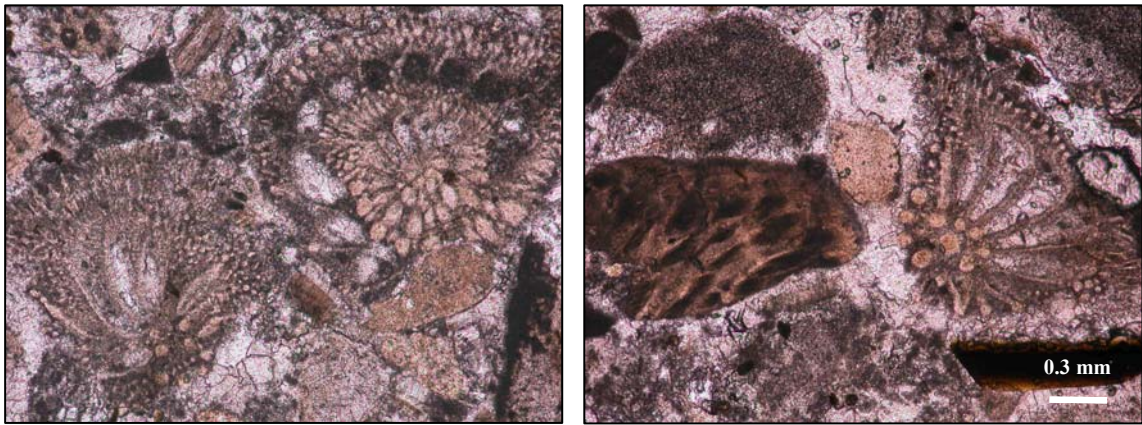
Birim, beyaz, açık gri, sarımsı renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşmaktadır. Türbiditik karakterli kireçtaşlarının hakim olduğu birimin Düzyurt yöresindeki kalınlığı yaklaşık 150-200 metredir. Çalışma alanında formasyon iki farklı fasiyes ile karakteristiktir. Tane destekli kalsirüdit ve kalkarenitler formasyonun taban kesimini oluşturmaktadır (Şekil 3.20a) ve yaklaşık 100 m kalınlığa sahiptir (Kırmacı ve Akdağ, 2005). Birimin taban seviyeleri genelde orta ve yer yer kalın tabakalı olup, üst seviyelere göre daha fazla miktarda dasitik kayaç çakılları ve kavkı parçaları içermektedir (Şekil 3.20b). Birimin orta seviyelerinde yer yer orta tabakalı kumlu kireçtaşı seviyeleri (Şekil 3.20c ve d) ve kanal dolguları gözlenirken en üst seviyelere doğru tabaka kalınlığında azalma görülmüştür. Tonya Formasyonu'nun orta ve üst zonlarını oluşturan bu fasiyes yaklaşık 80 metre kalınlığa sahiptir (Kırmacı ve Akdağ, 2005).



Şekil 3.20. Düzyurt Mevkii'nde bulunan eski çimento hammadde ocağında yüzeylenme veren orta kalın tabakalı kireçtaşları (a) ve kireçtaşlarının tabanında görülen dasidik çakıllar (b), ince tabakalı kiltası, marn, kireçtaşı ve tuf ardalanması (c ve d)

Önerilen düzenli depolama alanı Tonya Formasyon'u içerisinde yer aldığı için, ayrıntılı mikroskobik incelemeler yapılmıştır. Formasyonun taban kesimlerinde yer alan volkanik kayaç çakılları dasit ve tüf bileşimindedir. Bu kayaçlarda koyu renkli mineral olarak sadece biyotit bulunmaktadır ve biyotitlerin oranı % 5'i geçmemektedir

Karbonatlı kayaçlardan alınan örneklerden hazırlanan ince kesitlerin mikroskobik olarak incelenmesi neticesinde bunlarda, biyomikritik ve biyosparitik kireçtaşlarının hakim olduğu gözlenmiştir. İntra-biyosparitik kireçtaşlarının bileşiminde % 70'den fazla biyoklast (ekinit parçaları, bryozoa, rudist parçaları, bentik foraminiferler, kırmızı algler), % 15'den az intraklast (mikritik taneler ve çevredeki kayaçlardan türemiş kırıntılar) bulunmaktadır. Karadan türemiş kırıntı oranı (kuvars gibi) % 1-2 civarındadır. Bu bileşenler % 15 oranındaki sparitik bir çimentoyla tutturulmuştur (Şekil 3.21). Birimin çok çeşitli bentik organizma içermesi, organizmaların kırıklı olması, birimin geometrik konumu, oldukça sığ, yüksek enerjili ve tektonik açıdan duraysız denizel bir ortamı temsil etmektedir. Birim içerisinde bulunan kırmızı alglerin, güneş ışınlarının ulaşabildiği 60-150 metre derinlikten daha derin bölgelerde yaşayamamaları ortam belirleyici bir özellik olup bu durum sığ bir ortamı karakterize etmektedir. Ayrıca birimde kayaç parçalarının ve kuvars tanelerinin varlığı ve yer yer mercekler şeklinde gözlenen tüfler, karadan taşınmanın olabileceğini veya etkin bir volkanizmanın yakınlığını gösterebilir. Bileşenler sığ ortamı karakterize etmelerine karşın, tanelerin parçalı ve kısmen yuvarlaklaşmış olması ve yer yer biyomikritik ve pelajik foraminiferlerin varlığı, duraysız bir karbonat şelfinde bulunan sığ şelf fosillerinin, bulanık akıntıların yardımıyla bir derin deniz çukuruna taşındığının göstergesidir.



Şekil 3.21. Tonya Formasyonuna ait kireçtaşlarının ince kesitlerdeki görünümü

Formasyon içerisindeki kireçtaşlarında bulunan *Globo truncana cf. arca* (Chusman), *Globo truncana lapparenti-tricarinata* (Quereau), *Gümbelina sp.*, *Robulus sp.*, *Discocyclina sp.*, *Siderolites sp.*, *Rosita furnicata*, *Globo truncanita contusa* ve *ineceramus sp.* fosilleri formasyonun yaşının Kampaniyen-Maastrichtiyen olduğu göstermektedir (Aydın, 2003).

Formasyon, Güven (1993) tarafından tanımlanan ve Bakırköy’de (Artvin) tipik olarak yüzeyleme veren türbiditik fasiyes çökelleri ile denestirilebilir. Genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, kiltası, tuf ve az oranda kumtaşı araldanmasından oluşan formasyon doğuya doğru kumlu kireçtaşı ve resifal kireçtaşlarından oluşan Ağıllar Formasyonu ile yanal geçişlidir (Aydın, 2003).

3.5.3. Kabaköy Formasyonu

Tipik olarak Kabaköy (Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme veren ve genellikle kırıntılı çökellerle başlayıp üst zonlara doğru volkanik karakterde olan volkanotortul istif ilk olarak Güven (1993) tarafından Kabaköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanının kuzey kesimlerinde geniş yayılımlar gösteren ve sedimanter arakatkılı andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşan birim Kabaköy Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır.

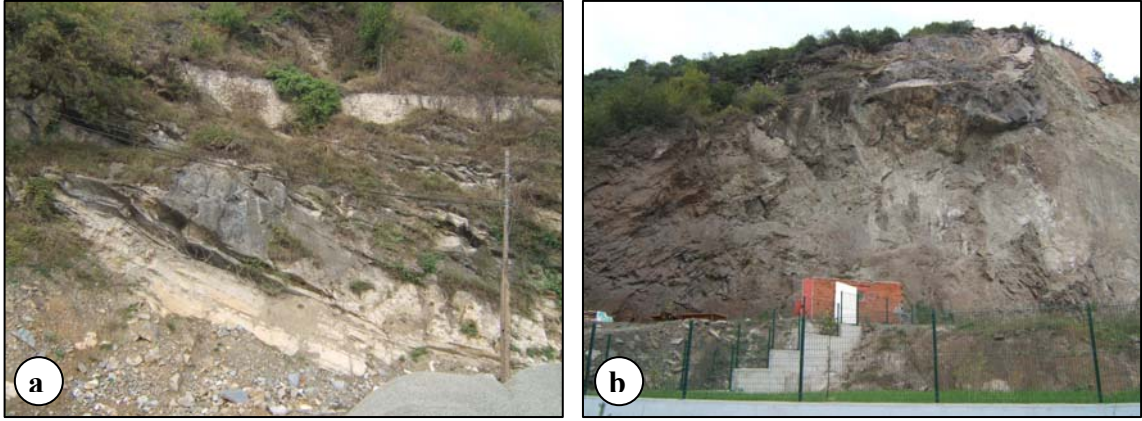
Geç Kretase yaşlı birimler üzerine bir taban konglomerası ile açısız uyumsuz olarak gelen formasyon, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn aratabakaları içeren andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşmaktadır.

Formasyona ait volkanik birimler Gölçayır, Kireçhane, Hacımehmet ve Bulak Mahalleleri’nde, tortul birimler ise genellikle Değirmendere vadisi boyunca, İncesu Mevkii’nde geniş yüzeylemeler vermektedir.

Formasyonun taban kesiminde bulunan tortul kayaçlar killi, karbonatlı bir matriks içindeki yuvarlak şekilli volkanik kayaç çakıllarından ve killi kireçtaşı, marn bloklarından oluşmaktadır.

Tortullar yanal ve dikey yönde bazalt, trakibazalt, trakiandezit ve bunların piroklastitlerinden oluşan volkanitler tarafından örtülmüştür (Aydın, 2003).

Şekil 3.22’de formasyonun taban kesimlerinde yüzeyleme veren kireçtaşı-marn seviyeleri (Şekil 3.22a) ve bunların üzerine gelen bazalt ve piroklastitleri (Şekil 3.22b) görülmektedir.



Şekil 3.22. Bulak Mahallesi'nde yüzeyleme veren ve Kabaköy Formasyonu'nun taban kesimlerinde gözlenen kireçtaşları (a) ve bunların üzerine gelen bazaltik kayaçlar (b)

Mikroskobik incelemelerde, Kabaköy Formasyonu içerisinde bulunan volkanik kayaçların, genelde porfirik, mikrolitik ve mikrolitik porfirik dokuda olduğu görülmüştür

Küçük mikrolitler halinde görülen plajiyoklaslar, daha az oranda fenokristaller halinde de bulunmaktadır. Genellikle yarı özşekilli ve özşekilli olan plajiyoklas fenokristalleri çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahiptir (Şekil 3.23).

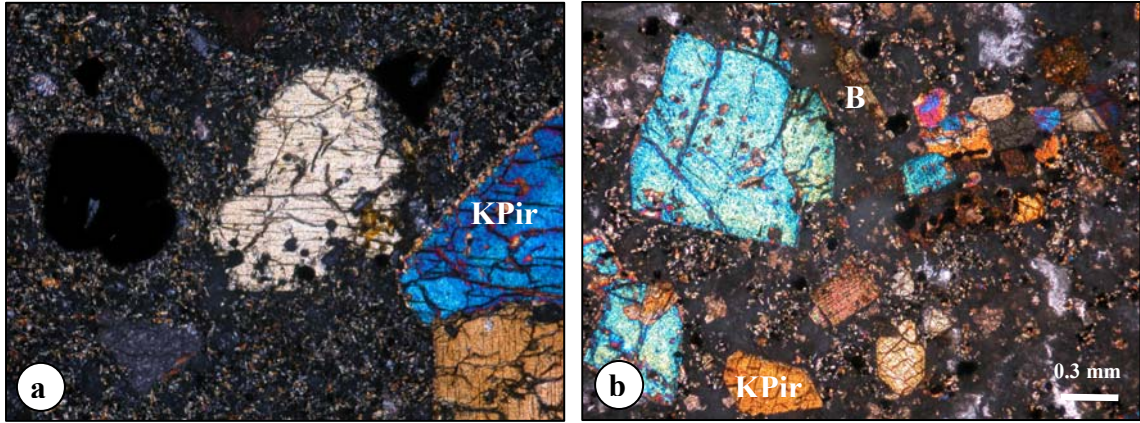
Klinopiroksenler mikro fenokristaller ve mikrolitler halinde bulunmaktadır. Çoğunlukla yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halinde bulunan ojitlerde zonlanma mevcuttur.

Bol çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahip olan piroksenlerde yer yer opak mineral ve plajiyoklas inklüzyonları görülmektedir.

Amfiboller ve biyotitler çok küçük mikro fenokristaller halinde ve az miktarda bulunmaktadır. Amfiboller genellikle mızrak şekilli küçük latalar şeklinde gözlenmiştir.

Opak mineraller çoğunlukla iri ve çok iri fenokristaller halinde bulunmaktadır ve genellikle ojit ve plajiyoklaslar içinde inklüzyonlar şeklindedir.

Genellikle koyu renkli olan volkanitlerin tabanında yer alan sarımsı renkli bol fosilli tortul kayaçlar bir kılavuz seviye niteliğindedir. Bu seviye içerisindeki tortul kayaçlarda bulunan *Nummulites cf. globulus (Leymerie)*, *Assilina cf. Exponens (Sowerby)*, *Assilina cf. Spira*, *Nummulite sp.*, *Discocyclina sp.*, *Asterocyclina sp.*, *Actinocyclina sp.* ve *Alveolina sp.* fosilleri formasyonun yaşının Erken-Orta Eosen olduğunu göstermektedir (Güven, 1993).



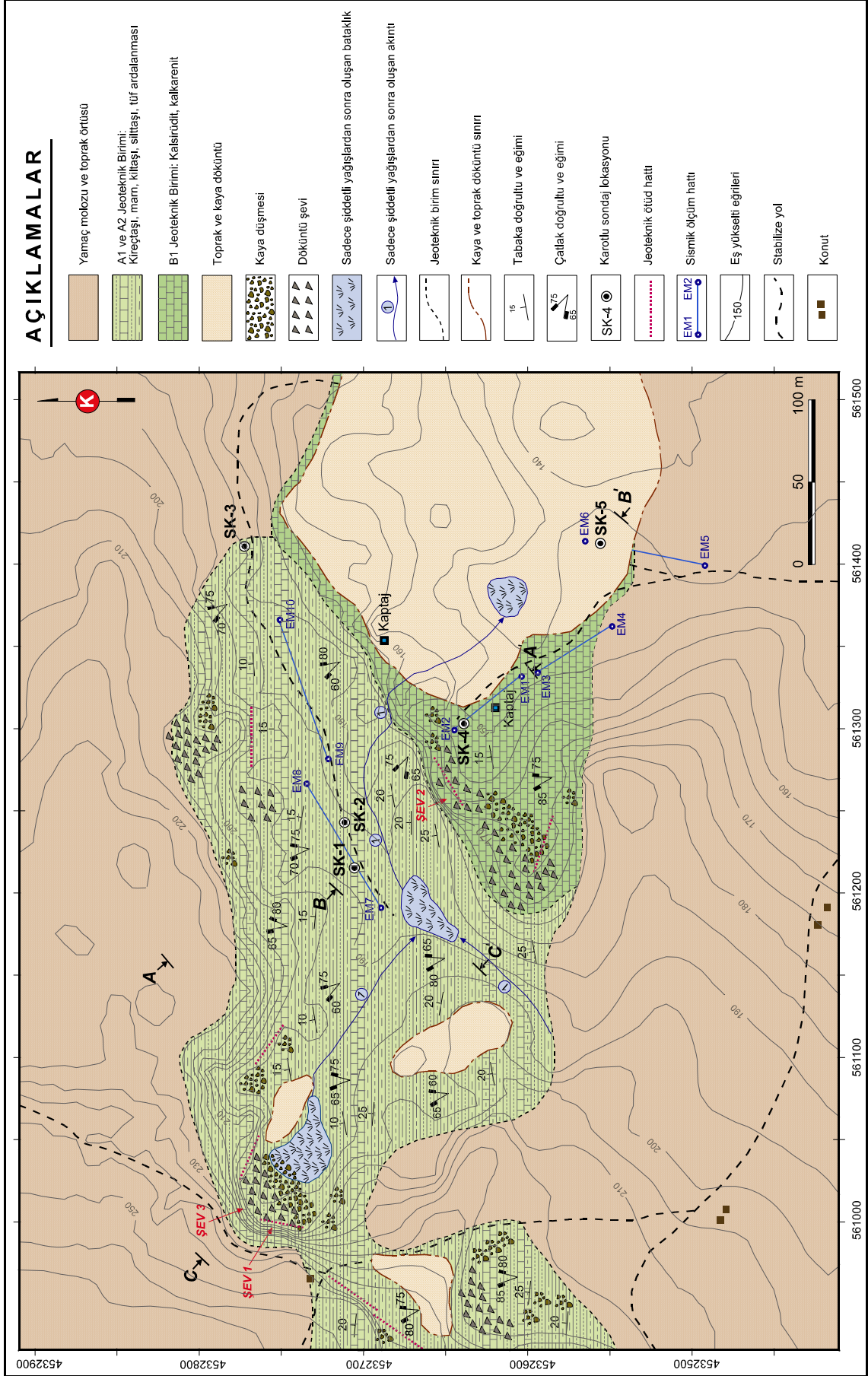
Şekil 3.23. Kabaköy Formasyonu'ndaki bazaltlara ait ince kesit görünümü (Ç.N., Kpir: klinopiroksen, B: biyotit)

Aydın (2003), Arslan ve Aslan (2006) tarafından yapılan son çalışmalarda, Trabzon ve çevresinde yüzeyleme veren volkanitlerin yaşının Gümüşhane ve çevresinde yüzeylenen volkanitlere göre daha genç olduğu (Orta Eosen-Neojen) radyometrik yaş tayinleriyle belirlenmiştir.

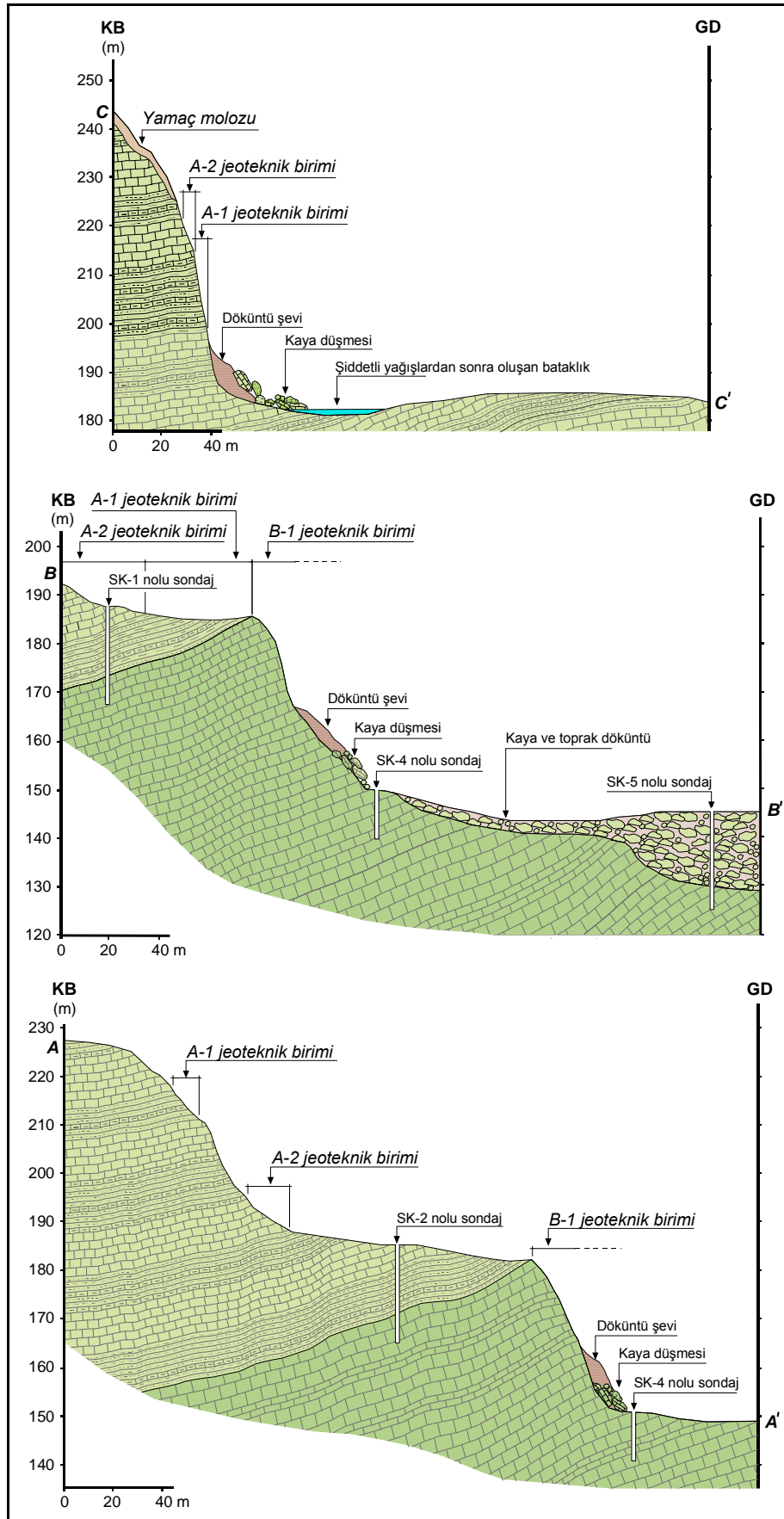
3.6. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması

Bu çalışmada Trabzon İli katı atıklarının çevreye zarar vermeyecek şekilde düzenli olarak depolanması amacıyla, CBS destekli düzenli depolama uygunluk haritaları hazırlanmış ve Trabzon İli için uygun düzenli depolama alanları belirlenmiştir. Konumsal analizlere dayalı ve bilgisayar destekli çalışmalar zamanın optimum şekilde kullanılmasını sağlamalarına rağmen büyük ölçekli çalışmalarda (1/5000 ve daha büyük) sadece ön çalışmalar niteliğindedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, CBS teknikleri kullanılarak uygun depolama alanı olarak belirlenen ve Düzyurt Mevkii'nde (Trabzon) bulunan eski çimento hammadde ocağının düzenli depolama için uygun olup olmadığı jeoteknik açıdan incelenmiştir.

Çalışmada jeoteknik birimleri tanımlamak, yanal ve düşey devamlılıklarını belirlemek amacıyla yüzey ve yeraltı çalışmaları gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda önerilen düzenli depolama alanının 1/2000 ölçekte mühendislik jeolojisi haritası ve kesitleri hazırlanmıştır (Şekil 3.24 ve 3.25).



Şekil 3.24. Önerilen Düzyurt katı atık depolama alanının mühendislik jeolojisi haritası



Şekil 3.25. Önerilen Düzyurt katı atık depolama alanına ait enine jeolojik k

Mühendislik jeolojisi haritaları, arazi kullanım potansiyelinin ve mühendislik amaçlı dizayn, inşaat ve koruma alanlarının belirlenmesi gibi çeşitli mühendislik çalışmalarına kılavuzluk edecek nitelikte jeolojik veri içeren ve doğal çevreyi tanımlamaya yönelik hazırlanan özel amaçlı jeolojik haritalardır (Dearman and Matula, 1976; IAEG, 1976; Dearman, 1981).

Mühendislik jeolojisi haritalarında, 1/5000-1/10000 ölçekleri arasında tanımlanabilen, mineralojik bileşim ve yapısal anlamda homojen, ancak mekanik özellikler açısından uniform olmayan birimler “*litolojik tür*” olarak ifade edilir. Bu sınıflamada, birimin mekanik özellikleri için gerçek anlamda ve temsil edici ortalama değerlerin verilmesi mümkün olmayıp, mühendislik özellikleri belirli aralıkları temsil eden değerler şeklinde verilebilir. 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen ve fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip birimler ise “*jeoteknik birim*” olarak ifade edilir (IAEG, 1976; Dearman, 1981).

Bu çalışmada mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken çalışma alanında bulunan birimler ilk aşamada litolojik türlere ardından fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip ve 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen jeoteknik birimlere ayrılmıştır. Litolojik türler, arazi gözlemleri ve yerinde yapılan ölçümlerle (ölçülü stratigrafik kesit, sondajlar ve jeofizik ölçümler) belirlenirken, jeoteknik birimler jeomekanik deneylerden elde edilen ve istatistiksel olarak değerlendirilmiş verilerle temsil edilmiştir. Bu ilke çerçevesinde, mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken, ANON (1976), IAEG (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılmıştır.

3.6.1. Yeraltı Çalışmaları

Çalışmada kaya ortamının yanal ve düşey devamlılığı ile fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla toplam 70 metre olmak üzere 5 farklı lokasyonda sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.26 ve 3.27).



Şekil 3.26. Taş ocağının üst kotlarında açılan sondajlar (kot: 185 m)



Şekil 3.27. Taş ocağının alt kotlarında açılan sondajlar (kot: 150 m)

Çalışmada morsetli döner sondaj yöntemi uygulanmış, 89 mm çapında muhafaza boruları, 3 metrelik delikli borular, 54.5 mm çapında ve 305 mm uzunluğunda sondaj boruları kullanılmış ve ilerleme hattı 1.5 m olarak seçilmiştir. Litolojik ve morfolojik özellikler dikkate alınarak, S-1, S-2 ve S-5 kuyuları 20'şer metre, S-3 ve S-4 kuyuları 10'ar metre olacak şekilde delinmiştir.

Sondajların açılması sırasında tutulan kuyu logları ve diğer sondaj bilgileri Şekil 3.28-3.30'da verilmiştir.

KAYA SONDAJ LOGU ARAZİ FORMU								
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ								
Sondaj Yeri	Düzyurt Mevkii		Kuyu Derinliği	20 m	Sondaj No	SK1		
Makina Tipi			Sondör		Sayfa No	1		
Sondaj Yöntemi	Morsetli döner sondaj		Logu Yapan	Hakan ERSOY	Başlangıç Tarihi	15/05/2005		
Karotiyer ve Matkap	54.5 x 305 mm		Koordinatlar	X : 561219 Y : 4532705 Z : 188	Bitiş Tarihi	16/05/2005		
Muhafaza Borusu Derinliği								
DERİNLİK (m)	SÜREKSİZLİKLER				TESTLER		LİTOLOJİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA
	Tip	Dolgu Tipi	Eğim	Eğim Yönü	Basınçlı Su Testi			
					Basınç (Atm)	K (m/s)		
1					10	2.14×10^{-8}	epiklastik malzemece zengin karbonat kırıntılı tuf	
2					10	2.14×10^{-8}	killi kireçtaşı	
3					10	2.14×10^{-8}	killi kireçtaşı	
4					10	2.14×10^{-8}	kalkarenit	
5					10	2.14×10^{-8}	killi kireçtaşı	
6					10	2.14×10^{-8}	kalkarenit	
7					10	2.14×10^{-8}	killi kireçtaşı	
8					10	1.92×10^{-8}	volkanik katkı ve karbonatlı silttaşı, kilttaşı	
9					10	1.92×10^{-8}	tuf	
10					10	1.92×10^{-8}	silttaşı	
11					10	2.64×10^{-8}	silttaşı silttaşı bantları (5 cm) bitki kırıntılı içeren silttaşı mam kireçtaşı (50 cm)	
12					10	2.64×10^{-8}	silttaşı, kilttaşı mam (40 cm)	
13					10	2.64×10^{-8}	kalkarenit (100 cm)	
14					10	2.64×10^{-8}	kum boyutlu yabancı parçalar içeren bol biyotitli tuf	
15					10	2.64×10^{-8}	kalkarenit (100 cm)	
16					10	1.69×10^{-8}	kalkarenit (15 cm)	
17					10	1.69×10^{-8}	kalsirudit (135 cm)	
18					10	1.69×10^{-8}	kalkarenit	
19					10	1.69×10^{-8}	kalkarenit (50 cm) mam (20 cm) kalkarenit	
20					10	1.69×10^{-8}	kalkarenit (100 cm) mam (15 cm) bol kavkı parçası içeren kalkarenit	

Şekil 3.28. SK1 sondajına ait kaya sondaj logu

KAYA SONDAJ LOGU ARAZİ FORMU								
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ								
Sondaj Yeri	Düzyurt Mevkii			Kuyu Derinliği	20 m		Sondaj No	SK 2
Makina Tipi				Sondör	Hüseyin		Sayfa No	1
Sondaj Yöntemi	Morsetli döner sondaj			Logu Yapan	Hakan ERSOY		Başlangıç Tarihi	16/05/2005
Karotiyer ve Matkap	45.5 x 305 mm			Koordinatlar	X : 561245 Y : 4532710 Z : 187		Bitiş Tarihi	17/05/2005
Muhafaza Borusu Derinliği								
DERİNLİK (m)	SÜREKSİZLİKLER				TESTLER		LİTOLOJİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA
	Tip	Dolgu Tipi	Eğim	Eğim Yönü	Basınçlı Su Testi			
					Basınç (Atm)	K (m/s)		
1					10	2.1×10^{-8}	kalkarenit	
2				tüf (10 cm)				
3				mam bantları içeren kırıntılı kireçtaşı				
4				mam (30 cm)				
5					10	1.59×10^{-8}	mam silttaşı ve kiltası (100 cm)	
6				tüf (10 cm)				
7				mam (10 cm)				
8				silttaşı (120 cm)				
9					10	1.92×10^{-8}	kalkarenit (30 cm)	
10				silttaşı (100 cm)(ezilme zonu)				
11				mam (15 cm)				
12				kumtaşı (35 cm)				
13					10	1.55×10^{-8}	silttaşı, kiltası (80 cm)	
14				kalkarenit (60 cm)				
15				mam (10 cm)				
16				silttaşı (130 cm)				
17					10	1.55×10^{-8}	kumtaşı (20 cm)	
18				kumtaşı (20 cm)				
19				silttaşı, kiltası (130 cm)				
20				silttaşı, kiltası (140 cm)				
21					10	1.55×10^{-8}	kalkarenit (10 cm)	
22				kalkarenit (60 cm)				
23				mam (50 cm)				
24				kalkarenit (40 cm)				
25					10	1.55×10^{-8}	kalkarenit (30 cm)	
26				kalsirudit (70 cm)				
27				kalkarenit (50 cm)				
28				kalkarenit				
29					10	1.55×10^{-8}	kalkarenit	
30				kalkarenit				

Şekil 3.29. SK2 sondajına ait kaya sondaj logu

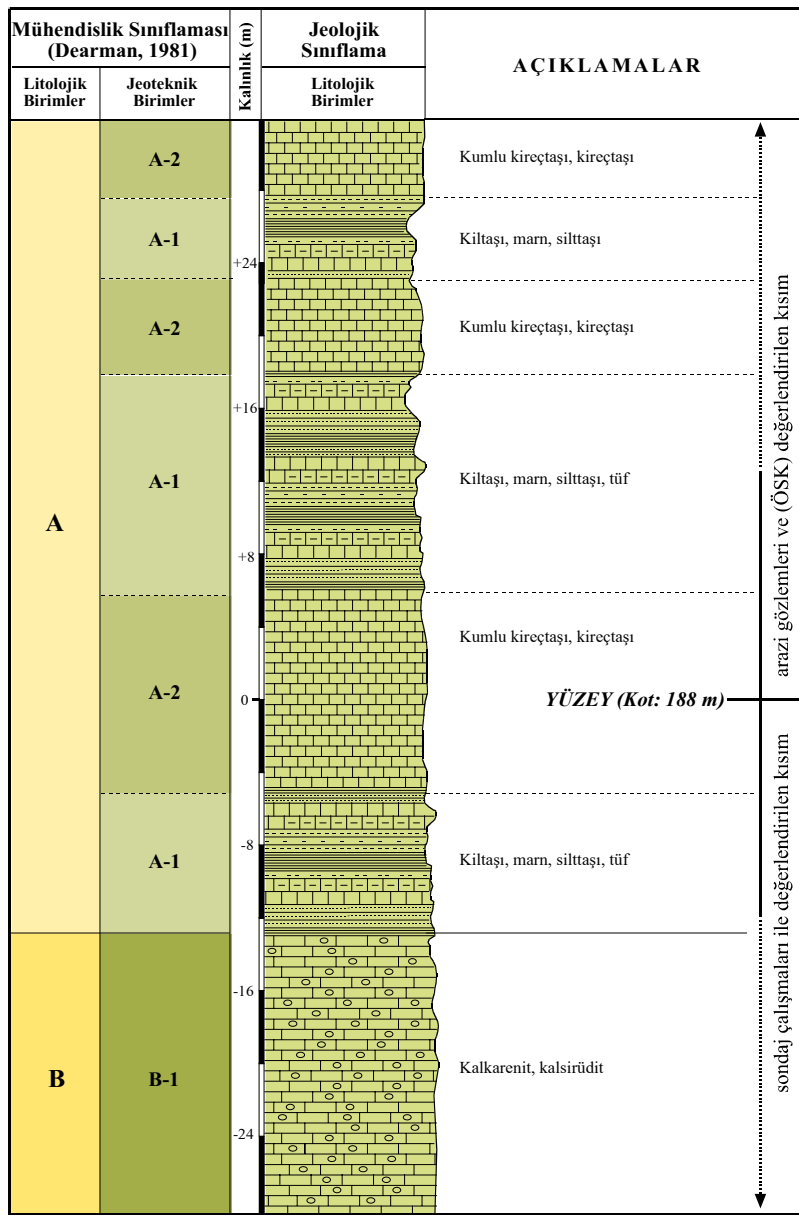
KAYA SONDAJ LOGU ARAZİ FORMU										
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ										
Sondaj Yeri	Düzyurt Mevkii	Kuyu Derinliği	10 m	Sondaj No	SK 3					
Makina Tipi		Sondör	Hüseyin	Sayfa No	1					
Sondaj Yöntemi	Morsetli döner sondaj	Logu Yapan	Hakan ERSOY	Başlangıç Tarihi	17/05/2005					
Karotiyer ve Matkap	54.5 x 305 mm	Koordinatlar	X : 561410 Y : 4532770 Z : 184	Bitiş Tarihi	18/05/2005					
Muhafaza Borusu Derinliği										
DERİNLİK (m)	SÜREKSİZLİKLER				TESTLER		LİTOLOJİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA		
	Tip	Dolgu Tipi	Eğim	Eğim Yönü	Basıncılı Su Testi					
					Basınç (Atm)	K (m/s)				
1					10	1.36×10^{-8}		10 cm kalınlığında killi kireçtaşı ve marn arakatmanları içeren kalkarenit		
2										tüf (30 cm) kireçtaşı (80 cm) silttaşı, killi taşı (30 cm) killi kireçtaşı (10 cm)
3										silttaşı, kil taşı (15 cm) killi kireçtaşı (10 cm) kalkarenit (25 cm) killi kireçtaşı bantları içeren kalkarenit
4					10	2.45×10^{-8}		killi kireçtaşı bantları içeren kalkarenit (50 cm) kalkarenit (70 cm) kireçtaşı (30 cm)		
5										kireçtaşı (10 cm) silttaşı, killi taşı (40 cm)
6										kalkarenit (100 cm)
7										kalkarenit (100 cm)
8										kalkarenit (100 cm)
9								kalkarenit (100 cm)		

KAYA SONDAJ LOGU ARAZİ FORMU										
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ										
Sondaj Yeri	Düzyurt Mevkii	Kuyu Derinliği	10 m	Sondaj No	SK 4					
Makina Tipi		Sondör	Hüseyin	Sayfa No	1					
Sondaj Yöntemi	Morsetli döner sondaj	Logu Yapan	Hakan ERSOY	Başlangıç Tarihi	18/05/2005					
Karotiyer ve Matkap	54.5 x 305 mm	Koordinatlar	X : 561305 Y : 4532640 Z : 152	Bitiş Tarihi	19/05/2005					
Muhafaza Borusu Derinliği										
DERİNLİK (m)	SÜREKSİZLİKLER				TESTLER		LİTOLOJİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA		
	Tip	Dolgu Tipi	Eğim	Eğim Yönü	Basıncılı Su Testi					
					Basınç (Atm)	K (m/s)				
1					10	2.32×10^{-8}		kireçtaşı (150 cm) killi kireçtaşı bantları içeren kalkarenit		
2										biyotitli tüf (50 cm) kalkarenit (130 cm) biyotitli tüf (10 cm) kalkarenit (10 cm)
3										kalkarenit (50 cm) kalsirüdit (50 cm)
4					10	7.3×10^{-8}		biyotitli tüf (40 cm) kalkarenit (150 cm) biyotitli tüf (30 cm)		
5										kalsirüdit (80 cm)
6										kalkarenit (100 cm)
7										kalkarenit (100 cm)
8										kalkarenit (100 cm)
9								kalkarenit (100 cm)		

Şekil 3.30. SK3 ve SK4 sondajlarına ait kaya sondaj logu

3.6.2. Yüzey Çalışmaları

Çalışmada, litolojik türlerini ve bu litolojik türlerine ait mühendislik türlerini (jeoteknik birim) haritalamak, birbirlerinden farklı olarak değerlendirmek amacıyla arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gerek sondaj çalışmaları, gerekse arazi çalışmaları (ölçülü stratigrafik kesitler, ÖSK) sonucunda elde edilen veriler yorumlanarak çalışma alanına ait jeoteknik ve stratigrafik kesitler çıkarılmış ve birlikte yorumlanmıştır (Şekil 3.31). Elde edilen tüm veriler jeofizik ölçümlerle (sismik kırılma) doğrulanmıştır.



Şekil 3.31. Düzenli depolama yapılacak alanın sondaj ve arazi gözlemleri (ÖSK) sonucunda çizilmiş stratigrafik kesiti

Önerilen düzenli depolama alanı ve çevresinde yüzeyleme veren kayaçlar, ANON (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından düzenlenen ve litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak 2 ayrı litolojik ve 3 ayrı jeoteknik birime ayrılmıştır.

Kiltaşı, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı marn, siltaşı ve tuf ardalanmasından oluşan ve Tonya Formasyonu'nun üst kesimlerini oluşturan birim A litolojik birimi, genel olarak orta ve kalın tabakalı kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşan ve formasyonun taban kesimlerinde bulunan birim ise B litolojik birimi olarak ayrırtlanmıştır.

A litolojik birimi kendi içerisinde A1 ve A2 jeoteknik birimiyle karakteristik iken, B litolojik birimi B1 jeoteknik birimiyle karakteristiktir.

A1 jeoteknik birimi:

Kiltaşı, sittaşı, marn ve tuf ardalanmasından oluşmaktadır. İnce tabakalı olan birimin en üst seviyelere doğru tabaka kalınlığında azalma görülmektedir. Diğer jeoteknik birimlere göre dayanımı düşük olan birim alterasyona bağlı olarak arazide genellikle açık gri, kahverengi ve sarı renklerde görülmektedir (Şekil 3.32b).

A2 jeoteknik birimi:

A1 jeoteknik birimiyle ardalanmalı olarak görülen birim orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Genellikle koyu gri renklerde görülen birimin ardalanmalı olduğu A1 jeoteknik birimine göre dayanımı yüksektir. Bu nedenle sert çıkıntılar vermektedir (Şekil 3.32b)

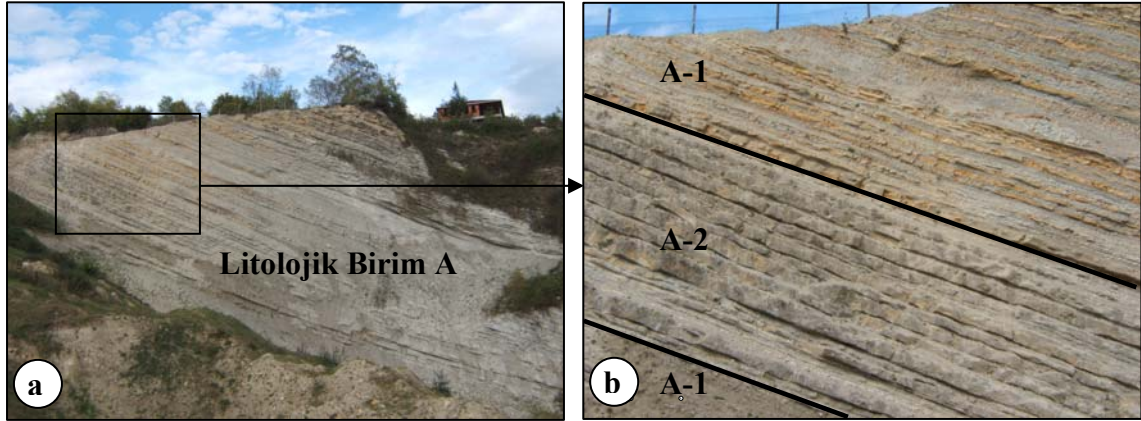
B1 jeoteknik birimi:

Birim genel olarak beyaz, açık gri, sarımsı renkli kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşmaktadır. Birimin taban seviyeleri genelde orta ve yer yer kalın tabakalı olup, üst seviyelere göre daha fazla miktarda dasitik kayaç çakılları içermektedir (Şekil 3.33a ve b).

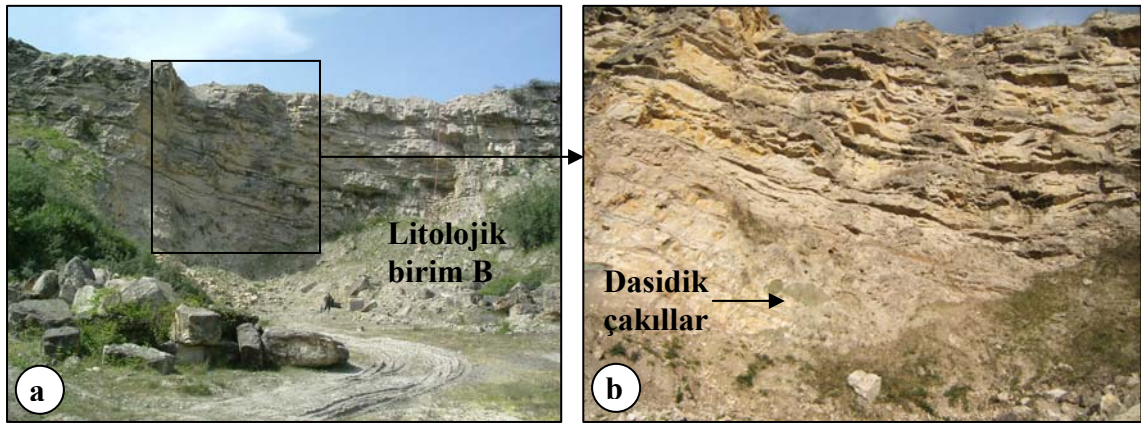
Sondaj çalışmalarından ve ölçülü stratigrafik kesitlerin hazırlanmasından sonra jeoteknik birimlerin yanal ve düşey devamlılıklarının belirlenmesi amacıyla toplam 5 profilde sismik kırılma yöntemiyle ölçüm yapılmıştır. Sismik kırılma yönteminde, ölçüm profilleri sondaj noktalarından geçecek şekilde belirlenmiştir. Ölçüm sırasında kırılma dalgaları varış zamanları kaydedilerek zaman-uzaklık grafikleri çizilmiştir. Elde edilen

grafikler değerlendirilerek elastik ses dalgalarının (P ve S) önerilen düzenli depolama alanındaki karbonat kayaçları içerisindeki yayılma hızları hesaplanmıştır (Şekil 3.34-3.38 ve Tablo 3.15)

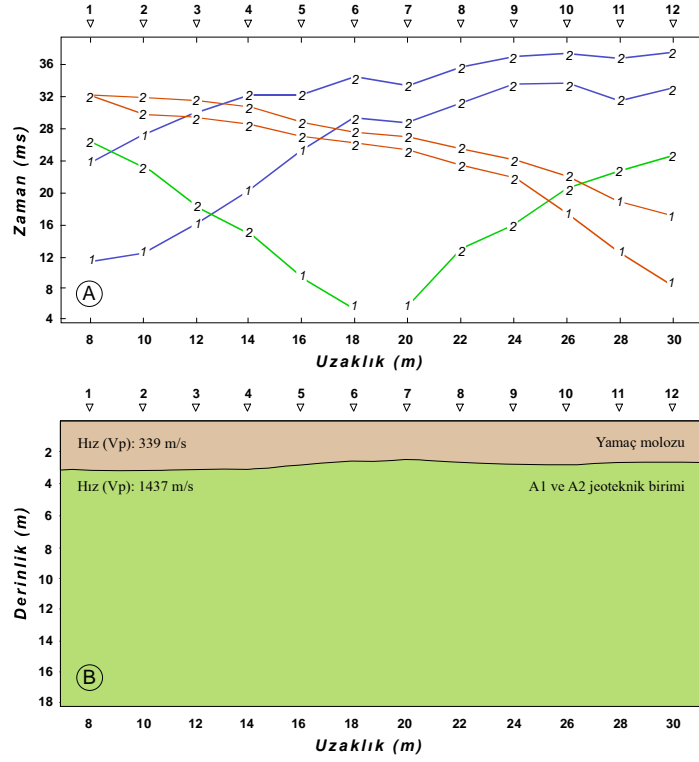
Sismik kırılma yönteminden elde edilen sonuçlarla çizilen jeolojik kesitler, sondaj verileriyle ve ölçülü stratigrafik kesitlerle tam uyum göstermektedir.



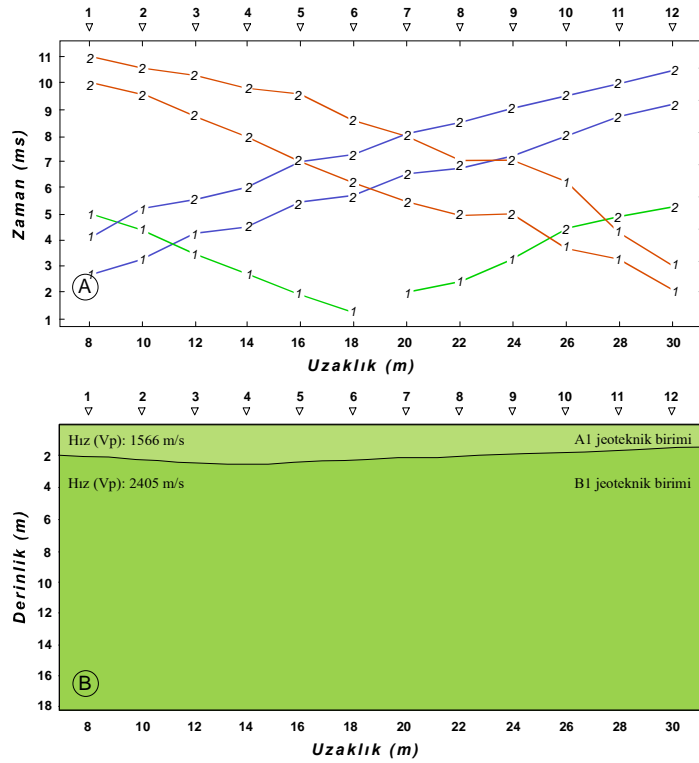
Şekil 3.32. Litolojik birim A (a) ve bu birim içerisinde ardalanmalı olarak bulunan A1 ve A2 jeoteknik birimi ve A2 (b)



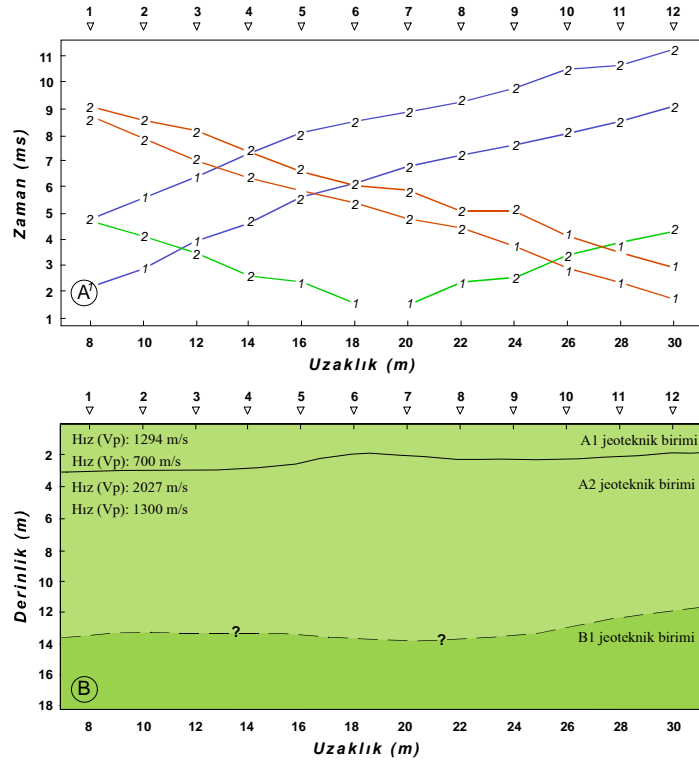
Şekil 3.33. Litolojik birim B (a) ve bu birimde taban kesimlerinde görülen volkanik kayaç blokları (b)



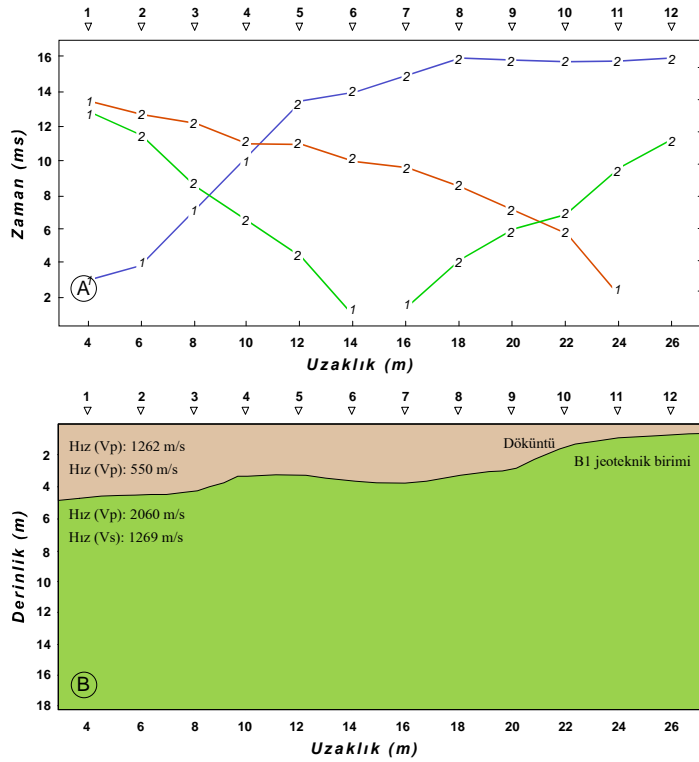
Şekil 3.34. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S9-S10 profili)



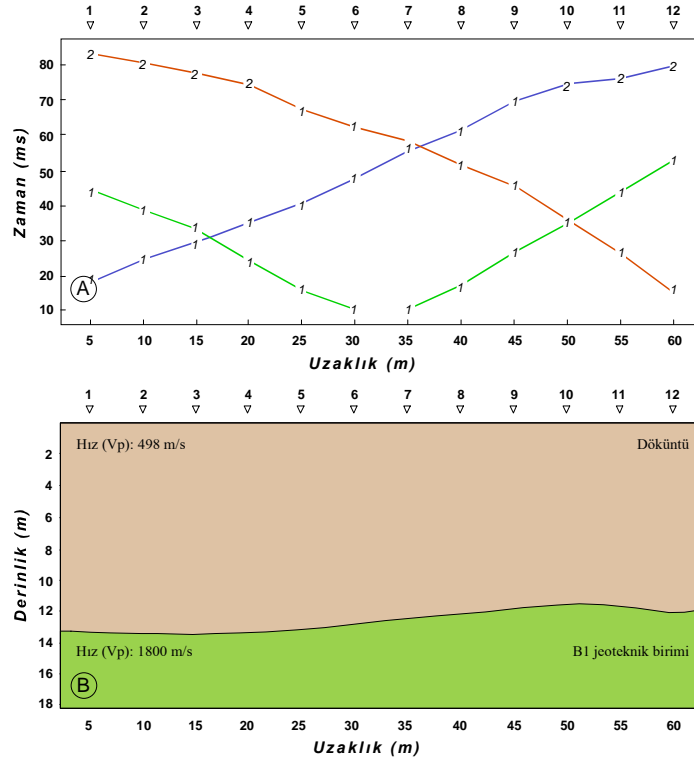
Şekil 3.35. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S7-S8 profili)



Şekil 3.36. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S5-S6 profili)



Şekil 3.37. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S1-S2 profili)



Şekil 3.38. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilmiş zaman-uzaklık eğrisi (A) ve profil hattı boyunca jeolojik kesit (B) (S3-S4 profili)

Yapılan sismik ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlardan yola çıkarak jeoteknik birimlere ait elastik dalga hızları değerleri Tablo 3.15’de verilmiştir. Tablo 3.15’de görüldüğü gibi, dayanımı yüksek olan B1 jeoteknik biriminin dayanımı düşük jeoteknik birimlere göre boyuna dalga hızı değerleri fazladır.

Tablo 3.15. Önerilen düzenli depolama alanında elastik dalgaların jeoteknik birimler içerisindeki yayılma hızları

Elastik Dalgalar	Jeoteknik Birimler			Yamaç molozu	Zemin döküntüsü	Kaya döküntüsü
	A1	A2	B1			
Boyuna dalga hızı, V_p (m/s)	1294-1566	1437-2027	1800-2405	339	498	1262
Enine dalga hızı, V_s (m/s)	700	1300	1269	-	-	550

3.7. Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Malzemesinin Fiziksel ve Dayanım Özellikleri

Kayaçların mühendislik ve jeoteknik amaçlı sınıflandırılması ve buna bağlı olarak çalışma amacına yönelik çeşitli özelliklerinin tayini, kaya mekaniği çalışmalarının ve bununla ilgili tasarım uygulamalarının önemli bir parçasıdır ve jeoteknik çalışmalarda yapılacak olan arazi ve laboratuvar deneylerinin tasarlanması açısından önemlidir. Kayaç yapısı, dokusu ve bileşimi çok geniş aralıklarda değişim göstermektedir. Bu nedenle kayaçların kantitatif olarak tanımlanabilmesi için fiziksel ve dayanım özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

3.7.1. Fiziksel Özellikler

Mühendislik jeolojisi çalışmalarında kayaçların dayanım özelliklerinin belirlenmesinden önce mühendislik amaçları için tanımlamalarının yapılması ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Kayacın dokusu ve tane özelliği ile ilgili olan ve kayaç malzemesini mühendislik sınıflaması açısından tanımlamaya yönelik özellikler, fiziksel özellikler olarak bilinmektedir. Doğru deneylerinin seçilmesi koşuluyla, kökenine ve mineralojik bileşime bakılmaksızın, birbirine yakın fiziksel özelliğe sahip kayaçların benzer mühendislik davranış göstermeleri beklenir.

Bu çalışmada, hem sondaj sırasında hem de kaya bloklarından laboratuvar ortamında alınmış karot örnekleri üzerinde çalışmanın amacına yönelik olarak fiziksel özellikleri belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deneylerde doğal su içeriği, özgül ağırlık, porozite, boşluk oranı, ağırlıkça ve hacimce su emme, suda dağılmaya karşı duraylılık (Gamble, 1971; Franklin ve Chandra, 1972, Rodrigues, 1991, Gökçeoglu vd., 2000, Dhakol vd., 2001) ve sertlik gibi fiziksel özellikler belirlenmiştir. Deneyler yapılırken ISRM (1981), ASTM (1992a ve b; 1994), CANMET (1997a ve b), TSE (1975, 1987 ve 1990) ve RILEM (1980) önerilen standartlar kullanılmıştır.

Deneyler sırasında alınan ölçümler ve yapılan hesaplamalar ile kayaç türleri ve tanımları Ek Tablo 1-7 verilmiştir. Tablo 3.16'da jeoteknik birimlere ait kayaçların fiziksel özellikleri özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 3.16. Jeoteknik birimlere ait kayaçların fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		A1 Jeoteknik	A2 Jeoteknik	B1 Jeoteknik	
		Birimi	Birimi	Birimi	
		Marn, silttaşı kilitaşı	Kumlu kireçtaşı kireçtaşı	Kalkarenit kalsirüdit	Orta derecede ayrışmış kalkarenit kalsirüdit
Özgül Ağırlık	En Yüksek	2.65	2.62	2.61	2.54
	En Düşük	2.48	2.57	2.57	2.46
	Standart Sapma	0.052	0.017	0.029	0.027
	Değişim Katsayısı	2.016	0.656	1.142	1.08
	Ortalama	2.63	2.61	2.60	2.50
Doğal Su İçeriği (%)	En Yüksek	1.00	0.64	1.00	1.54
	En Düşük	0.15	0.51	0.54	0.57
	Standart Sapma	0.343	0.039	0.171	0.397
	Değişim Katsayısı	67.25	66.10	19.21	39.31
	Ortalama	0.51	0.59	0.89	1.01
Porozite (%)	En Yüksek	6.951	2.149	4.406	6.942
	En Düşük	0.153	0.179	0.571	2.917
	Standart Sapma	2.896	0.342	1.106	2.089
	Değişim Katsayısı	66.949	54.76	24.843	45.87
	Ortalama	2.504	1.201	3.226	4.473
Boşluk Oranı (%)	En Yüksek	7.470	2.196	4.609	7.460
	En Düşük	0.153	0.1788	0.574	3.005
	Standart Sapma	2.981	0.44	0.67	0.45
	Değişim Katsayısı	67.40	46.98	71.44	34.19
	Ortalama	2.616	1.219	3.351	4.965
Ağırlıkça Su Emme (%)	En Yüksek	3.05	1.06	1.64	2.49
	En Düşük	0.51	0.86	1.04	1.30
	Standart Sapma	0.781	0.051	0.252	0.469
	Değişim Katsayısı	69.73	53.68	18.26	26.06
	Ortalama	1.12	0.95	1.38	1.80
Hacimce Su Emme (%)	En Yüksek	7.36	2.73	4.07	6.11
	En Düşük	1.34	2.19	2.62	3.19
	Standart Sapma	1.896	0.143	0.596	1.107
	Değişim Katsayısı	66.99	5.81	17.18	24.88
	Ortalama	2.83	2.46	3.47	4.45
Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi (4. çevrim)	En Yüksek	88.41	96.16	96.24	-
	En Düşük	43.74	95.17	96.12	44.72
Ortalama R* (5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi)	Taze yüzey	31	32		31
	Ayrışmış yüzey	19	21		20
Ortalama R* (190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi)	Taze yüzey	37	36		37
	Ayrışmış yüzey	28	28		29
Ortalama R* (100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi)	Taze yüzey	43	45		42
	Ayrışmış yüzey	29	31		29

*R: Schmith sertlik çekici geri tepme sayısı

3.7.2. X-Işınları Difraksiyonu İncelemeleri

Çalışma alanında yapılan sondajlardan olası litolojik değişimler göz önüne alınarak belirli aralıklarla seçilen örneklerin 8 tanesinden XRD çekimleri yapılmış örneklerin kil mineral türleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan XRD çalışmalarına göre en yaygın tüm kayaç mineral parajenezi kalsit+kuvars+biyotit+feldispatlar+kil mineralleridir. Bu birlikteliğe nadiren amfibol ve zeolit de eşlik eder.

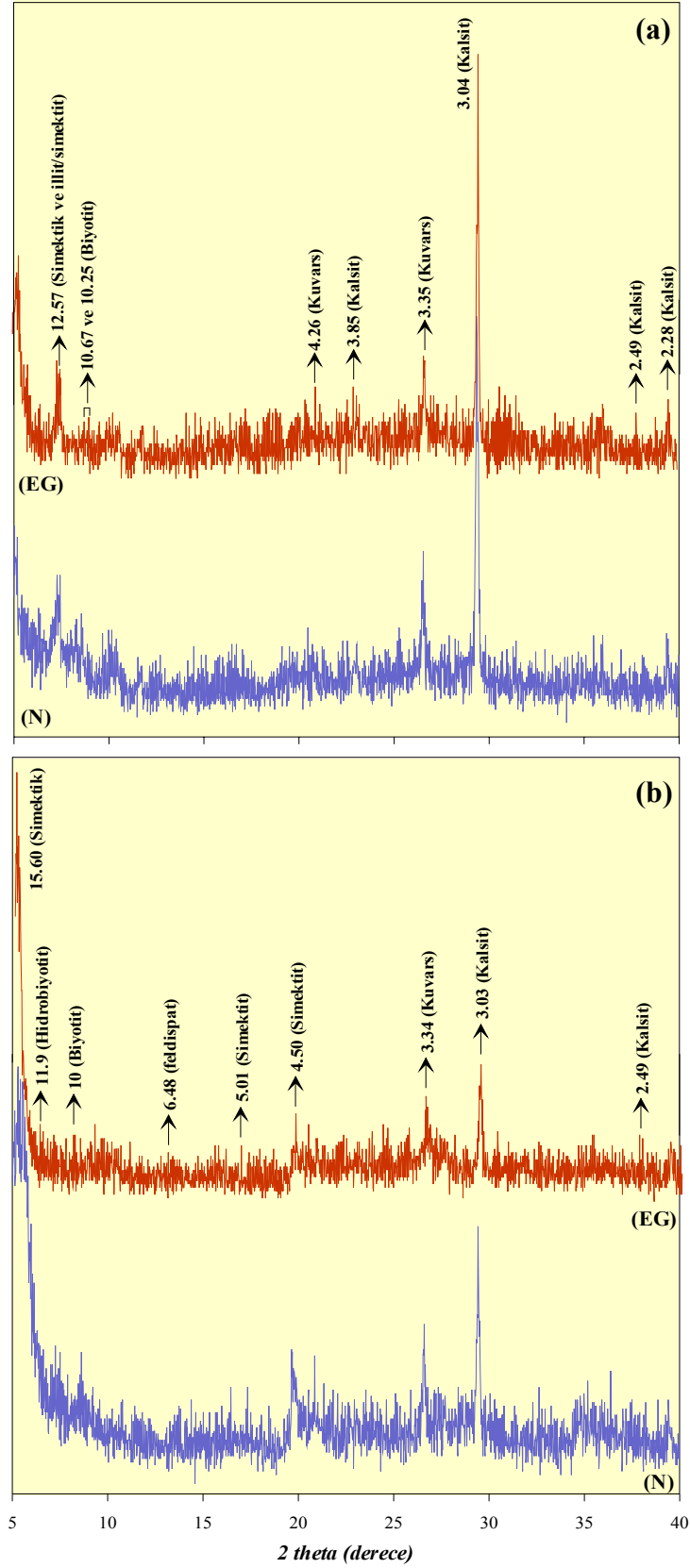
Kil fraksiyonundan hazırlanan yönlü lamellerin normal ve etilen glikolle doyurulmuş durumları için XRD çekimleri yapılmıştır. Buna göre yaygın mineral birlikteliği biyotit+hidrobiyotit+illit/simektit+simektit'tir. Örneklerin genelinde biyotite rastlanılmakta olup, biyotitin varlığı kayaçların oluşumu esnasında havzaya volkanojenik malzeme girdisini ifade eder.

Kil minerali olarak tüm sondajlarda rastlanılan en yaygın bileşen hidrobiyotittir (biyotit/vermikülit). Hidrobiyotite daha az oranda I/S (illit/simektit) karışık tabakalı kil minerali eşlik eder. Az oranda simektite ise hemen hemen tüm örneklerde rastlanılmıştır. S3 5-5.5 nolu örnekte ise diğer örneklerde farklı olarak simektit en bol bulunan kil mineralidir. Eşlik eden diğer mineraller ise hidrobiyotit ve biyotittir (Şekil 3.39).

Örneklerde rastlanılan simektit Ca-simektit olarak tanımlanmakta olup genel olarak 14-15.9 Å arasında (001) yansımalarını verirler. Ca-simektitlerde bazal yansılara 12.57-15.6 Å arasında değişmekte olup kristaliniteleri düşüktür. Normal XRD çekimlerinde Ca ve Ca-Na simektitlere ait (001), (002), (003), (004) ve (005) yansımaları tespit edilmiştir (Şekil 3.39).

Simektitler için yönlendirilmemiş toz örneklerden itibaren $d_{(060)}$ (ortalama 1.52 Å) yansımaları incelendiğinde simektitlerin dioktahedral karakterde (Wilson, 1987; Brown ve Brindley, 1980) olduğu belirlenmiştir.

Kil minerallerinin tüm kayaç içerisindeki oranı düşüktür. Dolayısıyla kayaçların mühendislik özelliklerinin değişiminde etkin olmayacakları düşünülmektedir.



Şekil 3.39. Önerilen düzenli depolama alanında yüzeylenme veren A1 jeoteknik birimine ait marn (a) ve silttaşlarının (b) simektitçe zengin kil fraksiyonu ve normal (N) ve etilen glükolle doyurulmuş (EG) yönlü XRD difraktogramları

3.7.2. Dayanım Özellikleri

Önerilen Düzyurt katı atık düzenli depolama alanında yüzeyleme veren kayaların tek eksenli sıkışma koşullarını ve nokta yük dayanımlarını belirlemek amacıyla ISRM (1981 ve 1985) standartlarına göre deneyler yapılmıştır. Deneyler hem sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen hem de laboratuvara getirilen blok örneklerden alınan karotlar üzerinde uygulanmıştır. Uygulamada Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı ve DSİ XXII Bölge Müdürlüğü, Kaya Mekaniği laboratuvarlarının imkanlarından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak kayaç örneklerinin tek eksenli sıkışma koşulları ve nokta yük dayanımı deney sonuçları Ek Tablo 8-13'de, kayaç örneklerinin dayanım özellikleri Tablo 3.17'de özetlenerek verilmiştir.

Hoek-Brown yenilme kriteri, kesme dayanımı eğrisel bir Mohr zarfı ile temsil edilen ampirik bir yöntemdir ve dayanım kriteri gevrek kayadaki kırığa ait Griffith çatlak teorisinden (Hoek, 1968) ve laboratuvar ile arazideki kaya kütlelerinin gözlenen davranışlarından türetilmiştir (Marsal, 1967; Brown, 1970; Jaeger, 1970). Bu nedenle çalışmada, kayaç malzemesi üzerinde yapılan dayanım test sonuçları, Hoek-Brown yenilme kriteri kullanılmak suretiyle kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesinde birer girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.17. Jeoteknik birimlere ait kayaç örneklerinin nokta yük dayanım indeksi ve tek eksenli sıkışma dayanımı

Jeoteknik Birimler	Örnek Tanımı	Nokta Yükü Dayanım İndeksi (MPa)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)
A1 Jeoteknik birimi	Marn	0.98	-
A2 Jeoteknik birimi	Kumlu kireçtaşı	2.43	56.43
	Kireçtaşı	-	-
B1 Jeoteknik birimi	Ayrışmamış	2.62	56.85
	Ayrışmış	1.62	36.83

3.8. Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri

3.8.1. Süreksizlik Özellikleri

Kaya mühendisliği uygulamalarında kaya kütlelerinin en önemli elemanları olan süreksizliklerin özelliklerinin, yönelimlerinin ve dağılımlarının belirlenmesi amacıyla çok sayıda yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntemlerden en yaygın olanı kaya kütlelerinin mühendislik açısından tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında kullanılan ve istatistiksel anlamda en anlamlı sonuçların alındığı hat etüdü yöntemidir.

Bu çalışmada, uygun mostralarda seçilen hatlar boyunca yapılan ölçümlerle, kaya malzemesi ve süreksizliklerin özellikleri, dolgu durumu, kaya kütlelerini tanımlayan özellikler ve yeraltı suyu durumu belirlenmiş, jeoteknik birimlerde gözlenen farklı süreksizlik zonları için ayrı nicel tanımlamalar yapılmış ve kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri ISRM (1978 ve 1981) tarafından önerilen standartlara göre incelenmiştir.

Geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bu hat etüdü yönteminin uygulamasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir:

- İlk olarak süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler genellikle tek hat üzerinde yapılmıştır.
- Mostranın seçiminde, süreksizliklerin en az % 50'sinin ucu görünecek şekilde olması ve en az 150 adet süreksizliğin ölçülebilmesi koşulu dikkate alınmıştır.
- Bazı durumlarda mostraların yer yer döküntüyle kapanmış olması nedeniyle daha kısa mesafeler boyunca çalışma zorunluluğu duyulmuştur.
- Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş noktaları ahşap kazıkla işaretlenmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizlikler ölçülmüş ve tanımlanmıştır.
- Ölçümler yapılırken uygulanan hatlar süreksizlik izlerine dik olarak seçilmiştir.

Bu tanımlamalar çerçevesinde, hat etüdü çalışmalarında ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlamalara bağlı kalınarak ilk olarak mevcut süreksizliklerin yönelimleri

belirlenmiş, daha sonra süreksizlik ara uzaklığı, açıklığı, devamlılığı, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı, süreksizlik yüzeylerindeki bozuşma, su ve dolgu durumu gibi özellikler incelenmiştir.

3.8.1.1. Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Setleri

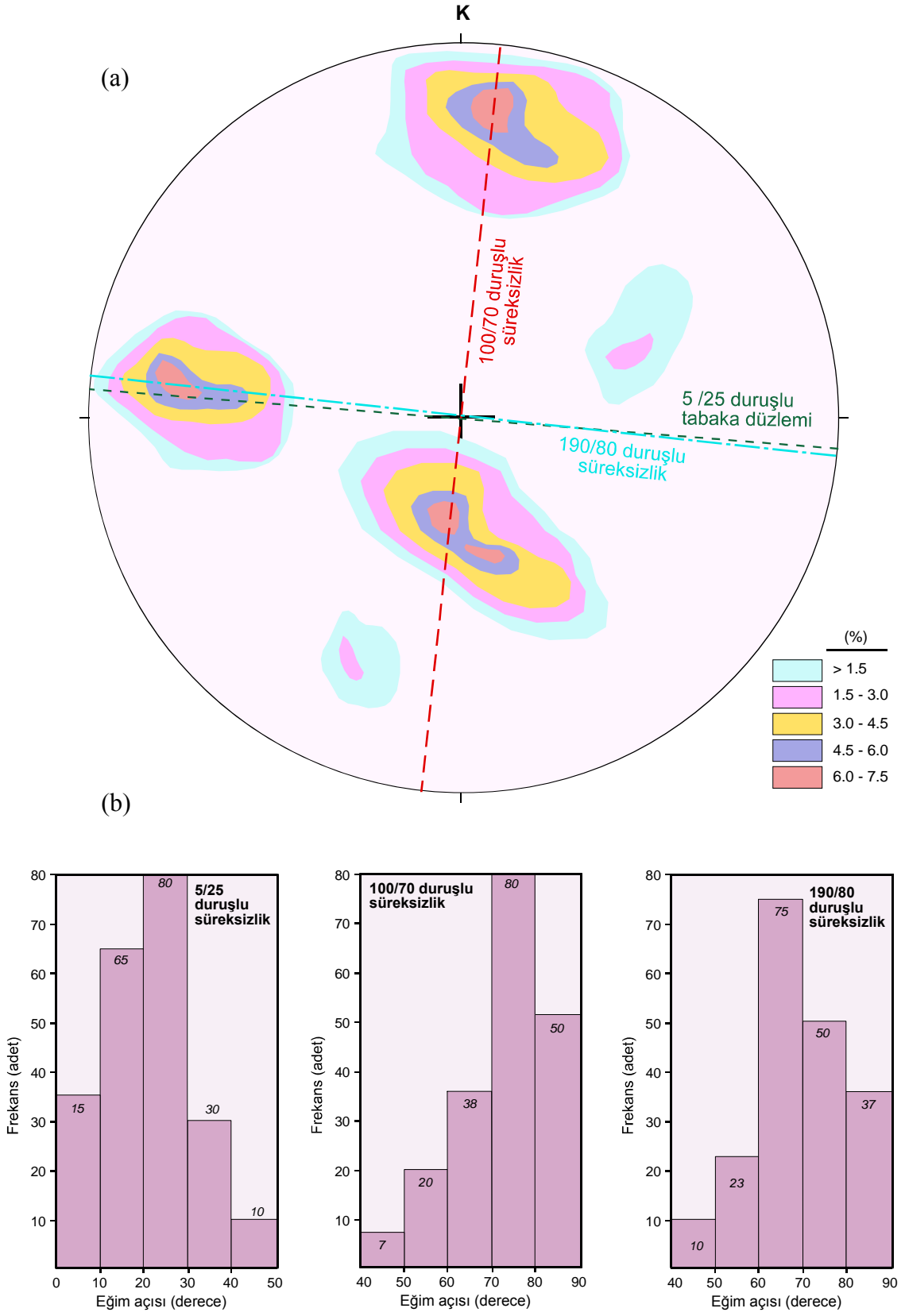
Yüzey veya yeraltında yapılan mühendislik amaçlı çalışmalarda kaya kütlelerinin fiziko-mekanik özelliklerinden çok süreksizlik sistemlerinin özellikleri ve davranışı önem taşır. Bu nedenle, mühendislik amaçlı kaya kütle sınıflamaları, laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerden ziyade arazideki kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden süreksizliklerin yönelimleri ve bu süreksizliklerin özelliklerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Goodman, 1989).

Bir süreksizliğin uzaysal yönelimi, yataydan ölçülen en büyük eğim açısı ve eğim yönünün gerçek kuzeyle saat ibresi dönüş yönünde yaptığı açı olarak tanımlanır. Bir mühendislik yapısına göre süreksizliklerin yönelimi, duraylılık koşullarını veya gelişen aşırı deformasyonları önemli ölçüde kontrol eder. Bunun yanında süreksizliklerin birbirine bağlı yönelimleri kaya kütlelerini oluşturan bireysel blokların şeklini belirlemektedir.

Yönelimleri hemen hemen aynı olan münferit süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa, süreksizlik seti veya süreksizlik takımı adı verilir.

Bu çalışmada, ilk aşamada ana süreksizlik setleri ve bu süreksizlik setlerinin yönelimleri belirlenmiş, süreksizliklerin özellikleri, farklı süreksizlik yüzeyleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada arazi gözlemleri sonucunda 3 ayrı süreksizlik takımı belirlenmiş ve bu süreksizliklere ait çatlak kontur diyagramları ve eğim açısı histogramları hazırlanmıştır (Şekil 3.40)

Şekil 3.40'ta görülen histogramların yorumlanması neticesinde, çalışma alanında yüzeylenme veren ve genel olarak kireçtaşı, silttaşı, kumtaşı, marn ve tuf aralanmasından oluşan kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden üç ayrı süreksizlik takımının olduğu belirlenmiştir. Bunlar tabaka düzlemlerinin oluşturduğu K85B/25KD (5/25) duruşlu ve çatlakların oluşturduğu K10D/70GD (100/70) ve K80B/80GB (190/80) duruşlu süreksizlik setleridir. Çalışma alanında devamlılığı en yüksek olan 5/25 duruşlu tabaka düzlemleri en önemli süreksizlik setini oluşturmaktadır.



Şekil 3.40. Çatlak kontur diyagramı (a) (alt yarı küre) ve eğim açısı histogramları (b)

3.8.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Kaya kütlelerinde görülen blokların boyutu ve meydana gelebilecek yenilmelerin türü, birbirine komşu süreksizlikler arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanan süreksizlik ara uzaklığı ile kontrol edilir. Bu nedenle, bu çalışmada her bir jeoteknik birim için süreksizlik ara uzaklıkları ölçülmüş ve tanımlamada ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır.

Jeoteknik birimler için farklı süreksizliklere ait süreksizlik ara uzaklığı değerleri, ara uzaklık dağılımlarıyla ilişkili olarak, 5/25 duruşlu süreksizlik takımı için 0.1, 100/70 duruşlu süreksizlik takımı için 0.2 ve 190/80 duruşlu süreksizlik takımı için 0.3 metre aralıklarla gruplandırılarak frekansları hesaplanmıştır.

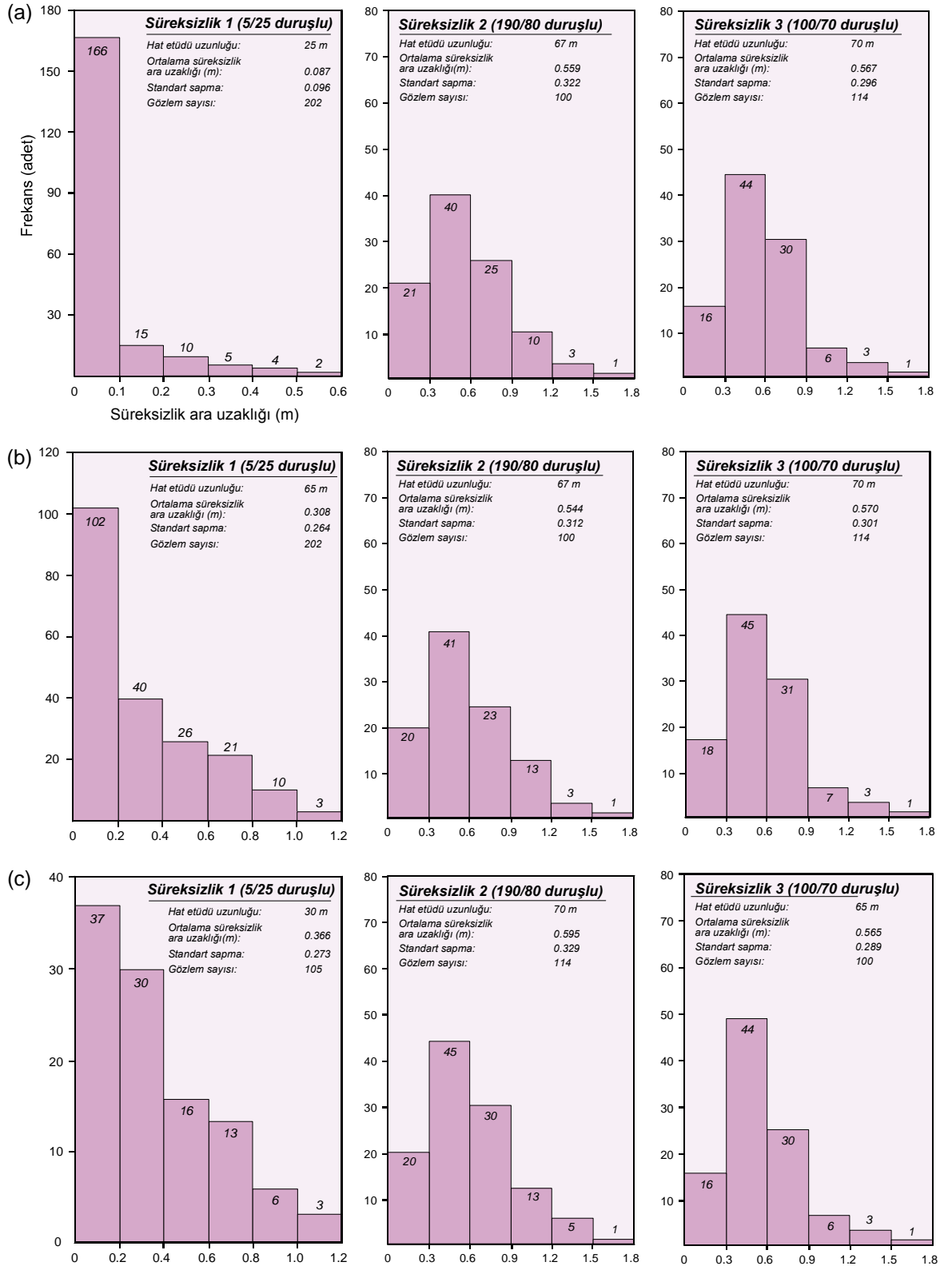
Şekil 3.42’de istatistiksel dağılım modellerinden yararlanılarak hazırlanan süreksizlik ara uzaklığı parametresine ilişkin dağılımlar, Tablo 3.18’de ise jeoteknik birimlere ait süreksizlik ara uzaklığı değerleri görülmektedir. Histogramlar incelendiğinde süreksizlik ara uzaklığı dağılımlarının istatistiksel dağılım modellerinden negatif eksponansiyel dağılıma uyduğunu görülmektedir. Histogramlardan da görüldüğü gibi tüm jeoteknik birimlerde görülen en önemli süreksizlik yüzeyi, tabakaların oluşturduğu K85B/25KD (5/25) duruşlu düzlemlerdir.

A1 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri, 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyleri 0.087 m, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.559, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için ise 0.567 m olarak hesaplanmıştır.

A2 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri, 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyleri 0.308 m, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.544, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için ise 0.570 m olarak hesaplanmıştır.

B1 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri, 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyleri 0.366 m, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.595, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için ise 0.565 m olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.18’de görüldüğü gibi ISRM (1981) tarafından yapılan tanımlama ölçütlerine sadece A1 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu tabaka düzlemleri yakın ara uzaklıklı, tüm jeoteknik birimler için 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizlikler orta derecede ara uzaklıklı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.41. Jeoteknik birimler için süreksizlik ara uzaklığı histogramları; (a) A1 jeoteknik birimi, (b) A2 jeoteknik birimi, (c) B1 jeoteknik birimi

Tablo 3.18. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		A1 jeoteknik birimi			A2 jeoteknik birimi			B1 jeoteknik birimi		
		5/15	190/80	100/70	5/15	190/80	100/70	5/15	190/80	100/70
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	Tanımlama	Süreksizlik ara uzaklığı frekans değerleri (%)								
< 0.02	Çok dar ara uzaklıklı	12	-	-	-	-	-	-	-	-
0.02-0.06	Dar ara uzaklıklı	13	6	4	18	2	3	10	2	4
0.06-0.2	Yakın ara uzaklıklı	65	10	6	32	7	5	25	10	6
0.2-0.6	Orta derecede ara uzaklıklı	10	45	50	33	51	55	44	48	50
0.6-2	Geniş ara uzaklıklı	-	39	40	17	40	42	21	40	40
2-6	Çok geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 6	İleri derecede geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama süreksizlik ara uzaklığı (m)		0.087	0.559	0.567	0.308	0.544	0.570	0.366	0.595	0.565
Tanımlama ölçütleri		Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı

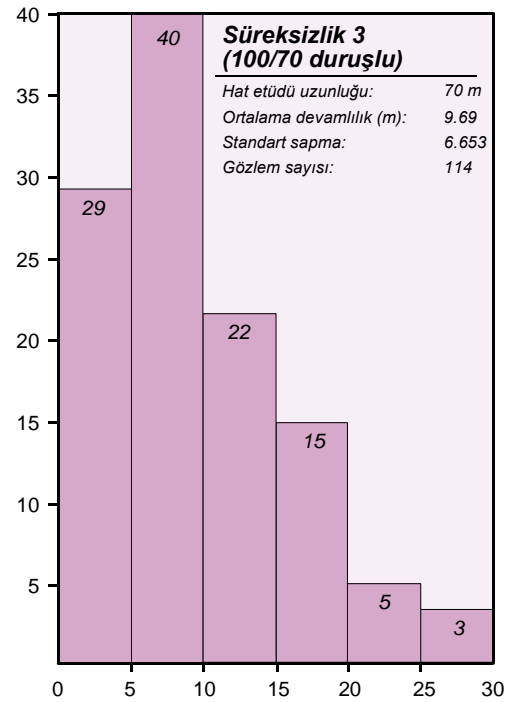
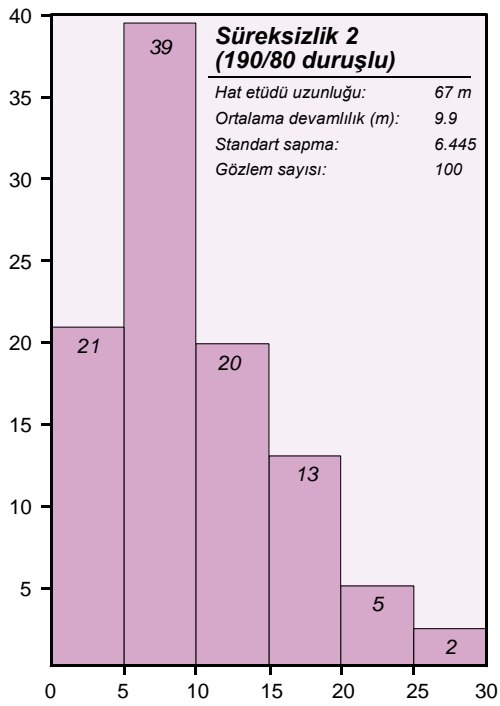
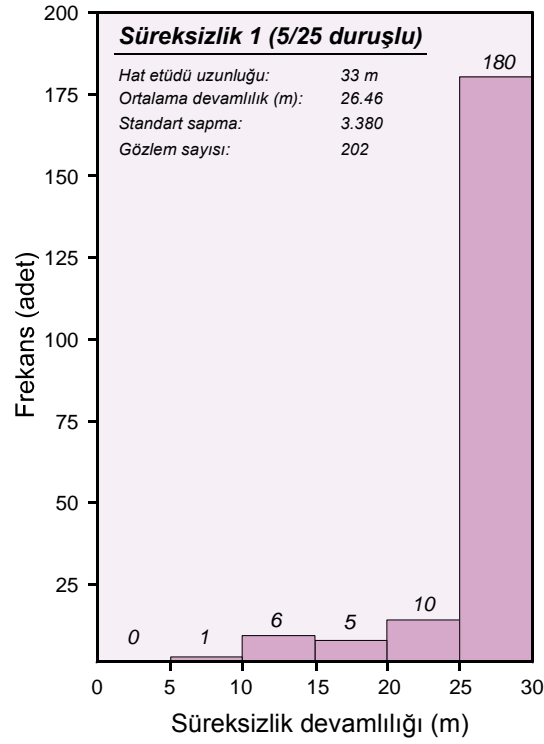
3.8.1.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

Bir düzlem içindeki süreksizliklerin alansal yayılımına veya boyutuna işaret eden devamlılık parametresi, yüzey mostralarında süreksizlik iz uzunluklarının gözlenmesi suretiyle nicelleştirilebilir. Kaya mostraları çoğu zaman devamlı süreksizliklerin uzunluğuna veya alanına kıyasla küçük olup, gerçek devamlılık sadece tahmin edilebilir ve bunların bir kaya kütlesi içinde belirli bir düzlemdeki devamlılığı olasılık teorileri kullanılarak hesaplanır.

Bu çalışmada devamlılık parametresi, ISRM (1981)'deki tanımlamalar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Devamlılık parametresi, tüm jeoteknik birimler için ortak hesaplanmış ve her süreksizlik takımı için farklı değerlendirilmiştir (Şekil 3.42). Devamlılık parametresi ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılarak nicelleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.19'da özetlenmiştir. Şekil 3.42'deki histogramlardan da görüldüğü gibi, süreksizlik ara uzaklığının yorumlanmasına yönelik yapılan istatistiksel değerlendirmelerin tersine, devamlılık parametresine ait verilerin tek bir dağılım modeline uymadığı ortaya çıkmıştır. Tabaka düzlemlerinin oluşturduğu 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyleri şevlerle sınırlı iken 190/80 ve 100/70 duruşlu diğer süreksizlikler için bu değer 10 metreyi geçmemektedir. Buradan, 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyinin yüksek devamlılıkta, diğer süreksizlik yüzeylerinin ise orta derecede devamlılıkta olduğu görülmektedir.

Tablo 3.19. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Süreksizlik Setleri		
		5/25	190/80	100/70
Süreksizlik izinin uzunluğu (m)	Tanımlama	Süreksizlik devamlılığı frekans değerleri (%)		
< 1	Çok düşük devamlı	-	3	5
1-3	Düşük derecede devamlı	-	8	6
3-10	Orta derecede devamlı	0.5	49	50
10-20	Yüksek devamlı	5.5	33	32
> 20	Çok yüksek devamlı	94	7	7
Ortalama süreksizlik devamlılığı (m)		26.46	9.9	9.69
Tanımlama ölçütleri		Çok yüksek devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı



Şekil 3.42. Jeoteknik birimler için süreksizlik devamlılığı histogramları

3.8.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallığı

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte, dalgallık ise büyük ölçekte düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsü olarak tanımlanır (Ulusay ve Sönmez, 2002). Her iki özellikte süreksizlik yüzeylerindeki makaslama dayanımının önemli bir bileşenidir.

Pürüzlülük profillerinin çıkarılmasının amacı, kesme dayanımının ve hacimsel genişlemenin hesaplanması veya tahmin edilmesidir. Pürüzlülük profillerini yorumlama konusunda mevcut yöntemler, düzensizliklerin eğiminin ölçülmesi veya yüzeyin Eklem Pürüzlülük Katsayısının (JRC) hesaplanması şeklindedir.

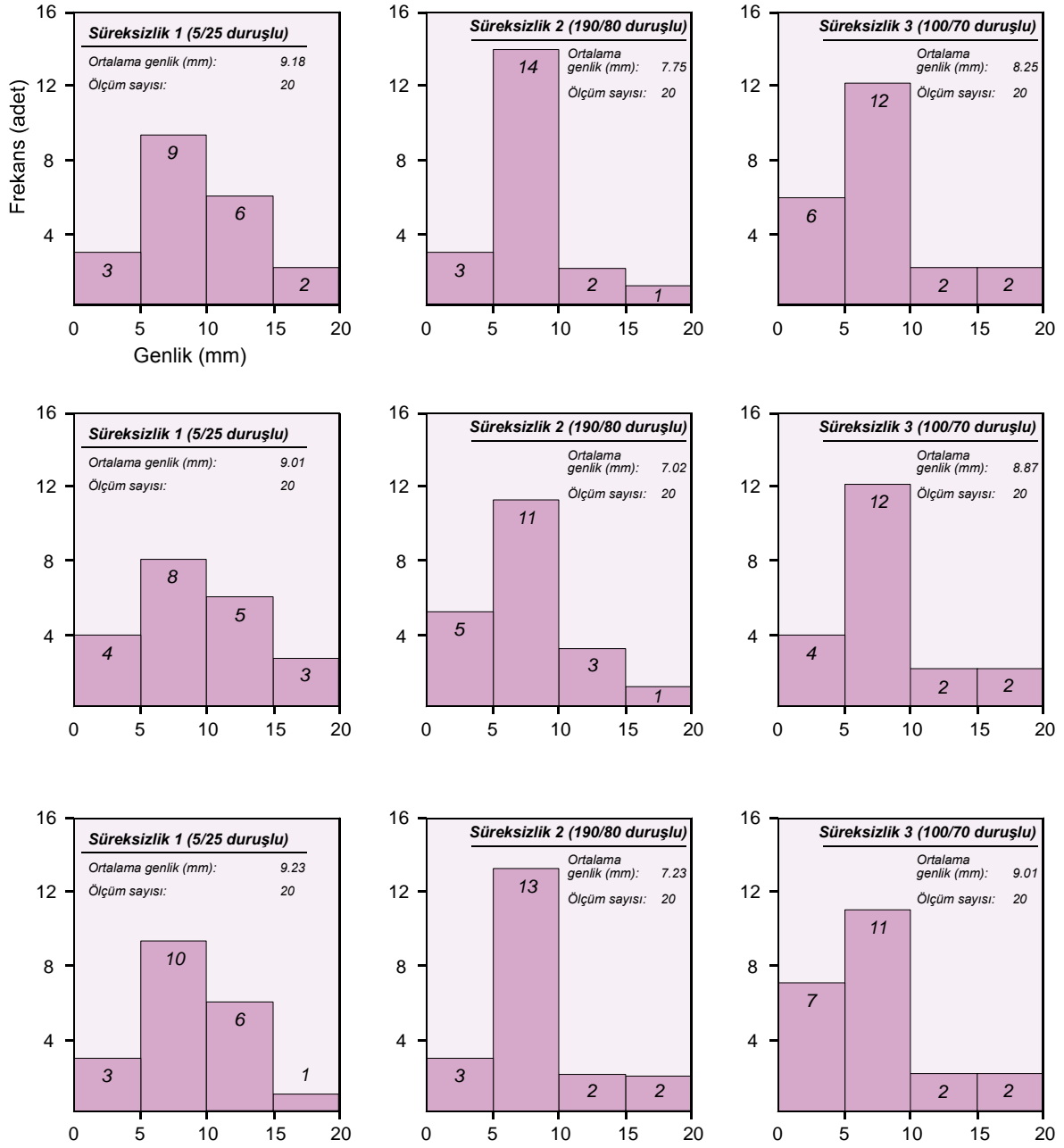
Bu çalışmada pürüzlülük ve dalgallık parametrelerinin tayininde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler uygulanmıştır.

Jeoteknik birimlerde gözlenen farklı süreksizlik yüzeyleri için ISRM (1981a)'ya göre belirlenen JRC, ortalama dalgallık değerleri ve açıları Tablo 3.20'de verilmiştir.

Saha çalışmaları sırasında farklı süreksizlik yüzeylerinde ölçülmüş olan pürüzlülük profilleri bilgisayar ortamında sayısallaştırılarak ISRM (1981) tarafından önerilen standart pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada süreksizlik yüzey profillerinin değerlendirilmesi amacıyla ayrıca büyük ölçekte dalgallığın dalga boyu ve genlik parametreleri de ölçülmüştür. Dalgallık ve genlik parametrelerinin ölçümünde, 1 metre uzunluğunda bir cetvel, süreksizlik yüzeyinin ortalama eğim yönünde olacak şekilde, yüzeylere dayanmış ve yüzeyin cetvele olan en uzak mesafesi ölçülmüştür (Tablo 3.20). Süreksizlik yüzeyleri boyunca değişik noktalarda tekrarlanan genlik ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden Şekil 3.43'te görülen histogramlar çizilmiştir.

Tablo 3.20. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik yüzeylerine ait dalgallık ve ortalama JRC değerleri

Jeoteknik birimler	Süreksizlik doğrultu ve eğimi	Ortalama JRC değeri	Ortalama genlik (mm)			Ortalama dalgallık açısı
			Minumum	Maksimum	Ortalama	
A1	5/15	16-18	1.97	18.95	9.18	3.9
	190/80	8-10	1.23	19.60	7.75	2.6
	100/70	8-10	1.65	17.55	8.25	3.4
A2	5/15	16-18	1.94	18.21	9.01	3.8
	190/80	8-10	1.12	17.80	7.02	2.5
	100/70	8-10	1.60	16.25	8.87	3.1
B1	5/15	18-20	1.98	17.70	9.23	4.1
	190/80	8-10	1.19	18.00	7.23	2.5
	100/70	8-10	1.87	16.02	9.01	3.8



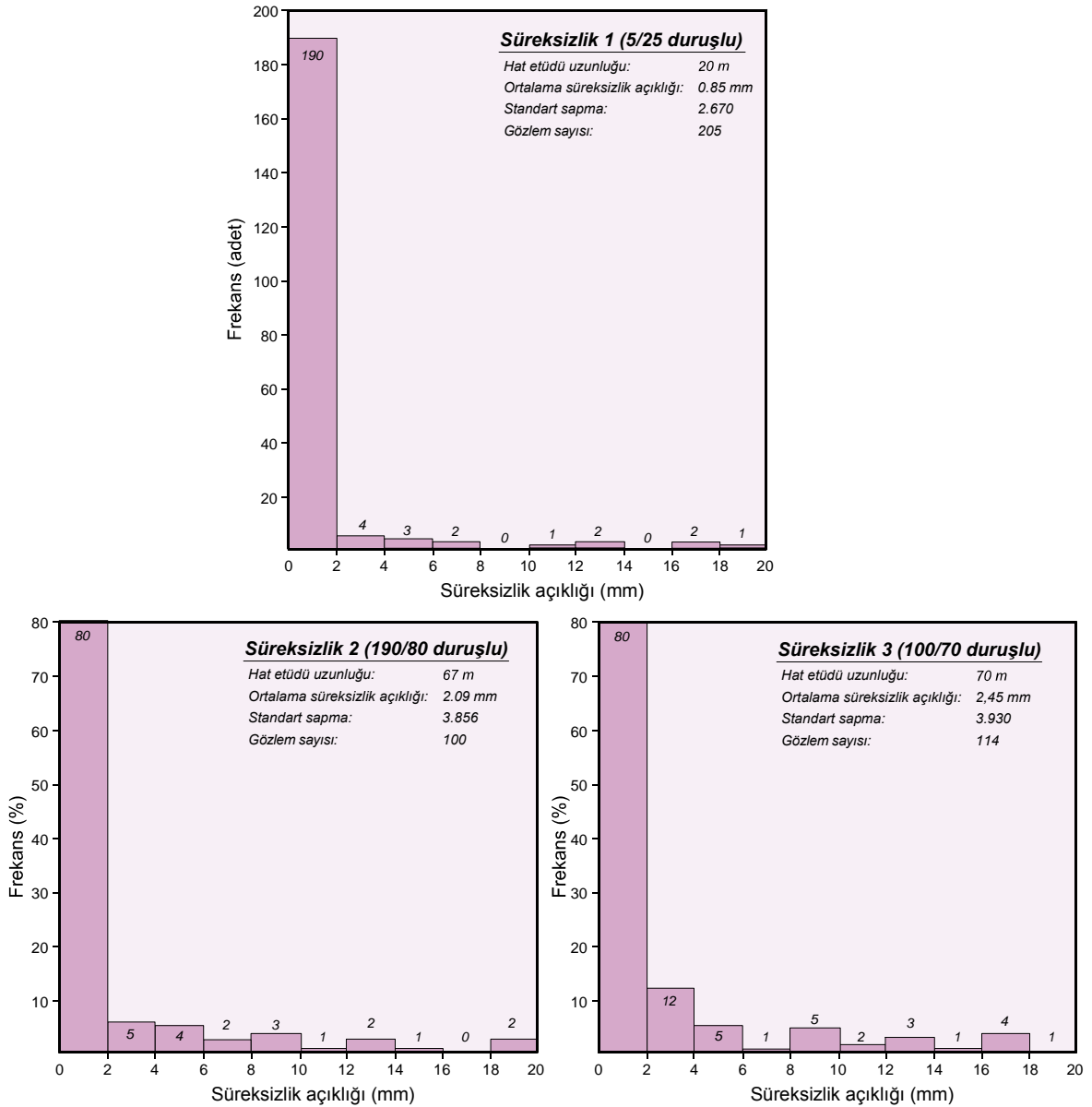
Şekil 3.43. Jeoteknik birim A1, A2 ve B-2'deki farklı süreksizlik yüzeylerine ait genlik parametresi histogramları

Şekil 3.43'teki histogramlardan anlaşılacağı gibi genlik parametresi verileri normal dağılıma uymaktadır.

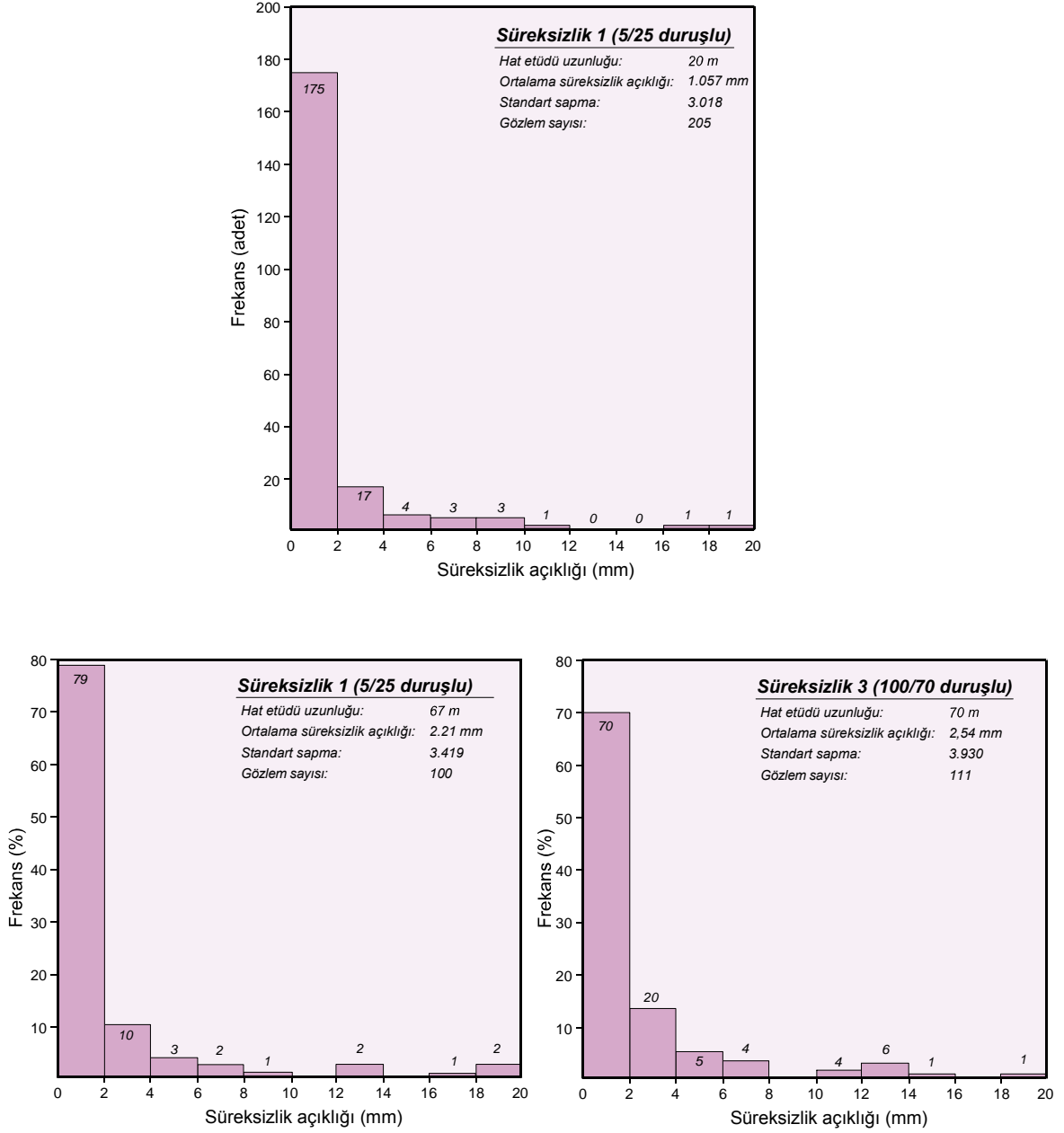
3.8.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Açıklık, hava, su veya ayrılmış materyalle dolu olan açık bir süreksizliğin bitişik yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanabilir (Wyllie and Mah, 2004).

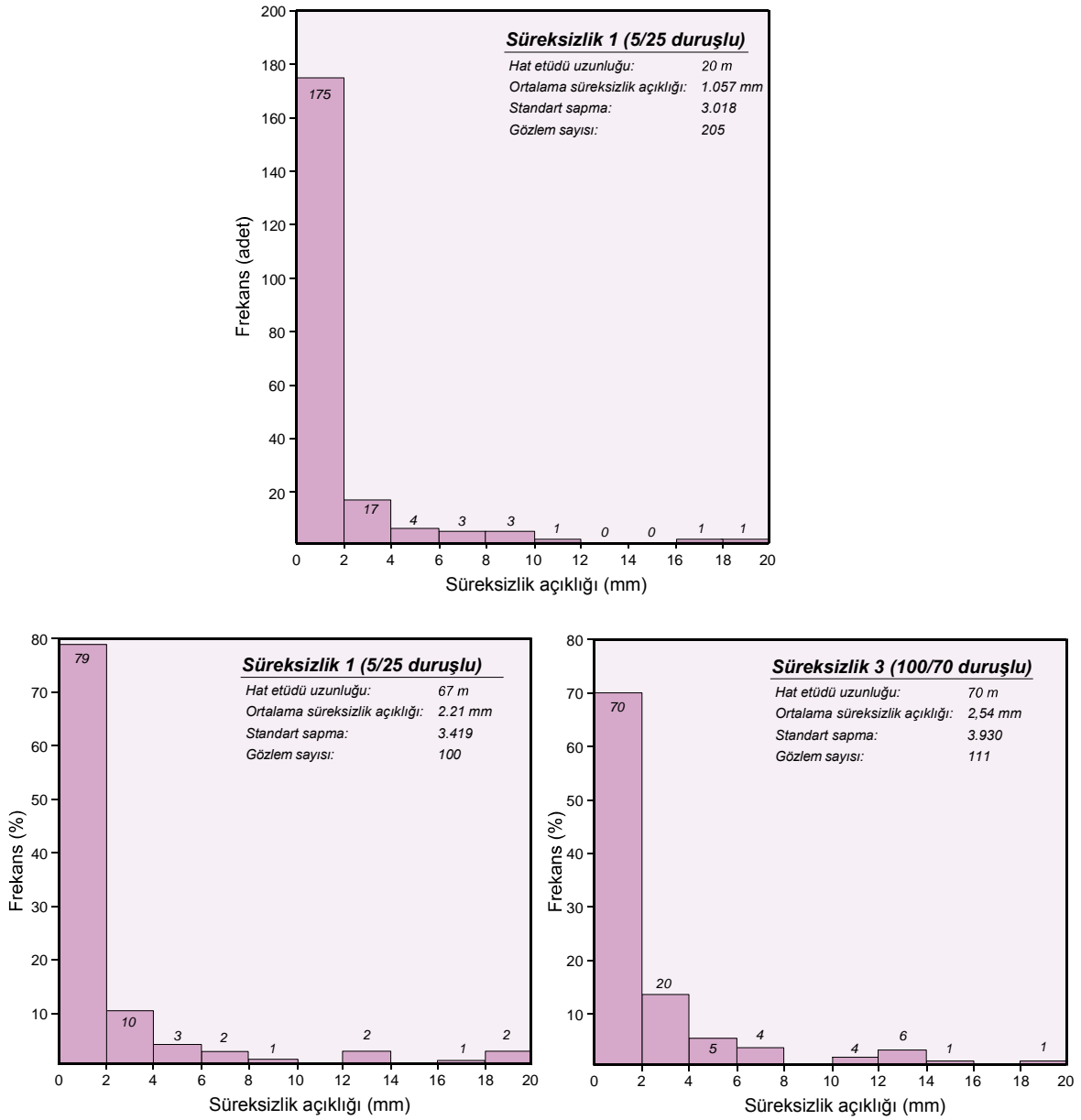
Bu çalışmada süreksizlik açıklığı değerleri mikrometre ile ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak her bir jeoteknik birim için histogramlar çizilmiştir (Şekil 3.44, 3.45 ve 3.46).



Şekil 3.44. A1 jeoteknik birimindeki süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar



Şekil 3.45. A2 jeoteknik birimindeki süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar



Şekil 3.46. B1 jeoteknik birimindeki süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar

Şekil 3.44, 3.45 ve 3.46'daki histogramlardan da görüldüğü gibi tüm jeoteknik birimler için süreksizlik açıklığı parametresi negatif eksponansiyel dağılıma uyumluluk göstermektedir. B-2 jeoteknik birimindeki 100/70 duruşlu süreksizlikler ISRM (1981) standartlarına göre orta derecede açık süreksizlik sınıfına, diğer tüm süreksizlikler ise açık süreksizlik sınıfına girmektedir. Tablo 3.21'de jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi görülmektedir.

Tablo 3.21. Jeoteknik birimlerdeki farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		A1 jeoteknik birimi			A2 jeoteknik birimi			B1 jeoteknik birimi		
		5/15	190/80	100/70	5/15	190/80	100/70	5/15	190/80	100/70
Süreksizlik açıklığı (mm)	Tanımlama	Süreksizlik açıklığı frekans değerleri (%)								
< 0.1	Çok sıkı	40	30	30	38	35	26	39	30	23
0.1-0.25	Sıkı	24	21	14	24	25	23	22	20	16
0.25-0.5	Kısmen açık	23	9	9	21	10	10	20	12	8
0.5-2.5	Açık	6	23	23	8	10	17	7	22	25
2.5-10	Orta derecede geniş	4	11	14	6	15	13	10	11	17
> 10	Geniş	3	6	10	3	5	11	2	5	11
Ortalama süreksizlik açıklığı (mm)		0.85	2.09	2.45	0.99	2.12	2.34	1.06	2.21	2.54
Tanımlama ölçütleri		Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Orta derecede açık

3.8.1.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Bozuşma suyun süreksizliklerdeki hareketinden dolayı, süreksizlik yüzeylerinde kayanın iç kısımlarına oranla daha belirgindir. Süreksizlik yüzeylerindeki kaya dayanımı kaya bloklarının iç kesimlerine oranla daha az olduğu için hem kaya malzemesi, hem de kaya kütlesi için bozuşma durumunun tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla ISRM (1981) tarafından, arazi çalışması sırasında kullanılacak bozunma ve dayanım sınıflaması ölçütleri geliştirilmiştir.

Bu ölçütlerden yararlanarak arazi gözlemleri neticesinde A1 ve B1 jeoteknik biriminin “bozunmamış-az bozunmuş”, A2 jeoteknik biriminin “az bozunmuş-orta derecede bozunmuş” kayaç sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra jeoteknik birimlerde tabakaların kontrol ettiği süreksizlik yüzeyinin “zayıf-orta derecede sağlam” kayaç sınıfında, diğer süreksizlik yüzeylerinin “orta derecede sağlam-sağlam kayaç” sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu sınıflamalar tamamen arazi gözlemlerine dayalı olduklarından bazı durumlarda öznel değerlendirmelerden kaynaklanan hatalar olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada bozunma derecesi ve dayanım parametrelerinin tayini için Schmith çekici geri tepme sayısından yararlanılmıştır. Schmith sertlik değerleri bulunurken Chauvenet ölçütünden yararlanılmış, ölçüm yapılırken düşeyden farklı bir açıyla yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre düzeltilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında ayrı jeoteknik birimlere ait farklı süreksizlik yüzeylerin bozunma indeksi değerleri (W_c) Tablo 3.22’de verilmiştir. Tablo 3.22’de görüldüğü gibi farklı jeoteknik birimlerde ana süreksizlik yüzeyini oluşturan tabaka düzlemleri, Gökçeoğlu (1997) tarafından belirtilen sınıflama sistemine göre orta derecede bozunmuş, diğer süreksizlik yüzeyleri ise az bozunmuş kaya sınıfına girmektedir.

Tablo 3.22. Jeoteknik birimlere ait farklı süreksizlik yüzeylerin bozunma indeksi değerleri

Jeoteknik birimler	Süreksizlik doğrultu ve eğimi	Ortalama R_f değeri	Ortalama R_w değeri	W_c (R_f / R_w)	Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997’ye göre)
A1	5/15	31	19	1.63	Orta derecede bozunmuş
	190/80	37	28	1.32	Az bozunmuş
	100/70	43	29	1.48	Az bozunmuş
A2	5/15	32	21	1.52	Orta derecede bozunmuş
	190/80	36	28	1.29	Az bozunmuş
	100/70	45	31	1.45	Az bozunmuş
B1	5/15	31	20	1.55	Orta derecede bozunmuş
	190/80	37	29	1.27	Az bozunmuş
	100/70	42	29	1.45	Az bozunmuş

3.8.1.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Kaya kütlelerindeki su sızması, başlıca su ileten süreksizliklerdeki ikincil hidrolik iletkenlikten ileri gelir. Sızma hızı yerel hidrolik iletkenlikle orantılı olup, yönsel iletkenlikle ilişkilidir. Kaya kütlelerinde veya yüzey mostralalarında açığa çıkan süreksizlik yüzeylerinde meydana gelen sızma ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlayıcı kriterlere göre değerlendirilebilir.

Bu çalışmada ise sondajlardan, sondaj yapılamayan alanlarda ise uygulanan hat etütlerinden yararlanılarak ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlamalar kullanılmıştır.

Arazi gözlemleri ve sondaj çalışmaları sırasında gerek kaya kütlelerinde gerek süreksizlik yüzeylerinde su sızıntılarına rastlanmamıştır. Bu yüzden hem kaya kütlesi hem de süreksizlik yüzeyleri, ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sızıntı sınıflaması açısından "1" (kuru ve sızıntı yok) sınıfına girmektedir.

3.8.1.8. Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı

Blok boyutu, kaya kütlelerinin davranışının önemli bir göstergesi olup, süreksizlik aralığı, set sayısı ve yönelimi gibi faktörlere bağlı gelişen blokların şeklini tayin eder. Blok boyutu, arazide gözlemlenen tipik blokların ortalama boyutuyla (blok boyutu indeksi, I_b) veya birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplam sayısı (hacimsel eklem sayısı, J_w) tanımlanır. Blok boyutu indeksi (I_b), süreksizlik sıklığının hacimsel olarak ifadesidir ve kaya kütle kalitesini gösteren en önemli göstergelerden biridir (Palström, 1982, 1985 ve 1996; Cai vd., 2004).

Bu çalışmada blok boyutu parametresi, ISRM (1981) ve Palström (1982 ve 1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflanmış ve buna göre hacimsel eklem sayısı hesaplanmıştır (Tablo 3.23).

Tablo 3.23. Jeoteknik birimler için blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri

Jeoteknik birimler	Hacimsel eklem sayısı (J_v)	Tanımlama (ISRM, 1981)	Tanımlama (Palmstrom, 1996'ya göre)
A1	13.963	Küçük bloklar	Yüksek J_v ve çok eklemli
A2	6.839	Orta büyüklükte bloklar	Orta derece düşük J_v ve orta derecede eklemli
B1	6.183	Orta büyüklükte bloklar	Orta derece düşük J_v ve orta derecede eklemli

3.8.1.9. Kaya Kalite Göstergesi (% RQD)

Jeoteknik loglamalarda % RQD ve eklem sıklığı gibi parametreler, özellikle şeyl, marn ve kıltaşı gibi zayıf ve kil içeren kayalarda zaman ve su içeriği gibi faktörlerden etkilenir. Loglama işleminin karotların alınmasından uzun bir süre sonra yapılması halinde, bu tür kayalarda karotların dağılması ve diskler şeklinde bölünmesi hatalı değerlendirmelere neden olabilmektedir (Russel, 1982; Dick vd., 1994; Gökçeoğlu vd., 2000).

İnceleme alanında kaya türlerinin belli zonlarda oldukça zayıf olması, karot alınırken gerek uygulanan sondaj tekniğine ve kalitesine, gerekse kaya kütlelerinin özelliklerine bağlı olarak karot kayıplarının artmasında önemli düzeyde rol oynamaktadır. Ayrıca sondaj çalışmaları sırasında, ortama su enjekte edilmesi bu zon ve daha alt zonlarda bulunan zayıf kayaların dağılmasına, süreksizlik yüzeyleri arasındaki dolguların yıkanmasına ve pürüzlülüklerin bir ölçüde tahrip olmasına yol açmaktadır. Bu durum, karotlardan yönelim parametresinin ölçülememesi ve süreksizliklerin iki duvarı arasındaki açıklığın miktarının sağlıklı şekilde belirlenememesine yol açabilmektedir. Bu durum RMR parametresinin gerçeğe yakın şekilde belirlenmesinde de sorun yaratmaktadır. Hat etüdüleri sırasında ölçülen % RQD değerlerinin kullanılması gerçeğe yakın bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlayacağı için, bu çalışmada arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak % RQD değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.24).

Tablo 3.25’de, jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin özellikleri özet olarak sunulmuş ve bu değerler literatürdeki tanımlama ölçütlerine (ISRM, 1981; Gökçeoğlu, 1997; Palmstrom, 1996) göre değerlendirilmiştir.

Tablo 3.24. Jeoteknik birimler için sondaj verileri ve arazi ölçümleriyle hesaplanan RQD değerleri

Veri kaynağı	Jeoteknik birim	RQD (kaya kalite göstergesi, %)			Sınıflama (Deere, 1964’e göre)
		En düşük	En yüksek	Ortalama	
Hat etüdüleri	A1	55	70	68	Orta
	A2	90	96	95	Çok iyi
	B1	96	98	97	Çok iyi

Tablo 3.25. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin özellikleri ve bu değerlerin literatürdeki tanımlama ölçütlerine (ISRM, 1981; Gökçeoğlu, 1997; Palmstrom, 1996) göre değerlendirilmesi

Süreksizlik Özelliği	Süreksizlik Takımları	A Litolojik birimi					B Litolojik birimi			
		A1 Jeoteknik birimi			A2 Jeoteknik birimi			B1 Jeoteknik birimi		
		5/25	190/80	100/70	5/25	190/80	100/70	5/25	190/80	100/70
1. Süreksizlik ara uzaklığı (m)		0.087	0.559	0.567	0.308	0.544	0.570	0.366	0.595	0.565
Tanımlama (ISRM, 1981)	Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı
2. Süreksizlik devamlılığı (m)		26.46			9.9			9.69		
Tanımlama (ISRM, 1981)		Çok yüksek			Orta derecede			Orta derecede		
3. Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)		16-18	8-10	8-10	16-18	8-10	8-10	18-20	8-10	8-10
Tanımlama (ISRM, 1981)	Pürüzlü basamaklı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü basamaklı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü basamaklı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı
4. Süreksizlik dalgalılığı açısı		3.9	2.6	3.4	3.8	2.5	3.1	4.1	2.5	3.8
5. Süreksizlik açıklığı (mm)		0.85	2.09	2.45	0.99	2.12	2.34	1.06	2.21	2.54
Tanımlama (ISRM, 1981)	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Orta derecede
6. Süreksizlik yüzeylerinin dayanımı (Wc)		1.63	1.32	1.48	1.52	1.29	1.45	1.55	1.27	1.45
Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997)	Orta derecede	Az	Az	Orta derecede	Az	Az	Orta derecede	Az	Az	Az
7. Su durumu (ISRM, 1981)		Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru
8. Hacimsel eklem sayısı		13.963			6.839			6.183		
Tanımlama (Palmstrom, 1996)		Çok eklemli			Orta derecede eklemli			Orta derecede eklemli		

3.8.2. Kaya Kütlesinin Dayanım Özellikleri

Kayaçlar küçük ölçekte dikkate alındıklarında kayaç malzemesi önem kazanırken, ölçek büyüdükçe sağlam kayaç malzemesinden eklemli kayaç kütesine geçiş söz konusudur. Bu nedenle çok sayıda süreksizlik içeren kaya kütlelerinin davranışını kayaç malzemesi ile birlikte süreksizlikler denetler. Bu nedenle, çatlaklı kaya kütesinin dayanımını belirlemek amacıyla Hoek ve Brown (1980a ve b) tarafından ampirik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde kesme dayanımı eğrisel bir Mohr zarfı ile temsil edilmektedir. Bu dayanım kriteri gevrek kayadaki kırığa ait Griffith çatlak teorisinden (Hoek, 1968) ve laboratuvar ile arazideki kaya kütlelerinin gözlenen davranışlarından türetilmiştir (Marsal, 1967; Brown, 1970; Jaeger, 1970).

Hoek ve Brown, bu yenilme kriterini sağlam kayadaki yer altı açıklıklarının tasarımı için gerekli analizlerde kullanılmak üzere girdi verilerini sağlamak amacıyla ortaya atmışlardır. Kriterde kırıksız kaya malzemesinin özelliklerinden başlayarak, kaya kütesindeki süreksizliklerin özelliklerine dayalı olarak bu özellikleri azaltmak amacıyla çeşitli faktörler önermişlerdir. Yazarlar, mevcut kaya kütesi sınıflama sistemlerinden birini kullanarak ampirik kriteri jeolojik gözlemlerle bağdaştırmayı denemişler ve bu amaç için Bieniawski (1976) tarafından geliştirilen Kaya Kütesi Puanlamasını (RMR) seçmişlerdir.

Uygun alternatiflerin bulunmayışından dolayı, kriter kısa zamanda kaya mekaniği çalışmalarında benimsenmiş ve kriterin kullanımı, dayanım azaltma ilişkilerini elde etmede kullanılan orijinal sınırların dışına taşmıştır. Bu nedenle bu ilişkileri tekrar inceleme gereği ortaya çıkmış, kriterin uygulandığı pratik problemlerin geniş aralığı düşünülerek, kriter zamanla yeni elemanlar eklenmiştir (Hoek vd., 2002).

Kriterdeki değişimlere ek olarak, yenilme kriterini arazideki jeolojik gözlemlerle ilişkilendirmede, özellikle çok zayıf kayalar olmak üzere, Bieniawski'nin önerdiği RMR'nin artık yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durum Jeolojik Dayanım İndeksi'nin (GSI) ortaya çıkmasına yol açmıştır (Hoek vd., 1992; Hoek, 1994, Hoek vd., 1995). Bu indeks daha sonra yapılan bir dizi çalışmada (Hoek vd., 1998; Sönmez ve Ulusay, 1999; Hoek, 2000 ve 2001; Hoek vd., 1998) zayıf kaya kütlelerine uygulanmak üzere değiştirilmiştir.

Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen bir yaklaşımla, ISRM (1981) tarafından önerilen aralıklara uygun olarak tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v) değerleri

kullanılarak belirlenen Yapısal Özellik Puanı'nı GSI sistemine uyarlanmıştır. Modifiye edilmiş GSI sistemi Şekil 3.47'de verilmiştir.

En büyük ve en küçük asal gerilmeler cinsinden ifade edilen genelleştirilmiş Hoek-Brown dayanım kriteri Eşitlik 3.5'te verilmiştir (Hoek, 1994).

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (3.5)$$

Burada m_b : kırılıksız kaya için malzeme sabiti olan m_i 'nin aşağıdaki gibi ifade edilen azaltılmış değeridir.

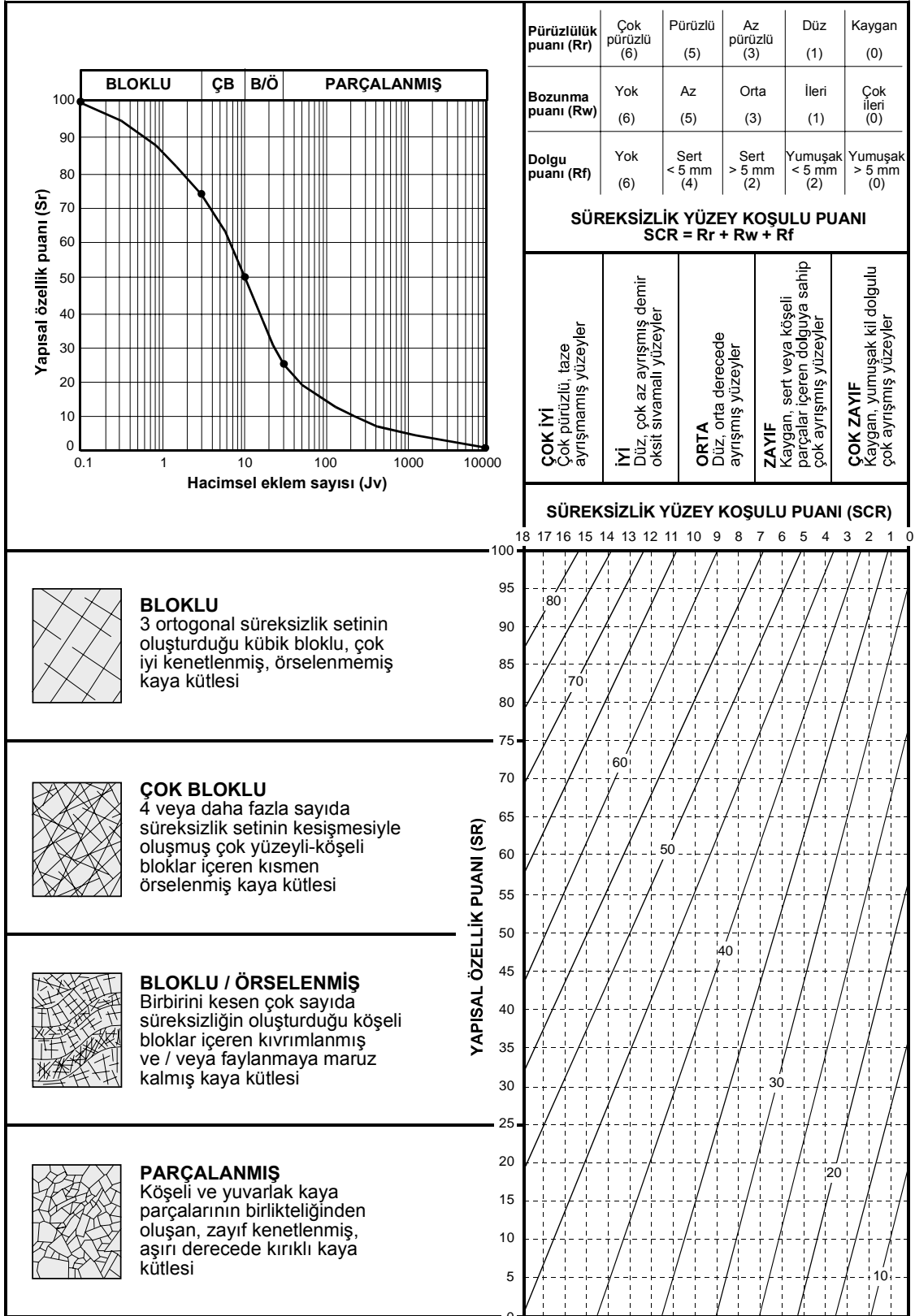
$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (3.6)$$

Hoek-Brown eşitliğinde kaya kütlesi için s ve a sabitleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

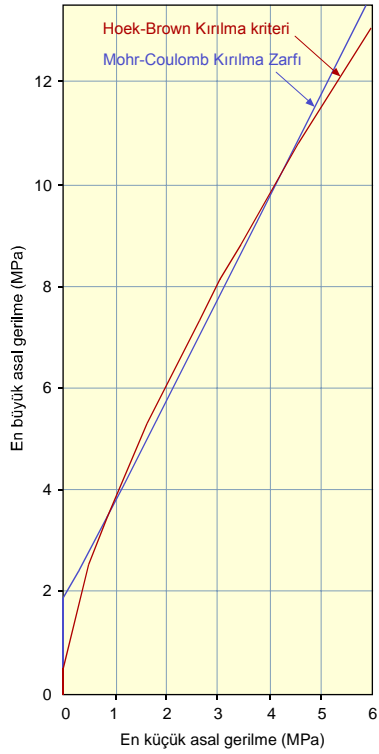
$$s = \exp \left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \quad (3.7)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \quad (3.8)$$

Buradaki D terimi, kaya kütlesinin patlatma hasarı ve gerilme rahatlama sonucu maruz kaldığı örselenme derecesine bağlı bir faktördür. Örselenmemiş kaya kütleleri için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar çıkabilir. Bu çalışmada ise, önerilen Düzyurt depolama alanında yüzeyleme veren kaya kütlelerinin dayanım parametrelerini, elastisite modülünü ve taşıma gücünü belirlemek için Hoek-Brown dayanım kriterinden yararlanılmıştır (Şekil 3.48 ve 3.49).



Şekil 3.47. Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi



A-1 Jeoteknik Birimi

Hoek-Brown Sınıflaması

Sağlam kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı: 23.52 MPa
GSI: 47 mi: 7 Örselenme faktörü: 0.7

Hoek-Brown Dayanım Kriteri

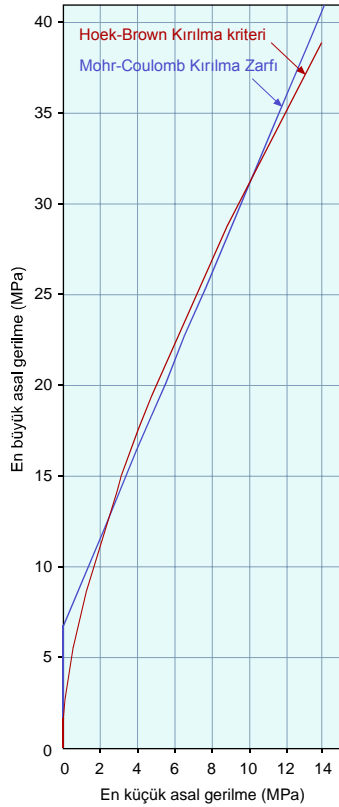
mb: 0.381 s: 0.0005 a: 0.507

Mohr-Coulomb Zarfı

Kohezyon: 0.674 MPa İçsel sürtünme açısı: 19.13 derece

Kaya Kütle parametreleri

Çekme dayanımı: -0.029 MPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı: 0.479 MPa
Deformasyon modülü: 2652.36 MPa



A-2 Jeoteknik Birimi

Hoek-Brown Sınıflaması

Sağlam kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı: 56.43 MPa
GSI: 51 mi: 11.923 Örselenme faktörü: 0.7

Hoek-Brown Dayanım Kriteri

mb: 0.807 s: 0.0008 a: 0.505

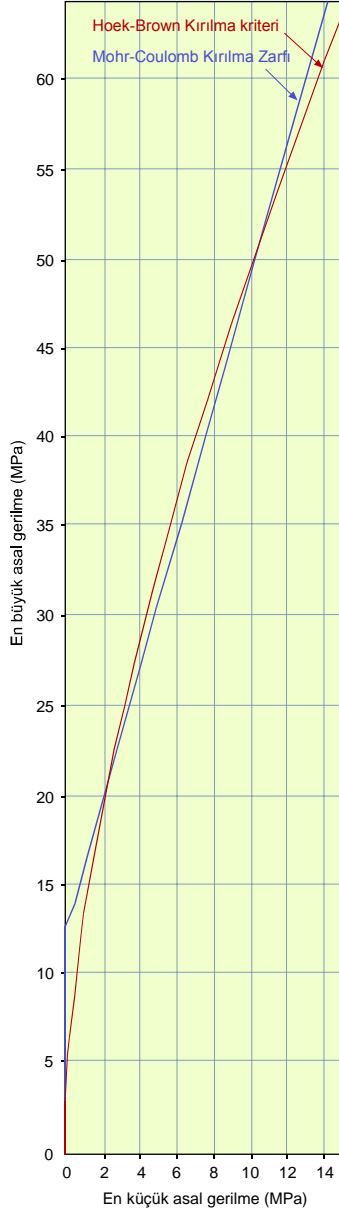
Mohr-Coulomb Zarfı

Kohezyon: 2.146 MPa İçsel sürtünme açısı: 24.64 derece

Kaya Kütle parametreleri

Çekme dayanımı: -0.058 MPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı: 1.559 MPa
Deformasyon modülü: 5172.12 MPa

Şekil 3.48. A1 ve A2 jeoteknik birimine ait kayaçlar üzerinde yapılan deneyler ve arazi gözlemleri sonucunda elde edilen verilere göre çizilmiş en büyük asal gerilme-en küçük asal gerilme (σ_1 - σ_3) grafiği



B-1 Jeoteknik Birimi

Hoek-Brown Sınıflaması

Sağlam kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı: 56.85 MPa
GSI: 53 mi: 36.228 Örselenme faktörü: 0.7

Hoek-Brown Dayanım Kriteri

mb: 2.739 s: 0.0011 a: 0.505

Mohr-Coulomb Zarfı

Kohezyon: 3.248 MPa İçsel sürtünme açısı: 34.76 derece

Kaya Kütle parametreleri

Çekme dayanımı: -0.023 MPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı: 1.827 MPa
Deformasyon modülü: 5824.77 MPa

Şekil 3.49. B1 jeoteknik birimine ait kayalar üzerinde yapılan deneyler ve arazi gözlemleri sonucunda elde edilen verilere göre çizilmiş en büyük asal gerilme-en küçük asal gerilme (σ_1 - σ_3) grafiği

3.8.3 Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özelliklerinin Sismik Kırılma Yöntemiyle Belirlenmesi

Sismik kırılma yöntemi yeryüzünde veya çok sığ derinliklerde yapay olarak meydana getirilen sismik dalgaların yer içerisinde kırılarak yayıldıktan sonra yeryüzündeki alıcılara gelmeleri için geçen zamandan faydalanarak yeraltının yapısı, farklı birimlerin devamlılığı, fiziksel ve elastik özellikleri hakkında fikir veren bir yöntemdir

Bu çalışmada sismik kırılma yöntemi sonucunda elastik ses dalgasının jeoteknik birimler içerisindeki enine ve boyuna yayılma hızları belirlenmiş ve buna bağlı olarak kaya kütlelerinin yoğunluğu, poisson oranı, kesme modülü, bulk modülü ve elastisite modülü hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar Tablo 3.26’da verilmiştir.

Tablo 3.26. Önerilen düzenli depolama alanında sismik kırılma yöntemiyle hesaplanan elastik parametreler

Elastik Özellikler	Jeoteknik Birimler		
	A1	A2	B1
Boyuna dalga hızı, V_p (m/s)	1566	2027	2405
Enine dalga hızı, V_s (m/s)	700	1300	1269
Yoğunluk, ρ (gr/cm ³)	1.950	2.080	2.171
Poisson oranı, ν	0.375	0.151	0.307
Kesme modülü, G (MPa)	910.91	3515.2	3362.43
Elastisite modülü, E_m (Mpa)	2355.61	8091.99	8029.48
Bulk modülü, k (Mpa)	1896.63	3864.37	4373.36

Elastik parametrelerin dışında çalışma alanında yüzeyleme veren karbonat kayaların elastik dalga hızlarına göre sağlamlık özellikleri araştırılmış ve sonuçlar Tablo 3.27’de verilmiştir.

Tablo 3.27 incelendiğinde düzenli depolama alanında yüzeylenen jeoteknik birimlerin orta sağlamlıkta oldukları görülmektedir.

Tablo 3.27. Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin elastik hızlara göre belirlenen sağlamlık sınıflaması (Türker vd, 1991).

Boyuna dalga (V_p) hızına göre zemin sağlamlık sınıflaması (Türker vd., 1991)		Jeoteknik Birimler		
Zemin sağlamlık sınıflaması	Boyuna dalga hızı V_p (m/sn)	A1	A2	A-3
Sağlam zemin	> 2500			
Orta sağlamlıkta	2500-1000	1294-1566	1437-2027	1800-2405
Zayıf zemin	< 1000			

3.8.4. Kaya Kütlesinin Geçirirliği

Bu çalışmada, kaya ortamının yanal ve dűşey devamlılığı ile fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve ortamın permeabilite katsayısının hesaplanmasına yönelik basınçlı su deneylerinin yapılması amacıyla sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ortam kırıklı kayaçlardan oluştuğu için tek lastik yöntemi kullanılarak basınçlı su deneyleri yapılmıştır.

Deney aralığı kayaçların içerdiği süreksizliklere bağlı olarak 0.5-5 m arasında değişebilir. Çalışmada süreksizliklerin tabaka kontrollü olması ve kısa mesafelerde litolojinin değişmemesi nedeniyle deney mesafesi 5 m olarak alınmıştır.

S-1 ve S-2 sondajlarında yapılan basınçlı su deneyleri sonuçları Tablo 3.28 ve 3.29’da verilmiştir.

Sondaj loglarından görűldűđü gibi, S-1 ve S-2 sondajlarının yaklařık ilk 4 metresi A2 jeoteknik birimini, sonraki yaklařık 12 metresi A1 jeoteknik birimini, son 4-5 metresi ise B1 jeoteknik birimini kesmiřtir.

Bu sondajlarda yapılan basınçlı su deneyleri yorumlanarak ortamın geçirirliği belirlenmeye çalışılmış, sonuçlar ilk olarak Lugeon birimi şeklinde elde edildikten sonra m/sn cinsinden ifade edilmiştir.

S-3 ve S-4 sondajlarında yapılan basınçlı su deneyleri sonuçları Tablo 3.30’da verilmiştir. Sondaj loglarından görűldűđü gibi, yalnızca S-3 sondajının ilk 5 metresi A1 jeoteknik birimini keserken, alt kotlarda yapılan S-4 sondajı tamamen B1 jeoteknik birimini kat etmiştir.

Sonuç olarak, A2 jeoteknik biriminin permeabilite katsayısının 2.12×10^{-8} m/sn, A1 jeoteknik biriminin 1.89×10^{-8} m/sn ve B1 biriminin ise 1.75×10^{-8} m/sn olduğu hesaplanmıştır.

Deney sırasında elde edilen veriler Ek Tablo 14-17’de özetlenerek verilmiştir.

Tűm sondaj verileri yorumlanarak jeoteknik birimlerin geçirirliğlik özellikleri Tablo 3.31’de verilmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak ortamın “pratik olarak geçirimsiz malzeme” sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.28. SK1 sondajında uygulanan basınçlı su deneyleri sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri

GEÇİRGENLİK KATSAYISI (PERMEABİLİTE) HESABI						
Manometre basıncı (atm) (kg/cm ²)	İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam Kayıp (lt)	Yük kaybı (atm) (kg/cm ²)	Emilme katsayısı (lt/dak x m)	Gerçek basınç (atm) (kg/cm ²)
Kademe aralığı (0-5 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.2
4	2	1	3	0.1	0.06	4.2
6	2	3	5	0.1	0.1	6.2
8	6	2	8	0.1	0.16	8.2
6	1	0	1	0.1	0.02	6.2
4	0	0	0	0.1	0	4.2
2	0	0	0	0.1	0	2.2
0-5 m arası permeabilite: 0.214 Lugeon (2.14×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (5-10 metre)						
2	1	0	1	0.1	0.02	2.7
4	0	1	1	0.1	0.02	4.7
6	2	1	3	0.1	0.06	6.7
8	4	3	7	0.1	0.14	8.7
6	2	2	4	0.1	0.08	6.7
4	1	1	2	0.1	0.04	4.7
2	0	0	0	0.1	0	2.7
5-10 m arası permeabilite: 0.192 Lugeon (1.92×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (10-15 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	3.2
4	0	2	2	0.1	0.04	5.2
6	5	4	9	0.1	0.18	7.2
8	7	5	12	0.1	0.24	9.2
6	2	0	2	0.1	0.04	7.2
4	0	0	0	0.1	0	5.2
2	0	0	0	0.1	0	3.2
10-15 m arası permeabilite: 0.264 Lugeon (2.64×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (15-20 metre)						
2	1	0	1	0.1	0.02	3.7
4	0	2	2	0.1	0.04	5.7
6	3	2	5	0.1	0.1	7.7
8	5	3	8	0.1	0.16	9.7
6	2	2	4	0.1	0.08	7.7
4	1	0	1	0.1	0.02	5.7
2	0	0	0	0.1	0	3.7
10-15 m arası permeabilite: 0.169 Lugeon (1.69×10^{-8} m/sn)						

Tablo 3.29. SK2 sondajında uygulanan basınçlı su deneyleri sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri

GEÇİRGENLİK KATSAYISI (PERMEABİLİTE) HESABI						
Manometre basıncı (atm) (kg/cm ²)	İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam Kayıp (lt)	Yük kaybı (atm) (kg/cm ²)	Emilme katsayısı (lt/dak x m)	Gerçek basınç (atm) (kg/cm ²)
Kademe aralığı (0-5 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.2
4	0	0	0	0.1	0	4.2
6	1	0	1	0.1	0.02	6.2
8	2	4	6	0.1	0.12	8.2
6	1	0	1	0.1	0.02	6.2
4	0	0	0	0.1	0	4.2
2	0	0	0	0.1	0	2.2
0-5 m arası permeabilite: 0.21 Lugeon (2.1×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (5-10 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.7
4	1	0	1	0.1	0.02	4.7
6	2	1	3	0.1	0.06	6.7
8	4	2	6	0.1	0.12	8.7
6	1	0	1	0.1	0.02	6.7
4	0	0	0	0.1	0	4.7
2	0	0	0	0.1	0	2.7
5-10 m arası permeabilite: 0.159 Lugeon (1.59×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (10-15 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	3.2
4	0	1	1	0.1	0.02	5.2
6	2	2	4	0.1	0.08	7.2
8	4	4	8	0.1	0.16	9.2
6	3	0	3	0.1	0.06	7.2
4	0	0	0	0.1	0	5.2
2	0	0	0	0.1	0	3.2
10-15 m arası permeabilite: 0.192 Lugeon (1.92×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (15-20 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	3.7
4	1	1	2	0.1	0.04	5.7
6	0	2	2	0.1	0.04	7.7
8	3	4	7	0.1	0.14	9.7
6	2	1	3	0.1	0.06	7.7
4	0	0	0	0.1	0	5.7
2	0	0	0	0.1	0	3.7
10-15 m arası permeabilite: 0.155 Lugeon (1.55×10^{-8} m/sn)						

Tablo 3.30. SK3 ve SK4 sondajında uygulanan basınçlı su deneyleri sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri

GEÇİRGENLİK KATSAYISI (PERMEABİLİTE) HESABI (SK3 sondajı)						
Manometre basıncı (atm) (kg/cm ²)	İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam Kayıp (lt)	Yük kaybı (atm) (kg/cm ²)	Emilme katsayısı (lt/dak x m)	Gerçek basınç (atm) (kg/cm ²)
Kademe aralığı (0-5 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.2
4	0	1	1	0.1	0.02	4.2
6	2	1	3	0.1	0.06	6.2
8	3	2	5	0.1	0.1	8.2
6	1	0	1	0.1	0.02	6.2
4	0	0	0	0.1	0	4.2
2	0	0	0	0.1	0	2.2
0-5 m arası permeabilite: 0.136 Lugeon (1.36×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (5-10 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.7
4	1	1	2	0.1	0.04	4.7
6	3	1	4	0.1	0.08	6.7
8	5	4	9	0.1	0.18	8.7
6	1	2	3	0.1	0.06	6.7
4	1	1	2	0.1	0.04	4.7
2	0	0	0	0.1	0	2.7
5-10 m arası permeabilite: 0.245 Lugeon (2.45×10^{-8} m/sn)						

GEÇİRGENLİK KATSAYISI (PERMEABİLİTE) HESABI (SK4 sondajı)						
Manometre basıncı (atm) (kg/cm ²)	İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam Kayıp (lt)	Yük kaybı (atm) (kg/cm ²)	Emilme katsayısı (lt/dak x m)	Gerçek basınç (atm) (kg/cm ²)
Kademe aralığı (0-5 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.2
4	0	1	1	0.1	0.02	4.2
6	2	2	4	0.1	0.08	6.2
8	4	4	8	0.1	0.16	8.2
6	1	0	1	0.1	0.02	6.2
4	0	0	0	0.1	0	4.2
2	0	0	0	0.1	0	2.2
0-5 m arası permeabilite: 0.232 Lugeon (2.32×10^{-8} m/sn)						
Kademe aralığı (5-10 metre)						
2	0	0	0	0.1	0	2.7
4	0	1	1	0.1	0.02	4.7
6	1	1	2	0.1	0.04	6.7
8	1	2	3	0.1	0.06	8.7
6	1	0	1	0.1	0.02	6.7
4	1	0	1	0.1	0.02	4.7
2	0	0	0	0.1	0	2.7
5-10 m arası permeabilite: 0.073 Lugeon (7.3×10^{-9} m/sn)						

Tablo 3.31. Farklı jeoteknik birimler için hesaplanmış ortalama K değerleri

Jeoteknik birim	K (m/sn)	Tanımlama (USDI, 1960; Housby, 1976)
A1	2.12×10^{-8}	Pratik olarak geçirimsiz
A2	1.89×10^{-8}	Pratik olarak geçirimsiz
B1	1.75×10^{-8}	Pratik olarak geçirimsiz

3.10. Düzyurt Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

3.10.1. Jeomekanik Sınıflama (RMR Sistemi)

Kaya kütlelerinde yapılan jeoteknik esaslı çalışmalarda uygulanan tasarım yöntemleri genel anlamda, analitik-sayısal, gözleme dayalı ve görgül (ampirik) olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir. Kaya mekaniği uygulamalarında kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli sınıflandırma sistemlerine gereksinim duyulmuştur. Mühendislik jeolojisi çalışmalarında tasarımın ayrılmaz bir parçası olan bu sistemler, uzun yıllar süren gözlemlere bağlı olarak geliştirilen ve istatistiksel değerlendirmeler esas alınarak önerilmiş yöntemlerdir.

Görgül bir kaya kütle sınıflama sistemi olan RMR Sınıflama Sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda yöntem, eldeki bir çok mevcut durum ve karşılaşılan mühendislik probleminin amacına yönelik olarak modifiye edilmiş (Laubscher, 1977 ve 1984; Weaver, 1975; Olivier, 1979, Ghose ve Raju, 1981; Nakao vd., 1983; Kendorski vd., 1983; Ünal, 1983; Serafim ve Pereira, 1983; Gonzalez, 1983; Romana, 1985) ve son halini 1989 yılında yapılan değişikliklerle almıştır (Bieniawski, 1989). RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır:

- Kayacın nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı,
- kaya kalitesi göstergesi (% RQD)
- süreksizlik ara uzaklığı
- süreksizliklerin durumu (Devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
- yeraltısuyu durumu

Sistemde bu parametrelerle beraber parametrelere ait puan değerleri yer almakta, hat etüdlerinden ve bir dizi laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere

verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır. Tablo 3.32’de RMR kaya sınıflama sisteminin 1989’daki son versiyonu ve bu sisteme göre verilen puanlar görülmektedir.

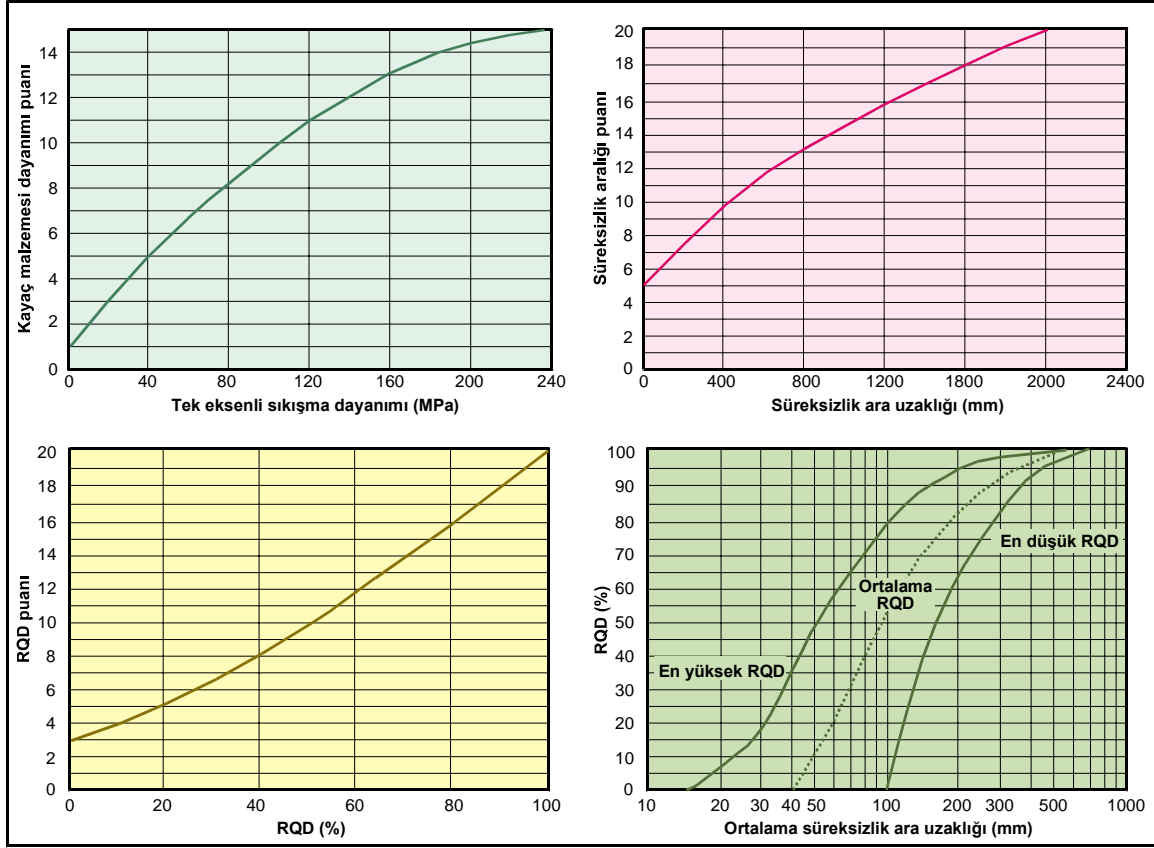
Tablo 3.32. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989).

1	Kayaç Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Puan	15	12	7	4	2	1	0	
2	Kayaç Kalite Göstergesi, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)		> 200	60-200	20-60	20-6	< 6		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	< 1	1-3	3-10	10-20	> 20		
		Puan	6	4	2	1	0		
		Açıklık (mm)	Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5		
		Puan	6	5	4	1	0		
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan		
		Puan	6	5	3	1	0		
		Dolgu	Yok	< 5 mm (sert)	> 5 mm (sert)	< 5 mm (yumuşak)	> 5 mm (yumuşak)		
		Puan	6	4	2	2	0		
5	Yeraltısuyu (lt/dak)	10 m’lik kısımdan gelen su	yok	10	25	25-125	>125		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
Puan		15	10	7	4	0			

RMR sınıflama sisteminin 1989’daki son versiyonuna kadar, sistemin ilk üç parametresi olan dayanım, % RQD ve süreksizlik aralığı için yapılan değerlendirilmelerde belli aralıklardaki parametrelere ilişkin puanlar, aralıkların sınır değerlerini de kapsamaktaydı. Tablo 3.40’ta görüldüğü gibi ilk üç parametreye ait sınıf değerleri ve bunlara ait puanlar belirli aralıklar arasında kalmakta, uygulamada ise bu durum çeşitli hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle bu üç parametre için daha hassas bir puanlamanın yapılabilmesi için Bieniawski (1989), ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alarak, çeşitli grafikler geliştirmiştir (Şekil 3.50). Şekil 3.50’de tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı değerlerine karşılık gelen ve daha hassas puanlamaya olanak kılan grafikler görülmektedir.

Mühendislik jeolojisi çalışmalarında, süreksizliklerin konumu önemli bir parametre olduğu için RMR sınıflama sisteminde süreksizlik sisteminin konumu göz ardı

edilmemelidir. Bu nedenle mühendislik yapısı ve süreksizlik konumu arasındaki ilişkiye göre Bieniawski (1979 ve 1989) tarafından süreksizlik yönelimi düzeltmesi ortaya atılmıştır. Tablo 3.33’de süreksizlik konum etkisi ve Tablo 3.34’de süreksizlik yönelimine göre düzeltme katsayısı değerleri verilmektedir.



Şekil 3.50. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri (Bieniawski, 1989).

Tablo 3.33. RMR sınıflama sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi

Eğim Yönünde İlerleme		Eğime Karşı Yönde İlerleme		Doğrultuya Paralel İlerleme		Doğrultuya Bakılmaksızın (eğim 0-20°)
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

Tablo 3.34. RMR sınıflama sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

Bunun yanı sıra, RMR sınıflama sisteminin yaygın olarak kullanıldığı tüneller, ve madencilik uygulamalarında yapılacak olan patlatmalarda daha fazla miktarda dinamik etki meydana gelmektedir. Bu nedenle özellikle madencilik uygulamalarında patlatma, yerinde gerilimler ve fayların durumu gibi faktörler de dikkate alınmakta ve gerektiği durumlarda bu faktörler için de düzeltme yapılarak nihai RMR değerinde azaltmaya gidilmelidir (Laubscher, 1977; Kendorski vd., 1983). Bununla birlikte, gerilim alanının yatay ve düşey bileşenlerinin çok pahalı olan yerinde ölçüm deneyleriyle belirlenmesi nedeniyle, gerilim düzeltme katsayısı uygulamada çok fazla dikkate alınmamaktadır. Tablo 3.35’de patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili uygulama koşulları, yöntemler ve düzeltme katsayıları verilmektedir.

Tablo 3.35. Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları (Kendorski vd., 1983).

Patlatma Düzeltmesi		
Koşullar/Yöntem	Uygulanabilir terim	Düzeltilme katsayısı
1 Makineyle kazı	Hasarsız	1.0
2 Denetimli patlatma	Çok az hasar	0.94-0.97
3 İyi klasik patlatma	Orta derecede hasar	0.90-0.94
4 Kötü klasik patlatma	Şiddetli hasar	0.80-0.90

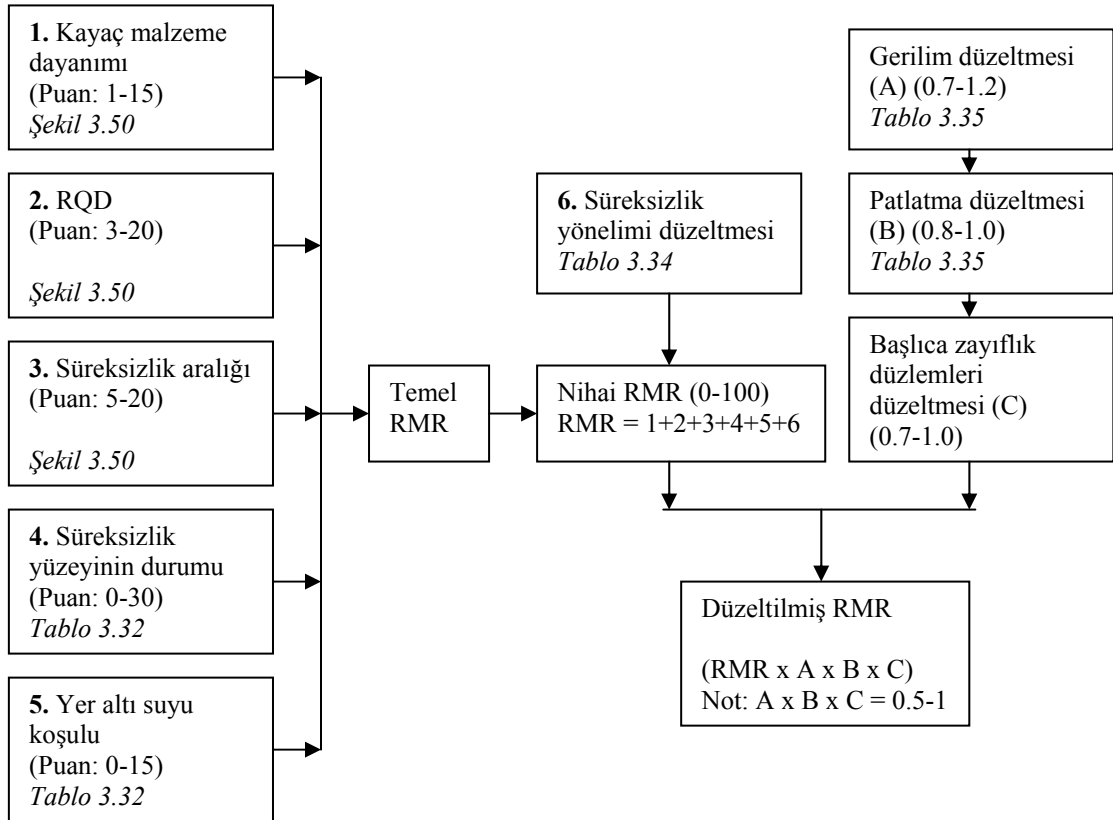
Başlıca Zayıflık Düzlemleriyle İlgili Düzeltme	
Koşul	Düzeltilme katsayısı
1 Zayıflık düzlemi yok	1.00
2 Sert dayklar	0.90
3 Yumuşak cevher zonları	0.85
4 Ana kayaç/cevher dokanak zonları	0.80
5 Kıvrımlar	0.75
6 Fay zonları	0.70

Kaya kütlesi sınıfı, yukarıda belirtilen işlemlerin ve gerekli düzeltmelerin yapılmasıyla elde edilen nihai RMR puanına göre Tablo 3.36'dan belirlenir.

Tablo 3.36. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski, 1989).

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Çalışmada, RMR sistemi kullanılarak nihai RMR sınıf puanının tayin edilmesinde izlenmiş olan yol akış şeması şeklinde Şekil 3.51'de verilmiştir.



Şekil 3.51. RMR kaya kütle sınıflama sisteminde RMR puanını hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması (Ulusay ve Sönmez, 2002; Bieniawski, 1989'dan değiştirilerek).

Bu akış şeması izlenerek jeoteknik birimler için hesaplanan temel, nihai ve değiştirilmiş RMR puanları ve bu puanların hesaplama aşamaları Tablo 3.37'de verilmiştir.

Tablo 3.37’de görüldüğü üzere çalışma alanında yüzeyleme veren kayaçların tümü RMR kaya kütleleri sınıflamasına göre “orta kaya” sınıfına girmektedir.

Tablo 3.37. Jeoteknik birimlerin temel, nihai ve değiştirilmiş RMR puanları

RMR Sınıflama Parametreleri		Jeoteknik Birimler	Jeoteknik Birim A1	Jeoteknik Birim A2	Jeoteknik Birim B1	
			Marn, silttaşı, kiltası	Kumlu kireçtaşı	Orta derecede Ayrılmış kalkarenit	Kalkarenit, kalsirüdit
1	Kayaç Malzemesinin	Nokta yükü dayanım indeksi	1	-	-	2.18
	Dayanımı (MPa)	Tek eksenli sıkışma dayanımı	-	57	37	-
	Puan		3.2	6.5	4.8	6.5
2	Kayaç Kalite Göstergesi, RQD (%)		68	95	97	
	Puan		13.2	19	19.5	
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)		41.5	47.4	50.9	
	Puan		9	10	10.5	
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	26.46	9.9	9.69	
		Puan	0	2	2	
		Açıklık (mm)	1.8	1.82	1.94	
		Puan	1	1	1	
		Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	
		Puan	5	5	5	
		Dolgu	< 5 mm (sert)	< 5 mm (sert)	< 5 mm (sert)	
		Puan	4	4	4	
5	Yeraltısuyu (lt/dak)	10 m’lik kısımdan gelen su	Yok	Yok	Yok	
		Genel koşullar	Kuru	Kuru	Kuru	
Puan			15	15	15	
TEMEL RMR PUANI			55.4	67.5	67.65	
Süreksizlik yönelimi düzeltmesi: -5 NİHAİ RMR PUANI			50.4	62.5	62.65	
Patlatma düzeltmesi: 0.97 Gerilim düzeltmesi: İhmal edilmiş Zayıflık düzeltmeleri düzeltmesi: 1 DEĞİŞTİRİLMİŞ RMR PUANI			48.9	60.6	60.8	
TANIMLAMA (Bieniawski, 1989)			Orta Kaya	Orta kaya	Orta kaya	

3.11. Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü

Taşıma gücü parametresi iki şekilde tanımlanır. Emniyetli net taşıma gücü kayacın yenilmeden taşıyabileceği en büyük taşıma basıncı, izin verilebilir taşıma gücü ise seçilmiş bir güvenlik katsayısı değerine bölünerek belirlenmiş ve tasarım açısından dikkate alınan basınç olarak ifade edilir.

Bieniawski’nin (1989) geliştirdiği sınıflama sisteminden hesaplanan RMR puanı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülünün tahmininde kullanılacağı gibi, izin

verilebilir taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu amaçla Mehrotra (1992) tarafından önerilen kılavuz Tablo 3.38’de verilmiştir. Çalışmada taşıma gücünü hesaplamak için Tablo 3.38’deki veriler kullanılmış, aralıklar arasında bulunan değerler iterasyon yardımıyla hesaplanmıştır (Tablo 3.39).

Tablo 3.38. Kaya kütleleri için RMR puanına göre izin verilebilir net taşıma gücü (q_a) (Mehrotra, 1992).

Kaya kütleleri sınıf numarası	I	II	III	IV	V
Kaya kütlelerinin tanımı	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
İzin verilebilir taşıma gücü q_a (ton/m ²)	600-440	440-280	280-135	135-45	45-30

Tablo 3.39. Jeoteknik birimler için temel RMR puanına göre hesaplanmış izin verilebilir net taşıma gücü (q_a)

Temel RMR puanından yararlanarak belirlenen parametreler	Jeoteknik Birim A1	Jeoteknik Birim A2	Jeoteknik Birim B1
Temel RMR puanı	55.4	67.5	67.65
İzin verilebilir taşıma gücü (q_a) (kg/cm ²)	24.2	32.2	32.2
İzin verilebilir taşıma gücü (MPa)	2.373	3.157	3.157

Literatürde sismik dalga hızlarından yararlanarak taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesinin hesaplanmasına yönelik geliştirilmiş çeşitli formüller mevcuttur (İmai, 1976; Türker vd., 1991)

İmai (1976) tarafından geliştirilen boyuna dalga hızlarından yararlanarak zemin taşıma gücünün tahminine yönelik formül aşağıda verilmiştir.

$$q_u = 10V_p^3 \quad (3.9)$$

Burada, q_u : taşıma gücü (kg/cm²) ve V_p : boyuna dalga hızıdır (km/sn).

Bu çalışmada ise zemin taşıma gücünün hesaplanmasında pratikliği nedeniyle İmai (1976) tarafından önerilen formül kullanılmış ve sonuçlar Tablo 3.40’ta verilmiştir.

Tablo 3.40. Düzenli depolama alanındaki jeoteknik birimlerin boyuna dalga hızlarına göre taşıma gücü değerleri

	Jeoteknik Birimler		
	A1	A2	B1
Boyuna dalga hızı (m/sn)	1294-1566	1437-2027	1800-2405
Maksimum taşıma gücü (kg/cm ²)	38.40	83.28	139.11
Minumum taşıma gücü (kg/cm ²)	21.66	29.67	58.32

Önerilen Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki kaya kütlelerinin taşıma gücünü belirlemek amacıyla Hoek-Brown Yenilme Kriterinden (Hoek ve Brown, 1980a ve b) yararlanılmış, kaya ortamının nihai taşıma gücü, Wyllie vd. (1992) tarafından önerilen eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$q_u = \sigma_{ci} \times [s^{0.5} + (m \times s^{0.5} + s)^a] \quad (3.10)$$

Burada, q_u : sınır taşıma gücü (kg/cm²), s , m ve a ; kaya kütlelerine ait sabitler (Hoek-Brown Yenilme Kriterinden elde edilen veriler) ve σ_{ci} ise kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımıdır (kg/cm²).

Tablo 3.41’de ise farklı yöntemlerle belirlenmiş taşıma gücü değerleri özetlenmiştir.

Tablo 3.41. Farklı yöntemlerle belirlenmiş taşıma gücü değerleri

Sınır taşıma gücü (kg/cm ²)	Jeoteknik Birimler		
	A1	A2	B1
RMR Kaya Kütle Sınıflaması	24.2	32.2	32.2
Sismik Ölçümler	21.66-38.40	29.67-83.28	58.32-139.11
Hoek-Brown Yenilme Kriteri	26.5	100.6	197.6

3.12. Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Kütlelerinin Kazılabilirliği

Düzenli depolama yeri seçimine etki eden en önemli kriterlerden biri depolama yapılacak arazinin kapasitesidir. Bu nedenle önerilen depolama alanının kapasitesini arttırmak amacıyla zayıf dayanımlı kaya kütlelerinde kazı çalışmalarının yapılması kaçınılmazdır. Jeoteknik çalışmalarda, kazılacak kayaçların türü ve mühendislik özelliklerinin yanında kazılabilirme derecelerinin de bilinmesi gerekmektedir. Kazı ortamının

jeoteknik özelliklerinin iyi bir şekilde değerlendirilmesi ve buna uygun kazı makinelerinin seçimi, kazı sırasında karşılaşılabilecek problemleri ve buna bağlı olarak maliyeti en aza indirecektir. Bu nedenle bu çalışmada düzenli depolama alanındaki kayaçların kazılabilirlik dereceleri hem jeofizik yöntemle (sismik kırılma yöntemi) hem de jeomekanik parametrelerle değerlendirilmiştir.

3.12.1. Kazılabilirliğin Sismik Kırılma Yöntemiyle Belirlenmesi

Kazılabilirlik, kaya veya zeminlerin çeşitli tip ve güçteki kazı makineleriyle sökülebilmek özelliği olarak tanımlanabilir. Bu özellik kazı yapılacak malzemenin dokusu, özgül ağırlığı, su içeriği, süreksizlik özellikleri, kimyasal bileşimi ve çimentolanma derecesi gibi bir çok parametre ile denetlenir. Yapılan bir çok çalışmada kayaçların sökülebilirliği ile sismik hızlar arasında bir ilişki varlığı belirlenmiştir. Sağlam yada masif yapıya sahip kayaçlar, gevşek yapıya sahip kayaçlara göre zor sökülebilmektedir. Benzer şekilde gevşek yapıya sahip ortam, sağlam yapıya sahip ortama göre daha düşük hız değerleri ortaya koyar. Bu nedenle geniş alanlarda yüzeylenme veren kayaçlarda sökülebilirlik derecesi ve sökülebilirliğinin zorluk derecesine göre kullanılacak paletli iş makinelerinin türünü belirlemek için elastik ses dalgasının kaya içindeki boyuna yayılma hızlarından (V_p) yararlanılabilir.

Bu çalışmada esas olarak kayaçların kazılabilirlik derecelerinin belirlenmesi amacıyla sismik P dalgası hızlarından yararlanılmıştır. P dalgası hızları arazide hassas bir şekilde 5 profil hattında sismik kırılma yöntemiyle belirlenmiştir.

Çalışmada elastik hız değerlerinden yararlanarak Bailey (1974) ve Büyüksaraç (2004) tarafından önerilen sökülebilirlik dereceleri sınıflaması yardımıyla, önerilen Düzyurt düzenli depolama alanındaki karbonat kayaçların ne tür sökücü araçlarla ekonomik olarak kazınabileceği belirlenmiştir. Ayrıca kazı makineleriyle sökülemeyecek ve patlayıcı madde kullanımının zorunlu olduğu kaya grupları tespit edilmiştir (Tablo 3.41 ve 3.42).

Caterpillar firması tarafından kaya veya zeminlerin sismik dalga hızlarına ve değişik güçteki iş makinelerinin performansına bağlı olarak kayaçların ve zeminlerin sökülebilirlik dereceleri araştırılmış ve D7F, D8H, D9 ve D10 ripperlerine göre sökülebilirlik diyagramları hazırlanmıştır (Caterpillar, 1988). Bu diyagramlara göre Düzyurt düzenli depolama alanındaki kayaçların sökülebilirlik durumları belirlenmiş, elde edilen sonuçlar Tablo 3.43'de verilmiştir.

Tablo 3.41. Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin arazide yapılan ölçümlerle belirlenen elastik dalga hızlarına göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmesi

Kayaçların çeşitli dalga hızlarında sökülebilirlik dereceleri (Bailey, 1974; Büyüksaraç, 2004)				Jeoteknik Birimler					
Orta güçteki sökücü araçlar Ağırlık: 25-35 ton, güç: 150-250 kW (OA)		Ağır güçteki sökücü araçlar Ağırlık: 35-55 ton, güç: 250-350 kW (AA)		A1		A2		A-3	
Boyuna dalga hızı Vp (m/sn)	Sökülebilirlik derecesi	Boyuna dalga hızı Vp (m/sn)	Sökülebilirlik derecesi	OA	AA	OA	AA	OA	AA
> 2000	Sökülemez	> 2300	Son derece zor sökülebilir						
1500-2000	Zor sökülebilir	1700-2300	Zor sökülebilir						
1000-1500	Orta derecede sökülebilir	1000-1700	Orta derecede sökülebilir						
500-1000	Kolay sökülebilir	670-1000	Kolay sökülebilir						
< 500	Çok kolay sökülebilir	350-670	Çok kolay sökülebilir						

OA: orta güçteki sökücü araç, AA: ağır güçteki sökücü araç

Tablo 3.42. Depolama alanındaki yamaç molozu ve döküntü malzemesinin arazide yapılan ölçümlerle belirlenen elastik dalga hızlarına göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmesi

Kayaçların çeşitli dalga hızlarında sökülebilirlik dereceleri (Bailey, 1974; Büyüksaraç, 2004)				Yamaç molozu ve döküntü malzemesi					
Orta güçteki sökücü araçlar Ağırlık: 25-35 ton, güç: 150-250 kW (OA)		Ağır güçteki sökücü araçlar Ağırlık: 35-55 ton, güç: 250-350 kW (AA)		Yamaç molozu		Kaya Döküntüsü		Toprak döküntüsü	
Boyuna dalga hızı Vp (m/sn)	Sökülebilirlik derecesi	Boyuna dalga hızı Vp (m/sn)	Sökülebilirlik derecesi	OA	AA	OA	AA	OA	AA
> 2000	Sökülemez	> 2300	Son derece zor sökülebilir						
1500-2000	Zor sökülebilir	1700-2300	Zor sökülebilir						
1000-1500	Orta derecede sökülebilir	1000-1700	Orta derecede sökülebilir						
500-1000	Kolay sökülebilir	670-1000	Kolay sökülebilir						
< 500	Çok kolay sökülebilir	350-670	Çok kolay sökülebilir						

Tablo 3.43. Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin Caterpillar tipi sökücü aletler ile sökülebilirliğinin belirlenmesi

Caterpillar tipi sökücü aletler ile sökülebilirlik değerlendirilmesi (Catterpillar, 1988)			Jeoteknik Birimler			Kaya Döküntüsü
Sökücü alet türü	Boyuna dalga hızı V_p (m/sn)	Tanımlama	A1	A2	A-3	
D7F Ripperi (Hafif)	875-1300	Sökülebilir				
	1300-1500	Yarı sökülebilir				
	> 1500	Sökülemez				
D8H Ripperi (Orta)	875-1750	Sökülebilir				
	1750-2050	Yarı sökülebilir				
	> 2050	Sökülemez				
D9 Ripperi (Ağır)	1000-1450	Sökülebilir				
	1450-1800	Yarı sökülebilir				
	> 1800	Sökülemez				
D10 Ripperi (Çok ağır)	< 2250	Sökülebilir				
	2250-2650	Yarı sökülebilir				
	> 2650	Sökülemez				

Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin arazide yapılan ölçümlerle belirlenen elastik dalga hızlarından yararlanarak, farklı araştırmacılar tarafından önerilen sınıflamalara göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmeleri sonucunda, A1 jeoteknik biriminin genel itibarıyla “orta derecede sökülebilir”, A2 jeoteknik biriminin “orta derecede-zor sökülebilir” ve B1 jeoteknik biriminin ise “zor sökülebilir-sökülemez” sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra kaya döküntü malzemesi orta derecede sökülebilir, yamaç molozu ve toprak döküntü malzemesinin ise çok kolay sökülebilir sınıfına girdiği belirlenmiştir. Önerilen depolama alanının depolamadan önce uygun hale getirilebilmesi için A1 ve A2 jeoteknik birimlerinde orta veya ağır işlevli kazıcılar (D10 ripper takviyeli) kullanılarak, B1 jeoteknik biriminde ise hidrolik kırıcılarla veya taramalı patlatma yapılarak şev düzenlemesinin yapılması gerekmektedir.

3.12.2. Kazılabilirliğin Jeomekanik Özelliklerle Belirlenmesi

Kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan ilk kazılabilirlik indeksi, kaya kütle sınıflamaları kullanılarak geliştirilmiş, bununla ilişkili

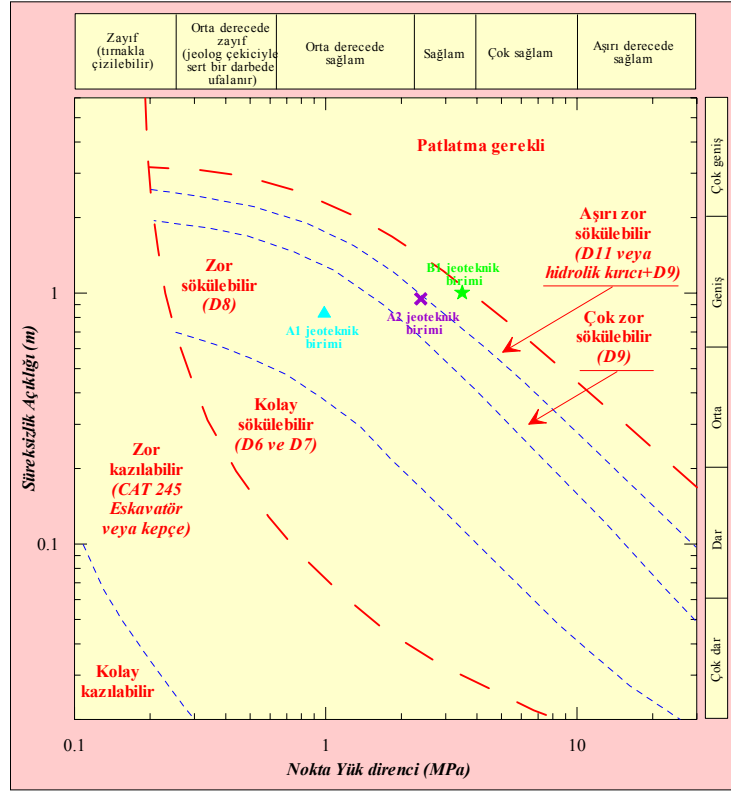
olarak kazılabilirlik durumunu belirleyebilmek için bir kılavuz görevi yapan sökülebilirlik puan kartı Weaver (1975) tarafından ortaya atılmıştır. Weaver (1975), RMR sistemi içindeki kaya direnci ve RQD parametreleri yerine malzemenin sismik hızlarından yararlanmıştır. Daha sonra bir çok araştırmacı kazılabilirlik özelliğinin belirlenmesinde sadece sismik hızlardan yararlanmanın yanlış değerlendirmelere yol açacağını vurgulamışlardır (Kristen, 1982; Simith, 1986, Singh vd., 1987).

Bu gelişmelerden sonra kayaçların kazılabilirliğine yönelik bir çok yöntem geliştirilmiştir. (Minty and Kearns, 1983; Scoble and Müftüoğlu, 1984; Smith, 1986; Singh vd., 1987; Caterpillar, 1988; Karpuz vd., 1990; Hadjigeorgiou and Scoble, 1990; MacGregor vd., 1994; Pettifer and Fookes 1994; Hoek ve Karzulovic, 2000).

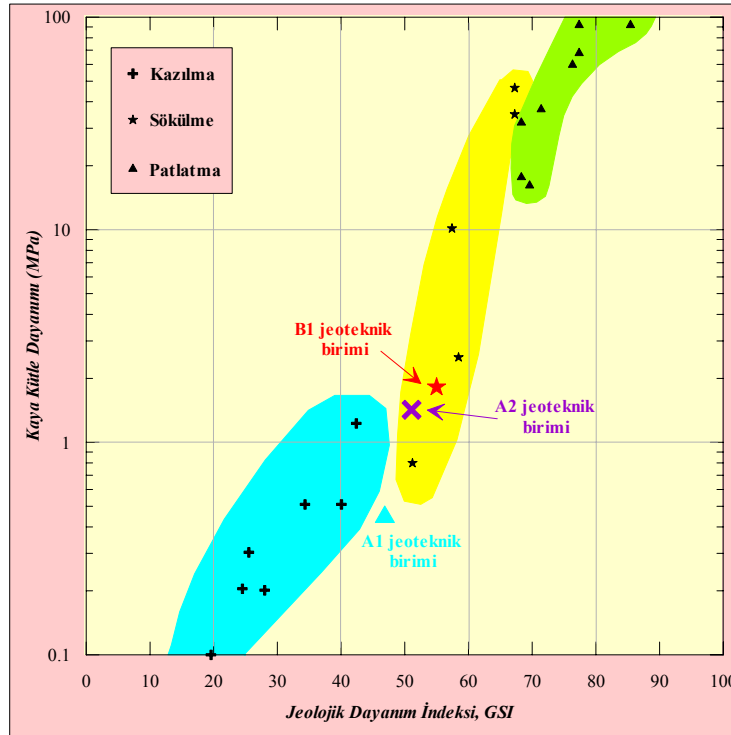
Bu çalışmada, düzenli depolama alanında yüzeyleme veren karbonat kayaçlarının kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla, süreksizlik ara uzaklığı, nokta yük direnci, tek eksenli basınç direnci ve jeolojik dayanım indeksi (GSI) gibi kayaç malzemesi ve kaya kütlelerinin çeşitli jeoteknik özelliklerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı, Pettifer ve Fookes (1994), ve Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır.

Pettifer and Fookes (1994), kaya malzemesinin nokta yük direnci, kaya kütlelerinin ise süreksizlik özelliklerinden yararlanarak bir grafik önermişlerdir (Şekil 3.52). Grafiğin pratikte yaygın kullanılması, kayaçların kazılabilirlik özellikleri hakkında bilgi vermesi yanında kayaçların ne tür makinelerle ve ripperlerle kazılabileceğini belirtmesidir. Şekil 3.52'deki grafik incelendiğinde A1 jeoteknik biriminin zor sökülebilir, A2 jeoteknik biriminin çok zor sökülebilir, B1 jeoteknik biriminin aşırı derecede zor sökülebilir kayaç sınıfına girdiği görülmektedir. A1 ve A2 jeoteknik birimleri D8 ve D9 ripperleriyle sökülebilirken, B1 jeoteknik biriminin kazılabilmesi için hidrolik kırıcı kullanılması gerekmektedir.

Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen yöntemin esası ise kaya kütlelerinin GSI değerine ve kaya kütle dayanım parametresine bağlıdır (Hoek ve Karzulovic, 2000). Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen önerilen grafik Şekil 3.53'de verilmiştir. Şekil 3.53 incelendiğinde, A1 jeoteknik biriminin kazılabilir, A2 ve B1 jeoteknik biriminin ise sökülebilir özellikte olduğu görülmektedir. Her iki yöntemde de elde edilen sonuçlar birbirini doğrular niteliktedir ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Pettifer and Fookes (1994) tarafından önerilen yöntemle göre yapılan sınıflamanın, arazi gözlemleriyle tam olarak örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 3.52. Kazılabilirlik değerlendirme grafiği (Pettifer ve Fookes, 1994'den değiştirilerek).



Şekil 3.53. Farklı kazı metodları için GSI-Kaya kütle dayanımı grafiği (Abdullatif ve Cruden, 1983; Hoek ve Karzulovic, 2000).

Çalışmada düzenli depolama alanında yüzeyleme veren karbonat kayaçların kazılabilirlik dereceleri Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen ve RMR kaya kütle sınıflamasının temel alındığı yöntem kullanılarak ta değerlendirilmiştir. Burada jeoteknik birimler, temel RMR puanları kullanılarak kazılabilirlik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Tablo 3.44).

Tablo 3.44. Düzenli depolama alanındaki kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmesi

Temel RMR puanı ve kazılabilirlik sınıflaması (Abdullatif ve Cruden, 1983)		Jeoteknik Birimler		
		A1	A2	B1
< 30	Kazılabilir			
31-60	Sökülebilir	55.4		
61-100	Patlatma		67.5	67.65

Çalışmada, inceleme alanında yüzeyleme veren kayaçların kazılabilirlik dereceleri Kristen (1982) tarafından kayaçların jeomekanik özelliklerinden yararlanılarak ortaya atılan kazılabilirlik indeksi değeri (N) kullanılarak da değerlendirilmiştir.

$$N = Ms \left[\frac{RQD}{Jn} \right] Js \left[\frac{Js}{Ja} \right] \quad (3.11)$$

Burada, Ms: kütle direnci sayısı (MPa cinsinden tek eksenli basınç direnci), RQD: kaya kalite göstergesi, Jn: çatlak takım sayısı, Jr: çatlak pürüzlülüğü, Ja: çatlak alterasyon sayısı ve Js: göreceli yer yapısıdır. Kaya malzemesi için Js, 1 olarak alınır.

Hesaplamalar sonucunda kazılabilirlik indeksi değerine (N) göre yapılan sınıflama ve bu sınıflama kullanılarak düzenli depolama alanında yüzeyleme veren kayaçların sökülebilirlik özellikleri Tablo 3.45'te verilmiştir.

Depolama alanındaki jeoteknik birimlerin kaya kütle sınıflama sistemlerinden yararlanarak, farklı araştırmacılar tarafından önerilen sınıflamalara göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmeleri sonucunda, A1 jeoteknik biriminin genel itibariyle orta işlevli kazı makineleriyle zor sökülebilir, A2 ve B1 jeoteknik biriminin ise çok zor sökülebilir sınıfa girdiği belirlenmiştir. Çalışma alanında yüzeyleme veren kayaçların sismik ve jeomekanik yöntemlerle belirlenen kazılabilirlik sınıflamaları ve dereceleri

incelendiğinde sonuçların birbirini desteklediği görülmektedir. Değerlendirmede farklı sınıflandırma sistemlerinin kullanılması kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliğinin daha hassas bir şekilde ortaya çıkarılmasını sağlamıştır.

Tablo 3.45. Düzenli depolama alanındaki kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmesi

Kazılabilirlik sınıflaması (Kristen, 1982)		Jeoteknik birimler		
Kazılabilirlik derecesi	Toplam puan	A1	A2	B1
Oldukça zor sökülür/patlatma	1000-10000			
Çok zor sökülür	100-1000		370	409
Zor sökülür	10-100	74		
Kolay sökülür	1-10			

Gerek sismik hızlar gerekse jeomekanik özellikler kullanılarak kayaçların sökülebilirlik açısından değerlendirilmesi sonucunda, önerilen depolama alanının depolamadan önce uygun hale getirilebilmesi için A1 ve A2 jeoteknik birimlerinde orta veya ağır işlevli kazıcılar kullanılarak, B1 jeoteknik biriminde ise hidrolik kırıcılarla şev düzenlemesinin yapılması gerekmektedir. Önerilen düzenli depolama alanının önceki yıllarda çimento hammadde ocağı olarak işletilmesi esnasında ortaya çıkan toprak döküntüsü ile çalışma alanı çevresinde geniş yayılımlar gösteren yamaç molozu çok kolay kazılabilir, kaya döküntüsü ise orta derecede sökülebilir sınıfına girmesi, bunların orta işlevde iş makineleriyle kolaylıkla kazılabileceğini göstermektedir.

3.13. Düzyurt Düzenli Depolama Alanındaki Kaya Şevlerinin Stabilitesi

Kaya şevlerinin duraylılık analizleri başlıca dört grupta toplanır. Bunlar konvansiyonel yöntemler (kinematik analizler), sayısal analizler, etkileşim matriksi yöntemleri ve kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizler şeklinde sıralanabilir. Kaya şevlerinin duraylılığı, genel olarak şevin kazıldığı kaya kütledeki tabaka düzlemleri, eklemler ve faylar gibi doğal süreksizliklerle kontrol edilir. Bu nedenle şev duraylılık çalışmalarının neredeyse tamamında sahanın yapısal jeolojisi dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada ise kaya şev duraylılığı süreksizliklerin yapısal özellikleri dikkate alınarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada süreksizliklerin özellikleri hat etüdü çalışmalarıyla belirlenmiştir, ikinci aşamada süreksizliklerin duraylılık üzerine etkileri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra bu çalışmada kinematik analizler sonucunda elde edilen veriler, kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizlerle desteklenmiştir.

3.13.1. Kinematik Analizler

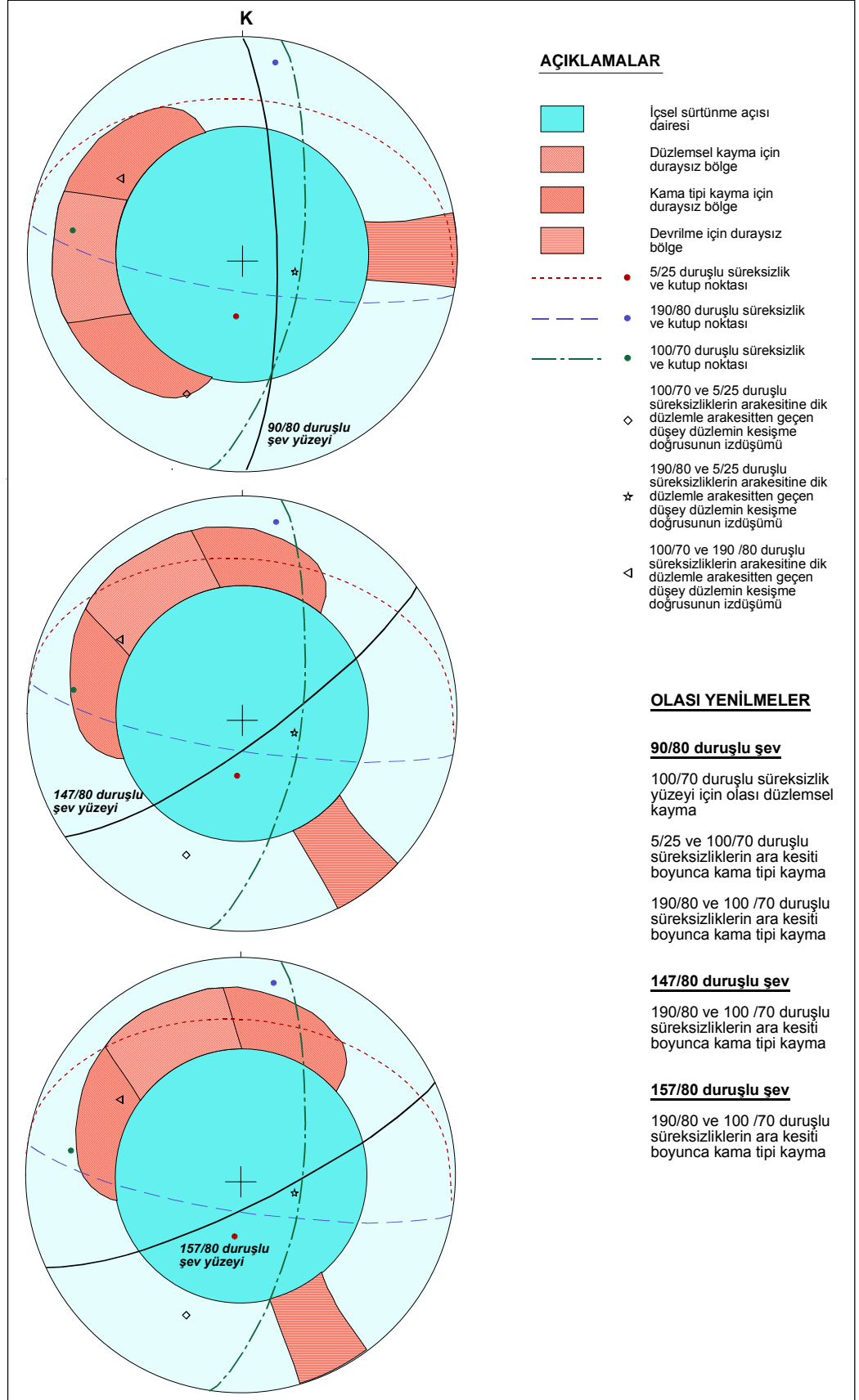
Kinematik analizler kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda, ayrıntılı analizlere başlamadan önce şevlerin duraylı veya duraysız olarak tanımlanması amacıyla uygulanan pratik bir yöntemdir.

Jeoteknik çalışmalarda, genel tasarım prosedürü potansiyel olarak duraysız blokların teşhisi için kinematik analizin kullanılmasının ardından ayrıntılı sayısal analizlere geçilmesi esasına dayandırılmalıdır. Kayma ve devrilme türü yenilmelerin analiz edildiği bu yöntemde veri olarak süreksizliklerin yönelimi, şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma direnci parametreleri kullanılmaktadır.

Çalışmada birleşik kinematik analiz yöntemi uygulanmış, kama tipi kayma analizi için şev yüzeyi ile süreksizlik düzlemlerinin kesişme doğrularından geçen ve süreksizlik yüzeylerine dik olan düzlemlerin kutuplarının çizdiği yenilme zarfı kullanılmıştır. 3 ayrı şev için stereonet üzerindeki duraylılık koşulları Şekil 3.55'te, duraylılık analizi yapılan şevlerin geometrik özellikleri, süreksizliklerin doğrultu ve eğimleri, tilt deneyleri yardımıyla belirlenen süreksizliklere ait içsel sürtünme açıları ve farklı şevler için olası yenilme durumları Tablo 3.46'da verilmiştir.

Şekil 3.54'te görüldüğü gibi 90/80 duruşlu şev yüzeyinde, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi boyunca düzlemsel kayma, 100/70-190/80 ve 100/70-5/25 duruşlu süreksizliklerin arakesiti boyunca da kama tipi kayma, 147/80 duruşlu şev yüzeyinde ise sadece 100/70-190/80 duruşlu süreksizliklerin arakesiti boyunca da kama tipi kayma olasıdır. 157/80 duruşlu şevde ise herhangi bir kütle hareketi olası değildir.

Kinematik analizler kullanılarak yapılan duraylılık analizleri sadece ön çalışma niteliğinde olup, güvenlik katsayısı hakkında fikir vermez. Arazi gözlemleri kinematik analizler sonucunda bulunan sonuçlarla beraber değerlendirilmeli ve olası bir kütle hareketinin boyutları araştırılmalıdır.



Şekil 3.54. Farklı konumlu şevler için yenilme zarfları kullanılarak kaya şevlerindeki olası yenilmelerin belirlenmesi

Çalışmada düzenli depolama alanında yapılan jeolojik ve jeoteknik gözlemler sonucunda 147/80 ve 157/80 duruşlu şevlerde herhangi bir kütle hareketinin söz konusu olmayacağı sonucuna varılmıştır. Ancak 90/80 duruşlu şev yüzeyinde düzlemsel ve kama tipi kayma beklenebilir.

Arazi gözlemleri ve yapısal analizler sonucunda elde edilen sonuçların tam olarak örtüşmemesi daha hassas duraylılık çalışmaları gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada, jeomekanik sınıflamalar yardımıyla daha hassas analizler yapılmış ve yapısal jeoloji tabanlı kinematik analizler sonucunda kütle hareketi beklenen şevler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tablo 3.46. Düzenli depolama alanındaki şevlerin geometrik özellikleri ve bu şevlerde beklenen olası kütle hareketleri

Şev konumu	90/80 (Şev 1)	147/80 (Şev 2)	157/80 (Şev 3)	Şev ve süreksizliklerin geometrisi
Uzunluk (m)	40	80	50	
Yükseklik (m)	35	25	40	
İçsel sürtünme açısı	38	39	40	
Olası yenilme türü	Düzlemsel ve kama tipi kayma	Kama tipi kayma	Duraylı	

3.13.2. Şev Duraylılığı İçin Jeomekanik Sınıflama (SMR)

İlk olarak Romana (1985, 1993, 1995) tarafından önerilen ve Romana vd. (2003) tarafından geliştirilen SMR (slope mass rating) sisteminde, Bieniawski (1989) tarafından önerilen RMR sistemi kullanılarak kaya şevlerinin duraylılık açısından sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu yöntemde temel RMR puanına kazı yöntemine bağlı olarak oluşan örselenmeyi ifade eden faktörler ve süreksizlik ile şevin eğim yönleri ve eğimleri arasındaki ilişkiyi ifade eden düzeltme faktörleri eklenmiştir (Tablo 3.47).

Tablo 3.47. Süreksizlikler için SMR sistemindeki düzeltme faktörleri (F_1 , F_2 ve F_3) ile kazı için düzeltme puanı (Romana, 1985, 2003).

Süreksizlikler için düzeltme faktörleri (F_1 , F_2 ve F_3)	α_j = süreksizlik eğim yönü α_s = şev eğim yönü			β_j = süreksizliğin eğim açısı β_s = şevin eğim açısı	
	Çok uygun	Uygun	Zayıf	Uygun değil	Hiç uygun değil
Düzlemsel kayma için $ \alpha_j - \alpha_s $ Devrilme için $ \alpha_j - \alpha_s - 180 $	$> 30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$< 5^\circ$
F₁ değeri	0.15	0.4	0.7	0.85	1
	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
$ \beta_j $ Düzlemsel kayma Devrilme	$< 20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$> 45^\circ$
F₂ değeri	0.15	0.4	0.7	0.85	1
F₂ değeri	1				
	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
Düzlemsel kayma için $(\beta_j - \beta_s)$ Devrilme için $(\beta_j - \beta_s)$	$> 10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0^\circ-(10^\circ)$	$< -(10^\circ)$
	$< 110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
F₃ değeri	0	-6	-25	-50	-60
	F_3 (süreksizlik yönelimi için Bieniawski düzeltme puanı (1976))				
Kazı metodu için düzeltme puanı	$F_4 = \text{Kazı metodu için ampirik değerler}$				
	Doğal şev	Ön çatlatma	Tarama patlatması	Mekanik kazı	Kötü patlatma
F₄ değeri	+15	+10	+8	0	-8

Bu faktörleri dikkate alan SMR puanı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$SMR = RMR_{temel} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (3.12)$$

F_1 faktörü şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi doğrultuları arasındaki paralellik ilişkisi olarak tanımlanır ve düzlemler arasındaki açı 30° 'den fazla ise 0.15, düzlemler kendi aralarında paralel ise 1 değerini alır. F_1 faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$F_1 = (1 - \sin \delta)^2 \quad (3.12)$$

Burada, δ : şev ve süreksizlik yüzeylerinin doğrultuları arasındaki açıdır

F_2 faktörü, düzlemsel kayma türü yenilmede süreksizlik yüzeyinin eğimine bağlıdır. Bu faktör, süreksizlik kesme direncinin de bir ifadesi olarak ele alınmaktadır. Süreksizlik

eğim açısı 45° 'den fazla ise 1, 20° 'den düşük ise 0.15 değerini alır. Faktör devrilme türü yenilme için 1 kabul edilir. Düzlemsel kayma analizi için aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmektedir.

$$F_2 = \tan^2 \beta_j \quad (3.14)$$

Burada β_j : süreksizlik eğim açısıdır.

F_3 faktörü, şev düzlemi ile süreksizlik düzleminin eğim açısı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu faktör, düzlemsel kayma tipi yenilmede süreksizliğin şev düzlemini kesip kesmediğinin bir göstergesidir.

F_4 faktörü ise şevin kazı yöntemine bağlı olarak şevin örülenme durumunu gösteren parametredir.

SMR puanı, şevlerin duraylılık açısından sınıflandırılmasında kullanıldığı gibi duraysız şevlerde duraylılığı sağlamak ve/veya oluşabilecek zararları engellemek için alınacak önlemlerin belirlenmesinde de kullanılan bir sınıflama sistemidir (Şekil 3.55).

SMR değerlerine göre olası yenilmeler										
Düzlemsel kayma		Çok büyük			Ana yenilme		Yok			
Kamasal kayma					Blokların çoğunda	Bazı bloklarda	Çok az blokta	Yok		
Devrilme					Ana yenilme	Az miktarda ve sıklıkta	Yok			
Kütlesel yenilme		Olası			Olası değil					
SMR		10	20	30	40	50	60	70	80	90
SMR değerlerine göre destek türleri										
Yeniden kazı		Yeniden kazı İstinat duvarı								
Drenaj		Yüzey ve yeraltı sularının drenajı								
Beton		Püskürtme beton Dolgu beton Topuğa ağırlık koyma								
Güçlendirme		Kaya blonu, ankraj								
Koruma		Kaya toplama hendeği, çelik hasır								
Destek yok		Yeniden tasarım								

Şekil 3.55. SMR puanına göre şevlerin duraylılık sınıflaması, şevde görülebilecek yenilme türleri ve duraylılığı sağlamak için gerekli önlemler (Romana, 2003).

Duraylılık analizi yapılan kaya şevlerinde SMR puanı hesaplanırken farklı süreksizlikler için elde edilen F_1 , F_2 ve F_3 faktörleri Tablo 3.48’de verilmiştir. F_4 faktörü tüm jeoteknik birimler için 0 alınmıştır.

Tablo 3.48. Düzyurt düzenli depolama alanındaki şevler için SMR puanı hesaplanmasında kullanılan düzeltme faktörleri

Süreksizlik	Yenilme türü	Şev Duruşu											
		90/80				157/80				147/80			
		F1	F2	F3	DF	F1	F2	F3	DF	F1	F2	F3	DF
5/25	Düzlemsel kayma	0.15	0.217	-60	-1.953	-	-	-	-	-	-	-	-
	Devrilme	-	-	-	-	0.15	1	0	0	0.15	1	0	0
100/70	Düzlemsel kayma	0.682	1	-50	-34.1	0.15	1	-50	-7.5	0.15	1	-50	-7.5
	Devrilme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190/80	Düzlemsel kayma	-	-	-	-	0.15	1	-25	-3.75	0.15	1	-25	-3.75
	Devrilme	0.15	1	-25	-3.75	-	-	-	-	-	-	-	-
* (18/25)	Kama tipi kayma	0.15	0.217	-60	-1.953	0.15	0.217	-60	-1.953	0.15	0.22	-60	-1.953
** (280/5)	Kama tipi kayma	0.15	0.15	-60	-1.35	0.15	0.15	-60	-1.35	0.15	0.15	-60	-1.35
*** (126/68)	Kama tipi kayma	0.15	1	-60	-9	0.15	1	-60	-9	0.412	1	-60	-27.72

DF: düzeltme faktörü, * 5/25-100/70 arakesiti, ** 5/25-190/70 arakesiti, ***190/80-100/70 arakesiti

Hesaplamalar yapılırken, ortamın geçirimsiz olduğu göz önünde bulundurularak SMR puanı hesaplanmıştır.

SMR sınıflama sisteminde, blok kayması ve devrilme türü yenilmeler analiz edilmekte, kama tipi kayma ise, blok kayması şeklindeki kaymanın özel bir türü olarak değerlendirilmektedir. Ancak kama tipi kayma, iki süreksizliğin oluşturduğu ara kesitin şev yüzeyini kesmesi sonucunda gelişmektedir.

Anbalagan vd. (1992) düzlemsel ve kama tipi kaymanın farklı değerlendirmeleri gereğinden yola çıkarak SMR sistemini yeniden düzenlemişlerdir. Bu düzenleme için düzeltme faktörleri hesaplanırken süreksizlik düzlemlerinin eğim ve doğrultuları yerine süreksizliklerin ara kesitinin yönlem ve dalımı hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Çalışmada, kama tipi kayma duraylılık analizleri yapılırken, yenilmenin tahmini için süreksizliklerin ara kesit doğrusunun yönlem ve dalım değerleri kullanılmış, buna göre düzeltilmiş SMR puanları kullanılmıştır.

Tablo 3.49, 3.50 ve 3.51’de verilen SMR puanları şevlerde suyun olmadığı kuru durum dikkate alınarak bulunmuştur.

Tablo 3.49. 90/80 duruşlu şevdeki jeoteknik birimler için hesaplanan SMR puanları

Şev duruşu		90/80					
Jeoteknik birimler		Jeoteknik birim A1			Jeoteknik birim A2		
Süreksizlikler		5/25	100/70	190/80	5/25	100/70	190/80
Temel RMR puanı		55.4			67.5		
SMR puanı	Düzlemsel kayma	53.45	21.3	Duraylı	65.55	Duraylı	Duraylı
	Devrilme	Duraylı	Duraylı	51.65	Duraylı	33.4	63.75
	Kama	18/25	280/5	126/68	18/25	280/5	126/68
	Süreksizlikler	53.45	54.05	46.4	65.55	66.15	58.5

SMR sınıflama sistemine göre, 90/80 duruşlu şev incelendiğinde Jeoteknik birim A1'de görülen 100/70 duruşlu süreksizlik boyunca düzlemsel kayma, 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti (126/68) boyunca kama tipi kayma olasılığı, Jeoteknik birim A2'de görülen 100/70 duruşlu süreksizlik boyunca devrilme olasılığı bulunmaktadır.

Tablo 3.50. 147/80 duruşlu şev için hesaplanan SMR puanları

Şev duruşu		147/80		
Jeoteknik birimler		Jeoteknik birim B1		
Süreksizlikler		5/25	100/70	190/80
Temel RMR puanı		67.65		
SMR puanı	Düzlemsel kayma	Duraylı	60.15	63.9
	Devrilme	Duraylı	Duraylı	Duraylı
	Kama	18/25	280/5	126/68
	Süreksizlikler	65.70	66.30	40.03

SMR sınıflama sistemine göre, 147/80 duruşlu şev incelendiğinde Jeoteknik birim B1'de görülen 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti (126/68) boyunca blokların bir kısmında kama tipi kayma olasılığı bulunmaktadır.

Tablo 3.51. 157/80 duruşlu şevdeki jeoteknik birimler için hesaplanan SMR puanları

Şev duruşu		157/80					
Jeoteknik birimler		Jeoteknik birim A1			Jeoteknik birim A2		
Süreksizlikler		5/25	100/70	190/80	5/25	100/70	190/80
Temel RMR puanı		55.4			67.5		
SMR puanı	Düzlemsel kayma	Duraylı	47.9	51.65	Duraylı	60	63.75
	Devrilme	Duraylı	Duraylı	Duraylı	Duraylı	Duraylı	Duraylı
	Kama	18/25	280/5	126/68	18/25	280/5	126/68
	Süreksizlikler	53.45	54.05	45.5	65.55	66.15	58.5

SMR sınıflama sistemine göre, 157/80 duruşlu şev incelendiğinde Jeoteknik birim A1'de görülen 100/70 duruşlu süreksizlik boyunca düzlemsel kayma, 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti (126/68) boyunca blokların bir kısmında kama tipi kayma olasılığı bulunmaktadır.

Çalışmada, kinematik analizler ve kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılarak belirlenen ve birbirleriyle uyum gösteren duraylılık analiz sonuçları arazi gözlemleriyle denştirilmiştir ve yalnızca 90/80 duruşlu şevde 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi boyunca olası düzlemsel kayma, 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti (126/68) boyunca kama tipi kaymanın gelişebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak 90/80 duruşlu şevde beklenen olası düzlemsel kaymanın ve 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti boyunca gelişebilecek olası kama tipi kaymanın önüne geçilebilmesi için şevlerin püskürtme beton ile güçlendirilmesi veya basamaklandırılması yeterli olacaktır.

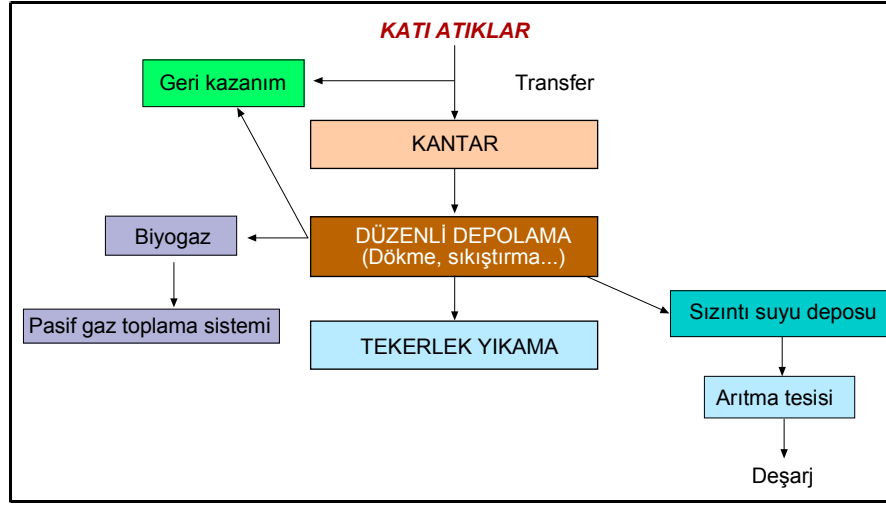
3.14. Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Projelendirilmesi

Düzenli depolama alanlarının projelendirilmesinde, taban sızdırmazlığının sağlanması, sızıntı suyunun toplanarak münferit veya müşterek bir arıtma tesisinde arıtılması, depo gazının kontrollü olarak atmosfere verilmesi veya toplanarak enerji elde edilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerdir. Bunun yanı sıra depolama işlemi tamamlandıktan sonra depo sahasının üstünün tekrar sızdırmaz bir örtü ile örtülerek yeşillendirilmesi sağlanmalıdır. Orta ölçekli bir katı atık düzenli depolama sahasına ait genel akış şeması Şekil 3.56'da verilmiştir.

3.14.1. Düzenli Depolama Alanının Kapasitesi

Katı atık yönetiminde, geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan ve tek nihai katı atık bertaraf yöntemi olan düzenli depolama, diğer bertaraf yöntemlerine göre ekonomik olması ve karmaşık teknolojik uygulamalar gerektirmemesi nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir. Ancak arazi kapasitesinin düşük, buna bağlı olarak proje süresinin az olması durumu bu yöntemin ekonomiklik avantajını ortadan kaldırmaktadır (Tchobanoglous vd., 1977). Düzenli depolama yönteminde karşılaşılan en önemli problem

ise uygun depolama alanının seçimidir. Bu nedenle düzenli depolama işleminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için proje süresinin en az 10 yıllık olması gerekmektedir.



Şekil 3.56. Proje süresince öngörülen katı atık yönetim sistemi akış şeması

Bu çalışmada önerilen Düzyurt düzenli depolama alanının kapasitesi hesaplanarak, bu alanın, 2025 yılına kadar sürecek proje boyunca Trabzon İli'nde üretilecek katı atığın depolanması için yeterli hacme sahip olup olmadığı araştırılmıştır.

Bölüm 3.3'de açıklandığı gibi, katı atık üretim oranına, katı atık miktarına ve yoğunluğuna bağlı olarak Tchobanoglous vd. (1977) tarafından geliştirilen yöntemler kullanılarak, Trabzon İli'nde 2025 yılına kadar devam edecek bir proje süresince üretilecek katı atık miktarı ve gerekli olan alan ve hacim hesapları yapılmıştır. Depolama kalınlığı 5.5 metre düşünüldüğünde, 491 920 m²'lik alana sahip (2 705 506 m³) bir depolama alanının Trabzon İli'nde 2025 yılına kadar üretilecek katı atığı depolayacak kapasitede olabileceği belirlenmiştir.

Önerilen Düzyurt düzenli depolama alanının morfolojik yapısı düşünüldüğünde ortalama atık yüksekliğinin en az 20 metre olması öngörülmüştür. Bu durumda Trabzon İli'nde proje süresince üretilecek katı atığının depolanması için gerekli olan alan ihtiyacı 98 384 m² olarak hesaplanmıştır. Çalışmada depolama alanının bu koşullar altında kapasitesini belirlemek amacıyla, önerilen depolama alanı 10 metrelik gridlere ayrılarak arazide kot ve koordinat ölçümleri yapılmıştır. Eğimin arttığı alanlarda bu mesafe kısaltılırken, eğimin değişmediği alanlarda azaltılmıştır. Sonuçta elde edilen veriler Surfer 8.0 programında değerlendirilerek sayısal arazi modeli oluşturulmuş (Şekil 3.57) ve

depolama sahasının taban alanının 101600 m² olduğu hesaplanmıştır. Trabzon İli'nde proje süresi boyunca üretilecek atıklar için, 20 metrelik ortalama atık kalınlığı düşünülürken, gerekli olan alan ihtiyacının 98384 m² olması, önerilen depolama alanının depolama ihtiyacını karşıladığını göstermektedir.

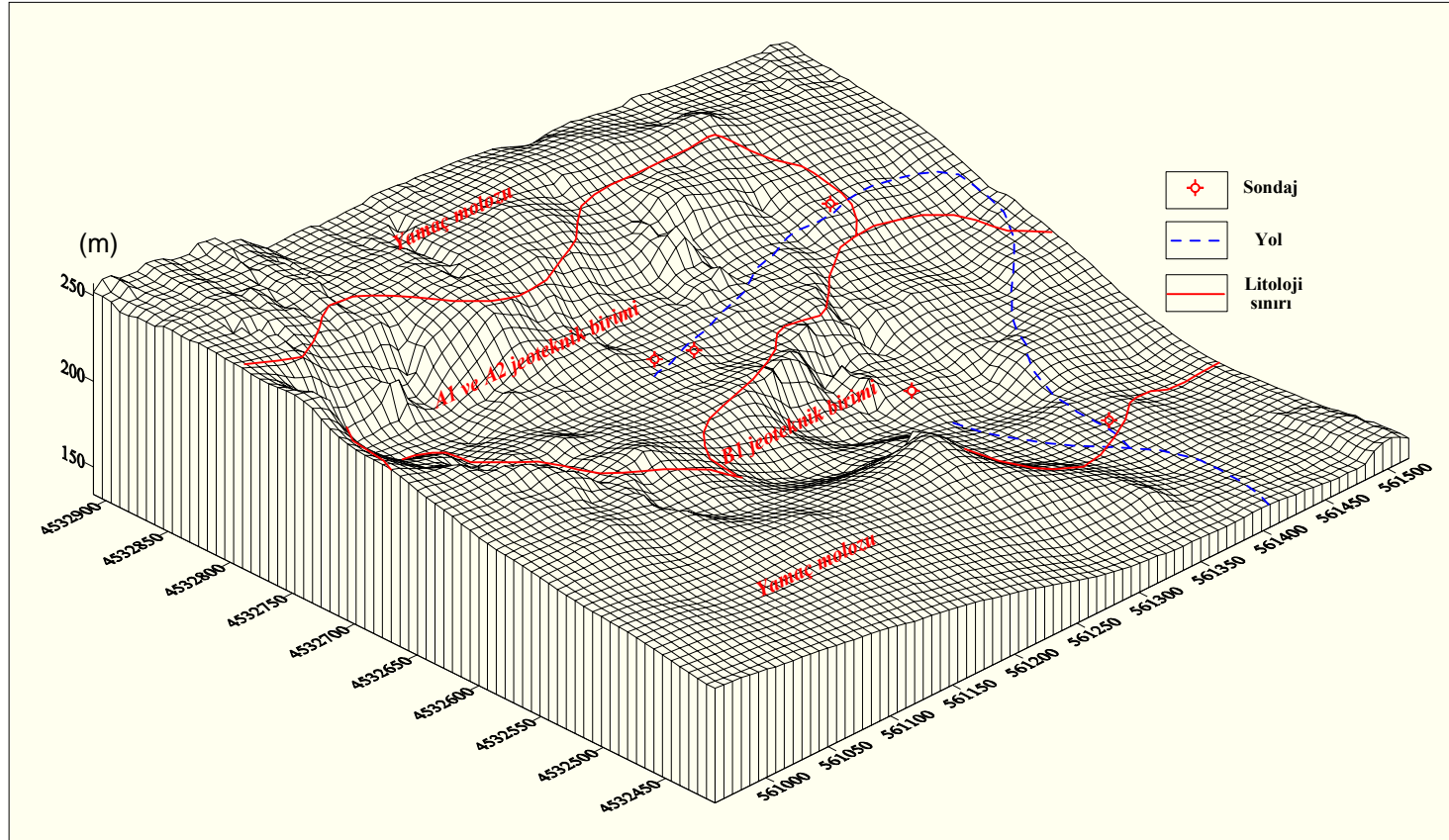
3.13.2. Düzenli Depolama Tesisi Üniteleri

Katı atık yönetiminde hangi katı atık bertaraf yöntemi uygulanırsa uygulansın, geriye depolanması gereken maddeler kaldığı için düzenli depolama, tek nihai bertaraf yöntemidir. Katı atıkların bertarafı için en yaygın uygulanan, ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik olan düzenli depolamada, sahanın mühendislik prensiplerine uygun olarak depolamaya uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Düzenli depolama için seçilen alanda oluşacak atık sızıntı sularının yeraltına sızmasını önlemek için depolama sahasının geçirimsizliği yönetmeliklere uygun olarak sağlanmalı ve bu sızıntı sularını toplayacak ve uygun ortamlarda depolayacak drenaj sistemleri yapılmalıdır. Depolamaya geçilmeden önce özellikle tercih edilen yöntem kanyon yöntemi ise, şevlerin stabilite problemleri ortadan kaldırılmalıdır.

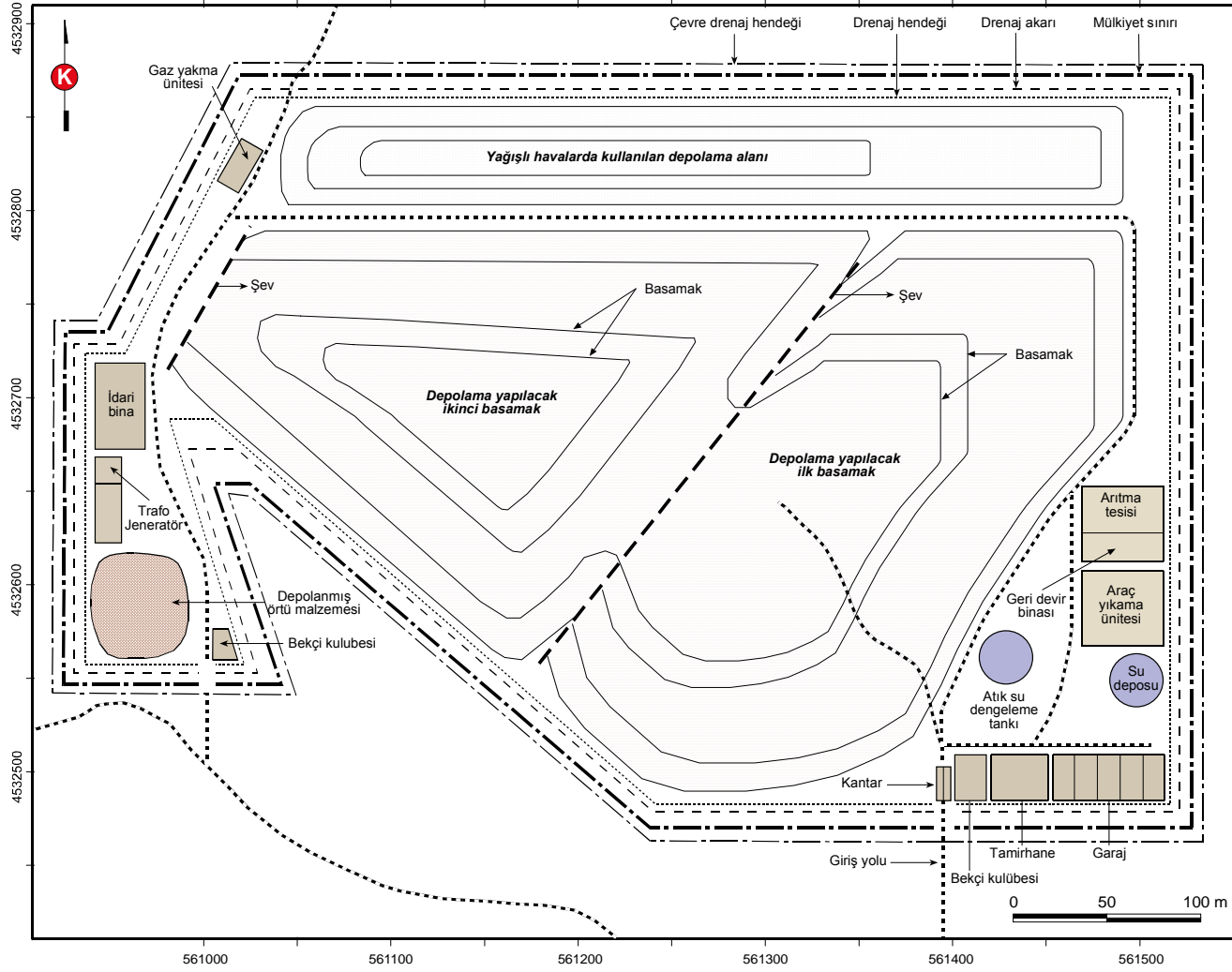
Bu hazırlıklar yapıldıktan sonra atıkların sahaya dökülmesi işlemine başlanmalı ve dökülen atıklar iyice sıkıştırıldıktan sonra günlük olarak bir örtü malzemesiyle (genellikle toprak) örtülmelidir.

Depolama alanı doldukça, organik aktiviteler sonucu oluşacak olan gazları uzaklaştırmak için gerekli baca gazı toplama sistemleri kurulmalıdır. Proje süresi sonunda nihai depolama tamamlandıktan sonra, depolama sahasının üzeri teknik usul ve yönetmeliklere uygun olarak örtülmelidir. Planlanan tesise ait üniteler; giriş yolu, bekçi binası, kantar binası ve platformları, tel örgü, atölye, garaj, su deposu, fosseptik, lastik yıkama, sızıntı suyu deposu, depolama sahası ve idare binasından oluşmalıdır.

Düzyurt düzenli depolama alanı için bu ünitelerin genel yerleşim planı Şekil 3.58'de verilmektedir.



Şekil 3.57. Düzyurt düzenli depolama alanına ait sayısal arazi modeli



Şekil 3.58. Düzyurt düzenli depolama alanı genel yerleşim planı

3.14.2.1. Bekçi Kulübesi, Kantar Binası ve Platformu

Düzenli depolama sahasına kontrollü giriş ve çıkışı sağlayacak olan personelin bulunduğu bekçi kulübesi, sahanın girişinde yer almalıdır. Depolama sahasına gelen araç şoförlerinin kimlikleri ve atıkların cinsi burada bir veri tabanına günlük olarak kaydedilir. Düzenli depolama alanına gelecek katı atık toplama kamyonu, bekçi kontrolünden sonra kantar binası önünde bulunan platform üzerinde durduktan sonra kantarda tartım yapılır ve sahaya getirilen atık miktarı ölçülür. Kantar binası önünde duracak atık toplama kamyonunun tartımı için kurulacak kantar, elektronik ölçüm düzenekli olmalı, ağırlık bilgileri, atık geliş tarihi, saati ve atık toplama kamyonu ile ilgili temel bilgiler bilgisayar ortamında kaydedilmelidir.

3.13.2.2. İdari Bina

Depolama sahasının idari merkezi olan bina konum olarak depolama sahası girişi, kantar, tamir bakım atölyesi, garaj, araç yıkama ünitesi ve katı atık depolama bölümü gibi diğer birimlerin görüş alanı içerisinde olacak şekilde inşa edilmelidir. Binada ofis, laboratuvar, tuvalet, doktor odası, ısıtma merkezi, mutfak ve yemekhane bölmeleri tasarlanmalı, belirli periyotlarda alınan çöp sızıntı suyu numuneleri ve gaz gözlem kuyularından alınacak örneklerin analizleri laboratuvarda yapılmalıdır.

3.13.2.3. Tamir Bakım Atölyesi, Garaj, Trafo ve Jeneratör

Düzenli depolama sahasında kullanılacak araçların periyodik bakımları ile tüm tamirat işleri, depolama alanı içinde bulunan tamir bakım atölyesi içerisinde gerçekleştirilmelidir. Tamir bakım atölyesinin yanında en az 4 adet aracın park edebileceği şekilde kapalı ve kilitlenebilir yapıda bir garajın olması gerekmektedir. Tesisteki birçok ünite için ihtiyaç duyulacak enerjiyi sağlamak için sahada bir trafo kurulmalı, enerji kesintisi olması durumunda en azından acil durum sistemlerinin çalışmasını karşılayacak kapasitede bir de jeneratör bulunmalıdır.

3.13.2.4. Araç Yıkama Ünitesi ve Su Deposu

Çöp toplama araçları doğrudan depolama alanına girerek boşaltma yapmaları ve depo alanı iç yollarının toprak olması nedeniyle, araçların tekerleklerine çamur ve atıkların yapışması muhtemeldir. Bu nedenle düzenli depolama alanından dışarıya kirlilik taşınmasını engellemek için kamyon tekerleklerinin temizlenmesi için tekerlek yıkama ünitesinin yapılması kaçınılmazdır. Tekerlek yıkama ünitesi, katı atık sahasında boşaltma yaptıktan sonra dönecek katı atık toplama kamyonlarının geçiş yolu üzerinde inşa edilmelidir. Toplam 12 m x 3.5 m boyutlarındaki tekerlek yıkama ünitesinin derinliği en az 0.30 m olmalıdır. Depolama alanına giriş ve çıkışta su içinden geçen araçlar lastiklerde biriken atık kalıntılarını suya bırakmak suretiyle alıcı ortamlar kirlilik taşınımı engellenir.

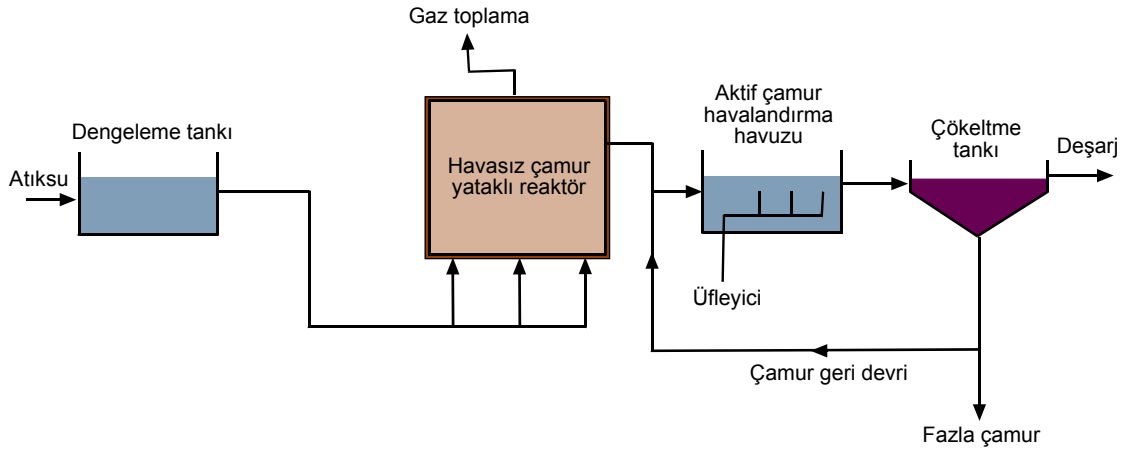
Bunun yanı sıra, katı atık düzenli depolama sahasında tekerlek yıkama ünitesi, tamir ve bakım ünitesi, kullanma suyu ile yangın söndürme suyu ihtiyacı için, yeterli kapasitede bir su deposu inşa edilmelidir. Yangın söndürme amacıyla manevra odasında 2 adet pompa bulunmalıdır. Depolama alanında oluşan kullanma suyu kaynaklı atık sular, sızdırmaz fosseptikte biriktirilmeli ve belirli aralıklarda vidanjörler ile sahadan taşınmalıdır.

3.13.2.5. Katı Atık Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi ve Geri Devir Binası

Katı atıklardan kaynaklanan en önemli çevre kirliliği, oluşacak sızıntı sularının alıcı ortamları kirletmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, katı atık düzenli depolama sahası tabanında oluşan sızıntı suyu, drenaj sistemleri ile sızıntı suyu toplama havuzuna hareket ederek biriktirilmeli ve bu havuz da buharlaştırmaya açık olmalıdır. Havuz kapasitesinin belirli bir seviyeye ulaşması durumunda sızıntı suyu, geri devir binasında yer alan pompalar sayesinde depolama sahasına geri pompalanarak yüzeysel sızdırma ile geri devrettirilmelidir. Böylece, atıkların stabilitesi daha hızlı sağlanırken, sızıntı suyu miktarının da azalması sağlanmış olur.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, düzenli depolama sahalarında, sızıntı suyunun toprağa sızarak su kaynaklarına karışmasını önlemek amacıyla sızıntı suyu toplama sisteminin kurulmasını öngörmektedir. Söz konusu düzenli depolama tesisinde, atık sular arıtıldıktan sonra depolama alanının yaklaşık 1 km doğusunda bulunan Değirmendere'ye deşarj edilebileceğinden yönetmeliklerdeki standartlarının sağlanması ve iki kademeli biyolojik arıtma tesisinin uygulanması yeterli olacaktır.

Aşağıda düzenli depolama alanı için tasarlanan sızıntı suyu arıtma tesisinin planı görülmektedir (Şekil 3.59).



Şekil 3.59. Düzyurt düzenli depolama alanı için önerilen sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

3.13.3 Ekipman ve Personel

Katı atık depolama alanlarında gerekli olan ekipmanın miktarı, boyutu ve tipi, depolama alanının büyüklüğüne ve seçilen depolama metoduna bağlıdır. Düzenli depolama alanının kullanılması esnasında genellikle paletli dozer (crawler), çelik tekerlekli kompaktör, vinç (dragline), kendinden yüklemeli scraper ve greyder tipi iş makineleri kullanılır (Şekil 3.60). Bu iş makineleri depolama alanının yapım aşamasında kullanılacağı gibi, atık yayma ve sıkıştırma, atıkların üzerini kaplama, çukur açma ve taşıma amaçlı kullanılabilirler (Brunner ve Keller, 1972).

Düzenli depolama alanında kullanılacak iş makinelerinin türü ve miktarı üretilen katı atık miktarı, dolayısıyla atık üreten nüfus ile doğru orantılıdır. Nüfusun 50 000-100 000 arasında olduğu ve atık üretiminin günlük 150-300 ton arasında değiştiği bölgelerde, 2 paletli dozer, 1 vinç (veya scraper) vesu kamyonu depolama alanının işletilmesi için yeterliyken (Tchobanoglous ve Kreith, 2002), nüfusun 100 000 den fazla, günlük üretilen atık miktarının ise 300 ton veya daha fazla olması durumunda 2 paletli dozer, 1 vinç veya scraper, su kamyonu, greyder, çelik tekerlekli kompaktör gibi iş makinelerine ihtiyaç duyulmaktadır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).



Şekil 3.60. Düzenli depolama alanında kullanılan iş makineleri, a: paletli dozer (crawlers), b: çelik tekerlekli kompaktör, c: vinç (dragline) ve d: kendinden yüklemeli scraper

Yukarıda verilen bilgiler dahilinde, Trabzon İli'nde üretilen katı atık miktarı günde yaklaşık 200 ton olduğu için, önerilen Düzyurt depolama alanının işletilmesi esnasında, 2 paletli dozer, 1 vinç veya scraper ve su kamyonu yeterli olacaktır.

Bunun yanı sıra Trabzon İli katı atıklarının depolanacağı düzenli depolama alanında üretilen katı atık miktarına bağlı olarak genel koordinasyonu sağlayacak bir işletme müdürü, gelen katı atıkların denetimi ve tartımını yapmak üzere görevli bir işletme personeli, depolama alanı giriş ve çıkışlarını kontrol edecek bir personel, gündüz gerekli olan temizlik işlerine bakacak ve gece vardiyalarında çalışacak en az üç görevli ve iş makinelerini kullanacak dört operatör olmak üzere en az on personel ihtiyacı bulunmaktadır.

3.13.4. Düzenli Depolama Metodunun Seçimi ve Atıkların Depolanması

Düzenli depolama yöntemleri genel anlamda üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar hendek, alan ve kanyon yöntemleridir. Yeterli derinlikte yüzey kaplama malzemesinin mevcut olduğu yerlerde ve yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı yerlerde hendek metodu uygulanırken, sahanın kazılmaya elverişli olmadığı ve ortamda

yeraltı suyunun bulunması durumunda alan metodu uygulanır. Kanyon yönteminde, kanyonlar, dar ve derin vadiler ve taş ocakları, düzenli depolama yapmak amacıyla kullanılırlar. Katı atıkları bu boşluklara yerleştirmek ve sıkıştırmak için kullanılan teknikler, sahanın geometrisine, mevcut yüzey kaplama materyalinin karakteristiklerine, bölgenin hidroloji ve jeolojisine, kullanılacak sızıntı suyu ve gaz kontrol tekniklerine göre değişir.

Yüzey drenajının kontrolü, kanyon/çöküntü alanlarının düzenlenmesinde en önemli kritik faktördür. Deponun gerisinde su birikmesini önleyebilmek için kanyonun en iç kısmından başlayarak ağız kısmına doğru doldurma yapılmalıdır. Bu tür sahaların işletmesi alan metodu ile aynıdır. Ancak kanyonun tabanı düz ise ilk metot olan hücre/hendek metodu kullanılabilir (Tchobanoglous, vd., 1993).

Önerilen Düzyurt düzenli depolama alanı eski bir çimento hammadde ocağıdır. Düzenli depolama alanının morfolojik özellikleri incelendiğinde en uygun düzenli depolama yönteminin kanyon metodu olduğu anlaşılır.

Katı atık depolanacak düzenli depolama alanının projelendirme başlamadan önce, mühendislik prensipleri ışığı altında depolama için uygun hale getirilmesi amacıyla, yamaç veya şevlerin duraylılık analizlerinin yapılması ve bu çerçevede önlemlerin alınması, kazı yapılacak alanların ve bölgedeki kayaçların kazılabilirlik niteliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yapılan arazi çalışmaları, Düzyurt düzenli depolama alanının depolamaya uygun hale getirilmesi için belli miktarlarda kazı yapılması gerekliliğini göstermiştir. Kazı genellikle ilk basamakta (taş ocağının tabanı) bulunan döküntü kayaç malzemesi içinde ve B1 jeoteknik biriminden oluşan şevde, ikinci basamakta ise toprak ve kayaç döküntüsünden oluşan malzeme ile A1 ve A2 jeoteknik birimlerinin ardalanmalı olduğu ikinci şevde gerçekleştirilecektir. Birinci (taş ocağının tabanı) ve ikinci basamağın tabanında döküntü malzemesinin kaldırılması için 1-2 metrelik kazılar yeterli olacaktır. Ancak hem alt hem de üst seviyede yer alan şevlerin eğimlerinin düşürülmesi amacıyla en az 10 metrelik kazı yapılması zorunluluğu bulunmaktadır.

Çalışmada, gerek sismik hızlar gerekse jeomekanik özellikler kullanılarak kayaçların sökülebilirlik açısından değerlendirilmesi sonucunda, önerilen depolama alanının depolamadan önce uygun hale getirilebilmesi için A1 ve A2 jeoteknik birimlerinde orta veya ağır işlevli kazıcılar, B1 jeoteknik biriminde ise kırıcılar kullanılarak şev düzenlemesinin yapılması gerekmektedir. Önerilen düzenli depolama alanının önceki

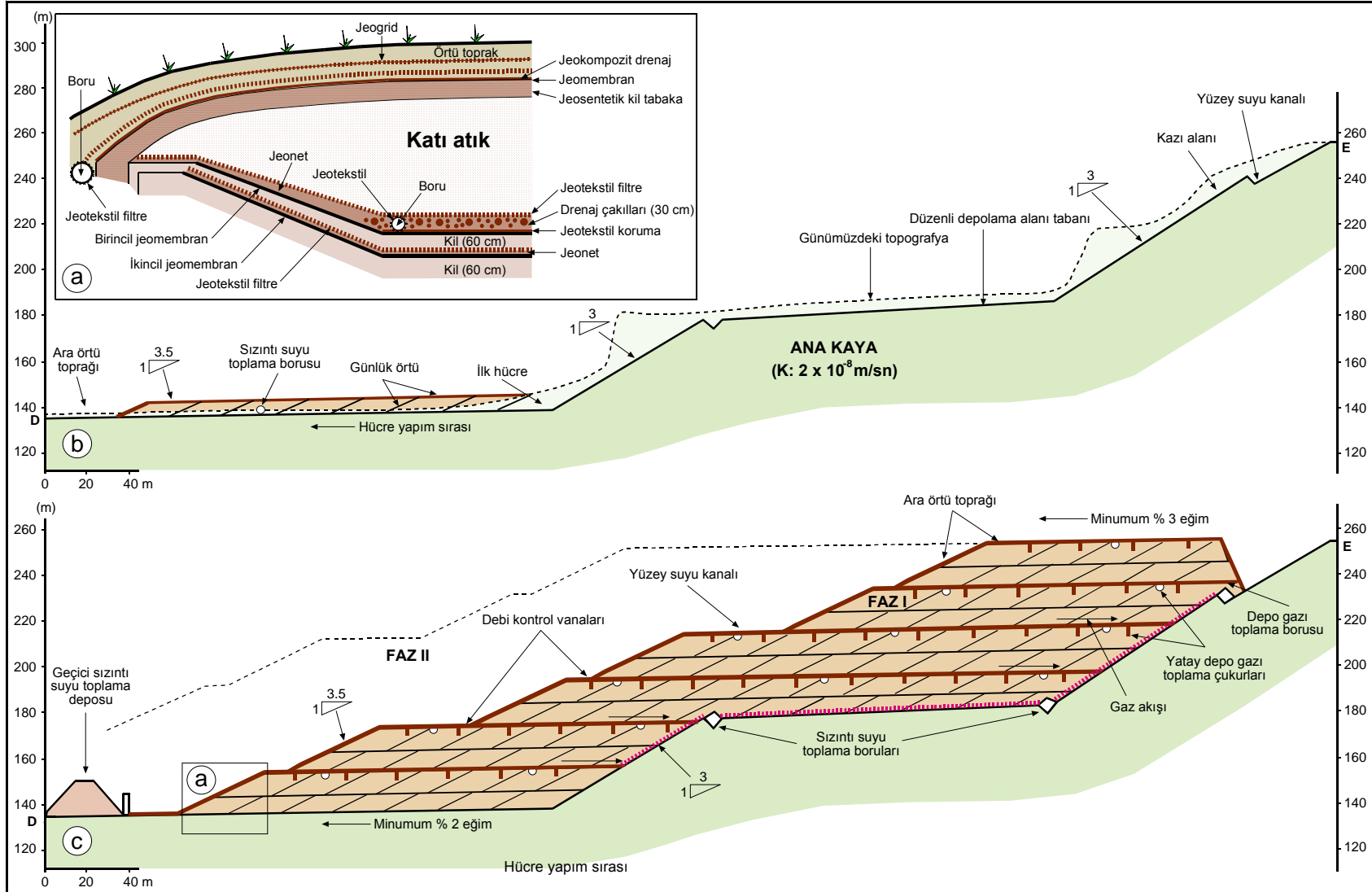
yıllarda çimento hammadde ocağı olarak işletilmesi sırasında ortaya çıkan toprak döküntüsü ile çalışma alanı çevresinde geniş yayılımlar gösteren yamaç molozu çok kolay kazılabilir, kaya döküntüsü ise orta derecede sökülebilir sınıfına girmesi, bunların orta işlevde iş makineleriyle kolaylıkla kazılabileceğinin göstermektedir.

Bunun yanı sıra, çalışmada, kinematik analizler ve kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılarak belirlenen ve birbirleriyle uyum gösteren duraylılık analiz sonuçları arazi gözlemleriyle denetlenmiştir. 90/80 duruşlu şevde kısmen 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi boyunca düzlemsel kayma beklenmektedir. Özellikle 147/80 ve 157/80 duruşlu şevlerde stabilite problemlerinin olmadığı veya çok düşük olasılıkla 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti (126/68) boyunca kama tipi kaymanın gelişebileceği sonucuna varılmıştır.

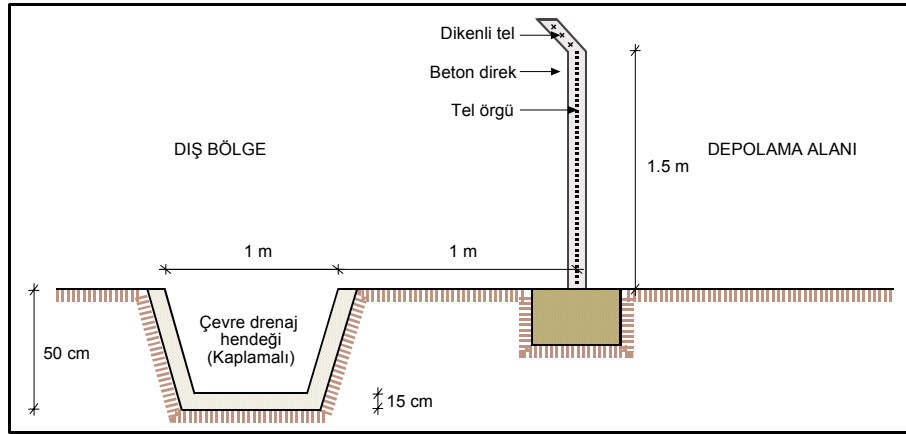
Sonuç olarak şevlerde gelişebilecek olası kütle hareketlerinin önlenmesi için şevlerin püskürtme beton ile güçlendirilmesi veya basamaklandırılması yeterli olacaktır. Ancak düzenli depolama alanının projelendirilmesinde şev eğiminin azaltılacak şekilde kazı yapılması, hem dizayn açısından hem de şev duraylılığı kontrolü açısından daha uygun görülmüştür.

Planlanan düzenli depolama alanının ilk hücreden itibaren doldurulması ile ilgili kesit ve ilk fazın tamamen doldurulmuş olması hali için depolama alanı kesiti Şekil 3.61'de verilmiştir.

Depolama işlemi sırasında, depolama alanına ilgisiz kişilerin ve hayvanların girişini, kağıt gibi hafif olan atıkların çevreye yayılmasını önlemek amacıyla depolama alanının en az 1.5 m yüksekliğinde ve aralıkları 4-5 cm olan çelik telle sarılı çevre çitiyle sarılması gerekmektedir (Şekil 3.62). Çevre çiti, çevre drenajıyla paralel olarak hazırlanmalıdır. Düzenli depolama alanı için yaklaşık 2500 m uzunluğunda ve 3750 m² lik örgü tel gereklidir.



Şekil 3.61. Düzenli depolama alanının ilk hücreden itibaren doldurulması ve ilk fazın tamamen doldurulmuş olması hali için kesiti



Şekil 3.62. Düzenli depolama alanı için planlanan çevre çiti

3.14.4.1. Taban Sızdırmazlığı

Katı atık düzenli depolama alanı, temel girişleri katı atık ve su, çıkışları ise sızıntı suyu ve depo gazı olan ve yarı kapalı sistem olarak tanımlanan bir biyokimyasal reaktör olarak ifade edilir. Düzenli depolama alanında depolanan katı atıklar çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik olaylar sonucu ayrışır. Ayrışmanın neticesinde katı, sıvı ve gaz halinde ürünler meydana gelir. Atığın içerisindeki organik maddeleri etkileyen biyolojik olaylar çöpün depolama alanına dökülmesinden hemen sonra meydana gelir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar birbirlerine bağlı olarak ilerledikleri için oluşan sızıntı suyu ve biyogaz kontrolüde beraber düşünülmelidir (McBean vd., 1995).

Katı atığın ayrışması esnasında belirli bileşikler aerobik olarak ayrışır. Oksijen temini tükendiğinde, fakültatif ve anaerobik mikroorganizmalar faaliyete geçerler.

Ayrışmanın aerobik fazı boyunca, organik madde mikroorganizmalar tarafından karbondioksit ve suya ayrışır. Bu faz, depolama alanı içerisindeki oksijenin sınırlı olmasından dolayı kısıtlıdır. Bu olaylar sonucunda ortamdaki oksijenin tükenmesiyle beraber anaerobik aktiviteler başlar. Bu durumda metan ve karbondioksit üretilirken azot ortamdaki giderilir. Çok uzun bir ayrışma periyodunun sonucunda hacimsel olarak gaz bileşiminin % 40-70'i metan, % 30-60'ı karbondioksit ve % 1'den daha azı da diğer gazlara aittir. Zamanla beraber katı atık içerisindeki ayrışabilir organik maddelerin seviyesinde bir azalma olmasıyla beraber metan oluşum hızında da bir azalma görülür. Bununla birlikte oluşan gazın bileşimi sabit kalır ve sızıntı suyu düşük organik ve inorganik konsantrasyonlarda nötr pH seviyesine ulaşır. Depolama alanlarında sızıntı suyu

oluşumunu açıklamak için birçok hipotez ortaya atılmıştır. Sızıntı suyu, suyun depolama alanı boyunca süzülmesinden kaynaklanan kirlenmiş sıvıdır. Bu sıvının kaynağı, yağmur suları, nem ve depolama alanına dökülen atıklardaki sular ve de ayrışmanın yan ürünleridir. Sızıntı suyunun kimyasal ve biyolojik özellikleri depolama alanında depolanan atıkların yapısına ve ayrışmanın derecesine bağlıdır. Yağış, sıcaklık, nem, yüzeysel akış, yeraltı suyu durumu ve depolama alanının yaşı sızıntı suyu miktarını kontrol eden en önemli faktörlerdir.

Bir depolama alanında başlangıçta sızıntı suyunun büyük bir kısmı doyma kapasitesine ulaşılan kadar atık tarafından tutulur. Doyma kapasitesi, atığın yer çekimi kuvvetine karşı tutabileceği maksimum su miktarıdır. Teorikte 1 kg katı atık 0.09-0.27 litre arasında sıvı tutabilir. Hatta bu değer belli koşullarda 0.65 litreye kadar çıkabilir. Katı atık su içeriğinin bu değerlerin üstüne çıkması halinde sızıntı suyu oluşumu gerçekleşir (Gendebien, 1992).

Yukarıda açıklanan tüm faktörler, biyoreaktör olarak davranan ve depolanan katı atığın cinsine göre belli miktarlarda biyogaz ve sızıntı suyu üreten depolama alanının belli mühendislik prensipleri çerçevesinde projelendirilmemesi sonucunda önemli bir çevre kirlenici ortam oluşturacağı sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle düzenli depolama alanında oluşacak sızıntı suyu ve metan gazının kontrolü önem taşımaktadır.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, düzenli depolama yapılacak alana öncelikle sıkıştırılmış ve kalınlığı en az 60 cm olan kil serilmelidir. Bu kil tabakasının geçirimsizlik katsayısı (permeabilite) 1×10^{-8} m/sn'den büyük olmamalıdır. Az çatlaklı kaya zeminlerde ise bu değer 1×10^{-7} m/sn olarak alınmalıdır.

Bu çalışmada, kaya ortamının yanal ve düşey devamlılığı ile fiziksel özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra ortamın taban sızdırma özelliğinin dolayısıyla permeabilite katsayısının belirlenmesi amacıyla 4 sondaj kuyusunda tek lastik yöntemi kullanılarak basınçlı su deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan basınçlı su deneyleri yorumlanarak ortamın geçirimsizliği belirlenmeye çalışılmış, sonuçlar ilk olarak Lugeon birimi şeklinde elde edildikten sonra m/sn cinsinden ifade edilmiştir. Yorumlamalar sonucunda, jeoteknik birimlerin ortalama geçirimsizlik değerleri 2×10^{-8} m/sn olarak hesaplanmıştır.

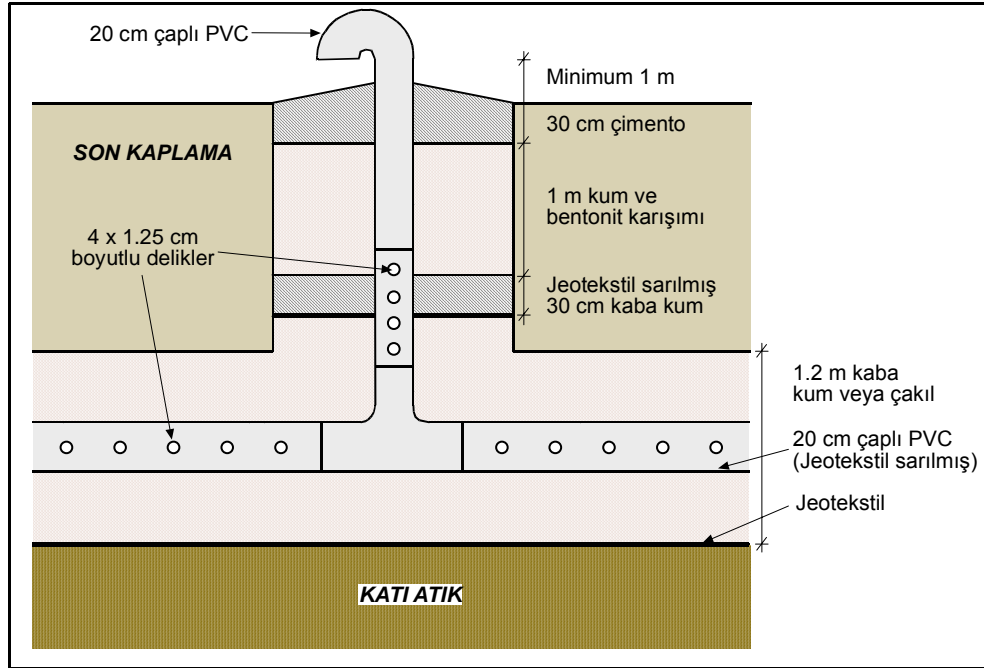
Jeoteknik birimler için hesaplanan permeabilite katsayısı değeri, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (1991) uymaktadır. Bu nedenle önerilen düzenli depolama alanı taban sızdırmazlığı için 60 cm'lik kil tabaka gerekliliği ortadan kalkmaktadır.

3.14.4.2. Depo Gazı Toplanması ve Kontrolü

Depolama alanında oluşan gazlar, atmosferik emisyonu, koku yayılımını, yüzey altı gaz hareketini azaltmak ve metandan enerji elde etmek amacıyla toplanırlar. Depo gazı kontrol sistemleri genel anlamda pasif ve aktif olmak üzere iki sınıfta toplanırlar. Pasif sistemde depolama alanında biriken gazın basıncı, gazın hareketini sağlayan en önemli etkidir. Genellikle küçük depolama alanları (40 000 m³) için gaz üretiminin az olduğu durumlarda tercih edilir. Sistem dış ortamdan izole edilmiş bir dizi delikli gaz borusundan ibarettir. Aktif gaz kontrol sistemlerinde ise bir vakuma neden olan enerji gaz akışını kontrol etmek amacıyla kullanılır. Depo gazının sonraki hareketi gaz toplama kuyuları ve hendekleri kullanılarak ve kısmen vakum yaratarak kontrol edilir. Gaz toplama ve taşıma boruları depolama alanını kat edecek kadar derine monte edilir. Toplanan gaz, metanın ve uçucu bileşenlerin dağılmasını kontrol etmek için ya yakılır veya enerji üretimi için kullanılır.

Trabzon İli katı atıkları için önerilen Düzyurt düzenli depolama sahasında oluşacak biyogaz, düşey gaz toplama kuyuları ile toplanacak ve bu düşey gaz toplama kuyuları birbirlerine yatay borular vasıtasıyla bağlanarak oluşan gaz, pasif gaz toplama sistemi ile kontrol altına alınacaktır. Önerilen pasif gaz kontrol sistemi Şekil 3.63'de verilmiştir. Dikey depo gazı toplama kuyuları 20 cm çapında plastik borulardan oluşmalı, boru yüzeyinde 4 mm genişliğinde delikler bulunmalıdır. Gaz toplama kuyusunun çapı 1 m, yüksekliği ise minimum 7 m olmalı ve bu değer çöp kalınlığının % 50 – 90'ı kadar artırılabilir (Gendebien, vd., 1992). Dikey gaz toplama kuyusunun etrafı çakıl taşları ile doldurulmalı, toplanan gazın atmosfere kaçmasının veya 100 atmosferden içeriye hava girmesinin önlenmesi için dikey gaz toplama kuyuları üst kısımlarından geçirimsiz bir madde olan beton, kil veya bentonit ile kaplanmalıdır. Açılacak gaz toplama kuyularının etki çapı 50 m civarında olup kuyular arasındaki mesafeler de hiçbir şekilde gaz kaçağına izin vermeyecek şekilde dizayn edilmelidir.

Bir düzenli depolama alanında oluşacak biyogaz miktarlarının hesaplanmasında bir çok formül geliştirilmiştir. Çalışmada, Düzyurt düzenli depolama alanında 2025 yılına kadar sürecek işletilme ömrü zarfında evsel katı atıkların anaerobik bozulmasıyla oluşacak biyogaz hacmi Tabasaran (1994) tarafından geliştirilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır. 1 ton evsel katı atık içerisinde yaklaşık 200 kg organik karbon bulunduğu tahmin edilmektedir (Çoban ve Erdin, 1992).



Şekil 3.63. Depo gazı kontrolünde kullanılan pasif gaz toplama borusu kesiti (Bagchi, 2004).

1 kg organik karbondan, ideal gazlar kanununa göre tümüyle gaz haline dönüştürüldüğünde 1.868 m^3 gaz elde edilmektedir. Laboratuvar şartlarında oluşan gaz miktarı için aşağıdaki formül geliştirilmiştir (Tabasaran, 1994);

$$C_{oe} = 1.868 \times C_o (0.014 \times T + 0.28) \quad (3.15)$$

Burada, C_{oe} : toplam bozunabilir karbon miktarı (kg C/ton katı atık), C_o : başlangıçtaki organik karbon miktarı (200 kg C/ton katı atık) ve T: sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$).

Bir çöplükteki biyokimyasal süreçlerin zaman ilişkili tarifi için kullanılacak fiziksel bir model mevcut değildir. Bu nedenle tahmin metotları için sadece matematiksel modeller uygulamak gerekmektedir. Harici şartların çöplükteki süreçler üzerinde çok az bir etkinliği olması nedeniyle, çöplükteki süreçlerin tarifi için laboratuvarında görülen reaksiyon tipinden yararlanmak makul olacaktır. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmaktadır;

$$Gt = G[1 - \exp(-kxt)] \quad (3.16)$$

Burada G_t : t zamanına kadar oluşacak biyogaz hacmi, k : ayrışma sabiti ve t : yıl cinsinden zamandır.

Bir tahmin modelinin oluşturulması için yukarıda verilen her iki model birleştirilerek aşağıdaki formül elde edilir;

$$C_{oe} = 1.868 \times C_o (0.014 \times T + 0.28) \times [1 - \exp(-kxt)] \quad (3.17)$$

Düzenli depolama alanında yapılan gözlemlere göre gaz oluşumu yaklaşık 2 ile 6 ay arasında başlar. Normalde çöplerin depolanmaya başladığı tarihle gaz üretiminin başladığı tarih arasında 1 yıllık bir geçiş süresi olduğu kabul edilir. Modelin uygulanmasının en önemli ön koşulunu aşağıdaki parametrelerin seçimi oluşturmaktadır;

Sıcaklık, T ; Çöplükteki sıcaklıklar genellikle 25 ile 35 °C arasında değişmektedir. Kapalı çöplüklerde şu ana kadar daha yüksek değerler ender olarak ölçüldüğü halde açık çöplüklerde 50 °C'nin üstünde sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

k katsayısı; k değerleri 0.025 ile 0.050 arasında değişmektedir. Ancak Türkiye'nin muhtelif yerlerindeki çöplüklerde yapılan ölçümler, 0.035 ile 0.040 arasında k değerleri olabileceğini göstermiştir.

Buradan yola çıkarak Düzyurt katı atık düzenli depolama sahasında oluşacak gaz miktarlarının tahmini için aşağıdaki değerler esas alınmıştır.

$$C_o = 200 \text{ kg organik karbon/ton çöp}$$

$$T = 30 \text{ °C}$$

$$k = 0,035 \text{ olarak kabul edilmiştir.}$$

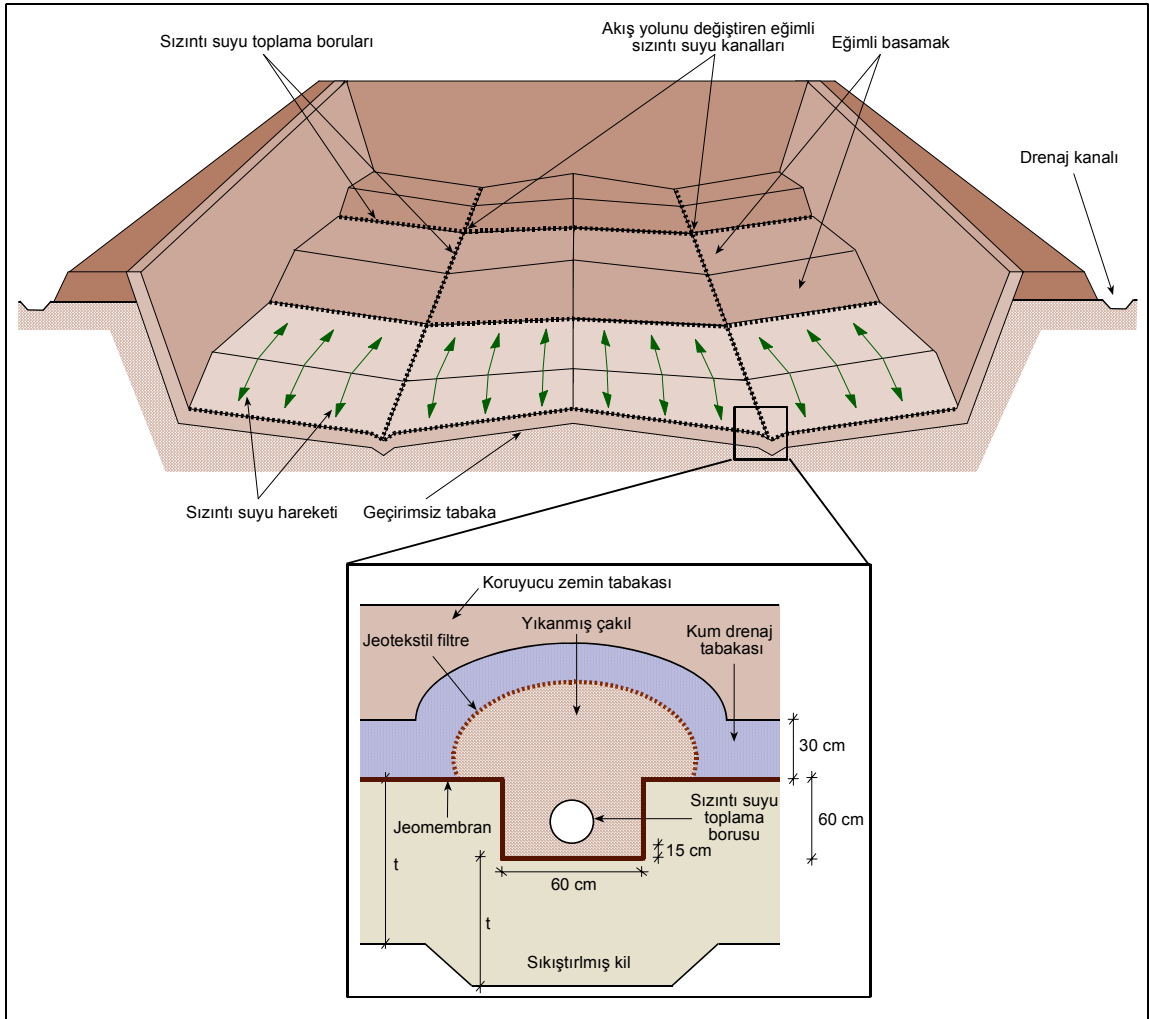
Düzyurt düzenli depolama alanında proje süresince oluşacak biyogaz hacmi Eşitlik 3.17 yardımıyla hesaplanarak Tablo 3.52'de sunulmuştur. Hesaplama, oluşacak metan gazının tüm biyogaz hacminin % 50'sine tekabül ettiği kabulü yapılmıştır (McBean vd., 1995).

Tablo 3.52. Projelendirme süresince oluşabilecek biyogaz ve metan gazı hacim hesapları

Yıllar	Katı atık miktarı (ton)	Kümülatif katı atık (ton)	Biyogaz hacmi (10^8 m^3)	CH ₄ hacmi (10^8 m^3)
2007	110914	261024	0,26	0,13
2008	113100	374124	0,53	0,27
2009	115286	489410	0,81	0,40
2010	117473	606883	1,09	0,54
2011	119659	726542	1,37	0,69
2012	121845	848387	1,66	0,83
2013	124032	972419	1,96	0,98
2014	126218	1098637	2,26	1,13
2015	128404	1227041	2,56	1,28
2016	130590	1357631	2,87	1,44
2017	132776	1490407	3,19	1,59
2018	134962	1625369	3,51	1,76
2019	137149	1762518	3,84	1,92
2020	139335	1901853	4,17	2,08
2021	141520	2043373	4,51	2,25
2022	143707	2187080	4,85	2,42
2023	145893	2332973	5,19	2,60
2024	148079	2481052	5,55	2,77
2025	150266	2631318	5,90	2,95

3.13.4.3. Sızıntı Suyu Kontrolü

Depolama sahasında, depolama yapılan hücrelerde oluşan sızıntı suları, drenaj kanallarıyla sızıntı suyu toplama havuzuna ve arıtma tesisine, depolama hücreleri haricinde proje alanında oluşan yağmur suları ayrı drenaj kanalları ile sızıntı suyu ile karıştırılmadan Değirmendere'ye verilecektir. Sızıntı suyu toplama havuzu betonarme olarak inşa edilecek ve ilave geçirimsizlik sağlanarak toplanan sızıntı sularının arıtma tesisine ulaşması sağlanacaktır. Şekil 3.64'te Bagchi (2004) tarafından önerilen depolama alanı için dizayn edilen sızıntı suyu toplama ve taşıma sistemi görülmektedir.



Şekil 3.64. Sızıntı suyu toplama sistemi ve tasfiye çukurunun detaylı kesiti (Bagchi, 2004).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, düzenli depolama sahalarında, sızıntı suyunun toprağa sızarak su kaynaklarına karışmasını önlemek amacıyla sızıntı suyu toplama sisteminin kurulmasını öngörmektedir. Düzenli depolama sırasında depolanan atıktan süzülen su, hücrelere yağın yağmur suları ve atığın içerisinde bulunan su, sahanın altına yerleştirilen drenaj borularıyla bir havuzda toplanacak (sızıntı suyu toplama havuzu) ve oradan kontrollü olarak sızıntı suyu arıtma tesisine yönlendirilecektir.

İnşa edilecek sızıntı suyu toplama havuzunun derinliği en fazla 4 m olacak, tabanı ise betonarme olarak inşa edilecek ve ilave geçirimsizlik sağlanacaktır. Sızıntı sularının drenajında kullanılan boruların minimum çapı 100 mm ve minimum eğimi % 1 olmalıdır. Bu borular basınca dayanıklı yüksek dayanıklı polietilen (HDPE) delikli borulardır. Sızıntı

suyu toplama borularında açılan deliklerin toplam alanı, boru enkesit alanının %30'u civarında olacaktır. Ayrıca sızıntı suyu toplama borularının mukavemeti ve et kalınlığı, boruların üzerine yığılan atığın ağırlığına karşı koyabilecek kapasitede olacaktır. Katı atık depo sahalarında oluşan sızıntı suları, atıklardan çözünen çok sayıda kirlilik parametresi ihtiva eder. Bu nedenle bu suyun arıtım teknolojisi deşarj edilecek ortama göre belirlenir ve genellikle fiziksel, kimyasal, biyolojik arıtım kademelerini içerir. Sızıntı suyu arıtma tesisi dizayn edilirken dikkate alınması gereken en önemli husus atıksuyun nereye deşarj edileceğidir.

Arıtılmış sızıntı suyunun nehir, göl gibi alıcı ortamlara verilmesi durumunda bu şekildeki gibi ileri arıtım kademelerinin uygulanması gerekmektedir. Söz konusu düzenli depolama tesisinde atıksular arıtıldıktan sonra Değirmendere'ye verilecektir. Bu nedenle Şekil 3.60'da verilen iki kademeli biyolojik arıtma tesisinin uygulanması yeterli olacaktır.

Arıtma tesisi, havasız çamur yataklı reaktör, aktif çamur havalandırma havuzu (aerobik tank) ve çökeltim havuzu ünitelerinden oluşacaktır. Sahada toplanan sızıntı suyu, öncelikle biriktirme havuzunda toplanacak daha sonra yüksek organik madde muhtevasını ekonomik ve uygun bir şekilde arıtmak için havasız arıtma uygulanacaktır. Havasız reaktörde %80'lere varan verimle organik madde (KOİ) giderimi sağlanacaktır. Havasız reaktörden çıkan kısmen arıtılmış sızıntı suyu aerobik reaktöre verilerek kanala deşarj standartlarını sağlayacak oranda arıtım yapılacaktır. Aerobik reaktörde oluşan aktif çamur, çökeltim tankında çöktürölüp belli oranda havalandırma havuzuna geri devrettirilecektir. Çöktürme havuzundan savaklanan arıtılmış kısım ise kolektör hattına deşarj edilecektir.

3.13.5. Kaplama ve Sahanın Nihai Restorasyonu

Düzenli depolama sahasının gerek dolgu süresince, gerekse proje tamamlandıktan sonra çevre peyzajıyla uygun hale getirilmesi ve özellikle koku ve gaz emisyonlarına karşı önlem alınması gereklidir. Final depo kaplamasının başlıca amaçları, depolama tamamlandıktan sonra, yağmur ve kar sularının depolama alanına sızıntısını engelleyerek, sızıntı suyu oluşumunu azaltmak, depo gazının kontrolsüz çıkışlarını engellemek, bulaşıcı taşıyıcıların çoğalmasını önlemek ve bölge yüzeyini bitki yetişmesi için uygun hale getirmek şeklinde sıralanabilir

Modern bir depo kaplaması, Şekil 3.65'de görülen, bir dizi tabakadan yapılıdır. Bu tabakaların her biri özel bir amaca hizmet eder. Temel altı zemin tabakası deponun üzerine

yerleştirilecek malzemeler için bir yüzey oluşturur. Bazı kaplama dizaynlarında depo gazının gaz toplama tesislerine taşınması için zemin tabakasının altına bir gaz toplama tabakası konulur. Depo gazının kaplama içerisinden kaçışını ve sıvıların depo alanına girişini sınırlamak için koruyucu kil tabakası kullanılır. Geçirimsiz tabaka üzerindeki su basıncını azaltmak ve kaplama malzemesi içerisinden sızan suları uzaklaştırmak için drenaj tabakası kullanılır. Yüzey tabakası ise, bitkilerin yetişmesine doğal bir ortam sağlamak ve depolama yüzeyini oluşturmak için kullanılır.



Şekil 3.65. Düzenli depolama sahasının üst kaplamasında kullanılan elemanlar (Tchobanoglous vd, 1977; Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

4. İRDELEME VE TARTIŞMA

Ülkemizde hiçbir ön çalışma yapılmadan geliş güzel bir şekilde depolanan katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin artmasıyla beraber, 1983 yılında 2872 sayılı Çevre Kanunu ve 1991 yılında Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Kanun ve yönetmelikler incelendiğinde ülkemizde çevre kirliliğini önleyecek yasal bir altyapının eksiksiz olduğu görülmesine rağmen sorunlar teoride değil, uygulama aşamasında ortaya çıkmaktadır.

Trabzon İli'nde günde yaklaşık 191 ton evsel ve endüstriyel nitelikli katı atık, doğal çevrede oluşturdukları çevre kirliliği göz önünde bulundurulmaksızın deniz kıyısına (% 88), nehirlere (% 1.5) ve boş arazilere (% 10.5) denetimsiz olarak depolanmaktadır. (KFW ve ERM, 2004). İlde katı atık yönetim sistemi belediyeye bağlı zabıta, temizlik ve fen işleri bölümlerince yürütülmektedir ve atık toplama hizmetleri ve cadde temizliği standartları çok yüksektir. Bu bölümler sadece atık temizleme, toplama ve cadde temizliği işlerinde aktif, bertaraf konusunda denetleyici bir rol üstlenmişlerdir. Bu nedenle Trabzon İli'nde atık bertarafının standartları zayıftır. İlde herhangi bir ön arıtma veya geri kazanımına yönelik tesis bulunmamaktadır. Trabzon İli'nde, katı atıkların geri dönüşümü ve yeniden değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hem belediye bünyesinde hem de anlaşmalı özel şirketler tarafından yürütülmektedir. Bununla birlikte, toplanan katı atıkların yaklaşık % 15'i geri dönüşebilir nitelikte olmasına karşın, bu atıkların sadece % 2'si değerlendirilmektedir. Bu nedenle, Trabzon İli'nde katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğini önlemek amacıyla Çevre Bakanlığı bünyesinde, Environmental Resources Management (ERM) ve Tugal Çevre Teknolojisi (TÇK) tarafından, Trabzon ve Rize illerinde katı atıklardan kaynaklanan su ve toprak kirliliğinin önüne geçebilmek amacıyla bir çalışma başlatılmış ve 1997 yılı itibariyle nihai rapor sonuçlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, Trabzon ve Rize İlleri için günümüze kadar süre gelen katı atık yönetim sistemi araştırılmış, bunu takiben gelecek 10 yıl için planlanan proje süresi boyunca atık bertaraf stratejileri geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra, Trabzon ve Rize İlleri'nde bulunan belediyeler için işbirliği stratejileri geliştirilmiştir ve bununla ilgili olarak bölgeye hizmet verecek alternatif düzenli depolama alanları ve transfer istasyonları belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Alternatif düzenli depolama sahalarının değerlendirilmesi (ERM ve TÇK, 1997).

Kriterler	Trabzon					Rize			
	Gölçayır	Çukurçayır	Düzyurt	Araklı	Sürmene	Gündoğdu	Kalkandere	İyidere	Rize
Kapasite	Orta	Orta	İyi	Orta	İyi	Kötü	Kötü	Orta	Kötü
Hidroloji	Kötü	Kötü	Orta	Orta	İyi	Kötü	Kötü	Kötü	Kötü
Jeoloji	Orta	Kötü	Orta	İyi	Orta	Kötü	Kötü	Kötü	Kötü
Hidrojeoloji	Orta	Orta	Kötü	İyi	İyi	Kötü	Kötü	Kötü	Kötü
Yerleşim	Kötü	Kötü	İyi	İyi	Orta	Orta	Orta	Kötü	Kötü
Ulaşım	Kötü	Kötü	İyi	İyi	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Mülkiyet	Kötü	Orta	Orta	Orta	İyi	İyi	Orta	Orta	Orta
Kültürel yapı	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	Orta
Mühendislik	Orta	Orta	İyi	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi

Trabzon için transfer istasyonunun yeri, Trabzon'dan 3 km mesafede Maçka yolu üzerinde, Rize için transfer istasyonunun yeri, Rize'den 3 km mesafede Gündoğdu yolu üzerindedir.

Pilot çalışma niteliğinde olan ve alt yapı için ön çevresel değerlendirmelerin bulunduğu proje kapsamında düzenli depolama yer seçim çalışmaları yapılmış ve Sürmene Çamburnu'ndaki terk edilmiş eski maden sahasının Trabzon ve Rize için en uygun depolama alanı olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak kamu tutumu ve baskısını ihmal eden bu çalışma hayata geçirilememiştir.

Daha sonra, 1997 yılında nihai raporu hazırlanan çalışma temel alınarak, Trabzon-Rize Belediyeler Birliği, KFW (Almanya), Tempo Mühendislik-Müşavirlik ve Environmental Resources Management (ERM) tarafından bir çalışma başlatılmış ve 2004 yılında tamamlanan Trabzon-Rize Belediyeler Birliği Bölgesel Katı Atık Yönetim Sistemi adlı proje sonucunda, katı atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde toplanması, taşınması, geri kazanımı ve atık azaltma uygulamaları hakkında bilgiler sunulmuştur. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak uygun depolama alanları belirlenmeye çalışılmış ve sonuç olarak en uygun katı atık depolama alanının önceki çalışmalarda belirtildiği gibi Sürmene İlçesi'ndeki eski bir maden açık işletme sahası olduğu kabul görmüştür. Gerek 1997 yılında gerekse 2004 yılında tamamlanarak nihai raporları sunulan projeler incelendiğinde, alternatif düzenli depolama alanlarında jeoteknik çalışmaların eksikliği dikkat çekmektedir. Raporlarda ön görülen alternatif düzenli depolama sahasının hidrojeolojik ve jeolojik açıdan "iyi", maliyet ve mühendislik açısından "orta" nitelikte olduğu belirtilse de, sahanın düzenli depolamaya uygun hale getirilmesi sırasında karşılaşılan yeraltı suyu ve şev stabilite problemleri önerilen düzenli depolama sahasının bu üç kriter açısından hatalı değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Bunun nedeni olarak ta proje kapsamında detaylı mühendislik jeolojisi çalışmalarının yetersizliği gösterilebilir.

Bunun yanı sıra katı atıkların üzerine depolanacağı jeolojik bariyer niteliğindeki kaya kütesinin geçirimsizliği ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmemiştir. Bu nedenle, Trabzon ve Rize illerindeki katı atıklar için depolama alanı olarak belirlenen ve Sürmene İlçesi, Çamburnu Beldesi'nde bulunan eski açık işletme sahasının düzenli depolama açısından uygunluğu jeoteknik olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, 3 farklı lokasyonda 10 metrelik sondajlar yapılmış, sondaj esnasında ana kaya geçirimsizliğini belirlemek amacıyla basınçlı su testleri uygulanmış ve geçirimsizliğin 10^{-6} m/sn'den fazla olduğu hesaplanmıştır. Bununla beraber yaklaşık 2 metrede sabit bir yer altı su seviyesinin varlığı sondaj kuyularında yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Alanda yapılan çevre duraylılık çalışmalarında özellikle ocağın doğu yamacındaki şevlerin tehlikeli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, 1997 ve 2004 yılında sonuçlanan çalışmalarda belirlenen depolama alanı için proje süresi 10 yılı geçmemektedir. Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak, Sürmene İlçesi, Çamburnu Beldesi'nde bulunan eski bakır işletme sahasının düzenli depolama için ekonomik olarak uygun olmadığı belirlenmiştir. Her ne kadar bir çok mühendislik problemi ve yüksek maliyet söz konusu olsa da Sürmene İlçesi, Çamburnu Belediyesi güneyinde bulunan eski maden açık işletme sahasında, Trabzon ve Rize illerinin katı atıklarının bertaraf edilmesi amacıyla, 2006 yılı itibariyle İSTAÇ A.Ş. tarafından proje hayata geçirilmiştir. İSTAÇ A.Ş., entegre katı atık bertaraf tesislerinin kurulması işini ihale yoluyla Trabzon ve Rize İli Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği'nden (TRAB-Rİ-KAB) almıştır. Proje kapsamında, 428 ton/gün kapasiteli düzenli depolama sahası, 120 m³/gün kapasiteli sızıntı suyu arıtma tesisi, 75 kg/saat kapasiteli tıbbi atık sterilizasyon ünitesi ve 2 adet transfer istasyonu yapılması planlanmıştır. Halen, alanın depolamaya uygun hale getirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir.

Düzenli depolama tesisi olarak planlanan ve yapım aşaması devam eden sahasının 10 yıllık kısa bir proje süresinin olması nedeniyle, bu çalışma kapsamında Trabzon ili için en az 20 senelik projelendirilecek, jeoteknik olarak uygun ve düşük maliyet gerektiren alternatif depolama alanları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Trabzon İli'nin yaklaşık 8 km güneyinde bulunan eski bir açık işletme ocağı, jeoteknik açıdan uygun ve 20 senelik proje süresince Trabzon'da üretilen katı atıkları depolayacak kapasitede olması nedeniyle alternatif depolama alanı olarak önerilmiştir. Önerilen Düzyurt açık işletme sahasında yüzeylenen kayaların laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda belirlenmiş mühendislik özellikleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Çalışma alanında yüzeylenme veren jeoteknik birimlerin süreksizlik ve kaya kütle özellikleri

		A Litolojik birimi						B Litolojik birimi		
		A1 Jeoteknik birimi			A2 Jeoteknik birimi			B1 Jeoteknik birimi		
Kayaç tanımlaması		Kiltası, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı			Kireçtaşı, kumlu kireçtaşı			Kalkarenit, kalsirüdit		
Süreksizlik özellikleri	Süreksizlik takımları	5/25	190/80	100/70	5/25	190/80	100/70	5/25	190/80	100/70
	Süreksizlik ara uzaklığı (m)	0.087	0.559	0.567	0.308	0.544	0.570	0.366	0.595	0.565
	Süreksizlik devamlılığı (m)	26.46			9.9			9.69		
	Süreksizlik pürüzlülüğü	16-18	8-10	8-10	16-18	8-10	8-10	18-20	8-10	8-10
	Süreksizlik dalgalılığı açısı	3.9	2.6	3.4	3.8	2.5	3.1	4.1	2.5	3.8
	Süreksizlik açıklığı (mm)	0.85	2.09	2.45	0.99	2.12	2.34	1.06	2.21	2.54
	Süreksizlik yüzeylerinin bozunma indeksi (Wc)	1.63	1.32	1.48	1.52	1.29	1.45	1.55	1.27	1.45
	Su durumu (ISRM, 1981)	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru
	Hacimsel eklem sayısı	13.963			6.839			6.183		
Kaya kütle özellikleri	Yüzey drenajı	Yağışın büyük bir kısmı ortamdaki yüzeyel akışla uzaklaşmaktadır								
	Geçirgenlik (m/sn)	2.12 x 10 ⁻⁸			1.89 x 10 ⁻⁸			1.75 x 10 ⁻⁸		
	Yeraltı suyu durumu	Yok			Yok			Yok		
	Kazılabilirlik	Orta ve ağır işlevli kazı makineleriyle kazılabilir						Kırıcı veya taramalı patlatma		
	Şev stabilitesi	Düzlemsel kayma			Duraylı			Duraylı		
	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	0.479			1.559			1.827		
	Deformasyon modülü (MPa)	2652			5172			5825		
	Temel RMR puanı	55.4			67.5			67.65		
Jeofizik ölçümlerle belirlenen kaya kütle özellikleri	Boyuna dalga hızı, Vp (m/s)	1294-1566			1437-2027			1800-2405		
	Enine dalga hızı, Vs (m/s)	700			1300			1269		
	Yoğunluk, ρ (gr/cm³)	1.859			2.080			2.088		
	Poisson oranı, ν	0.293-0.375			0.151			0.307		
	Kesme modülü, G (MPa)	910.91			3515.2			3362.43		
	Elastisite modülü, Em (Mpa)	2355.61			8091.99			8029.48		

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Trabzon İli'nde mevcut katı atık yönetim sistemi, yönetim sisteminin uygulama aşamasında karşılaşılan problemler incelenmiş ve Trabzon İli için alternatif katı atık düzenli depolama alanları araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak CBS'nin konumsal analiz teknikleri kullanılarak Trabzon İli için düzenli depolama alanı uygunluk haritası üretilmiş, bu haritadan yararlanılarak belirlenen ve eski bir çimento hammadde ocağı olan Düzyurt açık işletme sahasının düzenli depolama için uygun olup olmadığı jeoteknik açıdan incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Trabzon İli'nde günde yaklaşık 191 ton evsel nitelikli katı atık, endüstriyel nitelikli atıklarla birlikte, artan çevre kirliliği göz önünde bulundurulmaksızın kontrolsüz olarak depolanmaktadır. Katı atıklar sahil bölgelerde deniz kıyısına, iç bölgelerde ise alıcı ortamlardan izole edilmemiş vadilere ve boş alanlara dökülmektedir. Bu nedenle katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği her geçen gün artmaktadır.

2. Trabzon İli'nde belediyelerdeki zabıta, temizlik ve fen işleri bölümleri, atık temizleme, toplama ve cadde temizliği işlerinde aktif rol üstlenirken, bertaraf konusunda ise sadece denetleyici bir rol üstlenmişlerdir. Bu nedenle ilde atık toplama hizmetleri ve cadde temizliği standartları çok yüksek iken bertaraf stratejisi çeşitli çevre sorunlarına neden olmaktadır.

3. Trabzon İli'nde, belediye bünyesinde ve anlaşmalı özel şirketler tarafından katı atıkların geri dönüşümü ve yeniden değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Bunun yanı sıra nihai depolama alanında kontrolsüz bir geri dönüşüm uygulaması mevcuttur. Belediye genellikle ilde belli dönemlerde pilot bölgeler seçerek geri dönüşüm kampanyaları başlatmıştır. Toplanan katı atıkların yaklaşık % 15'i geri dönüşebilir nitelikte olmasına karşın, bu atıkların ancak % 2'si ekonomik anlamda değerlendirilmektedir.

4. Katı atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önüne alınarak çeşitli bertaraf metotları karşılaştırılmıştır. Trabzon İli katı atıkları için yakma, kompostlaştırma gibi yöntemlerin uygulanması günümüz koşullarında ekonomik olmadığı için düzenli depolama işlemi, katı atıkların bertarafında en ekonomik yöntemdir.

5. Trabzon Merkez İlçe’de kişi başına üretilen atık yoğunluğu 0.81 kg/kişi/gün, il sınırları içinde hizmet alan belediyeler için 0.23 kg/kişi/gün ve hizmet görmeyen belediyeler için 0.65 kg/kişi/gün’dür. Tüm bu değerler kullanılarak proje süresi sonuna kadar (2025 yılına kadar) üretilecek katı atık miktarı 2 481 208 ton ve gerekli olan depolama alanı ihtiyacı, 5.5 metrelik katı atık yüksekliği düşünüldüğünde, yaklaşık 405 000 m² (100 acre) olarak hesaplanmıştır.

6. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru aşağıdaki birimler ayırtlanmıştır:

- Kumtaşı, kireçtaşı, marn ve killi kireçtaşı ara seviyeleri içeren bazalt, andezit ve bunların piroklastitlerinden oluşan Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu,
- Beyaz, açık gri, sarımsı renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn araldanmasından oluşan Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu,
- Kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn aratabakaları içeren andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşan Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu,
- Kuvaterner yaşlı alüvyonlar.

Önerilen Düzyurt düzenli depolama alanı Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu içerisinde yer almaktadır.

7. Trabzon İli katı atıkları için uygun düzenli depolama alanlarının belirlenmesinde CBS’nin konumsal analiz tekniklerinden yararlanılmıştır. Düzenli depolama yeri seçiminde kullanılacak kriterler, bu kriterlere atanacak ağırlık yüzdeleri, sınırlama faktörleri Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle oluşturulan bir model yardımıyla belirlenmiş ve sonuç olarak düzenli depolama uygunluk haritası üretilmiştir. Bu harita yardımıyla belirlenen alternatif düzenli depolama alanlarında yapılan gözlemler sonucunda eski bir açık işletme sahası olan Düzyurt Mevkii, Trabzon ili katı atıklarının depolanması için en uygun düzenli depolama alanı olduğu belirlenmiştir.

8. Önerilen düzenli depolama alanında yüzeyleme veren kayaçlar litolojik ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak 3 ayrı jeoteknik birime ayrılmıştır. Bunlar, kiltası, silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve tuf araldanmasından oluşan A1 jeoteknik birimi, orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı araldanmasından oluşan A2 jeoteknik birimi ve genel olarak beyaz, açık gri, sarımsı renkli kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşan B1 jeoteknik birimi olarak adlandırılmıştır.

9. İnceleme alanında uygun mostralarda seçilen hatlar boyunca yapılan hat etüdü çalışmalarıyla, süreksizliklerin özellikleri ve yeraltı suyu durumu araştırılmış, jeoteknik birimlerde gözlenen farklı süreksizlik zonları için ayrı nicel tanımlamalar yapılmıştır ve sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Çalışma alanında yüzeylenme veren ve genel olarak kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn ve tuf araldanmasından oluşan kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden üç ayrı süreksizlik takımının olduğu belirlenmiştir. Bunlar K85B/25KD (5/25) duruşlu tabaka düzlemlerini ve K10D/70GD (100/70) ve K80B/80GB (190/80) duruşlu süreksizlik düzlemleridir. Devamlılığı en yüksek olan 5/25 duruşlu tabaka düzlemleri en önemli süreksizlik setini oluşturmaktadır.

- Süreksizlik ara uzaklığı değerleri, A1 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.087 m, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.059 m, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.567 m, A2 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.308 m, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.544 m, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.570 m, B1 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.366 m, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.595 m, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.565 m olarak saptanmıştır.

- Süreksizlik devamlılığı, A1 jeoteknik birimi için 26.46 m, A2 jeoteknik birimi için 9.9 m ve B1 jeoteknik birimi için 9.69 m olarak belirlenmiştir.

- Süreksizlik açıklığı parametresi, A1 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.85 mm, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 2.09 mm, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 2.45 mm, A2 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 0.99 mm, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 2.12 mm, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 2.34 mm, B1 jeoteknik birimindeki 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 1.06 mm, 190/80 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 2.21 mm, 100/70 duruşlu süreksizlik yüzeyi için 2.54 mm olarak tespit edilmiştir.

- JRC değerleriyle ifade edilen süreksizlik pürüzlüğü, tüm jeoteknik birimler için 5/25 duruşlu süreksizlik yüzeylerinde 16-18, diğer süreksizlik yüzeylerinde 8-10, W_c olarak ifade edilen süreksizlik bozunma indeksi değerlerinin ise tüm jeoteknik birimler için 1.27-1.63 arasında olduğu saptanmıştır.

10. Çalışmada, inceleme alanında kaya türlerinin belli zonlarda oldukça zayıf olması ve buna bağlı olarak sondaj sırasında karot kayıplarının artması nedeniyle, hat etüdüleri ile elde edilen veriler kullanılarak RQD değerleri hesaplanmıştır. Buna göre % RQD

değerlerinin, A1 jeoteknik birimi için % 55-70, A2 jeoteknik birimi için % 90-96 ve B1 jeoteknik birimi için % 96-98 arasında değiştiği belirlenmiştir.

11. İnceleme alanında A1 jeoteknik birimine ait düşük dayanımlı kiltası, silltaşı ve marnların içermiş oldukları kil minerallerinin şişen killer olarak nitelendirilen montmorillonit grubu killer olduğu belirlenmiştir. Bu durum kaya ortamının katı atıkların düzenli depolanması için uygun bir jeolojik bariyer niteliğinde olduğunu göstermektedir.

12. Düzyurt düzenli depolama alanında yüzeyleme veren kayalar RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre sınıflandırılmıştır ve A1 jeoteknik birimi 55.4, A2 jeoteknik birimi 67.5 ve B1 jeoteknik birimi 67.65 RMR temel puanıyla orta kaya sınıfına girdiği saptanmıştır.

13. Hoek ve Brown yenilme kriteri kullanılarak çalışma alanındaki kaya kütlelerinin dayanım özellikleri belirlenmiştir. Buna göre A1 jeoteknik birimi için kohezyon 0.674 MPa, içsel sürtünme açısı 19° , tek eksenli sıkışma dayanımı 0.479 MPa, deformasyon modülü 2652.36 MPa; A2 jeoteknik birimi için kohezyon 2.146 MPa, içsel sürtünme açısı 25° , tek eksenli sıkışma dayanımı 1.559 MPa, deformasyon modülü 5172.12 MPa ve B1 jeoteknik birimi için kohezyon 3.248 MPa, içsel sürtünme açısı 35° , tek eksenli sıkışma dayanımı 1.827 MPa, deformasyon modülü 5824.77 MPa olarak hesaplanmıştır.

14. Yapılan sondaj çalışmalarında, jeolojik bariyer niteliğindeki kayaç ortamının geçirimsizliğini belirlemek amacıyla Lugeon basınçlı su deyeri yapılmış ve A1 jeoteknik biriminin permeabilite katsayısının 1.89×10^{-8} m/sn, A2 jeoteknik biriminin 2.12×10^{-8} m/sn, B1 biriminin ise 1.75×10^{-8} m/sn olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler, ortamın “pratik olarak geçirimsiz malzeme” sınıfına girdiğini göstermektedir.

15. Yapılan sismik ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlardan yararlanarak elastik dalgaların jeoteknik birimler içerisindeki yayılma hızları hesaplanmış ve A1 jeoteknik birim için boyuna dalga hızının 1294-1566 m/sn arasında, enine dalga hızının 700 m/sn olduğu; A2 jeoteknik birim için boyuna dalga hızının 1437-2027 m/sn arasında, enine dalga hızının 1300 m/sn olduğu; B1 jeoteknik birim için boyuna dalga hızının 1800-2405 m/sn arasında, enine dalga hızının ise 1269 m/sn olduğu belirlenmiştir.

17. Önerilen depolama alanının depolamadan önce uygun hale getirilebilmesi için A1 ve A2 jeoteknik birimlerinde orta veya ağır işlevli kazıcılar kullanılarak, B1 jeoteknik biriminde ise taramalı patlatma yapılarak veya kırıcı iş makineleri kullanılarak çev düzenlemesinin yapılması gerektiği ortaya konulmuştur.

18. Bu çalışmada kaya şev duraylılığı süreksizliklerin yapısal özellikleri dikkate alınarak kinematik analizler sonucunda belirlenmiş ve elde edilen veriler, kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizlerle desteklenmiştir. 90/80 duruşlu şevde beklenen düzlemsel kayma ile 190/80 ve 100/70 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti boyunca gelişebilecek olası kama tipi kaymanın önlenmesi için şevlerin püskürtme beton ile güçlendirilmesi veya basamaklandırılmasının gerekli olduğu saptanmıştır.

19. Trabzon İli katı atıklarının çevreye zarar vermeyecek şekilde depolanması için önerilen Düzyurt düzenli depolama sahasının jeoteknik açıdan uygun ve Trabzon İli'nde 20 yıl süre ile üretilecek katı atıkları depolayacak hacimsel kapasitede olduğu sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abacı, Ş., 1997. Katı Atık Depolama Alanlarının Hidrojeolojik Açıdan Değerlendirilmesi, Su ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, ISBN 975-395-219-8, İstanbul, 403-408.
- Abdullatif, O.M. ve Cruden, D.M., 1983. The Relationship Between Rock Mass Quality and Ease of Excavation, Bull. Intl. Assoc. Eng. Geol., No. 28. 183-187.
- Abellera, L.V., 1996. Solid Waste Disposal Site Selection Using Image Processing and Geographic Information System (GIS) Techniques, [ttp://www.gisdevelopment.net](http://www.gisdevelopment.net).
- Ağar, Ü., 1997. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesi'nin Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akbulut, S., 1995. Katı Atık Depolarının Geoteknik Yönünden Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum
- Allen, A.R., Dillon, A. ve O'Brien, M., 2000. Approaches to Landfill Site Selection in Ireland, In Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras (eds), Engineering Geology and the Environment, Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 877 0. 1569-1574.
- Anbalagan, R., Sharma, A., Sanjeev, B. ve Raghuvanshi, T. K., 1992. Rock Mass Stability Evaluation Using Modified SMR Approach, Proc. 6th Nat. Sym. on Rock Meeting, Bangalore, India, 258-268.
- ANON, 1976. Engineering Geological Maps, A Guide to Their Preparation, UNESCO Publishing House, Paris, 79 s.
- ANON, 1981a. Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Maps, Report by International Association of Engineering Geology Commission on Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 24: 235-274
- ANON, 1981b. Recommended symbols for Engineering Geological Mapping, Report by International Association of Engineering Geology Commission on Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 24, 227-234
- Apaydın, Ö., 1998. Katı Atık Bertaraf Yöntemlerinin İrdelenmesi ve Trabzon Kenti Evsel Katı Atıklarda Geri Kazanılabılır Madde Miktarının Belirlenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Armağan, B. ve Demir, İ., 2005. Evsel Katı Atık Toplama Sisteminin CBS Tabanlı Modellemesi, İTÜ Dergisi, 4-3, 119-125.

- Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006. Minerology, Petrography and Whole Rock Geochemistry of The Tertiary Granitic Intrusions in The Eastern Pontides, Turkey, Journal of Asian Earth Science, 27, 177-193.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1981. Standard test method for capillary-moisture relationships for coarse and medium textured soils by porous plate apparatus, ASTM Standards
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1985. Soil and Rock, Building Stones, Section 4, 409-423.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992a. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions (ASTM D5313-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 189-190.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992b. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions (ASTM D5312-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 1344-1346.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1994. Annual Book of ASTM Standarts-Construction, Soil and Rock, ASTM Publication, Vol. 04.08, 978 pp.
- Atterberg, A., 1905. Die Rationelle Klassifikation der Sande und Kiese, Chemiker Zeitung, 29, 195-198
- Attewell, P.B., Farmer, I.W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Aydan, Ö., Shimizu, Y. ve Kavvamoto, T., 1995. A Portable System for In-situ Characterization of Surface Morphology and Frictional Properties of Rock Discontinuities. Proc. 4th Intl. Symp. Field Measurements in Geomechanics, Bergamo, Italy, 463-470.
- Aydın, F., 2003. Değirmendere Vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD Türkiye) Volkanitlerinin Mineral Kimyası, Petrolojisi ve Petrojenezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, Genişletilmiş 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 624 s.
- Bagchi, A., 1990. Design Construction and Monitoring of Sanitary Landfill, John Wiley & Sons, NewYork, 284 pp.
- Bagchi, A., 2004. Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management, John Wiley & Sons, New Jersey, 696 pp.

- Bailey A.D., 1974. Rock Types and Seismic Velocities Versus Rippability, Highway Geol. Symp. Proc., 26, 135-142.
- Baldasano, J.M., Soriano, C. ve Boada, L., 1999. Emission Inventory for Greenhouse Gases in The City of Barcelona, Atmospheric Environment, 33, 1987-1996.
- Barisone, G., Bottino, G. ve Crivellari, R., 1994. Selection Criteria for Waste Disposal Location in Piedmont Region (Italy), Unpublished Report, Dipartimento Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino, Italy.
- Barlaz., M.A., Schaefer, D.M. ve Ham, R.K., 1989. Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in A Simulated Sanitary Landfill, Applied and Environmental Microbiology, 55, 1.
- Barton, N. ve Choubey, V., 1977. The Shear Strength of Rock and Rock Joints. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstract, 13, 255-279.
- Barton, N. ve Bannis, S., 1982. Effect of Block Size on the Shear Behavior of Jointed Rock, Issue in Rock Mechanic, 23 rd U.S. Symposium on Rock Mechanic, Berkeley, California , Society of Mining Engineers of AIME
- Barton, N. R. ve Bandis, S., 1990. Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model In Engineering Practice, Rock Joints, Leon, Norway. Balkema, Rotterdam, 603-610.
- Baştürk, A., 1976. Kompostlaştırmaya Tesir Eden Faktörler ve Koagulasyon Maddelerinin Reaksiyona Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul, Doktora Tezi, İstanbul.
- Baykal, A.F., 1952. Rechercles Geologique Dans la Region de Kelkit-Şiran (NE de Anatolie), İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, 289-304.
- Berkün, M., Özbay, S.T., Daloğlu, A., 1992. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Katı Atıkların Özellikleri ve Giderilmesinin Tasarımı, II Uluslararası Ekoloji ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Ankara, 235-238.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Transactions of The South African Institution of Civil Engineers, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. Proc. Symp. on Exploration for Rock Engineering, Cape Town, Balkema, 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1978. Determining Rock Mass Deformability, Experience from Case Histories, Int. Jou., Rock Mech. Min. Sci., 15, 237-247.
- Bieniawski, Z.T., 1979. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. Proceedings ISRM 4th International Congress on Rock Mechanics, Montreux. Balkema. Boston. Chapter 5, 55-95.

- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York, 238 p.
- Blight, G.E. ve Fourie, A.B., 1999. Leachate Generation in Landfills in Semi-Arid Climates, Proceeding of The Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, U.K.
- BOUN, 1990. Katı Atıkların Tanımı, Toplanması ve Uzaklaştırılması Kurs Notları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 165 s.
- Brown, E.T., 1970. Strength of Models of Rock With Intermittent Joints, Journal of Soil Mech. Fdns. Div., ASCE 96, SM6, 1935- 1949.
- Brown, G. ve Briendley, G.W., 1980. X-Ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification, Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification, Brindley, G.W., Brown, G., (eds), Monograph 5, Mineralogical Society, London, 305-360.
- Brunner D.R. ve Keller, D.J., 1972. Sanitary Landfill Design and Operation, U.S. Environmental Protection Agency, Publication SW-65ts, Washington DC
- Büyüköztürk, Ş., 2002. Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı; İstatistik, Araştırma Deseni, SPSS Uygulamaları ve Yorum, PEGEM Yayıncılık, ISBN: 975-6802-74-X, Ankara, 179 s.
- Büyüksaraç, A., 2004. Kayalarda Mekanik Özelliklerin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi: Antakya-Suriye Sınır Yolu Çalışması KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekanik Sempozyumu / ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas
- Cai, M., Kaiser, P.K., Uno, H., Tasaka, Y. ve Minami, M., 2004. Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses Using The GSI System, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 41, 1,3-19.
- CANMET, 1997a. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-25, 31 pp.
- CANMET, 1997b. Laboratory Classification Tests, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-26, 74 pp.
- Casagrande, A., 1948. Classification and Identification of Soils, Transactions, ASCE, 113, 901-930.
- Catalano, A., Zhang, M., Rice, J., 2004. The Use of GIS to Manage Analyze, and Visualize Data Collected During an Investigation of Proposed Landfill, file://A:\gis+siteselection\4.htm, 2004

- Caterpillar, 1988. Caterpillar Performance Handbook, 19th edn. Caterpillar Tractor Company, Peoria, Illinois, USA.
- Chalkias, C.N. ve Stournaras, G., 1997. GIS Application for The Selection of Sanitary Waste Disposal Landfills and Quarries Sites in Major Sparti Area, Greece, In Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras (eds), Engineering Geology and The Environment, Balkema, Rotterdam.
- Coşkuner, G., 1996. Sivas Kenti İçin Alternatif Katı Atık Deponi Alanının Seçilmesi ve Projelendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Crawford, J.F. ve Smith, P.G., 1985. Landfill Technology, Butterworths, London.
- Curi, K., 1990. Katı Atıkların Tanımlanması ve Sınıflandırılması, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Çoban S., Erdin, E., 1992. An Approach to the Environmental Impact Assessment of Solid Waste Disposal Plant, FBE/ENV-92-Ar-298, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Raporları, İzmir
- Dearman W.R., 1981. Engineering Geology of Carbonate Rocks, Symposium on Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, Genel Report, Session 1, United Kingdom, 24, 3-17
- Dearman W.R. ve Matula, M., 1976. Environmental Aspect of Engineering geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 14, 141-146
- Dee, N. and Drobny, N., 1972. Environmental Assessment for Effective Water Quality Management Planning, Project Completion Rep. To U.S. Environmental Protection Agency, Columbus, Ohio, 24 pp.
- Dee, N., Drobny, N., Baker, J., Duke, K. ve Fahringer, D., 1973. Planning Methodology for Water Quality Management, Environmental Evaluation System, Columbus, Ohio.
- Deere, D.U., 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed, Rock Mech. Rock Eng. 1, 17-22.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM), 2005, Ortalama Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni, Ankara.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M. ve Kaneko, K., 2001. Slake Durability and Mineralogical Properties of Some Pyroclastic and Sedimentary Rocks, Engineering Geology, 65, 31-45.

- Dick, J.C., Shakoar, A. ve Wells, N., 1994. A Geological Approach Toward Developing a Mudrock-Durability Classification System, Canadian Geotechnical Journal, 34, 17-27.
- Dokuz, A., 1990. Maçka (Trabzon) Yöresinin Jeolojisi ve Piroklastik Kayaçların İncelenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Dorn, M. ve Tantiwanit, W., 1999. The Site Searching Process for Waste Disposal Sites in Chiang Mai-Lamphun Basin, Proceedings of The Symposium on Mineral, Energy and Water Resources of Thailand, Bangkok, 386-396.
- Dorn, M. ve Tantiwanit, W., 2001. New Methods for Searching for Waste Disposal Sites in The Chiang Mai-Lamphun Basin, Northern Thailand, Journal of Environmental Geology, 40 (4-5), 507-517.
- Dörthöfer, G. ve Siebert, H., 1998. The Search for Landfill Sites-Requirements and Implementation in Lower Saxony German, Journal of Engineering Geology, 35 (1), 55-65.
- Ekinci, E., 1990. Katı Atıkların Yakılması, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Environmental Resources Management (ERM), Tugal Çevre Teknolojisi (TÇT), 1997. Katı Atık Yönetimi Uygulama Çalışması, Trabzon ve Rize İçin Atık Bertaraf Stratejisi, Sonuç Raporu, 112 s.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1993. Criteria for Solid Waste Disposal Facilities, A Guide for Owners/Operators, 530-SW-91-089, 20 pp.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1997. Guidelines for Landfill Depots, ISBN 1 876562 00 5, 19 pp.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1998. Guidelines for Major Solid Waste Landfill Depots, ISBN 1 876562 00 5, 19 pp.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1999. Guide for Industrial Waste Management, Part I. Chapter 4, Considering The Site, EPA 530-R-99-001. 27 pp.
- Erdin, E., 1981. Ege Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Lisans Ders Notları, İzmir.
- Ergun, O.N., Acar, F.N. ve Kuleyin, A., 1995. Bafra İlçesi Katı Atıkların Miktar ve Kompozisyon İncelemesi, Katı Atık ve Çevre Dergisi, 10-17.
- Franklin, J.A. and Chandra, R., 1972. The Slake-Durability Test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 325-341.
- Gamble, J.C., 1971. Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana.

- Gartner, J.F., 1979. Septic Systems Capability Map, North Bay, Ontario Geological Survey, Northern Ontario Engineering Geological Terrain Study, Map 5044.
- Gendebien, A., 1992. Commission of the European Communities, Landfill Gas from Environment to Energy, Bruxel
- Ghose, A.K., Raju, N.M., 1981. Characterization of Rock Mass Vis-A-Vis Application of Rock Bolting in Indian Coal Measures, Proc. 22 nd U.S. Symp. Rock Mechanics., MIT, Cambridge, MA, 422-427.
- Goodman, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, Second Edition, 562 p.
- Gonzalez de Vallejo, L.I., 1983. A New Rock Classification System for Underground Assessment Using Surface Data, Proc. Int. Symp, Eng. Geol. Underground Constr., LNEC, Lisbon, 1, 85-94
- Gökbulut, G., Çoruh., S., Ergun, O., N., 1999. Karadeniz Bölgesi'nde Katı Atıklardan Kaynaklanan Çevresel Sorunlar, Katı Atık ve Çevre Dergisi, 15-20.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2000. Factors Affecting The Durability of Selected Weak and Clay- Bearing Rocks from Turkey With Particular Emphasis on The Influence of The Number of Drying and Wetting Cycles, Engineering Geology, 57,215-237.
- Gökten, R.M. ve Ayday, C., 1993. A Suggested Improvement to The Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested Method with Particular Reference to Rock Machineability, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. & Geomechanics. Abstract, 30,3, 321-322.
- Grasso, P., Xu, S. ve Mahtab, A., 1992. Problems and Promises of Index Testing of Rocks. Rock Mechanics, Tillerson and Wawersik (eds.), Balkema, Rotterdam, 879-888.
- Guitouni, A., Martel, J.M., 1998. Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method, European Journal of Operational Research, 109, 501-521.
- Gupta, R., Kewalramani, M.A. ve Ralegaonkar, R.V., 2003. Environmental Impact Analysis Using Fuzzy Relation for Landfill Siting, Journal of Urban Planning and Development, 129, 3, 121-139.
- Gülibrahimoğlu, J., 1985. Maçka Güneyinin Jeolojik Etüd Raporu, Rap. No: 1328, MTA, Ankara
- Gündoğdu, M.N. ve Yılmaz, O., 1983. Kil Mineralojisi Yöntemleri, I. Ulusal Kil Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, Bildiriler Kitabı, 319-330.

- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Güven, İ.H., 1998. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 58, Trabzon C29 ve D29 Paftaları, MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara, 12 s.
- Hackett, J.E. ve McComas, M.R., 1984. Geology for Planning in McHenry Country, Circular 531, Illinois State Geological Survey, Illinois.
- Hadjigeorgiou, J. ve Scoble, M.J., 1990. Ground Characterization for Assessment of Ease of Excavation, In, Singhal, R., K., Vavra, M., (eds) Proceedings of the 4th International Symposium on Mine.
- Haramy, K.Y. ve De Marco, M.L., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing, 26th U.S. Symp. on Rock Mechanics, 26-28 June, Rapid City, 549-555.
- Hoek, E., 1968. Brittle Failure of Rock, In Rock Mechanics in Engineering Practice (Ed. K. G. Stagg and O. C. Zienkiewicz), JohnWiley & Sons Ltd., London, 99-124.
- Hoek, E., 1994. Strength of Rock and Rock Masses, ISRM News Journal, 2(2), 4-16.
- Hoek, E., 2000. Practical Rock Engineering, Course Notes, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada.
- Hoek, E. ve Brown, E.T., 1980 a. Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy. Stephen Austin and Sons, London, 527 pp.
- Hoek, E. ve Brown, E.T. 1980. Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, London, 527 p.
- Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980 b. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. ASCE Journal of The Geotechnical Engineering Division, 106 (GT9), 1013-1035.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. ve Corkum, B., 2002, 1. Hoek-Brown Failure Criterion, 2002 Edition. Proc. 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, 267-273.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. ve Bawden, W.F., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Balkema, Rotterdam, 214 pp.
- Hoek, E. ve Karzulovic, A., 2000. Rock Mass Properties for Surface Mines, Slope Stability and Surface Mining, Society For Mining, Metallurgical and Exploration (SME), Colorado, 59-70 .
- Hoek, E., Marinos, P. ve Benissi, M., 1998. Applicability of The Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses: The case of The Athens Schist Formation, Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57 (2), 151-160.

- Hoek, E., Wood, D. ve Shah, S., 1992. A Modified Hoek-Brown Criterion for Jointed Rock Masses. ISRM Symposium: Eurock'92-Rock Characterization, J. A. Hudson (ed.), Thomas Telford. 209-213.
- Houlsby, A.C., 1976. Routine interpretation of the Lugeon Water-Test, Quarterly Journal of Engineering Geology, 9, 303–313.
- Hrasna, M., 1991. 1/200000 Scaled Land Suitability Map for Waste Disposal Sites, Technical Report, Comenius University for The Ministry of The Environment, Bratislava, Slovakia.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1976, Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation, The Unesco Press, Paris, 79 s.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1979, Engineering Geological Mapping for Planning, Design and Construction in Civil Engineering, England, 380 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. Engineering Geological Maps, The UNESCO Press,. 15, p.78.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-68.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1979. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake Durability Index Properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 16, 2, 141-156.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 pp.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics), 1981a. Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses (ed. E. T. Brown), Pergamon Press, Oxford, UK, 211 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22, 53-60.
- Imai, T., Fumoto, H. ve Yokoto, K., 1976. P and S Wave Velocities in Subsurface of Ground in Japan, Urana Research Institute, OYO Corp.

- Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., El Amrani, N. ve Boussof, S., 1994. GIS Geotechnical and Environmental Assessment of Site Selection for Urban Waste Disposal in The Granada District (Spain), Proceedings of The 7th Congress of The International Association of Engineering Geology, Lisbon, 6, AA Balkema, Rotterdam, 4679-4866.
- İpekoğlu, A.N., 1990. Katı Atıkların Kompost Yapılarak Değerlendirilmesi, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- İşseveroğlu, Ö. ve Büyükgüngör, H., 1998. Doğu Karadeniz Kıyısı Noktasal Kirleticilerin İncelenmesi, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları II. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları 98 Konferansı Bildiriler Kitabı, Ankara, 675-684.
- Jackson, M.L., 1956. Soil Chemical Analysis-Advanced Course-Published by Author, 991p.
- Jaeger, J.C., 1970. The Behaviour of Closely Jointed Rock, Proc. 11th Symp. Rock. Mech., Berkeley, CA, 57-68.
- Jenning, J.E., 1970. A Mathematical Theory for the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, Proc. Symp. On Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema, 87-112
- Jesus, C. ve Costa, C., 1997. Studies for Waste Disposal Landfills Installation and Rehabilitation in Hazardous Geological Environment, (in Portuguese), 6. Congresso Nacional de Geotecnia (no prelo), 13 pp.
- Kao, J.J. ve Lin, H.Y., 1996. Multifactor Spatial Analysis for Landfill Siting, Journal of Environmental Engineering, 122(10), 902-908.
- Karagüzel, R. ve Irlayıcı, A., 1993. Evsel ve Endüstriyel Katı Atık Depolama ve Kanalizasyon Boşaltım Sahalarının Çevresel Etki Değerlendirilmesi ve Isparta Örneği, İzmir ve Çevresinin Jeoteknik Sorunları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İzmir, 87-94.
- Karpuz, C., Pas, A., Mehmetoğlu, A.G., Bozdağ, T. ve Müftüoğlu, Y., 1990. Rippability Assessment in Surface Coal Mining, In, Singhal, R., K., Vavra, M., (eds) Proceedings of The 4th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, Balkema, Rotterdam, 315-322.
- Karpuzcu, M., 1984. Çevre Mühendisliğine Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, Lisans Ders Notları, İstanbul.
- Karpuzcu, M., 1985. Su Temini ve Çevre Sağlığı, Boğaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul.

- Kaya, M., Işıldar, A.A. ve Karagüzel, R., 1999. Katı Atık Depolama Alanlarının Oluşturduğu Toprak ve Yeraltı suyu Kirliliğinin Hidrojeolojik, Toprak Kimyası ve Özdirenç (Jeofizik) Yöntemleri İle Araştırılması, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara, 47-54.
- Kayabalı, K. ve Ünsal, N., 1995. Mamak (Ankara) Katı Atık Sahasının Düzenli Depolama Sahasına Dönüştürülmesinin Jeolojik ve Jeoteknik Açısından Değerlendirilmesi, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Sayı 10, Ankara, 162-168.
- Kendorski, F. S., Cummings, R.A., Bieniawski, Z. T. ve Sinner, E. H., 1983. Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support. Proc. 5 th Int. Cong. Rock Mech. ISRM, Melbourne, B51-B63.
- Ketin, I., 1951. Über die Geologie der Gegend Von Bayburt in Wordost Antatolin, Rev. Fac. Sci. Univ. İstanbul, B 16, 113-122.
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birliktelikleri, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, 23-34
- KFW, Environmental Resources Management (ERM) ve KENTKUR, 2001. Samsun Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Yönetimi Kavramsal ve Fizibilite Projesi, 255 s.
- Kırmacı, Z. ve Akdağ, K., 2005. Origin of Dolomite in The Late Cretaceous-Paleocene Limestone Turbudite, Eastern Pontides, Turkey, *Sedimentary Geology* 181, 39-57.
- Kirsten, H.A.D., 1982. A Classification System for Excavation in Natural Materials, *The Civil Engineer in South Africa* 24: 293-308.
- Korkmaz, S., 1993. Stratigraphy of The Tonya-Düzköy (Southwest of Trabzon), Türkiye Jeoloji Bülteni. 36-1, 151- 158.
- Krause, A., J., 1997. Uses of Mines as Landfills and Repositories, *Mining Environmental Handbook, Effects of Mining on The Environment and American Environment Controls of Mining*, Imperial College Press, 618-629.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KFW), ERM Lahmeyer International (ERM LI), Infrastruktur und Umwelt (IU), Tempo Mühendislik ve Müşavirlik, Ingenieurbüro Sehlhoff IBS, Trabzon-Rize Belediyeler Birliği (TRAB-RI-KAB) Bölgesel Katı Atık Yönetim Sistemi, Nihai Konsept Çalışma Raporu, Trabzon, 2004, 182 s.
- Kulein, A. ve Ergun, O.N., 1993. Samsun-Alaçam İlçe Merkezi Katı Atıklarının Bileşimi, Katı Atık ve Çevre Dergisi, Sayı 10, 32-42.
- Kunze, G.W., 1965. In *Methods of Soil Analysis*, Black, C., A., (eds), Agronomy Society of American Inc., 44, 568-577.

- Langer, M., 1995. Criteria for Site Selection, Characterization, Evaluation; Principle of Safety Assessment and Special Purpose Mapping, Scientific Report and Recommendations of The IAEG Commission, No. 14, Bulletin of The International Association of Engineering Geology, 29 pp.
- Laubscher, D.H., 1977. Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications. Transactions of The Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Industry, 86 (Jan),. 1-8.
- Laubscher, D.H., 1984. Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions, T. Min. Metali A., 93, A70-A81.
- Leao, S., Bishop, I. ve Evans, D., 2001. Assessing the Demand of Solid Waste Disposal in Urban Region by Urban Dynamics Modelling in A GIS Environment, Journal of Resources, Conservation and Recycling, 289-313.
- Leao, S., Bishop, I. ve Evans, D., 2004. Spatial-Temporal Model for Demand and Allocation of Waste Landfills in Growing Urban Region, Journal of Computers, Environment and Urban Systems, 353-385.
- Leopold, L.B., Clarke, F.E., Hanshaw, B.B. ve Balsley, J.R., 1971. A Procedure for Evaluating Environment Impact, Circular 645, U.S. Geological Survey, 13.
- Li, J., Lane, S. ve Mc Murtrie, T., 1996. ArcView Application for Solid Waste Collection Districting, <http://gis.esri.com/library/userconf/proc96/TO200/PAP153/P153.htm>.
- Linkov, I., Varghese, A., Jamil, S., Seager, T.P., Kiker, G. ve Bridges, T., 2004. Multi-Criteria Decision Analysis, Framework for Applications in Remedial Planning for Contaminated Sites.
- Lober, D.J., 1995. Resolving The Siting Impasse: Modelling Social and Environment Locational Criteria with A Geographic Information System, Journal of American Planning Association, 61-4, 482-495.
- Lolos, G., Lolos, T.H., Tsombanidis, C., Paschali, K., Stappas, N. ve Loizides, M., 1997. A Multicriteria Decision Support System for Landfill Site Selection, In Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras (eds), Engineering Geology and The Environment, Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 877 0. 1975-1981.
- Marsal, R.J., 1967. Large Scale Testing of Rock Fill Materials, Journal of Soil Mech. Fdns. Div., ASCE 93, SM2, 27-44.
- Mc Bean, A.E., Rovers, A.F. ve Forquhar, J.G., 1995. Solid Wastes Landfill Engineering and Design. Prentice Hall PTR, New York, 500 pp.
- McDaniels, T., 1999. A Decision Analysis of The Tatshenshini-Elsek Wilderness Preservation Alternatives, Journal of Environmental Management, 19-3, 498-510.

- Mehrotra, V.K., 1992. Estimation of Engineering Properties of Rock Mass, PhD Thesis, University of Roorkee, Roorkee, India, 257 pp.
- Michael, T.C., 1991. Waste Disposal Facility Siting, Proc.7 th International Conference on Solid Waste Disposal Management and Secondary Materials, USA.
- Minty, E.J. ve Kearns, G.K., 1983. Rock Mass Workability, In, Knight, M., J., Minty, E., J., Smith, R., B., (eds) Collected Case Studies in Engineering Geology, Geol Soc Austr Spec Publ., 11: 59–81.
- Muttiah, R.S., Engel, B.A. ve Jones, D.D., 1996. Waste Disposal Site Selection Using GIS Based Simulated Annealing, Journal of Computers & Geosciences, Volume 22, Issue 9, 1013-1017.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Volume: 67, No: 5, 841-875
- Nakao, K., Iihoshi, S. ve Koyama, S., 1983. Statistical Reconsiderations on The Parameters for Geomechanics Classification, Proc. 5th Int. Congre. Rock Mech, ISRM, Melbourne, Vol. 1, 13-16
- Newman, D.A. ve Bieniawski, Z.T., 1986. Modified Version of The Geomechanics Classification for Entry Design in Underground Coal Mines, Trans. Sos. Min. Eng., AIME 280, 2134-2138.
- Nippon Koei Co., Ltd., Recs International Inc., Doğu Karadeniz Bölgesi Bölgesel Gelişme Planı (DOKAP), Nihai Rapor, Trabzon, 2000, 1500 s.
- Odum, E.P., Bramlett, G.A., Ike, A., Champlin, J.R., Zieman, J.C. ve Shugart, H.H., 1972. Totality Indices for Evaluating Environmental Impact of Highway Alternatives, Transp. Res. Rec., 561, 56-57.
- Olivier, H.J., 1979. Applicability of Geomechanics Classification to The Orange-Fish Tunnel Rock Masses, Civ. Eng. S. Afr. 21, 179-185.
- Özbay, S., 1999. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Katı Atık Özellikleri Katı Atıkların Deniz Suyunda Biokimyasal Oksidasyonuna Metal Zehirliğinin Etkileri. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 168s
- Özçakıl, M., 2001. Türkiye'de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Özsayar, T., 1971. Geologie und Palaentologie des Gebietes Östlich, Trabzon (Anatolian), Giess Geologie Schr. 1, Doktora Tezi.
- Palmstrom, A., 1982. The Volumetric Joint Count- A Useful and Simple Measure of The Degree of Jointing. 4th Int. Congress IAEG, New Delhi. 221-228.

- Palmstrom A., 1985. Application of The Volumetric Joint Count as A Measure of Rock Mass Jointing. Proc. Int. Symp. On Fundamentals of Rock Joints, Sweden, 103-110.
- Palmström, A., 1996. RMI-A System for Rock Mass Strength for Use in Rock Engineering. Journal. of Rock Mechanics. and Tunneling Technigue , India, 1-2, 69-108.
- Patrick, P.K., 1979. Katı Atık Teknolojisinde Gelişmeler, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, Kurs Notları, Cilt 1, İstanbul.
- Pearson, E.S., Hartley, H.O., 1972. Biometrika Tables for Statisticians, Vol. 2, Table 5, NewYork, page 178.
- Pettifer, G.S., Fookes, P.G., 1994. A Revision of The Graphical Method for Assessing The Excavability of Rock, Q J Eng Geol, 27, 145–164.
- Pfeffer, J.T., 1992. Solid Waste Management Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ.
- Piteau, D.R., 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock. Proc. of The Symp. on Planning Open Pit Mines, S.A. Inst. Min. and Metal., Johannesburg, 33-53.
- Poole, R.W. ve Farmer, I.W., 1980. Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing. International Journal of Rock Mechanics and Mining, 63-71
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., 1976. Discontinuity Spacing in Rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. 13, 135-148.
- RAMBOLL-ERM Consortium, 2003. Support to Waste Management in Kaliningrad Oblast Landfill Site Selection, Design, Construction and Operation, Technical Report, Brussels, 22 pp.
- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Aitlik Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, Trabzon İli Bilgi Sistemi (tibus) Modeli, KTÜ Fen Bilimleri Üniversitesi, Doktora Tezi (in Turkish), Trabzon, 150 s.
- RILEM, 1980. Recommended Tests to Measure The Deterioration of Stone and to Assess The Effectiveness of Treatment Methods. Commission 25-PEM, Material and Structures, Vol. 13,175-253.
- Rodrigues, J.D., 1991. Physical Characterization and Assessment of Rock Durability Through Index Properties, NATO ASI Ser E Appl Sci 200: 7-34.

- Romana, M., 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. International Symposium on The Role of Rock Mechanics, Zacatecas, ISRM. 49-53.
- Romana, M., 1993. A Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating. (in Comprehensive Rock Engineering. Ed. / Hudson). Pergamon. VoJ 3. 575-600.
- Romana, M., 1995. The Geomechanical Classification SMR for Slope Correction. Proc. 8th Int. Congress Rock Mechanics, ISRM, Tokyo, 3, 1085-1092.
- Romana, M., Serön, J.B. ve Montalar, E., 2003. SMR Geomechanics Classification: Application, Experience and Validation ISRM 2003-Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 4 pp.
- Russel, D. J., 1982. Controls on Shale Durability: The Response of Two Ordovician Shales in The Slake Durability Test, Canadian Geotechnical Journal, 19, 1-13.
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill Comp., U.S.A.
- Saaty, T.L., 1990. How to Make a Decision, The Analytic Hierarchy Process, European Journal of Operational Research, 48, 9-26.
- Saaty, T.L., 1994, Fundamentals of Decision Making and Priority Theory, RWS Publications, Pittsburgh, HA 15213.
- Salim, R.M., Mokhtar, W., Navang, W., Rahman, N.A. ve Hanapi, M.N., 1995. Siting of Toxic Industrial Wastes Facilities-A Case Study for Malaysia, Jour. Ind. Assoc. Environ. Manage., 22, 261-266.
- Scoble, M.J. ve Muftuoğlu, Y.V., 1984. Derivation of A Diggability Index for Surface Mine Equipment Selection, Min Sci Technol., 1: 305-322.
- Serafim, J.L. ve Pereira, J.P., 1983. Considerations of The Geomechanics Classification of Bieniawski. Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Construction, LNEC, Lisbon, V.1, 1133-1142.
- Siddiqui, M.Z., Everett, J.W. ve Vieux, B.E., 1996. Landfill Siting Using Geographic Information Systems, A Demonstration, Journal of Environmental Engineering, 122, 515-523.
- Singh, R.N., Denby, B. ve Egretli, I., 1987. Development of A New Rippability Index for Coal Measures Excavations, Proceedings of The 28th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Tuscon, Arizona, Balkema, Boston, 935-943.
- Singh, R.N. ve Gahrooe, D.R., 1989. Application of Rock Mass Weakening Coefficient for Stability Assessment of Slopes in Heavily Jointed Rock Masses., International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 3, 207-219.

- Shrivastava, U. ve Nathawat, M.S., 2004. Selection of Potential Waste Disposal Sites Around Ranchi Urban Complex Using Remote Sensing and GIS Techniques, file://A:\gis+siteselection\site%20selection.htm.
- Smith, H.J., 1986. Estimating Rippability by Rock Mass Classification, Proceedings of The 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Tuscaloosa, Alabama, AIME, New York, 443–448.
- Sönmez, H. ve Ulusay, R., 1999. Modifications to The Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36-6, 743-760
- Sürücü, G., 1990. Katı Atıkların Düzenli Depolanması, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Swan, G., 1981. Tribology and Characterization of Rock Joints. 22nd U. S. Symp. on Rock Mechanics, Cambridge, Massachusetts, MIT, 402-407.
- Şen, Z. ve Essa, E.A., 1992. Rock Quality Charts for Log- Normally Distributed Block Sizes, International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 29-1, 1-12.
- Şener, B., Süzen, M.L. ve Doyuran, V., 2006. Landfill Site Selection by Using Geographic Information Systems, Environmental Geology, 49, 376-388
- Tabasaran, O., 1978. Katı Atıkların Toplanması, Uzaklaştırılması ve Zararsız Hale Getirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Ders Notları, İstanbul.
- Tabasaran, O., 1994. Abfall Wirtschaft Abfalltechnik, Ernst M. Sahn
- Taşlı, K., 1984. Hamsiköy (Trabzon) Yöresinin Jeolojisi, KTÜ Jeoloji Dergisi, 3/1-2, 69-76.
- Taylor, R. ve Allen, A., 1981.http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/quality/en/groundwater12.pdf
- T. C. Resmi Gazete, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.1991, 20814
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. ve Eliassen, R., 1977. Solid Wastes: Engineering Principles an Management Issues, McGraw-Hill Publishing, ISBN 0-07-063235-9, NewYork, 621 p.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. ve Vigil, S.A., 1993. Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, NewYork.
- Tchobanoglous, G. ve Kreith, F., 2002. Handbook of Solid Waste Management, McGraw-Hill, ISBN 0-07-135633-1, NewYork.

- Tecinvest, 1994. Treatment of Industrial Wastes, Study to Characterisation Locals for Controlled Landfills, (in Portuguese), D.G.A. Lisboa., 1-26.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. ve Scheriff, R.E., 1993. Applied Geophysics, Cambridge University, 225 s.
- Trabzon-Rize Belediyeler Birliği Bölgesel Katı Atık Yönetim Sistemi, 2004. Trabzon-Rize Belediyeler Birliği, KWF (Almanya), Tempo Mühendislik-Müşavirlik ve Environmental Resources Management (ERM), 487 s.
- T.S.E., 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1987. Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1990. Kaya Mekaniği Deneyleri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, A.E., Keçeli, A.E., Kamacı, Z. ve Kaya, M.A., 1991. Antalya'nın Zemin Sorunları ve Jeofizik Yöntemlerle Çözümleri, Jeofizik 5, 27-42.
- Uluatam, S., 1984. Ankara Katı Atıklarının Etkin Biçimde Toplanması, Değerlendirilmesi ve Zararsız Hale Getirilmesi, Doğa Bilim Dergisi, Cilt B, 8, 101-111.
- Ulusay, R., 1991. Geotechnical Evaluations and Deterministic Design Considerations for Pitwall Slopes at Eskihişar (Yatağan-Muğla) Strip Coal Mine. PhD Thesis, Middle East Technical University, 340pp (unpublished).
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Genişletilmiş 4. Baskı, 385 s.
- Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, S., 1998. TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (1.Aşama: A Panosu Şevlerinin Duraylılığı). Proje No. 600.020.0056, 245 s.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 58, Ankara, 161 s.
- Ulusay, R., Özkan, L. ve Ünal, E. 1995. Characterization of Weak, Stratified and Clay-Bearing Rock Masses for Engineering Applications. Fractured and Jointed Rock Masses Conference, June 3-5, 1992, L. R. Mayer, N. W. Cook, R. E. Goodman and C.F. Tsang (eds.), A. A. Balkema, Lake Tahoe, California, 233-240.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları No:60, Ankara, 243s.

- URL-1. <http://www.Ipe.nt.gov.au/enviro/POLDOC/landfill/swsite.htm>, 2003. Guideline for Solid Waste Disposal Sites, 5 pp.
- URL-2. <http://wlapwww.gov.bc.ca/epd/epdpa/mpp/lcmsw.html>, 1993. Landfill Criteria for Municipal Solid Waste.
- URL-3. <http://www.orange.nsw.gov.au/zhub/criteria.html> (Criteria for Site Selection).
- U.S. Department of Interior (USDI), Bureau of Reclamation. 1960. Design of Small Dams.
- Ünal, E., 1983. Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs. Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355 p.
- Van der Wall, R., Wiriosudarmo S. ve Zainal Abidin, D., 1992. Site Selection for Domestic Waste Disposal Sites in The Hilly Surrounding of The Batujajar and Bandung Plains, Project CTA 108, Environmental Geology for Landuse and Regional Planning, Project Report No 24, Directorate of Environmental Geology, Bandung.
- Van Driel, J.N., 1982. Map Showing Physical Characteristics Related to Sanitary Lanfilling Siting in Fairfax Country, Virginia, Miscellaneous Investigation Series, United States Geological Survey.
- Weaver, J.M., 1975. Geological Factors Significant in The Assessment of Rippability, The Civil Engineer in South Africa,17: 313–316.
- Whitlatch, E.E., 1976. Systematic Approaches to Environmental Impact Assessment: An Evaluation, Water Resour. Bull., 12(1), 123-137.
- Wilson, M.J., 1987. Determinative Methods in Clay Mineralogy, Blackie-Son (Chapman-Hall, N.Y.), 384 pp.
- Wissbach, C., 1978. A New Method for The Determination of The Roughness of Rock Joints in Laboratory, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 16, 303-307.
- Wyllie, D.C., 1992. Foundation On Rock, E and FN Press, NewYork, 333 pp.
- Wyllie, D.C. ve Mah, C.W., 1999. Rock Slope Engineering, Spon Press, NewYork, 437 pp.
- Xu, S., Grasso, P. ve Mahtab, A., 1990. Use of Schmidt Hammer for Estimating Mechanical Properties of Weak Rock. 6th Int. IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, VI, 511-519
- Yagoub, M.M. ve Buyong, T., 2004. GIS Application for Dumping Site Selection, [file:///A:/gis+site selection\3.htm](file:///A:/gis+site%20selection/3.htm).

- Yalçınalp, B., 1992. Güneyyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon
- Yalçın, A., Reis, S. ve Nişancı, R., 2002. Mass Movement Evaluation with Geographical Information Systems: A case Study from Gümüşhane Region, International Symposium on Geographical Information Systems (GIS, 2002), İstanbul, Proceedings, 760-767
- Yeşilnacar, M.İ., 2000. GAP Bölgesi'nde Tehlikeli Atıklar İçin Jeolojik Yer Seçimi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana
- Yeşilnacar, M.İ., Keskin, H. ve Söylemez, M., 2001. Türkiye'de Çevre Kirlenmesinin Öncelikleri ve Katı atık bertaraf Yöntemleri, Yer altı Suları ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İzmir, 427-436.
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and Structure of Gümüşhane Granite and Surrounding Rocks, NE Anatolia, PhD Thesis, University of London
- Yılmaz, B.S., Güç, A.R., Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E.N., Konak, O., Yaprak, S. ve Köse, Z., 1998. Trabzon İli'nin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Yayınları, Ankara
- Yomralıoğlu, T. ve Akça, M.D., 1999. Çevresel Bilgi Sistemleri İçin Model-Altlık Tasarımı: Trabzon-Değirmendere Havzası Örneği, Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 297-306.
- Yomralıoğlu, T., 2002. Coğrafi Bilgi Sistemleri; Temel Kavramlar ve Uygulamalar, 2. Baskı, ISBN 975-97369.0-X, Trabzon, 480s.
- Zadeh, L. ve Tanaka, K., 1975. Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes, Academic Press, NewYork.
- Zieman, J.C., 1971. Optimum Pathway Matrix Analysis Approach to Environment Decision Making Process, Institute of Ecology, Univ. of Georgia, Athens, Ga.12.
- Zuquette, L.V., Gandolfi, N., 1994. Problems and Rules to Select The Landfill Waste Disposal Sites Brazil, In International Symposium on Urban Geology, Sfax (Tunisia), 300-309, Theme IV, Les Déchets Urbans, 74-183.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Kayaç malzemesine ait doğal su içeriği deney sonuçları

DOĞAL SU İÇERİĞİ TAYİNİ (A1 jeoteknik birimi)					
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Örnek Ağırlığı w (gr)	Kuru Örnek Ağırlığı w_k (gr)	Su İçeriği w=(w-w_k)/w_k (%)	Kayaç Tanımı
A1	Yüzey	148.18	144.71	2.398	Marn Kilitaşı
A2	Yüzey	96.98	94.04	3.126	
A3	Yüzey	161.77	157.75	2.548	
A4	Yüzey	162.15	159.44	1.700	
B1	Yüzey	122.57	121.43	0.939	
B2	Yüzey	99.01	97.97	1.062	
B3	Yüzey	159.24	156.75	1.589	
B4	Yüzey	262.15	254.36	3.063	
B5	Yüzey	170.97	168.69	1.352	
B6	Yüzey	138.62	137.13	1.087	
B7	Yüzey	190.42	188.30	1.126	
C1	Yüzey	129.58	127.46	1.663	
C2	Yüzey	186.82	183.98	1.544	
C3	Yüzey	91.91	90.71	1.323	
C4	Yüzey	114.76	113.30	1.289	
Ortalama değer				1.78	
(A2 jeoteknik birimi)					
Y7	Yüzey	267.99	264.72	1.235	Kumlu kireçtaşı Kireçtaşı
Y8	Yüzey	285.77	282.85	1.032	
Y9	Yüzey	177.01	174.96	1.172	
Y10	Yüzey	163.96	162.51	0.892	
Y11	Yüzey	104.69	103.59	1.062	
Y12	Yüzey	459.30	456.81	0.545	
Y13	Yüzey	276.80	274.97	0.666	
Y14	Yüzey	359.47	357.04	0.681	
Y15	Yüzey	469.22	466.02	0.687	
Y16	Yüzey	227.00	225.49	0.670	
Y17	Yüzey	146.22	145.18	0.716	
Y18	Yüzey	119.51	118.66	0.716	
Y19	Yüzey	263.33	261.41	0.734	
Y20	Yüzey	199.37	197.71	0.840	
Y21	Yüzey	168.32	166.87	0.869	
Y22	Yüzey	310.86	307.13	1.214	
Y23	Yüzey	318.32	314.09	1.347	
Y24	Yüzey	336.52	331.41	1.542	
Y25	Yüzey	210.71	207.65	1.474	
Ortalama değer				1.26	

Ek Tablo 1'in devamı

DOĞAL SU İÇERİĞİ TAYİNİ (B1 jeoteknik birimi)					
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Örnek Ağırlığı w (gr)	Kuru Örnek Ağırlığı w_k (gr)	Su İçeriği w=(w-w_k)/w_k (%)	Kayaç Tanımı
S2	18	645.76	639.37	1.00	Kalkarenit Kalsirüdit
S1	15	646.90	641.49	0.84	
S1	17.5	644.46	639.08	0.84	
S2	18.5	637.58	631.27	1.00	
S1	19	636.16	629.86	1.00	
S2	17	617.23	611.12	1.00	
S1	18	645.02	641.56	0.54	
Ortalama değer				0.89	
S2***	17	645.80	636.01	1.54	Orta derecede ayrılmış kaba taneli kalkarenit. kalsirüdit
S2	18.5	648.95	642.78	0.96	
S3	9	611.52	606.72	0.79	
S3	6	644.03	634.66	1.48	
S3	6.5	643.20	638.03	0.81	
S1	18	647.02	642.07	0.77	
S3	9.5	645.08	633.80	1.78	
S3	6.25	595.89	591.39	0.76	
S2	16	593.30	588.68	0.78	
S2	18	579.49	574.55	0.86	
S1	18.75	547.53	544.41	0.57	
Ortalama değer				1.01	

Ek Tablo 2. A1 jeoteknik birimine ait kayaçların porozite ve boşluk oranı değerleri

GÖRÜNÜR GÖZENEKLİLİK (POROZİTE) VE BOŞLUK ORANI TAYİNİ (A1 jeoteknik birimi)											
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm³)	Örnek Ağırlığı w (g)	Doymun Ağırlık w_d (g)	Kuru Ağırlık w_k (g)	Boşluk Hacmi V_b (cm³)	Porozite n = V_b/ V (%)	Boşluk Oranı e = n/(1-n) (%)	Kayaç Tanımı
S3	1	107.00	54.5	249.61	632.72	634.09	626.46	11.412	4.572	4.791	Kalkarenit Kireçtaşı
S3	2	109.14	54.5	254.61	644.53	645.74	638.15	11.967	4.700	4.932	
S2	3	109.24	54.5	254.84	645.64	648.11	641.27	11.011	4.321	4.516	
Y1	Yüzey	107.32	54.5	250.36	622.59	634.85	616.43	15.976	6.381	6.816	
Y2	Yüzey	108.60	54.5	253.35	643.46	653.05	637.09	11.110	4.385	4.587	
Y3	Yüzey	105.22	54.5	245.46	606.7	619.03	600.69	17.061	6.951	7.470	
Y4	Yüzey	106.00	54.5	247.28	650.01	651.29	645.90	1.691	0.684	0.688	
Y5	Yüzey	107.16	54.5	249.99	657.65	659.16	652.95	1.720	0.688	0.693	
Y6	Yüzey	108.30	54.5	252.65	662.85	664.73	658.27	2.357	0.933	0.942	
Y32	Yüzey	126.50	48.5	233.70	607.13	611.67	606.20	3.206	1.372	1.391	
Y33	Yüzey	125.40	49.7	243.28	631.86	634.75	630.84	3.417	1.405	1.425	
Y34	Yüzey	126.20	49.5	242.86	622.91	627.04	621.63	6.499	2.676	2.750	
Y35	Yüzey	126.90	49.8	247.18	646.92	649.10	645.09	1.899	0.768	0.774	
Y36	Yüzey	126.30	49.6	244.04	641.25	643.08	639.82	0.762	0.312	0.313	
Y37	Yüzey	125.00	49.5	240.55	633.24	635.42	631.68	0.367	0.153	0.153	
Y38	Yüzey	122.20	49.5	235.16	616.05	617.70	614.52	1.502	0.639	0.643	
Y39	Yüzey	118.50	49.7	229.89	604.00	605.68	602.46	0.818	0.356	0.357	
Y40	Yüzey	124.60	49.6	240.75	615.48	618.88	614.21	7.210	2.995	3.087	
Y41	Yüzey	121.20	49.5	233.24	603.82	607.47	602.50	4.153	1.780	1.813	
Y42	Yüzey	117.50	49.5	226.12	572.30	575.46	570.83	9.074	4.013	4.181	
Ortalama değerler									2.504	2.616	

Ek Tablo 3. A2 jeoteknik birimine ait kayaların porozite ve boşluk oranı değerleri

GÖRÜNÜR GÖZENEKLİLİK (POROZİTE) VE BOŞLUK ORANI TAYİNİ (A2 jeoteknik birimi)												
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm ³)	Örnek Ağırlığı w (g)	Doygun Ağırlık w _d (g)	Kuru Ağırlık w _k (g)	Boşluk Hacmi V _v = (w _d - w _k) / ρ _w (cm ³)	Porozite n = V _v / V (%)	Boşluk Oranı e = n / (100 - n) (%)	Kayaç Tanımı	
Y43	Yüzey	114.00	49.5	219.38	575.18	577.41	571.56	0.3915	0,1785	0,1788	Kumlu kireçtaşı Kireçtaşı	
Y44	Yüzey	118.30	49.3	225.82	583.66	585.40	579.93	3.6246	1,6051	1,6313		
Y45	Yüzey	121.40	49.2	230.80	596.45	598.67	593.10	3.5586	1,5419	1,5660		
Y46	Yüzey	118.50	49.1	224.37	576.40	578.42	573.02	4.8221	2,1492	2,1964		
Y47	Yüzey	113.00	49.8	220.10	570.37	572.51	567.12	2.8126	1,2779	1,2944		
Y48	Yüzey	119.00	49.0	224.40	582.10	584.32	578.63	2.7027	1,2044	1,2191		
Y49	Yüzey	121.80	49.0	229.68	597.21	599.67	593.40	2.3237	1,0117	1,0220		
Y50	Yüzey	124.80	49.5	240.17	616.86	618.98	613.72	5.0282	2,0936	2,1384		
Y51	Yüzey	122.30	49.0	230.63	596.94	599.34	593.57	3.2085	1,3912	1,4108		
Y52	Yüzey	112.20	49.2	213.31	555.69	557.73	552.50	1.6242	0,7614	0,7673		
Y53	Yüzey	119.00	49.0	224.40	585.94	588.11	582.61	1.1778	0,5249	0,5276		
Y54	Yüzey	120.00	49.2	228.14	594.71	596.75	591.45	1.5308	0,6710	0,6755		
Ortalama değerler									1,2009	1,2190		

Ek Tablo 4. B1 jeoteknik birimine ait kayaların porozite ve boşluk oranı değerleri

GÖRÜNÜR GÖZENEKLİLİK (POROZİTE) VE BOŞLUK ORANI TAYİNİ (B1 jeoteknik birimi)											
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm ³)	Örnek Ağırlığı w (g)	Doygun Ağırlık w _d (g)	Kuru Ağırlık w _k (g)	Boşluk Hacmi V _v = (w _d - w _k)/ ρ _w (cm ³)	Porozite n = V _v / V (%)	Boşluk Oranı e = n/(100-n) (%)	Kayaç Tanımı
S2	18	109.0	54.5	254.28	645.76	647.86	639.37	8.368	3.291	3.403	Kalkarenit Kalsirüdit
S1	15	108.6	54.5	253.35	646.90	648.14	641.49	6.623	2.614	2.684	
S1	17.5	108.6	54.5	253.35	644.46	648.31	639.08	7.550	2.980	3.072	
S2	18.5	108.9	54.5	254.05	637.58	641.60	631.27	11.254	4.430	4.635	
S1	19	108.5	54.5	253.11	636.16	639.79	629.86	10.856	4.289	4.481	
S2	17	105.4	54.5	245.88	617.23	620.86	611.12	10.834	4.406	4.609	
S1	18	106.4	54.5	248.17	643.02	648.31	641.56	1.416	0.571	0.574	
Ortalama değerler									3.226	3.351	
S2***	17	111.4	54.5	259.75	645.80	649.49	636.01	15.131	5.825	6.185	Ayrışmış. kaba taneli kalkarenit. kalsirüdit
S2	18.5	110.5	54.5	257.65	648.95	653.37	642.78	10.427	4.047	4.218	
S3	9	104.0	54.5	242.49	611.52	616.18	606.72	9.136	3.768	3.915	
S3	6	112.5	54.5	262.31	644.03	648.22	634.66	18.210	6.942	7.460	
S3	6.5	110.0	54.5	256.48	643.20	646.22	638.03	11.084	4.322	4.517	
S1	18	112.0	54.5	261.14	647.02	656.92	642.07	14.190	5.434	5.746	
S3	9.5	111.4	54.5	259.75	645.08	648.23	633.80	15.981	6.152	6.556	
S3	6.25	103.2	54.5	240.63	595.89	606.10	591.39	13.172	5.474	5.791	
S2	16	100.4	54.5	234.10	593.30	596.41	588.68	7.685	3.283	3.394	
S2	18	98.40	54.5	229.43	579.49	582.48	574.55	8.449	3.683	3.824	
S1	18.75	92.50	54.5	215.68	547.53	551.51	544.41	6.292	2.917	3.005	
Ortalama değerler									4.713	4.965	

Ek Tablo 5. A1 jeoteknik birimine ait kayaçların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

AĞIRLIKÇA VE HACİMCE SU EMME DENEYİ (A1 jeoteknik birimi)										
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm ³)	Örnek Ağırlığı w (g)	Doymun Ağırlık w _d (g)	Kuru Ağırlık w _k (g)	Ağırlıkça Su Emme Oranı w=(w _d -w _k)/w _k (%)	Hacimce Su Emme Oranı w=(w _d -w _k)/V (%)	Kayaç Tanımı
S3	1	107.00	54.5	249.61	632.72	634.09	626.46	1.22	3.06	Kalkarenit Kireçtaşı
S3	2	109.14	54.5	254.61	644.53	645.74	638.15	1.19	2.98	
S2	3	109.24	54.5	254.84	645.64	648.11	641.27	1.07	2.68	
Y1	Yüzey	107.32	54.5	250.36	622.59	634.85	616.43	2.99	7.36	
Y2	Yüzey	108.60	54.5	253.35	643.46	653.05	637.09	2.51	6.30	
Y3	Yüzey	105.22	54.5	245.46	606.7	619.03	600.69	3.05	7.47	
Y4	Yüzey	106.00	54.5	247.28	650.01	651.29	645.90	0.83	2.18	
Y5	Yüzey	107.16	54.5	249.99	657.65	659.16	652.95	0.95	2.48	
Y6	Yüzey	108.30	54.5	252.65	662.85	664.73	658.27	0.98	2.56	
Y32	Yüzey	126.50	48.5	233.70	607.13	611.67	606.20	0.90	2.34	
Y33	Yüzey	125.40	49.7	243.28	631.86	634.75	630.84	0.62	1.61	
Y34	Yüzey	126.20	49.5	242.86	622.91	627.04	621.63	0.87	2.23	
Y35	Yüzey	126.90	49.8	247.18	646.92	649.10	645.09	0.62	1.62	
Y36	Yüzey	126.30	49.6	244.04	641.25	643.08	639.82	0.51	1.34	
Y37	Yüzey	125.00	49.5	240.55	633.24	635.42	631.68	0.59	1.55	
Y38	Yüzey	122.20	49.5	235.16	616.05	617.70	614.52	0.52	1.35	
Y39	Yüzey	118.50	49.7	229.89	604.00	605.68	602.46	0.53	1.40	
Y40	Yüzey	124.60	49.6	240.75	615.48	618.88	614.21	0.76	1.94	
Y41	Yüzey	121.20	49.5	233.24	603.82	607.47	602.50	0.82	2.13	
Y42	Yüzey	117.50	49.5	226.12	572.30	575.46	570.83	0.81	2.05	
Ortalama değerler								1.12	2.83	

Ek Tablo 6. A2 jeoteknik birimine ait kayaçların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

AĞIRLIKÇA VE HACİMCE SU EMME DENEYİ (A2 jeoteknik birimi)											
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm ³)	Örnek Ağırlığı w (g)	Doğgun Ağırlık w _d (g)	Kuru Ağırlık w _k (g)	Ağırlıkça Su Emme Oranı w=(w _d -w _k)/w _k (%)	Hacimce Su Emme Oranı w=(w _d -w _k)/V (%)	Kayaç Tanımı	
Y43	Yüzey	114.00	49.5	219.38	575.18	577.41	571.56	1.02	2.67	Kumlu kireçtaşı Kireçtaşı	
Y44	Yüzey	118.30	49.3	225.82	583.66	585.40	579.93	0.94	2.42		
Y45	Yüzey	121.40	49.2	230.80	596.45	598.67	593.10	0.94	2.41		
Y46	Yüzey	118.50	49.1	224.37	576.40	578.42	573.02	0.94	2.41		
Y47	Yüzey	113.00	49.8	220.10	570.37	572.51	567.12	0.95	2.45		
Y48	Yüzey	119.00	49.0	224.40	582.10	584.32	578.63	0.98	2.54		
Y49	Yüzey	121.80	49.0	229.68	597.21	599.67	593.40	1.06	2.73		
Y50	Yüzey	124.80	49.5	240.17	616.86	618.98	613.72	0.86	2.19		
Y51	Yüzey	122.30	49.0	230.63	596.94	599.34	593.57	0.97	2.50		
Y52	Yüzey	112.20	49.2	213.31	555.69	557.73	552.50	0.95	2.45		
Y53	Yüzey	119.00	49.0	224.40	585.94	588.11	582.61	0.94	2.45		
Y54	Yüzey	120.00	49.2	228.14	594.71	596.75	591.45	0.90	2.32		
Ortalama değerler								0.95	2.46		

Ek Tablo 7. B1 jeoteknik birimine ait kayaçların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

AĞIRLIKÇA VE HACİMCE SU EMME DENEYİ (B1 jeoteknik birimi)										
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm ³)	Örnek Ağırlığı w (g)	Doygun Ağırlık w _d (g)	Kuru Ağırlık w _k (g)	Ağırlıkça Su Emme Oranı w=(w _d -w _k)/w _k (%)	Hacimce Su Emme Oranı w=(w _d -w _k)/V (%)	Kayaç Tanımı
S2	18	109.0	54.5	254.28	645.76	647.86	639.37	1.33	3.34	Kalkarenit Kalsirüdit
S1	15	108.6	54.5	253.35	646.90	648.14	641.49	1.04	2.62	
S1	17.5	108.6	54.5	253.35	644.46	648.31	639.08	1.44	3.64	
S2	18.5	108.9	54.5	254.05	637.58	641.60	631.27	1.64	4.07	
S1	19	108.5	54.5	253.11	636.16	639.79	629.86	1.58	3.92	
S2	17	105.4	54.5	245.88	617.23	620.86	611.12	1.59	3.96	
S1	18	106.4	54.5	248.17	643.02	648.31	641.56	1.05	2.72	
Ortalama değerler								1.38	3.47	
S2***	17	111.4	54.5	259.75	645.80	649.49	636.01	2.12	5.19	Ayrışmış kaba taneli kalkarenit. kalsirüdit
S2	18.5	110.5	54.5	257.65	648.95	653.37	642.78	1.65	4.11	
S3	9	104.0	54.5	242.49	611.52	616.18	606.72	1.56	3.90	
S3	6	112.5	54.5	262.31	644.03	648.22	634.66	2.14	5.17	
S3	6.5	110.0	54.5	256.48	643.20	646.22	638.03	1.28	3.19	
S1	18	112.0	54.5	261.14	647.02	656.92	642.07	2.31	5.69	
S3	9.5	111.4	54.5	259.75	645.08	648.23	633.80	2.28	5.56	
S3	6.25	103.2	54.5	240.63	595.89	606.10	591.39	2.49	6.11	
S2	16	100.4	54.5	234.10	593.30	596.41	588.68	1.31	3.30	
S2	18	98.40	54.5	229.43	579.49	582.48	574.55	1.38	3.46	
S1	18.75	92.50	54.5	215.68	547.53	551.51	544.41	1.30	3.29	
Ortalama değerler								1.80	4.45	

Ek Tablo 8. A1 jeoteknik birimine ait kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEYİ (A1 jeoteknik birimi)								
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm ²)	D _c ² (mm ²)	Nokta Yükü Dayanımı I _s (Mpa)	Boyut Düzeltme Faktörü F	Nokta Yükü Dayanımı I _{s(50)} (Mpa)	Kayaç Tanımı
S1	5	54.5	27.5	-	0.93	1.040	0.97	Silttaşı
S1	6	54.5	25	-	0.84	1.039	0.87	Kiltaşı
S1	7	54.5	25	-	0.84	1.040	0.87	Kiltaşı
S1	8	54.5	20	-	0.67	1.040	0.7	Tüf
S1	12.5	54.5	25	-	0.84	1.039	0.87	Tüf
S1	5.5	54.5	35	-	1.17	1.040	1.22	Silttaşı
S1	6.5	54.5	20	-	0.67	1.040	0.7	Kiltaşı
S1	7.5	54.5	40	-	1.35	1.039	*1.4	Silttaşı
S2	8	54.5	25	-	0.84	1.040	0.87	Tüf
S1	5.75	54.5	25	-	0.84	1.040	0.87	Silttaşı
S1	5-7.75	54.5	25	-	0.84	1.040	0.87	Kiltaşı
S2	2	54.5	35	-	1.18	1.040	1.23	Tüf
S2	10							
S3	3	54.5	37.5	-	1.27	1.039	*1.32	Tüf
S3	4	54.5	20	-	1.27	1.040	*0.7	Tüf
S3	4.25	54.5	20	-	0.67	1.040	*0.7	Kiltaşı
50 mm çapında örnek için ortalama nokta yükü dayanım indeksi:							0.98 MPa	
*En yüksek ve en düşük 2 değer hesaplamaya katılmamıştır								

Ek Tablo 9. A2 jeoteknik birimine ait kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEYİ (A2 jeoteknik birimi)								
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm ²)	D _e ² (mm ²)	Nokta Yükü Dayanımı I _s (Mpa)	Boyut Düzeltme Faktörü F	Nokta Yükü Dayanımı I _{s(50)} (Mpa)	Kayaç Tanımı
Y43	Yüzey	50	65.0	-	2.54	1	2.54	Kumlu kireçtaşı
Y44	Yüzey	50	62.5	-	2.45	1	2.45	Kumlu kireçtaşı
Y45	Yüzey	50	60.0	-	2.35	1	2.35	Kumlu kireçtaşı
Y46	Yüzey	50	57.5	-	2.26	1	*2.26	Kumlu kireçtaşı
Y47	Yüzey	50	62.5	-	2.45	1	2.45	Kumlu kireçtaşı
Y48	Yüzey	50	60.0	-	2.35	1	2.35	Kumlu kireçtaşı
Y49	Yüzey	50	67.5	-	2.65	1	2.65	Kumlu kireçtaşı
Y50	Yüzey	50	72.5	-	2.84	1	*2.84	Kumlu kireçtaşı
Y51	Yüzey	50	72.5	-	2.84	1	*2.84	Kumlu kireçtaşı
Y52	Yüzey	50	60.0	-	2.35	1	2.35	Kumlu kireçtaşı
Y53	Yüzey	50	57.5	-	2.26	1	2.26	Kumlu kireçtaşı
Y54	Yüzey	50	62.5	-	2.45	1	2.45	Kumlu kireçtaşı
Y55	Yüzey	50	55.0	-	2.16	1	*2.16	Kumlu kireçtaşı
50 mm çapında örnek için ortalama nokta yükü dayanım indeksi:							2.43 MPa	
*En yüksek ve en düşük 2 değer hesaplamaya katılmamıştır								

Ek Tablo 10. A2 jeoteknik birimine ait kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEYİ (A2 jeoteknik birimi)								
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm ²)	D _c ² (mm ²)	Nokta Yükü Dayanımı I _s (Mpa)	Boyut Düzeltme Faktörü F	Nokta Yükü Dayanımı I _s (50) (Mpa)	Kayaç Tanımı
Y14	Yüzey	50	65.0	-	2.54	1	2.54	Kumlu kireçtaşı
Y15	Yüzey	50	75.0	-	2.94	1	*2.94	Kireçtaşı
Y16	Yüzey	50	65.0	-	2.54	1	2.54	Kireçtaşı
Y17	Yüzey	50	55.0	-	2.16	1	2.16	Kireçtaşı
Y18	Yüzey	50	65.0	-	2.54	1	2.54	Kumlu kireçtaşı
Y19	Yüzey	50	65.0	-	2.54	1	2.54	Kireçtaşı
Y20	Yüzey	50	72.5	-	2.84	1	2.84	Kumlu kireçtaşı
Y21	Yüzey	50	70.0	-	2.75	1	2.75	Kireçtaşı
Y22	Yüzey	50	67.5	-	2.65	1	2.65	Kumlu kireçtaşı
Y23	Yüzey	50	72.5	-	2.84	1	2.84	Kireçtaşı
Y24	Yüzey	50	62.5	-	2.45	1	2.45	Kireçtaşı
Y25	Yüzey	50	55.0	-	2.16	1	*2.16	Kireçtaşı
Y26	Yüzey	50	55.0	-	2.16	1	*2.16	Kireçtaşı
Y27	Yüzey	50	82.5	-	3.24	1	*3.24	Kireçtaşı
Y28	Yüzey	50	72.5	-	2.84	1	2.84	Kumlu kireçtaşı
Y29	Yüzey	50	72.5	-	2.84	1	2.84	Kireçtaşı
Y30	Yüzey	50	65.0	-	2.54	1	2.54	Kumlu kireçtaşı
50 mm çapında örnek için ortalama nokta yükü dayanım indeksi:							2.62 MPa	
*En yüksek ve en düşük 2 değer hesaplamaya katılmamıştır								

Ek Tablo 11. B1 jeoteknik birimine ait kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEYİ (B1 jeoteknik birimi)									
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm ²)	D _e ² (mm ²)	Nokta Yükü Dayanımı I _s (Mpa)	Boyut Düzeltme Faktörü F	Nokta Yükü Dayanımı I _{s(50)} (Mpa)	Kayaç Tanımı	
S1	13.75	54.5	47.5	-	1.6	1.040	1.66	Kalsirüdit	
S1	14.00	54.5	37.5	-	1.27	1.039	1.32	Kalsirüdit	
S1	14.25	54.5	50.0	-	1.69	1.039	1.76	Kalsirüdit	
S1	14.50	54.5	37.5	-	1.26	1.040	*1.31	Kalsirüdit	
S1	14.75	54.5	47.5	-	1.6	1.040	1.66	Kalsirüdit	
S2	15.50	54.5	47.5	-	1.61	1.039	1.67	Kalsirüdit	
S2	15.60	54.5	47.5	-	1.61	1.039	1.67	Kalsirüdit	
S2	15.70	54.5	52.5	-	1.77	1.040	*1.84	Kalsirüdit	
S2	15.80	54.5	50.0	-	1.68	1.040	1.75	Kalsirüdit	
S2	15.90	54.5	50.0	-	1.68	1.040	1.75	Kalsirüdit	
S2	15.95	54.5	40.0	-	1.35	1.039	1.40	Kalsirüdit	
S2	15.65	54.5	37.5	-	1.26	1.040	*1.31	Kalsirüdit	
S4	9.20	54.5	47.5	-	1.61	1.039	1.67	Kalsirüdit	
S4	9.60	54.5	52.5	-	1.77	1.039	*1.84	Kalsirüdit	
S4	9.80	54.5	42.5	-	1.43	1.040	1.49	Kalsirüdit	
50 mm çapında örnek için ortalama nokta yükü dayanım indeksi:							1.62 MPa		
*En yüksek ve en düşük 2 değer hesaplamaya katılmamıştır									

Ek Tablo 12. B1 jeoteknik birimine ait kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEYİ (B1 jeoteknik birimi)								
Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm ²)	D _c ² (mm ²)	Nokta Yükü Dayanımı I _s (Mpa)	Boyut Düzeltme Faktörü F	Nokta Yükü Dayanımı I _{s(50)} (Mpa)	Kayaç Tanımı
S1	13.75	54.5	82.5	-	2.78	1.040	*2.89	Kalkarenit
S1	13.50	54.5	80	-	2.70	1.039	2.81	Kalkarenit
S1	13.75	54.5	67.5	-	2.26	1.040	2.35	Kalkarenit
S1	14.00	54.5	55	-	1.85	1.040	1.92	Kalkarenit
S1	16.00	54.5	55	-	1.86	1.039	1.93	Kalkarenit
S2	13.50	54.5	57.5	-	1.93	1.040	2	Kalkarenit
S2	15.75	54.5	57.5	-	1.93	1.040	2	Kalkarenit
S2	13.50	54.5	50	-	1.68	1.040	*1.75	Kalkarenit
S2	17.50	54.5	50	-	1.68	1.040	*1.75	Kalkarenit
S3	7.00	54.5	50	-	1.69	1.039	1.76	Kalkarenit
S3	8.50	54.5	67.5	-	2.26	1.040	2.35	Kalkarenit
S3	8.75	54.5	60	-	2.01	1.040	2.09	Kalkarenit
S3	9.00	54.5	67.5	-	2.27	1.040	2.36	Kalkarenit
S4	5.50	54.5	87.5	-	2.96	1.039	*3.08	Kalkarenit
S4	8.75	54.5	67.5	-	2.28	1.039	2.28	Kalkarenit
50 mm çapında örnek için ortalama nokta yükü dayanım indeksi:							2.18 MPa	
*En yüksek ve en düşük 2 değer hesaplamaya katılmamıştır								

Ek Şekil 13. Kayaç örneklerine ait tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Örnekleme Derinliği (m)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Kesit Alanı A (m ²)	Örnek Ağırlığı w (g)	Yükleme Hızı (kN/dak)	Yükleme Süresi (dak)	Yenilme Yükü F (kN)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı $\sigma_3 = (F/A) \times 10^{-3}$ (MPa)	Kayaç Tanımı
Y32	Yüzey	126.50	48.5	0.001847	607.13	15	7	102	55.22	A2 Jeoteknik Birimi Kireçtaşı. kalkarenit
Y34	Yüzey	126.20	49.5	0.001924	622.91	15	5	81	42.10	
Y35	Yüzey	126.90	49.8	0.001948	646.92	15	7	98	50.31	
Y36	Yüzey	126.30	49.6	0.001932	641.25	15	8	122	63.15	
Y37	Yüzey	125.00	49.5	0.001924	633.24	15	8	122	63.41	
Y39	Yüzey	118.50	49.7	0.001940	604.00	15	7	102	52.58	
Y40	Yüzey	124.60	49.6	0.001932	615.48	15	9	139	71.95	
Ortalama değer									56.96	
Y45	Yüzey	121.40	49.2	0.00190	596.45	15	8	120	63,16	A2 Jeoteknik Birimi Kırıntılı kireçtaşı
Y46	Yüzey	118.50	49.1	0.00189	576.40	15	6	88	46,56	
Y48	Yüzey	119.00	49.0	0.00188	582.10	15	8	116	61,70	
Y49	Yüzey	121.80	49.0	0.00188	597.21	15	7	112	59,57	
Y50	Yüzey	124.80	49.5	0.00192	616.86	15	8	122	63,54	
Y51	Yüzey	122.30	49.0	0.00188	596.94	15	8	120	63,83	
Y54	Yüzey	120.00	49.2	0.00190	594.71	15	5	72	37,89	
Ortalama değer									56.61	
S2	18.5	110.5	54.5	0.0027	648.95	15	6	88	32,59	B1 Jeoteknik Birimi Orta derecede ayrılmış. kaba taneli kalkarenit. kalsirüdit
S3	9	104.0	54.5	0.0027	611.52	15	5	77	28,52	
S3	6.5	110.0	54.5	0.0027	643.20	15	7	101	37,41	
S1	18	112.0	54.5	0.0027	647.02	15	7	101	37,41	
S2	16	100.4	54.5	0.0027	593.30	15	7	99	36,67	
S2	18	98.40	54.5	0.0027	579.49	15	7	110	40,74	
S1	18.75	92.50	54.5	0.0027	547.53	15	8	120	44,44	
Ortalama değer									36.83	

Ek Tablo 14. SK1 sondajının açılması esnasında her 5 metrede yapılan basınçlı su deneyleri sonuçları

BASINÇLI SU DENEYİ							
Sondaj No	SK1			Deney tipi	Tek lastik		
Muhafaza borusu çapı	89.00 mm			Deney lastiği boyu ve çapı	300 mm/66 mm		
Delikli boru boyu	3.00 m			Pompa kapasitesi	150lt/dak		
Tij boyu ve çapı	305 mm/54.5 mm						
Deney no	Derinlik (m)			İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam kayıp (lt)	Manometre basıncı
	metreden	metreye	fark				
1	0	5	5	0	0	0	2
2	0	5	5	2	1	3	4
3	0	5	5	2	3	5	6
4	0	5	5	6	2	8	8
5	0	5	5	1	0	1	6
6	0	5	5	0	0	0	4
7	0	5	5	0	0	0	2
1	5	10	5	1	0	1	2
2	5	10	5	0	1	1	4
3	5	10	5	2	1	3	6
4	5	10	5	4	3	7	8
5	5	10	5	2	2	4	6
6	5	10	5	1	1	2	4
7	5	10	5	0	0	0	2
1	10	15	5	0	0	0	2
2	10	15	5	0	2	2	4
3	10	15	5	5	4	9	6
4	10	15	5	7	5	12	8
5	10	15	5	2	0	2	6
6	10	15	5	0	0	0	4
7	10	15	5	0	0	0	2
1	15	20	5	1	0	1	2
2	15	20	5	0	2	2	4
3	15	20	5	3	2	5	6
4	15	20	5	5	3	8	8
5	15	20	5	2	2	4	6
6	15	20	5	1	0	1	4
7	15	20	5	0	0	0	2

Ek Tablo 15. SK2 sondajının açılması esnasında her 5 metrede yapılan basınçlı su deneyleri sonuçları

BASINÇLI SU DENEYİ							
Sondaj No		SK2		Deney tipi		Tek lastik	
Muhafaza borusu çapı		89.00 mm		Deney lastiği boyu ve çapı		300 mm/66 mm	
Delikli boru boyu		3.00 m		Pompa kapasitesi		150lt/dak	
Tij boyu ve çapı		305 mm/54.5 mm					
Deney no	Derinlik (m)			İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam kayıp (lt)	Manometre basıncı
	metreden	metreye	fark				
1	0	5	5	0	0	0	2
2	0	5	5	0	0	0	4
3	0	5	5	1	0	1	6
4	0	5	5	2	4	6	8
5	0	5	5	1	0	1	6
6	0	5	5	0	0	0	4
7	0	5	5	0	0	0	2
1	5	10	5	0	0	0	2
2	5	10	5	1	0	1	4
3	5	10	5	2	1	3	6
4	5	10	5	4	2	6	8
5	5	10	5	1	0	1	6
6	5	10	5	0	0	0	4
7	5	10	5	0	0	0	2
1	10	15	5	0	0	0	2
2	10	15	5	0	1	1	4
3	10	15	5	2	2	4	6
4	10	15	5	4	4	8	8
5	10	15	5	3	0	3	6
6	10	15	5	0	0	0	4
7	10	15	5	0	0	0	2
1	15	20	5	0	0	0	2
2	15	20	5	1	1	2	4
3	15	20	5	0	2	2	6
4	15	20	5	3	4	7	8
5	15	20	5	2	1	3	6
6	15	20	5	0	0	0	4
7	15	20	5	0	0	0	2

Ek Tablo 16. S-3 sondajının açılması esnasında her 5 metrede yapılan basınçlı su deneyleri sonuçları

BASINÇLI SU DENEYİ							
Sondaj No	SK3			Deney tipi	Tek lastik		
Muhafaza borusu çapı	89.00 mm			Deney lastiği boyu ve çapı	300 mm/66 mm		
Delikli boru boyu	3.00 m			Pompa kapasitesi	150lt/dak		
Tij boyu ve çapı	305 mm/54.5 mm						
Deney no	Derinlik (m)			İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam kayıp (lt)	Manometre basıncı
	metreden	metreye	fark				
1	0	5	5	0	0	0	2
2	0	5	5	0	1	1	4
3	0	5	5	2	1	3	6
4	0	5	5	3	2	5	8
5	0	5	5	1	0	1	6
6	0	5	5	0	0	0	4
7	0	5	5	0	0	0	2
0-5 m arası permeabilite: 0.14 Lugeon (1.4×10^{-8} m/sn)							
1	5	10	5	0	0	0	2
2	5	10	5	1	1	2	4
3	5	10	5	3	1	4	6
4	5	10	5	5	4	9	8
5	5	10	5	1	2	3	6
6	5	10	5	1	1	2	4
7	5	10	5	0	0	0	2
5-10 m arası permeabilite: 0.28 Lugeon (2.8×10^{-8} m/sn)							

Ek Tablo 17. S-4 sondajının açılması esnasında her 5 metrede yapılan basınçlı su deneyleri sonuçları

BASINÇLI SU DENEYİ							
Sondaj No		SK4		Deney tipi		Tek lastik	
Muhafaza borusu çapı		89.00 mm		Deney lastiği boyu ve çapı		300 mm/66 mm	
Delikli boru boyu		3.00 m		Pompa kapasitesi		150lt/dak	
Tij boyu ve çapı		305 mm/54.5 mm					
Deney no	Derinlik (m)			İlk 5 dakikadaki su kaybı (lt)	İkinci 5 dakikadaki su kaybı (lt)	Toplam kayıp (lt)	Manometre basıncı
	metreden	metreye	fark				
1	0	5	5	0	0	0	2
2	0	5	5	0	1	1	4
3	0	5	5	2	2	4	6
4	0	5	5	4	4	8	8
5	0	5	5	1	0	1	6
6	0	5	5	0	0	0	4
7	0	5	5	0	0	0	2
0-5 m arası permeabilite: 0.24 Lugeon (2.4×10^{-8} m/sn)							
1	5	10	5	0	0	0	2
2	5	10	5	0	1	1	4
3	5	10	5	1	1	2	6
4	5	10	5	1	2	3	8
5	5	10	5	1	0	1	6
6	5	10	5	1	0	1	4
7	5	10	5	0	0	0	2
5-10 m arası permeabilite: 0.08 Lugeon (8×10^{-9} m/sn)							

ÖZGEÇMİŞ

Hakan ERSOY 1975 yılında Artvin’de doğdu. İlk öğrenimini Konya’da, orta öğrenimini ise Trabzon’da tamamlayarak 1992 yılında Trabzon Affan Kitapçioğlu Lisesi’nden mezun oldu. 1994 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 1998 yılında bölüm birincisi olarak Jeoloji Bölümü’nden mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü Lisansüstü İngilizce Hazırlık Programı’nı başarıyla tamamladı. Ağustos 2001’de “Kalecik (Torul-Gümüşhane) Çevresinin Karst Hidrojeolojisi” konulu tezi ile yüksek lisansını tamamlayarak, 2001 yılında doktora eğitimine başlayan Hakan ERSOY, 1999 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. 2002–2006 tarihleri arasında “Tübitak Bilim Adamı Yetiştirme Grubu Yurt İçi Doktora Bursu” almış, 03.04.2004-01.07.2004 tarihleri arasında Socrates-Erasmus öğrenci değişim programı dahilinde Gent Üniversitesi’nde (Belçika) çalışmalarda bulunmuştur. Evli ve bir çocuk babası olan Hakan ERSOY İngilizce bilmektedir.