

KATI ATIKLARIN
DEPOLANMASINDA DOĞAL
ZEOLİTLERİN KULLANILMASI

İSMAİL AYDEMİR
Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı
Ocak - 1999

İsmailAydemir'in yüksek lisans tezi olarak hazırladığı " Katı Atıkların Depolanmasında Doğal Zeolitlerin Kullanılması" başlıklı tez 14.01.1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Öğretim Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr. Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI

Üye : Prof.Dr. Önder ORHUN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Tevfik ÜNALDI

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.03.02.1999...tarih ve 3/5..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi *

**KATI ATIKLARIN DEPOLANMASINDA DOĞAL ZEOLİTLERİN
KULLANILMASI**

İSMAİL AYDEMİR

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI
1999, Sayfa 51

Endüstrinin gelişmesi ve nüfus artışı çevre kirliliğini büyük bir sorun haline getirmiştir. Çevre kirliliğinin büyük bir kısmını katı atıklar (çöp) teşkil etmektedir. Geçmiş yıllarda katı atıkların yeraltı sularını kirletmediği görüşü yaygındı. Fakat 1960'lı ve 1970'li yıllarda yapılan araştırmalarda atık sıvısının yeraltı sularını tehlikeli boyutlarda kirlettiği tespit edilmiştir. Bu durum katı atıkların depolama alanlarının ciddi olarak gündeme gelmesine neden olmuştur. Çünkü, önlemsiz katı atık depoları doğal dengeyi tehdit etmektedir. Çöp sıvısının yeraltı sularını kirletmemesi için bir takım önlemler alınmış ve çöp deposu tabanında geçirimsiz ve 1m²'si yaklaşık 6 \$ olan pahalı bir jeomembran kullanılmaktadır. Jeomembran kullanılması durumunda çöp sıvısının temizlenebilmesi için ek olarak bir arıtma tesisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Atık sıvısı içerisinde bulunan ve ağır metal katyonlarını (Cd⁺⁺, Pb⁺⁺, Cu⁺⁺ vb.) içerisinde depo edebilecek ucuz ve yeni bir astar malzemesinin kullanılması iyi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle zeolitler, kirlilik kontrol sistemlerinin tasarımı ve yapımında standart malzemelerden biri haline gelmiştir.

Yapılan deneylerde Gördes ve Bigadiç yöresi doğal zeolitleri ile Eskişehir yöresi bentoniti kullanılmıştır. Her iki doğal zeolit türü için kompaksiyon, hidrolik iletkenlik ve katyon değişim kapasitesi deneyleri yapılmıştır. Gördes yöresi doğal zeolitinin hidrolik iletkenliğinin düşük ve katyon değişim kapasitesinin büyük olması nedeniyle jeomembran malzemeye bir alternatif olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal Zeolit, Katı Atık, Hidrolik İletkenlik, Katyon Değişim Kapasitesi, Çöp Alanı, Atık Sıvısı, Ağır Metal Katyonları, Bentonit.

ABSTRACT**Master of Science Thesis****USEG OF NATURAL ZEOLITES FOR THE STORAGE OF SOLID WASTES****İSMAİL AYDEMİR****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Program****Supervisor: Prof.Dr. Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI
1999, Page 51**

Developing of the industry and growing of population have been becoming serious problem for environmental pollution. A grate part of the environmental pollution is composed of solid wastes (garbage). In past years, it was thought that the solid wastes had not polluted the undergroundwater. However, in the years of 60' s; and 70's; the investigations has showed that the waste liquids had polluted the undergroundwater in dangerous limits. This result brought upon where the solid waste storage areas should be situated since solid waste storages which have no precaution, has a destructive structure for the natural balance. In order the prevent the pollution of waste liquids, some precautions has been taken and jeomembrane which is impervious and has a price of 6 \$ per m² was used on the bottom of the waste storage. In the case of jeomembrane usage, additional purification system are required in order to clean the waste liquids. It brings us a solution which requires a usage of a new and cheap liner material which can store the waste liquids containing and heavy metal cations (Cd⁺⁺, Pb⁺⁺, Cu⁺⁺ etc). For this reason, zeolites become one of the standart materials in the design and the production of the pollution control systems.

In the experiments, natural zeolites belonging to the Gördes and Bigadiç regions and a bentonite from Eskişehir were used. Compaction, hydraulic conductivity, cation exchange capacity experiments were applied on both types of zeolite. Because of the low hydraulic conductivity and high cation exchange capacity of the Gördes zeolite, it was seen that it is an alternative material with respect to the jeomembrane.

Key Words: Natural Zeolite, Solid Waste, Hydraulic Conductivity, Cation Exchange Capacity, Garbage Area, Waste Liquid, Heavy Metal Cations, Bentonite.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof.Dr. Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI ve Sayın Prof.Dr. Önder ORHUN'a ve çalışmalarım konusundaki yardımlarından dolayı Sayın Doç.Dr. Ahmet TUNCAN ve Sayın Doç.Dr. Mustafa TUNCAN'a ve deneylerimdeki yardımlarından dolayı Arş.Gör. Sayın Yücel GÜNEY, Arş.Gör. Sayın Hakan KOYUNCU, Tekniker Sayın Altan ÇETİN, Tekniker Sayın Andan KILIÇ ve Araş.Gör. Sayın Ertuğrul İZCİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, yapmış olduğu yardımlardan dolayı Minersan TİC. LTD. ŞTİ. Müdürü Sayın Ali HEPGÜZEL'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tezin hazırlanmasında her türlü maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen Ailem'e de sonsuz teşekkürü bir borç biliyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ASTAR MALZEMELERİ.....	4
2.1. Zeolitler.....	4
2.1.1. Tarihçesi.....	4
2.1.2. Zeolitlerin kimyasal bileşimleri ve kristal yapıları.....	5
2.1.3. Zeolitlerin katyon seçiciliği.....	7
2.1.4. Doğal zeolitlerin iyon değişiminin kullanım alanları.....	7
2.2. Kil Mineralleri.....	8
2.2.1. Tanımlar.....	8
2.2.2. Kil minerallerinin oluşumu ve sınıflandırılması.....	9
2.2.3. Kil minerallerinin yapısı.....	11
3. KATI ATIK (ÇÖP) DEPOLAMA ALANLARI İLE	
İLGİLİ BAZI GENEL BİLGİLER.....	15
3.1. Katı Atık (Çöp) Depo Yerlerinin Seçimi ve İnşası ve İşletmesi	
Esnasındaki Önlemler.....	15

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1.1. Katı atık depolama alanları seçimi kriterleri.....	15
3.1.1.1. Ulaşım ve meskun mahal durumu.....	15
3.1.1.2. Meteorolojik durum.....	16
3.1.1.3. Jeomorfolojik durum.....	16
3.1.1.4. Jeolojik ve hidrojeolojik durum.....	16
3.1.1.5. Jeoteknik inceleme.....	17
3.1.2. Depo inşası ve işletmesi esnasındaki önlemler.....	17
3.2. Atıkların Depolanmasında ve Kontrolünde Jeolojinin Önemi.....	20
3.2.1. Katı atıkların çevredeki zararlı etkileri.....	20
3.2.2. Depolama ortamlarının yer bilimciler tarafından değerlendirilmesi.....	20
3.2.2.1. Depolama ortamının jeolojik yapısı.....	20
3.2.2.2. Depolama ortamının hidrojeolojik özellikleri.....	22
3.2.3. Depolama tekniği.....	26
3.3. Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Gazın (Deponi Gazı) Çevresel Etkileri ve Ekonomik Potansiyeli.....	29
3.3.1. Deponi gazının özellikleri.....	29
3.3.2. Metan gazı oluşumu ve kullanım alanları.....	31
3.3.3. Deponi gazının üretimi.....	32
3.3.4. Deponi gazının çevresel etkileri.....	33
4. DENEYLER.....	35
4.1. Giriş.....	35
4.2. Kompaksiyon Deneyi.....	35
4.3. Hidrolik İletkenlik Deneyi.....	37
4.4. Katyon Değişim Kapasitesi Deneyi.....	39

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
5. DENEY SONUÇLARI.....	41
5.1. Kompaksiyon Deneyi Sonuçları.....	41
5.2. Hidrolik İletkenlik Deneyi Sonuçları.....	42
5.3. Katyon Değişim Kapasitesi Deneyi Sonuçları.....	42
6. SONUÇ VE YORUM.....	47
7. ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Tetrahedral Yapı.....	5
2.2. Bal Peteğine Benzeyen Zeolit X ve A.....	6
2.3. Ralph E. Grimm'e Göre Killer'in Sınıflandırılması.....	10
2.4. (a) Tekli Oktahedral Birim.....	11
2.4. (b) Oktahedral Birimlerin Tabaka Yapısı.....	12
2.5. (a) Tekli Silica Tetrahedron.....	13
2.5. (b) Hegzagonal Yapıda Düzenlenen Silika Tetrahedronlarının Tabaka Yapısı.....	13
2.6. (a) Kil Minerallerinin Çift Zincir Silika Tetrahedronlarının Amfibol Yapı Tipinde Perspektif Görünüşü.....	14
2.6. (b) Tetrahedronların Taban Üzerine İzdüşümü.....	14
3.1. Katı Atık Deponilerinin Yeraltı Sularını Etkilemesi	17
3.2. Katı Atık Tabanı Kesiti.	18
3.3. (a) Depo Çevresinde Yeraltı Suyu Akım Yönleri ve Kirliliğin Yayılması.....	19
3.3. (b) Depo Çevresinde Pompaj Yapılarak Kirliliğin Kontrolü	19
3.4. (a) Atık Deposu Dolayının Jeoloji-Hidrojeoloji Haritası.....	21
3.4. (b) Atık Deposu Dolayının Jeoloji-Hidrojeoloji Harita Kesiti.....	22
3.5. Geçirimli Temel Üzerinde Atık Deposu.....	23
3.6. Ayrık Kayaçların Permeabilite Katsayısına Göre Sınıflandırılması ve Hidrolik Hız Tayini.....	24
3.7. Kaya Ortamlarda Hidrolik Hız Tayini Modeli.....	24
3.8. Yeraltı Suyu Seviyesi ve Atık Deposu İlişkilerini Gösterir Şematik Kesitleri.....	25
3.9. Kirlenici Elementlerin Yeraltı Suyu Akımı ile Dağılımı.....	26
3.10. Çeşitli Akiferlerde Kirlilik Dağılımının Şematik Gösterimi.....	26

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.11. Modern Bir Atık Deposunun Şematik Görünümü.....	28
3.12. Geçirimsiz Tabanları Etkileyen Kuvvetler ve Oluşturdukları Hasarlar.....	29
3.13. Düzenli Çöp Depolama Alanındaki Gaz Eldesi Ünitesi.....	31
3.14. Düzenli Çöp Depolama Alanında Gaz Depolama ve Ölçme Ünitesi.....	32
3.15. Çöp Gövdesinde Oluşan Gazları Toplamak İçin Çöp Gövdesinde Yerleştirilen Düşey Borunun Kesiti.....	32
3.16. Çöp Gövdesindeki Yatay ve Düşey Gaz Toplama Borularının Konumu.....	33
4.1. Standart Proctor Deney Aletleri.....	36
4.2. Permeabilite Deney Aleti.....	38
4.3. İyonmetre Aleti.....	40
4.4. İyon Değişimi Kolonu.....	40
5.1. Bigadiç Numunesi ve Bentonit Karışımı İçin Optimum Su Muhtevası Grafiği....	41
5.2. Gördes Numunesi ve Bentonit İçin Optimum Su Muhtevası Grafiği.....	42
5.3. Bigadiç Numunesi İçin E.K.D.K. Grafiği.....	43
5.4. Bigadiç Numunesi ve Bentonit Karışımının E.K.D.K. Grafiği	44
5.5. Gördes Numunesi İçin E.K.D.K. Grafiği.....	45
5.6. Gördes Numunesi ve Bentonit Karışımının E.K.D.K. Grafiği.....	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
3.1. Deponi Süresi ve Deponi Gazlarının Konsantrasyonu.....	30
4.1. Bigadiç ve Gördes Yöresi Doğal Zeolitlerinin Her Birisi İçin Karışım Oranları...	36
5.1. Bigadiç Numunesi İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları.....	43
5.2. Bigadiç Numunesi ve Bentonit Karışımı İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları.....	44
5.3. Gördes Numunesi İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları.....	45
5.4. Gördes Numunesi ve Bentonit Karışımı İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları	46

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

γ_n	:	Birim hacim ağırlığı (g/cm^3)
W_T	:	Numunenin ağırlığı (g)
V_T	:	Numunenin hacmi (cm^3)
W	:	Ortalama su muhtevası
γ_k	:	Kuru birim hacim ağırlık (g/cm^3)
W_{opt}	:	Optimum su muhtevası (%)
k	:	Maddenin sıvı geçirgenlik katsayısı (cm/s)
Q	:	Su yüklenen boruların alt ve üst kısımları arasında kalan hacim (cm^3)
A	:	Numunenin kesit alanı (cm^2)
Δh	:	Toplam basıncın su sütunu cinsinden ifadesi (cm)
t	:	Zaman farkı (s)
E.K.D.K.	:	Etkin katyon değişim kapasitesi (meg/g)
V	:	Çözeltilinin hacmi (ml)
C_o	:	Başlangıç konsantrasyonu (mol/l)
C	:	Son konsantrasyon (mol/l)
m	:	Numunenin ağırlığı (g)
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ÇED	:	Çevresel Etki Değerlendirmesi

1. GİRİŞ

Bir toplumun gelişmişlik düzeyini belirten göstergelerden biri de kişi başına düşen enerji tüketimidir. Bu gelişmişlik düzeyi, pek çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar arasında çevre kirliliği önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde yaşadığı sorunlar arasında, çevre kirliliği önde gelmektedir. Çevre kirliliğinin önemli bir bölümünü de katı atıklar (çöpler) oluşturmaktadır.

Katı atıkların depolanması uzun zamanlardan beri süregelen bir uygulamadır. Geçmişte katı atıklardan oluşan kirliliğin suların zemin içerisindeki hareketi (süzülmesi) sırasında yeraltı suyu içerisinde saflaştırıldığı ve yeraltı suyunun kirlenmediği görüşü yaygındı. Böylelikle, atıkların açık arazide depolanması yaygın bir uygulama şekli idi. Diğer yandan, 1950'li yıllarda çevre üzerine olan ilginin artmasıyla katı atık depolama sahalarının durumu, ciddi olarak gündeme geldi. 1960'lı ve 70'li yıllarda yapılan araştırmalarda katı atık sahalarının yeraltı suyu kirlenmesine sebep olduğu belirlendi (Yörükoğulları, 1996).

Katı atıklar, gerek kendi kimyasal yapıları, gerekse depolama yerinde oluşan karışım sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu partikül, gaz ve suda çözülmüş maddeler halinde çevreye zarar vermektedirler (Karagüzel, 1992).

Kısaca, katı atıkların çevredeki zararlarını sıralayacak olursak;

- Yeraltı su kirliliği,
- Kirlenmiş yeraltı sularının üretim kuyularıyla alınması; içme, kullanma ve sulama suyu olarak kullanılması,
- Atık deposundan sızan zehirli gazların atmosfere karışması ve insanlar tarafından bünyeye alınması,
- Toprak kirliliği,

gibi önemli bir takım zararlara neden olmaktadır (Karagüzel, 1992).

NH_4^+ iyonları içeren endüstriyel, tarımsal, kentsel atıklar yalnızca çevre kirliliğine yol açmayıp, alglerin hızla büyümesine sonuçta da göller ve akarsulardaki doğal yaşamın bitmesine yol açmaktadır (Yörükoğulları, 1996).

Ayrıca, kontrolsüz çöp depolama alanlarında, deponi gazı dediğimiz metan gazının havadaki içeriği % 5-14 arasında herhangi bir değere ulaştığında patlamalara neden olmaktadır. İdeal bir şekilde depolanan katı atıklarda, 1 ton katı atık aylık olarak yaklaşık 100-400 m³ arasında değişen (çöpün muhtevasına göre) deponi gazı üretmektedir (Şengüler ve Yılmaz, 1995). Bu miktarın % 45 - % 75 arasındaki bir bölümünü metan gazı teşkil etmektedir. Bütün bunlar göz önüne alındığında ve Türkiye’de 1 yılda yaklaşık olarak 23.000.000 ton katı atık toplandığını göz önünde bulundurduğumuzda bu durum, ülkemizin ekonomik kayıplarını gözler önüne sermektedir (Yörükoğulları, 1996).

14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” uyarınca evsel nitelikli katı atıkların bertarafı için öngörülen başlıca yöntemler:

- Depozito ve kota uygulaması
- İşleme tesisleri (maddesel geri kazanma tesisleri, yakma tesisleri, kompostlaştırma tesisleri)
- Uygun yer koşullarında depolama şeklinde ifade edilmektedir (Baran, 1995).

Nitekim, 28 Nisan 1993’te Ümraniye’de Hekimbaşı çöplüğünde meydana gelen patlamada bilindiği gibi 40 vatandaşımız hayatını kaybetmişti. Bu olay ve yukarıda ifade edilenler katı atık depolama tesislerinin önemini açıkça göstermektedir (Yörükoğulları, 1996).

Atık sahalarından süzülen kirli sıvıların yeraltı suyunu kirletmesi göz önüne alınarak iki türlü atık sahası tasarımı yaygınlaşmıştır: Doğal atenasyon atık sahaları ve izole edilmiş katı atık sahaları. Doğal atenasyon atık sahaları için gerekli kılınan şartlar; asgari freatik (suya doymun olmayan) zon kalınlığı, ana kayaya olan uzaklık, su kuyusu olan bir meskene en yakın uzaklık vb. şeklinde sıralanabilir. İzole edilmiş katı atık sahası için gerekli şartlar; atık dökülecek alanın tabanının çok düşük permeabiliteli astar malzemesi ile kaplanması ve bu astar üzerinde birikecek sıvıların direne edilmesi şeklinde verilmiştir (Yörükoğulları, 1996).

Zeolitler; iyon değiştirme ve adsorpsiyon özelliklerinden dolayı, son yıllarda çevre kirliliğinin kontrol edilmesinde bir çok kullanım alanı bulmuşlardır. Kirlilik kontrol sistemlerinin tasarımı ve yapımında, zeolitler standart malzemelerden biri haline gelmiştir. Örneğin, NH₄⁺ iyonları için yüksek seçicilik gösteren doğal zeolit türü klinoptilolitten bu konuda yararlanılmaktadır. Katı atık depolama alanının tabanında oluşan elementlerin

tutulmasında da zeolitler büyük bir rol oynamaktadır. Nitekim, bentonit ile ıslah edilmiş doğal zeolitin katı atık sahalarında astar malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda deneysel bir çalışma bulunmaktadır (Kayabalı, 1996).

Katı atıkların daha emniyetli olarak depolanması için doğal zeolitlerden astar malzemesi olarak yararlanılması amaçlanmıştır. Ülkemizde bulunan doğal zeolitlerin bu bakımdan bir değerlendirmesi yapılarak ülke ekonomisine kazandırılması ve özellikle ithal edilmek suretiyle yeni katı atık sahalarında kullanılması düşünülen jeosentetik malzemeye bir alternatif olarak sunulması hedeflenmiştir (Yörükoğulları, 1996).

2. ASTAR MALZEMELERİ

2.1. Zeolitler

2.1.1. Tarihçesi

1756 yılında İsveçli minereolog Friedrich Cronstedt İsveç'in Lappmark bölgesinde Suappari bakır ocaklarında iyi şekilde oluşmuş, değişik türde kristal örneklerini toplar. Bu kristal örneklerini açık bir test tüpünde ısıttığı zaman yapılarında bulunan suyu dışarıya verirken köpürmesinden dolayı, Yunanca, kaynayan taş anlamına gelen zeolit adını vermiştir (Yücel ve Çulfaz, 1984).

1925 yılında, suyu uçurulmuş zeolitlerin küçük organik molekülleri adsopladıklarını ancak büyük molekülleri içlerine kabul etmediklerini Weigel ve Steinhoff buldular. Zeolitler, molekülleri büyüklüklerine göre ayırma özelliklerinden dolayı 1932'de Mc Bain tarafından "moleküler elek" olarak isimlendirilmiştir.

Zeolitler üzerindeki ilk deneysel çalışma 1857'de A. Domour'un dehidrasyon (su atma) tersinirliğini incelemesidir. E. Eichorn 1858'de zeolitlerin ilk iyon değişimi özelliklerini incelemiştir. G. Friedel 1896 yılında susuz (dehydrate) zeolitler üzerinde gazların, alkolün ve bazı maddelerin adsorplandığını göstermiştir (Yörükoğulları, 1997).

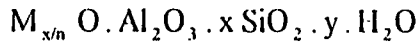
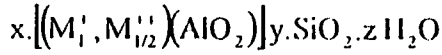
X-ışınları tekniği kullanılarak zeolitlerin yapı analizi L. Pauling ve W. H. Taylor tarafından 1930'da ve çalışma arkadaşlarıyla 1933'de yapmışlardır. Bu çalışmalarda zeolit yapıları aydınlatılmıştır.

Union Carbide firmasındaki yer bilimciler, doğal zeolitler hakkında çıkan yayınları taramışlardır. Bu taramalar sonunda Union Carbide'li yer bilimciler 1958 yılında ticari olarak üretim yapılabilecek ilk doğal zeolit yataklarını buldular (Yörükoğulları, 1997). Yapılan araştırmalar sonucunda ender bulunan bir mineral grubu sanılan doğal zeolitlerin bol miktarda buldukları görüldü. Bugün ABD, İtalya, Yeni Zelanda, Japonya başta olmak üzere Bulgaristan, Türkiye ve Kanada'da zengin ve saf doğal zeolit yataklarının varlığı bilinmektedir. Bugün yaklaşık 40 tür doğal zeolit bilinmektedir ve yaklaşık 150 zeolit sentez edilmiştir. Doğal zeolitlerin en yaygın olanları eriyonit, mordenit, şabazit ve klinoptilolittir.

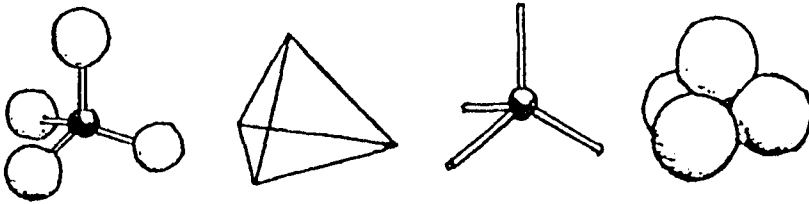
2.1.2. Zeolitlerin kimyasal bileşimleri ve kristal yapıları

Zeolitler alkali ve toprak alkali metallerinin sulu alüminosilikatları olarak tanımlanabilirler.

Genel olarak kimyasal formülleri aşağıdaki gibidir:



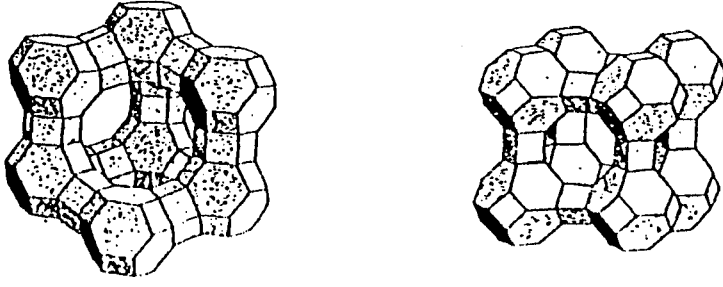
Bu formülde; $x = 2$ olup, n ise M kationunun değerliğini göstermektedir. Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi SiO_4 ya da AlO_4 dört yüzlüsüdür. Bu dört yüzlünün merkezinde oksijenden daha küçük olan silisyum ya da alüminyum iyonu ve köşelerinde oksijen iyonları bulunur. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Tetrahedral Yapı

Silisyum iyonu +4, alüminyum iyonu +3 ve oksijen -2 değerlerinde olduğundan bir silisyum iyonu kendini çevreleyen dört oksijen iyonunun ancak -4 değerliğini karşılar. Böylece her bir oksijen iyonunda -1 değerliği kalır. Başka bir silisyum iyonuyla birleşebilir.

Dört yüzlülerin uzayda değişik biçimde birleşmeleri sonucu zeolitin, bal peteğine benzer kristal yapısı oluşur. (Şekil 2.2) (Yörükogulları, 1997).



Şekil 2.2. Bal Peteğine Benzeyen Zeolit X ve A (Yörükoğulları, 1997).

Zeolitler, ısıtıldıklarında, 100-350°C’de su molekülleri yapıda değişiklik yapmadan, belli sıcaklıklarda kesikli olarak değilde, sürekli şekilde yapıdan ayrılırlar. Yapılarında hiçbir bozulma görülmez. Zeolit tamamı ile kurutulduktan sonra boşluklarına tekrar su (H₂O), amonyak (NH₃), civa buharı (Hg) veya başka malzeme alabilir. Boşluklara girecek malzemenin molekül boyutları ile zeolitik yapının uygun olması gerekir. Zeolitler, bu özelliklerinden dolayı molekül elekleri olarak kullanılırlar.

Zeolitlerin diğer ayırt edici özelliklerinden biri de iyon değişim olayını gerçekleştirebilmeleridir. Zeolitten süzülen çözelti hiçbir engelle karşılaşmadan geçerken içlerindeki iyonlar zeolit yapısındaki iyonlarla yer değiştirebilirler. Bu yer değiştirme olayına iyon değişimi denilmektedir. Endüstride iyon değişimi oldukça çok uygulama alanı bulmaktadır. Zeolitlerde iyon değişimi sırasında çözültideki iyonlar zeolit kendi alüminosilikat yapısındaki katyonlarla yer değiştirir. Zeolitler, gram başına 3-4 mili eşdeğer grama kadar katyon değişim kapasitesine sahip oldukları için, çok iyi iyon değiştiricidirler (Seyhan, 1992).

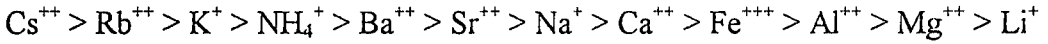
Birçok zeolit kanal genişlikleri birkaç angstrom (Å) boyutundaki moleküllerin barmabileceği boşluk miktarı toplam hacmin % 20-50’si arasında olabilir. Bu nedenle zeolitlerin birçoğu ticari adsorbent olarak kullanılırlar. Zeolitlerin gözenek boyutları kristal yapılarına ve içerdikleri katyonlara bağlıdır. Çoğu zeolitte kristal yapı Si-O-Al atomlarının meydana getirdiği halkalarla bağlanmış gözeneklerden oluşur. Bu halkaların çoğu geçit “pencere” olarak adlandırılır. Pencere boyutu halkalardaki atom sayısı ile

orantılıdır. Pencereleler 4-12 Å arasında oksijen iyonu ve eşit sayıda alüminyum ve silisyum içerirler (Yörükoğulları, 1997).

2.1.3. Zeolitlerin katyon seçiciliği

Zeolitlerin katyon değişim özellikleri ilk kez Eichorn tarafından 1858'de gözlenmiştir. Zeolitin dörtyüzlü yapısına zayıf bağlı olan değişebilir katyonları, başka bir iyon içeren çözelti ile zeolitin yıkanması sonucu, çözültideki iyonlarla yer değiştirmektedir. Zeolitler, gram başına 3-4 mili eşdeğer grama kadar katyon değişim kapasitesine sahip oldukları için, çok iyi iyon değiştiricidirler. İyon değişim kapasitesi, örgüdeki silisyum ve alüminyumun yerdeğiştirmesi ile sıkı ilişkilidir. Bu yer değişimi arttıkça, yük dengesi bozulur ve elektriksel nötrlük için gerekli alkali ve toprak alkali katyon sayısı da artar. Katyon değişimi, katyon türlerinin (büyüklük, yük vb.) doğasına, sıcaklığa, çözültideki katyon konsantrasyonuna ve zeolitin yapısına bağlıdır (Yörükoğulları ve Orhun, 1991).

Örneğin, klinoptilolitte katyon seçicilik sırası aşağıdaki gibidir (Ames, 1967),



Fakat, klinoptilolit daha büyük katyonları tercih etmektedir. Nitekim, Ames ve Mercer, 1967'yi izleyen yıllarda, klinoptilolitin NH_4^{+} iyonları için yüksek seçicilik sergilediklerini bularak, bu malzemenin kentsel ve tarımsal atıklardaki NH_4^{+} 'nın tutulabilmesinde yararlı olabileceğini gösterdiler (Orhun, 1997)

2.1.4. Doğal zeolitlerin iyon değişiminin kullanım alanları

Doğal zeolitlerin günümüzde en çok kullanılırlığı iyon değişimi alanında olmuştur. Bu alanlar;

- NH_4^{+} giderme
- Metal ayırmaları, su temizlenmesi
- Radyoizotop temizlenmesi

- Deterjanların katkılandırılması
- Sentetik böbrek-diyaliz sıvısının rejenerasyonu
- Su kültürü $-NH_4^+$ giderme
- İyon değiştirici gübre yapımı
- Hayvan beslenmesi

şeklinde sıralanabilir (Yörükoğulları ve Orhun, 1991).

2.2. Kil Mineralleri

2.2.1. Tanımlar

Kil, bir kayaç terimi olarak kullanıldığı gibi sedimanter (çökelti veya tortul) kayaçlar, topraklar vb. maddelerin mekanik analizinde parçacık boyutu terimi olarak kullanılır. Kil adını alan malzemelerin çok çeşitli oluşundan dolayı bir kayaç terimi olarak kili kesin bir şekilde tanımlamak zordur. Genel anlamda kil terimi, sınırlı miktarda su ile karıştırıldığında plastiklik kazanan ve doğal halde topraksı çok ince taneli bir malzemeyi kapsamaktadır. Plastiklik terimi ile, bir basıncın uygulanmasıyla şekil değiştiren ve basıncın ortadan kalkmasıyla şekil değişikliğinin korunduğu nemli malzeme özelliği anlatılmak istenmektedir. Killerin kimyasal analizleri, temelde silika alümina ve sudan oluştukları, çoğu kez farkedilebilecek miktarda demir, alkali ve toprak alkalileri içerdiklerini de ortaya koymaktadır.

Kil adı verilen bazı malzemelerin yukarıdaki özelliklere sahip olmayışları bir güçlük oluşturmaktadır. Çakmaktaşı kili (fligh clay) adı verilen malzeme su ile karıştırıldığında plastik özelliği göstermez. Bununla birlikte diğer killerin özelliklerine sahiptir. Kil terimi genetik bir anlam taşımaz. Kil, hidrotermal etkiyle şekillenen havalandırma ürünü olan veya bir çökelti olarak ortaya çıkan bir malzeme olarak düşünülür.

Parçacık boyutu terimi olarak kil kesri en küçük parçacıkların birleştiği boyut kesridir. Kil boyutu, farklı bilim dallarında farklı şekillerde tanımlanır. Jeolojide Wentworth (Wentworth, 1992) ölçeği izlenmekte ve 4 mikrometreden daha küçük boyutlu malzeme kil boyutu olarak kabul edilmektedir. Toprak araştırmalarında, kil boyutunun üst limiti 2 mikrometredir. Kil minerallerinin parçacık boyutu ile kilsi

çözeltilerdeki kil olmayan minerallerin parçacık boyutu arasında kesin bir evrensel sınır olmamasına karşın birçok analiz göstermiştir ki kil mineralleri için seçim 2 mikrondan küçük boyutta yoğunlaşmaktadır. Kil suya konulduğu zaman daha büyük boyutta yoğunlaşmaktadır. Kil suya konulduğu zaman daha büyük boyutlu parçacıkların bu boyuta kolayca parçalanabildikleri gözlenmiştir. Analizler, kil olmayan minerallerin 1 ile 2 mikrondan daha küçük parçacıkları içermediğini göstermiştir. O halde 2 mikron ayrımı doğal malzemelerin kil ve kil olmayan mineral bileşenlerinin en iyi ayrımı için optimum boyuttur. Böylece 2 mikronluk kil boyutu üst limitini kabul etmenin temel nedeni ortaya çıkmış olur.

Killer değişken yüzdelerde kil sınıfı malzeme içerirler. Bu nedenle, kil olmayan ve kil bileşenlerinin, değişken bağıl değerleri söz konusudur.

Sınırlı plastiklik özelliği gösteren kesir büyüklükleri belirsiz olan kaba malzemeler mil veya kum adını alırlar. Parçacık boyutu analizleri yapılırsa kil sınıfının ağır bastığı bir malzeme için kil adının kullanılması gerekir (Grim, 1953).

2.2.2. Kil minerallerinin oluşumu ve sınıflandırılması

Killer, hidratlaşmış alüminosilikatlar olup feldispatlı volkanik kayaların kimyasal ve mekaniksel bozulmaları sonucu oluşmuşlardır. (Feldispat: Doğal olarak potasyum, sodyum, baryum ve kalsiyum alümina silikat grubuna verilen addır). Bazı minerallerde alüminyum yerine kısmen veya tamamen demir ve magnezyum yapıya girer.

Nispeten düşük sıcaklıklarda feldispatları oluşturan silikatların asitli ortamlarda bozulmaları sonucu kaolin türü kil mineralleri oluşur. Volkanik küllerin sağladıkları bazal çözeltilerde, volkanik kayaların bozulması ile bentonit türü kil mineralleri oluşur.

Bazı kil minerallerini sıralayacak olursak;

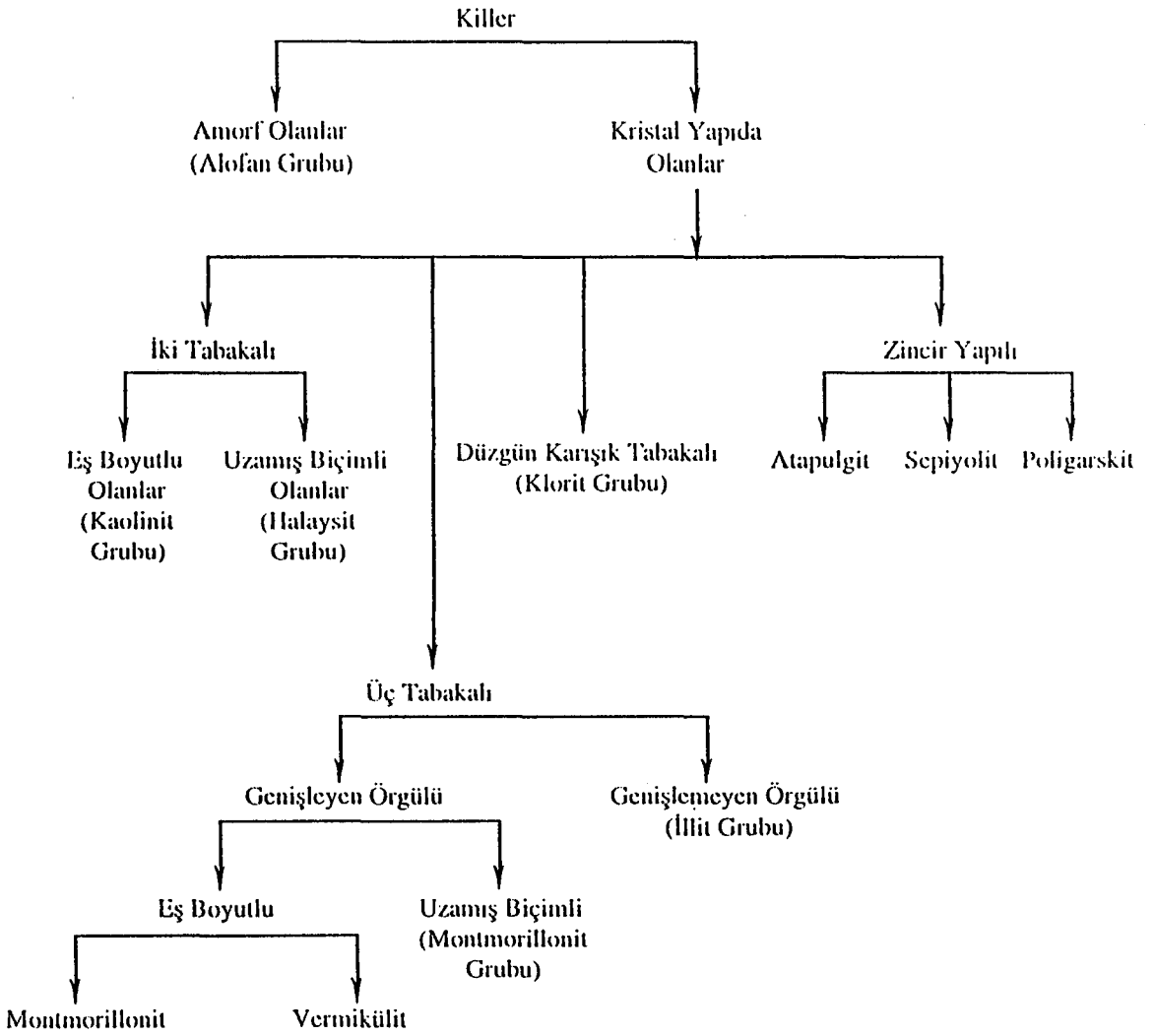
- Kaolinit: Yüksek tepe anlamına gelir. (Kau-ling) ilk kez Çin'liler bulmuştur. Bu tür kilin şişme özelliği yoktur. Ara tabaka suyu yoktur. Bunun için seramik endüstrisinde kullanılır.

- Bentonit: Amerika Birleşik Devletleri'nin Ford-Benton bölgesinde, ilk kez 1888'de Knight tarafından bulunmuştur. Şişme özelliği gösteren killerdir. Bentonit türü

killer daha çok filtrasyon işlemlerinde kullanılır. Ağartma işlemlerinde kullanılır. Sıvıların süzülmesi amacıyla kullanılır. Ara tabaka suyu vardır.

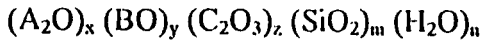
- Montmorillonit: Fransızlar tarafından bulunmuştur. 1847'de Damour ve Salvétat, Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bu türü bulmuşlardır.

- Segmentit: Cronstedt tarafından 1788'de montmorillonitle aynı görünüme sahip segmentit mineralini bulmuştur (İsveç'te). Günümüzde montmorillonit daha yaygın şekilde kullanılan kil türüdür. Bentonit, temel bileşeni montmorillonit olan bir kildir.

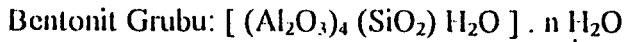


Şekil 2.3. Ralph E. Grimm'e Göre Killer'in Sınıflandırılması (Grim, 1953)

Kil minerallerinin oksit olarak genelleştirilmiş kimyasal formülü şu şekildedir:



- A: Tek değerlikli kanyonlar (Na^+ , K^+ , Li^+ vb)
 B: İki değerlikli kanyonlar (Ca^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} vb)
 C: Üç değerlikli kanyonlar (Al^{+++} , Fe^{+++} , Ni^{+++} vb)



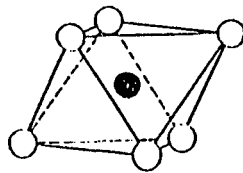
↓
Ara tabaka suyu

veya $[(OH)_2 Si_8 Al_4 O_{20} n H_2O]$ şeklindedir (Grim, 1953).

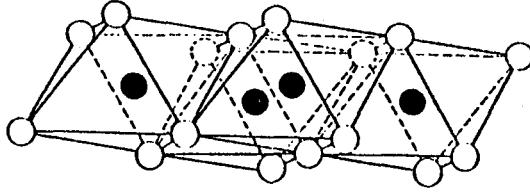
2.2.3. Kil minerallerinin yapısı

Bilinen kil minerallerinin atomik yapıları, mika vb. tabaka yapılı minerallerin yapısına ait Pauling (Pauling, 1930) kurallarına dayanarak, çok sayıda araştırmacı tarafından oldukça ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır.

Kil minerallerinin bir çoğunun atomik örgülerinde iki tane yapı birimi bulunur. Bunlardan biri alüminyum, demir veya magnezyum atomlarının sekiz yüzlü şeklindeki birimlere girdirilmesiyle oluşan sıkı paketlenmiş oksijen veya hidroksillerin iki tabakasını içermektedir. Bu yapıda alüminyum, demir ve magnezyum atomları 6 oksijen ya da hidrojenle eşit uzaklıkta bulunur (Şekil 2.4. a-b).



Şekil 2.4. (a) Tekli Oktahedral Birim (Grim, 1953).



Şekil 2.4. (b) Oktahedral Birimlerin Tabaka Yapısı (Grim, 1953).

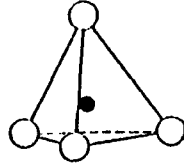
Alüminyum sekiz yüzlünün merkezinde bulunduğu zaman köşelerde oksijen bulunması halinde mümkün konumların ancak $2/3$ 'ü alüminyumla doldurulur. Köşelerde OH bulunması halinde ise mümkün konumların ancak $1/3$ 'ü doldurulmak zorundadır. Böyle olursa yapıdaki nötrlük korunacaktır.

Bir alüminyum iyonu ve bir oksijen iyonu ya da OH iyonu düşmektedir. Çünkü, her bir köşe altı dörtyüzlü tarafından paylaşıldığı için sekiz yüzlü başına köşelerden gelen iyonik katkı $6 \cdot 1/6 = 1$ iyon şeklindedir. Al (+3) değerlikli, O (-2) değerlikli, OH ise (-1) değerlikli olmalarından dolayı yukarıda yazılanların nedeni anlaşılacaktır. Örneğin, Jimsit yapıda $Al_2(OH)_6$ formülünde bu görülmektedir. Mg bulunduğu ise yapıyı dengelemek için bütün konumlar doldurulur. Normal halde O-O uzaklığı 2.60 \AA 'dur. OH-OH uzaklığı 3 \AA 'dur. Fakat yapı biriminde bu uzaklık OH-OH için 2.94 \AA 'a düşmektedir. Sekizyüzlü iyonun mevcut olduğu boşluk ise 0.61 \AA 'dur. Kil mineral yapılarında birimin kalınlığı ise 5.05 \AA civarındadır.

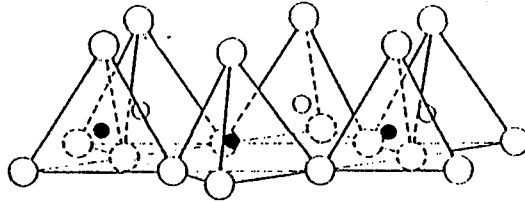
İkinci yapı birimi silika dörtyüzlülerinden oluşmaktadır. Herbir dörtyüzlüde dört oksijen veya hidroksilden eşit uzaklıkta bir silisyum atomu bulunmaktadır. Böylece merkezinde bir silisyum atomu bulunan dörtyüzlü formunda dizilerek yapı dengesi oluşturulmaktadır. Silika dörtyüzlü hegzagonal örgü formunda yazılır. Dörtyüzlülerin tepeleri aynı doğrultuda yönelir (Şekil 2.5. a-b). Tepeleri bir başka düzlem üzerinde bulunur. Tabanları ise aynı düzlem üzerinde bulunacak şekilde dizilirler. Dörtyüzlü grupların taban düzleminde oksijenlerin oluşturduğu bir düzlem, onun üstünde de üç oksijen atomunun bağlandığı noktadaki boşlukta bir silisyum şeklinde meydana gelen silisyum atomları düzlemi, ondan sonra dörtyüzlü tepe noktalarındaki oksijen atomlarının

oluşturduğu düzlem, onun üstünde de üç oksijen atomunun bağlandığı noktadaki boşlukta bir silisyum şeklinde meydana gelen silisyum atomları düzlemi, ondan sonra dörtyüzlü tepe noktalarındaki oksijen atomlarının oluşturduğu düzlem. Böylece silika dörtyüzlüleri birbirine bağlanırlar. Bu bağlanmalar sonucu altıgen örgü meydana gelir. Açık altıgen örgü 120° 'lik açılarla kesişen oksijen atomlarının üç O-O'nun birleşmesi şeklinde düşünülebilir. Silika dört yüzlülerindeki O-O uzaklığı 2.55\AA 'dur ve dörtyüzlü dizilişteki iyon ağı boşluk ise 0.55\AA 'dur. Bu tür yapı birimlerinin kalınlığı ise 4.93\AA olacaktır.

Kil minerallerinin bazıları ise lifli yapıdadır ve yukarıda belirtilenlerden farklı şekilde bağlanmış yapı birimlerinden oluşur. Bu mineraller yapısal karakteristiklerinden dolayı çelişkili durumlar ortaya koyarlar. Temel yapı birimi Şekil 2.6. a-b'deki gibi Si_4O_{11} dizilişinin çift zincir şeklinde bağlanmasıyla oluşan silika dörtyüzlülerin birleşimidir. Yalnızca bir doğrultuda sürekli olmasının dışında bu yapı, tabakalı minerallerdeki silika dörtyüzlüleri tabakasına benzemektedir.

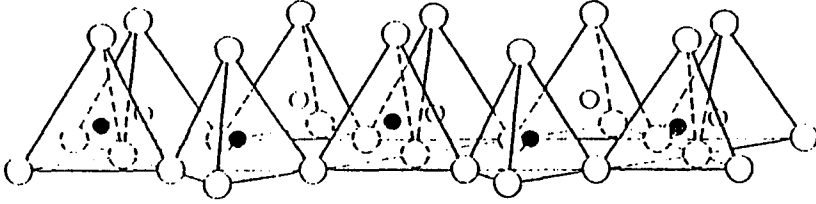


Şekil 2.5. (a) Tekli Silika Tetrahedron (Grim, 1953).

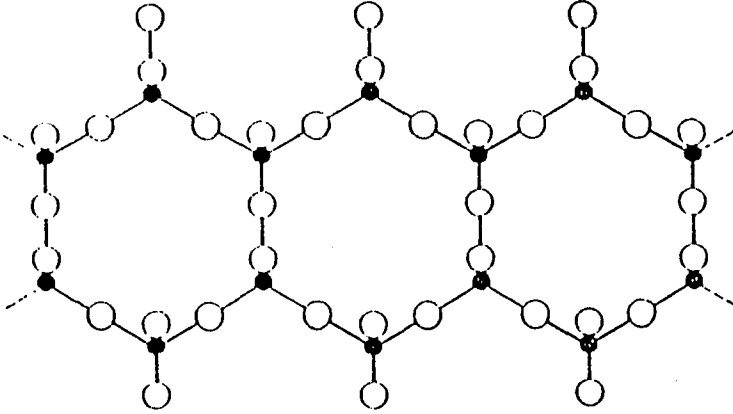


Şekil 2.5. (b) Hegzagonal Yapıda Düzenlenen Silika Tetrahedronlarının Tabaka Yapısı (Grim, 1953)

Zincirler alüminyum veya magnezyum atomları tarafından o şekilde bağlanmışlardır ki böyle atomların her biri altı tane aktif oksijen atomları tarafından çevrelenmiştir. Aktif oksijenlerin yalnızca bir tanesi silisyuma bağlı oksijenler olduğu ve böylece zincirlerin köşelerinde ve dört yüzlülerin uçlarında bulduklarını söyleyebiliriz (Grim, 1953).



Şekil 2.6. (a) Kil Minerallerinin Çift Zincir Silika Tetrahedronlarının Amfibol Yapı Tipinde Perspektif Görünüşü (Grim, 1953).



Şekil 2.6. (b) Tetrahedronların Taban Üzerine İzdüşümü (Grim, 1953).

3. KATI ATIK (ÇÖP) DEPOLAMA ALANLARI İLE İLGİLİ BAZI GENEL BİLGİLER

3.1. Katı Atık (Çöp) Depo Yerlerinin Seçimi ve İnşası ve İşletmesi Esnasındaki Önlemler

3.1.1. Katı atık depolama alanları seçimi kriterleri

Depo yerlerinin belirlenmesinde üzerinde çalışılması gerekli ana koşullar:

- Ulaşım ve meskun mahal durumu,
- Meteorolojik durum,
- Jeomorfolojik durum,
- Jeolojik ve hidrojeolojik durum,
- Jeoteknik inceleme.

olarak sıralanabilir. (Baran, 1995). Bunları sırasıyla inceleyelim.

3.1.1.1. Ulaşım ve meskun mahal durumu

Deponi sahasına ulaştırılacak katı atıkları; optimal uzaklıklara çevreyi etkilemeyecek şekilde uygun yol ve güzergahlardan özel araçlarla taşınmalıdır. Bunun ulaşım ekonomisi açısından önemi vardır. Deponi alanlarının meskun mahallere olan uzaklığı bir kilometreden daha az olmamalı, deponi yerleri kötü manzara etkisi yapmayacak noktalarda bulunmalı ve görüntü kirliliğine yol açmamalıdır. Örneğin Mamak (Ankara) eski çöp depolama alanına 1960-1979 yılları arasında çöp dökülmüş olup bugün üzerinde yoğun bir gecekondulaşma mevcuttur (Şengüler, 1994). Çevresel olumsuzlukların yaşanmaması için çöp depolama alanı seçimlerinde şehircilik açısından da çok iyi planlama gerekmektedir.

3.1.1.2. Meteorolojik durum

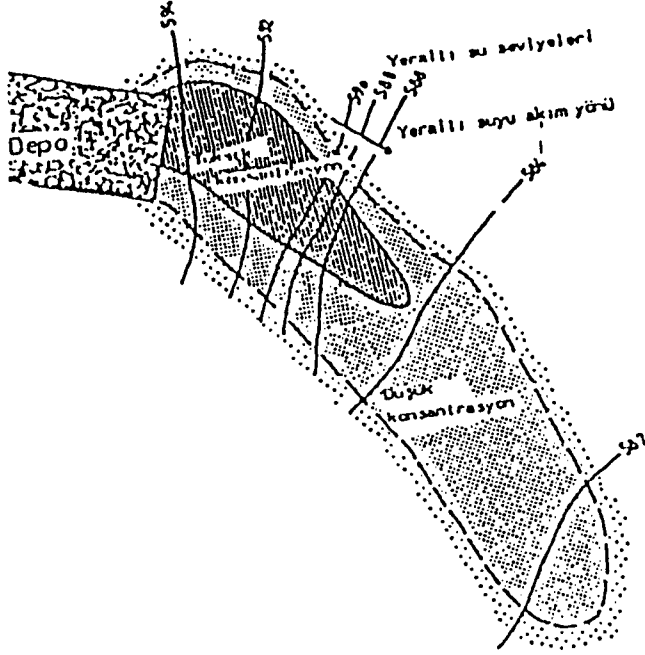
Katı atık deponi tesisinin tasarımında sıcaklık, yıllık yağış miktarı, buharlaşma değerleri ve rüzgar yönlerinin bilinmesi gereklidir. Rüzgar yönleri koku etkisi bakımından önemlidir, bu nedenle hakim rüzgar yönleri ile meskun mahallerin aynı doğrultuda bulunduğu alanlarda depo yeri seçilmemelidir (Baran, 1995).

3.1.1.3. Jeomorfolojik durum

Depo inşaa edilecek saha; mümkün olduğunca su toplama havzaları dışında tutulmalı, sürekli ve süreksiz yüzeysel akıslardan etkilenmeyecek yerlerde seçilmeli özellikle dere yataklarından kaçınılmalıdır. Heyelan, sel ve çığ tehlikesi açısından yüzey eğimive duyarlılığı çok önemlidir. Bu nedenle katı atık deponi yerleri için çöp depo alanları drenaj ağının kurulabileceği en az eğime sahip alanlar elverişlidir (Baran, 1995).

3.1.1.4. Jeolojik ve hidrojeolojik durum

Yukarıdaki durumların optimal yaklaşımlarla ele alınıp sentezlenmesiyle belirlenecek alternatif alanların 1/5000 ölçekli jeolojik ve hidrojeolojik detay etüdüleri yapılmalıdır. Zira depo yeri seçiminde temel husus yeraltı ve yerüstü su kirliliğine yol açılmamasıdır. Bunun için yörede mevcut kayaçların litolojik, stratigrafik, tektonik özellikleri belirlenmeli fay, çatlak sistemleri gibi kırıklı yapılar değerlendirilerek riskli yerlerden kaçınılmalıdır. Kırıklı ve karstik yapı arzetameleri nedeniyle kireçtaşları, sık çatlaklı mağmatik kayaçlar, kumtaşı-konglomera, gevşek kum ve çakıllar gibi porozite ve permeabiliteleri yüksek, akifer niteliği taşıyabilecek kayaçlar, deponi alanın düşey ve yatay yakın zonlarında yer almamalıdır. Kiltası, marn, silttaşı ve bunların ardışımından oluşan fliş karakterindeki seriler, fazla ayrışmamış ofiyolitik kayaçlar deponi sahaları için uygun zemin oluşturabilirler. Akifer niteliği taşıyan formasyonlar üzerinde kurulan katı atık depolarından oluşabilecek muhtemel kaçaklar yeraltı sularına karışmakta ve yeraltı suyu akım yönlerince kirlilik yayılmaktadır (Barkowski, 1985) (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Katı Atık Deponilerinin Yeraltı Sularını Etkilemesi (Barkowski-1985)

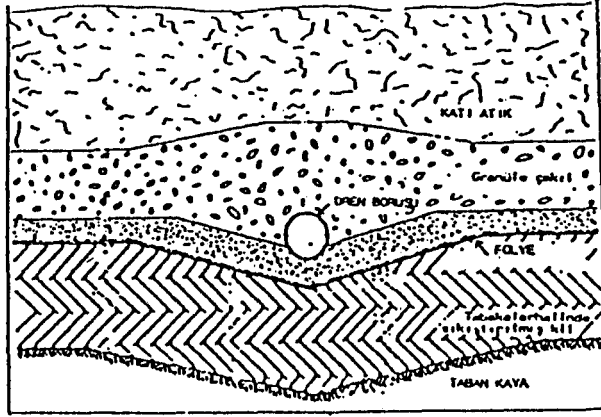
3.1.1.5. Jeoteknik inceleme

Yeri kesinleştirilen katı atık deponi yerinde depo hacmi ve kapasitesi dikkate alınarak yeterli zemin sondajı yapılmalıdır. Kayaçların mekanik ve diğer mühendislik özellikleri sayısal olarak ortaya konulmalı zemin taşıma kapasitesi belirlenip depremsellik dikkate alınarak depo tasarım ve inşaatı gerçekleştirilmelidir. Bütün bu çalışmalara ek olarak depo yeri ve çevresinin su kimyası belirlenmelidir. Bunun sonradan meydana gelebilecek değişiklikleri anlamada büyük önemi vardır (Baran, 1995).

3.1.2. Depo inşaatı ve işletmesi esnasındaki önlemler

Deponi sahasının işletmesi esnasında depo üzerine düşen yağışlardan ve/veya katı atığın kendi bünyesinde oluşabilecek kirli suyun yeraltı ve yüzey sularını kirlenmesine engel olmak için özellikle sızıntı suyun miktarını azaltmak, bu suyun zemine sızmasını

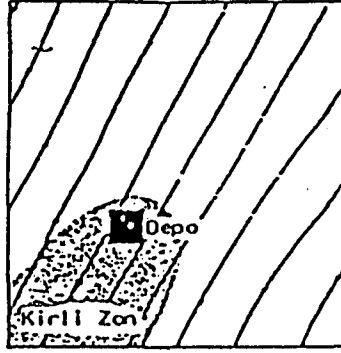
önleyerek drene etmek ve toplanan suları arıtmak gerekmektedir. Ayrıca uygun zemin koşulları oluşturulan depo tabanı özel bir izolasyon tasarımıyla inşa edilmektedir (T.C. Çevre Bakanlığı Yönergesi, 1993) (Şekil 3.2.).



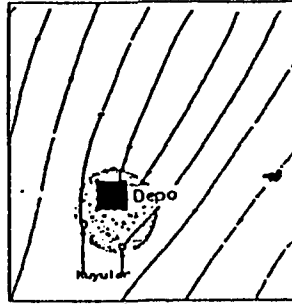
Şekil 3.2. Katı Atık Tabanı Kesiti. (T.C. Çevre Bakanlığı Katı Atık Depo Alanları Yönetimi ile İlgili Yönerge 1993.)

Katı atık deponilerinin gerek işletmesi esnasında, gerekse depo tamamlandıktan sonra yeraltı sularının kirlenip kirlenmediği hidrolik önlemler çerçevesinde denetlenmelidir.

Bu nedenle depo sahası yakın çevresine açılacak monitör kuyular vasıtasıyla yeraltı su durumu kontrol edilmeli, periyodik numuneler alınıp kimyasal analize tabi tutulmalıdır. Yine depo yakınında açılması gerekli kuyulardan yüksek debili pompaj yapılarak yeraltı su seviyesi düşürülmeli ve kirliliğin yayılmasının önüne geçilmelidir (Aktaş, 1993) (Şekil 3.3. a-b).



Şekil 3.3. (a) Depo Çevresinde Yeraltı Suyu Akım Yönleri ve Kirliliğin Yayılması (Aktaş, 1993)



Şekil 3.3. (b) Depo Çevresinde Pompaj Yapılarak Kirliliğin Kontrolü (Aktaş-1993)

Depo kapasitesi tamamlanıp, işletmeye son verildiğinde tavan izolasyonu gerçekleştirilmekte ve depodaki katı atık kökenli gaz; depo inşası devamınca kurulacak filtreli boru sistemi vasıtasıyla drene edilerek dışarıya alınmakta ve toplanan gazdan enerji üretiminde yararlanılabilmektedir. Böylece hem ekonomiye katkı sağlanmakta hem de deponiden kaynaklanan kötü koku, yangın ve patlama tehlikelerinin önüne geçilebilmektedir (Baran, 1995).

3.2. Atıkların Depolanmasında ve Kontrolünde Jeolojinin Önemi

3.2.1. Katı atıkların çevredeki zararlı etkileri

Hiç bir önlem alınmaksızın doğadaki çukurlara depolanan atıklar çevrede aşağıdaki olumsuz etkilere neden olurlar.

- Atık deposundan sızan suların yeraltı suyuna karışması,
- Kirlenmiş yeraltı sularının üterim kuyularıyla alınması, içme, kullanma ve sulama suyu olarak kullanılması,
- Atık deposundan zehirli gazların atmosfere karışması ve insanlar tarafından solunum yoluyla bünyeye alınması,
- Zeminde ve binaların bodrum katlarında patlayıcı zehirli gazların yoğunlaşması,
- Toprak kirliliği (Karagüzel, 1992).

3.2.2. Depolama ortamlarının yer bilimciler tarafından değerlendirilmesi

Önlemsiz bir depolama ortamının çevrede yarattığı tehlikenin analizinde ve alınacak önlemlerin projelendirilmesinde ortamın jeolojik yapısı ve hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi zorunludur.

3.2.2.1. Depolama ortamının jeolojik yapısı

Katı atıkların depolandıkları doğal ortamlardan çevre koruma açısından aşağıdaki temel özellikler istenmektedir.

- Çok düşük geçirimsizlik, mümkünse geçirimsizlik,
- Yeteri kadar büyük hacim,
- İyi derecede sorbsiyon özelliği.

Doğada bulunan kayaçlar;

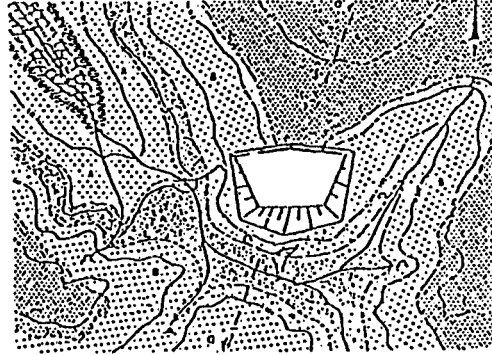
- Mağmatik kayaçlar,
- Tortul Kayaçlar,
- Başkalaşım kayaçları.

olmak üzere üç ana sınıf başlığı altında toplanabilirler. Her bir kayaç sınıfını da değişik kriterlere göre daha alt sınıflara ayırmak mümkündür.
















Yer bilimciler bu kayaçları incelerken, tür ne olursa olsun aşağıdaki temel özelliklerini araştırırlar:

- Minerolojik-Petrografik özellikleri,
- Tabakalanma durumu,
- Ayrışma (bozuşma) derecesi,
- Yapısal özellikleri,
- Geçirimsizliği.

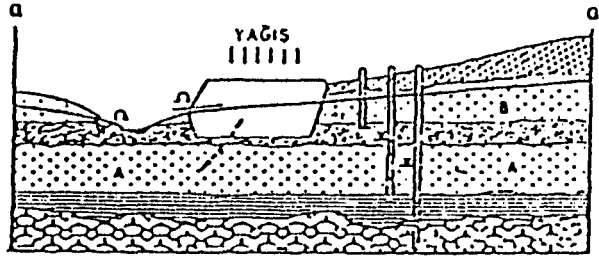
Bu özelliklerin doğrultusunda kayaç türleri farklılıklar gösterirler. Jeoloji mühendisleri bu değişik türden kayaçların 1/25000-1/1000 ölçekli haritalarını çizerler. Haritalama işleminde yüzeysel gözlemlerden yararlanır. Şekil 3.4. a'da şüphe teşkil eden tipik bir depolama ortamı ve yakın dolayının jeoloji haritası gösterilmiştir.



AÇIKLAMALAR

	ATIK DEPOLAMA YERİ		Y.S.S. YÜKSEKLİK EGRİSİ
	LÖS, LÖSLEM		KAYAÇ DOKANAĞI
	ÇAKIL-B		DERE
	SILT, KUM		YERALTI SU SEVİYESİ
	ÇAKIL-A		SÜREKSİZ KAYNAK
	KİL		SÜREKLİ KAYNAK
	ANA KAYA		YERALTI SUYU GÖZLEM KUYUSU
			ZARARLI MADDE YAYILIMI

Şekil 3.4. (a) Atık Deposu Dolayının Jeoloji-Hidrojeoloji Haritası.



Şekil 3.4. (b) Atık Deposu Dolayının Jeoloji-Hidrojeoloji Harita Kesiti.

Gerek zararlı elementlerin ortamdaki taşınma mekanizmasının analizi, gerekse önleyici tedbirlerin sağlıklı planlanması ve uygulaması açısından yeraltı jeolojisinin belirlenmesi gerekir. Bunun içinde yüzeysel gözlemlerin yanında mekanik (sondaj, kuyu, yarma, galeri vb) ve jeofiziksel araştırma yöntemlerinden yararlanarak kayaçların yeraltında dağılımını gösteren jeolojik kesitler hazırlanır. Şekil 3.4. b'de Şekil 3.4. a'daki bölgeden a-a' doğrultusunda alınmış bir jeolojik kesit gösterilmiştir. Burada atık deposunun jeolojik ortamdaki konumu belirgin olarak görülmektedir.

3.2.2.2. Depolama ortamının hidrojeolojik özellikleri

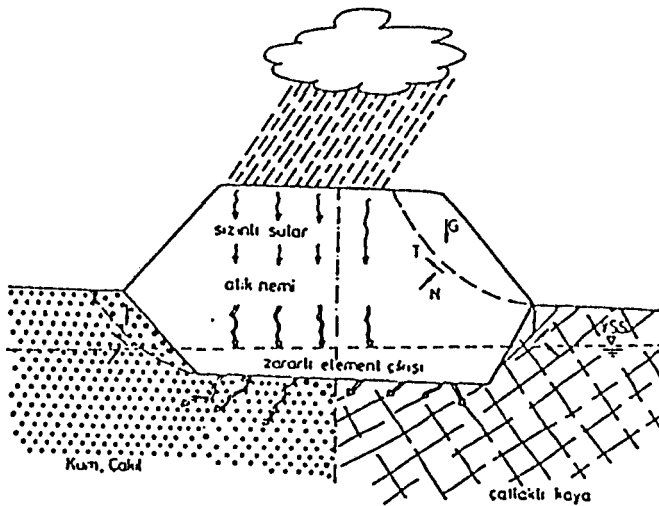
Atıklardan zehirli elementlerin çevreye dağılımı ilk etapta efektif boşluk hacmine bağlı olarak yeraltı suyunun yardımıyla olacaktır. Bu nedenle depolama ortamı dolayının hidrojeolojik etüdünün yapılması gerekmektedir.

Böyle bir araştırmanın aşağıdaki konulara açıklık getirmesi beklenmektedir.

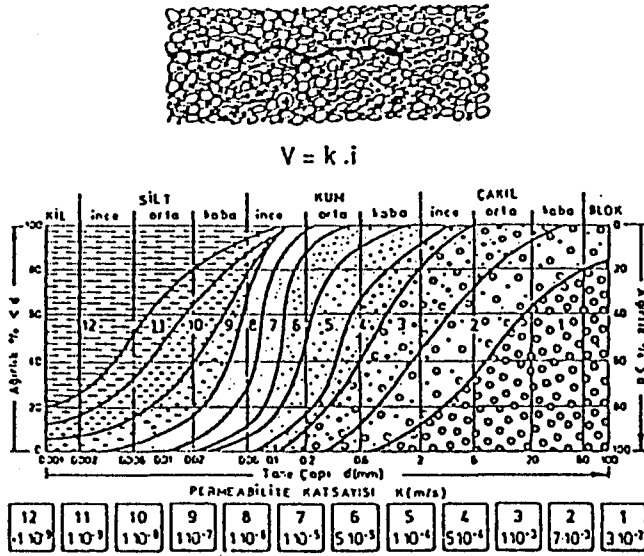
- Doymamış bölge kalınlığı
- Yeraltı su seviyeleri
- Kayaçların porozitesi
- Kayaçların geçirimsizlik katsayısı
- Yeraltı suyu ve sızıntı sularının kimyası
- Kimyasal reaksiyonlar (zemin-su-kayaç)

Yapılan araştırmalar değişik ölçekli (1/25000-1/1000) hidrojeoloji harita ve kesitleri üzerinde gösterilir. Hidrojeoloji haritaları çok çeşitlidir. Bunlara yeraltı su seviye haritaları, su kimyası haritaları örnek olarak gösterilebilir.

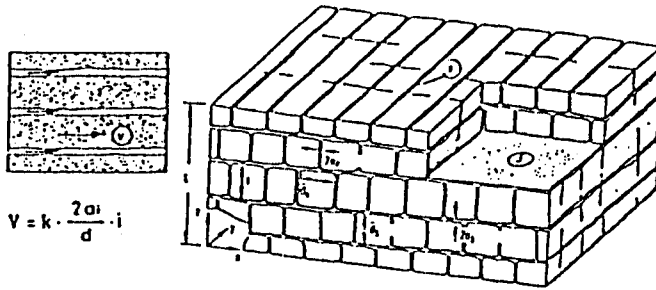
Şekil 3.4. a'da, şüphe teşkil eden atık depolama ortamı dolayının, jeoloji haritası üzerinde, yeraltı su seviyesi eş yükselti eğrileri gösterilmiştir. Bu haritalardan yararlanarak yeraltı suyunun akım yönünü ve hidrolik eğimini bulmak mümkündür. Eğer ortamın geçirimsizlik katsayısı da (K ; cm/sn) biliniyorsa hidrolik hız (V ; cm/sn) ve hidrolik eğim (I) Darcy kanununa göre $V = K \cdot I$ formülünden hesaplanır. Akım yönü de belli olduğuna göre zehirli elementlerin hangi zaman aralığında ne kadar yol katedeceği kolaylıkla saptanır. Ancak bu hesaplamalar burada verildiği şekilde basite indirgenemez. Yapılan analizlerde çimentosuz kayalarda poroziteye bağlı bir geçirimsizlik değeri (Şekil 3.5) belirlenip hesaplamalarda baz olarak alınırken, çimentolu masif kayaç türlerinde kırık sistemlerine (tabak, çatlak, fay vb.) bağlı bir geçirimsizlikten (Şekil 3.5.) söz edilebilir. Öte yandan çimentosuz kayalarda tane boyu çapına bağlı olarak geçirimsizlik değeri değişmektedir (Şekil 3.6). Çatlaklı ortamlarda da kayacın kendi geçirimsizliği ihmal edilirken, kırık düzlemlerinin özelliklerine göre değişen geçirimsizlik önem kazanmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.5. Geçirimsiz Temel Üzerinde Atık Deposu (Karagüzel, 1992).



Şekil 3.6. Ayrık Kayaçların Permeabilite Katsayısına Göre Sınıflandırılması ve Hidrolik Hız Tayini (Karagüzel, 1992).



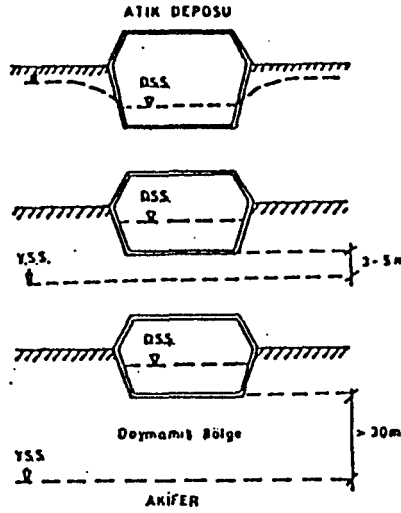
Şekil 3.7. Kaya Ortamlarda Hidrolik Hız Tayini Modeli (Karagüzel, 1992).

Öte yandan atık depo tabanının yeraltı su seviyesi (Y.S.S.) ile olan ilişkisi zararlı element taşınması mekanizması açısından önem taşır. Bununla ilgili olarak üç farklı depolama ortamından söz edilebilir (Şekil 3.8.).

1) Atık deposu tabanı yeraltı su seviyesinin altında: Bu durumda depo su seviyesi yeraltı su seviyesinin altında tutulur. Hidrolik eğimden dolayı depodan dışarıya bir akım söz konusu olamaz. Depodan zararlı element taşınması ancak difüzyon yoluyla, yani iyon ve moleküller şeklinde olur.

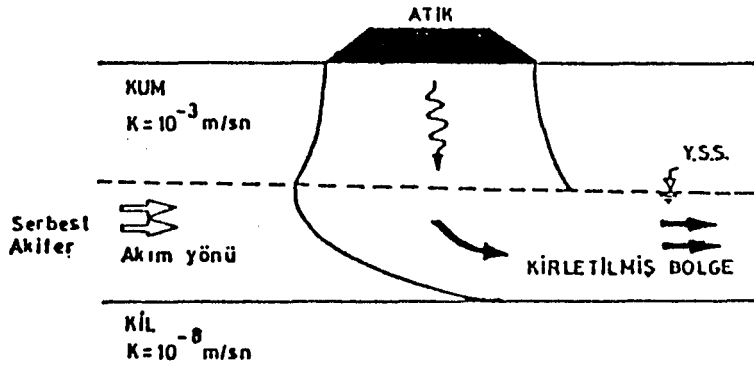
2) Atık deposu tabanı yeraltı su seviyesine yakın: Bu durumda yeraltı su seviyesi (Y.S.S.)'den kapilerite ile yükselen sular doğal ve yapay malzemelerle yapılan geçirimsiz depo tabanının su muhtevasının değişmesine, dolayısıyla tahribata neden olur. Öte yandan difüzyonla taşınma sağlanmış olur.

3) Atık deposu doymamış bölgede ve yeraltı su seviyesi (Y.S.S.) çok derin: Zararlı element hareketi ilk etapta yerçekiminin etkisi altında düşey doğrultuda olacaktır. Yatay yönde dağılım yeraltı suyu yüzeyine ulaştıktan sonra akım yönünde gerçekleşir. Bu suretle yeraltı suyunu bulunduran, taşıyan ve gerektiğinde verilebilen ortam olarak tanımlanan akifer kirlenmiş olur (Şekil 3.9). Akiferler doğada değişik şekillerde (serbest, basınçlı, karstik vb.) bulunurlar.

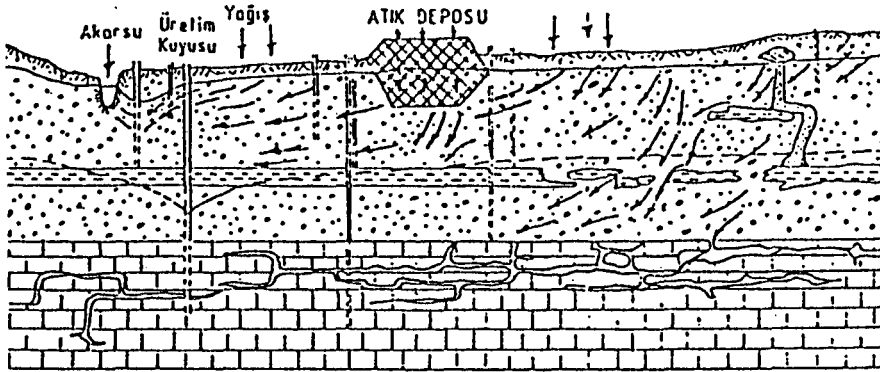


Şekil 3.8. Yeraltı Suyu Seviyesi ve Atık Deposu İlişkilerini Gösterir Şematik Kesitleri (Toussaint, 1989)

Tanımları gereği birbirleri ile bağlantısız olarak değerlendirilen bu akifer ortamlara çevre sağlığı açısından şüpheli gözle bakmakta yarar vardır. Şekil 3.10'da geçirimli bir tabanı olan bir atık deposunun serbest, basınçlı ve karstik akiferlerin yanında yüzeysel suları da kirlitebileceği şematik bir kesit üzerinde gösterilmiştir (Toussaint, 1989).



Şekil 3.9. Kirlenici Elementlerin Yeraltı Suyu Akımı ile Dağılımı (Karağüzel, 1992).



Şekil 3.10. Çeşitli Akiferlerde Kirlilik Dağılımının Şematik Gösterimi (Toussaint, 1989)

3.2.3. Depolama tekniği

Tehlikeli ve zararlı atıklar gerek kendi kimyasal yapıları, gerekse depolama yerinde oluşan karışım sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu partikül, gaz ve suda çözülmüş maddeler halinde çevreye zarar vermektedirler. Bu nedenle eski atık depolarının emniyet altına alınması ve yeni atıkların uygun tekniklerle depolanması gerekmektedir.

Avrupa Ekonomik Topluluğunun 27.6.1985 tarihli kararı ile atık depolama ortamı seçiminde 1. ve 2. dereceden yasak bölgeler belirtilmektedir.

1. Derecede Yasak Bölgeler

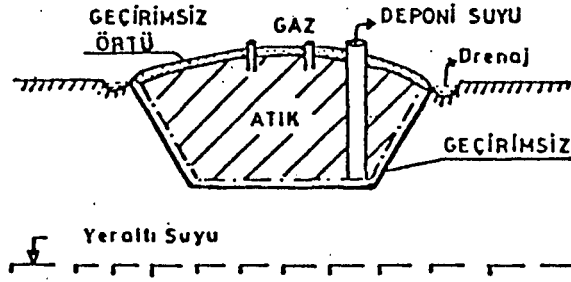
- İçme suyu mutlak koruma alanları I-III/III-A,
- Kaplıca koruma alanları I-III,
- Gölet-sel kapanı ve bunların taşkın alanları,
- Baraj göl alanı ve mansapta taşkın tehlikesi olan alanlar,
- Yerleşim alanları ve bunların 500 m'lik koruma alanları, doğa koruma alanları, milli parklar,
- Açık maden işletme, trafik, yüksek gerilimli enerji nakil hatları, gaz taşıma hatları, havaalanı koruma vb. alanlar.

2. Derecede Yasak Bölgeler

- Kirlenme tehlikesi olan akiferler,
- İçmesuyu mutlak koruma alanı III-B zonu,
- Kaplıca koruma alanları IV. zon,
- Yeraltısuyu beslenme alanları,
- Doğa koruma alanları, milli parklar,
- Koruma ormanları, yeşil alanlar, turistik alanlar, verimli tarım alanları.

Bir bölge yukarıda belirlenen kriterlere göre depolama yeri olarak uygun görülse bile, jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin de olumlu olması gerekmektedir. Depolama yerlerinin jeolojik ve hidrojeolojik etüdlerinin mutlak suretle yapılması gerekir. Ekonomik ve sağlıklı bir depolama ancak jeolojik ortam koşullarına uygun tekniklerin seçimi ile gerçekleştirilir.

Gerek eski atık depolarının emniyet altına alınması, gerekse yeni atıkların depolanmasında düşey ve yatay taban geçirimsizlik elementlerinden yararlanılır. Atık depolarının üstü de kapatılarak, bir taraftan yağış sularının depo içerisine girmeleri önlenirken, diğer yandan da zehirli gazların atmosfere karışması engellenmiş olur. Şekil 3.11'de izole edilmiş bir atık deposu gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Modern Bir Atık Deposunun Şematik Görünümü (Karagüzel, 1992).

Geçirimsizlik elementlerinin uzun zaman periyodunda işlevlerini yerine getirebilmesi için mekanik baskılara karşı stabil, kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklı, kolay inşa edilebilir ve mümkünse bakım gerektirmemelidirler.

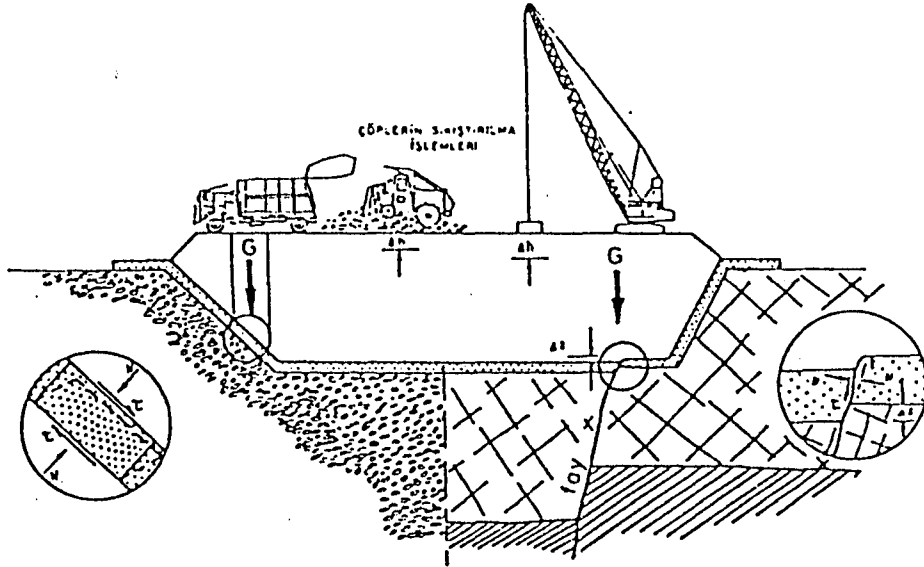
Geçirimsiz taban olarak ya doğal bir geçirimsiz katmandan (kil tabakası) yararlanılır ya da yapay geçirimsizlik zonları oluşturur.

Zararlı elementlerin depolama ortamından yatay yönde dağılımını engellemek için düşey geçirimsizlik duvarları oluşturulur. Bunun için temel kayanın özellikleri büyük bir itina ile belirlenmelidir. Her bir kayaç türü farklı tekniklerle geçirimsiz hale getirilir. Zeminlerde malzeme değiştirmek yoluyla maksimum düzeyde geçirimsizlik sağlanır. Buna karşın çatlaklı kaya ortamlarda çimento şerbeti enjeksiyonu ile çatlak açıklıkları doldurularak geçirimsiz zonlar oluşturulur.

Geçirimsiz tavan, atık depolarının inşaatında özen gösterilmesi gereken kaçınılmaz bir bölümü teşkil eder. Bir yandan yağış sularının depo içerisine girmesini, diğer taraftan zehirli gazların atmosfere karışmasını engellemektedir. İnşaatı ve bakımı oldukça kolay olan bu tavanın, beklenmedik oturmalar karşısında stabil, crezyon ve dona karşı dayanıklı olması istenir.

Geçirimsizlik elementlerinin işlevlerini uzun zaman periyodunda yerine getirebilmeleri açısından temel kayanın stabilitesi de önemlidir. Temel kayada beklenilmedik bir deformasyon (oturma veya aktif bir fay düzleminde hareketler) tabanın hasar görmesine neden olur. Geçirimsiz elementler çöplerin sıkıştırılma işlemleri gibi yüzeysel basınçlardan dolayı da hasar görmektedirler (Şekil 3.12.). Bu nedenle atık

depolarının inşasında, hem temel kayanın, hem de geçirimsiz üst yapı malzemesinin jeoteknik özelliklerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi gerekir. Geçirimsiz tabanda ortaya çıkan bir arızanın tamirâtı çok zordur (Karagüzel, 1992).



Şekil 3.12. Geçirimsiz Tabanları Etkileyen Kuvvetler ve Oluşturdukları Hasarlar (Wittke, 1991).

3.3. Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Gazın (Deponi Gazı) Çevresel Etkileri ve Ekonomik Potansiyeli

3.3.1. Deponi gazının özellikleri

Çöp depolama alanlarında oluşan gaza "biyogaz" veya "deponi gazı" denilmektedir. Düzenli çöp depolama alanlarında, çöp gövdesindeki organik maddeler önce aerobik olarak ayrışmaya başlar ancak çöp gövdesindeki oksijenin tükenmesi ile ayrışma anaerobik koşullarda devam eder. Bozunma ve ayrışma hızı, çöpün bileşimine göre değişir.

Çöp gövdesinde oluşan gazın yaklaşık % 90'ını metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) oluşturmaktadır. Deponi gazının bileşiminde az miktarda azot (N_2) ve eser miktarda

hidrojen sülfür (H_2S) bulunmaktadır. Gaz çıkışı, depolamadan sonraki ilk iki yılda en fazla düzeye ulaşır, daha sonra ise yavaşlar ve bir düzeyde sabit kalarak 25 yıl ve daha fazla süreyle devam eder (Sürücü, 1994) (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Deponi Süresi ve Deponi Gazlarının Konsantrasyonu (Sürücü, 1994).

Zaman (Ay)	Oluşan Deponi Gazları %		
	N_2	CO_2	CH_4
0-3	5.2	88	5
3-6	3.8	76	21
6-12	0.4	65	29
12-18	1.1	52	40
18-24	0.4	53	47
24-30	0.2	52	48
30-36	1.3	46	51
36-42	0.9	50	47
42-48	0.4	51	48

Deponi gazının bileşimi, cam pipetler yardımıyla çöp gövdesinden alınan örneklerin, gaz kromatografında tam gaz analizleri yapılarak bulunur. Bu analizler sonucunda deponi gazının içinde ağırlıklı olarak yer alan metan ve karbondioksit dışındaki gazlar değişik yöntemler ile uzaklaştırılabilir. Ayrıca, oluşan gazın potansiyelini belirlemekte çok önemlidir. Gazometreler yardımıyla deponi gazının debisi saptanarak ekonomik potansiyelini belirlemek için önemli veriler elde edilebilir.

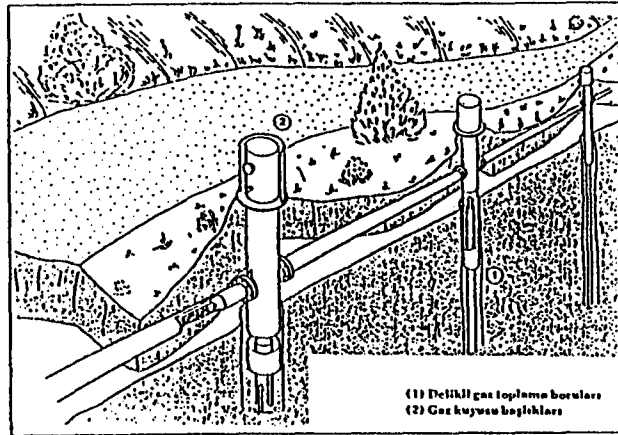
Gelişmiş ülkelerde düzenli çöp depolama alanlarının yer seçimleri birden çok yerleşim yerinin atıklarını kapsayacak şekilde yapılmaktadır. Bu uygulama ile farklı yerlerde yapılacak depolama alanlarının ön yatırımlarından tasarruf sağlanmakta ve çöp gövdesinin hacmi büyütülerek, oluşacak gazın hem potansiyeli hem de süresi arttırılmaktadır. Daha önce yapımı gerçekleştirilmiş düzenli çöp depolama alanlarının

daha iyi değerlendirilmesi ve çevresel etkilerinin tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar da sürmektedir (Reuter, 1991).

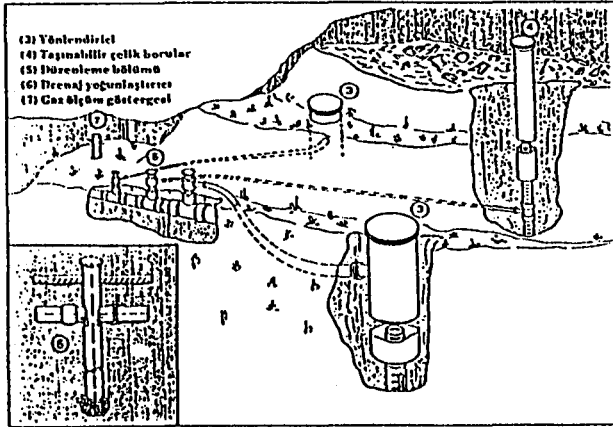
3.3.2. Metan gazı oluşumu ve kullanımı alanları

Metan gazı, organik materyalin bakteriler yardımıyla bozunması sonucu oluşan biyojenik bir gaz türüdür (Özbudak ve Yılmaz, 1990). Metan gazını oluşturan organizmaların anaerobik karakterde olmaları nedeniyle, metan oluşumu süresince oksijensiz bir ortam gereklidir. Ayrıca ortamdaki organik karbon oranının en az % 0.5 olması ve ortam sıcaklığının 0-75°C arasında kalması ideal koşulları oluşturur. Metan gazı, konvansiyonel tüm enerji sistemlerinde ve ısıtma sistemlerinde kullanılmaya uygun bir yakıt türüdür.

Düzenli bir çöp depolama alanına ait gaz eldesi ünitesi Şekil 3.13.'de ve düzenli çöp depolama alanına ait gaz depolama ve ölçme ünitesi Şekil 3.14'de şematik olarak verilmiştir (Çuvam, 1991).



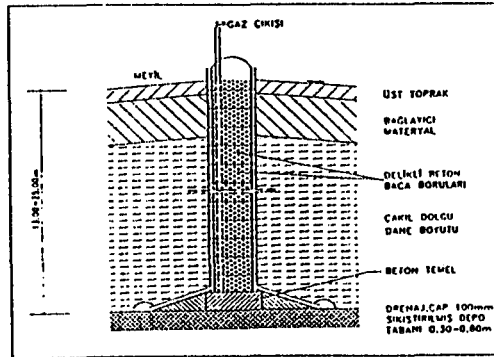
Şekil 3.13. Düzenli Çöp Depolama Alanındaki Gaz Eldesi Ünitesi (Çuvam, 1991).



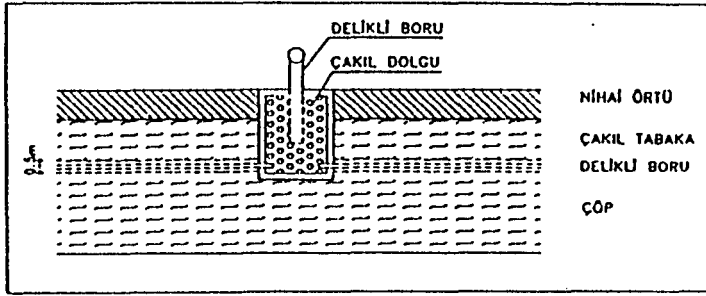
Şekil 3.14. Düzenli Çöp Depolama Alanında Gaz Depolama ve Ölçme Ünitesi (Çuvam, 1991).

3.3.3. Deponi gazının üretimi

Çöp gövdesinde oksijensiz ortamda organik maddenin mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu oluşan metan gazı ağırlıklı olmak üzere, karbondioksit, metan, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşenlerinden oluşan deponi gazları patlamalara ve yangınlara neden olarak çevresel olumsuzluklar meydana getirmektedir. Çöp gövdesinde oluşan bu gazlar yatay ve düşey gaz toplama boruları ile toplanarak kontrollü bir şekilde atmosfere verildiği gibi enerji elde etmek için de kullanılabilir (Şekil 3.15.-16.).



Şekil 3.15. Çöp Gövdesinde Oluşan Gazları Toplamak İçin Çöp Gövdesinde Yerleştirilen Düşey Borunun Kesiti (Şengül ve Yılmaz, 1995).



Şekil 3.16. Çöp Gövdesindeki Yatay ve Düşey Gaz Toplama Borularının Konumu (Şengüler ve Yılmaz, 1995).

Çöp gövdesinde oluşan gaz genellikle 1 m^3 atık başına $100\text{-}400 \text{ m}^3$ dür. Gaz toplama sistemlerinde gaz toplama kuyuları ile bir yerde toplanan gaz, yakma sıcaklığı 800°C 'nin üzerinde olan bir yakma bacasına verilerek enerji üretiminde kullanılabilir.

Çöp gövdesinden çevreye yayılan gazların (özellikle metan gazı) uzak mesafelere kadar ulaştığı, buralardaki binaların bodrumlarında, kanalizasyon borularında toplanarak patlamalara neden olduğu ayrıca çeşitli sağlık sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Daha önceden geliş güzel atılarak oluşturulan böyle düzensiz çöp depolama alanlarında gaz toplama kuyuları çöp gövdesine çakılarak yerleştirilir. Yoğunluğu yüksek polietilenden yapılan delikli ya da yarıklı toplama borusu, kuyu içine indirilerek etrafi çakıl veya mıcır ile doldurulur. Boru; sonuna kadar filtre görevi görecek malzeme ile, geçirimsiz tabaka seviyesine kadar ise sıkıştırılmış doğal malzeme ile doldurulur. Sıkıştırılmış doğal malzeme havanın kuyu içerisine girmesine engel olmak için yerleştirilir. Kuyu başlığı; basınç, sıcaklık ve gaz konsantrasyonunu ölçmeye elverişli bir şekilde dizayn edilmelidir. Her bir kuyunun tesir mesafesi 25-40 m arasındadır.

3.3.4. Deponi gazının çevresel etkileri

Deponi gazı, düzenli depolama yapılarak kontrol altına alınmadığı sürece tehlikeli olmaktadır. Ülkemizde can kayıplarına yol açacak patlamalar ile çevresel olumsuzlukların

en büyüğüne neden olan deponi gazları, bundan sonra gerek ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) gerekse “Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”nin titizlikle uygulanması ve öngörülen koşulların yerine getirilmesi ile tehlikesiz bir duruma gelecektir.

Deponi gazlarının başlıca çevresel etkileri şöyle sıralanabilir:

- İçerdiği toksik ve kısmen kansorejen maddeler nedeniyle insan sağlığı için son derece zararlıdır.

- Metan gazı konsantrasyonu havada % 5-14 oranına ulaştığında patlamakta, yangınlara ve can kayıplarına yol açmaktadır.

- Deponi gazları bitki köklerini kaplayarak onların hava ile temasını kesmekte, bitkilerin gelişmesini önleyerek çevrenin yeşillenmesini olumsuz olarak etkilemektedir.

- Deponi gazı içinde bulunan hidrojen sülfür gibi bazı gazlar etrafa kötü kokular yayarak çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir.

- Düzensiz depolama alanlarında oluşan gazlar, üst katmanları aşmış atmosfere ulaşmadığı zaman çöp gövdesinde yatay olarak hareket etmekte; geçirimli formasyonlardan, yarık ve çatlaklardan geçerek çevredeki binaların bodrumlarına, kanalizasyon şebekelerine ulaşmakta, böylece çöp depolama alanından uzakta olan insanlar için dahi tehlike teşkil etmektedir (Şengüler ve Yılmaz, 1995).

4. DENEYLER

4.1. Giriş

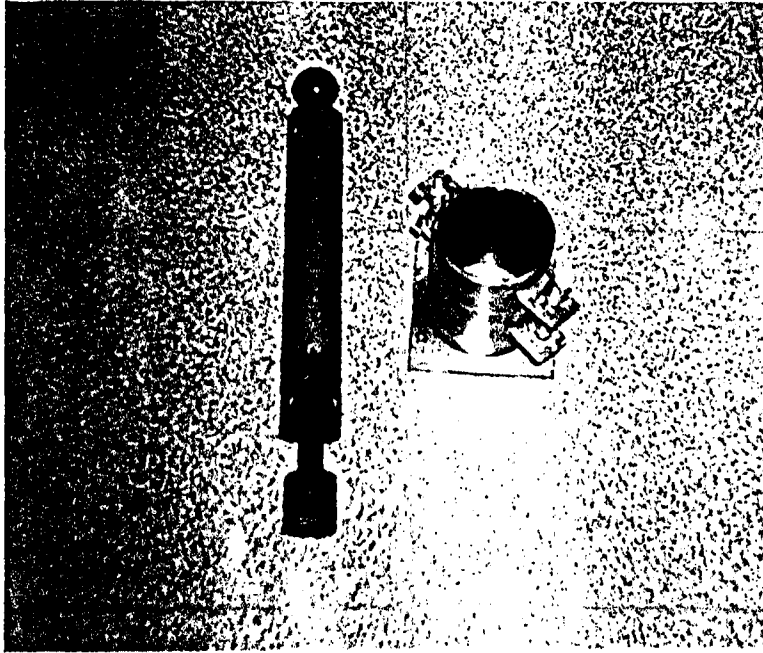
Bilindiği gibi katı atık depolama alanlarının tabanında ya sentetik jeomembran malzeme ya da doğal bir malzeme olan kil kullanılmaktadır. Burada yapılan deneyler doğal bir malzeme türü olan zeolit katı atık depolama sahalarında taban astarı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasına ve doğal zeolit uygunluğunun belirlenmesine yöneliktir. Yapılan deneylerde, Bigadiç ve Gördes yöresi doğal zeolitleri olmak üzere iki tip zeolit türü üzerinde çalışılmıştır. Bu zeolitler üzerinde optimum su muhtevası tayini, hidrolik iletkenlik ve katyon değişim kapasitesi deneyleri yapılmıştır. Zeolitlerin, bol silisli ve kohezyonsuz malzemeden oluşmaları tek başına hidrolik bariyer olabilmelerine imkan vermemektedir (Kayabalı, 1996). Bu nedenle bağlayıcı malzeme olarak, ticari bentonit kullanılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre taban astarı olarak önerilebilecek en uygun doğal zeolit tespit edilecektir.

4.2. Kompaksiyon Deneyi

Bu çalışmada öncelikli olarak bentonit/zeolit (B/Z) oranı tayin edilmiştir. B/Z oranının tayin edilmesinde Kamil KAYABALI¹'nin "Bentonit ile Islah Edilmiş Doğal Zeolit Katı Atık Sahalarında Astar Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği" isimli çalışması referans olarak alınmış, B/Z oranı % 10 olarak belirlenmiştir.

Zeolit ve bentonit sıcaklığı 105 °C olan fırında 16 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra her iki zeolit türü için Çizelge 4.1'de belirtilen karışım oranlarında %100' lük bir karışım hazırlanmıştır. %100'lük zeolit karışımına B/Z oranı %10 olacak şekilde bentonit ilave edilmiştir. Zeolit ve bentonit karışımı hazırlandıktan sonra toplam numune ağırlığının belirli bir yüzdesi kadar ve değişik yüzdelerde su ilave edilerek kompaksiyon deneyi yani Standart Proctor deneyi yapılmıştır. Şekil 4.1'de Standart Proctor deney aletleri görülmektedir.

¹ Sözlü Görüşme, 1997, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.



Şekil 4.1. Standart Proctor Dency Aletleri

Çizelge 4.1. Bigadiç ve Gördes Yöresi Doğal Zeolitlerinin Her Birisi İçin Karışım Oranları

% (Yüzde Oranı)	Boyut (mm)
20	2-1
20	1-0.71
20	0.71-0.50
10	0.50-0.25
10	0.25-0.125
20	0.063 ve altı

Su ilave edildikten sonra karışımın topaklandığı görülmüş ve bu topaklanmalar iyice dağıtılarak mümkün olduğu kadar homojen bir karışım elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra kuru birim hacim ağırlığa karşılık ortalama su muhtevası grafiği çizilerek,

optimum su muhtevası tayin edilmiştir. Burada, kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) aşağıdaki ifadelerle hesaplanmıştır.

$$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} \quad 4.1$$

Burada:

- γ_n : Birim hacim ağırlığını
 W_T : Numunenin ağırlığını
 V_T : Numunenin hacmini

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1 + W} \quad 4.2$$

- γ_k : Kuru birim hacim ağırlığını
 W : Ortalama su muhtevasını
 γ_n : Birim hacim ağırlığını

göstermektedir.

4.3. Hidrolik İletkenlik Deneyi

Bigadiç ve Gördes yöresi doğal zeolitlerinin her ikisi için optimum su muhtevası tespit edildikten sonra, bu optimum su muhtevasında numuneler hazırlanarak şekil 4.2'de görülen permeabilite deney hücresine konulmuştur. Burada, deney hücresine giren ve çıkan su miktarındaki değişimler birbirine eşit oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. Bu eşitlik en az üç defa sağlandığında ise deneye son verilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler aşağıdaki ifade de yerine konularak numunenin permeabilitesi (sıvı geçirgenlik katsayısı) hesaplanmıştır.

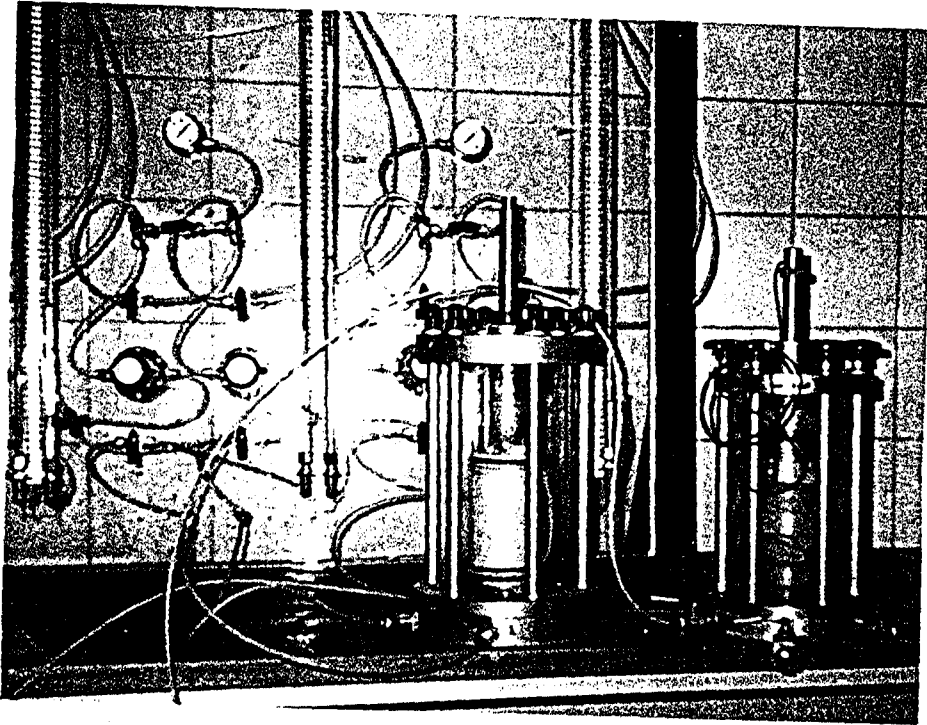
$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta h \cdot t}$$

4.3

Burada:

- k : Maddenin sıvı geçirgenlik katsayısını
 Q : Belirli zamanlarda geçen su miktarını
 A : Numunenin kesit alanını
 Δh : Toplam basıncın su sütunu cinsinden ifadesini
 t : Zamanı
 L : Numune boyunu

göstermektedir.



Şekil 4.2. Permeabilite Deney Aleti

4.4. Katyon Değişim Kapasitesi Deneyi

Bu deneylerde numunelerin ayrı ayrı ve belirtilen miktarlardaki karışımları halinde E.K.D.K. tayin edilmiştir. Bunun için 300 ml'lik ve 1 N'lik NaCl çözeltisi hazırlanarak Bigadiç zeoliti, Bigadiç zeoliti + bentonit, Gördes zeoliti, Gördes zeoliti + bentonit ve Bentonit numuneleri ayrı ayrı iyon değişimi işlemine tabi tutulmuştur. Giren ve çıkan konsantrasyonlar birbirine eşit oluncaya kadar işleme devam edilerek E.K.D.K.'leri hesaplanmıştır. NaCl çözeltisi konsantrasyonundaki değişimler her bir çevrim sonunda iyonmetre aleti ile tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki ifade de yerine konularak E.K.D.K. tayin edilmiştir. Bütün çözeltilerin hazırlanmasında de iyonize su kullanılmıştır. Şekil 4.3'de iyonmetre aleti görülmektedir. Şekil 4.4'de de katyon değişim kapasitesi tayini deneylerinde kullanılan, iyon değişim kolonu görülmektedir.

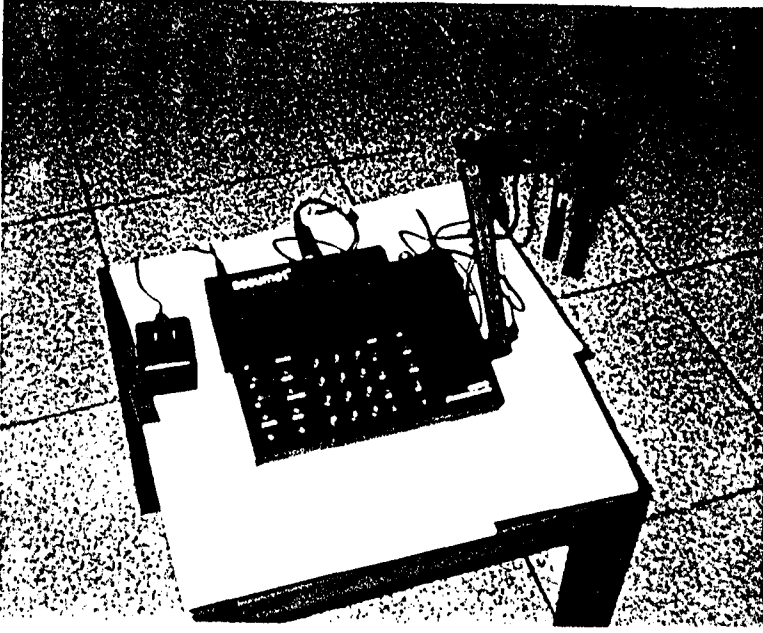
$$E.K.D.K = \frac{V(C_o - C)}{m} \quad 4.4$$

Burada:

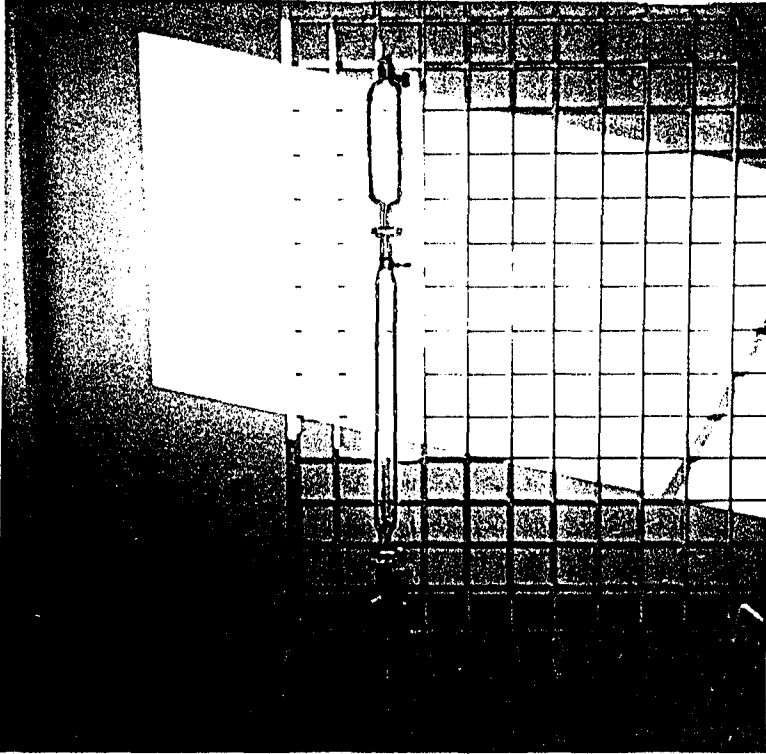
E.K.D.K.	:	Etkin katyon değişim kapasitesini
V	:	Çözeltinin hacmini
C _o	:	Başlangıç konsantrasyonunu
C	:	Son konsantrasyonunu
m	:	Numunenin ağırlığını

göstermektedir.

Çözeltinin normalitesi N (mol/lit), çözeltisinin 1 ml'sindeki çözünmüş maddenin milieşdeğer gram sayısı veya litresindeki eşdeğer gram sayısı olarak tanımlanır. Örneğin 0.20 N gümüş nitrat çözeltisinin bir litresindeki 0.20 eşdeğer gram ve bir mililitresi 0.20 mili eşdeğer gram çözünmüş madde içerir (Skoog and West, 1976). Bu nedenle hesaplamalarda normalite değeri C_o ve C değerleri olarak alınmıştır.



Şekil 4.3. İyonmetre Aleti

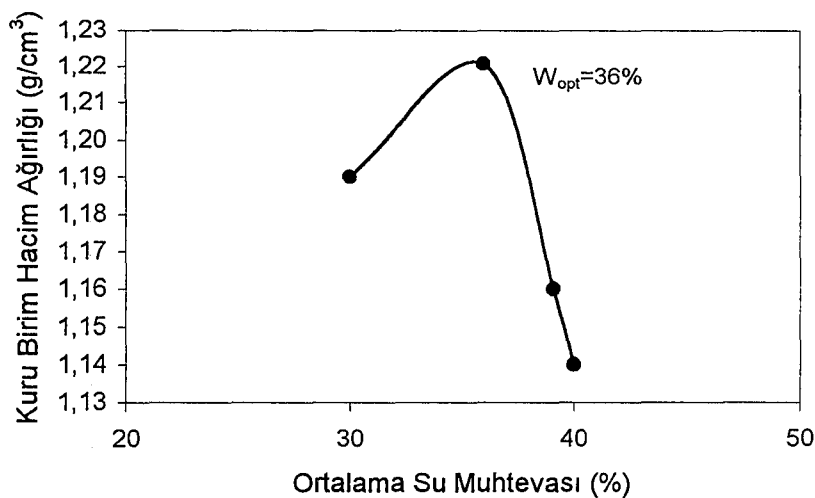


Şekil 4.4. İyon Değişimi Kolonu

5. DENEY SONUÇLARI

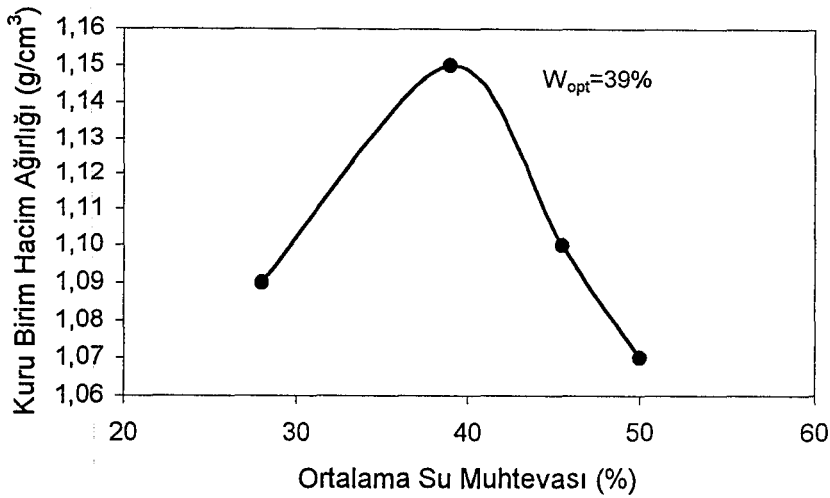
5.1. Kompaksiyon Denei Sonuçları

Bigadiç ve Gördes doğal zeolitleri ve bentonit karışımları için bölüm 4.2'de belirtilen n işlemeler yapılarak B/Z oranı %10 olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra Standart Proctor denei aletleri ile değişik su muhtevalarında kompaksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar formül 4.1 ve 4.2'de yerine konularak, kuru birim hacim ağırlığa karşılık ortalama su muhtevası grafikleri çizilerek optimum su muhtevası tespit edilmiştir. şekil 5.1 ve 5.2'de bu grafikler görülmektedir.



şekil 5.1. Bigadiç Numunesi ve Bentonit Karışımi İçin Optimum Su Muhtevası Grafiği

şekil 5.1 ve 5.2'deki kompaksiyon deneylerine ait grafiklerde grldği gibi Bigadiç numunesi ve bentonit karışıminin optimum su muhtevası %36, Gördes numunesi ve bentonit karışıminin optimum su muhtevası ise %39 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. Gördes Numunesi ve Bentonit Karışımı İçin Optimum Su Muhtevası Grafiği

5.2. Hidrolik İletkenlik Deney Sonuçları

Bigadiç doğal zeoliti ve bentonit karışımı için % 36 ve Gördes doğal zeoliti ve bentonit karışımı için %39 olarak belirlenen optimum su muhtevalarında numuneler hazırlanarak şekil 4.2'de görülen deney hücresine yerleştirilmiş ve permeabilite deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar formül 4.3'de yerine konularak numunelerin sıvı geçirgenlik katsayıları hesaplanmıştır. Bigadiç doğal zeoliti ve bentonit karışımı için permeabilite değeri $k \cong 3.00 \times 10^{-7}$ cm/s ve Gördes doğal zeoliti ve bentonit karışımı için permeabilite değeri ise $k \cong 6.00 \times 10^{-8}$ cm/s olarak tespit edilmiştir.

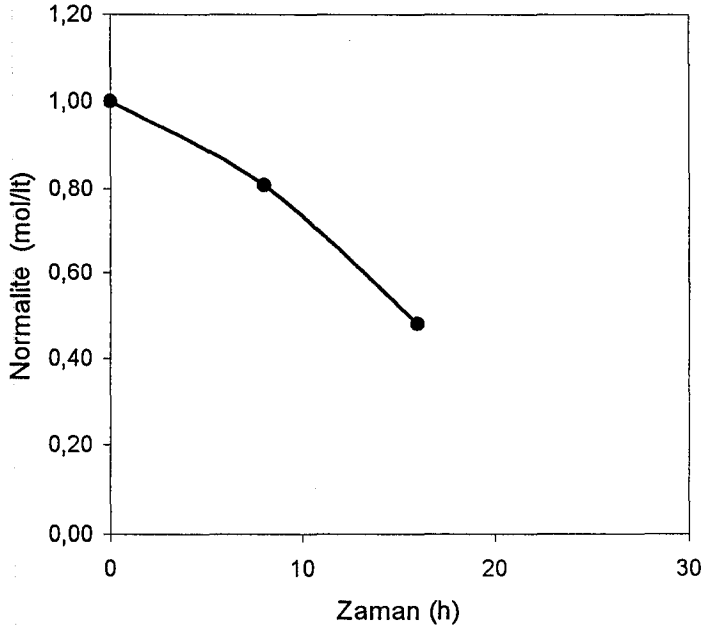
5.3. Katyon Değişim Kapasitesi Deney Sonuçları

Hazırlanan numuneler birer birer şekil 4.3'de görülen iyon değişim kolonuna yüklenerek, 1 N'lik NaCl çözeltisi numune içerisinden geçirilmiştir. Her çevrim sonucunda konsantrasyondaki değişimler şekil 4.3'de görülen iyonmetre aleti ile tespit edilmiştir. Giren ve çıkan konsantrasyonlar birbirine eşit oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. Elde edilen sonuçlar formül 4.4'de yerine konularak E.K.D.K.'leri tayin edilmiştir.

Elde edilen E.K.D.K. deneylerinin sonuçları aşağıdaki çizelge ve grafiklerde verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bigadiç Numunesi İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları

Zaman (h)	Normalite (mol/l)
Başlangıç	1
8	0,810
16	0,480



Şekil 5.3. Bigadiç Numunesi İçin E.K.D.K. Grafiği

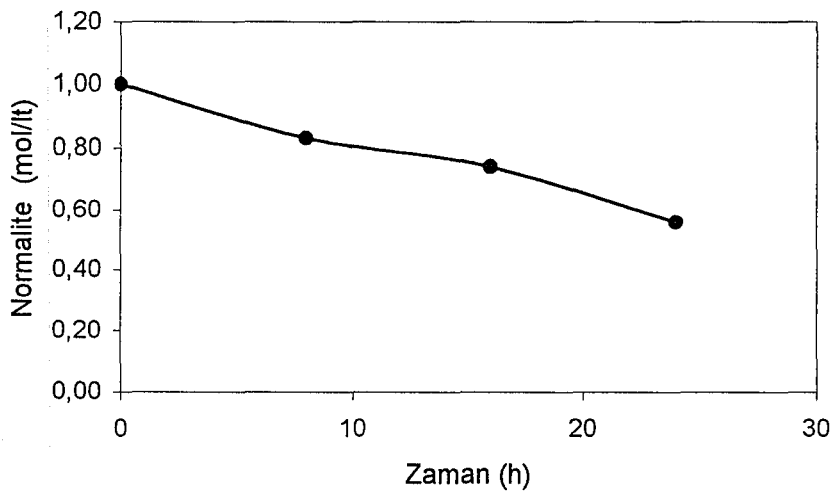
$$E.K.D.K = \frac{V(C_0 - C)}{m}$$

$$E.K.D.K = \frac{300.(1.000 - 0.480)}{100} \times 100$$

E.K.D.K = 156meq/100gr olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.2. Bigadiç Numunesi ve Bentonit Karışımını İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları

Zaman (h)	Normalite (mol/l)
Başlangıç	1
8	0,830
16	0,740
24	0,560



Şekil 5.4. Bigadiç Numunesi ve Bentonit Karışımının E.K.D.K. Grafiği

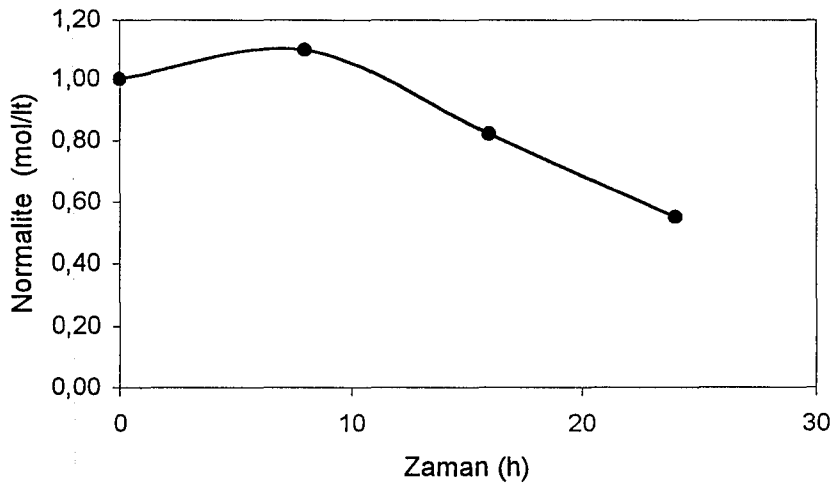
$$E.K.D.K = \frac{V(C_0 - C)}{m}$$

$$E.K.D.K = \frac{300.(1.000 - 0.560)}{110} \times 100$$

E.K.D.K = 120meq/100gr olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3. Gördes Numunesi İçin E.K.D.K. Deney Sonuçları

Zaman (h)	Normalite (mol/lt)
Başlangıç	1
8	1,100
16	0,820
24	0,550



Şekil 5.5. Gördes Numunesi İçin E.K.D.K. Grafiği

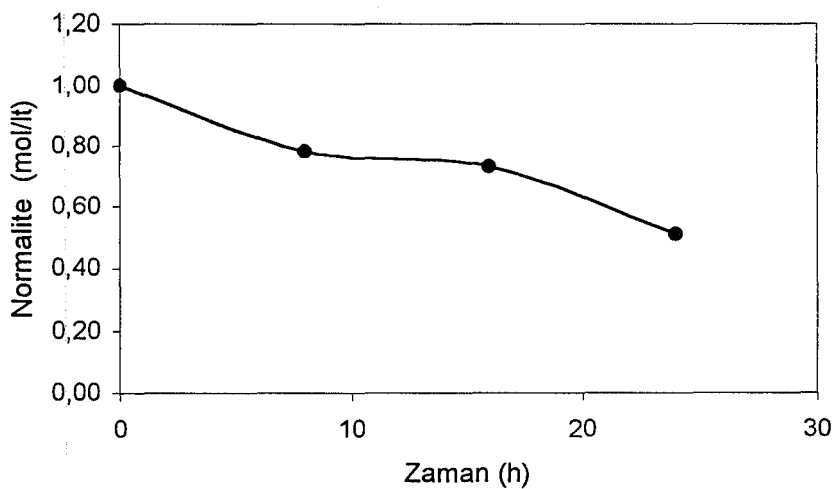
$$E.K.D.K = \frac{V(C_0 - C)}{m}$$

$$E.K.D.K = \frac{300 \cdot (1.100 - 0.550)}{100} \times 100$$

E.K.D.K = 165 meq/100gr olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Gördes Numunesi ve Bentonit Karışımını İçin E.K.D.K. Deneysel Sonuçları

Zaman (h)	Normalite (mol/l)
Başlangıç	1
8	0,780
16	0,730
24	0,510



Şekil 5.6. Gördes Numunesi ve Bentonit Karışımının E.K.D.K. Grafiği

$$E.K.D.K = \frac{V(C_0 - C)}{m}$$

$$E.K.D.K = \frac{300.(1.100 - 0.510)}{110} \times 100$$

$$E.K.D.K = 134 \text{ meq/100gr} \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Ticari bentonit için de E.K.D.K. deneyi yapılmıştır. Fakat bu deneyde, iyon değişim kolonu içersindeki bentonit şişerek 1 N'lik NaCl çözeltisini geçirmemiştir. Bu da bentonit numunesinin üzerinde çözeltinin birikmesine neden olmuş ve olay yığın yöntemine dönüşmüştür. Dolayısıyla, ticari bentonit için bu deney yöntemi ile sonuca ulaşamamıştır.

6. SONUÇ VE YORUM

Katı atık depolama sahalarından kaynaklanan yeraltı suyu kirlenmesini en aza indirmekte sıkça başvurulan yöntemlerden birisi hidrolik iletkenliği oldukça düşük taban astarının kullanılmasıdır. Bu amaçla ya sentetik jeomembranlar kullanılmakta ya da sıkıştırılmış doğal kil kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, katyon değişim kapasitesi yüksek olan zeolitlerin katı atık sahalarında sentetik jeomembrana alternatif astar malzemesi olabirliği araştırılmıştır. Yapılan deneyler böyle bir zeolit tabakasının kullanılabilirliğinin araştırılmasına yöneliktir. Yapılan deneylerde, Gördes ve Bigadiç yöresi doğal zeolitleri ile Eskişehir yöresi bentoniti kullanılmıştır. Zeolitlerin bol silisli ve kolezyonsuz malzemedan oluşmaları tek başına hidrolik bariyer olabilmelerine imkan vermemektedir. Bu nedenle bağlayıcı malzeme olarak bentonit kullanılmıştır. Zeolit ve bentonit karışımlarında bentonit/zeolit (B/Z) oranı 0.10 olarak alınmıştır. Her iki doğal zeolit türü için kompaksiyon, hidrolik iletkenlik ve etkin katyon değişim kapasitesi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda Gördes yöresi doğal zeoliti ve bentonit karışımının hidrolik iletkenlik değeri 6×10^{-8} cm/s ve etkin katyon değişim kapasitesi ise 134 meg/100 g olarak tayin edilmiştir. Gördes numunesinin tek başına etkin katyon değişim kapasitesi ise 165 meg/100 g olarak saptanmıştır. Karışım halinde etkin katyon değişim kapasitesi değeri düşmektedir. Bu olayı her iki numunenin (zeolit ve bentonit) kendi aralarında iyon alışverişi yaparak doygunluğa ulaşması şeklinde açıklayabiliriz. Katı atık sahalarının tasarımında geçirimsiz astar için gerekli olan hidrolik iletkenlik değerinin 10^{-6} ile 10^{-8} cm/s arasında alması gerektiğinin gözönüne alınması ve etkin katyon değişim kapasitesinin yüksek olması nedeniyle Gördes numunesi ve bentonit karışımı ekonomik bazda jeomembran malzemeye bir alternatif olarak önerilebilir.

7. ÖNERİLER

Geçirimsiz jeomembran malzeme kullanılan çöp depolarında, atık sıvısı depo tabanındaki delikli borularla depo tabanı kenarında toplanılmakta ve buradan pompaj yapılarak bir arıtma tesisine gönderilmektedir. Ayrıca depo çevresinde yüksek debili pompaj yapılarak kirlilik yayılımının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Depo tabanında bir zeolit malzemenin kullanılması durumunda ise, depo tabanında oluşan NH_4^+ ve ağır metal kationlarının büyük bir kısmı tutulabilir. Çöpün miktarına göre depo tabanında kullanılan zeolit malzemenin tabaka kalınlığı artırılarak atık sıvısındaki NH_4^+ ve ağır metal kationlarının tamamına yakını tutulabilir. Atık sıvısındaki zararlı maddelerin tamamen temizlenebilmesi için çöpün içerisine katmanlar halinde zeolit tabakaları yerleştirilir. Bu şekilde atık sıvısının tamamının temizlenmesi yoluna gidilir. Bu durum ise ek olarak bir arıtma tesisinin tamamen ortadan kaldırılmasına veya daha küçük hacimli bir tesis kurulmasına ve kirliliğin yayılmasını kontrol etmek için açılan gözlem kuyularının sayısının azalmasına neden olur. Ayrıca, zeolit metan adsorpsiyonu işlevi de yapacak ve böylece çöp gövdesinde meydana gelebilecek metan gazı patlamasının önüne geçilecektir. Bu şekilde kirliliğin kontrol edilmesi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilir. Ayrıca, ülkemizdeki doğal zeolit yatakları etkin bir şekilde kullanılır ve ülke ekonomisine de büyük bir katkı sağlanır.

KAYNAKLAR

1. AKTAŞ, A., 1993, Das Bericht von Institut für Umweltgeologie Schmitz, Köln.
2. AMES, L. L., 1967 "Zeolite Removal of Ammonium Ions From Agricultural Waste-Waters", Proc. 13 th. Pacific Northwest Industr. Waste Conf., Washington State University, 135-152 s.
3. BARAN, S., 1995, Katı Atık (Çöp) Depo Yerlerinin Seçimi ve İnşasındaki Bazı Ana Hususlar, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s. 52-54.
4. BARKOWSKI, D., 1990, Altlasten, Handbuch zur Ermittlung und Abwehr von Gefahren Durch Kontaminierte Standorte-Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe.
5. ÇUVAM, 1991, Çöp Deponi Alanları, H. Ü. Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi Seminer Notları, Ankara.
6. GRİM, Ralph.E., 1953, Clay Mineralogy, McGraw-Hill Book Company, , 384 s.
7. KARAGÜZEL, Remzi., 1992, Atıkların Depolanmasında ve Kontrolünde Jeolojinin Önemi, Tehlikeli ve Toksik Atıkların Yönetimi, Teknik, Yasal ve Yöresel Uygulamalar Kollokyumu ve Eskişehir'de Durum ve Çözüm Alternatiflerinin Uygulanabilirlik Yönünden Tartışılması Paneli, s. 255-236, 26-27 Kasım 1992, Eskişehir.
8. KAYABALI, Kamil., 1996, Engineering Aspects Of a Novel Landfill Liner Material: Bentonite Amended Natural Zeolite, Engineering Geology, Elsevier, p. 1-11
9. ORHUN, Önder., 1997, Zeolitlerde İyon Değişimi, Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi Yayınları, 53 s.

KAYNAKLAR (Devamı)

10. ÖZBUDAK, N., Gedik. A., YILMAZ, H., 1990, Ülkemizdeki Delta ve Kuvaterner Çökellerinde Oluşan Metan Gazlarının Araştırılması ve Ülke Ekonomisine Katkısı, 5. Enerji Kongres Teknik Oturum Tebliğleri, s. 163.
11. PAULING, L., 1930, The Structure of Micas and Related Minerals, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S., 16, s.123-129.
12. REUTER, E., 1991, Untersuchungen Über das Verformungsverhalten der Zentraldeponie Hannover. Geotechnische Probleme Beim Bau von Abfalldeponien, 7. Nürnberger Deponieseminar, Heft 59, s. 93, Nürnberg.
13. SEYHAN, İ., 1992, Endüstri Mineralleri, Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı Ö.İ.K. Raporu D.P.T., Ankara, s.173-184.
14. SKOOG, D., K., and WEST, D. M., 1976., Fundamentals of Analytical Chemistry, Third Edition, Holt, Rinehart and Winston, New York.
15. SÜRÜCÜ, G., 1994, Mevcut Çöplüklerin Rehabilitasyonu ve Düzenli Depolama Esaslarına Göre Yeni Katı Atık Tesislerinin Kurulması Semineri, 24-26 Şubat 1994, İstanbul.
16. ŞENGÜLER, İ., 1994, Mamak (Ankara) Eski Çöp Depolama Alanı ve Çevresel Etkileri. Enerji ve Çevre Sempozyumu Bilgiler Kitabı, s. 373, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mersin.
17. ŞENGÜLER, İ., YILMAZ, H., 1995, Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Gazın (Deponi Gazı) Çevresel Etkileri ve Ekonomik Potansiyeli, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s. 62-66.

KAYNAKLAR (Devamı)

18. T.C. Çevre Bakanlığı Yönergesi, 1993.
19. TOUSSAINT, B., 1989, Grundwasserschutz bei Deponienanlagen aus Hydrogeologischer und Geotechnischer Sicht. Wissenschaft und Umwelt, DEUTSCHLAND.
20. WENTWORTH, C. K., 1922, A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, J, Geol, 30, s.377-392.
21. WITTKÉ, W., 1991., Geotechnische Probleme bei Bauaufgaben Des Umweltschutzes, Vorlesungsunterlagen, RWTH-AACHEN.
23. YÖRÜKOĞULLARI, Ertuğrul., 1996, Proje notları, (Henüz Yayınlanmadı).
23. YÖRÜKOĞULLARI, Ertuğrul., 1997, Doğal Zeolitlerde Fiziksel Adsorpsiyon Uygulamaları, Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi Yayınları, 58 s.
24. YÖRÜKOĞULLARI, Ertuğrul ve ORHUN, Önder, 1991, Doğal Zeolitlerin İyon Değişimi Özellikleri, Anadolu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi, s.227-240.
25. YÜCEL, H. Ve ÇULFAZ, A., 1984, Doğal ve Yapay Zeolitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları, ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi Eki, s.3-10, 1-20.