

**BAZI ATIK GAZ BİLEŞENLERİNİN
TUTULMASINA YÖNELİK FİLTRE
MALZEMESİ OLARAK KLİNOPTİLOLİTİN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Rukiye AKALIN
Yüksek Lisans Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Haziran - 2000**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Rukiye AKALIN' ın "Bazı Atık Gaz Bileşenlerinin Tutulmasına Yönelik Filtre Malzemesi Olarak Klinoptilolit Kullanılabilirliğinin İncelenmesi" başlıklı Fizik Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 14.09.2000 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Önder ÖZKUN	
Üye	: Prof. Dr. Feriğül Yörüköçulları	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Tayfik LİNALDI	
Üye	:	
Üye	:	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 20.09.2000....tarih ve 24/2.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****BAZI ATIK GAZ BİLEŞENLERİNİN TUTULMASINA YÖNELİK FİLTRE
MALZEMESİ OLARAK KLİNOPTİLOLİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ****RUKİYE AKALIN****Anadolu Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Fizik Anabilim Dalı****Danışman: Prof.Dr. Önder Orhun****2000**

Dünya nüfusunun giderek artmasıyla birlikte çevre kirliliği bilim adamlarının dikkatini çekmiştir. Zararlı boyutlara gelmek üzere olan atmosfer kirliliği çoğunlukla baca gazlarından kaynaklanmaktadır. Oysa doğal zeolitlerden yapılan baca gazı filtreleri moleküler eleme özelliğinden ve tekrar eski haline getirilebilmelerinden dolayı oldukça kullanışlı, ekonomik ve atıklarıyla çevreyi kirletmeyen malzemelerdir.

Bu çalışmada klinoptilolitin iyon değiştirilmiş formlarından Li^{+3} , Ca^{+2} , Na^{+} , Mg^{+2} ve K^{+} formları hazırlanarak, bu malzemeden yapılacak olan bir filtrenin kullanılabilirliği ve ne kadar faydalı olabileceği araştırıldığında NO için Li^{+3} ve Mg^{+2} formları, SO_2 için Li^{+3} , Mg^{+2} ve K^{+} formları, CO için Na^{+} ve Mg^{+2} formları, CO_2 için Na^{+} ve Mg^{+2} formlarında en yüksek tutma yüzdeleri elde edilmiştir.

Gelecek yıllarda dünya nüfusunun giderek daha da artacağını düşünerek olarak baca gazı arıtılmasında filtrenin önemi büyüktür. Klinoptilolit kullanılarak yapılan bu filtreler sadece havanın temizlenmesi için değil aynı zamanda ucuz ve etkili olduğu için tercih edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Klinoptilolit, Filtre, Zeolit

ABSTRACT**Master of science thesis****INVESTIGATION OF USAGE OF CLINOPTILOLITE AS FILTER MATERIAL FOR
RETENTION OF SOME CONSTITUENTS OF FUNNEL GASES****RUKİYE AKALIN****Anadolu University****Graduate School of Natural and Applied Science Physics Program****Supervisor: Prof.Dr. Önder Orhun****2000**

Because of increasing population of the world, environmental pollution has become the most important concern of scientists. Air pollution through the atmosphere which becomes hazardous for the earth mostly stems from funnel gases. However, funnel gas filters made of natural zeolites are quite useful because of their properties of molecular sieving and regeneration. Besides, they don't pollute the environment via their effluents and more economic than the other filter materials.

In this study, initially Li^{+3} , Ca^{+2} , Na^{+1} , Mg^{+2} ve K^{+} ionic forms of clinoptilolite have been prepared then it is investigated that how useful a filter made of clinoptilolite would be. The highest retention rates were obtained for NO in forms of Li^{+3} and Mg^{+2} ; for SO_2 in forms of Li^{+3} , Mg^{+2} and K^{+} ; for CO in forms of Na^{+} and Mg^{+2} ; for CO_2 in forms of Na^{+} and Mg^{+2} .

The usage of filters for funnel gases is so significant in near future of the world with increasing population. These filters made of clinoptilolite could be preferred not only to purify the air but also as they are cheap and effective.

Keywords: Clinoptilolite, Filter, Zeolite

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans bitirme tezimin hazırlanmasında ve bu aşamaya gelinceye kadar olan süreçte, ilave kaynak araştırmasında elinden gelen yardımı esirgemeyen ve her aşamada destek olan Sayın Hocam Prof. Dr. Önder ORHUN' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışma sırasında her zaman benimle birlikte çalışan Yrd. Doç. Dr. Tevfik ÜNALDI ve Uzm. Zafer DİKMEN' e, tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI, Araş. Gör. Ertuğrul İZCİ ve tezdeki grafiklerin çizimdeki katkılarından dolayı Araş. Gör. Süleyman DEMİR' e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tezimin yazımı sırasında bana yardımcı olan sevgili arkadaşım Gürkan BUZLU, Yavuz ÇELİK, Serkan MUTLU ve Yakup ARTKAN' a teşekkür ederim.

Manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞAL ZEOLİTLER.....	2
2.1 Zeolitlerin Yapısı	2
2.2 Doğal Zeolitlerin Oluşumları.....	4
2.3 Doğada Oluştukları Yerler.....	5
2.3.1 Göl diplerinde oluşan tuz alkali bileşimli zeolitler	5
2.3.2 Yüzeyleyler ve topraklardaki zeolitler.....	5
2.3.3 Deniz diplerinde oluşan zeolitler.....	6
2.3.4. Açık akıcı sistemdeki zeolitler	6
2.3.5. Hidrotermal değişim ile oluşan zeolitler.....	6
2.4. Zeolitlerin Özellikleri.....	7
2.4.1 Moleküler eleme.....	7
2.4.2. Adsorpsiyon.....	7
2.4.3. İyon değiştirme.....	8
2.5 Temel Yapı Birimleri.....	8
2.6. Türkiye’de Zeolitlerin Durumu.....	9
2.7. Klinoptilolit.....	10
2.7.1. Adsorpsiyon özellikleri.....	11
2.7.2. Endüstride kullanım alanları.....	11
3. ADSORPSİYON.....	13
3.1 Giriş.....	13
3.2. Adsorpsiyon Tipleri.....	13
3.3. Adsorpsiyon İzotermi.....	15

3.3.1 Langmuir adsorpsiyon izotermi.....	15
3.3.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi.....	16
3.3.3. BET adsorpsiyon izotermi.....	17
4. HAVA KİRLİLİĞİNE YOL AÇAN ve ÇALIŞMADA İNCELENEN GAZLAR	19
4.1.Karbonmonoksit.....	19
4.2. Kükürtdioksit.....	20
4.3. Karbondioksit.....	21
4.4. Azotmonoksit.....	22
5. HAVA KİRLİLİĞİ.....	23
5.1. Giriş.....	23
5.2. Azot Çevrimi.....	23
5.3. Karbon Çevrimi.....	24
5.4. Hava Kirliliğinin Zararları.....	25
5.4.1. İnsan sağlığına etkileri.....	25
5.4.2. Bitkilere etkileri.....	25
5.4.3. Hayvanlar üzerindeki etkileri.....	26
5.4.4. Eşyalar üzerinde etkileri.....	26
5.4.5. Sera etkisi.....	27
5.5. Filtre Kullanımının Önemi.....	27
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	28
6.1. Materyalin Hazırlanması	28
6.2. Gaz Analizör Sistemi.....	29
6.2.1. Probların özellikleri.....	30
6.2.2. Cihazın kullanımı.....	31
6.2.3. Ölçülen değerlerin yazıcıdan alınması.....	33
6.2.4. Referans değerleri.....	33
6.3. Baca Gazından Alınan Ölçümlerin Sonuçları.....	33
6.3.1. Na ⁺ formu ile yapılan ölçüm sonuçları	34
6.3.2. Ca ⁺² formu ile yapılan ölçüm sonuçları	34
6.3.3. Li ⁺³ formu ile yapılan ölçüm sonuçları	35
6.3.4. Mg ⁺² formu ile yapılan ölçüm sonuçları	35
6.3.5. K ⁺ formu ile yapılan ölçüm sonuçları	36
6.4. Laboratuarda Kullanılan Deney Düzeneği.....	36
6.5. Laboratuarda Ölçülen Değerlerin Sonuçları.....	37

7. TARTIŞMA VE SONUÇ	43
8. KAYNAKLAR.....	46
9. EKLER.....	48
EK-1. Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarıyla hazırlanan filtrede yapılan gaz analizi ölçümleri.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. SiO ₄ veya AlO ₄ den oluşan dörtyüzlü iskelet yapısı	3
2.2. (a) Silika ve Alümina dörtyüzlülerinin oluşturduğu kesik kübik dörtyüzlü çatısının görünümü.	4
(b) Sadece dörtyüzlü merkezlerinin birleştirilmesinden elde edilen kesik kübik dörtyüzlünün görünümü.	5
(c) Kesik kübik dört yüzlülerinin birleşmesiyle oluşan fajosit yapının görünümü.	
2.3. Göl diplerinde oluşan zeolitlerin yerleri	5
2.4. Topraklardaki zeolitler	6
2.5. Deniz diplerindeki zeolitler	6
2.6. Açık akıcı sistemlerdeki zeolitler	7
2.7. Hidrotermal değişimi ile oluşan zeolitler	7
2.8. (a) Kanallara, doğrusal zincir hidrokarbonların giriş	7
(b) Büyük bir zincir hidrokarbonun tutulması	
2.9. Zeolit yapıyı oluşturan dörtyüzlülerin zincir bağlanmaları	8
2.10. Zeolit yapısındaki ikincil yapı birimleri	9
3.1. BET Adsorpsiyon grafikleri	18
5.1. Doğadaki Azot döngüsü	24
5.2. Bir orman ekosisteminde karbondioksit konsantrasyonunun gece gündüz periyotlarındaki değişimleri	24
6.1. Geri soğutmalı manyetik karıştırıcılı ve ısıtıcılı iyon değişim sistemi	28
6.2. Pitot tüpü	30
6.3. Adsorpsiyon kolonu ile birlikte deney düzeneği	37

TABLOLAR DİZİNİ

2.1. Zeolit grupları	2
2.2. Bazı doğal zeolitlerin kimyasal bileşimleri ve yapısal özellikleri	3
2.3. Klinoptilolitin yapısal özellikleri	10
6.1. Testo – 350 kontrol paneli	32
6.2. Na ⁺ formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar	34
6.3. Ca ⁺² formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar	34
6.4. Li ⁺³ formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar	35
6.5. Mg ⁺² formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar	35
6.6. K ⁺ formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar	36
6.7. Ca ⁺² formu klinoptilolitin SO ₂ ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri	38
6.8. Na ⁺ formu klinoptilolitin SO ₂ ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri	39
6.9. K ⁺ formu klinoptilolitin SO ₂ ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri	40
6.10. Li ⁺³ formu klinoptilolitin SO ₂ ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri	41
6.11. Mg ⁺² formu klinoptilolitin SO ₂ ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri	42
7.1. Çalışmada kullanılan gazların molekül çapı	43
7.2. Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının adsorpsiyon özellikleri	43
7.3. Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının NO' yu tutma yüzdeleri	44
7.4. Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının SO ₂ ' yi tutma yüzdeleri	44
7.5. Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının CO' yu tutma yüzdeleri	45
7.6. Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının CO ₂ ' yi tutma yüzdeleri	45

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 6.1. TESTO-350 Gaz Analizör Cihazı

29

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C FT	: Baca sıcaklığı
°C AT	: Dış ortam sıcaklığı
% O₂	: Ölçülen oksijenin yüzde değeri
% CO₂	: Ölçülen karbondioksitin yüzde değeri
P NO	: Ölçülen azotmonoksitin ppm cinsinden değeri
P NO₂	: Ölçülen azotdioksitin ppm cinsinden değeri
P SO₂	: Ölçülen kükürtdioksitin ppm cinsinden değeri
m/s	: Gaz akış hızı
O₂ ref	: Oksijen için alınan referans değeri
P CO	: Ölçülen karbonmonoksitin ppm cinsinden değeri
% RH	: Bağıl nem
°C Td	: Yoğuşma sıcaklığı

1. GİRİŞ

Yerkürenin oluşumundan bu yana canlı ve cansız varlıklar doğada bir denge kurmaya çalışmışlardır. Canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için gerekli maddeleri elde ettikleri ortamlarla bir ilişki kurmak zorunda olup etrafındaki tüm faktörlerden etkilenmektedirler

Her birey kendi soyundan olan veya farklı fertlerle karşılıklı ilişki içinde yaşamını sürdürmektedir. Bu şekilde doğa kendi içersinde bir denge sağlamaya çalışırken bu düzen çoğunlukla insanoğlu tarafından son zamanlarda bozulmaya başlamıştır. Bunlar ülkemizde bazı büyük şehirlerimizde su kirlenmesi ve hava kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu olayda özellikle SO₂ ve NO' nun önemli bir rol oynadığı bilim adamları tarafından rapor edilmektedir.

Atmosferin büyük bir kısmını kaplayan azot gazıdır. Canlıların yapısında da mutlaka bulunur. Azotun oksijenle birleşmesinden ise NO gazı oluşmaktadır ve bu gaz canlılar için oldukça zararlıdır. Doğada bir bitki yada hayvan öldüğünde yapısında var olan azotlu bileşiklerin bir kısmı toprakta kalır. Fosil yakıtların yani kömür ve petrol gibi yakıtların yakılmasıyla da azot, azot ve oksijen içeren bileşiklere dönüşür (NO, N₂O vb.). Bunun bir kısmı dumanlı sisin ve asit yağmurlarının sebebi olan azotoksittir (NO). İnsanoğlu fosil yakıtları kullanarak yılda ortalama yirmi milyon tondan daha fazla azotlu bileşiği doğaya kendisi katmaktadır. Bu bileşiklerin doğaya verildiği gibi temizlenmesinde de yine insanoğlunun görevi büyüktür. İşte bu baca gazlarında bulunan SO₂, NO gibi kirletici ve doğadaki canlı varlıkların yaşamını etkileyen maddelerin ayrıştırılarak hava kirliliğini en aza indirmek için bilim adamları çeşitli yöntemler arayışına girmişlerdir.

Bunların içinde, baca gazlarındaki zehirli maddeleri iyon değişimi yöntemiyle tutabilen zeolitlerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Yapılan bir çalışmada yapısından alüminyumu çıkarılan H- mordenit in 700 °K de SO₂' yi çok iyi adsorbe ettiği görülmüştür (Kincal ve Çulfaz). Başka bir çalışmada ise baca gazındaki SO₂ bench-scale yöntemi ile artırılmıştır. Bu sistemde laboratuvar ortamında elde edilen % 1.5 SO₂ içeren tipik bir baca gazı mordenit yataklara gönderilerek adsorpsiyon edilmesi sağlandı. Diğer bir çalışmada Bulgaristan'da SO₂'nin doğal klinoptilolitlerle adsorpsiyonu denenmiştir (Asenov, İvanova ve Kostove). Yapılan bu deneyler ve araştırmalar sonunda doğal zeolitlerin baca gazındaki zehirli maddeleri tutmakta oldukça iyi olduğu kanıtlanmaktadır.

2. DOĞAL ZEOLİTLER

2.1. Zeolitlerin Yapısı

Zeolit kelimesi yunanca kökenli olup, ısıtıldıklarında gözle görünür bir şekilde su kaybetmelerinden dolayı bu isim verilmiştir ve kaynayan taş anlamına gelir. İlk olarak 1756'da İsveçli bilim adamı Cronstedt tarafından tanımlanmışlardır (Dyer 1998).

Zeolitler, kristal yapılı doğal alüminosilikat minerallerinin bir sınıfıdır. Genel yapısal formülleri,



şeklindedir. Burada: M; herhangi bir alkali veya toprak alkali katyonu, n; katyon değeri, x; 2 ile 10 arasında bir sayı, y; 2 ile 7 arasında bir sayıdır. Zeolit türüne bağlı olarak ise y/x oranı 1 ile 5 arasında değişmektedir (Barrer 1978).

Zeolitler yapısal özelliklerine göre 8 grupta toplanabilirler.

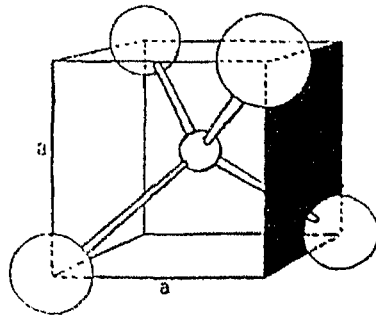
Tablo 2.1. Zeolit grupları (İzci 1995)

1- <u>Analsim Grubu</u>	5- <u>Höylandit Grubu</u>
Analsim	Höylandit
Lomontit	Klinoptilolit
Stilbit	
2- <u>Natrolit Grubu</u>	6- <u>Mordenit Grubu</u>
Natrolit	Mordenit
Tomsonit	Feriyonit
Edingtonit	Deshiartit
3- <u>Sabazit Grubu</u>	7- <u>Fojasit Grubu</u>
Sabazit	Fojasit
Eriyonit	Linde A
Gmelibit	
4- <u>Filipsit Grubu</u>	8- <u>Melanofiyagit Grubu</u>
Filipsit	Klarat
Gismondin	Melanofiyagit Grubu
	ZSM-39

Tablo 2.2 Bazı doğal zeolitlerin kimyasal bileşimleri ve yapısal özellikleri (İzci 1995)

Mineral	Kimyasal Bileşimi	Kristal Sistemi	Kristal öz. ağı. gm cm. ⁻³	Kristal Boşluğu %	Kanal Yönü Sayısı	Kanal Genişliği	Isı Dayanımı
Analsim (Analcime)	Na ₁₆ (Al ₁₆ Si ₃₂ O ₉₆) . 16 H ₂ O	Kübik	1,85	18	1	2,6	yüksek
Filipsit (Phillipsite)	(Na, K) ₁₀ (Al ₁₀ Si ₂₂ O ₆₄) . 20 H ₂ O	Ortorombik	1,58	31	2	4,2 - 4,4	düşük
Eriyonit (Erionite)	(Na, K, Ca) ₉ (Al ₉ Si ₂₇ O ₇₂) . 27 H ₂ O	Heksagonal	1,51	35	3	3,6 - 5,2	yüksek
Foyasit (Faujasite)	Na ₅₈ (Al ₅₃ Si ₁₃₄ O ₃₄₈) . 240 H ₂ O	Kübik	1,27	47	3	7,4	yüksek
Şabazit (Chabazite)	(Ca, Na) ₆ (Al ₁₂ Si ₂₄ O ₇₂) . 40 H ₂ O	Heksagonal	1,45	47	3	3,7 - 4,2	yüksek
Natrolit (Natrolite)	Na ₁₆ (Al ₁₆ Si ₂₄ O ₈₀) . 12 H ₂ O	Ortorombik	1,76	23	2	2,6 - 3,9	düşük
Mordenit (Mordenite)	Na ₈ (Al ₈ Si ₄₀ O ₉₆) . 24 H ₂ O	Ortorombik	1,70	28	2	6,7 - 7,8	yüksek
Höyländit (Heulandite)	Ca ₄ (Al ₈ Si ₂₈ O ₇₂) . 24 H ₂ O	Monoklinal	1,69	39	2	4,0 - 5,5	düşük
Klinopülit (Clinoptilolite)	(Na ₄ K ₄) (Al ₈ Si ₄₀ O ₉₆) . 24 H ₂ O	Monoklinal	-	39	-	-	yüksek
Sülbüt (Stilbite)	Ca ₅ (Al ₁₀ Si ₂₆ O ₇₂) . 28 H ₂ O	Monoklinal	1,64	39	2	4,1 - 6,2	düşük

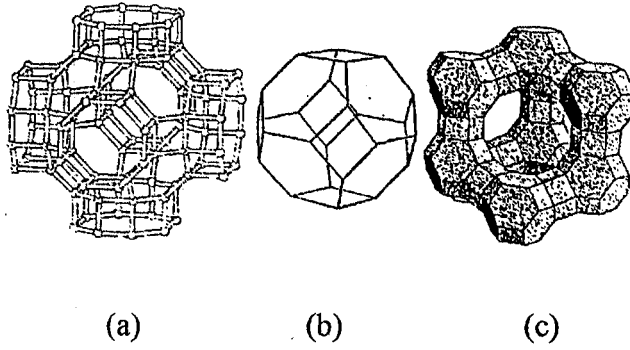
Zeolitler bütün köşelerinin birbirine bağlandığı (SiO₄)⁴⁻ ve (AlO₄)⁵⁻ ün iskeletinden oluşan üç boyutlu yapılara sahiptirler. Bu iskeletler genellikle çok açık olup, katyonlar ve su moleküllerinin bulunduğu boşluklar ve kanallar içerirler. SiO₄ ve AlO₄ dörtyüzlülerinin yapısında ortada oksijenden daha küçük olan Si⁺⁴ veya Al⁺³ iyonu yer alır (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1 SiO₄ veya AlO₄ den oluşan dörtyüzlü iskelet yapısı

Oksijen, silisyum ve alüminyum iyonlar sırasıyla -2, +4 ve +3 değerliklerine sahiptirler. Bu durumda silisyum iyonu etrafında bulunan oksijen iyonlarının sadece -1 değerliğini karşılayacağından her oksijen iyonu için -1 değerliği kalır ve bunlar başka bir

silisyum iyonuyla birleşebilir. Böylece zeolit kanallı bir yapıya sahip olur. Bu boşluklar tek boyutta olabileceği gibi iki veya üç boyutta olabilir (Ünaldı 1995).



Şekil 2.2 (a) Silika ve Alümina dörtyüzlülerinin oluşturduğu kesik kübik dörtyüzlü çatısının görünümü. (b) Sadece dörtyüzlü merkezlerinin birleştirilmesinden elde edilen kesik kübik dörtyüzlünün görünümü. (c) Kesik kübik dört yüzlülerinin birleşmesiyle oluşan fajosit yapının görünümü.

2.2. Doğal Zeolitlerin Oluşumları

Zeolitler doğada volkanik kökenli kayaların bir dizi başkalaşımından meydana gelmektedirler. Doğada doğal olarak oluşan zeolitler olduğu gibi laboratuvar koşulları altında da sentetik olarak elde edilebilirler (Dyer 1988).

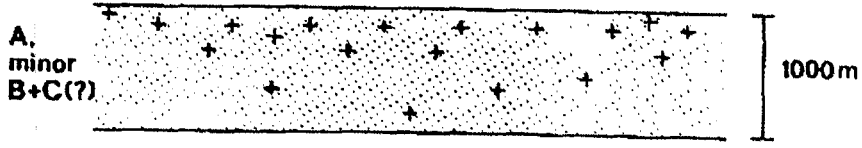
İlk gözlemler 1938' de R.M. Barrer' in öncü çalışmalarıyla başladı ve fizikokimyasal temellere dayalı olarak zeolit bilimini kurdu. İyon değişiminin nicel ve teorik tanımları, özellikle şabazit türü doğal zeolitlerin su atma ve gaz adsorplama davranışı üzerine çalışmalar yaptı. Barrer bir de bazı zeolitlerin aynı formda sentez yoluyla da meydana geldiğini kanıtladı.

O zamanlar bulunan volkanik orjinli zeolitlerin taklitleri otojen basınç, tuz konsantrasyonları ve yüksek sıcaklık koşulları oluşturularak yapılmaya çalışıldı. Fakat bu durum 1949' da Union Carbide' deki R.M. Milton yönetiminde çalışan araştırmacıların düşük sıcaklıkta hidrotermal işlemlerle zeolit sentezlemelerinden sonra değişti.

1960' da katalizin keşfiyle endüstride kullanmak için zeoliti volkanik oyuklardan toplamak yeterli olmadığı gibi olası ekonomik etkiler jeolistleri daha geniş doğal zeolit yatakları aramaya teşvik etmiştir. 1981' de Murray ve Renard Pasifik okyanusu yataklarındaki kırmızı çamuru yeniden gözden geçirdiklerinde zeolitlerin farkına vardılar ve 1914 'de Johansen Colorado' daki volkanik tüflerin yataklarında güzel taneli zeolitlerin olduğunu bulmuştur.

2.3.3. Deniz diplerinde oluşan zeolitler

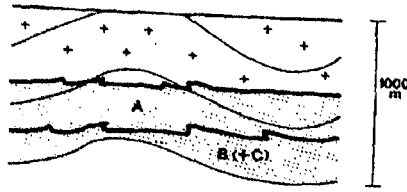
Deniz diplerinde sıg sulara ve düşük sıcaklıklarda oluşan zeolitlerin formu en büyük derinliklerdeki ve yüksek sıcaklıklardaki kadar iyidir. Pasifik okyanusunda 400 ile 700 m. arasındaki derinliklerde yapılan çalışmalarda, zeolitlerin yapısının genellikle su altı volkanik kaynaklı camlar üzerinde, tuz eriyiklerine engel olan gözeneklere sahipmiş gibi şekillendikleri görülmüştür.



Şekil 2.5. Deniz diplerindeki zeolitler

2.3.4. Açık akıcı sistemlerdeki zeolitler

Açık akıcı sistemlerde zeolitler yüksek PH ve tuz içeren akıcı suların volkanik külleri etkileyerek hızla kristallenmesine neden olduklarında şekillenebilirler. oluşumları için jeolojik standartlarda 4000 yıl kadar bir zamana ihtiyaçları vardır. İlk olarak Koko Crater Nevada' da ve güney İtalya' da bol bulunan tüflerde bulmuşlardır. Güney İtalya' da bulunan tüfler genellikle % 60 şabazit ile % 10 filipsit içerirler.



Şekil 2.6. Açık akıcı sistemlerdeki zeolitler

2.3.5. Hidrotermal değişim ile oluşan zeolitler

Bu tip zeolitler Yellowstone parkında (USA), Iceland' da ve Yeni Zelanda' daki volkanik küllerin jeotermal hareketlerinden oluşurlar. Bunlardan en sıg ve en soğuk bölgelerde şekillenen zeolitler klinoptilolit ve mordenit, en derin ve en sıcak yerlerde şekillenenler ise analsim ve lomontitdir.

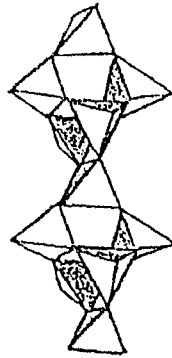
Zeolitlerin toplam hacimlerinin % 50' sini boşlukların ve toplam yüzey alanlarının % 90' ını geniş iç yüzey alanları kapladığı için düşük kısmi basınçlarda bile yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptirler (Ülkü ve Turgut 1991).

2.4.3 İyon değiştirme

Zeolitlerin gözeneklerinde değişebilir konumlarda bulunan iyonlar, zeolit bir elektrolit çözeltisinin içine atıldığında çözeltideki iyonlarla yük dengesini bozmaksızın yer değiştirebilirler. Bu yer değişiminin sonunda küçük iyonların yerine zeolite büyük iyonlar alınrsa kanal çapının küçülmesi, bunun tersi durumda ise kanal çapının büyümesi gerçekleştirilebilir. Bu da moleküler eleme özelliğinin istenilen şekilde kontrolünü sağlamaktadır. İyon değişim olayında gözenek boyutları değiştirilmekle birlikte buradaki katyonların türü, sayısı ve yerleri de gözenek içindeki yük dağılımını etkiler. Bu durum zeolitlerin adsorplama özelliklerini de değiştirerek endüstride daha geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır (Orhun 1997).

2.5. Temel Yapı Birimleri

Zeolitlerin yapısı ticarete kullanımı ve başarısı için çok önemlidir. $(SiO_4)^{-4}$ ve $(AlO_4)^{-5}$ koordinasyon çok yüzlülerinin birleştirilmesi ile meydana gelen üç boyutlu yapıları, kristal maddelere benzer şekilde sonsuz ağ ya da örgü oluşturarak dizilebilirler

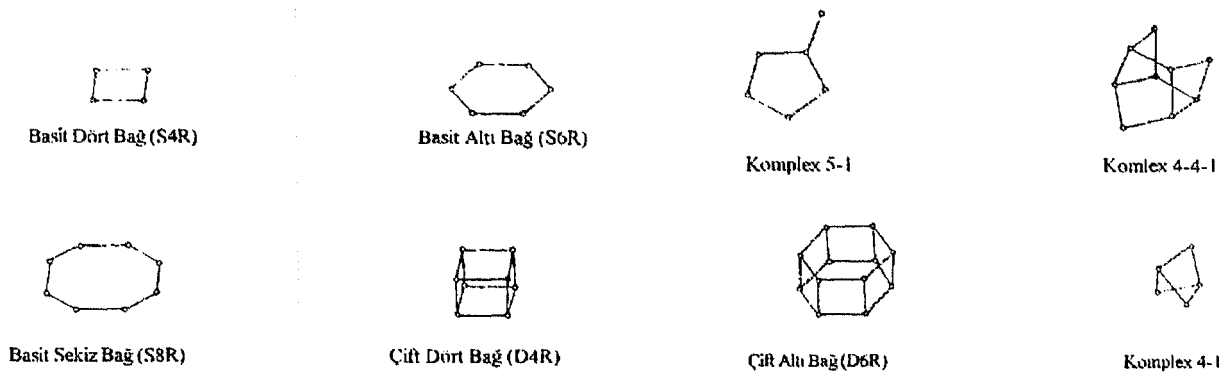


Şekil 2.9 Zeolit yapısını oluşturan dörtyüzlülerin zincir bağlanmaları

Kristal yapı sınıflamasında kristal simetrilerine göre zeolitleri sınıflandırmak mümkündür. Bu oldukça kapsamlı ve karmaşık bir çalışmadır. Temel alt birim hücrelerin

tekrarlanmasından oluşan yapı sınıflandırılması daha az karmaşıktır. Bütün zeolit iskeletleri başlıca sekiz birim hücrenin bağlanarak kendini tekrarlamasından oluşur. Bunlar kendilerini tekrarlamasından dolayı ikincil yapı birimleri adını alırlar (Dyer 1988).

Şekil 2.10' da verilen ikincil yapı birimleri sadece alüminosilikat iskeletini yani Si, Al ve O' nin birbirlerine göre konumlarını göstermektedir. Kanallardaki su zerrecikleri ve katyonlar ise gösterilmemiştir. Bu katyon ve suyun bulunduğu yerler oldukça karmaşıktır. Bunların yerleri sadece tamamen bilinen zeolitlerde tanımlanır. Bilinen bir zeolit içinde bulunan katyonların sayısı iskeletin içerdiği $(AlO_4)^{5-}$ tetrahedraların sayısıyla hesaplanır (Dikmen 1998).



Şekil 2.10 Zeolit yapısındaki ikincil yapı birimleri

Bu ikincil yapı birimlerinin birleşmesiyle 8-10 veya 12' li dörtyüzlülerini içeren halkalar oluşur. Bu büyük halkalar ise önemli yapı özelliklerine sahiptirler ve oksijen pencereleri olarak adlandırılırlar (Dyer 1988).

2.6. Türkiye' de Zeolitlerin Durumu

Türkiye' de ilk olarak 1980' li yıllarda Gürel Ataman ve arkadaşları tarafından Ürgüp ve Kapadokya bölgesinde bulundular. Daha sonra İzzetin Barış, Tuzköy yöresindeki akciğer kanseri artışlarının nedenlerini inceledi ve akciğerler içersine saplanmış iğneli yapıda olan eriyonit kristallerine rastladı. Gürol Ataman ve arkadaşları Balıkesir, Bigadiç yöresindeki kolemonit madeninde tabakalar halinde klinoptilolit türü zeoliti keşfettiler. Gördes, Manisa son yıllarda MTA tarafından keşfedildi ve rezervi bilinmiyor ama tahminlere göre Bigadiç'

ten daha zengin rezervlere sahip Biz bu çalışmada baca gazlarının arıtılması için yapılan filtrenin malzemesi olarak klinoptilolit kullanılmıştır.

2.7. Klinoptilolit

İskelet yapısı açısından höylanditle aynı yapıya sahiptir. Bu nedenle ilk başta höylandit olarak adlandırılmıştır. Her ikisinin de iskeleti 4-4-1 temel yapı biriminin bağlanmasından oluşmaktadır. Tabakalar sekiz ve on üyeli oksijen pencereleri oluşturmak için bağlanmıştır. Bunlar da iki kanal oluşturur (Dyer 1988).

Höylandit ve klinoptiloliti birbirinden ayırmak için Si/ Al oranlarına bakılmalıdır. Eğer $Si/Al < 4$ ise höylandit, $Si/Al > 4$ ise klinoptilolit olarak adlandırılır. Daha gerçekçi bir ayırım içerdikleri katyonlara göre yapılabilir klinoptilolit alkali metal yönünden zengin ($Na + K > Ca + Mg$) olduğu halde höylandit alkalın ($Ca + Sr + Ba > Na + K$) yönünden zengindir. Klinoptilolit içinde sulandırılmış minerallerden dört katyon yatağı bulunur.

Her zeolitın kendine has bir kimyasal ve kristalik yapısı vardır. Klinoptilolite ait özellikler tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3 Klinoptilolitin yapısal özellikleri

KİMYASAL BİLEŞİMİ

Tipik oksit formülü	: $(Na_2, K_2) O Al_2O_3 10 SiO_2 8 H_2O$
Tipik birim hücre içeriği	: $Na_6 [(AlO_2)_6 (SiO_2)_{30}] 24 H_2O$
Değişkenler	: $Si/Al = 4.25 - 5.25$

KRİSTAL YAPISI

Simetrisi	: monoklinik
Yoğunluğu	: 2.6 g/cc
Birim hücre hacmi	: 2100 Å ³
Birim hücre içeriği	: $a = 7.41 \text{ Å}$ $b = 17.89 \text{ Å}$ $c = 15.85 \text{ Å}$ $\beta = 91.29$

YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Boş hacmi	: 0.24 cc/cc
İskelet yoğunluğu	: 1.71 gr/cc
Adsorbe ettiği en büyük molekül	: O ₂

2.7.1. Adsorpsiyon özellikleri

Klinoptilolit üzerinde adsorpsiyonla ilgili yapılan incelemelerde, asitle aktiflenen klinoptilolit iyi bir moleküler elek ve adsorbent olduğu kanıtlanmıştır. Silikatça zengin klinoptilolit asitle muamele edilerek yapısındaki katyonların hidroksil iyonlarıyla yer değiştirmesi sağlanır ve Al-O-Si bağları hidroliz olarak alüminyumu yapısından çıkarılabilir. Böylece klinoptilolit asitle muamele edilmesi sonucunda yapısındaki kristallenmeyi bozan atomlar çıkarılabilir ve bu da kristallenmeyi ve gözeneklerin düzgünlüğünü artırır (Yücel ve Çulfaz 1985).

Klinoptilolit adsorpsiyon özelliklerinden yararlanılarak yapılan çalışmalar, Schherbatyuk ve Froer (1973) tarafından karbontetraklorürden asetonun ayrılmasında, Barrer ve Coughlan (1968) tarafından Kr ve CO₂ gazlarının adsorpsiyonu, Orhun ve Yörükoğulları tarafından CO₂ gazı adsorpsiyonu, Barrer ve Murphy (1970) tarafından H₂O adsorpsiyonudur.

2.7.2. Endüstride kullanım alanları

Zeolitler günlük hayatımızda çok fazla kullanılan bir materyal haline gelmişlerdir. Deterjan üretiminde iyon değiştirici olarak kullanılabilirler. Moleküler eleme işleminin bir uygulaması olarak sıvı nükleer atıkların arıtılmasında, kentsel ve tarımsal atık su arıtımında kullanılırlar. Adsorpsiyon yoluyla da baca gazları içerisindeki istenmeyen bileşenlerin tutulmasında zeolitlerden yararlanılmaktadır.

Moleküler eleme özelliklerinden dolayı Çernobil' deki çevreye yayılan nükleer atıklardan zararlı olan izotopların tutulmasında Bulgaristan' ın Kırçali yöresinden getirilen klinoptilolitten yararlanılmıştır. klinoptilolit ayrıca yapı malzemesi, kum düzenleyici, kağıt dolgusu, yem katkısı, atık su arıtma, dehidrasyon, gaz ayrıştırma gibi olaylarda da kullanılabilir. Torii (1978) raporunda klinoptilolit, tarımda kimyasal taşıyıcı olarak hem gübre hem de haşerelere karşı kullanıldığını ve Japonya' da klinoptilolit katkılamanın zirai üretimi arttırdığını gözlemiştir (Torii 1978).

Hayvanların besinlerine katkı maddesi olarak konulduğunda ise Torii' nin (1978) raporunda, domuzların beslenmesinde % 6 oranında zeolit katkısının ilk aylarda çok yararlı olduğu söylenmektedir. Hayhurts ve Willard (1980) kümes hayvanlarının beslenmesinde % 7.5' luk klinoptilolit katkısının 7 haftalık süre içerisinde kilo artışına neden olduğunu gözlemlemişlerdir ve hayvanlar üzerinde hiçbir olumsuz etkiye rastlanmamıştır.

Mercer ve Ames (1978) radyoaktif atık sudan sezyumun uzaklaştırılmasında klinoptilolit kullanıldığını gözlemlemişlerdir. Atık sulardan amonyum uzaklaştırılmasıyla ilgili Murphy ve arkadaşları (1983) da çalışmışlardır

Zeolitlerin su adsorplama özelliğinden yararlanılarak güneş enerjisine dayalı buzdolapları yapılabilmektedir (Tchernev 1980). Zeolit güneşli bir ortamda özel bir hücrede ısıtılır ve dehidre edilir. Çıkan su bir depoda toplanarak akşam zeolit hücredeki su tekrar adsorbe edilir. Sıvı halden buharlaşma olayı ile açıklanabilen buzdolabı işlevini görür.

Galabova ve arkadaşları klinoptilolit kullanarak havadaki oksijeni zenginleştirmeye çalışmışlardır. (1978) Minato ve Tamura (1978) bu uygulama için mordenitin daha iyi sonuç verdiğini söylemişlerdir (Galli ve Gattordi 1985).

3. ADSORPSİYON

3.1. Giriş

Bir gaz ve bir katı sabit basınç altında birbirleri ile temas ettirildiğinde gazın hacminin azaldığı, sabit hacim altında aynı işlem yapıldığında gazın basıncının düştüğü gözlenir. Hacim veya basınç sabit tutulmasına rağmen gaz moleküllerindeki azalma, gazın katı tarafından tutulduğunu gösterir (Yörükoğulları 1997).

Katı, gaz moleküllerini tutarken eğer gaz molekülleri katının içine giriyorsa absorpsiyon (soğurma), sadece yüzeyinde tutunuyorlarsa adsorpsiyon (yüze tutma) adını alır. Adsorpsiyon ve absorpsiyon olaylarının birlikte gerçekleşmesine de sorpsiyon denir. Bu olayda gazı tutan katıya adsorplayıcı adı verilir.

Kristal yapısı olsun ya da olmasın tüm katıların adsorplama güçleri vardır. Adsorplama gücü yüksek bazı doğal maddelere örnek olarak kömürler, killer, zeolitler ve çeşitli metal filizleri verilebilir.

Bir maddenin adsorplama gücü adsorplanan yüzeyin çok olmasıyla ilişkilidir. Bu durumda katıların yüzey yapıları önem kazanmaktadır. Katıların içinde ve yüzeyinde bulunan boşluk, oyuk, kanal ve çatlaklara gözenek denir. Katının yapısı gözenekliyse o kadar çok adsorplayabileceği yüzey var demektir. O halde adsorplama gücü yüksek olan katılar gözenekli yapıya sahip olan katılardır denilebilir. Burada önemli olan diğer bir faktör ise gözenek hacmi ve gözenek boyutudur (Sarıkaya 1993).

3.2. Adsorpsiyon Tipleri

Gazın katı üzerinde adsorplanması iki şekilde olabilir. Gaz katı yüzeyine tutunduğunda ikisi arasında yoğunlaşmadaki gibi zayıf bir etkileşme olur. Buna fiziksel adsorpsiyon denir. Eğer katı ile gaz arasında aktiflenme enerjisi eşliğinde kimyasal tepkimeye benzer kuvvetli bir etkileşme oluyorsa kimyasal adsorpsiyon ya da aktiflenmiş adsorpsiyon denir (Yörükoğulları 1997).

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar şu şekilde belirtilir:

- 1- Fiziksel adsorpsiyonda katı ile gaz arasında çok zayıf bir etkileşme, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal tepkimelere benzer bir etkileşme olur.

- 2- Adsorpsiyon sırasında meydana gelen ısıya adsorpsiyon ısısı denir. Bu ısı fiziksel adsorpsiyonda gazların yoğunlaşma ısıları, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal tepkime ısıları ile aynı büyüklük derecesindedir.
- 3- Fiziksel adsorpsiyonun oluşması için katı ile gazın türü önemli değildir. Kimyasal adsorpsiyonun gerçekleşmesi için de katı ile gaz arasında özel bir ilgi olmalıdır.
- 4- Fiziksel adsorpsiyon oldukça hızlı gerçekleşir, kimyasal adsorpsiyonun hızı ise aktiflenme enerjisine bağlıdır.
- 5- Fiziksel adsorpsiyon tek ya da çok moleküllü tabaka şeklinde olabilirken kimyasal adsorpsiyon en fazla tek moleküllü tabaka şeklinde olabilir.
- 6- Sıcaklık arttıkça fiziksel adsorpsiyon azalırken kimyasal adsorpsiyon artar.
- 7- Fiziksel adsorpsiyon sıcaklık değiştirilerek tersinir hale getirilebildiği halde kimyasal adsorpsiyonda bu bir tepkimeye yol açabilir.

Düşük sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon hızı çok azdır ve yalnızca fiziksel adsorpsiyonda gözlenebilir. Fakat gaz önce fiziksel olarak adsorplanıp daha sonra kimyasal etkileşmeye de girebilir.

Katı üzerinde adsorplanan tanecikler iki şekilde hareket edebilirler. Bu tanecikler ya yüzeyde sabit olarak tutunurlar ya da yüzey üzerinde iki boyutlu olarak hareket ederler. Bu durumda adsorpsiyondan önce üç boyutlu hareket eden gaz moleküllerinin serbestlik derecesi azaltılmış olur. Adsorplanan gaz böylece daha düzenli bir konuma getirilir ve entropisinde bir azalma olur.

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (3-1)$$

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S \quad (3-2)$$

Bu bağıntılara göre adsorpsiyon olayı ekzotermik bir olaydır.

3.3. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorplanan madde miktarı adsorplayıcı ve adsorplanan maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Gaz ve buhar adsorplanırken sıcaklık, basınç ve hacim değişkenlerinden herhangi ikisine bağımlı olarak adsorpsiyon gerçekleşir.

Adsorplayıcı ve adsorplanan madde sabit olduğu gibi sıcaklık da sabit tutulursa gaz fazındaki adsorpsiyon sadece basınca bağlı, çözüldüden adsorpsiyon ise yalnızca derişime bağlıdır. Adsorplanan madde miktarının basınçla ya da derişimle değişimini veren çizgilere adsorpsiyon izotermi denir. Bir adsorpsiyon süreci en iyi izotermi den anlaşılabılır (Sarıkaya 1993).

3.3.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi

1916 yılında Langmuir kimyasal adsorpsiyon için çok basit bir izoterm denklemini türetmiştir. Hesaplanan bu Langmuir denklemini tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon ve çözüldüden adsorpsiyon için de geçerlidir. Langmuir' e göre bir gazın bir katı üzerinde adsorplanması tek tabakadan öteye geçemez (Sarıkaya 1993, Yörükoğulları 1997).

Aktivasyon enerjisine ya da daha fazlasına sahip olan moleküllerden çıplak bir yüzeye çarparak tutunabilenlerinin sayısına adsorpsiyon hızı denir. Bu yüzeyde tutunanlardan titreşerek adsorplanan-adsorplayıcı bağları enerjisi aktivasyon enerjisinden fazla olanlarından kopmaların sayısına ise desorpsiyon hızı denir. Langmuir denklemini göre bu adsorpsiyon ve desorpsiyon hızları birbirlerine eşitlenerek geçilebilir.

$$\text{Adsorpsiyon hızı} = \text{Desorpsiyon hızı} \quad (3-3)$$

$$k_a (1-\theta) p = k_d \theta \quad (3-4)$$

$$\theta = kp / (1+ kp) = n / n_m = V / V_m \quad (3-5)$$

$$P/n = 1/kn_m + p/ n_m \quad \text{veya} \quad (3-6)$$

$$p/p_0 / n = 1/kn_m + p/p_0 / n_m \quad (3-7)$$

Burada;

- ka : adsorpsiyon hız sabiti
kd : desorpsiyon hız sabiti
 θ : örtülü yüzey kesri
(1- θ) : çıplak yüzey kesri
p : gazın basıncı
k : Boltzman sabiti
 V_m : molar hacim
 n_m : tek tabaka kapasitesidir.

Çözeltilerden adsorpsiyon için p (gaz basıncı) yerine c (derişim) alınabilir. Son durumda $P/n - p$ ya da $c/n - c$ doğrusunun eğim ve kaymalarından sırasıyla $1/n_m$ ve $1/kn_m$ nicelikleri hesaplanır. Elde edilen iki denklemden k sabiti ve n_m tek tabaka kapasitesi hesaplanabilir (Sarıkaya 1993).

3.3.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi

1907 yılında Freundlich tarafından temiz ve homojen olmayan katı yüzeylerindeki adsorpsiyonlar için türetilmiştir (Sarıkaya 1993).

Bu izoterme göre düşük basınçlardaki adsorpsiyon hacmi, basıncının birinci kuvvetiyle doğru orantılı olduğu halde yüksek basınçlarda adsorplanan hacim basınçtan bağımsızdır. Orta basınçlarda ise adsorpsiyon hacmi basıncın 0 ile 1 arasındaki bir kuvvetiyle orantılıdır.

Düşük basınçlarda : $V = k_1 p$

Yüksek basınçlarda : $V = k_2$

Orta basınçlarda : $V = k \cdot p^{1/n}$

Freundlich izotermi orta basınçlarda kullanılır ve bu izoterme göre adsorpsiyonun basınç ve derişiminin sürekli olarak artması gerekir.

Denklemleri çizgisel olarak ifade edersek

$$\text{Log } V = \log k + 1/n \log p \quad (3-8)$$

olur.

$$\text{Log } V = f(\log p) \quad (3-9)$$

den elde edilen doğrunun eğiminden n ve ordinatı kesim noktasından k bulunabilir.

3.3.3. Brunauer – Emmett – Teller (BET) adsorpsiyon izotermi

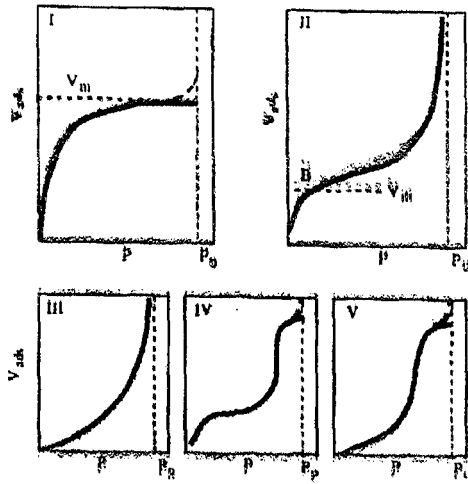
Çok tabakalı fiziksel adsorpsiyon için türetilmiştir.

$$(p/p_0) / [n(1-p/p_0)] = (1/n_m c) + ((c-1)/n_m c) \cdot (p/p_0) \quad (3-10)$$

şeklinde yazılır. Çözümden adsorpsiyon için p/p_0 bağıl denge basıncı yerine c/c_0 bağıl denge derişimi yazılabilir.

Grafiklerde $0.05 < p/p_0 < 0.35$ aralığında bir doğru bulunmaktadır. Bu doğrunun eğimi ve kayması sırasıyla $(c-1)/n_m c$ ve $1/n_m c$ niceliklerine eşitlenerek bulunan iki denklemin çözümünden V_m tek tabaka kapasitesi ile c sabiti bulunur (Sarıkaya 1993)

Brunauer bilinen örneklere göre beş tür izoterm ayırt etmiştir



Şekil 3.1. BET adsorpsiyon grafikleri

TİP I

Tek tabakalı adsorpsiyonu gösteren Langmuir izotermdir. Kimyasal adsorpsiyonda buna uymaktadır. Diğer izotermeler ise çok tabakalı adsorpsiyonu göstermektedirler.

TİP II

S biçiminde (sigmoid) çok tabakalı BET adsorpsiyon izotermdir. İlk ve öteki tabakalardaki adsorpsiyon ısıları (E_1, E_2, E_3, \dots), yoğunlaşma ısısına (E_L) eşittir. Bu kurama göre ilk tabaka dışındaki tüm tabakalarda adsorplanan miktarlar aynıdır.

TİP III

Adsorpsiyon ısısının yoğunlaşma ısısına eşit veya daha küçük olduğu hallerde görülen bir izotermdir. Diferansiyel adsorpsiyon ısısının negatif veya pozitif olmasına bağlı olarak çok tabakalı adsorpsiyon tip II ve tip III izotermini verir.

Çok tabakalı fiziksel adsorpsiyon sadece adsorplananın kaynama sıcaklığına yakın sıcaklıklarda meydana gelir. Adsorplayıcıların çoğu düşük sıcaklıklarda çok tabakalı adsorpsiyon yapar. BET izotermi ise kritik sıcaklığın altındaki sistemlere yani buharlara uygulanır, gazlara uygulanmaz.

TİP IV ve **TİP V** izotermeleri kapiler kondenzasyonun oluşmasıyla meydana gelmektedir

4. HAVA KİRLİLİĞİNE YOL AÇAN VE ÇALIŞMADA İNCELENEN GAZLARIN ÖZELLİKLERİ

4.1. Karbonmonoksit

Renksiz, kokusuz, tatsız, suda erimeyen, güçlükle sıvılaşılan bir gazdır. Havada ve oksijen içinde mavi bir alevle yanar. Doğada tam yanmamış kömürlerde, hava gazında, bazı soba ve ocaklarda bulunur (Hakdiyen 1960, Yalçın 1977).

1 atm' de erime sıcaklığı	: - 207 °C
1 atm' de kaynama sıcaklığı	: - 192 °C
Mol kütlesi	: 28,01 g/mol
Normal koşullarda (0 °C, 1 atm) yoğunluğu	: 1,25 g/l
Molekül çapı (vizkoziteden)	: 3,8 Å
Molekül çapı (Van der Waals denk.' den)	: 3,16 Å
Dipol momenti	: 0,4.10 ⁻³⁰ C m/molekül
Karbonla oksijen arasındaki bağın türü	: Üçlü bağ
Karbonla oksijen arasındaki bağ uzunluğu	: 1,128 Å
Karbonla oksijen arasındaki bağ enerjisi	: 256 kcal/mol
Kritik Sıcaklığı	: -139 °C
Kritik Basıncı	: 35 atm
Kritik Hacmi	: 90 cm ³ /mol
Molekülün oluşma ısısı (25 °C, 1 atm' de)	: -26,41 kcal/mol
Molekülün oluşma serbest enerjisi (25 °C, 1 atm' de)	: -32,81 kcal/mol
Sabit basınçtaki ısı sığası (C _p)	: 6,97 cal/mol°C
Sabit hacimdeki ısı sığası (C _v)	: 4,97 cal/mol°C
C _p /C _v = 1,40	

4.2.Kükürtdioksit

Volkanlardan çıkan gazlarda bulunmaktadır. Renksiz boğucu kokulu, ekşimsi tatlı, havadan oldukça ağır bir gazdır. Kolaylıkla sıvılaştırılabilir, suda çok erir. Ne yakar ve ne de yanar. Bundan faydalanarak baca yangınlarının söndürülmesinde kullanılır (Hakdiyen 1960, Yalçın 1977).

1 atm' de erime sıcaklığı	:-----
1 atm' de kaynama sıcaklığı	: - 10 °C
Mol kütlesi	: 64 g/mol
Normal koşullarda (0 °C, 1 atm) yoğunluğu	: 0.52 g/l
Molekül çapı (vizkoziteden)	:-----
Molekül çapı (Van der Waals denk.' den)	:1,299 Å
Dipol momenti	:1
Karbonla oksijen arasındaki bağın türü	: Çift bağ
Karbonla oksijen arasındaki bağ uzunluğu	:1,450 Å
Karbonla oksijen arasındaki bağ enerjisi	: 256 kcal/mol
Kritik Sıcaklığı	: 157°C
Kritik Basıncı	: 78 atm
Kritik Hacmi	: 0.123 l/mol
Molekülün oluşma ısısı (25 °C, 1 atm' de)	: -70.96 kcal/mol
Molekülün oluşma serbest enerjisi (25 °C, 1 atm' de)	: -71.79 kcal/mol
Sabit basınçtaki ısı sığası (C_p)	: 9.74 cal/mol°C
Sabit hacimdeki ısı sığası (C_v)	: -----

4.3. Karbondioksit

Tabiatta serbest olarak havanın karışımında % 0,03 kadar bulunur. Daha ziyade bileşikleri olan karbonatlar halinde yaygındır. Bazı kaynak sularında erimiş vaziyette bulunduğu gibi, volkanlar civarındaki mağaralarda toplanmaktadır. Bitkiler için önemli bir gıdadır (Hakdiyen 1960, Yalçın 1977).

Renksiz, boğucu, havadan ağır bir gazdır. Suda erir, asit bir eriyik meydana getirir. Bu eriyik zayıf ve kararsızdır, kolaylıkla ayrışır. Buna karşılık tuzları olan karbonatlar kararlıdır.

1 atm' de erime sıcaklığı	: -----
1 atm' de kaynama sıcaklığı	: - 78.4 °C
Mol kütlesi	: 44 g/mol
Normal koşullarda (0 °C, 1 atm) yoğunluğu	: 0.46 g/cm ³
Molekül çapı (vizkoziteden)	: -----
Molekül çapı (Van der Waals denk.' den)	: 2,396 Å
Dipol momenti	: 0
Karbonla oksijen arasındaki bağın türü	: Çift bağ O=C=O
Karbonla oksijen arasındaki bağ uzunluğu	: 1,198 Å
Karbonla oksijen arasındaki bağ enerjisi	: 169 kcal/mol
Kritik Sıcaklığı	: -21.2 °C
Kritik Basıncı	: 72.8 atm
Kritik Hacmi	: 0.096 l/mol
Molekülün oluşma ısısı (25 °C, 1 atm' de)	: -94.0578 kcal/mol
Molekülün oluşma serbest enerjisi (25 °C, 1 atm' de)	: -94.26 kcal/mol
Sabit basınçtaki ısı sığası (C _p)	: 9.17 cal/mol°C
Sabit hacimdeki ısı sığası (C _v)	: -----

4.4. Azotmonoksit

Gaz hali renksiz, sıvı hali mavi renklidir. Suda az erir. Teknik bakımdan çok önemli bir bileşik olup bil hassa nitrik asidin elde edilmesinde işe yarar (Hakdiyen 1960, Yalçın 1977).

1 atm' de erime sıcaklığı	:-----
1 atm' de kaynama sıcaklığı	: - 154 °C
Mol kütlesi	: 30 g/mol
Normal koşullarda (0 °C, 1 atm) yoğunluğu	: 0.520 g/cm ³
Molekül çapı (vizkoziteden)	:-----
Molekül çapı (Van der Waals denk.' den)	: 2,286 Å
Dipol momenti	: 0.070 D
Karbonla oksijen arasındaki bağın türü	: Çift bağ
Karbonla oksijen arasındaki bağ uzunluğu	: 1,143 Å
Karbonla oksijen arasındaki bağ enerjisi	: -----
Kritik Sıcaklığı	: -94 °C
Kritik Basıncı	: 65 atm
Kritik Hacmi	: 0.058 l/mol
Molekülün oluşma ısı (25 °C, 1 atm' de)	: 21.6 kJ/mol
Molekülün oluşma serbest enerjisi (25 °C, 1 atm' de)	: 20.719 kcal/mol
Sabit basınçtaki ısı sığası (C _p)	: 7.562 cal/mol °K
Sabit hacimdeki ısı sığası (C _v)	: -----

5. HAVA KİRLİLİĞİ

5.1. Giriş

Canlıların yaşamında önemi olan tüm kimyasal maddeleri sınıflandırdığımızda içlerinde en gerekli olanın canlı dokularını oluşturan maddeler olduğunu söyleyebiliriz. Bunlar karbon, hidrojen, oksijen, azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt, fosfor ve bunların bileşikleridir. Bu elementler canlıların yaşamı için oldukça gereklidir ve yapılarında istenmeyen bir değişim oluştuğunda kirliliğe yol açarlar.

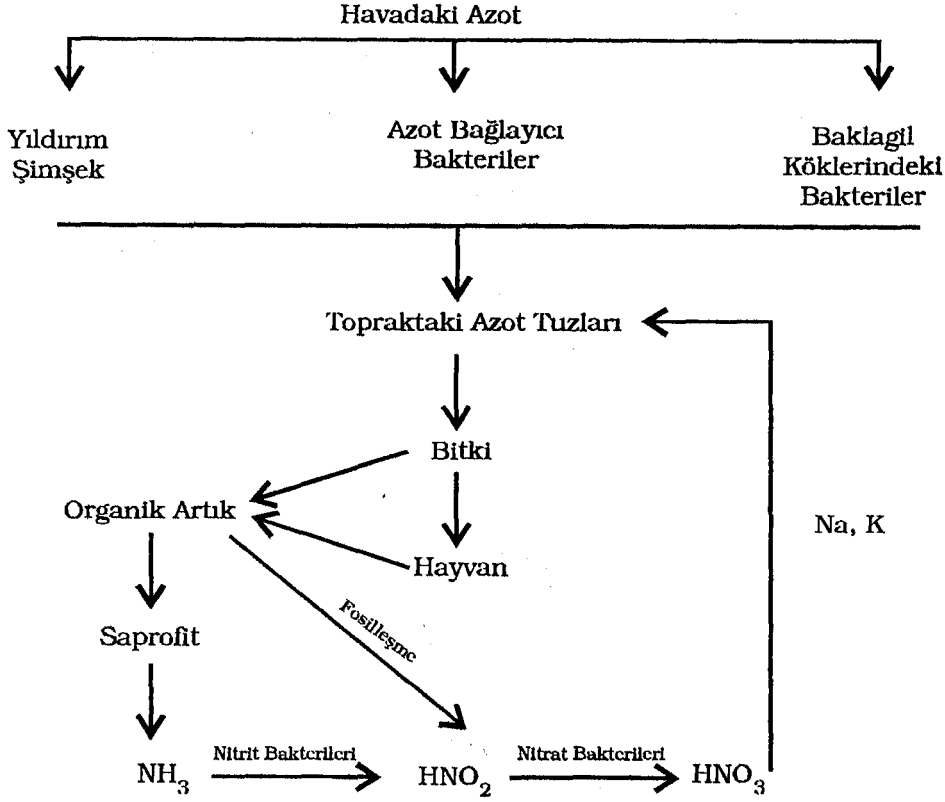
Endüstrinin gelişmesiyle hava kirlenmesi ortaya çıkmıştır. Bu kirliliğin nedenleri başlıca üç ana grupta toplanabilir.

- a- Sürekli olarak sigara içilmesinden oluşan dumanlar
- b- Fabrika bacalarından çıkan kirlenici gazlar
- c- Ulaşım araçlarının egzozlarından çıkan dumanlardır (Öztürk, Seçmen 1996).

İnsanoğlu doğanın kendi içerisinde kurmaya çalıştığı dengeyi bu nedenlerle bozmaktadır. Doğada, canlıların yapısında bulunan maddeler aslında hiçbir etkisi olmasa yine doğa tarafından zararsız boyutlara getirilir. Bu olguların içinde azot ve karbon çevrimi aşağıdaki gibi tamamlanmaktadır

5.2. Azot Çevrimi

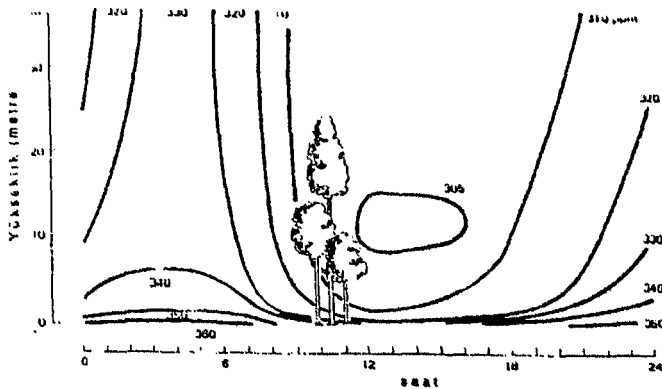
Havadaki azot üç şekilde yeryüzüne gelir. Bu toprakta azot tuzları olarak tutulur ve bitkiye sonradan hayvanlara geçer. Bunların ölüleri organik artıkları oluşturur. Bu organik artıklar saprofitler tarafından parçalanarak NH_3 , nitrit bakterilerinin yardımıyla nitrat ve nitrat bakterilerinin yardımıyla HNO_3 ' e dönüşür. Bunlar tekrar NO, K ile birleşerek toprağa geri döner.



Şekil 5.1 Doğadaki Azot döngüsü

5.3. Karbon Çevrimi

Canlıların yapısındaki karbon iki şekilde doğaya geçer. Birincisi bitkilerin yaptığı fotosentez, hayvanların yaptığı solunum ile, ikincisi organik artıkların doğaya karışmasıyla olur. Atmosferdeki karbondioksit miktarı gece ve gündüze bağlı olarak değişir. Bu gazın konsantrasyonu tüm canlıların solunum yaptığı gece süresince artar, buna karşın gündüz süresince bitkiler fotosentez yaptığı için azalır (Kocataş 1992).



Şekil 5.2 Bir orman ekosisteminde karbondioksitin konsantrasyonunun gece gündüz periyotlarındaki değişimleri (Smith 1986).

5.4. Hava Kirliliğinin Zararları

5.4.1. İnsan sağlığına etkileri

Kükürtdioksit (SO_2) suda ve kanda çözünebilen bir gazdır. En önemli etkisi üst solunum yollarındaki hava akışını azaltmasıdır. SO_2 ' in etkisi kronikten ziyade akut olarak meydana gelmektedir. SO_2 aynı zamanda solunum sisteminin koruyucusu olan tüycüklere de zarar vermektedir (Karpuzcu 1981).

Akciğerlere etki eden bir diğer gaz NO_2 ' dir. Kanamalara sebep olur. Ozon ise akciğerlerde kanama ve tıkanmalara yol açar. Kanımızda karbonmonoksidin fazla bulunması kan zehirlenmesine yol açar. Kanımızdaki alyuvarlar O_2 ve CO_2 taşır. Yapısındaki hemoglobin akciğerlerde O_2 ile birleşerek tersinir bir tepkime oluşturarak O_2 'nin tüm vücuda taşınması sağlanır. İnsan kanındaki hemoglobin CO ile birleşmeye karşı oksijene göre 210 kat daha fazla ilgi duymaktadır. Bu nedenle hemoglobin CO ile birleşerek tersinir olmayan bir tepkime meydana getirir. Bu da yaşamın sürmesi için gerekli olan O_2 ve CO_2 ' nin taşınmasını engeller.

Hava kirliliği solunum yolu hastalıklarına yol açar. Akciğer kanseri ve astım en çok rastlanan kronik hastalıklardır.

5.4.2. Bitkilere etkileri

Bir bitkide hava kirlenmesi sonucu görülebilecek zararlı belirtiler üç grup altında toplanabilir (Öztürk, Seçmen 1996).

a- Yaprak dokularının harap olması: Hava kirleticisi gazların bitkiler üzerindeki en genel etkilerinden biri doku çökmesidir. Bu etki de toksik maddenin yapısına, yoğunluğuna ve bitki türü gibi bir çok etmene bağlıdır.

b- Yaprakların renk değiştirerek yeşilliğini kaybetmesi: Yapraklardaki renk değişimi bitkilerde görülen oldukça sık karşılaşılan bir belirtidir. Klorofil kaybı genellikle soluk yeşil veya sarı renk oluşumuyla sonuçlanır. Hava kirleticilerinin yol açtığı doku çökmesi,

çoğunlukla karakteristik bir renk olarak bitkide belirmektedir. SO₂ beyazlaşmış, florid kahverengileşmiş, PAN gümüşleşmiş veya bronzlaşmış lekeler meydana getirir.

c- Büyüme değişimleri: Bitkilerdeki büyümenin engellenmesinde hava kirliliğinin büyük bir etken olduğu bilinmektedir.

Los Angeles' da yapılan bir çalışmada hava kirliliği etkisinde kalan limon ağaçlarının yapraklarının erken döküldüğü, su ilişkilerinde değişimler olduğu, meyvelerinin daha küçük olduğu ve genel büyüme gücünde azalma olduğu gözlenmiştir. Bölgedeki sebze ve tahıl bitkilerde de bunlara benzer etkilere rastlanmıştır.

Hava kirliliğinin bitki büyüme ve gelişimine etkisi çoğunlukla yaprak yaralanmaları olarak ortaya çıkar. Bitkide fotosentezin gerçekleştiği yaprakların görevini yapmaması, bitkinin normal büyüme ve gelişimini sınırlamaktadır.

5.4.3. Hayvanlar üzerindeki etkileri

Hava kirliliği insanların yanı sıra hayvanları da büyük ölçüde etkilemektedir. Geçmişte meydana gelen büyük hava kirlenmelerinin hayvanları öldürebileceği kanıtlanmıştır. Kronik zehirlenmeler genel olarak yem bitkilerinde adsorbe edilen kirleticilerden ileri gelmektedir (Karpuzcu 1981).

Belçika' da 1930 senesinde sığırların büyük bir kısmı hastalanmış ve bazılarının kesilmesi gerekmiştir. Fensilvanya' da 1946 da hava kirlenmesinden dolayı kanaryaların % 20' si, köpeklerin ise % 15' i büyük ölçüde etkilenmiştir. Çiftlik hayvanları en çok floritten etkilenmektedirler. Bu etkisini hayvanlarda diş hastalıkları olarak göstermektedir.

5.4.4. Eşyalar üzerindeki etkileri

Hava kirliliğinin eşyalar üzerindeki en çok bilinen etkisi bina cephelerinde, kumaşlarda ve diğer eşyaların üzerinde lekeler meydana getirmesidir. Bu lekeler zamanla artarak yüzeyi tahrip eder ve rengini değiştirerek kendini belli eder. Örneğin SO₂ çürümeyi seri derece hızlandırmaktadır. Ozon ise kauçuk ve lastik malzemeler üzerinde zararlı etkilere yol açar (Karpuzcu 1981).

5.4.5. Sera etkisi

Atmosferi geçerek dünyaya gelen güneş ışınlarının bir kısmı fotosentezde kullanılırken bir kısmı da hava akımları, rüzgarlar, buzların erimesi gibi atmosferik olayların oluşmasını sağlarlar. Küresel yapısından dolayı dünya yüzeyinin her yeri aynı şekilde ısınmaz. Kutup bölgelerinde ısı daha az, ekvator bölgesinde ise daha çoktur. Farklı ısılarda oldukları için sıcak hava ekvator'dan kutuplara, soğuk hava da kutuplardan ekvatora giderek hava akımlarını oluştururlar. Bu sayede atmosferin ısıyı aynı tutulabilir okyanuslardaki akımlar da aynı şekilde oluştuğuna göre atmosferik olayları ve deniz olaylarını yaratan güneş ışınlarıdır diyebiliriz (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

Yeryüzüne gelen güneş ışınlarının bir kısmı yüzeyden yansiyarak güneş enerjisinden, ısı enerjisine dönüşür. Bu ısının kaybolması beklenirken atmosferdeki karbondioksit tarafından emilerek yüzeye geri yansıtılır. Bu olaya atmosferdeki karbondioksitin sera etkisi denilmektedir.

Sanayileşmenin sonucu olarak kömür, petrol gibi yakıtların kullanılmasıyla atmosfere daha çok oranda CO₂ eklenir ve bunun sonrasında sera etkisi de artar.

Karbondioksitten başka sera etkisi yaratan azot oksitler, metan gibi gazların artmasıyla atmosferin ısıyı artacak ve kutuplardaki buzların erimesiyle de deniz seviyesi yükselecektir.

5.5. Filtre Kullanımının Önemi

Atmosferdeki canlı yaşamını etkileyen gazların normal boyutlarda olması halinde doğa kendi döngüsünü tamamlayarak bunları tekrar zararsız hale getirmektedir. Oysa doğaya dış etkenler yardımıyla örneğin fosil yakıtların yakılmasıyla gerekenden çok daha fazla gaz karışması sağlanmaktadır. Bu zararlı gazların artmasıyla yeryüzündeki canlıların yaşamları olumsuz yönde etkilenmektedir.

Doğaya zararlı gazların karışmasında en büyük etken olan ve sanayinin gelişmesiyle de gittikçe artan bir sorun haline gelen fabrika bacalarından çıkan zehirli gazların arıtılmasında filtre kullanımı bilinçli olarak uygulanmalıdır. İnsanoğlu yaşama koşullarını ve sağlıklı bireyler yetiştirme standardını düşünerek bu konuda biraz daha duyarlı olmalı ve zararlı gazların doğaya katılması filtre kullanılarak büyük ölçüde azaltılmalıdır. Bu şekilde doğadaki düzenin daha kolay sağlanması ve canlıların yaşamını etkileyen değişimlerin engellenerek daha yaşanabilir, temiz bir dünya yaratılmalıdır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Materyalin Hazırlanması

Klinoptilolit numunelerinin iyon değiştirilmiş formları hazırlanırken madde miktarı

$$m = NeV/1000 \quad (6-1)$$

formülü ile hesaplanan üç farklı normalitede (0,1 N, 0,5 N ve 1 N 'lik) çözeltiler hazırlandı.

Burada;

m: çözünen madde miktarı (gr)

N: çözeltinin normalitesi

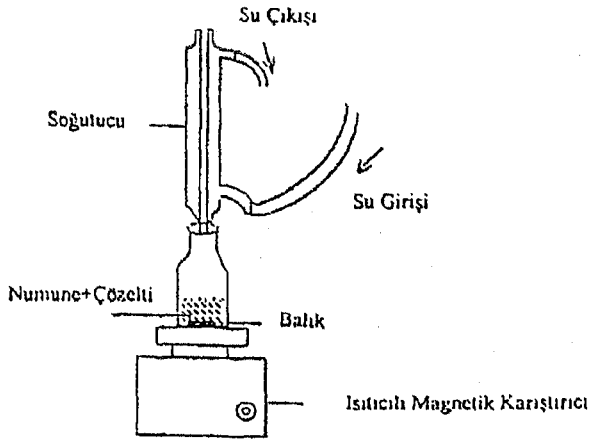
V: çözeltinin hacmi (cm³)

e: çözünen maddenin eşdeğer gramı

Bir tuz için eşdeğer gram, tuzun molekül ağırlığının toplam katyon değerliğine bölümü olarak tanımlanır.

Klinoptilolit numunelerinin iyon değişim formlarının hazırlanmasında ısıtmasız yığın yöntemi kullanıldı.

Bu yöntemde 300 mesh' e kadar öğütülmüş 20' şer gramlık klinoptilolit, 50 ml' lik saf su ile 0,1 N, 0,5 N ve 1 N' lik hazırlanmış çözeltilerin her birine konulmuştur. Klinoptilolit çözeltide yaklaşık 72 saat tutulduktan sonra süzülerek kaynama sıcaklığındaki saf su ile 8 defa yıkanması sağlanmıştır. Yıkanmış numuneler 110 °C de 16 saat kurutulmaya bırakılmıştır.



Şekil 6.1. Geri soğutmalı, manyetik karıştırıcılı ve ısıtıcıli iyon değişim sistemi (Ünaldı 1995).

6.2. Gaz Analizör Sistemi (TESTO-350)

Hava kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalarda baca gazlarındaki zararlı elementlerin artırımında kullanılan yöntem oldukça önemlidir. Ama bilimsel bir çalışmanın içeriğinde filtre işlemine başlamadan önceki ve filtrasyon işlemi bittikten sonraki ölçüm değerleri de önemli bir yer almaktadır. Örneğin doğal gaz, fuel oil ya da kömür gibi yakıtların yakılarak doğaya katılan CO_2 , NO , SO_2 gibi bileşiklerin değerleri bilinmelidir ki filtrasyon işleminden sonraki değerlerle karşılaştırıldığında çalışmanın başarısı hakkında bilgi edinilebilsin. Bu değerlerin yanı sıra deneylerde sıcaklık, basınç, nem gibi ölçümlerin de sonuçlara etkisi bulunmaktadır. Bilimsel olarak yapılan deneylerde alınabilecek her ölçüm tarih ve saat dahil olmak üzere oldukça önemlidir.



Fotoğraf 6.1. TESTO-350 Gaz Analizör Cihazı

Yaptığımız çalışmada Testo-350' yi kullanmanın en büyük etkenlerinden biri baca gazlarındaki CO_2 , NO ve SO_2 miktarlarını ölçebildiği gibi bunun yanı sıra basınç, sıcaklık gibi ölçümleri de kompleks bir şekilde yapabilmesidir.

Testo-350' de kullanılan yakıt türüne göre ölçüm yapılabilir. Bu çalışmada biz kömür yakılan bacalarda ölçümler aldık. Cihazı kullanmaya başlamadan önce ölçüm yapılacak prob ayarlanmalıdır.

6.2.1. Probların özellikleri

a- Sıcaklık Probu: Testo tarafından üretilen tüm 8 pinlik NiCr-Ni ve NTC tipi problemler cihaza bağlanabilir. NiCr-Ni sensörler özellikle geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirler (-300 ile +1200 °C). Bu problemlerin ilave özellikleri hassasiyetleri ve kısa cevap süreleridir.

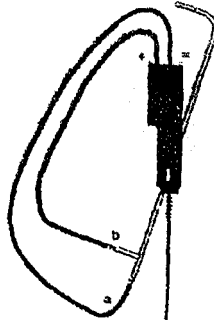
NTC problemleri ile nispeten daha dar aralıkta (-40 ile +70 °C) çok hassas ölçüm yapılabilir.

b- Basınç ve Hız Probu: Basınç problemleri, iki uç arasındaki diferansiyel basıncın ölçülmesi esasına göre çalışmaktadırlar. 0 ile 100 hPa aralığında hassas ölçüm yapabilmektedirler.

Sensör 150 hPa' a kadar aşırı basınç giderimine sahiptir. Daha yüksek basınçlarda sensörde hasar beklenmelidir. Ayrıca ani basınç değişimleri engellenmelidir.

c- Pitot Tüpleri: Diferansiyel basınç ölçerlerle birlikte basınç veya hız ölçümü yapmak amacıyla kullanılırlar. Bu tüplerin mekanik dizaynı kararlı ve sağlamdır. Yüksek sıcaklık, ağır kontaminasyona uğramış hava ve korrozif gazlar gibi istenmeyen şartlar pitot tüplerini fazla etkilemez.

Çalışma prensibi: Pitot tüpü basınç sensörüne iki silikon hortum bağlanmaktadır. Pitot tüpü tüm basıncı adsorbe eder ve (a) bağlantı noktasına iletir. Bu bağlantı noktası basınç probunun eksi kutbuna bağlanmaktadır. Saf statik basınç pitot tüpünün yan taraflarındaki deliklerden adsorbe edilerek (b) bağlantı noktasına iletilir. Bu bağlantısı basınç probunun pozitif kutbuna bağlanmaktadır. Sonuçta ölçülen fark basıncı hızdan kaynaklanan dinamik basıncı vermektedir.



Şekil 6.2, Pitot tüpü

d- Nem Probu: Nem ölçüm sensörleri nispi nem ölçümlerini kapasitif prensibine göre yaparlar. Nispi nem havada ve gazlarda su buharı miktarını gösteren bir ölçüdür. Nispi

nem havanın içinde bulunan nem miktarının aynı sıcaklıkta bir havanın alabileceği maksimum nem miktarına oranıdır.

Kullanımı: İki değişik versiyon arasından yapılacak seçime bağlıdır.

Ortam nemi için hava probu : $T_{\max} = +70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve

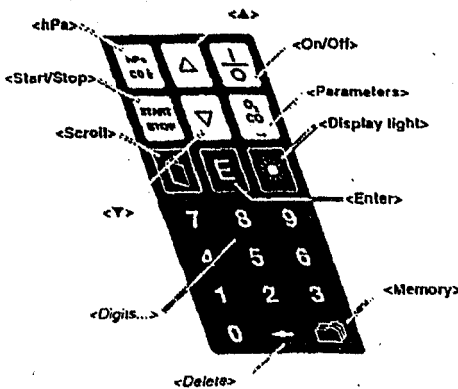
Yüksek sıcaklık probu $T_{\max} = + 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$

6.2.2. Cihazın kullanımı

Cihaz kendi bataryasıyla ya da ceryana bağlı olarak çalışabilir. Cihaz çalıştırılırken altındaki gaz çıkışı deliklerinin açık olmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde ölçüm sonuçları hatalı olacaktır.

Yapılacak tüm ölçümler kontrol paneli kullanılarak yapılır. Testo-350 el kitabında kontrol panelindeki düğmelerin anlamları tablo (6.1)' de verilmiştir.

Tablo 6.1. Testo-350 kontrol paneli

Kontrol Düğmelerinin Anlamları:**Aşağıdaki düğmeleri şu işler için kullanınız:**

- Cihazı açıp kapamak için <On/Off>
- Listedeki seçim yapmak için <Y>, <A>
- Bir seçeneği onaylamak veya bir menüyü aktif hale geçirmek için <Enter>
- Bilgiyi saklamak <Parametreler>
- "ilave fonksiyonları" çağırmak için <Scroll>
- Proses seçimini iptal etmek için <Scroll>
- Ölçüm menüsüne geçmek <Parametreler>
- Draught'ı ölçerken
 - Sifir noktasını belirler <hPa>
 - Ölçülen değeri dondurur <hPa>
- Ölçüm menüsünde çalışırken;
 - Pompayı açıp kapama <Start/Stop>
 - CO hücre yıkamasını manuel olarak başlatmak (pompa çalışırken) ve yeniden durdurmak <hPa>
 - Ölçülen değerleri ekranda sayfa sayfa göstermek <Y>, <A>
 - CO değeri hafızaya girmek <Enter>
- Işığı Açmak/Kapamak <Display Light> (3 dakika sonra otomatik olarak kapanır)
- Hafıza menüsünü çağırmak için <Memory>
- Ölçülen değerleri saklamak için <Memory>
- Hafızadan ölçülen değerleri silmek <Delete>
- Sayacı sıfıra ayarlamak için <Delete>
- Hafızadan "send" komutunu aktif hale getirmek <Enter>
- **Numaraları girmek:**
 - Rakamlar ister keyboard kullanılarak <1,2,3...>
 - Ve istenirse ok tuşları ile seçilebilir <Y>, <A>
 - İkinci satıra geçmek ve onaylamak <Enter>
- **Text Yazmak:**
 - Büyük harf, küçük harf, özel karakterler veya rakamlar arasında seçim yapmak için <hPa>
 - İstenilen harf, işaret veya rakamı seçmek için <Y>, <A>
 - Düzeltilme yapmak için başa dönme <Enter>
 - Yazılan texti onaylaylama <Parametreler>

Ölçüm yapılacak prob seçilip monte edildikten sonra kontrol panelindeki < on/off > tuşuna basılarak cihaz çalıştırılır. Öncelikle prob temiz havada tutulur. Bunun nedeni cihaz 60 saniye süre ile hücrelerini temiz hava ile yıkaması ve kendi kendinin testini yapmasıdır. Test tamamlandıktan sonra ekranda ortaya çıkan oksijen yüzdesi % 21' e düzeltilmelidir. Bu değer kabul edilmesi için < Parametreler > tuşuna basılır. Bu durumda cihaz yakıt seçimine otomatik olarak geçer. Çalışılacak yakıt türü < ^,v > tuşlarına basılarak seçilir. Ölçüm menüsüne geçmek için < Parametreler > veya < Enter > tuşuna basılır. Baca gazı örnekleme probu ölçüm yapılacak yere yerleştirilir ve < Start/Stop > tuşuna basılarak pompa çalıştırılır.

Baca gazı örnekleme probu gaz akışının ortasına gelecek şekilde yerleştirilir. Yaptığımız çalışmada öncelikle filtre olmadan bu işlem yapıldı. Alınan ölçümlerden sonra filtre bacaya yerleştirilerek tekrar ölçüm alındı ve iki ölçüm arasındaki farklar incelendi.

Ölçüm yapılırken eğer okunan değer artık değişmiyor veya aşağı yukarı aynı kalıyorsa pompa durdurulur. Ölçülen değer ekranda donuk halde kalacaktır, fakat saklanmayacaktır. Pompa tekrar çalıştırıldığında tüm değerler silinir. Bunun için bu değerler hafızada saklanabilir veya yazıcıya aktarılabilir.

Basınç, hız ve nem ölçümleri pompa kapatılsa bile devam eder. Bu değerlerin dondurulması için problemlerin fişini çıkarmak gereklidir. Hem nem hem de hız veya basınç ölçümü yapılmak istenirse önce birine ait prob takılarak değer sabitlendiği zaman bu prob çıkarılır ve diğer prob takılır. Böylece her iki parametreye ait değerler ölçülebilir.

6.2.3. Ölçülen değerlerin yazıcıdan alınması:

Pompa durdurularak ölçüm bitirildiğinde ilave fonksiyonlar menüsüne < Scroll > tuşuna basarak girilir ve burada send alt menüsünün olduğu satıra gelerek < Enter > tuşuna basılır. Ekranda print yazısı çıktığında < Enter > tuşuna basılarak kumanda printera doğru tutulur ve bütün değerler yazıcıya aktarılabilir.

Ölçülen değerler istenirse hafızaya alınabilir. Daha sonra hafızadaki bilgilerin yazıcıya aktarılması da mümkündür.

6.2.4. Referans değerleri:

Ölçüm yapılacak yakıtta ait O_2 referans değeri ve CO_2_{max} değeri fabrika ayarının dışında ise bu değerler O_2_{ref}/CO_2_{m} fonksiyonu ile istenildiği şekilde değiştirilebilir. Uygun değerler girildikten sonra < Parametreler > tuşuna basılarak yapılan değişiklik onaylanır.

6.3. Baca Gazından Alınan Ölçümlerin Sonuçları

Gaz analizör sistemi ile yapılan ölçümlerde öncelikle daha iyi karşılaştırma yapabilmek için filtre konulmadan ölçüm yapılmıştır. Daha sonra filtre kullanılarak moleküler eleme özelliği ile hangi oranda gazın tutulduğu gözlemlenmiştir. Bu işlem İstanbul Mh. Bilir Apt. No:22'de elimizdeki tüm numuneler için denenmiştir.

6.3.1. Na⁺ formu ile yapılan ölçüm sonuçları

Tablo 6.2 Na⁺ formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar

Gazlar	Filtresiz	Filtreli
NO	23 ppm	5 ppm
SO ₂	0	0
CO	1636ppm	55 ppm
CO ₂	% 1.6	0
O ₂	% 19.1	% 20.8

Yukarıdaki tabloyu incelediğimizde Na⁺ formundaki klinoptilolitin NO' yu % 78 oranında, CO' yu % 96 oranında, CO₂' yi %100 oranında tuttuğu gözlenmiştir. Bunun yanında O₂ oranının %1.7 arttığı görülmektedir. SO₂ miktarı ise çıktı üzerinde 0 olarak gösterilmiştir. Bu durum atık gaz içerisindeki SO₂' nin cihazın alt ölçüm sınırının altında kaldığını göstermektedir. Bu nedenle bu formun SO₂' yi hangi miktarda tuttuğu konusunda fikir edinilememiştir.

6.3.2. Ca⁺² formu ile yapılan ölçüm sonuçları

Tablo 6.3. Ca⁺² formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar

Gazlar	Filtresiz	Filtreli
NO	109 ppm	36 ppm
SO ₂	0	0
CO	1190 ppm	687 ppm
CO ₂	% 2.2	% 1.6
O ₂	%18,5	%19,2

Ca⁺² formundaki klinoptilolitten yapılan filtreyi kullandığımızda elde ettiğimiz tablo 6.3' deki değerleri incelediğimizde, Ca⁺² formunun NO' yu % 67 oranında, CO' yu % 43 oranında, CO₂' yi % 0,6 oranında tuttuğu gözlenmiştir. O₂ oranının ise % 0.7 arttığı görülmektedir. Bunun yanında SO₂ miktarı cihazın alt ölçme sınırının altında kalması nedeniyle 0 çıkmıştır. Bunun için SO₂ miktarının ne kadar tutulduğu konusunda fikir edinilememiştir.

6.3.3. Li^{+3} formu ile yapılan ölçüm sonuçları

Tablo 6.4 Li^{+3} formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar

Gazlar	Filtresiz	Flitreli
NO	26 ppm	3 ppm
SO ₂	792,8 ppm	0
CO	591 ppm	247 ppm
CO ₂	% 2.1	0
O ₂	%18,6	%20,7

Li^{+3} formundaki klinoptilolite ait değerleri veren yukarıdaki tabloyu incelersek bu formun NO'yu % 88 oranında, SO₂'yi % 100 oranında, CO'yu % 58 oranında, CO₂'yi % 100 oranında tuttuğu gözlenmiştir. Bunun yanında O₂ oranının % 2.1 arttığı görülmektedir.

6.3.4. Mg^{+2} formu ile yapılan ölçüm sonuçları

Tablo 6.5 Mg^{+2} formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar

Gazlar	Filtresiz	Flitreli
NO	44 ppm	8 ppm
SO ₂	20 ppm	0
CO	1582 ppm	284 ppm
CO ₂	% 2.4	0
O ₂	%18,3	%20,5

Mg^{+2} formundaki klinoptilolitten yapılan filtreyi kullandığımızda elde ettiğimiz tablo 6.5' teki değerleri incelediğimizde, bu formun NO'yu % 82 oranında, SO₂'yi % 100 oranında, CO'yu % 82 oranında, CO₂'yi % 100 oranında tuttuğu gözlenmiştir. Bunun yanında O₂ oranının % 2.2 arttığı görülmektedir.

6.3.5. K⁺ formu ile yapılan ölçüm sonuçları

Tablo 6.6 K⁺ formu ile çeşitli gazlara ait gaz analizörüyle elde edilen sonuçlar

Gazlar	Filtresiz	Flitreli
NO	71 ppm	53 ppm
SO ₂	29 ppm	0
CO	882 ppm	819 ppm
CO ₂	% 6.1	%5,2
O ₂	%14,1	%15,1

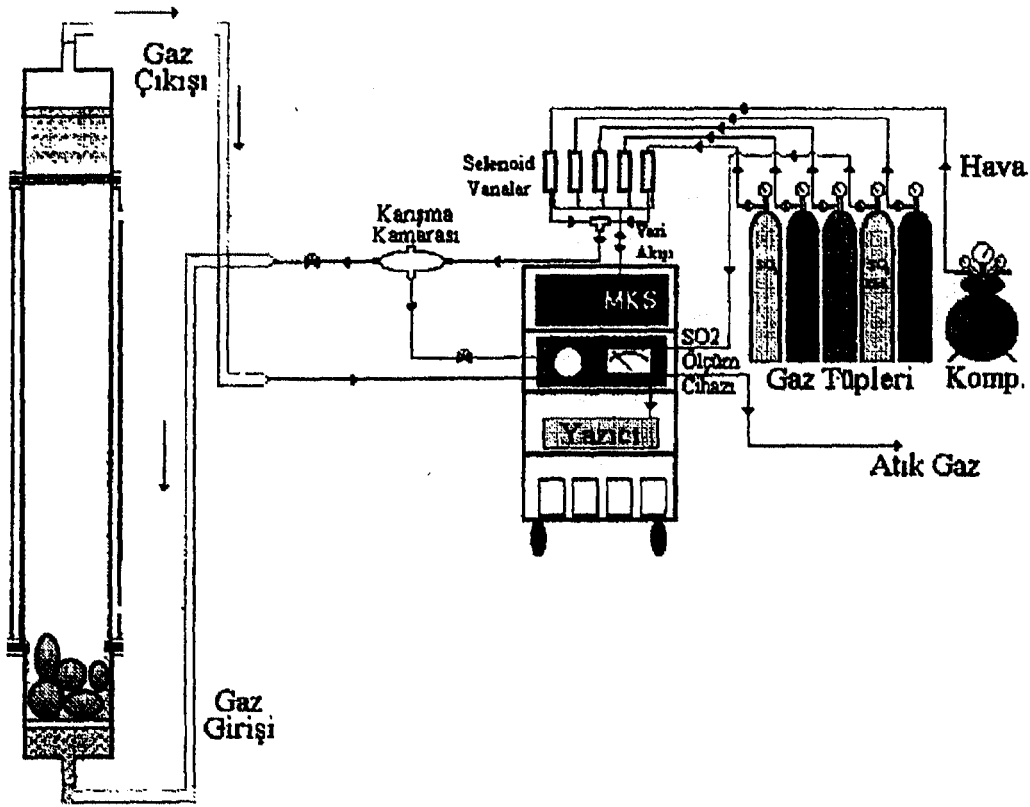
K⁺ formundaki klinoptilolit ile hazırlanan filtrenin kullanılmasıyla elde edilen değerlerin gösterildiği tablo 6.6' yı incelemek istersek, bu formun NO' yu % 25 oranında, SO₂' yi % 100 oranında, CO' yu % 7 oranında, CO₂' yi % 0,9 oranında tuttuğu gözlenmiştir. Bunun yanında O₂ oranının % 1 arttığı görülmektedir.

6.4. Laboratuarda Kullanılan Deney Düzenegi

Deneyleerde kullanılan ve SO₂ içeren tipik bir baca gazı elde edilirken yaklaşık % 100 SO₂ içeren çelik tüpten alınan gazın hava kompresöründen alınan hava ile 2000, 4000, 5000, 6000 ve 8000 ppm değerlerine seyreltilerek hazırlanmıştır. Bu oluşturulan baca gazının SO₂ içeriği, markası Binos olan bir SO₂ ölçer cihazla sürekli olarak takip edilmiştir. Hazırlanan bu baca gazı modelini tam olarak baca gazına benzetebilmek için diğer tüplerden de O₂, N₂ ve CO₂ gazları kullanılmıştır. Bu model sayesinde baca gazının sıcaklık, basınç, rutubet ve akış hızı parametreleri de ayarlanabilir.

Oluşturulan bu model gaz daha önceden hazırlanan zeolit numunenin bulunduğu kolona gönderilmiştir. Hazırlanan numunenin SO₂ adsorpsiyonu ölçümleri, kağıt hızının istenildiği şekilde ayarlayabildiğimiz iki kanallı bir yazıcıda sürekli olarak kaydedilmiştir.

Giderilen SO₂' nin tutulma yüzdesi, reaktöre giren ve çıkan gaz derişimleri arasındaki farkın reaktöre giren gaz derişimine oranının yüz ile çarpılmasıyla bulunmuştur (Kaytakoğlu 1997).



Şekil 6.3. Adsorpsiyon kolonu ile birlikte deney düzeneği

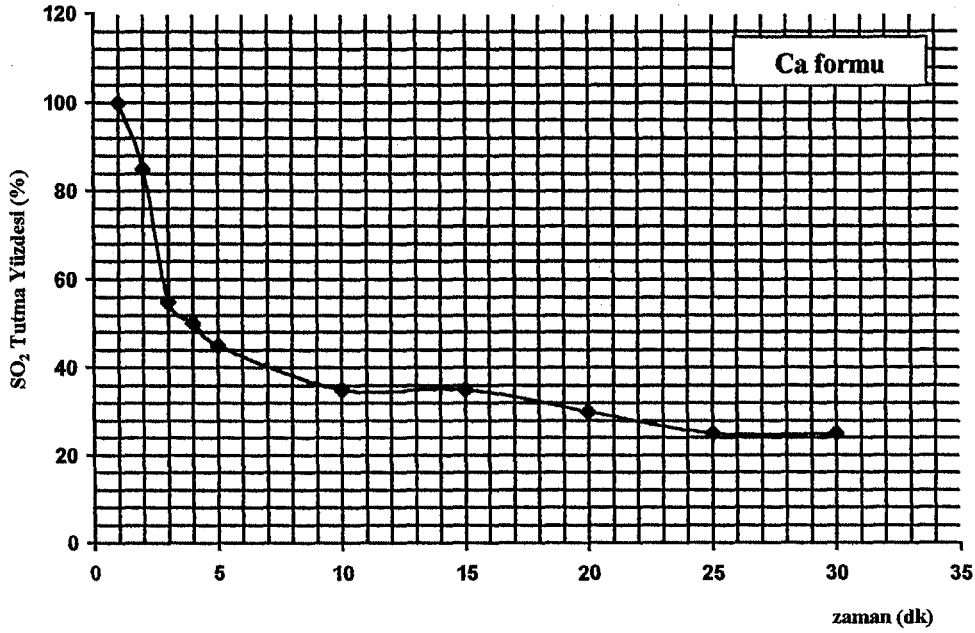
6.5. Laboratuarda Ölçülen Değerlerin Sonuçları

Baca gazından alınan ölçümlerin geçerliliğini arttırabilmek için tüm formlarda hazırlanan klinoptilolite ait numunelerin SO_2 ' yi tutma miktarlarını laboratuvar koşulları altında hesapladık.

Bütün ölçümler alınırken numuneye gönderilen SO_2 gazı akış hızı 0,5 lt/dak ve SO_2 konsantrasyonu 200 ppm olarak ayarlanmıştır. Cihazın yazıcısından çıktı alırken kağıt hızı ise 500 mm/saat' e ayarlanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda bütün klinoptilolit formlarının SO_2 ' yi tutma yüzdeleri hesaplanmıştır.

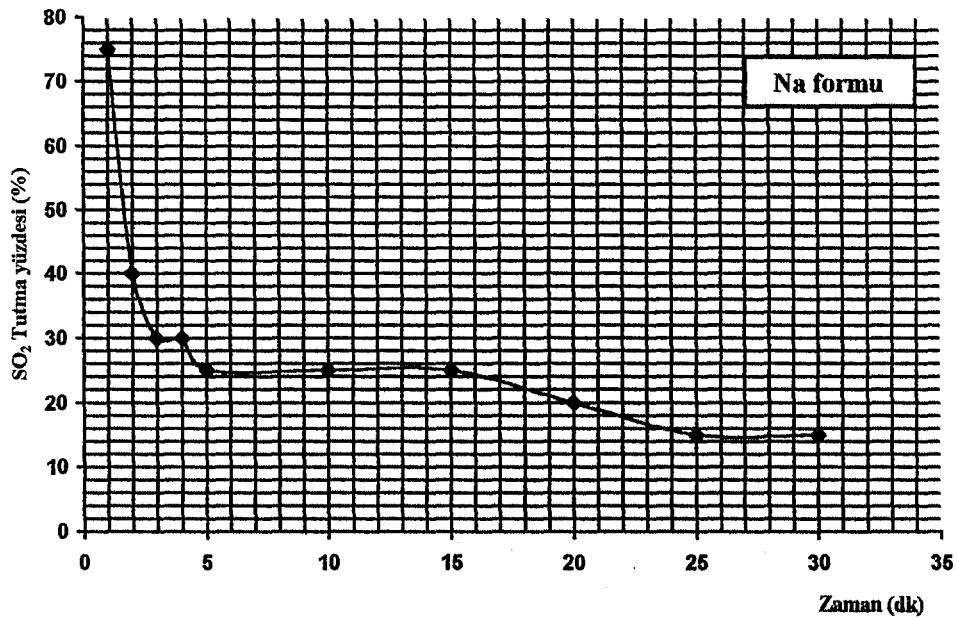
Tablo 6.7 Ca^{+2} formu klinoptilolitin SO_2 ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri

Zaman (dak)	SO_2 Tutma Yüzdesi (%)
1	100
2	85
3	55
4	50
5	45
10	35
15	35
20	30
25	25
30	25



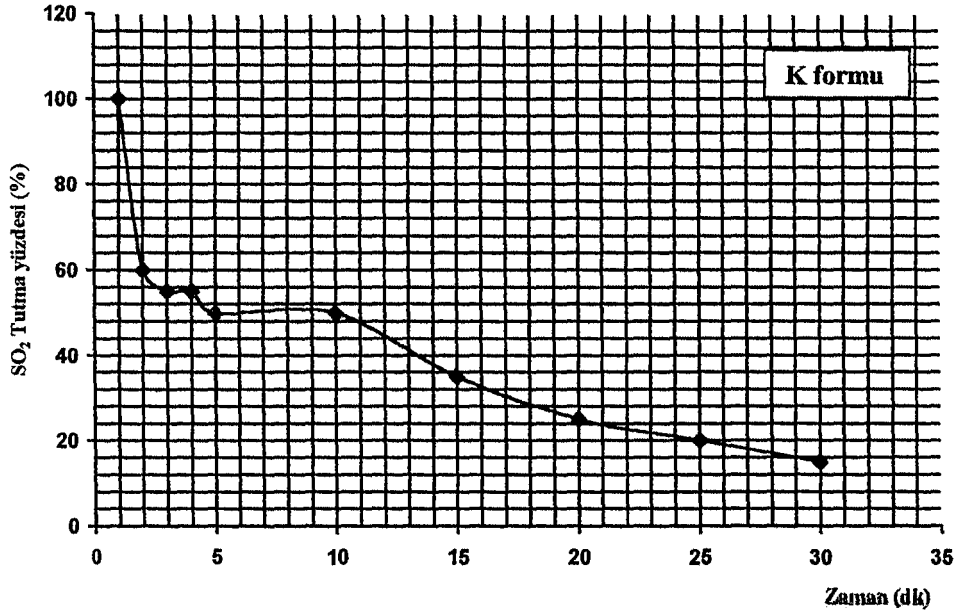
Tablo 6. 8 Na⁺ formu klinoptilolitin SO₂' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri

Zaman (dak)	SO ₂ Tutma Yüzdesi (%)
1	75
2	40
3	30
4	30
5	25
10	25
15	25
20	20
25	15
30	15



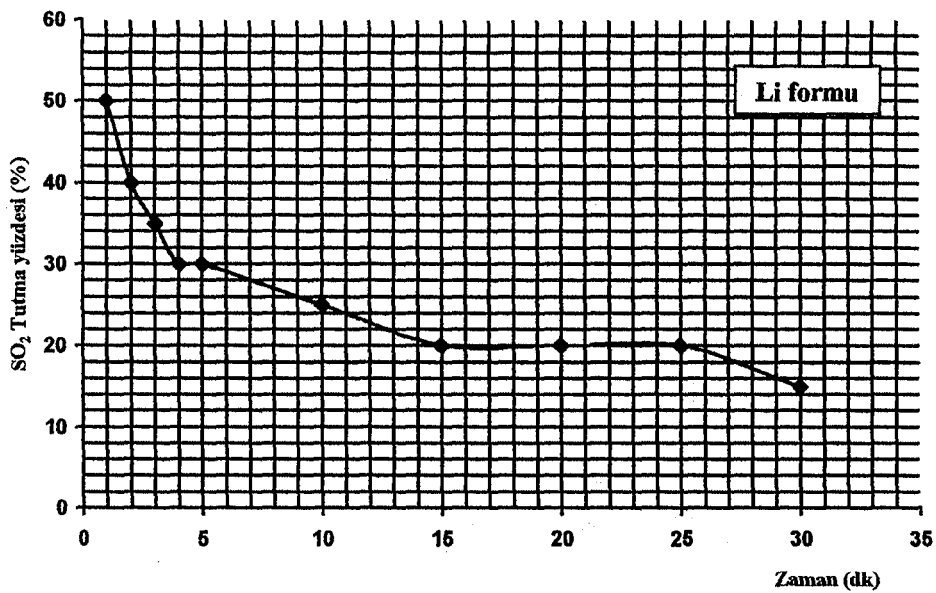
Tablo 6.9 K⁺ formu klinoptilolit SO₂' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri

Zaman (dak)	SO ₂ Tutma Yüzdesi (%)
1	100
2	60
3	55
4	55
5	50
10	50
15	35
20	25
25	20
30	15



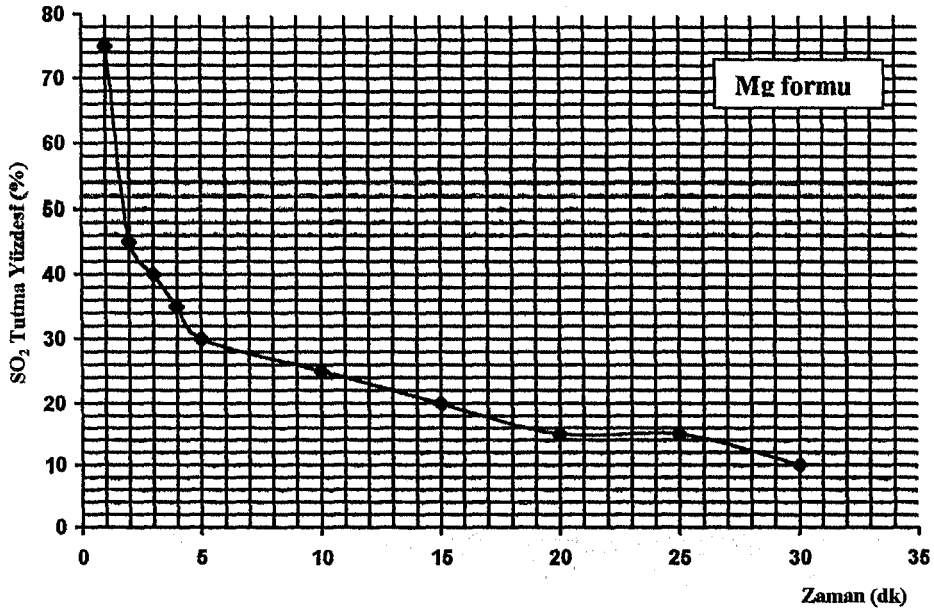
Tablo 6.10 Li^{+3} formu klinoptilolitin SO_2 ' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri

Zaman (dak)	SO_2 Tutma Yüzdesi (%)
1	50
2	40
3	35
4	30
5	30
10	25
15	20
20	20
25	15
30	15



Tablo 6.11 Mg⁺² formu klinoptilolitin SO₂' yi tutma yüzdeleri ve zamana bağlı değişimleri

Zaman (dak)	SO ₂ Tutma Yüzdesi (%)
1	75
2	45
3	40
4	35
5	30
10	25
15	20
20	15
25	15
30	10



7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan deneylerde öncelikle klinoptilolit'in iyon değiştirme özelliği kullanılarak 0,1 N, 0,5 N, ve 1 N' lik çözeltilerde zeolit'in gözenek çapları ayarlanmıştır. Daha sonra ise bunların moleküler eleme özelliğinden faydalanarak bir filtre yapılmış ve bu filtrenin hangi ölçüde atık gazları tuttuğu araştırılmıştır. Karşılaştırmaları moleküler eleme işlemine uygun olarak yapacak olursak moleküler çapı gözeneğin çapından büyük olan gaz moleküllerinin artılması, küçük olan gaz moleküllerinin ise rahatlıkla geçip atmosfere karışması gerekir.

Tablo 7.1 Çalışmada kullanılan gazların molekül çapları (Dikmen 1998)

Gazlar	Molekül Çapı (Å)
CO	3,16
SO ₂	1,299
CO ₂	2,396
NO	2,286

Tablo 7.2 Klinoptilolit'in çeşitli iyonik formlarının adsorpsiyon özellikleri (Dikmen 1998)

İyonik Form	Ortalama Gözenek Çapı (Å)	Langmuir Özgöl Yüzey Alanı (m ² /g)
0,1 N Na	22,85	61,08
0,5 N Na	21,50	69,59
1 N Na	20,31	78,59
0,1 N Li	33,07	74,81
0,5 N Li	32,69	73,98
1 N Li	31,60	73,50
0,1 N Ca	34,55	51,79
0,5 N Ca	32,34	57,83
1 N Ca	30,12	62,67
0,1 N K	22,10	64,05
0,5 N K	21,36	64,54
1 N K	20,98	65,10
0,1 N Mg	22,10	64,05
0,5 N Mg	21,36	64,54
1 N Mg	20,98	65,10

Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının NO, CO, SO₂ ve CO₂' yi tutma oranlarını karşılaştırarak hangi numunenin hangi gaz molekülünü tutmakta iyi olduğu konusunda daha iyi veriler elde etmemiz mümkündür.

Tablo 7.3 Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının NO' yu tutma yüzdeleri

Klinoptilolitin İyonik Formu	NO Tutma Oranı (%)
Na	78
Ca	67
Li	88
Mg	82
K	25

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi NO' yu tutma oranı en iyi olan Li ve Mg formlarıdır. K formu ise NO' yu tutmada o kadar iyi değildir. Tablo 7.1 ve 7.2' den görüldüğü gibi diğerlerine göre Li formunun daha büyük ortalama gözenek çapına sahip olması (31,6 Å) ve özgül yüzey alanının büyük olması (73,5 m²/g) bu sonuca yol açabilir.

Tablo 7.4 Klinoptilolitin çeşitli iyonik formlarının SO₂' yi tutma yüzdeleri

Klinoptilolitin İyonik Formu	SO ₂ Tutma Oranı (%)
Na	0
Ca	0
Li	100
Mg	100
K	100

Yukarıdaki tablodan Li, Mg ve K formlarının SO₂' yi iyi tuttuğu anlaşılmaktadır. Na ve Ca' un 0 ölçülmesinin nedeni ise daha öncede belirttiğimiz gibi değerlerinin cihazın alt ölçme sınırının altında kalmasıdır. Diğerlerine göre ortalama gözenek çapının ve özgül yüzey alanının büyük olması nedeniyle SO₂ tutma yüzdesinin fazla olması açıklanabilir.

Tablo 7.5 Klinoptilolitinin çeşitli iyonik formlarının CO' yu tutma yüzdeleri

Klinoptilolitinin İyonik Formu	CO Tutma Oranı (%)
Na	96
Ca	43
Li	58
Mg	82
K	7

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi CO' yu en iyi tutabilen Na ve Mg' dur. K formunun ise CO tutma yüzdesi oldukça düşüktür. Na ve Mg formlarının diğerlerine göre ortalama gözenek çaplarının küçük oluşu tutma işleminin daha çok moleküler eleme şeklinde olduğu sonucunu göstermektedir.

Tablo 7.6 Klinoptilolitinin çeşitli iyonik formlarının CO₂' yi tutma yüzdeleri

Klinoptilolitinin İyonik Formu	CO ₂ Tutma Oranı (%)
Na	100
Ca	0,6
Li	100
Mg	100
K	0,9

Yukarıdaki tablodan Na, Li ve Mg formu klinoptilolitlerin CO₂' yi tutma konusunda çok iyi oldukları anlaşılmaktadır. Na ve Mg' un gözenek çaplarının diğerlerine göre küçük oluşu moleküler eleme işleminin ağırlık taşıdığını göstermektedir. Li formunda ise gözenek çapının büyük oluşu kanal çeperlerinde adsorplama işleminin ağırlık taşıdığını göstermektedir.

Sonuç olarak baca gazlarından klinoptilolitinin çeşitli formlarıyla alınan ölçümlerde NO_x' yu en iyi tutan Li ve Mg formları, SO₂' yi en iyi tutan Li, Mg ve K formları, CO' yu en iyi tutan Na ve Mg formları, CO₂' yi en iyi tutan Na ve Mg formlarıdır. SO₂ ölçüm sonuçlarını laboratuarda alınan sonuçlarla karşılaştırdığımızda K formunun tutma yüzdesinin diğerlerine oranla daha iyi olduğu görülmektedir.

8. KAYNAKLAR

1. ASENOV, A., İVANOVA, Y., KOSTOVE, M., Doğal Zeolitlerde Kükürtdioksitin Adsorpsiyonu, Yüksek Kimya Teknoloji Enstitüsü, Sofya.
2. DİKMEN, Z., Y. Lisans Tezi, Karbonmonoksitin Doğal Zeolitlerde Adsorpsiyonu, Fizik Anabilim Dalı, Haziran, 63 s., 1998.
3. DYER, A., An Introduction to Zeolite Molecular Sieves, John Willwy, P.80, 1988
4. GOTTARDI, G., GALLI, E., Natural Zeolites, Springer Verlag, Berlin, 1985
5. HAKDİYEN, İ., Genel ve Teknik Kimya, Sıralar Matbaası, 483 s., İstanbul, 1960.
6. İZCİ, E., Doğal Zeolitlerin Deterjan Üretiminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 59 s., 1995
7. KARPUZCU, M., Çevre Kontrolünün Esasları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 166 s., 1981.
8. KAYTAKOĞLU, S., Fosil Yakıt Kullanımından Kaynaklanan SO₂ Emisyonunu Giderici Yöntemlerin ve İlgili Parametrelerin Araştırılması ve Giderme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, Eskişehir, 117 s., 1997.
9. KIŞLALIOĞLU, M., BERKES, F., Ekoloji ve Çevre Bilimleri, Remzi Kitabevi, 350 s., 1994.
10. KINCAL, S., ve ÇULFAZ, A., Vanadyum Mordenitlerde Sülfürdioksitin Adsorpsiyonu ve Oksidasyonu, G.B.T.Ü., Ankara.
11. KOCATAŞ, A., Ekoloji ve Çevre Biyolojisi, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, 564 s., 1992.

12. ORHUN, Ö., Zeolitlerde İyon Değişimi, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 53 s., 1997
13. ÖZTÜRK, M., SEÇMEN, Ö., Bitki ekolojisi, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı, 238 s., İzmir, 1996.
14. SARIKAYA, Y., Fizikokimya (2), Ankara Üniversitesi, Fen Fak. Kimya Bölümü, Fizikokimya Ana Bilim Dalı, Ankara, s. 632-649, 1993
15. SMİTH, L.R., Elements of Ecology Harper and Row Publisher, Second Edition, New York, 1986.
16. TCHERNEV, D., I., The Use of Zeolites For Solar Cooling, In:Rees, L.V.C.(eds) Proc 5th Int Conf Zeolites, Heyden, London, pp 788-794, 1980.
17. TORİİ, K.,Utilization of Natural Zeolites in Japan, In:Send, I. B., Mumpton, F.A.(eds) Natural Zeolites, Pergamon, Oxford, pp 441-450, 1978.
18. ÜLKÜ, S., TURGUT, F., Zeolitler ve Uygulama Alanları, 5. Ulusal Kil Sempozyumu, Eskişehir, s. 387-400, 16-20 Eylül 1991.
19. ÜNALDI, T., Bigadiç Yöresi Doğal Zeolitinin İyon Değiştirilmiş Formlarının CO₂ Adsorpsiyonu, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1995.
20. YALÇIN, H., AYBAR, S., Kimya Mühendisliği Termodinamiği, Cilt I, 223 s., 1977.
21. YÖRÜKOĞULLARI, E., Fiziksel Adsorpsiyon, Yüksek Lisans Ders Notları, 1997.

D. EKLER

EK-1 Klinoptilolit'in çeşitli iyonik formlarıyla hazırlanan filtrede yapılan gaz analizi

ölçümleri

Li⁺ formuyla hazırlanan filtrede yapılan gaz analizi ölçümleri

Filtresiz		Filtreli	
03.03.99	18:14:41	03.03.99	18:39:36
COAL		COAL	
34.4	°C FT	13.1	°C FT
12.4	°C AT	11.1	°C AT
18.6	% O2	20.7	% O2
2.1	%CO2	-----	%CO2
87.1	EffG	-----	EffG
90.8	EffN	-----	EffN
26	P NO	3	P NO
0	PNO2	0	PNO2
26	PNOX	3	PNOX
119	PSO2	0	PSO2
92.8	% λ	-----	% λ
-----	hPad	-----	hPad
-----	m/s	-----	m/s
7	O2rf	7	O2rf
-----	hPaD	-----	hPaD
591	p CO	247	p CO
-----	% RH	-----	% RH
-----	°C HT	-----	°C HT
-----	°C Td	-----	°C Td

Na⁺ formuyla hazırlanan filtrede yapılan gaz analizi ölçümleri

Filtresiz		Filtreli	
05.06.99	13:14:02	05.06.99	13:37:47
COAL		COAL	
5.2	°C FT	25.4	°C FT
2.5	°C AT	25.1	°C AT
9.1	% O2	20.8	% O2
1.6	%CO2	-----	%CO2
5.0	EffG	-----	EffG
8.6	EffN	-----	EffN
23	P NO	5	P NO
0	PNO2	0	PNO2
23	PNOX	5	PNOX
0	PSO2	0	PSO2
-----	% λ	-----	% λ
-----	hPad	-----	hPad
-----	m/s	-----	m/s
7	O2rf	7	O2rf
-----	hPaD	-----	hPaD
636	p CO	55	p CO
-----	% RH	-----	% RH
-----	°C HT	-----	°C HT
-----	°C Td	-----	°C Td

K⁺ formuyla hazırlanan filtrede yapılan gaz analizi ölçümleri

Filtresiz		Filtreli	
14.99	18:45:35	15.04.99	18:52:29
		COAL	
°C FT		21.6	°C FT
°C AT		18.3	°C AT
% O2		15.1	% O2
%CO2		5.2	%CO2
EffG		94.1	EffG
EffN		98.2	EffN
P NO		53	P NO
PNO2		0	PNO2
PNOX		53	PNOX
PSO2		0	PSO2
% λ		255.4	% λ
hPad		-----	hPad
m/s		-----	m/s
O2rf		7	O2rf
hPad		-----	hPad
P CO		819	P CO
% RH		-----	% RH
°C HT		-----	°C HT
°C TD		-----	°C TD

Mg⁺² formuyla hazırlanan filtrede yapılan gaz analizi ölçümleri

Filtresiz		Filtreli	
15.04.99	17:26:57	15.04.99	17:51:33
		COAL	
°C FT		23.8	°C FT
°C AT		19.6	°C AT
% O2		20.5	% O2
%CO2		-----	%CO2
EffG		-----	EffG
EffN		-----	EffN
P NO		0	P NO
PNO2		0	PNO2
PNOX		0	PNOX
PSO2		0	PSO2
% λ		-----	% λ
hPad		-----	hPad
m/s		-----	m/s
O2rf		7	O2rf
hPad		-----	hPad
P CO		264	P CO
% RH		-----	% RH
°C HT		-----	°C HT
°C TD		-----	°C TD

