

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

GÖRDES YÖRESİ DOĞAL ZEOLİTİNİN NH₄⁺ FORMLARININ İNCELENMESİ

Tevfik ÜNALDI¹, Belgin YILDIRIM¹

ÖZ

Bu çalışmada, Gördes Yöresi doğal klinoptilolitinin 0,1N, 0,5N ve 1N NH₄⁺ formları ısıtmasız batch yöntemiyle hazırlanmıştır. Bu formların kimyasal analizleri (XRF) yapılmış, kimyasal analizlere göre birim hücredeki atom sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan atom sayılarından hareketle, bu formların doğal klinoptilolite göre iyon değişim yüzdeleri ve iyon seçicilik yüzdeleri bulunmuştur. Her bir formun x-ışını kırınım desenleri elde edilmiş, bu desenlere göre birim hücre parametreleri hesaplanmış ve birim hücre hacimleri bulunmuştur. Bununla birlikte x-ışını kırınım desenlerinden hareketle formların klinoptilolit içerik yüzdesi ve kristalizasyonları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Klinoptilolit, İyon değişimi, İyon seçiciliği, Birim hücre parametreleri.

INVESTIGATION OF NH₄ FORMS OF GORDES REGION NATURAL ZEOLITE

ABSTRACT

In this study 0,1N, 0,5N ve 1N NH₄⁺ forms of natural clinoptilolite, which is obtained from Gördes region, were prepared by non-heated batch method. The chemical analysis (XRF) of this forms were made, using the chemical analysis, the number of atom per unit cell were calculated. Determining the numbers of atoms, the ion exchange percentages and the ion selectivity percentages were found. X-ray diffraction pattern of each form was obtained, according to these patterns, unit cell parameters were calculated and unit cell volumes were determined. However, using x-ray diffraction patterns of these forms, percentages clinoptilolite-crystallization were calculated.

Keywords: Clinoptilolite, Ion exchange, Ion selectivity, Unit cell parameters.

1. GİRİŞ

Klinoptilolit ve hölandit iskelet yapısı bakımından aynıdır. İskeleti 4-4-1 temel yapı biriminin bağlanmasından oluşmaktadır. Tabakalar sekiz ve on üyeli oksijen pencereleri oluşturmaktadır. Bunlar da iki kanal oluşturur (Dyer 1988, Mumpton, 1999).

Klinoptilolit üç boyutlu kristal yapısı ve katyon konumları Şekil 1' de gösterilmiştir. Klinoptilolit yapısı ab yüzeyinden bakıldığında (001) kristalografik yüzeyine dik c eksenine boyunca birbirine paralel konumda bulunan

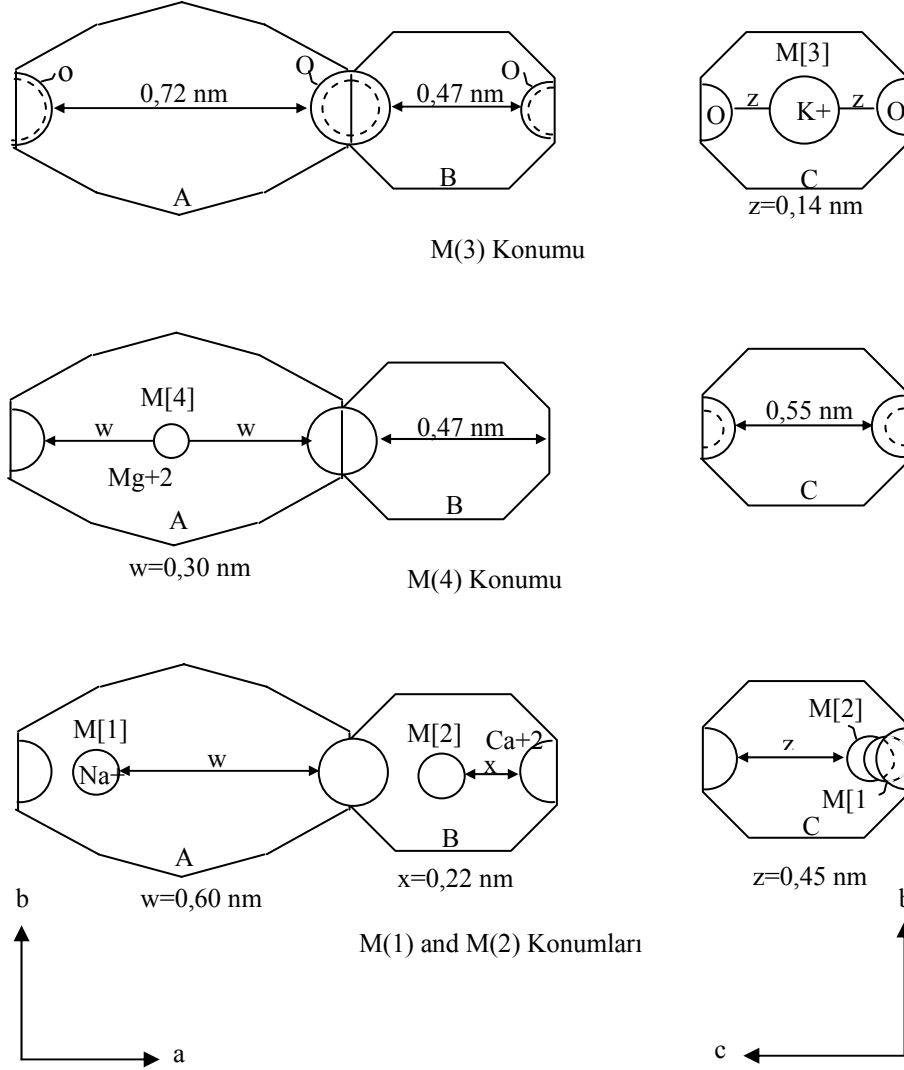
8(3.3Åx4Å)T ve 10(3.0Åx7.6Å)T'li halkalardan, bc yüzeyinden bakıldığında ise (100) kristalografik yüzeyine dik a ekseninde bulunan 8 (2.6Åx4.7Å)T'li halkalardan oluşan kanallar sistemi şeklindedir.

Klinoptilolit'in değişebilir katyonlarından olan Na⁺, K⁺, Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarından K⁺ iyonu; M(3) konumunu, Mg⁺² iyonu; M(4) konumunu, Na⁺ iyonu; M(1) konumunu ve Ca⁺² iyonu; M(2) konumunu işgal etmektedir (Ackley vd., 1992)

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 26480 Eskişehir-TÜRKİYE.

Yazar İletişim: Tel:0-222-2393750-2818; Fax:0-222-2393578; E-mail : tunaldi@ogu.edu.tr

Yüksek Lisans tezinin bir bölümüdür. Bu tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Araştırma Merkezi'nce (FBAM) desteklenmiştir.



Şekil 1. Klinoptilolit Yapısındaki Katyon Konumları (Ackley vd., 1992)

Bu çalışmada, klinoptilolitın sebze ve meyve yetiştiriciliğinde toprak katkı maddesi olarak kullanılmasında değişebilir katyon formlarından çok NH₄⁺ formlarının önemli olmasından dolayı bu iyonu karşı seçiciliğinin değişik bir metodla bulunması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Klinoptilolitın 0.1N, 0.5N ve 1N'lik NH₄⁺ formları, ısıtmasız yığın yöntemiyle hazırlanmış olup, bu yöntemde NH₄⁺ formu için NH₄⁺NO₃⁻ tuzu kullanılarak 50ml'lik saf su ile 0.1N, 0.5N ve 1N'lik çözeltileri hazırlanmış, herbir çözeltinin içine 300 mesh'e kadar öğütülmüş 20'şer gramlık Gördes klinoptiloliti konulmuştur. Klinoptilolitın çözeltide tutulma süresi 72 saat olup belirli aralıklarla karıştırılmaları sağlanmıştır. Bu süre sonunda çözelti süzülerek numunenin yaklaşık

olarak kaynama sıcaklığındaki saf su ile 8 defa yıkanmaları sağlanmıştır. Yıkanmış numuneler 110°C'de 16 saat kurutulmaya bırakılmıştır (İnel vd., 1991; Ünalı, 1995).

2.1 XRF Analizleri

Numunelerin XRF yöntemiyle (ARL, XRF 8680 cihazı) elde edilen kimyasal analizlerinden hareketle klinoptilolitın birim hücresinde 72 oksijen atomu olduğu kabul edilerek birim hücrelerindeki atom sayıları hesaplanmıştır (Ünalı, 1995, Ünalı vd. 1998, Ünalı ve Orhun, 2002)

Gördes Klinoptilolitının doğal ve NH₄⁺ formlarının kimyasal analiz verileri Tablo 1'de, bu verilerden hareketle hesaplanan ilgili formların birim hücredeki atom sayıları ile Si/Al oranları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Gördes Klinoptilolitinin Doğal ve NH_4^+ Formlarının Kimyasal Analiz Verileri

<u>Form</u> <u>Molekül</u>	<i>Doğal</i>	<i>0,1N NH_4^+</i>	<i>0,5N NH_4^+</i>	<i>1N NH_4^+</i>
SiO ₂	71,98	72,04	72,87	72,80
Al ₂ O ₃	12,56	12,74	12,88	12,86
Fe ₂ O ₃	0,45	0,60	0,66	0,82
CaO	1,99	1,76	1,13	1,17
MgO	0,42	0,40	0,35	0,34
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,03	0,04
K ₂ O	4,28	4,25	3,80	3,28
Na ₂ O	0,92	0,81	0,65	0,59
SO ₃	0,02	0,02	0,02	0,02
NH ₄ NO ₃	-	0,01	0,26	0,73
Σ	92,65	92,66	92,65	92,65

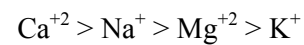
Tablo 2. Gördes Klinoptilolitinin Doğal ve NH_4^+ Formlarının Birim Hücrelerindeki Atom Sayıları

<u>Form</u> <u>Atomlar</u>	<i>Doğal</i>	<i>0,1N NH_4</i>	<i>0,5N NH_4</i>	<i>1N NH_4</i>
Si	26,379	26,371	26,493	26,372
Al	5,422	5,495	5,518	5,490
Fe	0,123	0,162	0,179	0,222
Ca	0,779	0,688	0,439	0,452
Mg	0,229	0,217	0,187	0,182
P	0,008	0,008	0,008	0,008
K	1,999	1,984	1,760	1,515
Na	0,651	0,571	0,454	0,413
S	0,004	0,004	0,004	0,004
NH ₄	-	0,006	0,209	0,594
Si/Al	4,865	4,799	4,801	4,803

Numunelerin iyon değişim yüzdeleri Tablo 3' te verilmiş olup, görüleceği gibi normalitenin artmasıyla yapıyı terkeden değişebilir katyonların yüzde cinsinden miktarları da artmaktadır. Tablo 3'e bakıldığında, NH_4^+ formunda yapıya NH_4^+ iyonu girdiğinde; en çok Ca^{+2} , sonra Na^+ ve daha sonra da Mg^{+2} ve K^+ katyonlarının yapıyı terk ettiği görülmektedir.

Tablo 4' te görüldüğü gibi numunelerin formlara göre yapıyı terkediş yüzdelerine göre sıralama yapılırsa, K^+ katyonunun yapıdan en

az çıkan katyon olduğu görülebilir. Klinoptilolitinin değişebilir katyon konumlarına bakıldığında da bu durumun normal olduğu görülebilir. Gördes klinoptilolitinin değişebilir katyon formlarının iyon değişim yüzdelerine göre yapıyı terkeme sıralamasının,



şeklinde olduğu görülmüştür

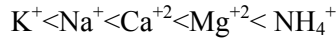
Tablo 3. Gördes Klinoptilolitinin Doğal Forma Göre NH₄⁺ Formlarının İyon Değişim Yüzdeleri

<u>Form</u> <u>İyon</u>	0,1N NH ₄ ⁺	0,5N NH ₄ ⁺	1N NH ₄ ⁺
Na ⁺	12,28	30,26	36,55
K ⁺	0,75	11,95	24,21
Ca ⁺²	11,65	43,64	41,97
Mg ⁺²	5,24	18,34	20,52

Tablo 4. Değişebilir Katyon Formlarının İyon Değişim Yüzde Sıralaması

Form	Normalite	İyon Değişim Sıralaması	Genel Sıralama
NH ₄ ⁺	0,1N	Na ⁺ >Ca ⁺² >Mg ⁺² >K ⁺	Ca ⁺² >Na ⁺ >Mg ⁺² >K ⁺
	0,5N	Ca ⁺² >Na ⁺ >Mg ⁺² >K ⁺	
	1N	Ca ⁺² >Na ⁺ >K ⁺ >Mg ⁺²	

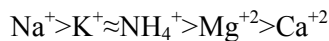
Tablo 5'te verilen değişebilir katyonların iyonlaşma potansiyelleri sıralaması yapıldığında ise



şeklinde. İyonlaşma potansiyeli yüksek katyonun iyon değişimi de yüksektir. Bu durum K⁺ iyonunun Şekil 1' deki M(3) gibi yapıya sıkı bağlı bir konumda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, K⁺ katyonu iyon değişimiyle yapıdan kolay kolay dışarı çıkarılamamaktadır. Ayrıca iyon değişimi yüzdelerinde; Ca⁺² katyonu %11-41 arasında, Na⁺ katyonu %12-36 arasında Mg⁺² katyonu %5-20 arasında ve K⁺ katyonu yaklaşık %1-24 arasında yapıyı terketmektedir.

Numunelerin iyon seçicilik yüzdeleri Tablo 6'da verilmiş olup, Gördes klinoptilolitinin doğal forma göre Na⁺, K⁺, Ca⁺² ve Mg⁺² formlarının iyon seçicilik yüzdeleri (Ünaldı ve Orhun, 2002)'den alınmıştır.

Gördes klinoptilolitinin değişebilir katyon formlarının iyon seçicilik yüzdelerine bakıldığında normalitenin artmasıyla daha fazla iyon girdiği görülmektedir. Bu değerlere göre Tablo 7' den de görüleceği gibi



şeklinde genel sıralama elde edilmiştir. Bu sıralamaya göre tek değerlikli katyonlar Na⁺, K⁺ ve NH₄⁺ katyonları yapıya yaklaşık %1-

236, çift değerlikli katyonlar ise yaklaşık %7-25 arasında yapıya girmişlerdir.

2.2 X-Işını Analizleri

Numunelerin X-Işını analizlerinden (Rigaku Geiger flex, CuKα, λ=1,5418 Å cihazı) elde edilen kırınım verileri Tablo 8, 9, 10, 11'de verilmiştir.

Monoklinik yapıya sahip klinoptilolit "h k l" Miller İndisleri ile a, b, c ve β birim hücre parametreleri arasındaki genel bağıntı,

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2}{a^2 \sin^2 \beta} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2 \sin^2 \beta} - \frac{2hl \cos \beta}{ac \sin^2 \beta} \quad (1)$$

şeklinde olup en büyük pikten başlanarak d ile h k l değerleri denkleme yazılarak çözümü olabilecek dört bilinmeyenli dört denkleme indirgenerek a, b, c ve β birim hücre parametreleri bulunur. Bu parametrelerden hareketle monoklinik yapının birim hücre hacmini veren;

$$V = abcsin\beta \quad (2)$$

formülünden hareketle birim hücre hacmine ulaşılır.

Tablo 5. Bazı Atomların İyon Yarıçapları Ve İyonlaşma Potansiyelleri (Vainstein, 1981).

<i>İyonlar</i>	<i>İyon Yarıçapı (Å)</i>	<i>İyonlaşma Potansiyeli (eV)</i>
Na ⁺	0,98	5,14
K ⁺	1,33	4,34
Ca ⁺²	1,04	6,13
Mg ⁺²	0,74	7,64
NH ₄ ⁺	1,43	≈8

Tablo 6. Gördes Klinoptilolitinin Doğal Forma Göre Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² ve NH₄⁺ Formlarının İyon Seçicilik Yüzdesi

<i>Form İyon</i>	<i>0,1N Na⁺</i>	<i>1N Na⁺</i>	<i>0,1N K⁺</i>	<i>1N K⁺</i>	<i>0,1N Ca⁺²</i>	<i>1N Ca⁺²</i>	<i>0,1N Mg⁺²</i>	<i>1N Mg⁺²</i>	<i>0,1N NH₄⁺</i>	<i>1N NH₄⁺</i>
Na ⁺	54	236	-	-	-	-	-	-	-	-
K ⁺	-	-	23	71	-	-	-	-	-	-
Ca ⁺²	-	-	-	-	7	25	-	-	-	-
Mg ⁺²	-	-	-	-	-	-	16	18	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	1	73

Tablo 7. Değişebilir Katyon Formlarının İyon Seçicilik Yüzde Sıralaması

<i>Normalite</i>	<i>İyon Seçicilik Sıralaması</i>	<i>Genel Sıralama</i>
0,1N	Na ⁺ >K ⁺ >Mg ⁺² >Ca ⁺² >NH ₄ ⁺	Na ⁺ >K ⁺ ≈NH ₄ ⁺ >Mg ⁺² >Ca ⁺²
1N	Na ⁺ >NH ₄ ⁺ >K ⁺ >Ca ⁺² >Mg ⁺²	

Tablo 8. Gördes Klinoptilolitinin Doğal Formunun X-Işınları Kırınım Verileri

<i>Pikler</i>	<i>2θ(°)</i>	<i>θ(°)</i>	<i>Sinθ</i>	<i>d(Å)</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
1	22,30	11,15	0,1934	3,985	1	3	1
2	26,68	13,34	0,2308	3,339	0	0	2
3	9,86	4,93	0,0860	8,963	0	2	0
4	30,08	15,04	0,2595	2,970	1	5	1
5	26,04	13,02	0,2253	3,421	2	2	-2
6	28,14	14,07	0,2431	3,170	4	2	-2
7	20,92	10,47	0,1815	4,246	4	0	-1
8	11,14	5,57	0,0970	7,936	2	0	0

Tablo 9. Gördes Klinoptilolitinin 0,1N NH₄⁺ Formunun X-Işınları Kırınım Verileri

<i>Pikler</i>	$2\theta(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$	<i>Sin</i> θ	$d(\text{Å})$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
1	22,56	11,28	0,1956	3,938	3	3	0
2	26,82	13,41	0,2319	3,321	0	0	2
3	10,00	5,00	0,0871	8,838	0	2	0
4	30,18	15,09	0,2604	2,958	1	5	1
5	26,20	13,10	0,2266	3,398	4	0	-2
6	11,59	5,79	0,1010	7,624	2	0	0
7	28,30	14,15	0,2446	3,149	4	2	-2
8	32,36	16,18	0,2786	2,764	6	2	-1

Tablo 10. Gördes Klinoptilolitinin 0,5N NH₄⁺ Formunun X-Işınları Kırınım Verileri

<i>Pikler</i>	$2\theta(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$	<i>Sin</i> θ	$d(\text{Å})$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
1	22,56	11,28	0,1957	3,936	3	3	0
2	9,88	4,94	0,0861	8,938	0	2	0
3	30,24	15,12	0,2608	2,953	1	5	1
4	11,56	5,78	0,1008	7,637	2	0	0
5	26,18	13,09	0,2264	3,401	4	0	-2
6	28,30	14,15	0,2444	3,151	4	2	-2
7	26,96	13,48	0,2331	3,304	0	0	2
8	31,96	15,98	0,2753	2,798	5	3	0

Tablo 11. Gördes Klinoptilolitinin 1N NH₄⁺ Formunun X-Işınları Kırınım Verileri

<i>Pikler</i>	$2\theta(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$	<i>Sin</i> θ	$d(\text{Å})$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
1	22,42	11,21	0,1944	3,962	4	0	0
2	9,90	4,95	0,0862	8,927	0	2	0
3	30,16	15,08	0,2602	2,960	1	5	1
4	11,18	5,59	0,0974	7,907	2	0	0
5	26,08	13,04	0,2256	3,413	2	2	-2
6	28,20	14,10	0,2436	3,161	4	2	-2
7	31,98	15,99	0,2755	2,796	5	3	0
8	17,32	8,66	0,1505	5,115	1	1	1

Tablo 12'de gösterildiği gibi NH_4^+ formunda normalitenin artmasıyla birim hücre hacimleri artmaktadır. 8T ve 10T'nin üç boyutlu uzayda üzerine dizildiği ac düzlem yüzeyi NH_4^+ formunda normalitenin artmasıyla artmaktadır.

Mineral içerik yüzdeleri

$$W_i = \frac{K_i I_i}{\sum K_i I_i} \times 100 \quad (3)$$

ifadesiyle belirlenebilir, burada W_i ; yüzde cinsinden mineral içeriği, K_i ; ilgili pike karşılık gelen yanıt oranı, I_i ise numunenin X-ışını kırınım desenindeki pik yüksekliğidir (Müller, 1967; Gündoğdu, 1982; Auerbach, 2003).

Numunelerin yüzde mineral içerikleri Tablo 14' te gösterilmiş olup, iyon değiştirilmiş formlarda doğal formla kıyaslandığında kuvars ve feldispat miktarları düşük, klinoptilolit miktarları ise yüksektir.

Numunelerin k kristalizasyon değeri,

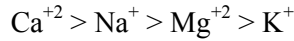
$$k = \frac{\text{İyon Değiştirilmiş Formun Pik Yüksekliği}}{\text{Doğal Formun Pik Yüksekliği}}$$

ifadesinden bulunabilir. Burada pik yükseklikleri maksimum piklere aittir.

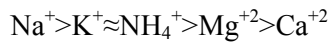
Numunelerin k kristalizasyon değerleri Çizelge 15' de gösterilmiş olup, 0,1 NH_4^+ formuna nazaran 0,5 N NH_4^+ formunun kristalizasyonu artmakla birlikte; 1N NH_4^+ formunda kristalizasyonun azaldığı görülmüştür (Yıldırım, 2003).

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

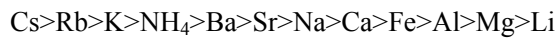
Gördes klinoptilolitinin İyon değişim yüzdelere göre yapıyı terketme sıralaması



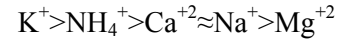
şeklindedir. İyon seçicilik yüzde sıralaması ise,



şeklindedir Ames (1960) tarafından yapılan deneyler sonucunda klinoptilolit katyon seçiciliği dizilişi,



şeklinde verilmiştir. İkili sistemler üzerine yapılan iyon değişim çalışmaları sonucunda, ikili sistemleri için seçicilik sıralamasının,



şeklindedir (Ackley and Yang,1991). İyon seçicilik yüzde sıralaması iyon seçiciliğine benzerdir, dolayısıyla iyon seçicilik yüzdeleriyle yaptığımız sıralama yukarıda verilen başka klinoptilolitler için yapılan sıralamalarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Gördes klinoptilolitinin iyon seçicilik yüzdelere bakılarak normalitenin artmasıyla yapıya daha fazla iyon girdiği görülmektedir. Ayrıca yapıdan yüzde cinsinde büyük oranlarda değişebilir katyonların çıktığı saptanmıştır.

Bunun yanında klinoptilolit asitle muamele edilerek değişebilir katyonların yapıdan çok daha büyük oranlarda çıkarılması sağlandıktan sonra, klinoptilolit NH_4^+ formu hazırlanırsa yapıya yerleşecek NH_4^+ iyonu miktarının da oldukça artacağı düşünülebilir.

Gördes klinoptilolitinin NH_4^+ formunda normalitenin artmasıyla birim hücre hacimleri ve 8T ve 10T'nin üç boyutlu uzayda üzerine dizildiği ac düzlem yüzeyi artmaktadır. Mineral içerik yüzdeleri ise doğal formla kıyaslandığında klinoptilolit miktarı yüksek, kuvars ve feldispat miktarları düşüktür. Ayrıca normalitenin artmasıyla genelde k kristalizasyonu da artmaktadır.

NH_4^+ iyonlu zeolitlerin doğal gübre olarak kullanılması mümkündür. Bu amaçla; toprak için besleyici değer taşıyan NH_4^+ iyonları klinoptilolite iyon değiştirme yolu ile verilir. Klinoptilolit NH_4^+ iyonu toprağa denetlenebilen bir hızla vermesinin yanısıra toprağın nem düzenleyicisi olarak da yararlı olacaktır.

Zeolitlerin NH_4^+ formunun tüm bu özellikleri dikkate alınıp, yapılacak çalışmanın maliyeti de göz önünde bulundurularak, klinoptilolit NH_4^+ formu toprağa direkt olarak verilir gübre olarak kullanılması mümkün olabilir. Böylece, aşırı gübre kullanımı ve çevre kirliliği önlenip, aynı zamanda gübrenin etkin kullanımını ile ürün verimi de artırılabilir.

Tablo 12. Gördes Klinoptilolitinin Doğal ve NH_4^+ Formlarının Birim Hücre Parametreleri

<i>Form Parametre</i>	<i>Doğal</i>	<i>0,1N NH_4^+</i>	<i>0,5N NH_4^+</i>	<i>1N NH_4^+</i>
a(Å)	17,1388	17,7351	17,2580	17,7843
b(Å)	17,9260	17,6760	17,8760	17,8540
c(Å)	7,4024	7,4167	7,7341	7,3939
$\beta(^{\circ})$	115,55	116,42	117,74	116,98
V(Å ³)	2051	2082	2111	2092
ac Düzlemi (Å ²)	126,8	131,5	133,4	131,4

Tablo 13. Çeşitli Minerallerin Yanıt Oranları (Gündoğdu, 1982).

<i>MİNERAL</i>	<i>KULLANILAN YANSIMA</i>	<i>ORTALAMA YANIT ORANI (K)</i>	<i>STANDART SAPMA</i>
Klinoptilolit	3,96	4,00±0,05	0,17
Kuars	3,34	0,35±0,02	0,07
Feldispat	3,18-3,20	1,62±0,08	0,24

Tablo 14. Gördes Klinoptilolitinin Doğal ve NH_4^+ Formlarının Mineral İçerik Yüzdeleri

<i>Form</i>	<i>Klinoptilolit(%)</i>	<i>Feldispat(%)</i>	<i>Kuars(%)</i>
Doğal	81	15	4
0,1N NH_4^+	85	12	3
0,5N NH_4^+	87	11	2
1N NH_4^+	86	12	2

Tablo 15. Gördes Klinoptilolitinin NH_4^+ Formlarının Doğal Forma Göre Pik Yükseklikleri ve “k” Kristalizasyon Değerleri.

<i>Form</i>	<i>Pik Yüksekliği (mm)</i>	<i>k Kristalizasyon</i>
Doğal	118	-
0,1N NH_4^+	85	0,7203
0,5N NH_4^+	89	0,7542
1N NH_4^+	86	0,7288

KAYNAKLAR

- Ackley, M.W. ve Yang, R.T. (1991). Adsorption Characteristics of High-Exchange Clinoptilolite, *Ind. Eng. Chem. Res.* 30, 2523-2530.
- Ackley, M.W., Giese, R.F. and Yang, R.T. (1992). Clinoptilolite: Untapped Potential for Kinetic Gas Separations. *Zeolites* 12, 780-788.
- Ames, L.L. (1960). The Cation Sieve, Properties of Clinoptilolite. *Am. Mineral*, 45, 689-700.
- Auerbach, S.M., Carrado, K.A. ve Dutta, P.K. (2003). Handbook of Zeolites Science and Technology, s.928.
- Dyer, A. (1988). An Introduction to Zeolite Molecular Sieves, Wiley, s.149.
- Gündoğdu, N. (1982). Neojen Yaşlı Bigadiç Sedimenter Basenin Jeolojik Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi, s.382.
- İnel, O., Yörükoğulları, E., Orhun, Ö. ve Albayrak, F. (1991). *Chemica Acta Turcica*, ss.77-83.
- Mumpton, F.A. (1999). *Proct.Natl.Acad.Sci.* 99, 3463-3470.
- Müller, G. (1967). *Methods in Sedimentary Petrology*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbushhandlung, Stuttgart, s.283.
- Ünaldı, T. (1995). Bigadiç Yöresi Doğal Zeolitinin İyon Değiştirilmiş Formlarının CO₂ Adsorpsiyonu, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, s. 128.
- Ünaldı, T., Yörükoğulları, E. ve Orhun, Ö. (1998). Doğal Zeolit (Klinoptilolit) Değişebilir Katyon Formlarının İyon Seçiciliği, 17. Fizik Kongresi, Alanya, s 233.
- Ünaldı, T. ve Orhun, Ö. (2002). Bazı Doğal Klinoptilolitlerin Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, Proje No: 199819018, Eskişehir, s.53.
- Vainstein, B.K. (1981). *Modern Crystallography I*. Springer Verlag, Berlin, s.399.
- Yıldırım, B. (2003). Gördes Yöresi Doğal Zeolitinin NH₄ Formlarının İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisan Tezi, Eskişehir.

