



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 27.11.2017
Kabul Tarihi : 12.03.2018

Received Date : 27.11.2017
Accepted Date : 12.03.2018

Bir Kurutma Sisteminde Kullanılan Zeolit Kurutma Yatağının Adsorpsiyon Performansının DeneySEL Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of Adsorption Performance of Zeolite Drying Bed Used in a Drying System

Orhan Erdal AKAY^{1*}, Özgür Samet GİZLENCİ¹, Kerim SÖNMEZ¹,

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Orhan Erdal AKAY, akayorhan@msn.com

ÖZET

Moleküler yapıdaki zeolitlerin nem tutma özelliğinin anlaşılmasıyla kurutma-nem alma işlemlerinde kullanılabilirliği önemli ölçüde artmıştır. Son yıllarda zeolitlerin kurutma sistemlerinde kullanılması hem kurutma sistemlerinin yatırım maliyetini düşürmüş hem de kurutma performansı bakımından etkili bir kurutma sağlanmıştır. Zeolit kurutma yataklarına sahip bir kurutma sisteminde zeolit yataklarının adsorpsiyon performansı deneysel olarak incelenmiştir. Kurutma sistemine iki adet zeolit yatak entegre edilmiş olup, kullanılan zeolit Z10-01 tipinde sentetik zeolit 13X ile doldurulmuştur. Adsorpsiyon işlemi 19-21 oC ortam sıcaklığında kapalı çevrim olarak gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon işlemi sonucunda zeolitlerin kurutma ve nem alma performansı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zeolit, Adsorpsiyon, Desorpsiyon, Kurutma, Nem Alma

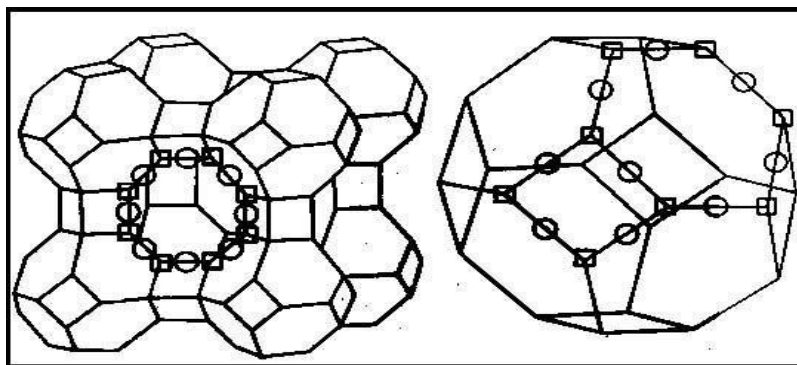
ABSTRACT

The understanding of the moisture retention properties of the zeolite in the molecular structure has significantly increased the usability of drying and dehumidifying processes. In recent years, the use of zeolites in drying systems has reduced the investment cost of both drying systems and provided an efficient drying performance. Adsorption performance of zeolite beds in a drying system with zeolite drying beds have been experimentally investigated. Two zeolite beds were integrated into the drying system and the zeolite Z10-01 type synthetic zeolite 13X was used. The adsorption process was carried out as a closed loop at 19-21 oC ambient temperature. As a result of adsorption processes zeolite drying and dehumidification performance is obtained.

Keywords: Zeolite, Adsorption, Desorption, Drying, Dehumidification

1. GİRİŞ

Zeolitler, içinde sınırlı da olsa tersinir iyon değişimine ve hidratasyona izin veren alkali ve/veya toprak alkali kanyonlarla, su moleküllerinin bulunduğu gözenekleri barındıran, üç boyutlu bir ağ örgüsüne sahip, aluminosilikat olarak tanımlanmaktadır (URL-3). Silis ve alüminyum atomları ortak oksijen atomu sayesinde birbirine tetrahedral olarak bağlanmışlardır (URL-2). Şekil 1 'de zeolit tetrahedral bağlantısı yapıları görülmektedir.



Şekil 1. Zeolit tetrahedral olarak birbirine bağlanması (URL-4)

Yapay zeolitler ve doğal zeolitler olmak üzere 200' den fazla zeolit çeşidi bulunmaktadır. Yapay zeolitler katalizör, adsorban ve iyon değiştirici olarak kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. A, X ve Y tipi zeolitler ticari olarak hem kullanım hem de üretim açısından en önemli yapay zeolitlerdir.

Doğal zeolitlerin endüstriyel kullanım alanları henüz yapay zeolitler kadar gelişmiş olmamakla birlikte çimento katkı maddesi olarak inşaat sanayinde, katkı maddesi olarak kâğıt sanayinde, toprak düzenleyici ve gübre katkı maddesi olarak tarımda geniş kullanım alanına sahiptirler. Ayrıca doğal zeolitler atık suların arıtılmasında, havanın oksijen ve azotunun ayrılmasında, asit gazların kurutulması ve arıtılmasında kullanılmaktadır (Yucel ve Çulfaz, 1984).

Zeolitlerin genel kimyasal formülleri aşağıda gösterildiği gibidir;

$$(M^+, M^{++})_x [(Aly Six-y)_x O_2x]. nH_2O \quad (1)$$

Burada M^+ genellikle Na, K, Li, M^{++} ise genellikle Ca, Mg, Fe, Ba, Sr^+ dır. Zeolit kristalinin en küçük yapı birimi SiO_4 ya da Al_2O_3 dörtyüzlüsüdür. Bu dörtyüzlülerin değişik şekilde uzayda birleşmelerinden zeolitin gözenek ve kanalları içeren kristal yapısı meydana gelir (Othmer ve Mark, 1978). Zeolit malzemesinin kurutma teknolojisinde kullanılmasıyla ilgili literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Hauer ve Fischer (2010), açık bir adsorpsiyon sisteminde zeolit-su ikilisini kullanarak bulaşık makinesinin kurutma esnasındaki enerji tüketimini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda %25 daha az enerji sarfıyatı elde etmişlerdir. Yıldırım ve ark. (2011), çift ve tek yatağa sahip adsorpsiyonlu bir chillerde, silikajel-su, metanol- aktif karbon, aktif karbon-amonyak ve zeolit-su ikililerini kullanmışlardır. Zeolit-su ikilisinin diğerlerine göre adsorplama işlemini daha düşük basınçta gerçekleştirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Akay ve Balci (2013), tekstil kurutma işleminde, açık çevrim bir adsorpsiyon kurutma tasarlayarak bu sistemin elektrik tüketimini geleneksel kurutma sisteminin elektrik tüketimi ile deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Tasarladıkları açık çevrim kurutma sisteminde sentetik zeolit yatak kullanmışlardır. Akay ve ark. (2013), kapalı çevrim bir tekstil kurutma sistemi tasarlayarak, tasarladıkları kurutma sisteminde sentetik zeolit yatak kullanmışlardır. Bu tasarladıkları kurutma sisteminin elektrik tüketimini deneysel olarak incelemişlerdir. Solmuş ve Yıldırım (2014), adsorpsiyonlu bir soğutma sisteminin çalışma performansını farklı adsorban-adsorplanan çiftleri için çeşitli adsorpsiyon, evaporatör, desorpsiyon ve kondenser sıcaklıkları için sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, adsorban-adsorplanan çalışma ikilileri arasında, silikajel-su çalışma çiftinin performans açısından en iyi verileri verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmada sentetik zeolit 13X ile hazırlanmış kurutma yatakları kullanılarak kurutma sisteminin kurutma performansı ve enerji tüketimi deneysel olarak incelenmiştir.

1.1. Zeolit 13X

Zeolit 13X (Şekil 2), sodyum yapısında X türü bir kristaldir ve geniş gözeneklere sahiptir. 13X, $9\text{\AA}$ ' dan daha küçük molekülleri adsorplar ve daha büyük molekülleri dışarıda bırakır (URL-1). CO_2 ve nem tutar. Zeolit13X, temizleme havası ile hava kurutucuların içinde yenilenir. Zeolit 13X in gözeneklerinin yeniden aktif olabilmesi için desorpsiyon sıcaklığı en az $200\text{ }^\circ\text{C} - 300\text{ }^\circ\text{C}$ ' de olması gerekmektedir. 13X, $-100\text{ }^\circ\text{C}$ ' nin altındaki çığ noktalarında da kullanılabilir (URL-1).



Şekil 2. Yapay zeolit 13X

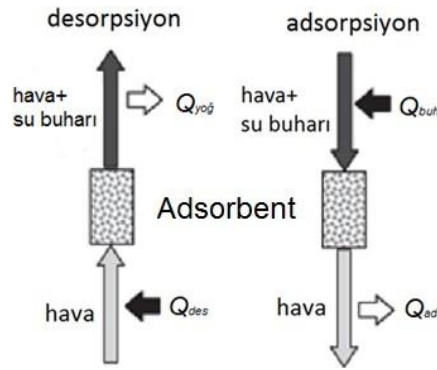
1.2. Kurutma

Kurutma işlemi için uygun kurutucu sistemini seçimi, birçok parametrenin dikkate alınmasını gerektiren bir işlemdir. Kurutulacak malzemenin özellikleri, kurutma sıcaklığı ve hızı, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile malzeme arasındaki hidrodinamik koşullar kurutucu seçiminde önemli parametrelerdir. Seçim sırasında teknolojik gereksinimler, ekonomik çalışma ve elde edilen ürünün kalitesi de önemli parametreler olarak ele alınmalıdır. Kurutucu seçiminde ilk olarak kurutulacak malzemenin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinetik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri belirlenmelidir.

Kurutma işlemleri, kurutma sistemlerine göre açık, kapalı ya da yarı açık-kapalı çevrimler ile gerçekleştirilmektedir. Kurutma işleminde dışarıdan hava alarak sistem tamamlanıyorsa, sistem açık çevrim olarak adlandırılmaktadır. Eğer sistemin hava çevrimi dışarıdan hava almadan çevrimi gerçekleştiriyorsa sistem kapalı çevrim olarak adlandırılmaktadır. Farklı oranlarda dış ve iç hava çevrimi ile çalışan yarı açık ya da yarı kapalı sistemler olarak da adlandırılabilir. Desikant (nemçeker) malzemelerin kullanıldığı kurutucular bir kurutma prosesini gerçekleştirmekten ziyade daha çok çeşitli materyallerin nemden etkilenmemesi için ortam havasındaki nemi gideren kurutma cihazlarında kullanılmaktadır.

1.3. Adsorpsiyon Sistemleri

Adsorpsiyon sistemleri, geleneksel ısı pompaları ve enerji depolama sistemlerine alternatif olabilecek özelliklere sahiptir. Açık adsorpsiyon sistemleri, çevreyle bağlantılı açık döngü şeklinde çalışırlar. Bu yüzden su adsorbat olarak kullanılır. Neme doymuş yatak içine verilen sıcak hava akımı (200-300 °C), yatağın bünyesinde tuttuğu nemi yataktan uzaklaştırır (desorpsiyon). Desorbe edilmiş yatağa gönderilen nemli hava, bünyesindeki nemi yatak içine bırakır (Şekil 3). Gaz fazında giren nem yatak yüzeyinde tutulurken ortama ısı verir (Adsorpsiyon). Isı depolamada uygulanan adsorpsiyon sistemleri; ısıtmada yüksek COP değerleri ve nem alma performansı ile “Birincil Enerji” kaynaklarından tüketilen enerjiyi düşürür. Adsorpsiyon sistemleri ısıtma, nem alma ve ısı depolama sistemleri ile kombine edilirse verimli hale gelir.



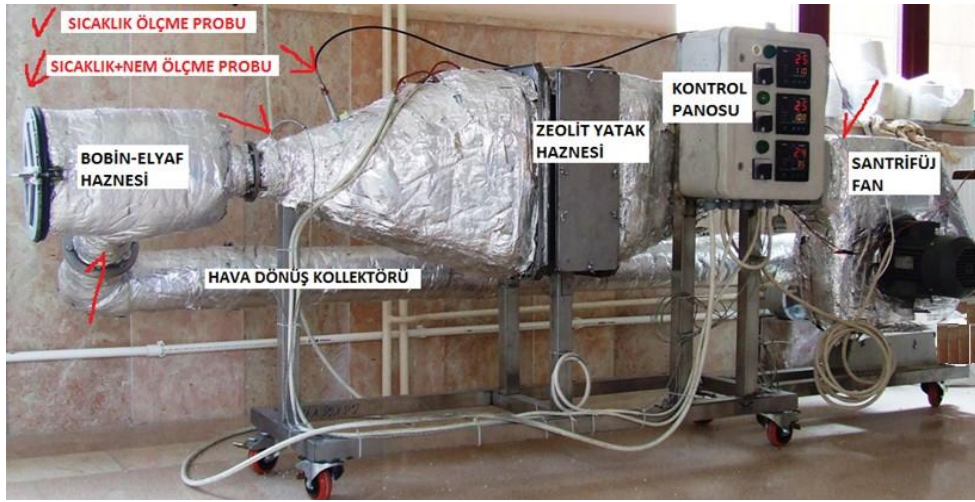
Şekil 3. Adsorpsiyon-desorpsiyon süreçlerinde kütle ve enerji akışı

Isıtma uygulamalarında Sorpsiyon sistemi ısıtma tahrikli bir ısı pompası gibi çalışır. Desorpsiyon için harcanan enerji Q_{des} sistemin tahrik gücü gibi düşünülebilir. Bununla birlikte yoğuşma Q_{kond} ve adsorpsiyon Q_{ads} enerjileri ısıtma amaçlı kullanılabilir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Kurutma Sistemin ve Zeolit Yataklar

Çalışmada ana test düzeneği olarak, iplik bobin kurutma çalışmaları için tasarlanmış olan bir kurutma deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 4). Zeolit yatakların giriş ve çıkışlarında sıcaklık-nem ölçer problemleri, ana problemlerin sıcaklık değerlerinin doğruluğunu mukayese etmek amacıyla santrifüj fan, elektrikli ısıtıcı ve numune kurutma haznesi çıkışında toplam üç adet Pt- 100 sıcaklık ölçer prob ve taze hava giriş, egzoz çıkış klapelerine sahip hava sirkülasyon hattı bulunmaktadır. Isıtma rezistansı çıkışındaki Pt-100'den aldığı sinyal doğrultusunda çalışmaktadır. Kurutma numunesi olarak ıslak triko kullanılmıştır. Kurutma deneylerinde sistem kapalı çevrim çalıştırılmıştır.



Şekil 4. Tek iplik bobini kapasiteli kurutma deney düzeneği

Kullanılan sentetik zeolitler Z10-01 tipinde olup kullanılan granül çapı 2.5-5 mm aralığında homojen olarak karıştırılmıştır. İki zeolit yatak haznesi de 316 kalite paslanmaz çelikten imal edilmiştir (yatak 1 ve 2). Yatak 1 ve 2'nin kasaları sırasıyla; 1681 ve 1684 g olup, yine sırasıyla 4549 ve 4758 g zeolit içermektedirler. Yatakların hava geçiş yüzeyleri tel hasır ile kapatılmıştır. Yataklar kaset formunda yapılmış olup rahatlıkla sökülüp takılabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Zeolit kasetlerin deney düzeneğine yerleşim şekli

2.2 Adsorpsiyon-Desorpsiyon Süreçleri

Kurutma prosesinde nem alma ve kurutma havasını ısıtma işlemi zeolit yataklar ile yapılmıştır. Bunun için önce kurutma fırını 200 °C sıcaklığa ulaşana kadar ısıtılmış ve daha yataklar fırına yerleştirilerek sabit sıcaklıkta 145 dakika desorpsiyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Desorpsiyon işlemi sırasında darası alınmış fırın ağırlığı 5 dakika aralıklarla kayıt altına alınmıştır. Zeolit yataklar kapalı fırın içinde bekletilerek sıcaklıklarının ortam sıcaklığına düşmesi beklenmiştir. Soğuma başlangıcı ve sonrasında zeolit yatakların ağırlıkları ölçülerek nem çekip çekmedikleri kontrol edilmiştir. Sonrasında zeolit yataklar kurutma düzeneğine yerleştirilmiştir. Adsorpsiyon işlemi 19-21 °C ortam sıcaklığında kapalı çevrim olarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma sisteminde iki defa kurutma işlemi gerçekleştirilerek kurutma öncesi ve sonrası zeolit yatak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır.

2.2.1 Hesaplamalar

Adsorpsiyon sonucu ortaya çıkan toplam adsorpsiyon enerjisi ΔH_d , sıcaklığın fonksiyonu olarak su için buharlaşma gizli ısı $L(T)$ ve zeolit yatak içindeki su içeriğinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farkı ΔC ($\text{kgH}_2\text{O/kg sorb}$) veren denklemler aşağıda verilmiştir (Hauer ve Fischer, 2010);

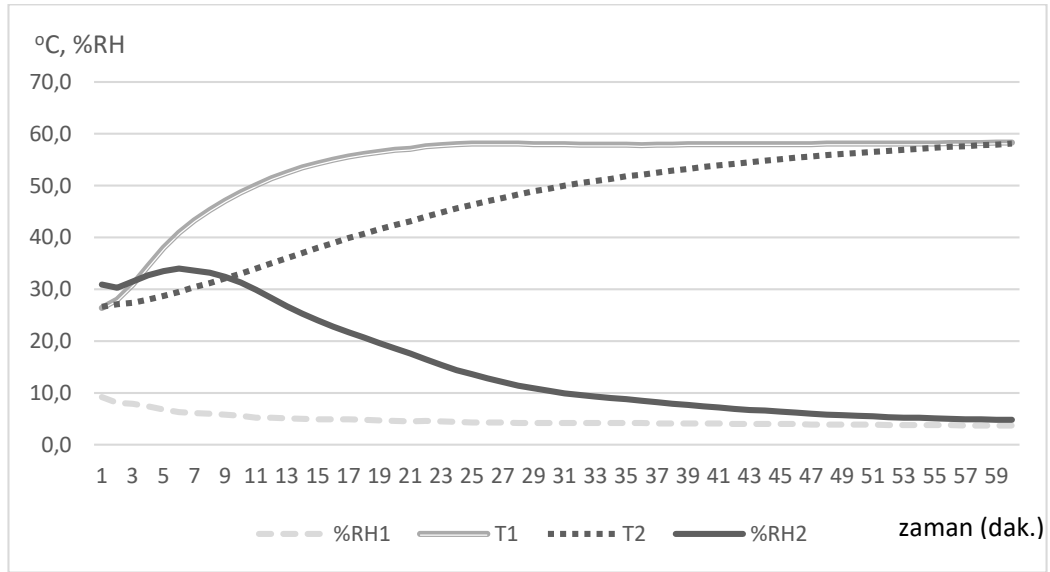
$$\Delta H_{ads} = L(T) + H_{bind} \quad (2)$$

$$L(T) = 3171,2 - 2,44425 \times T \text{ (Kelvin)} \quad (3)$$

$$\Delta C = C_{ads} - C_{des} \quad (4)$$

3. BULGULAR

Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen hava sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri ile oluşturulmuş grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 6). Grafikte T1 değeri çıkış sıcaklığı ve T2 değerleri giriş sıcaklığını, %RH1 giriş bağıl nem değerini ve %RH2' de giriş bağıl nem değerini ifade etmektedir.



Şekil 6. Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Bu grafikte giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin kurutma süresi ilerledikçe birbirlerine doğru yaklaştıkları görülmektedir. Grafikteki giriş-çıkış sıcaklık ve bağıl nem eğrileri kurutma sonunda üst üste çakışarak kurutma prosesinin sonlandığını göstermektedir. Sistem içindeki hava sirkülasyonunun devam ettirilmesi durumunda kurutulan materyal bünyesinde nem kalmadığı için adsorpsiyon enerjisi ortaya çıkmayacak ve sıcaklık yavaş yavaş düşecektir, bağıl nem değerleri ise en son erişilen seviyede kalacaktır. Bu çalışma ile yapay zeolit adsorpsiyon performansı incelenmiştir. Tablo 1'de kurutma öncesi ve sonrası zeolit yatakların ağırlıkları görülmektedir.

Tablo 1. Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları

		Deney No	Kurutma Öncesi	Kurutma Sonrası	Fark
1	Zeolit Yatak 1 ağırlığı (g)	Deney 1	6140	6495	355
		Deney 2	5980	6345	365
2	Zeolit Yatak Yatak 2 ağırlığı (g)	Deney 1	6050	6460	410
		Deney 2	6035	6455	420
3	Zeolit yataklarda tutulan su miktarı (g)	Deney 1		765	10
		Deney 2		785	6
4	Adsorpsiyon enerjisi ΔH_{ads} (kJ)			2481,66	
	Adsorpsiyon enerjisi (kWh)			0,689	

Tablo 1’ de görüldüğü gibi 1 ve 2 numaralı zeolit yatakların adsorpsiyon işlemi öncesindeki ve sonrasındaki ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. İlk kurutma deneyinde iki zeolit yatak ile kurutma numunesinden adsorplanan su miktarı 765 g, ikinci kurutma deneyinde iki zeolit yatak ile kurutma numunesinden adsorplanan su miktarı 785 g olarak elde edilmiştir. Tablo 2’ de yataklarda kullanılan zeolit miktarı ile ortalama adsorplanan su miktarı verilmiştir.

Tablo 2. Yataklarda kullanılan zeolit miktarı ile ortalama adsorplanan su miktarı

	Yataklardaki Zeolit Miktarı (g)	Adsorplanan Su miktarı (g) (ortalama)
Yatak 1	4549	360
Yatak 2	4758	415
Toplam	9307	775

4. SONUÇLAR

Deneyleri yapılan iki kurutma işleminde de zeolit yataklardaki toplam zeolit miktarı 9307 g’ dır. Teorik olarak 775 g suyu kurutma numunesinden uzaklaştırmak için 0.51 kW enerjiye ihtiyaç vardır. Zeolitin kurutma sisteminde kullanılması teorik olarak 0.689 kWh ‘lık bir kurutma enerjisi ortaya çıkarmaktadır. Bu enerji de 775 g ‘lık suyun kurutma numunesinden uzaklaştırması için yeterli olup, kurutma için ısıtıcılar devreye girmeden kurutma prosesi etkili bir şekilde yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akay, O. ve Balcı, O., Determining of Energy Consumption Performance of Experimental Open Loop Adsorption System for Textile Drying Processes, 6th Texteh International Conference, Bucharest, Romania, October 17-18, 2013
- Akay, O., Balcı, O., Karaokur, İ., Akman, İ., Investigation Of Experimental Closed Loop Adsorption System For Textile Drying Processes, 13th Autex World Textile Conference, May 22nd to 24th 2013, Dresden, Germany
- Hauer, A. and Fischer, F., Open Adsorption System for an Energy Efficient Dishwasher, Forschungsarbeit, Chemie Ingenieur Technik 2011, 83, No. 1–2, 61–66, Weinheim.
- Solmuş, İ., Yıldırım, C., Adsorpsiyonlu Bir Soğutma Sisteminin Performansının Farklı Çalışma Çiftleri İçin Teorik Analizi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34, 2, 29-37, (2014)
- Othmer, D.F. and Mark, H.F., 1978, Encyclopedia of Chemical Technology, A. Wiley, Interscience Publication, ISBN: 978-0- 471-48496-7, America, 1084s.
- Yücel, H. ve Çulfaz, A., Doğal Ve Yapay Zeolitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları, ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi Eki, 3, 10, 1-20, (1984)

Yıldırım, Z., E., İliş, G., G., Mobedi, M., Ülkü, S., Adsorpsiyonlu Chillerlerde Kullanılabilecek Adsorbent-Adsorbat Çiftlerinin Özellikleri ve Çevrim Performanslarının İncelenmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu, 1143-1158, (2011)

URL-1 : Alumina, Damla Kimya, (Erişim Tarihi: 14.03.2017) www.damlakimya.com/urunler/DES%C4%B0KANTLAR/Molek%C3%BCler%20Sieve

URL-2 : What are zeolites?, Zeolyst International, (Erişim Tarihi: 08.11.2017) <http://zeolyst.com/faqs.aspx>

URL-3 : Zeolit nedir ?, Ürgüç Tarım, Madencilik LTD. ŞTİ., (Erişim tarihi : 10.11.2017) www.zeolite.info.tr.tc.

URL-4 : Zeolit structure, Wikipedia Commons, (Erişim Tarihi: 10.11.2017) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeolit-struktura.jpg>