



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEOLİT KURUTMA YATAKLARINA SAHİP
LABORATUVAR ÖLÇEKLİ BİR KURUTMA
SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

ÖZGÜR SAMET GİZLENCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEOLİT KURUTMA YATAKLARINA SAHİP
LABORATUVAR ÖLÇEKLİ BİR KURUTMA
SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

ÖZGÜR SAMET GİZLENCİ

**Bu tez,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.**

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Özgür Samet GİZLENCİ tarafından hazırlanan “ZEOLİT KURUTMA YATAKLARINA SAHİP LABORATUVAR ÖLÇEKLİ BİR KURUTMA SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 02/11/2018 tarihinde oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Orhan Erdal AKAY(DANIŞMAN)

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ, KSU

Doç. Dr. Muharrem İMAL (ÜYE)

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ, KSU

Dr. Öğr. Üyesi Onur ÖZSOLAK (ÜYE)

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ, CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Özgür Samet GİZLENCİ

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**ZEOLİT KURUTMA YATAKLARINA SAHİP LABORATUVAR ÖLÇEKLİ BİR
KURUTMA SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DENEYSSEL OLARAK
İNCELENMESİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

Özgür Samet GİZLENCİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, hem elektrikli ısıtma sistemine hem de zeolit kurutma yataklarına sahip laboratuvar ölçekli bir kurutma sisteminin, çeşitli kurutma senaryolarında seçilen parametreler üzerinden kurutma performansı incelenmiştir. Bu senaryolar, açık çevrim ile elektrik, elektrik+zeolit ve kapalı çevrim zeolit ile kurutma senaryolarıdır. İki adet zeolit yatak kurutma sistemine entegre edilmiş olup, sentetik zeolit ile doldurulmuştur. Kurutma deneylerinde tekstil ürünü triko kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar, zeolit yatakların tek başlarına kullanıldıklarında kurutma prosesini gerçekleştirebileceklerini göstermiştir. Yataklar için harcanan desorpsiyon enerjisinin herhangi bir proste kullanılabilmesi durumunda enerji bilançosunu proses şartlarına göre iyileştirebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıtma, zeolit, açık çevrim, kapalı çevrim, desorpsiyon, kurutma

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ekim / 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Orhan Erdal AKAY
Sayfa Sayısı: 59

**A NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFUSION FLOW
AND PRESSURE REDUCTION OF PERFORETED CUTTING CONE PROFILE
DIFFUSER DESIGNED FOR EMPTY CELLS IN AIR HANDLING UNITS**

(M.Sc. THESIS)

Özgür Samet GİZLENCİ

ABSTRACT

In this thesis the drying performance of a laboratory scale drying system with both electric heating system and zeolite drying beds has been investigated in selected drying scenarios. These scenarios are electricity with open-cycle, electricity + zeolite and drying with closed-cycle zeolite scenarios. Two zeolite beds have been integrated in the drying system and filled with synthetic zeolite. Textile product knitwear has been used in drying experiments. Experimental studies have shown that zeolite beds can perform the drying process when used alone. It has been determined that the desorption energy spent for drying beds can improve the energy balance according to process condition.

Keywords: Heating, zeolite, open cycle, closed cycle, desorption, drying

University of Kahramanmaras Sutcu Imam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering, October / 2018

Supervisor: Assistant Professor Orhan Erdal AKAY
Number of Pages: 59

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım sırasında beni destekleyen, bilgi ve tecrubesini esirgemeyerek bana yol gösteren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Orhan Erdal AKAY'a, tezin düzenlenmesinde destek veren Kerim SÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Özgür Samet GİZLENCİ

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | viii |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Kurutma | 1 |
| 1.2. Adsorpsiyon sistemleri | 2 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 4 |
| 3. GENEL BİLGİLER | 7 |
| 3.1. Zeolitlerin Tanımı ve Çeşitleri | 7 |
| 3.1.1. Doğal zeolitler | 8 |
| 3.1.2. Yapay zeolitler | 8 |
| 3.1.3. Zeolitlerin kimyasal bileşimi ve yapısı | 13 |
| 3.1.4. Zeolitlerin fiziksel yapısı | 13 |
| 3.1.5. Zeolitlerin kullanım alanları | 14 |
| 3.2. Adsorpsiyon | 14 |
| 3.2.1. Adsorpsiyon çeşitleri | 15 |
| 3.3. Kurutma Yöntemleri ve Kurutma Tipleri | 17 |
| 3.3.1. Kontakt kurutma | 17 |
| 3.3.2. Konvektif kurutma | 18 |
| 3.3.3. Işınım ile kurutma | 18 |
| 3.3.4. Dielektrik kurutma | 18 |
| 3.3.5. Donmalı kurutma | 18 |
| 3.3.6. Ozmotik kurutma | 19 |
| 3.3.7. Kabin tipi kurutucular | 19 |
| 3.3.8. Tünel tipi kurutucular | 20 |
| 3.3.9. Konveyör tipi kurutucular | 22 |
| 3.3.10. Akışkan yatak kurutucular | 22 |
| 3.3.11. Diğer kurutma sistemleri | 23 |
| 4. MATERYAL ve METOT | 24 |
| 4.1. Materyal | 24 |
| 4.2. Metot | 29 |
| 4.2.1. Kurutma materyalinin hazırlanması | 29 |
| 4.2.2. Kurutma deney planları | 29 |
| 4.2.3. Zeolit yatakların desorpsiyonu | 30 |
| 4.2.4. Hesaplamalar | 30 |
| 5. BULGULAR ve TARTIŞMA | 31 |
| 5.1. Teorik Hesaplamalar | 31 |

| | |
|--|----|
| 5.2. Deneysel Çalışmalar | 32 |
| 5.2.1. Elektrikle kurutma (açık çevrim) | 32 |
| 5.2.2. Elektrik+Zeolit yatakla kurutma (açık çevrim) | 33 |
| 5.2.3. Zeolit yatakla (kapalı çevrim)..... | 35 |
| 6. SONUÇLAR..... | 38 |
| KAYNAKLAR..... | 40 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 59 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Adsorpsiyon-desorpsiyon süreçlerinde kütle ve enerji akışı | 2 |
| Şekil 3.1. Zeolitin tetrahedral olarak birbirine bağlanması [15]..... | 7 |
| Şekil 3.2. Zeolit A' nın genel ve birim hücre yapısı [21] | 9 |
| Şekil 3.3. Zeolit Y' nin yapısı ve genel formülü [22] | 10 |
| Şekil 3.4. Zeolit X' in genel yapısı [23]..... | 11 |
| Şekil 3.5. Yapay zeolit 13X..... | 11 |
| Şekil 3.6. Zeolit ZMS -5' in kesiti [25] | 12 |
| Şekil 3.7. Zeolit ZMS-11' in kesiti [27] | 12 |
| Şekil 3.8. Zeolit ZSM-57' nin kesiti [27] | 13 |
| Şekil 3.9. Zeolit iskelet oluşumu [30]..... | 13 |
| Şekil 3.10 Adsorpsiyon oluşumu | 14 |
| Şekil 3.11. Fiziksel adsorpsiyon ve kemisorpsiyon için potansiyel enerji eğrisi | 15 |
| Şekil 3.12. Fiziksel adsorpsiyon..... | 15 |
| Şekil 3.13. Kimyasal adsorpsiyon..... | 16 |
| Şekil 3.14. Konvektif kurutma | 18 |
| Şekil 3.15. Dondurarak kurutma sistemi..... | 19 |
| Şekil 3.16. Ozmotik basınç farkına bağlı su hareketi [40]..... | 19 |
| Şekil 3.17. Kabin kurutucu..... | 20 |
| Şekil 3.18. Zıt akış tünel kurutucu | 21 |
| Şekil 3.19. İki kademeli kurutma tüneli: Birinci kademe paralel, İkinci kademe zıt akış .. | 21 |
| Şekil 3.20. İki aşamalı konveyör kurutucu | 22 |
| Şekil 3.21. Akışkan yatak kurutucu | 23 |
| Şekil 3.22. Akışkan yatak kurutucu..... | 23 |
| Şekil 4.1 Tek iplik bobini kapasiteli kurutma deney düzeneği | 24 |
| Şekil 4.2 Kurutma sisteminin üstten görünüşü..... | 25 |
| Şekil 4.3 Sıcaklık-nem ölçer prob ve transmitter | 25 |
| Şekil 4.4 Transmitterler ve veri kaydedici (data logger)..... | 26 |
| Şekil 4.5 Isıtma ve sıcaklık kontrol sisteminin ana elemanları | 26 |
| Şekil 4.6. Zeolit kasetlerin deney düzeneğine yerleşim şekli..... | 27 |
| Şekil 4.7 Kurutma numunesi triko ve numune kurutma haznesi..... | 27 |
| Şekil 4.8 Kurutma fırını | 28 |
| Şekil 4.9 a) Hassas terazi ve b) elektrik sayacı..... | 28 |
| Şekil 5.1. Toplam adsorpsiyon ısısı ve adsorpsiyon öncesi adsorbent (sorbent) içindeki su miktarı arasındaki ilişki..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.2. Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri | 32 |
| Şekil 5.3. Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri | 34 |
| Şekil 5.4. Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri | 36 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|------------------------|
| Çizelge 3.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasında temel karşılaştırma kriterleri | 16 |
| Çizelge 4.1. Kurutma deney planları | 30 |
| Çizelge 5.1. Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları..... | 33 |
| Çizelge 5.2. Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları..... | 35 |
| Çizelge 5.3. Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları..... | 37 |
| Çizelge 6.1. Kurutma senaryolarının karşılaştırılması..... | 38 |



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Å :Angström (10^{-10} m)

nm : Nanometre (10^{-9} m)

Kısaltmalar

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece

$^{\circ}\text{F}$: Fahrenheit derece

Al : Alüminyum elementi

Al_2O_3 : Alüminyum oksit

AlO_4 : Aluminat

Ba : Baryum

CO_2 : Karbondioksit

Cs : Sezyum

Cu : Bakır

DaLi08 : Data Acquisition and Logging Interface

FAU : Fajosit (Zeolit Y ve Zeolit X)

Fe : Demir

Fm-3c : Zeolit A' nın yapısı

g : Gram

H : Hidrojen

h : saat

H_2O : Su

K : Potasyum

Klino : Klinoptilolit zeolit

kW : Kilowatt

Li : Lityum

lt : Litre

LTA : Linde Type A (Zeolit A)

| | |
|------------------------|---|
| m | : metre |
| M+ | : Sodyum, Potasyum, Lityum elementlerini ifade eder |
| M++ | : Kalsiyum, Magnezyum, Demir, Baryum, Stronsiyum elementlerini ifade eder |
| MFI | : Mobil Five (Zeolit ZMS) |
| Mg | : Magnezyum |
| Na | : Sodyum |
| O | : Oksijen elementi |
| Pb | : Kurşun |
| Si | : Silisyum elementi |
| SiO₄ | : Silikat |
| Sr | : Stronsiyum |
| UDL | : Universal data link |

1.GİRİŞ

1.1. Kurutma

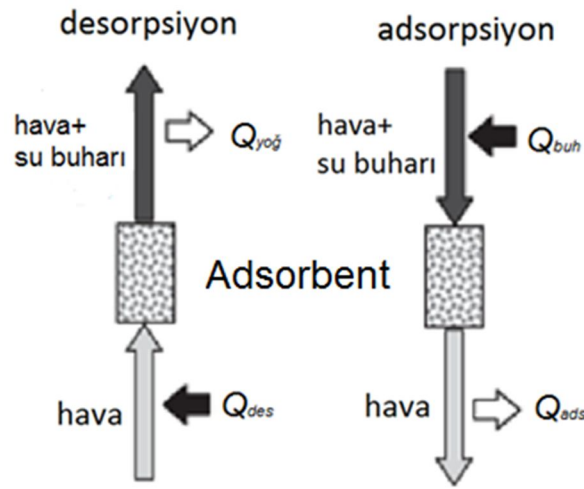
Dünya genelinde sanayi tipi kurutma işlemi 18. yüzyılda dönemin savaşları nedeniyle sebzelerin kurutulması amacıyla başlamıştır. Bu dönemde kullanılan kurutma yöntemleri, teknolojiye paralel olarak gelişmiştir. İlerleyen yıllarda kurutma prosesleri gıdalarla sınırlı kalmamış birçok endüstriyel prosesin içinde yer almıştır. Güneş enerjili kurutucular, fırın kurutucular, tünel kurutucular, püskürtmeli kurutucular, tepsili kurutucular, silindirik kurutucular, mikrodalga, kızılötesi (infrared) kurutucular, basınçlı kurutucular ve daha birçok kurutma sistemi günümüzde kullanılan kurutuculara örnek gösterilebilir [1]. Artan talebe oranla, enerji arzındaki azalma ve çevresel faktörler kurutma teknolojilerinde enerji verimliliği konusunu öne çıkarmış ve bu alanda yapılan çalışmaların artmasına neden olmuştur. Kurutma işlemi, katı malzemenin sahip olduğu kimyasal bağ içermeyen nemi (su buharı) uzaklaştırmak için kullanılan bir metottur. Kurutma işleminde kurutulacak malzeme üzerine ısı enerjisi aktarılarak malzemenin içerdiği suyun buharlaşması için gerekli olan buharlaşma ısısı sağlanır. Bu ısı aktarımı sonucunda buharlaşan su, madde yüzeyinden kurutucu hava içinde uzaklaşır. Böylece malzemenin kuruması sağlanır.

Kurutma işlemi için uygun kurutucu sisteminin 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.

1.2. 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 (150-300 °C), yatağın bünyesinde tuttuğu nemi yataktan uzaklaştırır (desorpsiyon). Desorbe edilmiş yatağa gönderilen nemli hava, bünyesindeki nemi yatak içine bırakır (Şekil 1.1). Gaz fazında giren nem yatak yüzeyinde tutulurken ortama ısı verir (Adsorpsiyon). Isı depolamada uygulanan adsorpsiyon sistemleri; ısıtmada yüksek COP (Coefficient of Performance – Performans Katsayısı) 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 1.1. Adsorpsiyon-desorpsiyon süreçlerinde kütle ve enerji akışı

Isıtma uygulamalarında Sorpsiyon sistemi ısıl 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. Adsorpsiyon prosesinde kullanılan havanın nemi düşük ise, evaporasyon için gereken enerji Q_{evap} düşük sıcaklıktaki atık enerji ile yapılabilir. Örneğin; gaz yakıt ile tahrik edilen bir ısı pompası güneş kollektörü ile birlikte çalıştırılabilir.

Adsorpsiyon esnasında yatak içinden geçen hava içindeki nem yatak içinde tutularak hava kurutulur. Kuru havadan çeşitli kurutma prosesleri için yararlanılabilir. Kurutma sistemleri; sıcak ve kuru hava, üreten açık çevrimli Adsorpsiyon sistemine entegre edilerek geliştirilebilir. Termal enerji depolama (TES – Thermal Energy Storage) Desorpsiyon prosesi şarj ile Adsorpsiyondeşarj proseslerini ayırarak gerçekleştirilebilir.

Bu tez çalışmasında hem konvansiyonel elektrikli ısıtma sistemine sahip hem de nem çekebilen zeolit yataklara sahip deneysel bir kurutma sistemi kullanılmıştır. Sistem tam açık ya da tam kapalı çevrimle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Yataklarda Zeolit Z10_01 13X tipinde sentetik zeolit kullanılmış olup, 2.5-5 mm çap aralığında küresel granüllerden oluşmuştur. Tez metninde Z1_01 13X yapay zeolit kısaca “zeolit” olarak ifade edilecektir. EK - A ‘da yapay zeolit 13X’in özellikleri verilmiştir. Deneysel kurutma sisteminin nem ölçme problemlerinin maksimum 120 °C’ de çalışabilmeleri ve aynı zamanda homojen yapısı nedeniyle, nispeten düşük kurutma sıcaklığına sahip tekstil ürünü triko kurutma denemeleri için kullanılmıştır. Kurutma düzeneğinde; sadece elektrikli ısıtıcı kullanarak, elektrikli ısıtıcı+zeolit yatağı birlikte kullanarak ve sadece zeolit yatak kullanılarak kurutma çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları ile enerji tüketim ve kurutma performansları karşılaştırılmıştır.

Çalışmada sentetik zeolitin desikant (sorbent) olarak seçilmesinin temel nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

- İnsan ve çevre için zararsızdır, toksik değildir,
- Yanıcı ve parlayıcı değildir,
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır, 700 °C’ nin üzeri ergime başlangıcıdır,
- Ortalama yoğunluğu 600 kg/m³ olup çok yoğun olmayan bir malzemedir,
- Çevresiyle stabildir ve kimyasal reaksiyona girmez,
- Suyu ya da su buharıyla karşılaştığında maksimum 4200 kJ/kg-su adsorpsiyon enerjisi verir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Pınarbaşı ve Ülkü (1989), adsorbentlerden yararlanarak enerji ekonomisi sağlanmasını amaçlamışlardır. Çalışmalarında; mısırı ve zeoliti tabakalar halinde kullanarak ve mısır ile zeoliti karıştırarak iki ayrı deneysel çalışmalarını yapıp zeolit/mısır oranını, hava hızı, zeolit tane çapı parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Gerçekleştirdikleri çalışmalar sonucunda, mısırın zeolite verdiği adsorpsiyon ısıyı yardımıyla kurutulmasının, ortam havası ile kurutulmasına göre %20-25 civarında avantaj sağladığını tespit etmişlerdir [2].

Sakızcı ve Yörükoğulları (2007), Gördes klinoptiloliti ve katyonik formlar kullanarak, bu formların zamana bağlı olarak 30 °C, 50 °C ve 80 °C sıcaklıklarındaki su tutma kapasitelerini incelemişlerdir. Kimyasal işleme uğrayan klinoptilolitin, doğal klinoptilolite göre kristal yapısındaki gözeneklerin düzgünlüğü ve sayısı artırılarak daha iyi bir adsorbent olduğu sonucuna ulaşmışlardır [3].

Akarşlan (2007), bir fan vasıtasıyla çevreden aldığı havayı kurutma düzeneğinin giriş kısmında bulunan ısıtıcıdan geçirerek havayı düzeneğin içine gönderen bir düzenek tasarlamış ve kumaşın kuruma karakteristiğini deneysel olarak incelemiştir. Sistemin içerisine giren sıcak hava, nemlendirilen kumaş üzerinden geçirilmiş ve böylece konveksiyonla kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir [4].

Bakır (2007), çam, kayın, kavak ve ceviz ağaçlarını laboratuvar ortamında, tepsili kurutucuda sabit hava hızı ve sıcaklıkta her bir ağaç türünde beş numune alınarak deneysel olarak kurutma çalışmıştır. Deneysel, nem kaybını, kuruma hızını, ısı ve kütle aktarım katsayılarının zamanla değişimini inceleyip, nem miktarının zamanla azaldığını elde etmiştir. Ayrıca, kurutma hızı, ısı ve kütle taşınım katsayılarının zamana ve nem miktarına bağlı olarak azaldığının sonucuna varmıştır [5].

Kaya (2008), kurutmada işleminde gerçekleşen ısı ve kütle transferini sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmasında kivi kullanarak, dikdörtgen, silindir ve küre geometrili numuneler hazırlayarak bu numunelerin kuruma karakteristiklerini hava hızı, havanın sıcaklığı ve kivin bağıl nemi açısından incelemiştir. Sonuç olarak kurutulan kivi için termo ekonomik analiz yapmıştır. 50 °C sıcaklık ve %25 bağıl nemdeki kurutma havasının en ekonomik kurutmayı sağladığının sonucuna varmıştır [6].

Kaya ve Aydın (2008), Sorpsiyon eğrisi, denge nem içeriği ile denge bağıl nem arasındaki ilişki olarak tanımlayıp deneysel olarak çalışmışlardır. Bir konvektif kurutucuda kızılıcığın 30 °C, 40 °C ve 50 °C sıcaklıklarında sorpsiyon eğrisini belirleyerek üç farklı ince tabakalı kurutma modeline (Lewis, Henderson ve Pabis ve iki terimli eksponansiyel) yerleştirmişlerdir. Kurutma havası sıcaklığının 30 °C den 50 °C ye çıkarılması ile toplam kuruma süresinin %34 azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, ince ve tabakalı kurutma modellerinden iki terimli eksponansiyel, Henderson ve Pabis modellerinin deneysel sonuçlara en uygun korelasyon sunduğunu göstermişlerdir [7].

Uçak (2010), kullanılan materyal olarak polyester-viskon, keten ve keten-polyester-viskon karışımlarının harmanlanmasıyla elde edilen 17 kumaş üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Ramöz-1 de 50Hz ile 35Hz arasında ve Ramöz-2 de 45 Hz ile 28 Hz arasındaki deneylerde hiçbir kalite ve üretim kaybı olmadığı, havanın debiyle doğru orantılı olarak daha az yakıt kullanıldığı ve daha az enerji harcandığı belirlenmiştir [8].

Orhan ve Güngör (2011), adsorpsiyonlu su soğutucusunun temel özelliklerini ve prensiplerini ortaya koyarak yeni nesil enerji üretimi üzerine sayısal çalışma yapmışlardır. Bu tip sistemlere ait tasarım karakteristikleri ve mevcut tanımlar üzerinde durmuşlardır. Adsorpsiyonlu su soğutucu sistemi kullanılan bazı ticari uygulamaları incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, adsorpsiyonlu soğutucunun mevcut sistemlere göre daha verimli olduğu kanısına varmışlardır [9].

Bayhan (2011), iki farklı kabin tipi kurutucu kullanarak nane bitkisinin kuruma karakteristiğini deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, nem içeriğinin zamana göre değişimi, sıcaklığın artması ile kuruma süresinin azaldığını gözlemlemiştir. Farklı iki kabin tipi kurutucuda sabit hız ve sabit sıcaklıktaki nem miktarının zamana göre değişimi, ikinci deney setinin, birinci deney setine göre kuruma süresi ve nem miktarındaki azalma açısından daha iyi olduğunu gözlemlemiştir [10].

Yıldırım ve ark. (2011), çift ve tek yataklı adsorpsiyonlu chillerde, silikajel-su, aktif karbon-metanol, aktif karbon-amonyak ve zeolit-su çiftlerini kullanarak aralıklı çalışmayı önlemek ve soğutma çevriminin devamını sağlamak için deneysel çalışma yapmışlardır. Zeolit-su çiftinin diğerlerine göre adsorplama işlemini daha düşük basınçta gerçekleştirdiği sonucuna varmışlardır [11].

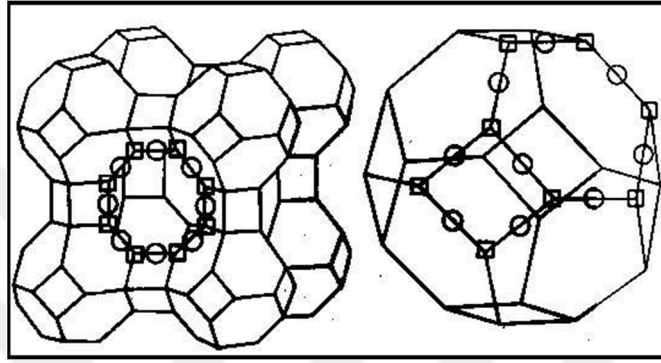
Solmuş ve Yıldırım (2014), adsorpsiyonlu bir soğutma sisteminin performansını farklı çalışma çiftleri için çeşitli adsorpsiyon, desorpsiyon, evaporatör ve kondenser sıcaklıklarında sayısal olarak çalışmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, adsorban-adsorplanan çalışma çiftleri arasında, silika jel-su çalışma çifti performans açısından en iyi verileri sağladığını elde etmişlerdir [12].

Bu tez çalışmasında literatürde rastlanan çalışmalardan farklı olarak, tek bobin kapasiteli kurutma düzeneği kullanılmıştır. Uygulanacak kurutma işlemi için kurutma malzemesi olarak hidrasyona uğramış silikatlardan olan zeolit kullanılmıştır. Kurutulacak malzeme olarak nemlendirilmiş tekstil ürünü triko seçilmiştir. Zeolit maddesi, iki adet zeolit yatağa sahip kurutma sistemine yerleştirilerek zeolitin kurutma işlemindeki enerji verimliliği üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Kurutma sisteminin enerji tüketimi ve zeolitin kurutma performansı karşılaştırılmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Zeolitlerin tanımı ve çeşitleri

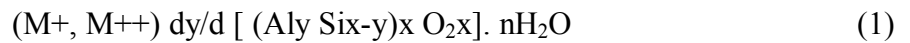
Zeolitler, içinde sınırlı da olsa tersinir iyon değişimine ve hidratasyona izin veren alkali ve/veya toprak alkali kationlarla, su moleküllerinin bulunduğu gözenekleri barındıran, üç boyutlu bir ağ örgüsüne sahip, aluminosilikat olarak tanımlanmaktadır [13]. Silis ve alüminyum atomları ortak oksijen atomu sayesinde birbirine tetrahedral olarak bağlanmışlardır [14]. Şekil 3.1 'de zeolitin tetrahedral bağlantısı yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1 Zeolitin tetrahedral olarak birbirine bağlanması [15]

Genel anlamıyla “Zeolit” olarak tanınan yapay ve doğal zeolitler mevcuttur. 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 [16]. Ayrıca doğal zeolitler atık suların arıtılmasında, havanın oksijen ve azotunun ayrılmasında, asit gazların kurutulması ve arıtılmasında kullanılmaktadır [16].

Zeolitlerin genel kimyasal formülleri aşağıda gösterildiği gibidir;



Burada M^+ genellikle Na, K, Li, M^{++} ise genellikle Ca, Mg, Fe, Ba, Sr' dir. 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 [17]. Zeolitler yapısı bakımından doğal zeolitler ve yapay zeolitler olarak iki başlık altında incelenmektedir.

3.1.1. Doğal zeolitler

Zeolit minerali ortam ve oluşma koşullarına göre çeşitlilik göstermektedir. Şimdiye kadar 40' dan fazla doğal zeolit minerali tespit edilmiştir. Kısaca “Klino” olarak da bilinen “Klinoptilolit” doğal zeolitleri dünyada rezerv miktarı en çok olan zeolit çeşididir ve fiziksel ve kimyasal özellikleri en iyi olan zeolitlerden bir tanesidir [18]. Zeolitlerin oluştukları yataklara göre altıya ayrılmaktadır.

- Suyu tuzlu (kapalı) göllerde volkanik malzemenin birikip göl suyu ile reaksiyonu sonucu oluşan yataklar.
- Tatlı veya tuzlu açık göllerde volkanik malzemenin birikip göl suyu ile kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan yataklar.
- Kıyıda veya derin denizel ortamda volkanik malzemenin birikip deniz suyu ile reaksiyonu sonucu oluşan yataklar.
- Düşük ısıli gömülme metamorfizması sonucunda, Al-Si'li sedimanter ya da volkanik malzemelerden oluşan zeolit yatakları.
- Hidrotermal ya da sıcak kaynak sularının Al-Si'li malzemeye etkisi sonucu, bu malzemenin bozulması sonucu oluşan yataklar.
- Genellikle 2. zaman tortulları arasında görülen ve orijinlerinin volkanik olup olmadığının belirlenemediği, denizsel veya gölsel ortamlarda oluşan zeolit yatakları.

3.1.2. Yapay zeolitler

Yapay zeolitler endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak doğal zeolitlerin rezerv olarak sınırlı olması nedeniyle, endüstride kullanmak amacıyla yaklaşık 150 tür zeolit laboratuvar ortamlarında yapay olarak elde edilmektedir. İyon değişimi, adsorblama, moleköl eleme, silisçe zengin kimyasal bileşim, kristal yapısı gibi özellikler doğal ve yapay zeolitlerin ortak özellikleridir. Doğal zeolitler spesifik özelliklerinin sınırlı olması, daha düşük etkin kafes odacığı ve daha düşük adsorplama kapasitelerine sahip oldukları için yapay zeolitlerle rekabet edememektedirler [19]. Ancak doğal zeolitler yapay zeolitlere göre maliyet açısından daha ucuz malzeme oldukları için birim malzeme değerinin düşük olduğu alanlarda kullanılmaktadırlar [19].

Yapay zeolit üreten şirketlerin ürettikleri zeolitlere farklı isimler vermeleri ve kısaltmalar koymaları zeolit terminolojisinin oldukça karmaşık olmasına yol açmıştır. Zeolit adlandırma sorununun üstesinden gelmek amacıyla 3 ayaklı bir sistem geliştirilmiştir [20]. Bu sistemde zeolitlerin kimyasal düzenlerinden bağımsız olarak sadece özel yapıları göz önüne alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır [20].

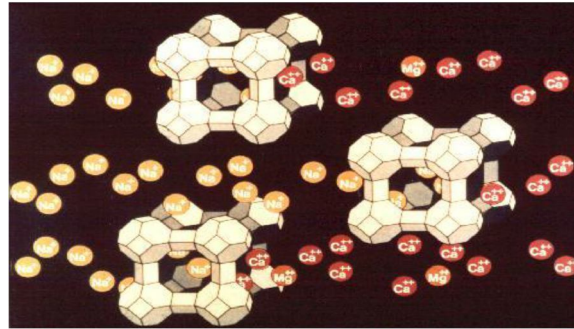
- ❖ LTA (Linde Type A)
- ❖ FAU (Fajosit)
- ❖ MFI (Mobil Five)

Bu gruplar aşağıda görüldüğü gibi farklı türde zeolitleri içerebilirler:

- ❖ LTA, Zeolit A'yı
- ❖ FAU, Zeolit Y ve Zeolit X'i
- ❖ MFI ise ZMS serisi zeolitleri kapsamaktadır.

3.1.2.1 Zeolit A

En basit yapıda yapay zeolit türüdür. LTA (Linde Type A) yapısını belirtir. Zeolit A; x, y, z düzlemleri içinde birbirine giderek dikleşen gözenekler ile 3 boyutlu gözenek yapısına sahiptirler ve ikincil yapı birimlerinden oluşmuşlardır (Şekil 3.2) [21]. Gözenek çapı, sekiz parça oksijen atomu tarafından belirlenir ve 4.2 Å küçüklüğündedir. Bu yapı, en az 11.4 Å çaplı büyük bir boşluk yaratmaktadır. Bu boşluk, kübik bir yapı içerisinde birbirine kare yüzeyler ile bağlı sekiz sodalit kafesi tarafından çevrilmiştir [21]. Birim hücre, Fm-3c simetri ile kübiktir ($a = 24.61\text{Å}$). Zeolit A, 0.47 boşluk kesrine sahip, 700 °C'ye kadar dayanıklı, Si/Al oranı da 1.0 olup yapısında yer değiştirebilir sodyum iyonları, elektriksel yük içeren gözenekler barındıran ve aynı zamanda hidratasyon yapabilen Sodalit mineralinden üretilmektedir [21]. Zeolit A'nın bu özellikleri birçok farklı endüstriyel alanlarda kullanılmasına olanak sağlar.



Şekil 3.2. Zeolit A'nın Genel ve Birim Hücre Yapısı [21]

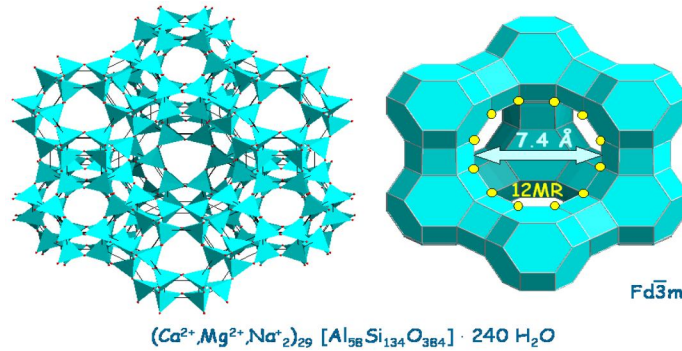
Endüstriyel alanda ticari olarak en önemli zeolit çeşitleri jel senteziyle yapıldığı için bu zeolit üretimlerinden en önemlisi Zeolit A' nin sentezidir. Sentezlenirken hidroksit, silisyumoksit, alüminyumoksit ve sudan oluşan çözeltiler kullanılmaktadır. 70°-100°C arasında jel oluşturan maddelerle kristalizasyona bırakılır [21]. Kristalizasyon sırasında amorf ve yüksek moleküllü alüminat ve silikat şekillerine dönüşür. Bunlar daha sonra sodyum atomları etrafında birleşerek zeoliti oluştururlar [21].

Uygulamaları:

- Hava, doğalgaz, alkanlar ve soğutucuların kurutulması,
- Argon üretimi ve saflaştırılması,
- Yüklü elementlerin statik dehidrasyonunda (tıbbi ürünlerde ve kararsız malzemelerde),
- Boya ve verniklerde nem çekici olarak,
- Su, metanol, etanol, karbondioksit, etilen ve propilen adsorplanmasıdır.

3.1.2.2 Zeolit Y

Zeolit Y (Şekil 3.3), yapısal olarak Fajosit' e (FAU) benzemektedir. Zeolit A' daki gibi x, y, z düzlemleri içinde birbirine giderek dikleşen gözenekler ile 3 boyutlu gözenek yapısına sahiptirler ve ikincil yapı birimlerinden oluşmuşlardır [22]. Açıklık, 12 kısım oksijen atomu tarafından tanımlandığından gözenek çapı büyüklüğü 7.4 Å' dır ve iç kısımda çapı 12 Å olan daha geniş boşluklar sağlamaktadır. Bu boşluklar birbirine hegzagonal yüzeylerle bağlı on adet Sodalit tarafından çevrilmiştir [22]. Birim hücre Fd-3m simetrlili kübiktir (a = 24.7Å). Zeolit Y, 0.47 boşluk kesrine sahip olup Si/Al oranı da 2.43' tür. Bozunmaya başladığı sıcaklık ise 793 °C' dir [22]. Aynı iskelet yapısında olduğu Zeolit X' e göre %33 daha az katyon barındırır [22].



Şekil 3.3. Zeolit Y' nin yapısı ve genel formülü [22]

3.1.2.3. Zeolit X

Zeolit Y ile aynı iskelet yapısına sahiptir fakat özellikleri birebir aynı değildir. Zeolit Y' ye oranla daha fazla kation içermektedir ve Si/Al oranı 1.2' dir [23]. Bünyesinde 13X Zeoliti vardır. Zeolit X' in genel formülü $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2$ şeklinde tanımlanmaktadır [23]. Zeolit X' in genel ve hücre yapısı şekil 3.4' de görülmektedir.



Şekil 3.4. Zeolit X' in genel yapısı [23]

3.1.2.3.1. Zeolit 13X

Zeolit 13X (Şekil 3.5), sodyum yapısında X türü bir kristaldir ve geniş gözeneklere sahiptir. 13X, 9\AA 'dan daha küçük molekülleri adsorplar ve daha büyük molekülleri dışarıda bırakır [24]. Karbondioksit ve nem tutar. Zeolit13X, temizleme havası ile hava kurutucuların içinde yenilenir. Zeolit 13X in gözeneklerinin yeniden aktif olabilmesi için desorbsiyon sıcaklığı en az $250\text{ }^\circ\text{C} - 300\text{ }^\circ\text{C}$ ' de olması gerekmektedir. 13X, $-100\text{ }^\circ\text{C}$ ' nin altındaki çığ noktalarında da kullanılabilir [24].

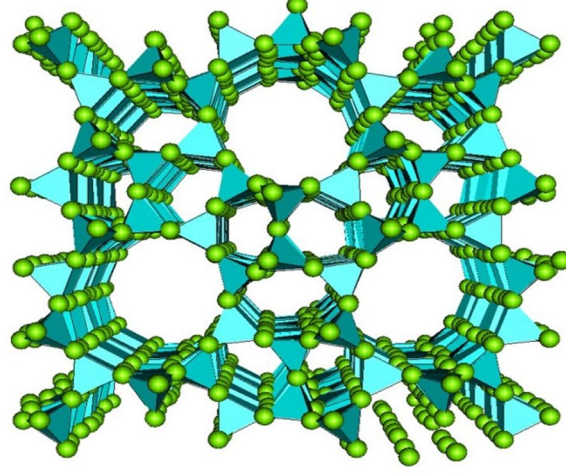


Şekil 3.5. Yapay zeolit 13X

3.1.2.4 Zeolit ZSM-5 (MFI)

ZSM-5 Zeoliti (Şekil 3.6.), Si/Al oranı 10-100 olan ve yüksek silika içeren zeolitlerdir. Hidrofilik zeolitlerin termokimyasal modifikasyonu veya doğrudan sentez ile elde edilirler [25]. Bu malzemeler hidrofobik ve organofilik yapıya sahip olup, gözenek

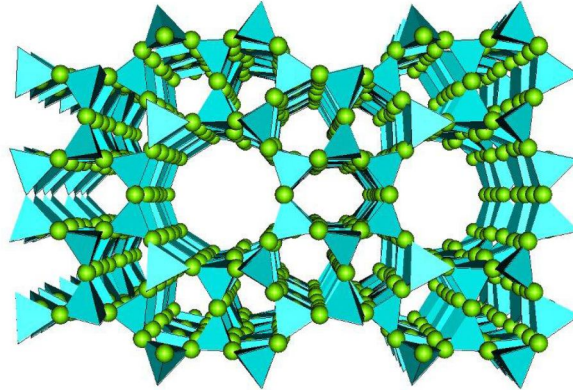
büyükükleri 0.4-0.8 nm civarındır [25]. Doğrudan sentezleme ile elde edilen yüksek silikalı zeolitlere örnek olarak Beta, ZSM-5, 11, -12, -21, -34, NU-1 zeolitleri verilebilir [14]. Moleküler eleklere tipik örnekler olarak silikalit-1, silikalit-2 verilebilir [25].



Şekil 3.6. Zeolit ZMS -5' in kesiti [25]

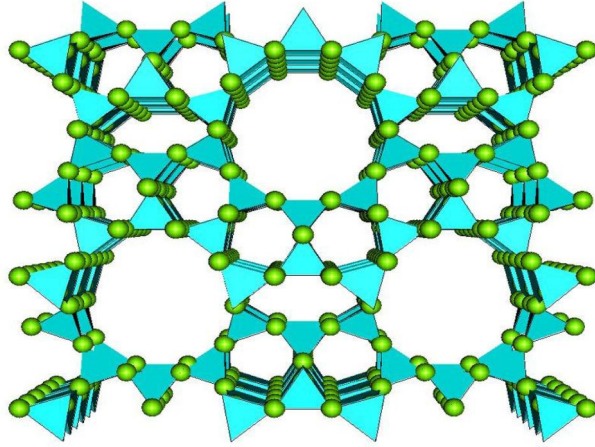
3.1.2.5 Zeolit ZSM-11 (MEL)

MEL olarak da bilinen ZSM-11 zeoliti (Şekil 3.7), iki boyutlu on halkalı gözenek yapısına sahiptir. Gözenek yerleşimleri ZSM-5'ten farklı olarak gözenek dizilimleri yan yanadır [27].



Şekil 3.7. Zeolit ZMS-11' in kesiti [27]

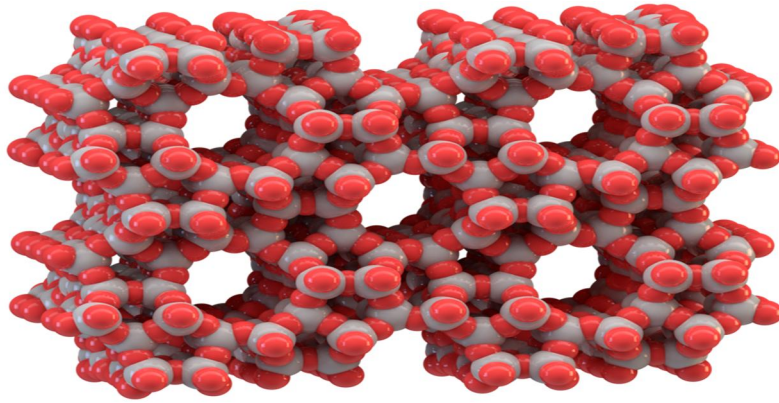
ZMS-57' nin yapısı sekiz ve on halkalı gözeneklerin kesişmesiyle meydana gelmektedir [10]. On halkalı gözenekler ZSM-5'teki gözenek boyutlarından biraz daha büyüktür [27]. ZSM-57' nin kesiti Şekil 3.8' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Zeolit ZSM-57' nin kesiti [27]

3.1.3. Zeolitlerin kimyasal bileşimi ve yapısı

Tüm zeolitler $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ve $[\text{AlO}_4]^{5-}$ koordinasyon poliederlerinin (çok yüzlü) birleşmesinden oluşan ve toprak alkali veya alkali metal iyonlarını değiştirebilir biçimde içeren üç boyutlu bir yapıya sahip sulu alümino silikatlardır (Şekil 3.9) [28]. Her alüminyum silisyum arasında bir oksijen bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı ve alkali ile toprak alkali metalleri içermesi nedeniyle doğada çok fazla zeolit çeşidinin oluşmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte yapıların sadece polieder yapıların üç boyutlu bağlanması ile değil birbiriyle metallerin miktarları ve miktarların birbirleriyle oranlarına göre de zeolitin çeşidi ve kimyasal yapısı da değişir [28]. Zeolitlerin kimyasal bileşimlerinin en yaygın özelliği; O, Si, Al, Ca, Mg, Ba, Na, K ve H'nin esas elementler, Fe, Sr, Li, Be, Cs, Cu ve Pb'nin ise ikincil ya da rastlantısal elementler olmasıdır [29].



Şekil 3.9. Zeolit iskelet oluşumu [30]

3.1.4. Zeolitlerin fiziksel yapısı

Zeolitlerin fiziksel özellikleri, çeşitlerine göre değişkenlikler göstermektedir. Harmotom, Filipisit gibi zeolit türleri $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar dayanırken, Analsim, Erionit,

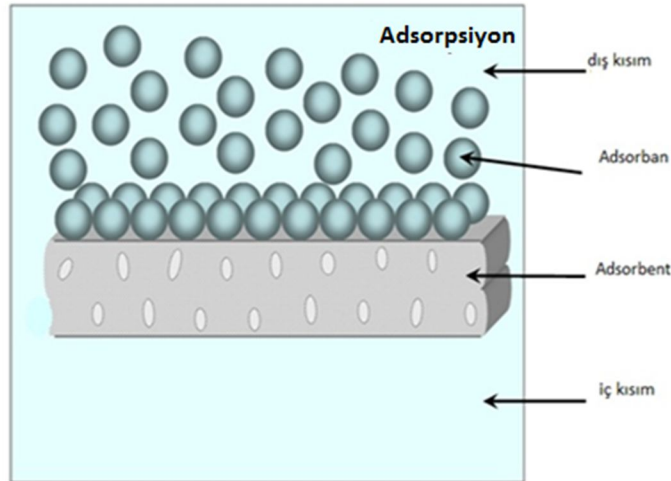
A, X, gibi yapay zeolit çeşitleri 600 °C sıcaklıkların üzerine çıkabilmektedir. Zeolitler beyaz, badem yeşili, bej, şeffaf gibi renklerde bulunmaktadırlar. Bununla birlikte adsorbe ve desorbe etme özellikleri, iyon değiştirme kapasiteleri, boşluk kısımları, ısıl kararlılıkları özgül ağırlıkları, çerçeve yoğunlukları zeolitin çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Boncuk (Bead), Granül (Extrudate) ve Toz (Powder) yapıda olabilmektedirler.

3.1.5 Zeolitlerin kullanım alanları

Zeolitler spesifik kullanımı sağlayan yüksek hidrasyon enerjisine sahiptir ve hidrate oldukları zaman sahip oldukları düşük yoğunluk ve boşluk hacmi, kation değişimi özellikleri, dehidrate olmuş kristaller içerisindeki düzgün moleküler boyutlu kanal sistemlerine sahip olduklarından endüstriyel alanlarda geniş kullanım alanına sahiptir [31]. Ayrıca zeolitler elektriksel iletkenlik, gaz ve su buharı absorpsiyonu, katalik davranışları, şeklinde karakteristik yapısal özelliklere sahiptir. Zeolitlerin bu özellikleri sayesinde kirlilik kontrolü, enerji uygulamaları, tarım ve hayvancılık uygulamaları, madencilik ve metalürji sektörü, inşaat sektörü, sağlık ve deterjan sektörü gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [31].

3.2 Adsorpsiyon

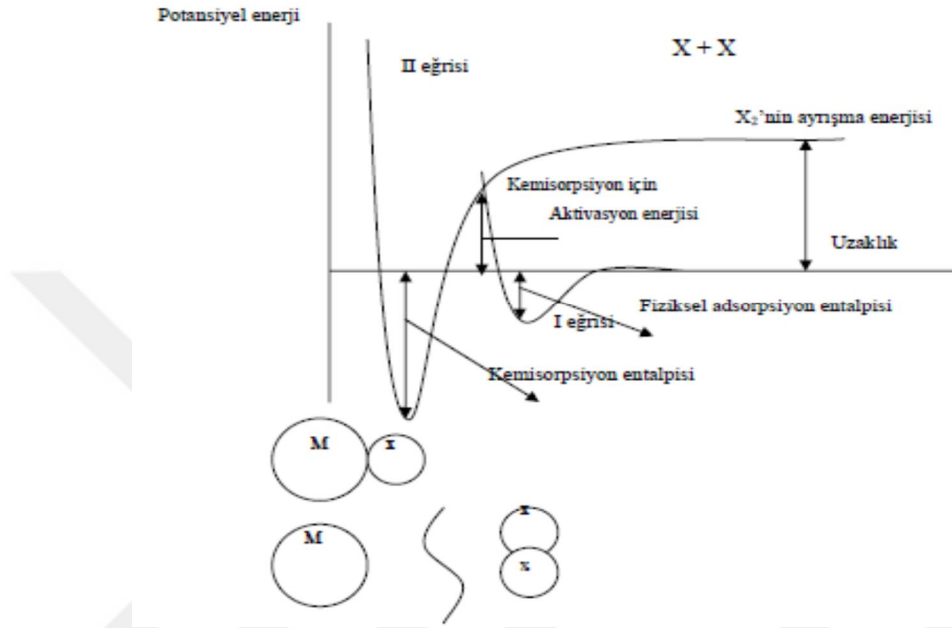
Atom iyon ya da moleküllerin katı yüzeyine tutunmasına 'adsorpsiyon', katıya (tutucu maddeye) 'adsorbent', katı yüzeyine tutunan maddeye ise 'adsorban' adı verilmektedir. Adsorpsiyon olayı (Şekil 3.10) yüzeyi ilgilendiren bir olay olduğu için, bir katı veya bir sıvının yüzeyindeki konsantrasyon değişmesi olayı olarak ta tanımlanır [32]. Sıvıların, bir katının yüzeyindeki mikro çatlaklarda ve gözeneklerde yoğunlaşmasına olayı ise kılcal adsorblama olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.10 Adsorpsiyon oluşumu

3.2.1 Adsorpsiyon çeşitleri

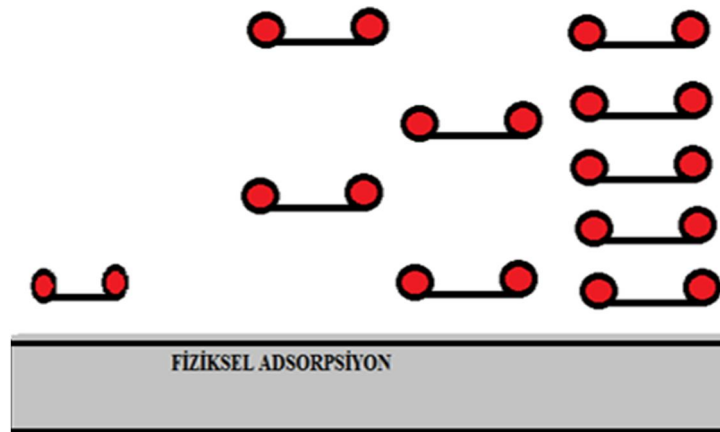
Adsorpsiyon, adsorbent ile adsorban arasındaki etkileşime göre fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyona ait potansiyel enerji diyagramı Şekil 3.11’ de gösterilmiştir. Kimyasal bağlarla yüzeye tutunma olayı “kemisorpsiyon” olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.11. Fiziksel adsorpsiyon ve kemisorpsiyon için potansiyel enerji eğrisi

3.2.1.1 Fiziksel adsorpsiyon

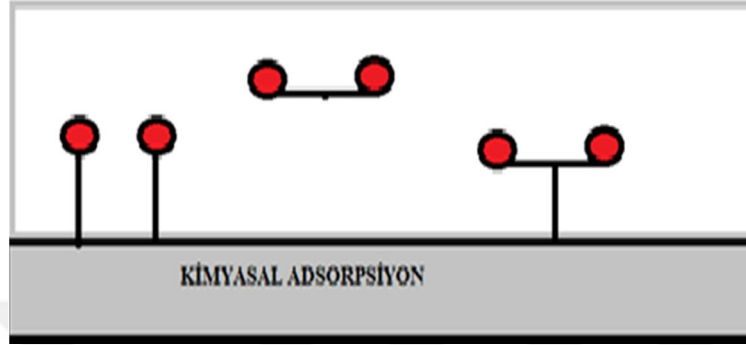
Adsorban ile adsorbent arasında zayıf Van Der Waals veya Dipol-Dipol bağları etkili olup zayıf tutunma gerçekleşiyorsa bu olaya fiziksel adsorpsiyon adı verilmektedir (Şekil 3.12). Fiziksel adsorpsiyonda sıcaklık arttıkça malzemenin adsorbe özelliği azalmaktadır ve tersinir bir reaksiyon göstermektedir.



Şekil 3.12. Fiziksel adsorpsiyon

3.2.1.2. Kimyasal adsorpsiyon

Adsorban ile adsorbent arasında kimyasal reaksiyonlarla (kovalent bağlarla) elektron alış-verişinin veya moleküller arasında paylaşımının olduğu adsorpsiyon türüne kimyasal adsorpsiyon adı verilmektedir (Şekil 3.13). Kimyasal adsorpsiyon tersinmez bir işlem olduğu için desorpsiyon işlemi gerçekleşmemektedir.



Şekil 3.13. Kimyasal adsorpsiyon

Kimyasal ve fiziksel adsorpsiyon arasında belirli kriterlere göre farklılıklar görülmektedir. Çizelge 3.1’ de fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasında karşılaştırma verilmiştir.

Çizelge 3.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasında temel karşılaştırma kriterleri [33]

| Karşılaştırma Kriteri | Fiziksel adsorpsiyon | Kimyasal adsorpsiyon |
|--|--|--|
| Adsorplayıcı - adsorplanan ilişkisine bağlılık | Adsorplananın kritik sıcaklığının altında herhangi bir adsorplayıcı - adsorplanan ikilisi arasında cereyan eder. | Adsorplayıcı ile adsorplanan arasında özel bir kimyasal ilgiyi gerektirir. |
| Sıcaklığa bağlılık | Düşük sıcaklıklarda cereyan eder ve sıcaklık yükseldikçe azalır. | Yüksek sıcaklıklarda cereyan eder ve sıcaklık yükseldikçe artar. |
| Etkin olan kuvvetler | Van der Waals kuvvetleri etkindir. | Kimyasal bağ kuvvetleri etkindir. |
| Adsorpsiyon ısısı | Adsorplananın yoğunlaşma ısısı mertebesindedir. (5–10 kcal/mol) | Kimyasal tepkime ısısı mertebesinin de olup yüksektir. (10 –100 kcal/mol) |
| Adsorpsiyon olayının hızı ve aktiflenme enerjisi | Çok hızlı olup, sıfıra yakın bir aktiflenme enerjisi eşliğinde yürür. | Kimyasal adsorpsiyon hızını ise aktiflenme enerjisinin büyüklüğü belirler. |
| Yüzey örtünmesi | Tek tabaka veya çok tabakalı adsorpsiyon olabilir | En fazla tek tabaka kaplanması olabilir. |

| | | |
|-------------|--|---|
| Tersinirlik | Adsorpsiyon dengesi tersinirdir ve fiziksel adsorpsiyon bir gaz, sıcaklığın yükseltilip basıncın düşürülmesiyle kolayca ve tümüyle desorplanabilirler. | Çoğu kez tersinmezdir, desorpsiyonu çok zordur ve desorpsiyon ürünleri adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki tepkimenin ürünü olabilir. |
|-------------|--|---|

3.3. Kurutma Yöntemleri ve Kurutma Tipleri

Kurutma; gaz, sıvı ve katı materyalden istenilen miktarda nem, su ve diğer sıvıların uzaklaştırılmasını sağlayan bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Kurutma, genel olarak katı maddelerden ısı olarak sıvı, nem veya suyu uzaklaştırmak amacıyla yapılmaktadır. Maddenin cinsi, yapısı, havanın hızı, niteliği, ortam şartları gibi etkenler kurutmayı en çok etkileyen durumlardır. Kurutma işlemindeki beklenti, maddelerin yapısını değiştirmeden en az zaman içerisinde ve en düşük ekonomik maliyet ile işlemi tamamlamaktır.

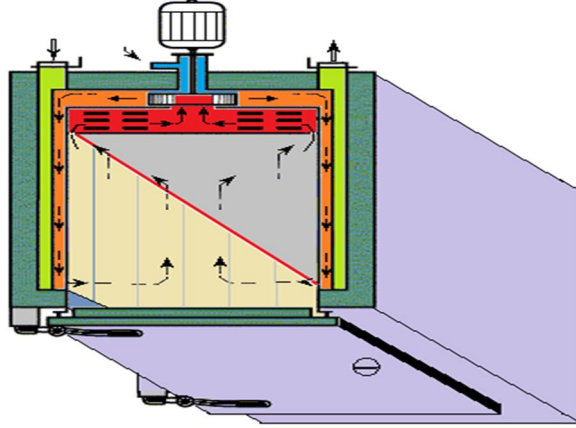
Kurutmada, genellikle kurutma gazı olarak hava kullanılmaktadır. Kurutma havasının hızının ya da sıcaklığın artması kullanılan enerji miktarının azalması sağlayacaktır. Ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için verilmesi gereken enerji, kurutma süresini azaltmaktadır [34]. Kurutma havasının sıcaklığı, nemi etkiler; ürün içerisindeki nemi ise, kuruma hızını belirler. Kurutma havasının neminin azaltılması da bu kurutma hızını arttırarak kuruma süresini kısaltır [34]. Uygun kurutucu seçimi yapmak, kurutulacak maddenin kuruma karakteristiklerine ve kurutulacak maddenin şekline bağlı olmaktadır. Endüstri uygulamalarında süreksiz ve sürekli çalışan farklı tiplerde kurutucular kullanılmaktadır. İstenilen şekilde kurutmayı yapabilecek bir kurutucunun belirlenebilmesi için en uygun yol, bir model kurutucu kurmak ve bununla test çalışmaları yapmaktır [35]. Kontakt kurutma, konvektif kurutma, ışınım ile kurutma, dielektrik ile kurutma, donmalı kurutma ve ozmotik kurutma gibi kurutma yöntemleri çok sayıda kurutma tipinde uygulanmaktadır.

3.3.1. Kontakt kurutma

Kontakt kurutma yönteminde, kurutma için gerekli olan ısı enerjisi; kurutulacak malzemeye, ısıtılmış yüzeylerden kondüksiyon yoluyla iletilmektedir. Kurutulan ürüne iletilen ısı, sıcak yüzeye değen yaş materyalin ısıl kondüktivitesine ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır [36].

3.3.2. Konvektif kurutma

Konvektif kurutma yönteminde (Şekil 3.14) ısı, kurutucu ortamdan (genellikle sıcak hava kullanılmaktadır) yaş malzemeye konveksiyon yoluyla iletilmektedir. Sisteme dolaşan sıcak hava, kurutulan ürün tabakasının üzerinden ya da içerisinden geçirilmektedir. Bu yöntemin ısıl etkenliği kontakt kurutma yöntemine göre daha düşüktür [36].



Şekil 3.14. Konvektif kurutma [37]

3.3.3. Işınım ile kurutma

Işınım ile kurutma yönteminde kurutma için gerekli ısı enerjisi yaş malzemeye, kırmızı ötesi bölgesinde yer alan ışınlarla iletilmektedir. Bu ışınlar, içinden geçtikleri ortamı ısıtmaz; kendilerini absorbe eden cisimleri ısıtırlar [36]. Kızılötesi ışınların, yaş materyalin yüzeyinden itibaren etkilediği derinlik oldukça az olduğundan, bu yöntem ince film şeklinde serili tabakaların kurutulmasından kullanılır [36].

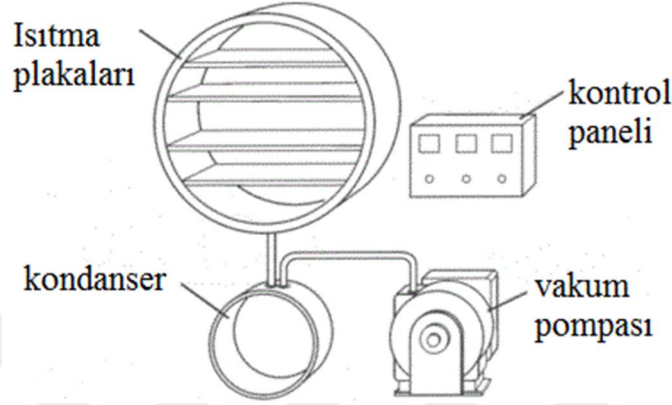
3.3.4. Dielektrik kurutma

Dielektrik kurutma yönteminde, nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilerek malzeme içerisinde ısı üretimi gerçekleştirilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelerden daha fazla ısı üretimi gerçekleşir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik düzenlenir. Su, malzemedan aşırı derece ısıtılmaksızın buharlaşır [38].

3.3.5. Donmalı kurutma

Dondurarak kurutma işlemi; (Şekil 3.15) farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin elde edilmesinde, et ve süt üretiminde kullanılmaktadır. Malzeme önce dondurulur, daha sonra kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğuşturucusu ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır

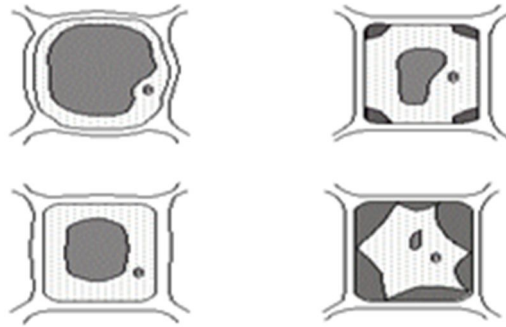
[38]. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır, bu sırada uçucu element (genellikle su kullanılmaktadır) süblimleşir ve yoğunlaşır ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır [38]. Dondurarak kurutma genellikle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında uygulanmaktadır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur [38].



Şekil 3.15. Dondurarak kurutma sistemi

3.3.6. Ozmotik kurutma

Meyve ve sebze dilimleri gibi gıdaların hipertonic bir çözelti içinde bekletilmesiyle su oranının düşürülmesi uygulamasına “ozmotik kurutma” adı verilmektedir [38]. Ozmotik kurutma yönteminde suyun uzaklaştırılmasında buharlaşma değil, ozmoz olayı (Şekil 3.16) gerçekleşmektedir [39].

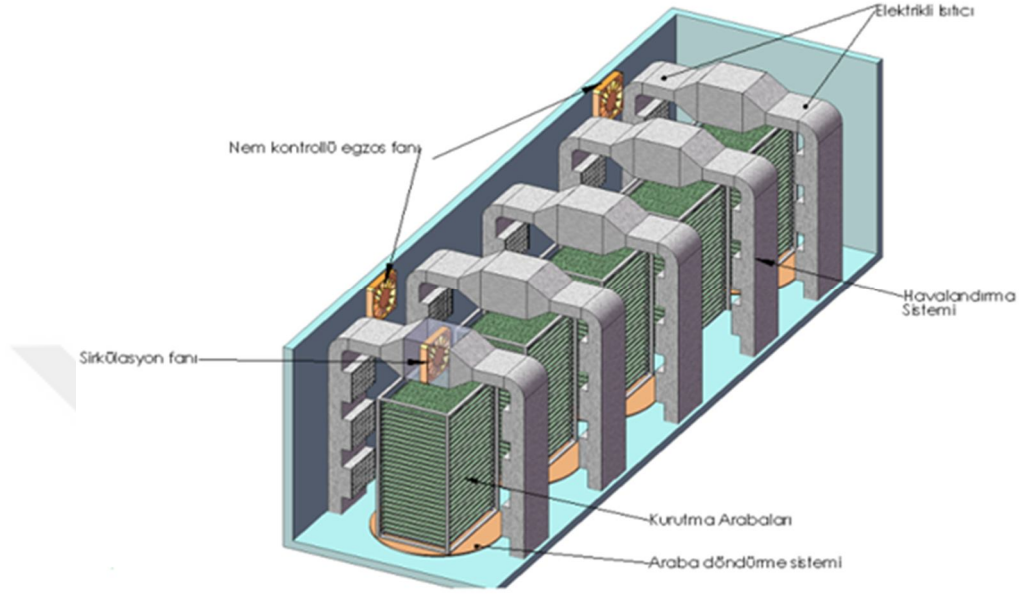


Şekil 3.16. Ozmotik basınç farkına bağlı su hareketi [40]

3.3.7. Kabin tipi kurutucular

Kabin tipi kurutucular, büyüklüklerinden esinlenilerek dolap veya oda tipi kurutucular şeklinde de adlandırılırlar [36]. Kurutulacak malzeme, alt kısmı ızgara şeklinde bir tür tepsi olan kerevetlere yerleştirilir. Kerevetler üst üste istif edilerek önce bir arabaya sonra peş peşe arabalara vagon haline getirilip, kurutma kabinine alınır [40]. Tüm kurutma

boyunca kerevetler olduğu gibi hareketsiz kalmaktadır [39]. Sıcak hava, kabinin ayarlanabilen panjur şeklinde olan yan duvarlarından girerek kerevetler arasından geçer ve yine aynı şekilde yan duvardan kabin dışına çıkarak ısıtıcıya ulaşır [39]. Kabin tipi kurutucunun basit şekilde uygulaması Şekil 3.17.' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Kabin kurutucu [41]

Kabin tipi kurutucular, kurutma havasının kabin içinde dolaşımı sırasında tepsilere göre izlediği akış yönü dikkate alınarak paralel ve çapraz akışlı olmak üzere farklı tiplere ayrılabilirler [36].

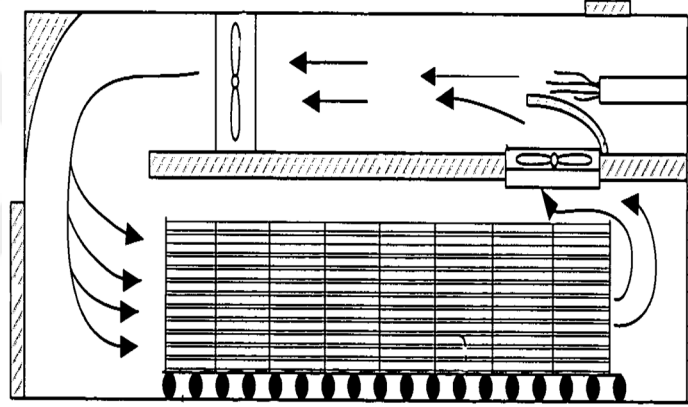
Kabin kurutucular çoğunlukla az miktarda meyve ve sebze (en fazla 1-2 Ton) kurutacak kapasitede yapılırlar. Sabit yatırım maliyeti nispeten azdır ve çalıştırılmaları kolaydır. Kabin tipi kurutucular 25 kereveti üst üste alacak kadar büyüktür. Isıtıcılar, içerisinde buhar dolaştırılan yüzeyi genişletilmiş serpantinler şeklinde yapılmaktadır [28]. Ancak, içerisinde doğrudan yanmış gaz dolaştıran ısıtıcılar da kullanılabilir [39]. Kabin tipi kurutucuların ısı gereksinimi belirlenirken 1 m² tepsi alanı için 50000- 67000 kJ enerji düşünülmelidir ve kabin içinde dolaşan havanın hızı 2.5-5 ms⁻¹ arasında seçilir [25].

3.3.8. Tünel tipi kurutucular

Tünel tipi kurutucularda kurutma kabini, uzun bir tünel şeklinde yapılmaktadır. Tünelin içerisine tepsilere yerleştirildiği arabalı raflar sırayla yerleştirilir. Bu arabalı raf düzeni zaman zaman ileri doğru hareket ettirilir [36]. Tünelin bir ucundan kurumuş ürünleri içeren raf arabası çıktığında diğer uçtan yaş ürünle yüklenmiş yeni bir araba tünele

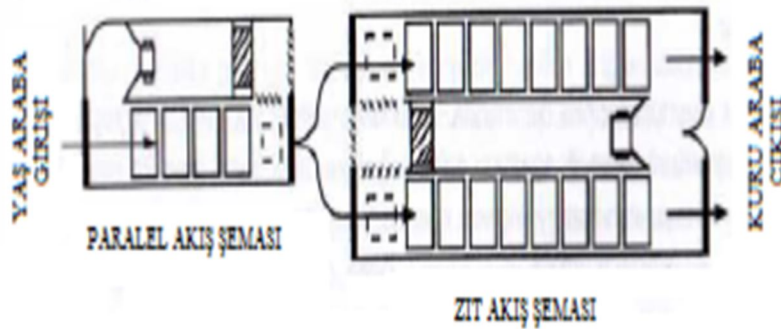
sokulur [36]. Raflarla tünelin iç yüzeyleri arasındaki boşluğun 5 cm den fazla olmamasına dikkat etmek gerekir. Aksi takdirde, kurutma havası rafların arasından geçmeyip bu boşluklardan akar [36].

Çeşitli tipteki tünel kurutucularda hava ve kurutulan malzemenin birbirlerine göre hareket yönleri farklıdır. Eğer, arabalarla sıcak hava aynı yönde hareket ederse bu tip kurutuculara “paralel akış tüneli” adı verilmektedir [39]. Başka bir tanımlama ile paralel akış tüneline sıcak hava ile kurutulacak ürün, aynı yerden girer [39]. Sıcak hava ile arabaların hareketi birbirine zıt yönde ise bu tip kurutuculara “zıt akış tüneli” adı verilmektedir (Şekil 3.18) [39]. Bu tip kurutucularda sıcak ve kuru hava, ilk önce en fazla kurumuş olan malzemeye temas eder. Daha sonra, hava gittikçe soğuyarak nemi artar ve son defa en ıslak ürünle temas eder [39].



Şekil 3.18. Zıt akış tünel kurutucu [42]

Diğer taraftan bir bölmesi paralel akış, diğer bölmesi zıt akışlı olan iki kademeli veya çok kademeli kurutma sistemleri de mevcuttur (Şekil 3.19) [39]. Çift aşamalı tünellerin birinci aşaması genellikle paralel akış tüneli, ikinci aşaması ise ters akış tüneli şeklindedir [39].

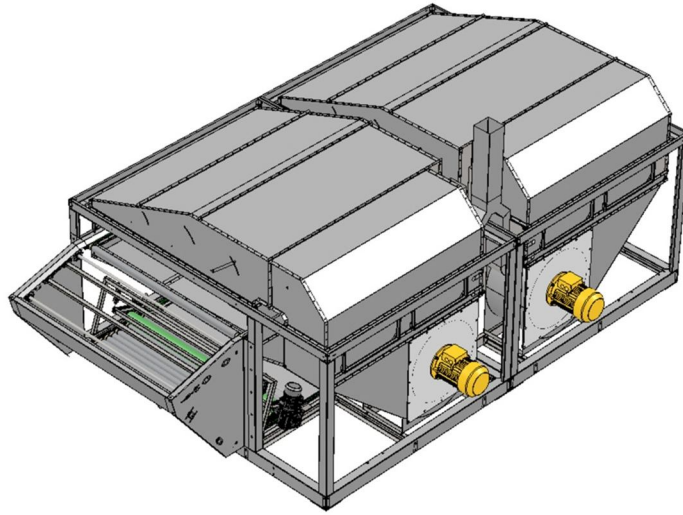


Şekil 3.19. İki kademeli kurutma tüneli: Birinci kademe paralel, İkinci kademe zıt akış [39]

3.3.9. Konveyör tipi kurutucular

“Sürekli bant kurutucular” da denen bu kurutma sistemlerinin çalışma sistemi tünel tipi kurutuculara benzer olarak çalışmaktadır. Bu tip kurutucularda, tünel kurutuculardaki kerevet ve vagonların yerini sürekli çalışan bir bant almıştır. Paslanmaz çelikten yapılmış olan elek şeklindeki bir bantla taşınan malzemeye alttan veya üstten sıcak hava verilmektedir. Konveyör tipi kurutucular, bir sezon boyunca aynı malzemedan büyük miktarda kurutmaya elverişli kurutma sistemleridir.

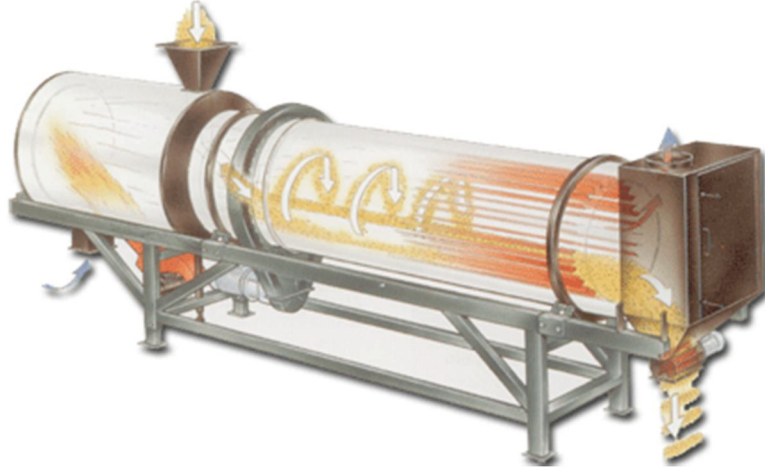
Konveyör kurutucular çok aşamalı ve genellikle iki aşamalı bir çalışmaya elverişli olarak yapılmaktadır [39]. Şekil 3.20’ de konveyör tipi kurutucu görülmektedir.



Şekil 3.20. İki aşamalı konveyör kurutucu [43]

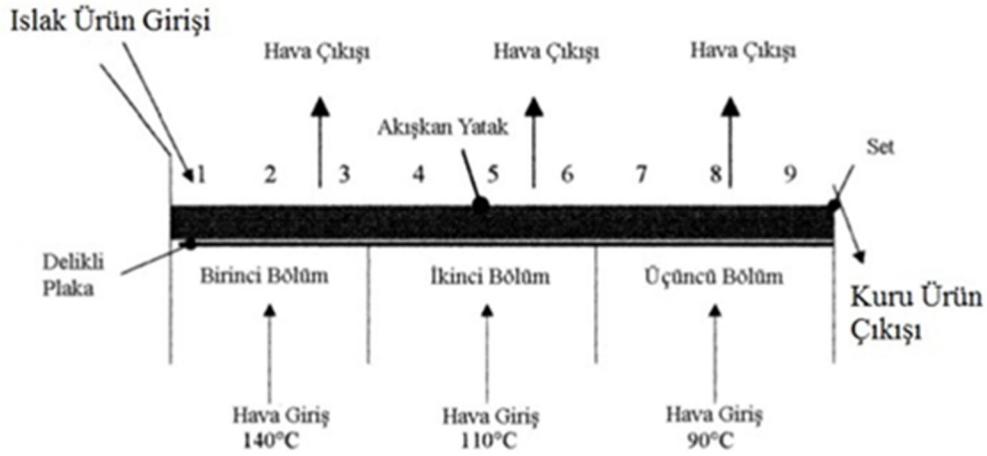
3.3.10. Akışkan yatak kurutucular

Akışkan yataklı kurutucular, genellikle akışkanlaşabilen ıslak partiküler ve granüler materyallerin kurutulması için kullanılmaktadır [44]. Genellikle kimyasallar, karbonhidratlar, gıda ürünleri, biyomateryaller, içecek ürünleri, seramikler, toz veya kapsül formundaki ilaçlar, sağlık ürünleri, pestisitler ve tarımsal kimyasallar, boya maddeleri ve pigmentler, deterjanlar ve yüzey aktif maddeler, gübreler, polimerler ve reçineler, taninler, yanma-tutuşma-külleştirme ürünleri, atık yönetim prosesleri ve çevre koruma işlemlerinde akışkan yataklı kurutucular kullanılmaktadır [44]. Akışkan yatakta kurutma işlemi iyi bir katı karışımı sağlaması, yüksek hızlı ısı-kütle transferi ve maddelerin kolay taşınması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. 50 – 2000 µm boyutundaki tozların kurutulmasında akışkan yataklı sistemler, diğer geleneksel kurutucu tipleri kadar performans sağlayabilmektedir [44]. Şekil 3.21’ de akışkan yataklı kurutucu görülmektedir.



Şekil 3.21. Akışkan yatak kurutucu [45]

Akışkan yataklı kurutma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli avantajı kurutma işleminin kısa sürede tamamlanmasıdır [39]. Şekil 3.22’ de akışkan yataklı kurutucunun şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.22. Akışkan yatak kurutucu

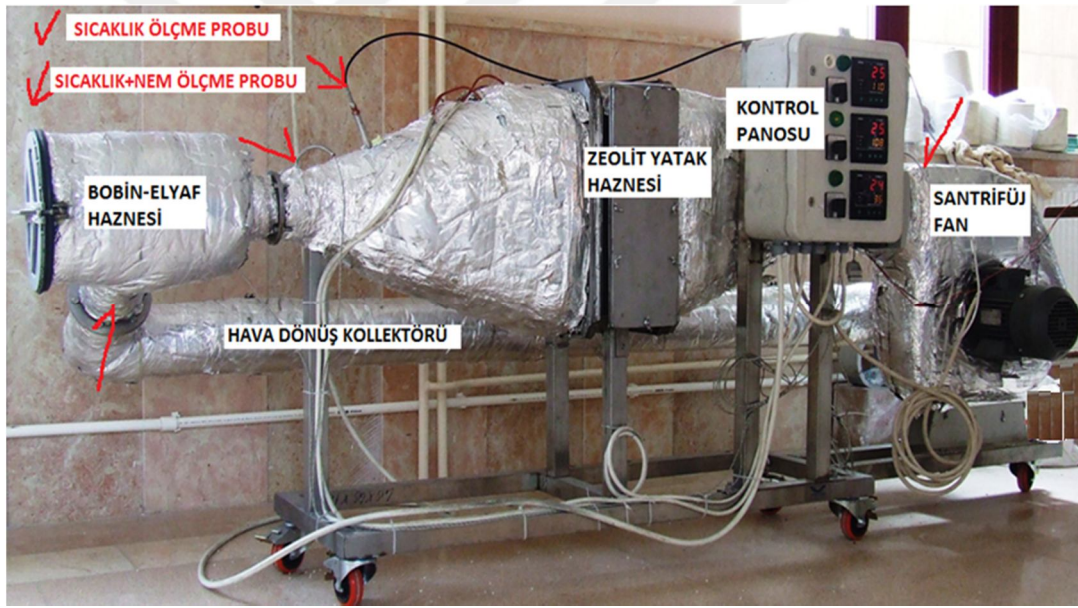
3.3.11. Diğer kurutma sistemleri

Meyve ve sebzeler, parçacıklar veya taneler halindeki ürünler genellikle yukarıda bahsedilen sistemlerle kurutulmaktadır. Ancak meyve ve sebzelerden elde edilen domates suyu, salça, meyve suyu veya patates püresi gibi sıvı ve yarı sıvı ürünlerin kurutulmasında başka yöntemlerden yararlanılmaktadır [39]. Bu yöntemlerde; püskürtmeli kurutucular, vakumlu kurutucular, puf kurutucular, köpük kurutucular gibi değişik sistemlerden yararlanılmaktadır [39].

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Materyal

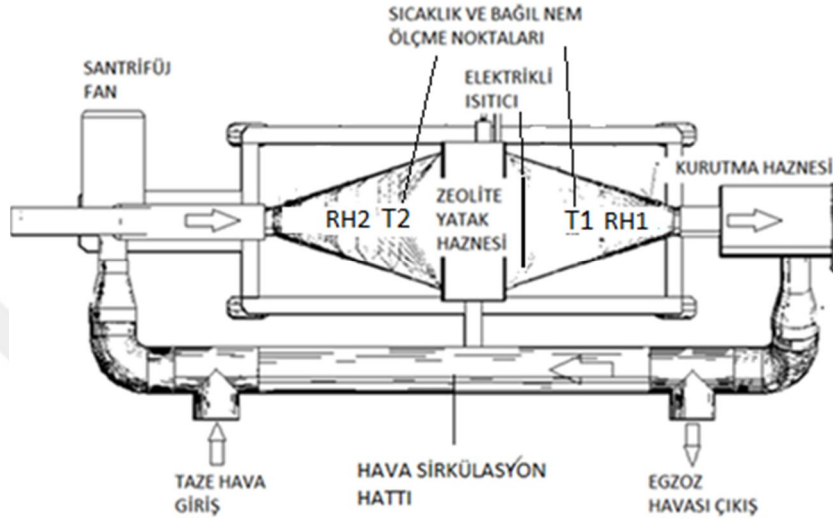
Çalışmanın deneysel aşamalarında ana test düzeneği olarak, daha önce bir Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında iplik bobin kurutma çalışmaları için tasarlanmış olan bir kurutma deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 4.1). Deney düzeneğinin tüm gövdesi (santrifüj fan hariç), 316 kalite paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Sistemin termal izolasyonu için dış tarafı, 50 mm kalınlığında taş yünü ile kaplanmıştır. Taş yünü yalıtım malzemesi dış etkenlere karşı alüminyum folyo ile izole edilmiştir. Kurutma sistemi hem elektrikle hem de zeolit yataklar kullanılarak kurutma proseslerini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu test düzeneğinde tek iplik bobini kapasiteli bir kurutma haznesi bulunmaktadır. Bu hazne 170 mm çapında ve 220 mm yüksekliğinde perfore saç kullanılarak imal edilmiş olup ağırlığı 1022 g'dır.



Şekil 4.1 Tek iplik bobini kapasiteli kurutma deney düzeneği

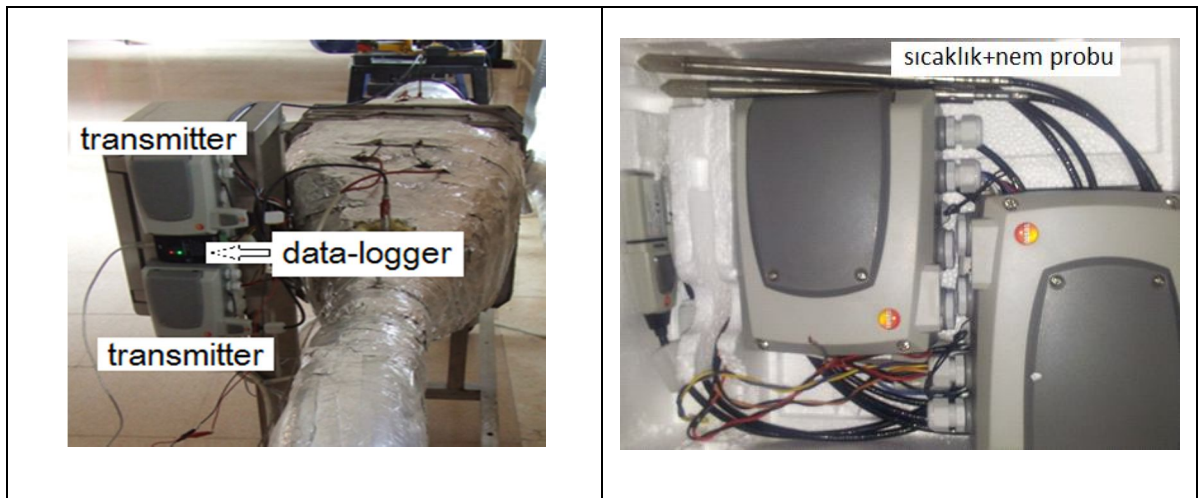
Deney düzeneğinde kullanılan fan orta basınçlı santrifüj fandır. Geriye eğimli kanat yapısı döküm alüminyumdan, gövdesi ise elektrostatik toz boyalı DKP saçtan imal edilmiştir. Fan üzerindeki motor gücü 2,2 kW 2880 dev/dk' dır. Fanın nominal debisi 700 m³/h ve ürettiği basınç 600 mmSS' dur. Genel olarak bu tip fanlar mermer tozu, ince talaş, granit, tahta ve metal talaşları gibi ince tanecikli malzemelerin naklinde ve orta basınç hava akımına ihtiyaç duyulan her alanda kullanılmaktadır.

Isıtıcı-zeolit yatak giriş ve çıkışlarında sıcaklık-nem ölçer problemleri ($T1$, $RH1$, $T2$, $RH2$), 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 (Şekil 4.2). Isıtma rezistansı çıkışındaki Pt-100'den aldığı sinyal doğrultusunda çalışmaktadır.



Şekil 4.2 Kurutma sisteminin üstten görünüşü

Sıcaklık-nem ölçer problemlerin verilerini veri kaydedici (data logger) üzerinden bilgisayara aktarmak için her bir proba ayrı olarak bağlanmış transmitterler kullanılmaktadır (Şekil 4.3). Transmitterler problemlardan gelen veriyi işleyip analog çıkışla veri kaydedici (data logger) cihazına aktarmaktadır. Nem-sıcaklık problemlerinin ölçüm aralığı -30°C ve 120°C 'dir.



Şekil 4.3 Sıcaklık-nem ölçer prob ve transmitter

UDL 100 model veri kaydedici (data logger), verilerinin grafik analizi için DaLi08 programı kullanılmıştır. DaLi 08 Programı UDL100 cihazlarından gelen verilerin kaydedilmesi ve raporlama için tasarlanmış bir programdır. Kullanılan Data Logger 5 kanallıdır ve veri girişi 4-20 mA'dir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Transmitterler ve veri kaydedici (data logger)

Kurutma düzeneğinde 3 adet toplam gücü 8 kW olan elektrikli boru rezistanslar kullanılmıştır. Düzenek içi sıcaklık ölçümü için iki adet Pt100 termokupl ve kontrol için Enda ETC serisi PID sıcaklık kontrol cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Isıtma ve sıcaklık kontrol sisteminin ana elemanları

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 g ve 1684 g olup, yine sırasıyla 4549 g ve 4758 g zeolit içermektedirler. Yatakların hava geçiş

yüzeyleri tel hasır ile kapatılmıştır. Yataklar kaset formunda yapılmış olup rahatlıkla sökülüp takılabilmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Zeolit kasetlerin deney düzeneğine yerleşim şekli

Kurutma düzeneğinde kurutulacak materyal olarak bir tekstil ürünü olan ortalama kuru ağırlığı 320 g olan (nem içeriğine bağlı) triko kullanılmıştır. Triko aynı zamanda maksimum 120 °C olan kurutma sıcaklığına uygun bir materyaldir. Triko, kurutma düzeneğinde hazne bölümünde kullanılan kurutma haznesine şekilde görüldüğü gibi yerleştirilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Kurutma numunesi triko ve numune kurutma haznesi

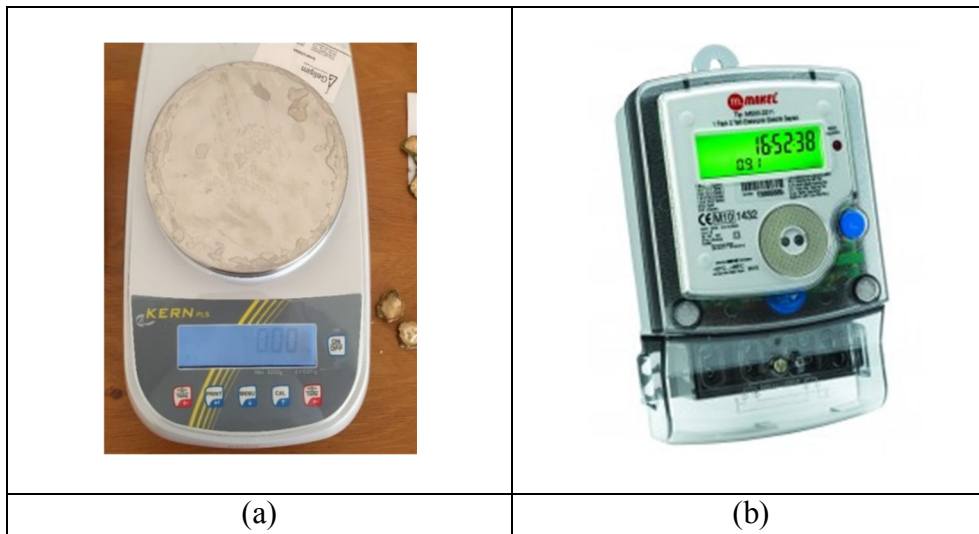
Kullanılan zeolitin desorpsiyon proseslerini gerçekleştirebilmek için bir kurutma fırını kullanılmıştır (Şekil 4.8). Fırının maksimum çalışma sıcaklığı 350 °C, ısıtma hızı 10 °C/dak, iç hacmi 200 litre ve ısıtma gücü 4,5 kW'tır. Fırın üzerindeki kontrol panelinden istenilen fırın içi sıcaklığı ve çalışma süresi seçilebilmektedir. Fırın üzerinde bir ağırlık

ölçme ünitesi (load-cell) bulunmaktadır. Bu ünite ile zeolit yataklara uygulanan desorpsiyon süreçlerinde yataklardan uzaklaştırılan nem kütlesinin zamana göre değişimi elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Kurutma fırını

Kullanılan kurutma materyalinin ve zeolit yatakların ağırlık ölçümleri hassas terazi ile yapılmıştır (Şekil 4.9a). Kurutma deneyleri sırasında ısıtıcı rezistansların çektiği elektrik enerjisini ölçmek ve kayıt altına almak için tek fazlı elektronik elektrik sayacı kullanılmıştır (Şekil 4.9b).



Şekil 4.9 a) Hassas terazi ve b) elektrik sayacı

4.2. Metot

4.2.1. Kurutma materyalinin hazırlanması

Ağırlığı ortalama 390 g olan (nem içeriğine bağlı) kuru triko materyal numune kurutma haznesine yerleştirilip, hazne yüksekliğinde içi su dolu bir kaba yerleştirilerek içinde 10 dakika tutulmuş ve dışarı alınarak 30 dakika suyun süzülmesi için bekletilmiştir. Her ıslatma işlemi sonucunda ortalama olarak 700 g su triko bünyesine aktarılmıştır. Darası alınmış numune kurutma haznesiyle birlikte her deney başlangıcında ve deney bitiminde ağırlık ölçülerek, triko bünyesinden uzaklaştırılan ve triko bünyesinde kalan su miktarı belirlenmiştir.

4.2.2 Kurutma deney planları

Kurutma deneyleri; üç temel deney planı üzerinden yürütülmüştür. Her bir deney planı iki kez tekrarlanmıştır. Tüm kurutma deneyleri 60 dakikalık bir periyod içinde gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde kurutma materyali, dış ortam şartları, kurutma havasının hacimsel debisi ve basınç düşümü sabit parametreler olarak kullanılmıştır. Bir kurutma planından diğer kurutma planına geçiş yapılırken; kurutma sisteminin dış ortam sıcaklığına ulaşması için 1 saat boşta çalıştırılmıştır. Bütün deney planlarında ısıtma rezistansından çıkan havanın sıcaklığı kontrol termostatu vasıtası ile 70 °C'ye ayarlanmıştır. Açık çevrimde %20 taze hava, %80 iç havayla çalışılmıştır. Deney planları aşağıda maddeler halinde sıralanmış olup ayrıca Çizelge 4.1'de özet olarak verilmiştir.

1. Elektrikle kurutma (açık çevrim); kurutma havası elektrikli rezistanslar devreye alınarak ısıtılmıştır, açık çevrim uygulanmıştır, zeolit yataklar yerlerine takılı olmakla birlikte aktif nem çekme kabiliyetine sahip değildir.
2. Elektrik+zeolit yatak ile kurutma (açık çevrim); zeolit yataklar desorpsiyon işlemine tabi tutulduktan sonra yerlerine takılmıştır. Yani nem çekme kabiliyetine sahiptirler. Elektrikli ısıtıcı ve zeolit yataklar birlikte kullanılmıştır. Bu deney planı açık çevrim için uygulanmıştır.
3. Zeolit yatakla kurutma (kapalı çevrim); bu deney planında elektrikli ısıtıcılar pasiftir. Kurutma prosesinde nem alma ve kurutma havasını ısıtma görevini zeolit yataklar üstlenmiştir. Bu deney planı sadece kapalı çevrim için uygulanmıştır.

Çizelge 4.1 Kurutma deney planları

| | Elektrikli ısıtma | Zeolit yatak | Açık Çevrim | Kapalı Çevrim |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|-------------|---------------|
| 1.Elektrikle kurutma | Aktif | Pasif | Var | Yok |
| 2.Elektrik+zeolit yatakla kurutma | Aktif | Aktif | Var | Yok |
| 3.Zeolit yatakla kurutma | Pasif | Aktif | Yok | Var |

4.2.3. Zeolit yatakların desorpsiyonu

Zeolit yatakların aktif olarak kullanıldığı 2 ve 3 numaralı deney planları için Zeolit yatakların desorpsiyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için önce kurutma fırını 200 °C sıcaklığa ulaşana kadar ısıtılmış ve daha sonra yataklar fırına yerleştirilerek sabit sıcaklıkta 145 dakika desorpsiyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Desorpsiyon işlemi sırasında darası alınmış fırın ağırlığı 5 dakika aralıklarla kayıt altına alınmıştır. Desorpsiyon işlemi bitiminde zeolit yataklar tekrar tartılıp desorbe olan nem miktarı hesaplanmıştır. 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.

4.2.4 Hesaplamalar

Adsorpsiyon sonucu ortaya çıkan toplam adsorpsiyon ısısı ΔH_d , sıcaklığın fonksiyonu olarak su için buharlaşma gizli ısısı $L(T)$ ve zeolit yatak içindeki su içeriğinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farkı ΔC (kgH₂O/kg sorb) veren denklemler aşağıda verilmiştir;

$$\Delta H_{ads} = L(T) + H_{bind} \quad (4.1)$$

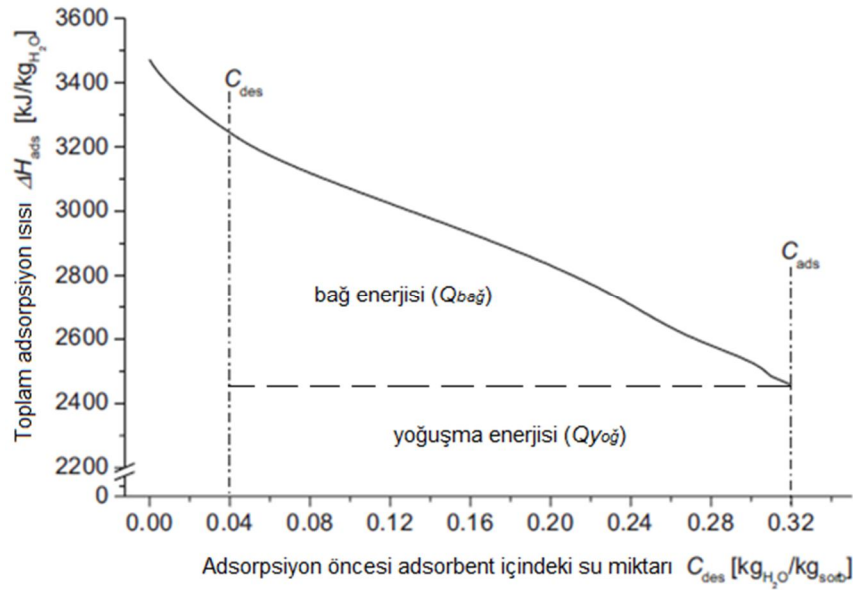
$$L(T) = 3171,2 - 2,44425 \times T \text{ (Kelvin)} \quad (4.2)$$

$$\Delta C = C_{ads} - C_{des} \quad (4.3)$$

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1. Teorik hesaplamalar

Suyun mol ağırlığı $M_a=18 \text{ g/mol}_{H_2O}$ 'dur. Buna göre 1000 g su ($18 \text{ g/mol-su} \times 1000 \text{ g-}H_2O$) 55.6 mol 'dur. Zeolitin 1 mol su için adsorpsiyon enerjisi $q_{ads}=62 \text{ kJ/mole}_{H_2O}$ 'dur. Bütün bu verilere göre 1000 g suyun adsorpsiyonu ile ortaya çıkacak diferansiyel adsorpsiyon ısı ΔH_{ads} ($55,6 \text{ mol} \times 62 \text{ kJ/mol}_{H_2O}$) $3444,4 \text{ kJ/kg}_{H_2O}$ 'dur (Şekil 5.1). Adsorpsiyon öncesi adsorbent içindeki su miktarının $0.04 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{sorb}$ kabulü ile $\Delta H_{ads}=3244 \text{ kJ/kg-su}$ 'dur [46]. Şekil 5.1'de C_{des} ($\text{kg-su}/\text{kg}_{sorb}$) desorpsiyon sonrası zeolit yatak (sorbent) içinde kalan su miktarı, C_{ads} ($\text{kg-su}/\text{kg}_{sorb}$) adsorpsiyon sonrası zeolit yatak içinde tutulan su miktarıdır. Şekil 5.1 adsorpsiyon ısısının ΔH_d sabit olmadığını ve adsorbent içindeki su miktarına bağlı değiştiğini göstermektedir. Bu nedenle zeolit bünyesinde tutulan su miktarı yatağın doyma derecesi arttıkça azalır, yani moleküler bağ enerjisinin toplam adsorpsiyon ısısı içindeki payı azalır. Bu durum aynı zamanda denklem 4.1 ile de ifade edilebilir. Denklem 4.3 kullanılarak zeolit yatak içindeki su içeriğinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark $\Delta C=0,32-0,04=0,28 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}$ şeklinde hesaplanmıştır. Buharlaşma gizli ısısını, sıcaklığın fonksiyonu olarak veren ifade denklem 4.3 ile verilmiştir. Bu denklem kullanılarak kurutma sıcaklığı $70 \text{ }^\circ\text{C}$ için $L(T)=2332 \text{ J/g}$ olarak hesaplanmıştır. Toplam adsorpsiyon ısısı ve adsorpsiyon öncesi adsorbent (sorbent) içindeki su miktarı arasındaki ilişki Şekil 5.1'de verilmiştir.



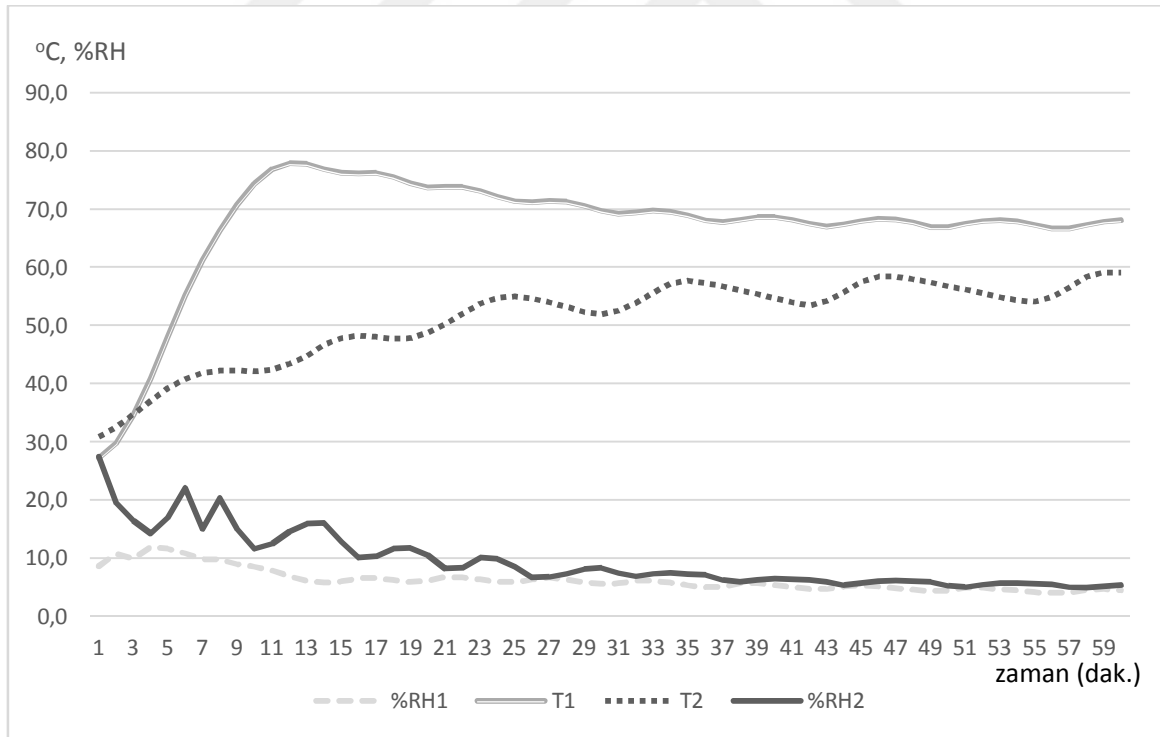
Şekil 5.1 Toplam adsorpsiyon ısısı ve adsorpsiyon öncesi adsorbent (sorbent) içindeki su miktarı arasındaki ilişki [46]

5.2. Deneysel Çalışmalar

5.2.1. Elektrikle kurutma (açık çevrim)

Gerçekleştirilen bu deneyde suya doymuş zeolit yataklar desorpsiyon işlemi yapılmadan kurutma sistemine takılmıştır, kurutma için sadece elektrik rezistanslarından yararlanılmış ve kurutma açık çevrimli yapılmıştır (%20 taze hava). Neme doyduğu kabul edilen zeolit yatakların kurutma prosesine etkisini belirlemek için kurutma deneyi başlangıcında ve sonunda ağırlıkları ölçülmüştür. Birinci ve ikinci deney başlangıçlarında ortam sıcaklıkları sırasıyla, 21 °C ve 22 °C, bağıl nem değerleri %30 ve %29'dur.

Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen hava sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri ile oluşturulmuş grafik aşağıda verilmiştir. T1 ve %RH1 zeolit yatak öncesi sıcaklık ve bağıl nem, T2 ve %RH2 zeolit yatak sonrası sıcaklık ve bağıl nemi göstermektedir (Şekil 5.2). Bu grafikte giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin kurutma süresi ilerledikçe birbirlerine doğru yaklaştıkları görülmektedir. Bu farkın azalması kurutma prosesinin tamamlandığını gösteren önemli bir parametredir.



Şekil 5.2 Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Aynı şartlarda tekrarlayan iki kurutma deneyinin başlangıç şartları ve bitiş sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Deney bir ve iki her bir hücre içinde sırasıyla alt alta yazılmıştır

Çizelgenin bir numaralı satırı triko bünyesine verilen suyun sırasıyla 769 g ve 770 g'ın kurutma esnasında uzaklaştırıldığını göstermektedir. İki ve üç numaralı satırlar neme doymuş oldukları kabul edilen zeolit yatak-1'in sırasıyla 20'şer g ve zeolit yatak-2'nin sırasıyla 20 g ve 10 g nem çektiklerini göstermektedir. Bu miktarlar toplam uzaklaştırılan nemin ortalama %2,5'una karşılık geldiği için deney sonuçlarına etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Dört ve beş numaralı satırlar ise sırasıyla ısıtıcı rezistansların çektiği güçlerin 1,42 kWh ve 1,44 kWh, kurutmaya triko bünyesinden uzaklaştırılan su için gerekli teorik gücün yine sırasıyla 0,483'er kWh olduğunu göstermektedir. Deneyler arasındaki küçük farklar kabul edilebilir düzeydedir. Altıncı satırdaki kayıplara giden güç değerlerine bakıldığında, ısıtma rezistansları tarafından harcanan enerjinin % 65,97 'inin kayıplara harcandığını göstermektedir. Bu kayıplar temel olarak, açık çevrimde dışarıdan alınan taze havanın ısıtılmasına, kurutma düzeneğinin gövdesinin ısınmasına ve ısı kayıplarına harcanan enerjiden kaynaklanmaktadır. Altıncı satırda yapılan hesaplamada birinci deneye ait veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları

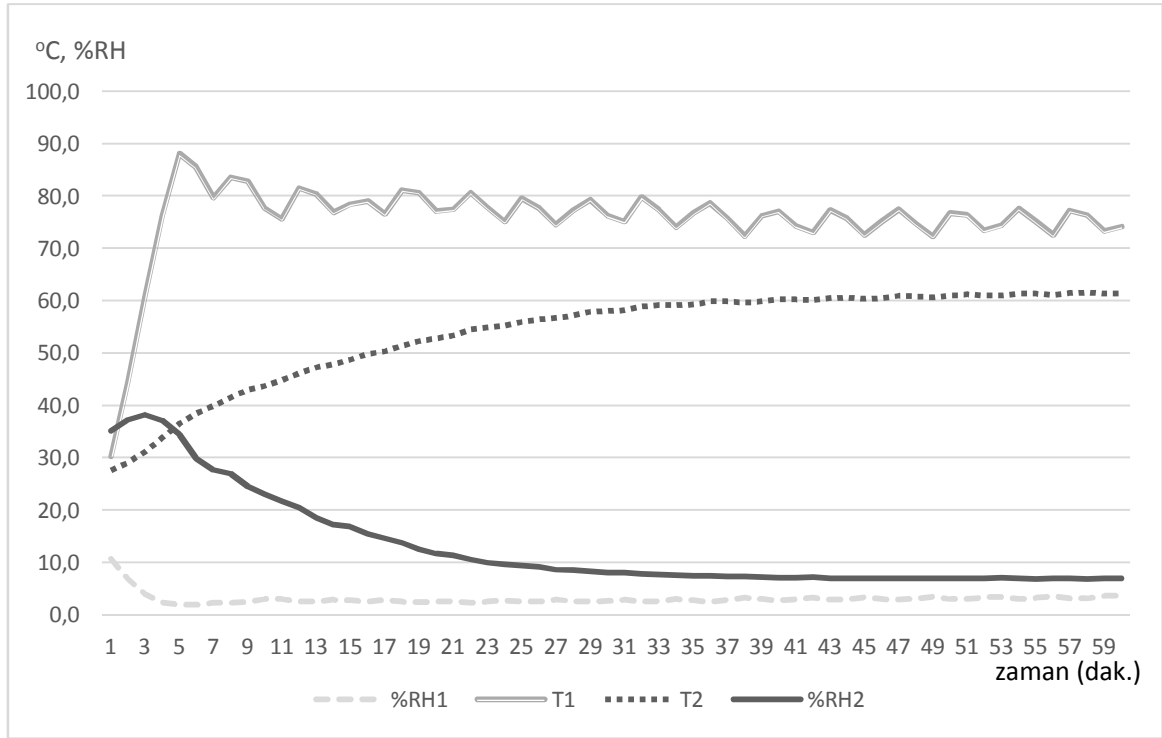
| | | KURUTMA ÖNCESİ | KURUTMA SONRASI | FARK |
|---|---|----------------|-----------------|------|
| 1 | Islatılmış triko+ kurutma haznesi ağırlığı (g) | 2103 | 1334 | -769 |
| | | 2104 | 1334 | -770 |
| 2 | Zeolit yatak-1 ağırlığı (g) | 6260 | 6280 | 20 |
| | | 6280 | 6300 | 20 |
| 3 | Zeolit yatak-2 ağırlığı (g) | 6400 | 6420 | 20 |
| | | 6420 | 6430 | 10 |
| 4 | Elektrik sayacı okuma değerleri (kWh) | 5,96 | 7,38 | 1,42 |
| | | 8,79 | 10,23 | 1,44 |
| 5 | Triko bünyesinden uzaklaştırılan su için gerekli teorik güç (kWh) | | 0,483 | |
| | | | 0,483 | |
| 6 | Kayıplara giden güç %* | | 65,97 | |

*hesaplamalarda birinci deney verileri kullanılmıştır

5.2.2. Elektrik+Zeolit yatakla kurutma (açık çevrim)

Gerçekleştirilen bu deneylerde zeolit yataklara kurutma fırınında desorpsiyon işlemi uygulanarak yatakların aktif hale gelmesi sağlanmıştır. Sonrasında kurutma fırını içinde mahal havası sıcaklığına gelmesi beklenen zeolit yataklar kurutma sistemine

takılmıştır. Kurutma sadece zeolit yataklardan faydalanılmış ve kurutma çevrimli yapılmıştır (%20 taze hava). Birinci ve ikinci deney başlangıçlarında sırasıyla, ortam sıcaklıkları 20 °C ve 22 °C, bağıl nem değerleri %28 ve %33'dür. Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen hava sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri ile oluşturulmuş grafik aşağıda verilmiştir. T1 ve %RH1 zeolit yatak öncesi sıcaklık ve bağıl nem, T2 ve %RH2 zeolit yatak sonrası sıcaklık ve bağıl nemi göstermektedir (Şekil 5.3). Bu grafikte giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin kurutma süresi ilerledikçe birbirlerine doğru yaklaştıkları görülmektedir.



Şekil 5.3 Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Aynı şartlarda tekrarlayan iki kurutma deneyinin başlangıç şartları ve bitiş sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Deney bir ve iki her bir hücre içinde sırasıyla alt alta yazılmıştır. Çizelgenin birinci, ikinci ve yedinci satırlarında, triko bünyesine verilen 792 g ve 790 g suyun sırasıyla 820 g ve 800 g olarak uzaklaştırıldığı görülmektedir. Aradaki fark, ağırlıklı olarak %20 oranda alınan dış hava içindeki nemin zeolit yataklarda tutulmasından kaynaklanmaktadır. Bu değerler yedi numaralı satırda 28 g ve 10 g olarak verilmiş olup, maksimum sapma %3,4'tür. Dört ve beş numaralı satırlar, sırasıyla ısıtıcı rezistansların çektiği güçlerin 0,792 kWh ve 0,788 kWh, triko bünyesinden uzaklaştırılan su için gerekli teorik gücün yine sırasıyla 0,513 ve 0,512 kWh olduğunu göstermektedir. Altıncı satırdaki

kayıplara giden güç değerlerine bakıldığında, ısıtma rezistansları tarafından harcanan enerji ve zeolit yataklarda ortaya çıkan adsorpsiyon enerjisinin % 66,49'ünün kayıplara gittiği görülmektedir. Bu kayıplar temel olarak, açık çevrimde dışarıdan alınan taze havanın ısıtılmasına, kurutma düzeneğinin gövdesinin ısınmasına ve ısı kayıplarına harcanan enerjiden kaynaklanmaktadır. Sekizinci satırda zeolit yatakların çektiği nemin sonucunda ortaya çıkan teorik adsorpsiyon enerjisi 2660,08 kJ ve 0,739 kWh olarak hesaplanmıştır. Altı ve sekizinci satırda yapılan hesaplamalarda birinci deneye ait veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.2 Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları

| | | KURUTMA ÖNCESİ | KURUTMA SONRASI | FARK |
|---|---|----------------|-----------------|-------|
| 1 | Islatılmış triko+ kurutma haznesi ağırlığı (g) | 2106 | 1314 | -792 |
| | | 2100 | 1310 | -790 |
| 2 | Yatak 1 ağırlığı (g) | 5760 | 6180 | 420 |
| | | 5780 | 6170 | 390 |
| 3 | Yatak 2 ağırlığı (g) | 5600 | 6000 | 400 |
| | | 5750 | 6160 | 410 |
| 4 | Elektrik sayacı okuma değerleri (kWh) | 11,48 | 12,272 | 0,792 |
| | | 13,076 | 13,864 | 0,788 |
| 5 | Triko bünyesinden uzaklaştırılan su için gerekli teorik güç (kWh) | | 0,513 | |
| | | | 0,512 | |
| 6 | Kayıplara giden güç %* | | 66,49 | |
| 7 | Zeolit yataklarda tutulan su miktarı (g) | | 820 | 28 |
| | | | 800 | 10 |
| 8 | Adsorpsiyon enerjisi ΔH_{ads} (kJ) * | | 2660,08 | |
| | Adsorpsiyon enerjisi (kWh) * | | 0,739 | |

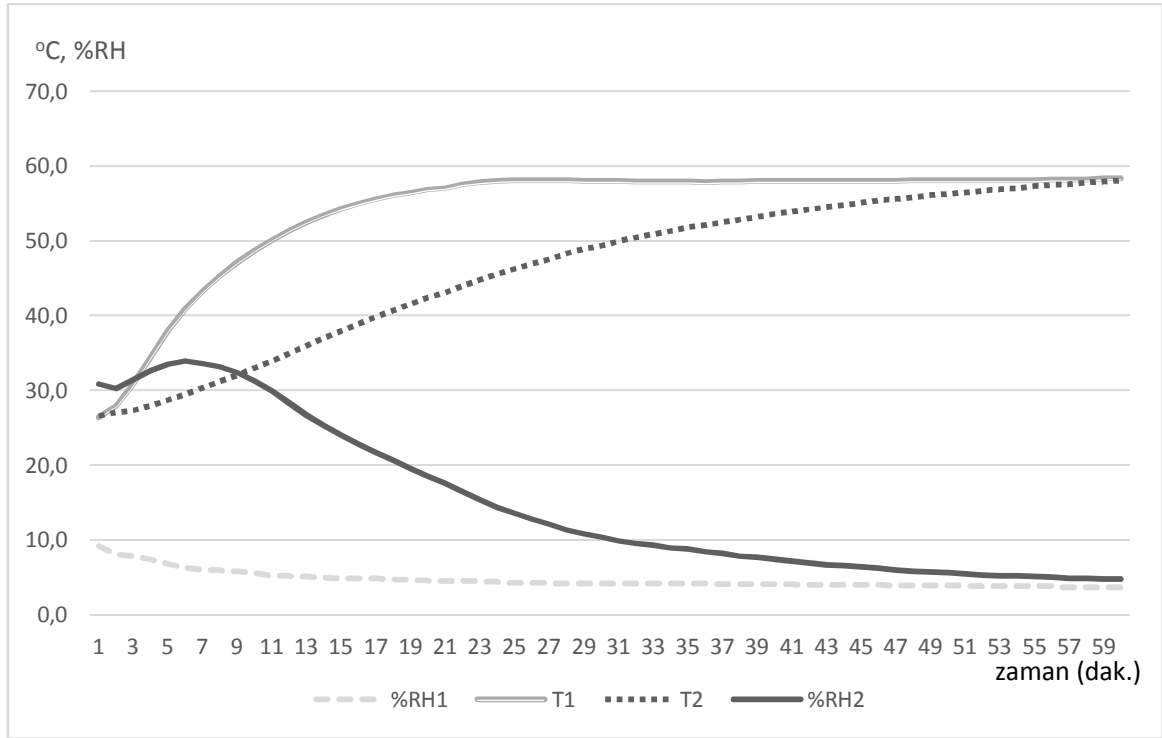
*hesaplamalarda birinci deney verileri kullanılmıştır

5.2.3 Zeolit yatakla (kapalı çevrim)

Gerçekleştirilen bu deneylerde zeolit yataklara kurutma fırınında desorpsiyon işlemi uygulanarak yatakların aktif hale gelmesi sağlanmıştır. Sonrasında kurutma fırını içinde mahal havası sıcaklığına gelmesi beklenen zeolit yataklar kurutma sistemine takılmıştır, Kurutma için zeolit yataklardan faydalanılmış ve kurutma kapalı çevrimli yapılmıştır. Birinci ve ikinci deney başlangıçlarında sırasıyla, ortam sıcaklıkları 19 ve 21 °C, bağıl nem değerleri %27 ve %30'dur.

Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen hava sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri ile oluşturulmuş grafik aşağıda verilmiştir. T1 ve %RH1 zeolit

yatak öncesi sıcaklık ve bağıl nem, T2 ve %RH2 zeolit yatak sonrası sıcaklık ve bağıl nemi göstermektedir (Şekil 5.4). Bu grafikte giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin kurutma süresi ilerledikçe birbirlerine doğru yaklaştıkları görülmektedir. Bu 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.



Şekil 5.4 Kurutma haznesi giriş ve çıkışında zamana bağlı olarak kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Aynı şartlarda tekrarlayan iki kurutma deneyinin başlangıç şartları ve bitiş sonuçları Çizelge 5.3’de verilmiştir. Deney bir ve iki her bir hücre içinde sırasıyla alt alta yazılmıştır Çizelgenin birinci, ikinci ve altıncı satırlarında triko bünyesine verilen 755 g ve 779 g suyun sırasıyla 765 g ve 785 g olarak uzaklaştırıldığı görülmektedir. Bu değerler arasındaki farklar altı numaralı satırda 10 g ve 6 g olarak verilmiş olup, maksimum sapma ihmal edilebilir düzeydedir. Dört numaralı satır, triko bünyesinden uzaklaştırılan su için gerekli teorik gücün yine sırasıyla 0,489 kWh ve 0,505 kWh olduğunu göstermektedir. Beşinci satırdaki enerji tüketimi sonuçlarına bakıldığında zeolit yataklarda ortaya çıkan adsorpsiyon enerjisinin %29,05’inin; kurutma düzeneğinin gövdesinin ısınmasına ve ısı

kayıplarına harcandığı görülmektedir. Yedinci satırda zeolit yatakların çektiği nemin sonucunda ortaya çıkan teorik adsorpsiyon enerjisi 2481,66 kJ (0,689 kWh) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 Aynı şartlarda yapılan iki kurutma deneyinin başlangıç ve bitiş sonuçları

| | | KURUTMA ÖNCESİ | KURUTMA SONRASI | FARK |
|---|---|----------------|-----------------|------|
| 1 | Islatılmış triko+ kurutma haznesi ağırlığı (g) | 2104 | 1349 | -755 |
| | | 2116 | 1337 | -779 |
| 2 | Yatak 1 ağırlığı (g) | 6140 | 6495 | 355 |
| | | 5980 | 6345 | 365 |
| 3 | Yatak 2 ağırlığı (g) | 6050 | 6460 | 410 |
| | | 6035 | 6455 | 420 |
| 4 | Triko bünyesinden uzaklaştırılan su için gerekli teorik güç (kWh) | | 0,489 | |
| | | | 0,505 | |
| 5 | Kayıplara giden güç %* | | 29,05 | |
| 6 | Zeolit yataklarda tutulan su miktarı (g) | | 765 | 10 |
| | | | 785 | 6 |
| 7 | Adsorpsiyon enerjisi ΔH_{ads} (kJ)* | | 2481,66 | |
| | Adsorpsiyon enerjisi (kWh)* | | 0,689 | |

*hesaplamalarda birinci deney verileri kullanılmıştır

6. SONUÇLAR

Bu çalışma deneysel bir kurutma sisteminde eşdeğer şartlarda yapılan üç farklı kurutma senaryosunun karşılaştırılmasını sağlamıştır. Bu senaryoların değişen temel parametreleri kullanılan enerji türü ve kurutma çevrimlerinin açık ya da kapalı olmasıdır. Zeolit kullanılarak yapılan kurutma çalışmalarında hesaplanan adsorpsiyon enerjisinin ideal olmayan deneysel koşullar nedeniyle kabul edilebilir düzeyde daha düşük değerlere sahip olduğu öngörülmüştür. Zeolit teorik adsorpsiyon enerjisindeki sapmanın nedenlerinden başlıcaları; zeolit yatak yapısı, hava akışının her noktada homojen dağılmamasıdır. Bu durumun rakamsal olarak tespiti ayrı bir araştırma konusudur. Oluşturulan üç farklı senaryo karşılaştırması Çizelge 6.1’de özetlenmiştir, kullanılan veriler yapılan ilk deneylere aittir . Bu çizelgede T_{1ort} ($^{\circ}C$) ortalama kurutma sıcaklığını, m_{su} (g) kurutulan materyalden uzaklaştırılan su kütlesini, P_e (Watt) harcanan toplam elektrik enerjisini (Watt), P_{ads} (Watt) teorik adsorpsiyon enerjisini ve P_T (Watt) toplam harcanan enerjiyi (elektrik+adsorpsiyon) göstermektedir.

Bu çizelgede T_{1ort} ($^{\circ}C$) ortalama kurutma sıcaklığı, en düşük değeri $54.1^{\circ}C$ ile senaryo üçte gerçekleşmiştir. Bu senaryonun tek enerji kaynağı zeolit yataklarda ortaya çıkan adsorpsiyon enerjisi olup en düşük ortalama kurutma sıcaklığına rağmen kurutma prosesi başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır.

Çizelge 6.1 Kurutma senaryolarının karşılaştırılması

| | Senaryo 1 Elektrikle kurutma (açık çevrim) | Senaryo 2 Elektrik+Zeolit Yatakla Kurutma (açık çevrim) | Senaryo 3 Zeolit Yatakla Kurutma (kapalı çevrim) |
|----------------------------|---|---|--|
| T_{1ort} ($^{\circ}C$) | 67,1 | 75,6 | 54,1 |
| m_{su} (g) | 769 | 790 | 755 |
| P_e (watt) | 1420 | 792 | - |
| P_{ads} (watt) | - | 739 | 689 |
| P_T (watt) | 1420 | 1531 | 689 |

Yapılan bu çalışma doğru tasarlanmış bir Zeolit yataklı kurutma sistemi ile herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan, tümüyle kapalı bir çevrimle ve daha düşük ortalama sıcaklıklarda kurutma yapılabileceğini ortaya koymuştur. Ancak zeolit

yatakların kurutma sonrası tekrar nem çeker hale getirilmesi sürecinde ısıtılmaları gerekmektedir. Bu özellik ilk bakışta enerji bilançosunu olumsuz etkilemektedir. Desorpsiyon işlemi ortalama 200 °C’ de yapıldığından, yatakların kurutulması esnasında ortaya çıkan sıcak ve neme doymuş havanın değerlendirilmesi, bu havanın yaş bir prosesin ısıtılması için kullanılması ile mümkün olur. Dolayısı ile hem kurutma hem de sıcak yaş proseslerin bir arada bulunduğu durumlarda zeolit yataklar ile yapılan kurutma enerji verimliliğini olumlu yönde etkileyecektir. Zeolit yatakların desorpsiyon sonrasında ulaştığı nem çekme kapasitesi ve buna bağlı sahip olduğu adsorpsiyon enerjisi potansiyeli sadece kurutma uygulamaları için değil, kontrollü nem vererek ısı kaynağı olarak kullanımını mümkün kılmaktadır. Desorpsiyon için güneş enerjisi gibi kaynakların oldukça uygun olması zeolit yatakların hem nem çekici hem de istendiği anda kullanımı mümkün olan ısı deposu olarak kullanımını mümkün kılmaktadır. Bu özellikleri ile zeolitlerin önümüzdeki yıllarda bu gibi amaçlarla kullanımının artması beklenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Bingöl, G., ve Devres, Y. O., 2010. Gıda Teknolojilerinde Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri. İstanbul Sanayi Odası Yayınları. ISBN: 978-9944-60-582-3, İstanbul, 114s.
- [2] Pınarbaşı, A., Ülkü, S., 1989. Kurutmada Enerji Ekonomisi, Isı Bilim Tekniği Kongresi, İzmir.
- [3] Sakızcı, M., Yörükoğulları, E., 2007. Gördes Yöresi Klinoptilolit (Doğal ve Modifiye) Su Buharı Adsorpsiyonu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, M.M.F. Dergisi, XX, 1, 14s.
- [4] Akarslan, F., Dokuma Kumaşların Kuruma Hızı Değerlerinin Bulanık Mantık Metodu İle Belirlenmesi. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2007(2), 15-23, (2007).
- [5] Bakır, F., 2007. Odunun Kurutulmasının Deneysel ve Matematiksel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Elazığ. 154s.
- [6] Kaya, A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Trabzon. 168s.
- [7] Kaya, A., Aydın, O., 2008. Kurutma Havası Sıcaklığının Kızılıcığın Kurutma Süresi ve Sorpsiyon Eğrisine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 28, sayı 2, 45-49.
- [8] Uçak, F., 2010. Tekstil Terbiye İşletmelerinde Ramöz Makinasında Enerji Tasarrufu. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Adana. 93s.
- [9] Orhan, B., Güngör, A., 2011. Adsorpsiyonlu Su Soğutucu Tasarımları ve Uygulamaları. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1161-1169.
- [10] Bayhan, H. A., 2011. Kabin tipi bir kurutucuda kurutma sürecini etkileyen parametrelerin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Isparta. 116s.
- [11] Yıldırım, Z. E., İliş, G. G., Mobedi, M., Ülkü, S., 2011. Adsorpsiyonlu Chillerlerde Kullanılabilecek Adsorbent-Adsorbat Çiftlerinin Özellikleri ve Çevrim Performanslarının İncelenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu, 1143-1158.
- [12] Solmuş, İ., Yıldırım, C., 2014. Adsorpsiyonlu Bir Soğutma Sisteminin Performansının Farklı Çalışma Çiftleri İçin Teorik Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34, 2, 29-37.
- [13] Zeolit nedir ?, 2017. Ürgüç Tarım, Madencilik LTD. ŞTİ.. URL (Erişim tarihi : 10.01.2017) www.zeolite.info.tr.tc

- [14] What are zeolites?, 2017. Zeolyst International. URL (Erişim Tarihi: 08.01.2017) <http://zeolyst.com/faqs.aspx>
- [15] Zeolit structure, 2017. Wikipedia Commons. URL (Erişim Tarihi: 10.01.2017) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeolit-struktura.jpg>
- [16] Yücel, H., ve Çulfaz, A., 1984. Doğal Ve Yapay Zeolitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları. ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi Eki, 3, 10, 1-20,
- [17] Othmer, D.F. and Mark, H.F., 1978, Encyclopedia of Chemical Technology. A. Wiley, Interscience Publication. ISBN: 978-0-471-48496-7, America, 1084s.
- [18] Zeolitlerin yapısı, 2016. Anonim, URL (Erişim Tarihi: 2.10.2016) www.zeoder.org.tr/zeolit.php
- [19] Köktürk, U., 1995. Zeolit Madenciligi ve Çevre Sağlığına Etkileri. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 1-10.
- [20] Kibaroglu, U., 2009, Zeolitlerin endüstriyel kullanımları. Bitirme Ödevi. Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Zonguldak. URL (Erişim Tarihi; 20.01.2017) www.oocities.com/ukibaroglu/calismalar/zeolit.htm
- [21] Zeolitler, 2017. Anonim. URL (Erişim Tarihi: 15.01.2017) www.forumfood.org/zyr/dosyalar/fl5a844b7.doc
- [22] Zeolite, 2016. Mac Plank Gesellschaft, URL (Erişim Tarihi: 14.10.2016) www.mpi-muelheim.mpg.de/kofo/institut/arbeitsbereiche/schmidt/zeolites_ec.html
- [23] What are zeolites?, 2017. Anonim. URL (Erişim Tarihi: 18.03.2017) <https://sciborg.uwaterloo.ca/~cchieh/cact/applychem/alsilicate.html>
- [24] Alumina, 2017. Damla Kimya. URL (Erişim Tarihi: 14.03.2017) www.damlakimya.com/urunler/DES%C4%B0KANTLAR/Molek%C3%BCler%20Sieve
- [25] Zeolite, 2017. ZSM-5, Wikipedi. URL(Erişim Tarihi: 14.03.2017) <https://tr.wikipedia.org/wiki/ZSM-5>
- [26] Zeolite, 2017. MFI, TU Chemical Engineering Zeolite Page. URL (Erişim Tarihi: 15.03.2017) <http://www.personal.utulsa.edu/~geoffrey-price/zeolite/mfi.jpg>
- [27] Zeolite, 2017. MFI, TU Chemical Engineering Zeolite Page. URL (Erişim Tarihi: 15.03.2017) <http://www.personal.utulsa.edu/~geoffrey-price/zeolite/mel.jpg>
- [28] Dyer, A., Wiley J., 1988. An Introduction to Zeolite Molecular Sieves. Chichester J. Wiley, ISBN 0 471 91981, New York, 149s.
- [29] Zeolit kimyasal Bileşimi, 2016. Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü. URL (Erişim Tarihi: 18.10.2016) www.mta.gov.tr/v.2.0/birimler/redaksiyon/ekonomibultenleri/2014

- [30] Zeolitin iskelet yapısı, 2017. Wikipedia. URL (Erişim Tarihi: 15.03.2017) <https://tr.wikipedia.org/wiki/Zeolit#/media/File:Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>
- [31] Zeolitin kullanım alanları, 2016. Anonim. URL (Erişim Tarihi: 18.11.2016) <http://www.kimyamuhendisi.com>
- [32] Choy, K.K.H., McKay, G., Porter, J.F., 1999. Sorption of Acid Dyes From Effluents Using Activated Carbon, Resources, Conservation and Recycling 27, 57-71.
- [33] Bilgiç, A., 2013. Gözenekli Yapıların Modifikasyonu ve Metal Uzaklaştırılmasında Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı. Karaman, 82s.
- [34] Bayhan, H., A., 2011. Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Isparta. 116s.
- [35] Telli, Z. K., 1997. Termodinamik. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Yayın No: 19, Isparta.
- [36] Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları. 536, İzmir.
- [37] Fanlı Kurutma Fırını, 2017. Arhavi Sanayi Sitesi. URL (Erişim Tarihi: 13.01.2017) <http://www.arhavisanayi.com/fanli-kurutma-firini/>
- [38] Güngör, A., Özbalta, N., 1997. Endüstriyel Kurutma Sistemleri. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiri Kitabı. MMO, ISBN: 203-1 , İzmir, 737s.
- [39] Cemeröğlu, B., 2004, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 1. Başkent Klişe Matbaacılık. ISBN 975-98578-1-2, Ankara.
- [40] Ozmoz olayı, 2016. Anonim. URL (Erişim Tarihi: 22.11.2016) <http://www.alemonline.com/biyoloji/canlilarin-temel-bilesikleri-ygs-lys-oss-oss-2-oys-de-cikmis-sorular-cevaplari678201.html>
- [41] Kabin kurutucu, 2017. EKSİS Endüstriyel Kurutma Sistemleri. URL (Erişim Tarihi: 24.02.2017) http://www.kurutma.net/oda_tipi_kurutucu.html
- [42] Zıt akışlı kurutucu, 2017. Anonim. URL (Erişim Tarihi: 24.02.2017) <http://docplayer.biz.tr/7959217-3-tasinim-ile-isi-transferi.html>

- [43] Kurutma tünelleri, 2017. Tarend Pazarlama ve Dış Ticaret. URL (Erişim Tarihi: 02.03.2017)
- <http://www.tarend.com/urunler/1001/meyveboylamavepaketlenmechatlari/1010/kurutmatunelleri.aspx>
- [44] Çalhan, R., Kaya, D., Tulger, G., Eyidoğan, M., 2012. Organik Gübre Kurutma Teknolojileri: Akışkan Yataklı Kurutucular, TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, 53, 634, 22-33
- [45] Akışkan yataklı kurutma, 2017. EKOSALT Kimya Pazarlama İth. İhr. San. Ve Tic. Ltd. Şti.. URL (Erişim Tarihi: 15.02.2017) <http://www.ekosalt.com/akiskan-yatakli-kurutma>
- [46] Hauer, A., Fischer, F., 2011. Open Adsorption System for an Energy Efficient Dishwasher Chemie Ingenieur Technik, 83, No. 1–2, 61–66



ZEOX Molecular Sieve 13X applies to the following products: Z10-04; Z10-06

Date of printing

22.02.2006

Sheet no. 33441

Page 1 of 5

| | | |
|-------|--|--|
| 1 | Commercial product name / designation | |
| 1.1.1 | Synonym | Zeolite X |
| 1.1.2 | Molecular formula | $\text{Na}_2\text{O} * \text{Al}_2\text{O}_3 * y \text{SiO}_2 * z \text{H}_2\text{O}$ |
| 1.2 | Application / use | Adsorption of polar organic and inorganic matters. |
| 1.3 | TOX emergency number | +41 44 251 51 51 (Toxicological Information Centre, CH-8032 Zurich) |
| 1.4 | CAS No. CAS Name | 1318-02-1 Zeolite |
| 1.5 | EINECS-No. | 215-283-8 |
| 1.6 | Product No. | |
| 2 | Composition | |
| 2.1 | Chemical characterisation | Zeolite (CAS No. 1318-02-1; EINECS: 215-283-8) natural mineral binder |
| 2.2 | Hazardous components CAS No. 14808-60-7 quartz Index No. < 1 % | Does not contain any dangerous substances according to the criteria of the EC (Council Directive 99/45/EC and 2001/60/EC). |
| 3 | Hazards identification | The activated product evolves much heat on contact with water. May cause sensitization by inhalation and skin contact. |
| 4 | First aid measures | |
| 4.1 | Eye contact | Flush copiously with water for at least 15 minutes whilst keeping the eyes wide open. |
| 4.2 | Skin contact | Wash thoroughly with soap and water. |
| 4.3 | Ingestion | Drink a lot of water if large amounts are ingested. Do not induce vomiting. Call a physician and/or transport to emergency facility immediately. |
| 4.4 | Inhalation | Take into fresh air. |
| 4.5 | Further information | This product is a desiccant and generates heat when it adsorbs water. The used product can obtain materials of a hazardous nature. Identify that material and treat symptomatically. |
| 5 | Fire-fighting measures | |
| 5.1 | Suitable extinguishing media | Adapt the fire extinguisher to surroundings. |

ZEOX Molecular Sieve 13X applies to the following products: Z10-04; Z10-06

Date of printing

22.02.2006

Sheet no. 33441

Page 2 of 5

| | | |
|-------|--|--|
| 5.2 | Extinguishing media to avoid | water |
| 5.3 | Personal protective equipment | |
| 5.4 | ERI-Cards | |
| 5.5 | Further information | Non inflammable product. |
| 6 | Accidental release measures | Sweep carefully together to minimise dust generation Advise water authority if spillage has entered water course or drainage system. |
| 7 | Handling and storage | No specific requirements. |
| 7.1 | Handling | Avoid breathing dust. Avoid eye and skin contact. |
| 7.2 | Industrial hygiene | Avoid eating, drinking and storage of foodstuffs in the working room. |
| 7.3 | Storage | The product must be kept air tight to avoid loss of activity. Ensure lids are resealed after use. |
| 7.4 | Place of storage | Store in a dry place |
| 7.5 | Fire- and explosion protection | Take precautions to avoid accumulation of electrostatic charge. |
| 8 | Exposure controls / personal protection | |
| 8.1 | Technical measures | Provide general and/or local exhaust ventilation to control airborne levels below the exposure guidelines. |
| 8.2 | Control of threshold limits | |
| 8.3 | MAK value | 10 mg/m ³ 3 mg/m ³ general dust alveolar dust |
| 8.4 | Personal protective equipment | dust mask |
| 8.4.1 | Respiratory protection | protective gloves. |
| 8.4.2 | Hand protection | Safety glasses. |
| 8.4.3 | Eye protection | |
| 8.4.4 | Other | |
| 9 | Physical and chemical properties | |
| 9.1 | Appearance | globes |
| 9.2 | Color | beige |
| 9.3 | Odour | odourless |
| 9.4 | Change of physical state | Test method: Does not soften below 700 °C |
| 9.5 | Density bulk density | 600 – 700 kg/m ³ |

EK – A (Devam)**ZEOX Molecular Sieve 13X applies to the following products: Z10-04; Z10-06**

Date of printing

22.02.2006

Sheet no. 33441

Page 3 of 5

| | | |
|------|--|---|
| 9.6 | Vapour pressure | |
| 9.7 | Viscosity | insoluble |
| 9.8 | Solubility in water < 1 g/l (20°C) | |
| 9.9 | pH | 9.0 - 11.5 ISO 787-9 |
| 9.10 | Flash point | not flammable |
| 9.11 | Ignition temperature | not flammable |
| 9.12 | Explosion limits | Lower:- vol. % |
| 9.13 | Further information | Upper:- vol. % |
| 10 | Stability and reactivity | |
| 10.1 | Materials to avoid | Evolves considerable heat on contact with water. (max. 4200 kJ/kg water) |
| 10.2 | Conditions to avoid Stability | The product is stable. |
| 10.3 | Hazardous decomposition products | None under standard conditions. |
| 10.4 | Further information | None under standard conditions. |
| 11 | Toxicological information | |
| 11.1 | Acute toxicity Irritation / Cauterization | The oral LD ₅₀ for rats is > 10'000 mg/kg. The dermal LD ₅₀ for rabbits is >2000 mg/kg. The LC ₅₀ for inhalation in rats is >18.3 mg/L. |
| 11.2 | Subacute / chronic toxicity | Short single exposure is not likely to cause skin irritation. May cause slight eye irritation Eyes |
| 11.3 | Further information | The product is an adsorbent. Contact with the skin will dry it out. Heat is evolved on contact with water and this may cause burning. If the MAK-value is exceeded, then an overloading of the respiratory tract is likely. |
| 12 | Ecological information | Category of water hazard Toxicity to daphnia EC ₅₀ 48h: 1000-1800 mg/l Toxicity to fish LC ₅₀ 96h: 1800-3200 mg/l Biodegradability n.a. Indication of danger The product is practically insoluble so it is possible to separate by filtration or sedimentation. |

EK – A (Devam)**ZEOX Molecular Sieve 13X applies to the following products: Z10-04; Z10-06**

Date of printing

22.02.2006

Sheet no. 33441

Page 4 of 5

| | | |
|--------|---|---|
| 13 | Disposal considerations | The used product will have properties other than that of the fresh product. This Safety Datasheet can not give details about the used product, which should be disposed of in an approved waste disposal site in accordance with the local rules and regulations. |
| 13.1 | EC waste key | This code depends on the industrial application for the product, and, therefore, must be determined by the user. |
| 13.2 | Swiss waste code | Not used product gets the waste code 15 02 03 |
| 13.3 | Origin | |
| 14 | Transport information | Dangerous Good yes no X |
| 14.1 | Transport at land: RID / ADR Class Warning label UN No. Packing group | Classification code Hazard id. no. |
| 14.2 | Transport at sea: IMDG UN No. Class Subsidiary Risk EMS Proper Shipping Name | |
| 14.3 | Air transport: ICAO / IATA-DGR UN No. Class Subsidiary Risk Hazard Label(s) Packing Group Passenger Aircraft Cargo Aircraft only | Packing Instruction max. Packing Instruction max. |
| 14.4 | Further information | Product is not classified for any mode of transportation. |
| 15 | Regulatory information | This product does not require classification according to the criteria of the EC and the 'Gefahrstoffverordnung'. |
| 15.1.1 | Swiss toxicity class | |
| 15.1.2 | BAG T Nr. / EDV-No. | |
| 15.2 | Index-No. | |
| 15.3 | Hazard symbols | |
| 15.4 | Hazard designation | |
| 15.5 | Risk phrases | R- |
| 15.6 | Safety phrases | S- |

EK – A (Devam)**ZEOX Molecular Sieve 13X applies to the followings products: Z10-04; Z10-****06** Date of printing

22.02.2006

Sheet no. **33441**

Page 5 of 5

| | | |
|--|--|---|
| 15.7 (D) | CEA classification 15.8 VbF | F6 s PN4 |
| 15.9 | USA (TSCA) Canada (DSL) Canada (DSL) Australia (AICS) Japan (ENCS) Korea (ECL) | CAS Nr.: 1318-02-1 CAS Nr.: 1318-02-1 CAS Nr.: 1318-02-1a ENCS: 1-508 ECL : KE-30974 |
| 15.10 | Further information | |
| 16 | Other information | Abbreviations: n.a. = not applicable; n.d. = not determined; n.cl. = not classified. |
| <p>The above mentioned data correspond to our present state of knowledge and experience. The safety data sheet serves as description of the products in regard to necessary safety measures. The indications do not imply any guarantee of a property.</p> <p><i>Alle vorstehenden Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und Erfahrungen. Das Sicherheitsdatenblatt dient der Beschreibung der Produkte im Hinblick auf Sicherheitserfordernisse. Diese Angaben stellen keine Zusicherungen von Eigenschaften dar.</i></p> | | |
| <p>This safety data sheet has been generated with the safety database 'ChemManager', © ASSiST, Weiherweg 3, CH-4104 Oberwil, Switzerland</p> | | |

EK - B**ZEOX Moleküler Elek 13X ürünleri aşağıdakiler için geçelidir : Z10-04; Z10-06**

baskı tarihi

22.02.2006

Sayfa no. 33441

sayfa 1/5

| | | |
|-------|---|---|
| 1 | Ticari ürün adı | |
| 1.1.1 | Eş anlamlı ismi | Zeolite X |
| 1.1.2 | Moleküler formülü | $\text{Na}_2\text{O} * \text{Al}_2\text{O}_3 * y \text{SiO}_2 * z \text{H}_2\text{O}$ |
| 1.2 | Uygulama / Kullanım | Polar organik ve inorganik maddelerin adsorpsiyonu |
| 1.3 | Acil durum numarası | +41 44 251 51 51 (Toksikolojik Bilgi Merkezi, CH-8032 Zurich) |
| 1.4 | CAS Numarası. CAS ismi | 1318-02-1 Zeolite |
| 1.5 | EINECS-No. | 215-283-8 |
| 1.6 | Ürün No. | |
| 2 | Bileşim | |
| 2.1 | Kimyasal Karakterizasyonu | Zeolite (CAS No. 1318-02-1; EINECS: 215-283-8) doğal mineral bağlayıcı |
| 2.2 | Tehlikeli bileşenler CAS No. 14808-60-7 Kuars endeks numarası | < 1 % AT kriterlerine göre tehlikeli madde içermez (Konsey direktifi 99/45/EC ve 2001/60/EC). |
| 3 | Tehlike tanımı | Aktif ürün su ile temas ettiğinde çok fazla ısıya neden olur. Solunduğunda ve cilt ile temasında hassasiyete neden olabilir. |
| 4 | İlk yardım tedbirleri | |
| 4.1 | Göz teması | Gözleri açık tutarak en az 15 dakika bol suyla yıkayınız |
| 4.2 | Ten teması | Su ve sabun ile iyice yıkayınız. |
| 4.3 | Yeme/Ağza kaçma durumu | Çok miktarda yutulursa bol su için. Kusmayı teşvik etmeyin. Hemen bir doktor ve / veya acil durum kuruluşuna başvurun. |
| 4.4 | Soluma | Temiz hava soluyun |
| 4.5 | Daha fazla bilgi | Bu ürün bir kurutucudur ve suyu adsorbe ettiğinde ısı üretir. Kullanılan ürün ile tehlike niteliğinde malzemeler elde edilebilir. |
| 5 | Yangın söndürme önlemleri | |
| 5.1 | Uygun yangın söndürme cihazı kullanın | Yangın söndürücüyü çevre durumuna göre ayarlayın. |
| | | |

EK – B (Devam)

ZEOX Moleküler Elek 13X ürünleri aşağıdakiler için geçelidir:Z10-04; Z10-06

baskı tarihi

22.02.2006

Sayfa no. 33441

sayfa 2/5

| | | |
|-------|---|---|
| 5.2 | Söndürücü | su |
| 5.3 | Kişisel koruyucu ekipman | |
| 5.4 | ERG- Uyarı kartları | |
| 5.5 | Daha fazla bilgi | Yanıcı olmayan ürün |
| 6 | Kazalara karşı alınacak önlemler | Su kanalına veya drenaj sistemine dökülmüşse gerekli uyarıları yapın. |
| 7 | Taşıma ve depolama | Özel gereksinimleri yoktur. |
| 7.1 | Kullanma | Tozu solumaktan kaçının. Göz ve cilt temasından kaçının. |
| 7.2 | Endüstriyel hijyen | Çalışma ortamında yemek yemekten ve içecek içmekten kaçının. |
| 7.3 | Depolama | Ürünü korumak için ürün koruyucusu hava geçirmez olmalıdır. Kullandıktan sonra koruyucu kapakların iyice kapandığından emin olun. |
| 7.4 | Depolama yeri | Kuru bir yerde saklayın. |
| 7.5 | Yangın ve patlamadan korunma | Elektrostatik yük birikimini önlemek için önlem alın. |
| 8 | Maruz kalma sınırları/ Kişisel korunma | |
| 8.1 | Teknik önlemler | Maruziyet sınırlarının altında kalması için hava seviyesini kontrol edin, genel ve/veya yerel havalandırma yapın. |
| 8.2 | Eşik limit kontrolü | |
| 8.3 | MAK değeri (müsaade edilen azami konsantrasyon) | 10 mg/m ³ 3 mg/m ³ Genel toz sınırları |
| 8.4 | Kişisel koruyucu ekipman | |
| 8.4.1 | Solunum koruması | Toz maskesi |
| 8.4.2 | El koruma | Koruyucu eldivenler |
| 8.4.3 | Göz koruması | Koruyucu gözlükler |
| 8.4.4 | Diğerleri | |
| 9 | Fiziksel ve Kimyasal Özellikler | |
| 9.1 | Görünüş | Boncuk |
| 9.2 | Renk | Bej |
| 9.3 | Koku | Kokusuz |
| 9.4 | Fiziksel hal değişimi | Test yöntemi:700 °C nin altında bozulmaz |
| 9.5 | Yoğunluk Kütle yoğunluğu | 600 – 700 kg/m ³ |

EK – B (Devam)**ZEOX Moleküler Elek 13X ürünleri aşağıdakiler için geçerlidir:Z10-04; Z10-06**

baskı tarihi

22.02.2006

Sayfa no. 33441

sayfa 3/5

| | | |
|------|-------------------------------------|--|
| 9.6 | Buhar basıncı | |
| 9.7 | Viskozite | Çözünmez |
| 9.8 | Sudaki çözünürlük < 1 g/l (20°C) | |
| 9.9 | pH | 9.0 - 11.5 ISO 787-9 |
| 9.10 | Alevlenme noktası | Yanıcı değil |
| 9.11 | Tutuşma sıcaklığı | Yanıcı değil |
| 9.12 | Patlama limitleri | Alt:- vol.% üst:- vol.% |
| 9.13 | Daha fazla bilgi | |
| 10 | Kararlılık ve Reaktivite | |
| 10.1 | Dikkat edilmesi gereken materyaller | Su ile temas ettiğinde önemli miktarda ısı açığa çıkmaktadır. (max. 4200 kJ/kg water) |
| 10.2 | Kararlılıktan kaçınmak için şartlar | Ürün stabildir. |
| 10.3 | Tehlikeli atık | Standart şartlar yok |
| 10.4 | Daha fazla bilgi | Standart şartlar yok |
| 11 | Toksikolojik Bilgiler | |
| 11.1 | Akut toksik Tahriş/ Yakma | Fareler için oral değer LD50 > 10'000 mg/kg. dermal LD50 tavşanlar için >2000 mg/kg. LC50 farelerde soluk alma için >18.3 mg/L. |
| 11.2 | Akut altına / Kronik toksit | Kısa süreli maruz kalma cilt tahrişine neden olmaz. Hafif göz tahrişine neden olabilir. |
| 11.3 | Daha fazla bilgi | Ürün bir adsorban. Cilt kuruluğuna neden olur. Su ile temas ettiğinde ısı açığa çıkar ve yanmaya sebep olabilir. MAK değeri aşılsa, solunum yolu rahatsızlığı olabilir. |
| 12 | Ekolojik bilgi | Su tehlikesi katagorisi Su piresi için toksik EC50 48 saat: 1000-1800 mg/l Balık için toksik LC50 96 saat: 1800-3200 mg/l Biyolojik bozunma Tehlike Göstergesi Ürün pratik olarak çözünmez, bu nedenle filtrasyon veya çökeltme ile ayırmak mümkündür. |

EK – B (Devam)**ZEOX Moleküler Elek 13X ürünleri aşağıdakiler için geçelidir:Z10-04; Z10-06**

baskı tarihi

22.02.2006

Sayfa no. 33441

sayfa 4/5

| | | |
|--------|--|---|
| 13 | Bertaraf etme | Kullanılan ürün, kullanılmayan ürünün dışındaki özelliklere sahip olacaktır. Bu veri sayfası kullanılmış ürün hakkında detay veremez, atıklar bertaraf olarak belirlenmiş ve onaylanmış alanlara atılmalıdır. |
| 13.1 | Avrupa komisyonu atık kodu | Bu kod, üreticiye yönelik endüstriyel uygulamaya bağlıdır ve bu nedenle, kullanıcı tarafından tespit edilmelidir. |
| 13.2 | İsviçre atık kodu | 15 02 03 kullanılmayan atık ürün kodlarını alır. |
| 13.3 | Menşai | |
| 14 | Taşıma bilgileri | tehlikeli evet hayır X |
| 14.1 | Karada ulaşım: RID / ADR sınıf Uyarı etiketi Birleşmiş Milletler No. Paketleme grubu | Sınıflandırma kodu Tehlike kimliği: yok |
| 14.2 | Denizde ulaşım: IMDG UN No. İkincil sınıf Risk EMS Uygun sevkiyat adı | |
| 14.3 | Hava taşınması: ICAO / IATA-DGR UN No. İkinci sınıf Risk Tehlikeli etiketler Paketleme grubu Yolcu Uçağı Sadece Kargo Uçağı | Paketleme talimatı maks. Paketleme talimatı maks. |
| 14.4 | Daha fazla bilgi | Ürün herhangi bir ulaşım şekli için sınıflandırılmamıştır. |
| 15 | Mevzuat bilgisi | Bu ürün, AT ve 'Gefahrstoffverordnung' kriterlerine göre sınıflandırma gerektirmez. |
| 15.1.1 | İsviçre Toksikite sınıfı | |
| 15.1.2 | BAG T Nr. / EDV-No. | |
| 15.2 | İndeks-No. | |
| 15.3 | Tehlike sembolleri | |
| 15.4 | Tehlike tanımı | |
| 15.5 | Risk grubu | R- |
| 15.6 | Güvelik grubu | S- |

EK – B (Devam)**ZEOX Moleküler Elek 13X ürünleri aşağıdakiler için geçelidir:Z10-04; Z10-06**

Baskı tarihi

22.02.2006

Sayfa no. 33441

sayfa 5/ 5

| | | | |
|---|---|-----|--|
| 15.7 | CEA sınıflandırma 15.8 (D) | VbF | F6 s PN4 |
| 15.9 | ABD (TSCA) Kanada (DSL) Kanada (DSL) Avustralya(AICS) Japonya (ENCS) Kore (ECL) | | CAS Nr.: 1318-02-1 CAS Nr.: 1318-02-1 CAS Nr.: 1318-02-1a ENCS: 1-508 ECL : KE-30974 |
| 15.10 | Daha fazla bilgi | | |
| 16 | Diğer bilgiler | | Kısaltmalar: n.a. = Uygulanamaz; n.d. = Belirlenmemiş; n.cl. = Sınıflandırılmamış. |
| <p><i>Yukarıda belirtilen veriler, şu andaki bilgi ve deneyimlerimize karşılık gelmektedir. Güvenlik bilgi formu, ürünlerin gerekli güvenlik önlemleri ile ilgili açıklaması olarak bilgi vermektedir. Endikasyonlar garanti anlamına gelmez.</i></p> <p><i>Alle vorstehenden Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und Erfahrungen. Das Sicherheitsdatenblatt dient der Beschreibung der Produkte im Hinblick auf Sicherheitserfordernisse. Diese Angaben stellen keine Zusicherungen von Eigenschaften dar.</i></p> | | | |
| Bu güvenlik bilgi formu 'ChemManager', © ASSiST, Weiherweg 3, CH-4104 Oberwil, Switzerland güvenlik veri tabanı ile oluşturulmuştur. | | | |

EK - C**Senaryo 1**

| ZAMAN | BAĞIL NEM | SICAKLIK | BAĞIL NEM | SICAKLIK |
|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| (Dakika) | Giriş (Rh1) | Giriş (T1) | Çıkış (Rh2) | Çıkış (T2) |
| 1 | 8,7 | 27,3 | 27,5 | 30,9 |
| 2 | 10,8 | 29,8 | 19,6 | 32,6 |
| 3 | 10,0 | 34,6 | 16,5 | 34,8 |
| 4 | 12,0 | 40,9 | 14,3 | 37,1 |
| 5 | 11,6 | 48,2 | 17,0 | 39,3 |
| 6 | 10,9 | 55,2 | 22,1 | 40,8 |
| 7 | 9,9 | 61,3 | 15,1 | 41,9 |
| 8 | 9,8 | 66,3 | 20,3 | 42,2 |
| 9 | 9,0 | 70,7 | 15,1 | 42,3 |
| 10 | 8,6 | 74,3 | 11,6 | 42,1 |
| 11 | 7,9 | 76,9 | 12,5 | 42,4 |
| 12 | 6,9 | 77,9 | 14,6 | 43,4 |
| 13 | 6,2 | 77,8 | 15,9 | 44,8 |
| 14 | 5,8 | 76,9 | 16,1 | 46,7 |
| 15 | 6,0 | 76,2 | 12,9 | 47,8 |
| 16 | 6,6 | 76,1 | 10,1 | 48,3 |
| 17 | 6,6 | 76,2 | 10,3 | 48,1 |
| 18 | 6,3 | 75,6 | 11,7 | 47,7 |
| 19 | 5,9 | 74,5 | 11,8 | 47,8 |
| 20 | 6,2 | 73,7 | 10,6 | 48,8 |
| 21 | 6,8 | 73,8 | 8,2 | 50,3 |
| 22 | 6,7 | 73,8 | 8,4 | 52,0 |
| 23 | 6,4 | 73,1 | 10,1 | 53,8 |
| 24 | 5,9 | 72,2 | 9,9 | 54,8 |
| 25 | 5,9 | 71,4 | 8,6 | 55,0 |
| 26 | 6,4 | 71,2 | 6,7 | 54,7 |
| 27 | 6,7 | 71,4 | 6,8 | 54,0 |
| 28 | 6,4 | 71,3 | 7,4 | 53,2 |
| 29 | 5,9 | 70,6 | 8,1 | 52,4 |
| 30 | 5,6 | 69,7 | 8,4 | 51,9 |
| 31 | 5,7 | 69,2 | 7,5 | 52,6 |
| 32 | 6,2 | 69,4 | 6,9 | 53,9 |
| 33 | 6,2 | 69,7 | 7,4 | 55,6 |
| 34 | 5,8 | 69,5 | 7,5 | 57,2 |
| 35 | 5,4 | 69,0 | 7,3 | 57,7 |
| 36 | 5,1 | 68,1 | 7,1 | 57,3 |
| 37 | 5,2 | 67,8 | 6,3 | 56,8 |
| 38 | 5,7 | 68,2 | 5,9 | 56,1 |
| 39 | 5,7 | 68,6 | 6,3 | 55,4 |

EK – C (Devam)

| | | | | |
|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 40 | 5,4 | 68,6 | 6,5 | 54,7 |
| 41 | 5,0 | 68,2 | 6,4 | 54,0 |
| 42 | 4,7 | 67,5 | 6,3 | 53,5 |
| 43 | 4,7 | 67,0 | 5,9 | 54,2 |
| 44 | 5,2 | 67,4 | 5,4 | 55,8 |
| 45 | 5,4 | 68,0 | 5,7 | 57,5 |
| 46 | 5,2 | 68,3 | 6,0 | 58,4 |
| 47 | 4,8 | 68,2 | 6,1 | 58,4 |
| 48 | 4,6 | 67,7 | 6,0 | 58,0 |
| 49 | 4,4 | 66,9 | 5,9 | 57,4 |
| 50 | 4,5 | 66,9 | 5,3 | 56,8 |
| 51 | 4,9 | 67,5 | 5,1 | 56,2 |
| 52 | 4,9 | 68,0 | 5,5 | 55,5 |
| 53 | 4,7 | 68,1 | 5,7 | 54,9 |
| 54 | 4,5 | 67,9 | 5,7 | 54,3 |
| 55 | 4,2 | 67,3 | 5,6 | 54,1 |
| 56 | 4,1 | 66,6 | 5,5 | 54,9 |
| 57 | 4,2 | 66,6 | 5,0 | 56,5 |
| 58 | 4,6 | 67,3 | 4,9 | 58,4 |
| 59 | 4,7 | 67,9 | 5,2 | 59,2 |
| 60 | 4,5 | 68,1 | 5,4 | 59,1 |
| | | | | |
| ORT. | 6,3 | 67,1 | 9,5 | 51,1 |

Senaryo 2

| ZAMAN | BAĞIL NEM | SICAKLIK | BAĞIL NEM | SICAKLIK |
|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| (Dakika) | Giriş (Rh1) | Giriş (T1) | Çıkış (Rh2) | Çıkış (T2) |
| 1 | 10,7 | 30,3 | 35,2 | 27,6 |
| 2 | 6,9 | 44,3 | 37,3 | 29,1 |
| 3 | 4,0 | 60,8 | 38,3 | 31,2 |
| 4 | 2,4 | 76,2 | 37,1 | 33,8 |
| 5 | 1,9 | 88,1 | 34,4 | 36,5 |
| 6 | 2,0 | 85,6 | 29,9 | 38,5 |
| 7 | 2,3 | 79,7 | 27,7 | 40,0 |
| 8 | 2,3 | 83,6 | 27,0 | 41,6 |
| 9 | 2,6 | 82,8 | 24,6 | 43,0 |
| 10 | 3,0 | 77,7 | 23,1 | 43,7 |
| 11 | 3,0 | 75,7 | 21,8 | 44,8 |
| 12 | 2,5 | 81,5 | 20,5 | 46,2 |
| 13 | 2,6 | 80,4 | 18,6 | 47,3 |
| 14 | 2,9 | 76,9 | 17,2 | 47,9 |
| 15 | 2,8 | 78,5 | 16,9 | 48,8 |
| 16 | 2,6 | 79,1 | 15,5 | 49,8 |

EK – C (Devam)

| | | | | |
|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 17 | 2,9 | 76,6 | 14,6 | 50,3 |
| 18 | 2,5 | 81,1 | 13,8 | 51,4 |
| 19 | 2,4 | 80,6 | 12,6 | 52,3 |
| 20 | 2,6 | 77,1 | 11,7 | 52,8 |
| 21 | 2,7 | 77,5 | 11,3 | 53,4 |
| 22 | 2,3 | 80,6 | 10,6 | 54,5 |
| 23 | 2,5 | 77,8 | 10,0 | 54,9 |
| 24 | 2,8 | 75,2 | 9,7 | 55,2 |
| 25 | 2,6 | 79,5 | 9,4 | 56,0 |
| 26 | 2,5 | 77,7 | 9,1 | 56,5 |
| 27 | 2,9 | 74,5 | 8,7 | 56,7 |
| 28 | 2,7 | 77,2 | 8,6 | 57,2 |
| 29 | 2,5 | 79,3 | 8,3 | 57,9 |
| 30 | 2,7 | 76,3 | 8,0 | 58,1 |
| 31 | 2,9 | 75,2 | 8,0 | 58,2 |
| 32 | 2,6 | 79,8 | 7,8 | 58,9 |
| 33 | 2,7 | 77,4 | 7,7 | 59,1 |
| 34 | 3,0 | 74,1 | 7,6 | 59,1 |
| 35 | 2,8 | 76,8 | 7,5 | 59,3 |
| 36 | 2,6 | 78,7 | 7,4 | 59,9 |
| 37 | 2,9 | 75,8 | 7,3 | 59,9 |
| 38 | 3,3 | 72,4 | 7,3 | 59,6 |
| 39 | 3,0 | 76,2 | 7,2 | 59,9 |
| 40 | 2,8 | 77,1 | 7,1 | 60,3 |
| 41 | 3,1 | 74,3 | 7,1 | 60,2 |
| 42 | 3,3 | 73,1 | 7,2 | 60,1 |
| 43 | 2,9 | 77,4 | 7,0 | 60,5 |
| 44 | 3,0 | 75,8 | 7,0 | 60,6 |
| 45 | 3,4 | 72,6 | 7,0 | 60,4 |
| 46 | 3,1 | 75,2 | 7,0 | 60,5 |
| 47 | 2,9 | 77,5 | 6,9 | 61,0 |
| 48 | 3,2 | 74,8 | 6,9 | 60,9 |
| 49 | 3,5 | 72,3 | 7,0 | 60,6 |
| 50 | 3,1 | 76,8 | 7,0 | 61,0 |
| 51 | 3,1 | 76,4 | 6,9 | 61,2 |
| 52 | 3,4 | 73,5 | 7,0 | 61,0 |
| 53 | 3,4 | 74,4 | 7,1 | 61,0 |
| 54 | 3,0 | 77,6 | 6,9 | 61,4 |
| 55 | 3,3 | 75,2 | 6,8 | 61,4 |
| 56 | 3,7 | 72,6 | 6,9 | 61,1 |
| 57 | 3,2 | 77,2 | 6,9 | 61,5 |
| 58 | 3,2 | 76,4 | 6,8 | 61,6 |
| 59 | 3,6 | 73,3 | 6,9 | 61,3 |
| 60 | 3,6 | 74,2 | 7,0 | 61,3 |
| ORT. | 3,1 | 75,6 | 13,1 | 53,8 |

EK – C (Devam)**Senaryo 3**

| ZAMAN | BAĞIL NEM | SICAKLIK | BAĞIL NEM | SICAKLIK |
|----------|-------------|------------|-------------|------------|
| (Dakika) | Giriş (Rh1) | Giriş (T1) | Çıkış (Rh2) | Çıkış (T2) |
| 1 | 9,2 | 26,4 | 30,9 | 26,6 |
| 2 | 8,1 | 28,0 | 30,3 | 27,1 |
| 3 | 7,9 | 30,9 | 31,5 | 27,4 |
| 4 | 7,4 | 34,5 | 32,7 | 28,0 |
| 5 | 6,8 | 38,0 | 33,5 | 28,7 |
| 6 | 6,3 | 40,9 | 34,0 | 29,5 |
| 7 | 6,1 | 43,3 | 33,6 | 30,4 |
| 8 | 6,0 | 45,3 | 33,2 | 31,2 |
| 9 | 5,8 | 47,1 | 32,4 | 32,1 |
| 10 | 5,6 | 48,7 | 31,3 | 33,0 |
| 11 | 5,2 | 50,1 | 29,9 | 34,0 |
| 12 | 5,2 | 51,4 | 28,3 | 35,0 |
| 13 | 5,1 | 52,5 | 26,7 | 36,0 |
| 14 | 5,0 | 53,5 | 25,3 | 37,0 |
| 15 | 4,9 | 54,3 | 24,0 | 38,0 |
| 16 | 4,9 | 55,0 | 22,8 | 38,9 |
| 17 | 4,9 | 55,6 | 21,7 | 39,9 |
| 18 | 4,8 | 56,1 | 20,7 | 40,7 |
| 19 | 4,7 | 56,5 | 19,6 | 41,6 |
| 20 | 4,6 | 56,9 | 18,6 | 42,4 |
| 21 | 4,5 | 57,1 | 17,6 | 43,1 |
| 22 | 4,6 | 57,6 | 16,5 | 44,0 |
| 23 | 4,5 | 57,8 | 15,4 | 44,8 |
| 24 | 4,4 | 58,0 | 14,4 | 45,6 |
| 25 | 4,3 | 58,1 | 13,6 | 46,3 |
| 26 | 4,3 | 58,1 | 12,8 | 47,0 |
| 27 | 4,3 | 58,1 | 12,1 | 47,6 |
| 28 | 4,2 | 58,1 | 11,4 | 48,3 |
| 29 | 4,2 | 58,0 | 10,9 | 48,9 |
| 30 | 4,2 | 58,0 | 10,4 | 49,4 |
| 31 | 4,2 | 58,0 | 9,9 | 50,0 |
| 32 | 4,2 | 57,9 | 9,6 | 50,5 |
| 33 | 4,2 | 57,9 | 9,3 | 50,9 |
| 34 | 4,2 | 57,9 | 9,0 | 51,3 |
| 35 | 4,2 | 57,9 | 8,8 | 51,8 |
| 36 | 4,2 | 57,8 | 8,5 | 52,1 |
| 37 | 4,1 | 57,9 | 8,2 | 52,5 |
| 38 | 4,1 | 57,9 | 7,9 | 52,9 |
| 39 | 4,1 | 58,0 | 7,7 | 53,2 |
| 40 | 4,1 | 58,0 | 7,4 | 53,6 |

EK – C (Devam)

| | | | | |
|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 41 | 4,1 | 58,0 | 7,2 | 53,9 |
| 42 | 4,0 | 58,0 | 6,9 | 54,2 |
| 43 | 4,0 | 58,0 | 6,7 | 54,5 |
| 44 | 4,0 | 58,0 | 6,6 | 54,8 |
| 45 | 4,0 | 58,0 | 6,4 | 55,1 |
| 46 | 4,0 | 58,0 | 6,2 | 55,4 |
| 47 | 3,9 | 58,0 | 6,0 | 55,6 |
| 48 | 3,9 | 58,1 | 5,8 | 55,9 |
| 49 | 3,9 | 58,1 | 5,7 | 56,1 |
| 50 | 3,9 | 58,1 | 5,6 | 56,3 |
| 51 | 3,9 | 58,1 | 5,5 | 56,5 |
| 52 | 3,8 | 58,1 | 5,3 | 56,7 |
| 53 | 3,8 | 58,1 | 5,2 | 56,9 |
| 54 | 3,8 | 58,1 | 5,2 | 57,1 |
| 55 | 3,8 | 58,1 | 5,1 | 57,3 |
| 56 | 3,8 | 58,2 | 5,0 | 57,5 |
| 57 | 3,7 | 58,2 | 4,9 | 57,6 |
| 58 | 3,7 | 58,2 | 4,9 | 57,8 |
| 59 | 3,7 | 58,3 | 4,8 | 57,9 |
| 60 | 3,7 | 58,3 | 4,8 | 58,1 |
| | | | | |
| ORT. | 4,7 | 54,1 | 14,9 | 46,4 |

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : Özgür Samet GİZLENCİ
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.07.1986 - Pazarcık
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (549) 662 90 00
E-posta : ozgurgzinc@gmail.com

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet tarihi |
|---------------|---|-------------------------|
| Lisans | Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği | 04.02.2012 |
| Lise | İbrahim Çalık Lisesi | 20.06.2003 |

İş Denevimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-------------|----------------------------------|--------------------|
| 2012-2016 | Cem İplik Tic. ve San. A.Ş. | İşletme Şefi |
| 2016- | İskur Teks. Enerj. San. Tic A.Ş. | Makine Enerji Şefi |

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Doğa bilimleri, yüzme, cad tasarım, sinema