

**Güneş Enerjili Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak Zeolit
Kurutucusunun Enerji Analizi**

**Energy Analysis of a Solar Assisted Draft Tube Spout-
Fluid Zeolite Dryer**

VAHID NASIRIMAREKANI

PROF. DR. MURAT KÖKSAL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2016

VAHİD NASİRİMAREKANI' in hazırladığı "**Güneş Enerjili Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak Zeolit Kurutucusunun Enerji Analizi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jürimiz tarafından **TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Yard. Doç. Dr. Selis ÖNEL
Başkan

.....

Prof. Dr. Murat KÖKSAL
Danışman

.....

Doç. Dr. Görkem KÜLAH
Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içinde bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçlar bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim

28/12/2015

VAHİD NASİRİMAREKANI

ÖZET

Güneş Enerjili Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak Zeolit Kurutucusunun Enerji Analizi

VAHİD NASİRİMAREKANI

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Murat KÖKSAL

Aralık 2015,129 sayfa

Türkiye'nin madeni zenginliklerinden olan ve Manisa Gördes'te elde edilen zeolit klinoptilolitin, topraktan çıkarıldıktan sonra kurutulması gerekmektedir. Zeolitler kristal yapıda hidrasyona uğramış alüminyum silikatlardır. Gözenekli yapısı ve yüksek iyon değiştirme kapasitesi sayesinde havyan yemlerinde bulunan mikotoksinleri hayvan sağlığını bozmayarak adsorbe edebilme özelliği nedeniyle yem katkısı olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 250 mikron boyutunda olan zeolit parçacıkların nem içeriği .%16-24 arasında değişim göstermektedir. Zeolitin bu amaçla kullanılması için %8 nem içeriğine kadar kurutulması gerekmektedir. Homojen kurutulma gereksinimi ve mikron düzeydeki parçacık boyutu taşkın-akışkan yatak seçeneğini ekonomik bir kurutma alternatifi olarak ortaya çıkarmıştır. Yatak içerisinde kararlı taşkınlaşma gerçekleşebilmesi için akış borusunu kullanılmıştır.

Endüstriyel ölçekte kullanılması gereken kurutucunun enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda birim zeolit ağırlığı için kurutma enerji yükünün deneysel olarak belirlenmesi amacıyla laboratuvar ölçekli bir konik taşkın-akışkan yataklı kurutucu tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Kurutucu tasarımından önce kurutucu geometrik tasarım ve işletim koşullarının

belirlenebilmesi amacıyla tam ve yarım konik taşkın yataklarda soğuk yatak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Soğuk yatak hidrodinamik deneylerinin sonuçları ışığında, kurutucu tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda yatak konik açısının (30 ve 60 derece) ve akış borusu boyutunun (çap ve uzunluk) etkisinin yanı sıra taşkın ve akışkan hava hızlarının (U_0 ve U_f) yatak içinde basınç düşümüne ve parçacık dolaşımına olan etkisi araştırılmıştır.

Yarım yatak hidrodinamik çalışmaları, 30 derece konik açısının daha etkin parçacık dolaşımı sağladığını ve konik cidarına yakın kısımlarda ölü bölgeleri kaldırdığını göstermiştir. Taşkın ve akışkan hava hızlarının artışı yatak içinde basınç düşümü arttırıp ve parçacık dolaşımını iyileştirmiştir. Akışkan havanın beslenmesi minimum kararlı taşkınlaşma hava hızını düşürüp, toplam hava debisini arttırmıştır.

Kurutma deneyleri üç farklı hava sıcaklığında (40°C, 60°C 90°C) ve farklı taşkın ve akışkan hava hızlarında yapılmıştır. Kurutma deneylerindeki farklı koşullar arasında olan karşılaştırma enerji gereksinimi göz önüne alınarak yapılmıştır. Kurutma enerji gereksinimi ise kurutma havasını ilgili hava debisinde oda sıcaklığından kurutma sıcaklığına çıkarmak için harcanan enerji olarak kabul edilmiştir.

Kurutma deneyleri sonuçlarına göre taşkın hava hızının artışı akışkan havaya göre kurutma süresi üzerinde daha fazla etki göstermiştir. Bütün hava hızlarında, giriş hava sıcaklığının artışı kurutma süresini düşürmüştür. Enerji gereksinimi açısından 40°C hava girişi, $U_0=8$ m/s ve $U_f=2$ m/s koşulu 2.74 kWh/100 kg değeri ile en iyi sonucu vermiştir. Bu koşul için endüstriyel uygulama göz önüne alınarak Manisa Gördes koşullarında üç farklı güneş sistemi tasarlanmış ve gerekli kapasiteler bulunmuştur. Bu sistemler sırasıyla fotovoltaik, parabolik oluk ve sıcak hava kolektörleridir.

Tasarım sonuçlarına göre günlük 1 tonluk kurutma kapasitesi göz önüne alındığında 824 adet 353.5 m²'lik fotovoltaik sistem, 2 adet 5 metre çapında, 4 metre derinliğinde ve 40 metre uzunluğunda parabolik oluk ve 5 adet 8 m²'lik düzlemsel hava kolektörü ile kurutma enerjisinin karşılanabileceği gösterilmiştir. Bu sistemlerin tercih edilmesi durumunda doğalgaz kullanımına göre günlük yaklaşık 1.3 kg CO₂ salınımının önlenmiş olacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: zeolit kiliniptilolit, taşkın-akışkan yatak, taşkın yatak kurutucu, güneş enerjili endüstriyel kurutma sistemleri, fotovoltaik sistemi, parabolik oluk kolektör tasarımı, düzlemsel hava kolektörleri.

ABSTRACT

Energy Analysis of a Solar Assisted Draft Tube Spout-Fluid Zeolite Dryer

VAHID NASIRIMAREKANI

Master of Science, Department of Clean & Renewable Energies

Supervisor: Prof.Dr. Murat KÖKSAL

December 2015,129 Pages

Zeolite clinoptililite which is an abundant mineral in Gördes, Manisa, Turkey needs to be dried after mining. Zeolites are micro porous aluminosilicate minerals commonly used as commercial adsorbents. Due to its microporous structure and high ion-exchange capacity, zeolite has been used as animal feed additive since it can adsorb the toxic substances while showing no adverse effect on animal health. When mined, zeolite particles with an average size of 250 μm have a moisture content in the range of 16-24%. The moisture content of the zeolite needs to be lowered to 8% before packaging. Homogenous drying requirement and micron size of the zeolite makes the spout-fluid bed technology a viable option due to its inherent high gas-solid contact. However, a draft tube is needed to operate the bed in stable spouting.

The drying energy requirement of the industrial scale dryer is aimed to be supplied using solar energy. In this respect, in order to determine the energy requirement per unit weight of the zeolite, a laboratory scale conical spout-fluid bed with a draft tube was designed, manufactured and tested. Before the design of the dryer, in order to determine the geometric design parameters and operating conditions, cold bed hydrodynamic experiments were conducted in half and full conical beds. In the light

of the results of the cold bed hydrodynamic experiments, the design of the dryer was carried out. The effects of the bed conical angle (30° and 60°), size of the draft tube (diameter, length), spouting and fluidizing gas velocities (U_0 ve U_f) on bed pressure drop and particle circulation were investigated.

Half bed hydrodynamic experiments show that 30° conical angle results in better particle circulation with no dead zones near the conical wall section compared to 60° conical angle. An increase in the spouting and fluidizing gas velocities increases the bed pressure drop and particle circulation. The minimum stable spouting velocity was found to decrease with increasing fluidizing velocity.

The drying tests were performed at three different air temperatures (40°C , 60°C , 90°C) and varying spouting and fluidizing gas velocities. The performance comparison between different operating conditions were made based on the energy requirement values. The drying energy requirement is taken as the energy required to bring the ambient air to the desired drying temperature for a given flow rate.

According to the results of the drying experiments, the spouting gas velocity was found to have a more pronounced effect on drying time compared to fluidizing gas velocity. For all air velocities tested, an increase in the spouting gas velocity decreased the drying time. From the energy requirement perspective, the best operating condition was $U_0=8$ m/s and $U_f=2$ m/s at 40°C with a value of 2.74 kWh/100 kg. For this condition, the required capacities of three different solar energy systems (fotovoltaic system, parabolic trough and solar air collectors) were determined.

According to the capacity calculations, for a 1 ton/day of drying load, a photovoltaic system with 814 modules and 353.5 m² area, two parabolic trough collectors (5 m diameter, 4 m depth and 40 m length) and 5 solar air collectors with 8 m² collector area were found to be adequate to supply the required energy. Utilizing one of these systems can reduce the CO₂ emissions compared to natural gas utilization by 1.3 kg/day.

Keywords: Zeolite clinoptilolite, spout-fluid bed, spout-fluid bed dryer, solar assisted industrial drying systems, photovoltaic systems, parabolic trough collector design, solar flat plate air collectors.

TEŞEKKÜR

“Sabır bilimden daha ilerdedir”.

Bu alıŐma boyunca beni sabırla destek sağlayan hocalarım: Prof.Dr. Murat Köksal ve Doç.Dr. Görkem Külah’a teŐekkürlerimi dile getirmek isterim. Ayrıca bu tez MAG 112M231 no’lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK’a çalışma için sağladığı maddi destek ve tarafıma sağladığı burs için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
ÇİZELGELER.....	xiii
SİMGELER VE KISITLAMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Zeolitin Kullanım Amacı ve Akış Boru Taşkın-Akışkan Yatak Kurutucusu... 1	1
1.1.2. Kurutma Yükünü Güneş Enerjisi ile Karşılama.....	4
1.2. Literatür Özeti.....	5
1.2.1. Doğal Zeolitin Kurutulması İçin Uygulanabilir Teknoloji Seçimi.....	5
1.2.2. Taşkın-Akışkan Yataklar ve Geometrik Parametreleri.....	9
1.2.3. Endüstriyel Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri.....	14
1.3. Doğal Zeolit Klinoptilolit Özelliklerinin Belirlenmesi.....	16
1.3.1. Gerçek ve Yığın Yoğunluğunun Tespit Edilmesi.....	16
1.3.2. Gerçek ve Yığın Yoğunluğunun Tespit Edilmesi.....	16
1.3.3. Nem İçeriğinin Tespit Edilmesi.....	16
1.3.4. Parçacık Şekil Analizi.....	17
2. YARIM YATAK HİDRODİNAMİK ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Konik ve Yarım Konik Taşkın Yataklar.....	19
2.2. Taşkın-Akışkan Yataklar.....	24
2.3. Konik ve Yarım Konik Taşkın- Akışkan Yataklarda Gaz-Katı Akışının Karakterizasyonu, Basınç Düşüşü ve Minimum Akışkanlaşma Hızı Ölçümleri.....	27
2.3.1. 60 Derecelik Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak ile İlgili Deney Sonuçları... 27	27
2.3.2. 30 Derecelik Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak ile İlgili Deney Sonuçları... 31	31
2.3.3. 30 ve 60 Derecelik Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatakların Karşılaştırılması 38	38
3. KURUTMA SİSTEMİ VE DENEYLERİ.....	40
3.1. Kurutma Sistemi.....	40

3.1.1. Akış Borulu Taşkın-akışkan Yatak.....	40
3.1.2. Hava Isıtıcı Sistemi.....	46
3.1.3. Ölçüm sistemleri.....	48
3.1.3.1. Basınç Ölçerler.....	48
3.1.3.2. Nem Ölçerler.....	51
3.1.3.3. Isıl Çiftler.....	53
3.1.3.4. Hava Debisi Ölçümleri.....	56
3.1.3.5. Veri Toplama Sistemi.....	56
3.2. Kurutma Deneyleri.....	56
3.3. Kurutma Enerji İhtiyacı.....	77
4. GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN TASARIMI.....	80
4.1. Giriş.....	80
4.2. Fotovoltaik Sistemi.....	83
4.2.1. Sistem Tasarımı.....	85
4.2.2. Panel Sayısının Hesaplanması.....	86
4.3. Parabolik oluk sistemi.....	89
4.3.1. Odaklanma Karakteristiği.....	91
4.3.2. Sistem Tasarımı.....	92
4.4. Hava Kolektörü Sistemi.....	100
4.4.1. Sistem Hesaplamaları.....	102
4.5. Güneş Enerjili Bir Sistem Kullanılması Durumunda Karbon Dioksit Salınımının Azaltılması	106
5. SONUÇLAR.....	110
6. KAYNAKLAR.....	113
7. EKLER.....	121
8. ÖZGEÇMİŞ.....	127

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1.1. Dağıtıcıları konik ve düz tabanlı olan taşkın-akışkan yataklar.....	3
Şekil 1.2. Akış borulu taşkın-akışkan yatak.....	9
Şekil 1.3. Akış borulu taşkın-akışkan yataklarda yatak hidrodinamiğini etkileyen geometrik tasarım parametreleri: D_c : yatak çapı, H_c : konik kısım yüksekliği, D_o : yatak taban çapı, D_i : gaz giriş çapı, L_H : kaldırma yüksekliği, L_T : akış borusu uzunluğu, D_T : akış borusu iç çapı, γ : konik kısım açısı.....	10
Şekil 1.4. Klinoptilolit örneğine ait TGA grafiği.....	17
Şekil 1.5. Öğütülmüş Klinoptilolit taneciklerinin geometrik şekilleri.....	18
Şekil 1.6. Karakteristik Klinoptilolit kristal yapısı.....	18
Şekil 2.1. Giriş, orifis giriş çapı ve kolon çapı sabit tutulan, farklı konik açıları için belirlenmiş taşkın yatak geometrileri ($\gamma = 30^\circ, 45^\circ$ ve 60°).....	19
Şekil 2.2. Önceki projede üretilen yatakların konik kısımlarının ilk görüntüleri.....	20
Şekil 2.3. Gaz girişi aparatı.....	20
Şekil 2.4. Gaz girişi için hazırlanan farklı iç çaplardaki pirinç diskler ve pirinç filtre..	21
Şekil 2.5. İmalatı yapılan akış borularının örnekleri.....	21
Şekil 2.6. Yarım konik taşkın yatağın fotoğrafı ($\gamma = 30^\circ$).....	22
Şekil 2.7. Akış borulu yarım taşkın yatağın yandan görünümü.....	23
Şekil 2.8. Hızlı kamera deney düzeneği.....	24
Şekil 2.9. Gaz dağıtıcı görevindeki delikli konik bölge duvarı.....	25
Şekil 2.10. Akışkanlaştırma gazının sisteme beslenmesi için tasarlanan gaz haznesi.....	25
Şekil 2.11. 60 derecelik yarım taşkın-akışkan yatak için duvar bölgesi gaz dağıtıcı tasarımı.....	26
Şekil 2.12. Yarım taşkın-akışkan yatak ölçüleri ($\gamma = 60^\circ$).....	27
Şekil 3.13. 60 derecelik yatak için 4 farklı akışkanlaşma hızlarında ölü bölgelerin durumu (Kırmızı delikli çizgilerin içindeki alan ölü bölgeleri göstermektedir).....	29
Şekil 3.14. Artan taşkınlaşma gaz hızlarında (U_o) yatak basınç düşüşü ölçümleri, $\gamma = 60^\circ$. ($U_{ms,s}$ değerleri oklarla gösterilmiştir).....	30
Şekil 2.15. Çizelge 2.4'deki koşullar için artan hava hızlarında minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları, $\gamma = 60^\circ$	31
Şekil 2.16. Yarım yatak ölçüleri ($\gamma = 30^\circ$).....	32

Şekil 2.17. 30 derecede ölü bölgelerin durumu, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği....	33
Şekil 2.18. 30 derecede ölü bölgelerin durumu, $\gamma = 30^\circ$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı.....	34
Şekil 2.19. Artan taşkınlaşma gaz hızlarında (U_o) yatak basınç düşüşü ölçümleri, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği. ($U_{ms,s}$ değerleri oklarla gösterilmiştir).....	35
Şekil 2.20. Çizelge 2.6'daki koşullar için artan hava hızlarında minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği...	36
Şekil 2.21. Artan taşkınlaşma gaz hızlarında (U_o) yatak basınç düşüşü ölçümleri, $\gamma = 30^\circ$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı. ($U_{ms,s}$ değerleri oklarla gösterilmiştir).....	37
Şekil 2.22. Çizelge 2.7'deki koşullar için artan hava hızlarında minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları, $\gamma = 30^\circ$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı.....	38
Şekil 2.23. Minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızının akışkanlaşma gaz hızı ile değişimi.....	39
Şekil 2.24. Yatak basınç düşümünün artan taşkınlaşma gazı hızı ile değişimi ($U_f = 4.92$ m/s).....	39
Şekil 3.1. Kurutma deneylerinde kullanılan deney sisteminin şematığı.....	42
Şekil 3.2. Taşkın-akışkan yataklı kurutucunun konik ve silindirik kısımlarının üç boyutlu çizimi ve fotoğrafı.....	43
Şekil 3.3. Konik giriş parçasının fotoğrafı.....	44
Şekil 3.4. Akış borusu ve giriş parçası bağlandıktan sonraki konik kısım teknik ve 3 boyutlu çizimleri.....	44
Şekil 3.5. Akışkanlaşma havası haznesi.....	45
Şekil 3.6. Yatağın tamamlanmış ve monte edilmiş durumu.....	45
Şekil 3.7. Deney setinin yatılmış hali.....	46
Şekil 3.8. Hava ısıtıcısı ve haznesi.....	47
Şekil 3.9. Akış borulu taşkın-akışkan yatak kurutucu.....	48
Şekil 3.10. RST ve OMEGA marka basınç ölçerler.....	49
Şekil 3.11. Yatak detayları ve basınç alınan noktalar (1. toplam basınç, 2. yatak basıncı ve 3. akışkan hava basıncı).....	50
Şekil 3.12. Kalibrasyon sırasında farklı çözeltilere sahip tuz kavanozlarına nem ölçerin yerleştirilmesi.....	51
Şekil 3.13. SN286577 modeli için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	52

Şekil 3.14. SN286578 modeli için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	53
Şekil 3.15. SN286582 modeli için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	53
Şekil 3.16. OMEGA marka yatak içerisinde kullanılacak ısı çiftlerinin görüntüsü (OMEGA).....	54
Şekil 3.17. Yatak ısı çiftlerinin yatak içinde aksiyel yerleştirilme noktaları (7 adet)..	55
Şekil 3.18. Yatak ısı çiftlerinin yatak içindeki pozisyonları (7 adet).....	55
Şekil 3.19. Aksiyel sıcaklık dağılımı.....	57
Şekil 3.20. Radyal sıcaklık dağılımı ($z = 85$ mm, $U_f = 2$ m/s).....	59
Şekil 3.21. Radyal sıcaklık dağılımı ($z = 115$ mm, $U_f = 2$ m/s).....	59
Şekil 3.22. Akışkanlaşma hava hızının T_2 sıcaklığına olan etkisi (Akış borusuna yakın bölgede, $r = 16.5$ mm ve $z = 85$ mm).....	61
Şekil 3.23. Akışkanlaşma hava hızının T_7 sıcaklığına olan etkisi (Konik duvara yakın bölgede, $r = 52$ mm ve $z = 115$ mm).....	61
Şekil 3.24. Taşkın hava hızının kuruma eğrilerine olan etkisi ($U_o = 6$ m/s, $U_f = 0$ m/s).....	64
Şekil 3.25. Taşkın hava hızının kuruma hızına etkisi ($U_o = 6$ m/s, $U_f = 0$ m/s).....	66
Şekil 3.26. Taşkın hava hızının kuruma eğrilerine olan etkisi ($U_o = 6$ m/s, $U_f = 2$ m/s).....	67
Şekil 3.27. Taşkın hava hızının kurutma hızına etkisi ($U_o = 6$ m/s, $U_f = 2$ m/s).....	69
Şekil 3.28. Akışkanlaşma hava hızının kuruma eğrilerine olan etkisi ($U_o = 6$ m/s).....	71
Şekil 3.29. Akışkanlaşma hava hızının kuruma hızına etkisi ($U_o = 6$ m/s).....	73
Şekil 3.30. Sisteme beslenen toplam hava miktarı sabit tutularak akışkanlaşma ve taşkınlaşma hava hızlarının kuruma eğrilerine olan etkisinin incelenmesi.....	75
Şekil 3.31. Sisteme beslenen toplam hava miktarı sabit tutularak akışkanlaşma ve taşkınlaşma hava hızlarının kuruma hızına olan etkisinin incelenmesi.....	76
Şekil 3.32. Kuruma süresinin operasyon koşullarına göre değişimi.....	77
Şekil 3.33. Enerji ihtiyacının işletim koşullarına göre değişimi.....	79
Şekil 4.1. Manisa Gördes ilçesinin harita üzerinde olan konumu (Google Harita).....	81
Şekil 4.2. Yıl boyunca günlük ortam hava sıcaklığı.....	82
Şekil 4.3. 2014 yılı Manisa Gördes günlük ortalama güneş radyasyonu (Basınç değerleri, rüzgar hızı ve yönü özellikle parabolik oluk ve hava kolektörlerinde ortama olan ısı kaybını etkilerler. Yüksek rüzgar hızları ısı taşınım ısı kaybını artırır).....	83
Şekil 4.4. Fotovoltaik sistemi ve sıcak hava hatları.....	84

Şekil 4.5. Manisa Gördes günlük ortalama hava sıcaklığı (6 aylık süre boyunca)...	86
Şekil 4.6. Siemens SM55 güneş modülünün özellikleri	87
Şekil 4.7. Siemens SM55 güneş modülünün ölçüleri.....	89
Şekil 4.8. Parabolik Oluk Kolektörün Birleşenleri ve Şematiği.....	90
Şekil 4.9. Güneş ve kolektör arasında olan geometri ve takip gereksinimi.....	92
Şekil 4.10. Parabolik oluk, geometrik özellikler ve yansıtma	94
Şekil 4.11. Parabolik eğrinin özellikleri ve gelen ışınımın yansıma açısı.....	95
Şekil 4.12. Parabolik eğilim açısının yüzey çapı ve derinliği olana ilişkisi.....	95
Şekil 4.13. Odak noktası üzerine olan yansıma genişliğe (farklı alıcı tipleri gösterilmiştir)	96
Şekil 4.14. Oluk açısına göre odaklanma oranı ve yansıma oranı için kullanılan grafikler.....	99
Şekil 4.15. Hava kolektörünün şematiği.....	101
Şekil 4.16. Kurutma sistemi için sabit sıcaklıkta hava besleme sistemi.....	102
Şekil 4.17. Hava kolektöründe olan ısı aktarma detayları.....	103

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1.1. Akışkan yatak kurutucuların parçacıklı malzeme uygulamasında diğer rakipleriyle karşılaştırılması.....	7
Çizelge 1.2. Literatürde yer alan taşkın-akışkan yatak çalışmalarının deneysel koşulları.....	12
Çizelge 1.3. farklı güneş termal kolektör tipleri.....	15
Çizelge 2.1. Üretimi yapılan akış borularının geometrik özellikleri.....	22
Çizelge 2.2. 30 ve 60 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatakların yanal alan özellikleri.....	26
Çizelge 2.3. Deney koşulları ($\gamma = 60^\circ$).....	28
Çizelge 2.4. Ums,s değerinin Uf değeri ile değişimi, $\gamma = 60^\circ$	30
Çizelge 2.5. Deney koşulları ($\gamma = 30^\circ$).....	33
Çizelge 2.6. Ums,s değerinin Uf değeri ile değişimi, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği.....	35
Çizelge 2.7. Ums,s değerinin Uf değeri ile değişimi, $\gamma = 30$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı.....	37
Çizelge 3.1. Kurutucunun geometrik ölçüleri.....	43
Çizelge 3.2. Kullanılan tuzların oda sıcaklığında (25 °C) kavanoz içinde oluşturdukları denge nem değerleri.....	52
Çizelge 3.3. Sıcaklık ölçüm noktalarının akış borusunun merkezinden olan uzaklıkları.....	55
Çizelge 3.4. Kuruma süreleri ve enerji ihtiyaçları.....	78
Çizelge 4.1. Siemens SM55 fotovoltaiik modülün özellikleri.....	87
Çizelge 4.2. Fotovoltaiik modül sayısını hesaplama akışı.....	88
Çizelge 4.3. Hesaplamalarda alınan parametreler ve değerleri.....	98
Çizelge 4.4. Hava kolektörleri heaplamaları için kullanılan parametreler ve değerleri.....	105
Çizelge 4.5. Farklı sistemler için gerekli kapasiteler.....	106
Çizelge 4.6. Türkiye'deki doğal gaz yakıtının bileşenleri ve par oranı.....	107
Çizelge 4.7. Günlük yakılan yakıttan salınan eşdeğer CO ₂ miktarı (T CO ₂).....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Isı Transferi Yüzey Alanı, m^2
C_p	Sabit Basınç Özgül Isısı, $J/kg.°C$
D_b	Durağan Yatağın Üst Çapı, m
D_c	Yatak Çapı, m
D_i	Konik Taban Çapı, m
D_o	Gaz Giriş Çapı, m
D_T	Akış borusu iç çapı, m
d_p	Parçacık Çapı, mm
L_H	Kaldırma Yüksekliği, mm
L_T	Akış Borusu Boyu, mm
H_b	Statik Yatak Yüksekliği, m
H_c	Konik Kısımın Yüksekliği, m
H_f	Fıskiye Yüksekliği, m
H_m	Maksimum Taşkın Yatak Yüksekliği, m
H_p	Ölçüm Portunun Yatak Girişine Yüksekliği, m
h	Isı Transferi Katsayısı, $W/m^2.K$
\dot{m}_g	Sisteme Beslenen Toplam Hava Kütle Akış Debisi, kg/s
M_s	Yataktaki Nemli Malzemenin Kuru Kütlesi, kg
P_v	Kısmı Buhar Basıncı, Pa

P_{ws}	Doygun Buhar Basıncı, Pa
ΔP	Basınç Farkı, Pa
ΔP_{max}	Maksimum Basınç Farkı, Pa
Q_{hava}	Hava Debisi, m ³ /s
Q_T	Toplam Gaz Debisi, m ³ /s
r	Ölçüm Noktasının Radyal Konumu, m
R	Ölçüm Yüksekliğinin Yarıçapı, m
T_s	Isı Transferi Sondası Yüzey Sıcaklığı, °C
T_∞	Yatak Sıcaklığı, °C
T_k	Kurutucu Giriş Hava Sıcaklığı, °C
T_{ortam}	Ortam Hava Sıcaklığı, °C
U_{mf}	Minimum Akışkanlaşma Hızı, m/s
U_{ms}	Minimum Taşkınlaşma Hızı, m/s
U_{msd}	Akış Borulu Taşkın Yatakta Minimum Taşkınlaşma Hızı, m/s
U_{mssd}	Akış Borulu Taşkın Yatakta Minimum Kararlı Taşkınlaşma Hızı, m/s
U_o	Taşkınlaşma Gaz Hızı, m/s (D_o çapına göre)
U_f	Akışkanlaştırma Gaz Hızı, m/s (D_o çapına göre)
X_i	Ağırlık Kesri
X	Yatak İçi Homojen Nem İçeriği, kg/kg
Y_{out}	Yatak Çıkış Hava Nemi, kg su buharı/kg kuru hava

Y_{in}	Yatak Giriş Hava Nemi, kg su buharı/kg kuru hava
z	Ölçüm Yüksekliği, m
ρ_p	Parçacık Yoğunluğu, kg/m ³
β	Açıklık Oranı, %
γ	Konik Yatak Açısı, derece
ε	Yatak İçindeki Boşluk Oranı
ε_s	Yatak İçindeki Parçacık Konsantrasyonu
θ_i	Boyut Faktörü
φ	Bağıl Nem

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Giriş

1.1.1. Zeolitin Kullanım Amacı ve Akış Boru Taşkın-Akışkan Yatak Kurutucusu

Mikotoksinler, depolanan tahıllar, kaba yemler ve bazı çayır otları üzerinde gelişme gösteren belirli küf formlarının toksik etkili metabolik yan ürünleridir. Mikotoksinler, son derece toksik, çoğu kansorejen, teratojen (fetusun normal gelişimini engelleyen ve çeşitli anomalilere yol açan) ve mutajen (DNA ve RNA'ların mutasyona uğramasına sebep olan) maddelerdir. Yemlerde bulunan mikotoksinlerin bazıları yem içerisinde salgılanırken, bazıları da yemler hayvanlar tarafından alındıktan sonra hayvan vücudunda salgılanırlar [1]. Dolayısıyla, mikotoksinli ürünlerin doğrudan yenilmesi veya bu tip yem ile beslenen hayvanların et ve süt ürünlerinin yenilmesi sağlık açısından büyük risk oluşturmaktadır. Son yıllarda, yemlerde bulunan mikotoksinleri adsorbe edebilen ve hayvan sağlığını bozmayan doğal zeolitlerin yem katkısı olarak kullanılması gündeme gelmiştir [2-4].

Zeolitler kristal yapıda hidrasyona uğramış alüminyum silikatlardır. Gözenekli yapısı ve yüksek iyon değiştirme kapasitesi sayesinde birçok çeşit gazı ve kokuyu; suyu ve nemi; petrokimyasal maddeleri, düşük düzeyde radyoaktif elementleri, amonyumu, toksinleri, ağır metalleri ve pek çok solüsyonu tutma ve soğurma özelliğine sahiptir. Bu özelliklerinden ötürü tarım, hayvancılık, arıtma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Türkiye'de detaylı rezerv etüdü yapılmış tek zeolit sahası Manisa-Gördes civarındaki saha olup bu sahada 18 milyon ton görünür zeolit rezervi ve 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi tespit edilmiştir. Balıkesir-Bigadiç bölgesinde ise Türkiye'nin en önemli zeolit yatakları mevcut olup yaklaşık 500 milyon ton rezerv olduğu tahmin edilmektedir. Diğer bölgelerde detaylı bir çalışma yapılmamış olup, ülkemiz genelinde toplam rezervin 50 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir [5].

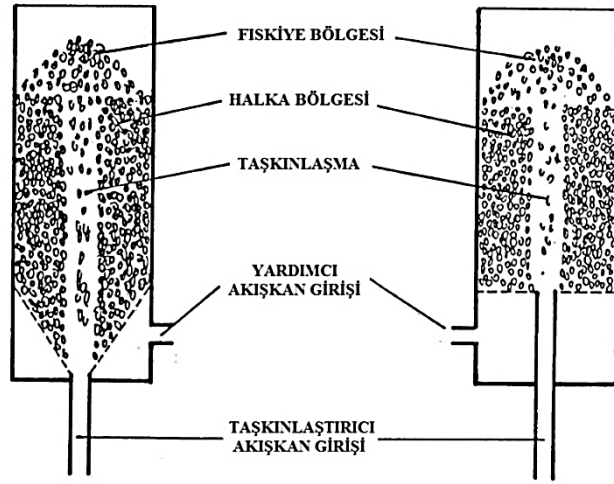
Doğal zeolit klinoptilolit mineralinin hayvancılıkta yem katkı maddesi olarak kullanımına Türkiye'de Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmeliğin 10 Haziran 2005 tarihli 25841 sayılı kanununun Ek7/D.6 maddesine göre; Avrupa Birliği'nde ise Avrupa Yem Komisyonu tarafından 16 Haziran 1999 yılı 70/524/EEC direktifi ile izin verilmiştir.

Zeolit mineralinin hayvan yemi katkı maddesi olarak güvenilir şekilde kullanılabilmesi için madenin çıkarıldıktan ve öğütüldükten sonra kurutma işlemine tabi tutularak nem değerinin yaş temelde maksimum % 8 değerinde sabitlenmesi gerekmektedir. Ancak ülkemizde Manisa'nın Gördes ilçesinde endüstriyel üretimi yapılan zeolit minerali yaz aylarında yüzey madenciliği ile çıkartılmaktadır ve çıkarılan madenin ise nem değeri % 16 ile % 24 arasında değişmektedir.

Kurutma işlemi temelde sıcak gaz ile parçacık temasının yüksek olmasına bağlıdır. Günümüzde toz haldeki minerallerin kurutulmasında genel olarak döner fırınlar kullanılmaktadır. Ancak bu tip fırınlarda kurutma işlemi için çok yüksek sıcaklıklarda ve hızda havaya ihtiyaç duyulmakta ve elde edilen ürün yeteri kadar homojen olmamaktadır [6]. Akışkan yatak teknolojisi döner fırınlarda görülen bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. 1920'lerde keşfedilen akışkan yataklar 1 mm çapından daha küçük parçacık kurutma uygulamalarında oldukça etkilidir [7]. Akışkan yatak kurutucuların çalışma prensibi, yatağa alt kısımdan bir dağıtıcı yardımıyla beslenen sıcak havanın, yatak içindeki kurutulmak istenen taneciklerin arasından geçerek ve onları askıda tutarak eş dağılımlı ve etkili bir kurutma sağlamasıdır. 1 mm'den büyük tanecikler söz konusu olduğunda ise akışkan yataklar bu tanecikleri akışkanlaştırmadaki verimliliklerini yitirmektedirler. Bunun nedeni büyük parçacıkları akışkanlaştırmak için gerekli akışkan debisinin çok yüksek olmasıdır. 1950'lerde keşfedilen taşkın yataklar genelde çapı 1 mm'den büyük parçacıkların uygulamaları için kullanılmaktadır. Yatağın altındaki konik bölgenin merkezinden gönderilen hava merkez boyunca yatağın yüzeyine kadar tanecikleri sürükler ve tanecikler yüzeye vardığında yağmur gibi yanlara düşerek bir fıskiye görünümünde hareket ederler. Yan kısma düşen tanecikler yavaş bir şekilde tekrar konik bölgenin alt kısmına doğru hareket ederler ve tekrar hava tarafından taşınarak yüzeye çıkarlar. Bu devirsel hareket sayesinde taşkın yataklar büyük tanecikli malzemelerin uygulamalarında etkili yöntemdir [8,9].

Taşkın yataklarda parçacıkların devirsel hareketini sağlamak için sisteme beslenen hava tüm yatağı kaldırmamakta ve sadece orta kısımdan tanecikleri yüzeye taşıyarak fıskiye oluşturduğu için, akışkan yataklara kıyasla çok daha az hava debisine ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla, havayı ısıtmak için daha az enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Ancak toz haldeki tanecikler taşkın yataklarda düzgün bir şekilde

taşkınlaştırılmamaktadır. Bu sebeple taşkın yatak tasarımının üzerinde bazı değişiklikler yapmak gerekmektedir. Homojen bir kurutma işlemini en uygun işletim koşullarında gerçekleştirmek için akışkan ve taşkın yatakların avantajlarını birleştiren taşkın-akışkan yatak kurutucu tipi en uygun sistem olarak öngörülmektedir. Taşkın-akışkan yataklar, taşkın yataklar üzerinde değişiklikler yapılarak keşfedilen, akışkan yatak teknolojisindeki en yeni yöntem olarak bilinmektedir [10]. Şekil 1.1'de dağıtıcıları konik ve düz tabanlı olan taşkın-akışkan yatakların şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Dağıtıcıları konik ve düz tabanlı olan taşkın-akışkan yataklar [11]

Bu yöntemde taşkın yataklara benzer olarak alt konik bölgenin merkezinden hava beslenirken yan kısımlardan da akışkan yataklara benzer olarak delikli bir dağıtıcı yardımıyla hava beslenmektedir. Böylelikle taşkın yataklarda havayla çok az temas edebilen merkezle duvar arasındaki halka bölgesi artık havayla daha iyi temas edebilmekte ve parçacıkların duvar bölgesine yapışması engellenmektedir [11-14].

Karma yapısından dolayı akışkan ve taşkın yatakların avantajlarını taşıyan taşkın-akışkan yataklar, taşkın yataklarda görülen taneciklerin topaklanması, yatağın duvar ve alt kısımlarındaki hareketsizlik ve yapışma, ölü bölgelerin oluşumu gibi dezavantajları ortadan kaldırmaktadır [11]. Konik bölgenin yanlarından beslenen hava akımı küçük ve birbirine yapışma eğilimi gösteren taneciklerin de (Geldart Grup A ve C) bu sistemlerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır [15]. Ayrıca akış borusunun (draft tube) yatak içinde kullanılması bahsedilen küçük parçacıkların uygulamalarına olanak sağlamaktadır [16]. Daha önce doğal zeolit 'klinoptilolit' mineralinin herhangi bir

uygulamasında taşkın-akışkan yatak teknolojisi kullanılmamış ve parçacık boyutu da göz önüne alındığında, mevcut parçacık çapına yakın bir değer dahi denenmemiştir. Akış borulu taşkın-akışkan yatakta günümüze kadar kullanılan en düşük parçacık boyutu yaklaşık 1 mm'dir [17].

Çalışmanın temel amacı, mikron boyutundaki nem oranı yüksek parçacıkların en verimli ve ekonomik biçimde kurutulmasını sağlamak için bir akış borulu taşkın-akışkan yatak kurutucu sistemi tasarlamak, kurmak ve performans testlerini gerçekleştirmektir. Akış borulu taşkın-akışkan yatak sisteminin zeolit kurutulması için kullanılması literatürde ve endüstride henüz bulunmayan bir uygulamadır.

1.1.2. Kurutma Yükünün Güneş Enerjisi ile Karşılanması

Gelişmekte olan dünyada teknolojinin ve farklı uygulamaların gelişmesinin yanı sıra, enerji ve çevresel faktörler de ciddi ölçüde dikkat çeken konulardır. Bu çalışmanın diğer amacı da enerji gereksinimini düşürmektir. Enerji konusunda uygulanabilecek iki yaklaşım vardır:

- Enerji gereksinimini uygulanan sistemlerin verimini arttırarak en optimum koşullara getirmek,
- Gereken enerji miktarına ve koşullarına göre sürdürülebilir kaynaklardan bu gereksinimini karşılamak.

Yapılan çalışmada her iki yaklaşım da dikkate alınmıştır. Bir kurutma sisteminin verimli koşullarda çalışması için, eğer sistemde sıcak hava kullanılıyorsa ilk aşamada gereken kurutma sıcaklığının ve hava debisinin düşürülmesi gerekmektedir. Taşkın-akışkan yataklarda gerçekleşen kurutma doğrudan hava ve parçacık arasında olan temasın sağlanmasıyla gerçekleşir. Bu yüzden kurutucu olarak tasarlanması planlanan taşkın-akışkan yatağın hidrodinamik karakteristiklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada gereken enerji ihtiyacının sürdürülebilir bir kaynaktan elde edilmesi düşünülmüştür. Sürdürülebilir kaynaklardan söz edildiği zaman en başta gelen ve dünyanın ana enerji kaynağı olan güneş enerjisi dikkat çekmektedir. Çok eski

zamanlardan beri tarımsal kurutma uygulamalarında kullanılan ve günümüzde ise pek çok uygulama alanı kazanmış olan güneş enerjili kurutma sistemleri genelde düşük hava sıcaklığı gerektiren işlemlerde verimli bir biçimde kullanılabilir.

Kurutma havasının elde dileyebilmesi için üç farklı güneş enerjili sistemin incelenmesi hedeflenmiştir:

- Fotovoltaik güneş panelleriniyle elektrik enerjisi elde edilmesi ve üretilen elektrik enerjisini elektrikli ısıtıcıda kullanarak kurutma havasının ısıtılması,
- Konsantre güneş kolektörlerinden olan parabolik oluk kolektörü kullanarak, kolektörden geçen termal akışkanı ısıtmak ve bir eşanjörde havaya aktararak sıcak hava elde edilmesi,
- Düzlemsel güneş hava kolektörleri kullanarak doğrudan sıcak hava üretilmesi ve sistemde kullanılması.

Yukarıda verilen seçeneklerin tamamının enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli olması öngörülmektedir [21,24]. Güneş enerjili kurutma sistemlerindeki son gelişmeleri dikkate alarak yukarıdaki üç sistemin tasarımı yapılması ve ilgili kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Doğal Zeolitin Kurutulması İçin Uygulanabilir Teknoloji Seçimi

Zeolit minerallerinin gözenek boyutları moleküler büyüklüktedir. Bu nedenle su molekülleri az miktarda bir ısıtma ile dahi zeolitin yapısından kolayca uzaklaşabilir ve sonrasında tekrar adsorbe olabilir [25]. Doğal zeolitin kuruma karakteristiği ile ilgili literatürde yer alan bilgi; nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılan termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları ile kısıtlı olup bu sonuçlara göre yüzey nemi dışındaki zayıf bağlı ve güçlü bağlı su miktarının toplamda % 8-12 arasında değiştiği yönündedir. Doğal zeolit klinoptilolit TGA içinde ısıtılması esnasında dış kısmındaki nemin 85°C'ye kadar hızlı bir şekilde tamamen kaybolduğu bilinmektedir [26]. Burdan yola çıkılarak, yaklaşık %20 nem içeriğine sahip toz haldeki klinoptilolit mineralinin projede kullanılacak üstün özellikli sistem içerisinde gaz-katı teması çok daha iyi seviyelerde

tutularak, daha düşük sıcaklık ve hava hızlarında %8 neme kadar ekonomik ve verimli bir şekilde kurutulabileceği açıkça görülmektedir.

Kurutma mekanizmasında bir katının bünyesindeki dış nemi uzaklaştırmak için iki yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi kaynama noktasının üzerinde buharlaştırma yapmak, diğeri ise kaynama noktası altında taşınım ile buharlaştırma yapmaktır. Daha düşük sıcaklık kullanılan ikinci yöntemde nem, kurutma havasına taşınır ve sonrasında uzaklaştırılır. Bu durumda, katıdaki nemin doymuş buhar basıncı atmosferik basınçtan daha düşüktür. Endüstride toz haldeki malzemelerin kurutulmasında kullanılan öncelikli teknikler, Çizelge 1.1'de de özetlendiği gibi flaş kurutma, akışkan yataklı kurutma, döner kurutucuda kurutma ve tepsi tipi kurutucuda kurutmadır. Bu bahsedilen yöntemlerde toz haldeki malzemeler konveksiyon (taşınım) ile kurutulmaktadır. Flaş kurutucularda 1-10 saniye arasında olan kurutma süresi, tepsi tipi kurutucularda 1-6 saat ve diğeri bahsedilen kurutucu tiplerinde 10-60 dakika arasındadır. Kurutma süresi olarak avantajlı görülen flaş tipi kurutucularda kısa süreli kurutma yüzünden hava giriş sıcaklığı 600°C civarında olmalıdır ve bu durum çok yüksek enerji sarfiyatı ve işletim gideri demektir. Diğeri bir yandan, kurutma süresi 10-60 dakika arasında olan akışkan yatakları incelemek gerekirse, işletimi en ekonomik ve elde edilen ürünlerin kalitesi en yüksek sistem olduğu görülmektedir. Genellikle 50-1000 mikron boyuttaki parçacıklar için kullanılan akışkan yatak kurutucular, tanecikleri yatak içerisinde kurutma havası ile askıda tutarlar ve bu sayede iyi tanecik karışımı, homojen ürün eldesi, yüksek hızda enerji ve kütle aktarımı, kolay malzeme taşınımı gibi avantajları ile diğeri kurutucu tiplerine büyük üstünlük sağlarlar. Ayrıca toz malzemelerin kurutulmasında akışkan yataklar 4000-6000 kJ/kg buharlaştırılan su değerinde bir enerji harcarken, az enerji harcamada kendisine en yakın rakibi olan döner kurutucular 4600-9200 kJ/kg buharlaştırılan su değerinde enerji harcamaktadır. Tüm bu kıyaslamalar göz önüne alındığında akışkan yatak teknolojisinin toz malzemenin kurutulmasında en verimli ve başarılı teknik olduğu görülmektedir [7].

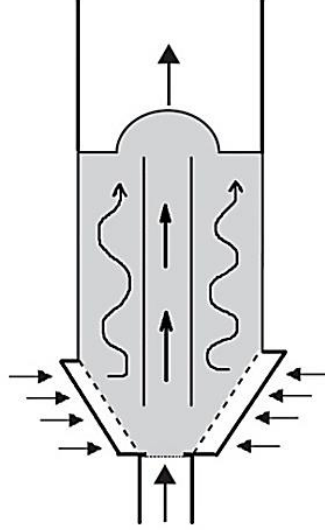
Çizelge 1.1. Akışkan yatak kurutucuların parçacıklı malzeme uygulamasında diğer rakipleriyle karşılaştırılması [7]

Kıstas	Döner Kurutucu	Flaş Kurutucu	Taşımali Kurutucu	Akışkan Yatak Kurutucular
Parçacık boyutu	Geniş aralık	İnce tanecikler	500 µm-10mm	100-2000 µm
Parçacık boyutu dağılımı	Esnek	Sınırlı	Esnek	Sınırlı
Kurutma süresi	60dk'ya kadar	10-30 saniye	120dk'ya kadar	60 dk'ya kadar
Kapladığı alan	Büyük	Çok uzun	Büyük	Küçük
Devrilme oranı	Büyük	Küçük	Küçük	Küçük
Aşınma	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
Güç harcama	Yüksek	Düşük	Düşük	Orta
Bakım-onarım	Yüksek	Orta	Orta	Orta
Enerji verimi	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Kontrol kolaylığı	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Kapasite	Yüksek	Orta	Orta	Orta

Akışkan yatakların özellikleri göz önüne alındığında tek zayıf noktasının yataktaki yüksek basınç düşümü ve bundan dolayı kullanılan yüksek debideki hava olduğu görülmektedir. Kurutma işleminde sisteme beslenen fazla miktardaki hava, bu havayı ısıtmak için fazla miktarda enerji anlamına gelmektedir. Akışkan yatak teknolojisinin bir üyesi olan taşkın yataklarda bu sorun en aza indirilmektedir. Taşkın yatakta tek açıklıktan giren hava tüm yatağı kaldırmamakta ve sadece merkezde belli bir çaptaki bölgeyi yüzeye taşıyıp devirsel hareket sağlayarak kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Ekonomik olarak çok tasarruflu bir kurutucu sistemi olan taşkın yatakların tek dezavantajı ise uygulamada sadece Geldart D Gurubu ($d_p > 1$ mm) parçacıklarla kullanılmasıdır. Bu noktada iki ayrı sistemin de eksikliklerini ortadan kaldıran ve uygulanabilen tanecik boyutu aralığını genişletebilen karma bir yatak türü olan taşkın-akışkan yataklar en uygun sistem olarak öngörülmektedir.

Günümüzde kurutma, öğütme, gazlı temizleme, katıların ısıtılması-soğutulması, karıştırılması, piroliz, kömürün gazlaştırılması ve yakılması gibi uygulamalarda

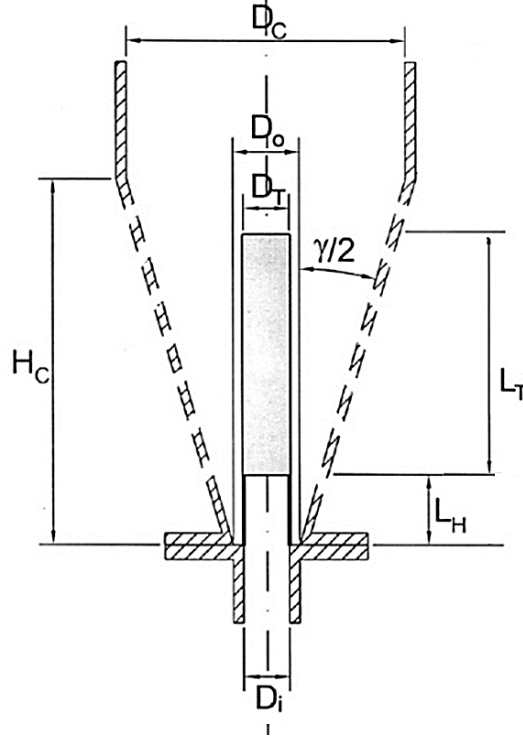
kullanılmakta olan [6,27-29]. Taşkın-akışkan yataklarda halka bölgesine yardımcı hava akımı beslenerek daha iyi katı-akışkan teması ve karışımı sağlanmaktadır (Bakınız Şekil 1.1). Bu yataklarda, taşkın yataklarda görülen muhtemel sorunlardan; parçacık topaklanması, ölü bölgelerin oluşması, parçacıkların duvar kısmına veya kolonun alt kısmına yapışıp kalması durumları büyük ölçüde azaltılmaktadır [9]. Ayrıca taşkın yatakların çalışabildiği tanecik sınıfından daha geniş bir parçacık sınıfıyla çalışabilmekte ve istenmeyen çökmeli ve parçalı akışkanlaşmaya sebep olmamaktadır. Bu projenin konusu olan kurutma işlemi günümüze kadar çapları 0.09-0.29 m arasındaki taşkın-akışkan yataklarda denenmiştir [30-33]. Kurutma malzemesi olarak da genelde 1 mm'nin üzerindeki parçacıklar kullanılmıştır. Parçacık büyüklüğü bakımından şu ana kadar en küçük boyutta yaklaşık 0.4 mm ortalama çapındaki kum parçacıkları akış borulu bir taşkın yatakta kullanılmıştır [16]. Bu çalışmalarda hava giriş sıcaklığı artırıldıkça kurutma hızının arttığı, dolayısıyla da kurutma süresinin kısaldığı görülmüştür [34,35]. Ayrıca hidrodinamik bir çalışmada 98 µm'a kadar ince tanecikler (PVC tozları) denenmiş fakat yapışma ve taşkınlaşmama gibi sebeplerle sadece dar bir alanda tanecik hareketi gözlemlenmiş, taşkınlaştırılabilen bölge ise akış borusu kullanılmadığından sadece bir kaç milimetre çapında olmuştur [12]. Akış borulu taşkın-akışkan yataklar endüstride kullanılabilen çok etkili parçacık-akışkan sistemleridir. Şekil 1.2'de tipik bir akış borulu taşkın-akışkan yatağın çizimi verilmektedir. Akış borusunun akışkanın yatakta kalma süresini kontrol etmeye ve taneciklerin devirsel hareket dağılımını artırmaya katkısı çok büyüktür. Taşkın akışkan yatak sistemine akış borusu eklendiğinde maksimum taşkınlaştırılabilen yatak yüksekliği sınırı tamamen ortadan kalkmaktadır. Bunun yanında basınç düşmesi azalmakta ve taşkınlaştırma için gerekli olan minimum gaz debisi değerinde düşüş görülmektedir. Literatürde, akış borulu taşkın-akışkan yataklarda mikronize parçacıklarla gerçekleştirilen herhangi bir çalışma yoktur. Bu tip yataklarda büyük parçacıkların kullanıldığı çalışmalar dahi çok yetersizdir.



Şekil 1.2. Akış borulu taşkın-akışkan yatak

1.2.2. Taşkın-Akışkan Yataklar ve Geometrik Parametreleri

Taşkın yataklarda gaz, yatak merkezinden dik bir şekilde yeterince yüksek bir debi ile enjekte edildiğinde yatak içindeki katı parçacıkların merkezinde bir boşluk oluşur ve buradaki parçacıklar yükselerek tepede bir fiskiye oluşturur. Böylece yatak içinde merkezde seyrek, merkezden duvara kadar olan halka bölgesinde yoğun olmak üzere iki kısım meydana gelir. Bu kısımlardan merkezde ve seyrek olan bölge taşkınlaşma bölgesi, duvara kadar ki yoğun kısım ise halka bölgesidir. Taşkın yatak içinde parçacıklar sürekli döngü halindedir. Yatağa dik giren gaz ile yükselen parçacıklar, oluşan fiskiyeden yatak içine ve genellikle halka bölgesine düşerler. Parçacıklar duvar boyunca aşağı hareket ederler veya herhangi bir seviyede yeniden taşkın bölgeye geçip fiskiyeye katılırlar. Taşkın-akışkan yataklarda ise, taşkın yataklara benzer olarak alt konik bölgenin merkezinden hava beslenirken yan kısımlardan da akışkan yataklara benzer olarak delikli bir dağıtıcı yardımıyla hava beslenmektedir. Böylelikle taşkın yataklarda havayla çok az temas edebilen merkezle duvar arasındaki halka bölgesi artık havayla daha iyi temas edebilmekte ve parçacıkların duvar bölgesine yapışması engellenmektedir. Bu sistemlerin kararlı bir taşkınlaşma-akışkanlaşma rejimi içerisinde çalışabilmesi için geometrik parametrelerinin çok hassas bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Taşkın-akışkan yatağın hidrodinamiğini belirleyen temel faktörler gaz (yoğunluk, viskozite, sıcaklık) ve parçacık özellikleri (yoğunluk, büyüklük, şekil) ile Şekil 1.3'te verilen yatak geometrik parametreleridir [36].



Şekil 1.3. Akış borulu taşkın-akışkan yataklarda yatak hidrodinamiğini etkileyen geometrik tasarım parametreleri: D_c : yatak çapı, H_c : konik kısım yüksekliği, D_o : yatak taban çapı, D_i : gaz giriş çapı, L_H : kaldırma yüksekliği, L_T : akış borusu uzunluğu, D_T : akış borusu iç çapı, γ : konik kısım açısı [36].

Bu proje kapsamında kurulan sistemin tasarımı için öncelikle literatürde bulunan taşkın-akışkan yataklarda yapılan tüm çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalar Çizelge 1.2'de özetlenmektedir. Bu değerlerin yanı sıra, San Jose ve diğer [37] kararlı bir taşkınlaşma elde edilebilmesi için D_T/D_i oranının en düşük 1 olmasının gerektiğini belirtmiştir. Gaz giriş çapının akış borusu çapından büyük olması gazın taşkın bölge dışına çıkıp akış borusu yanlarından da ilerlemesine ve kararlı taşkınlaşma davranışını bozmasına neden olduğu belirtilmiştir. Bunlara ek olarak, yatağın konik bölge açısı yatak hidrodinamiğini etkileyen çok önemli bir parametredir. Sadece taşkın yatak hidrodinamiği göz önüne alındığında, konik bölge açısının alt sınırının 28° , üst sınırının ise 60° olması gerektiğine dikkat çekilmiştir [9]. Açı değeri 28° 'in altına düştüğü zaman taşkınlaşma kararlılığının kaçınılmaz şekilde bozulduğu, 60° 'nin üzerine çıktığı zaman ise parçacıkların yatak içindeki devirsel hareket hızının oldukça düştüğü belirtilmiştir. Buradan yola çıkılarak, yatağa doldurulacak parçacık miktarı, oluşabilecek ölü bölgeler ve devirsel hareket hızının yüksek olması gerektiği göz önünde bulundurularak, bahsedilen sınırlar içinde uygun bir konik bölge açısı

seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu alışmalar ve izelge 1.2'de verilen çalışmalar incelendiğinde, literatürde yer alan taşkın-akışkan yataklarda yapılan çalışmaların hepsinde büyük parçacıkların kullanıldığı görölmektedir. Bu nedenle, tasarım sırasında, incelenen parametreler ve bu parametrelerin birbirine olan oranları sadece ışık tutması amacıyla kullanılabilinmiştir. Literatürdeki bu boşluk aynı zamanda, iyi bir tasarım için ön tasarım ve ön denemelerin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Çizelge 1.2. Literatürde yer alan taşkın-akışkan yatak çalışmalarının deneysel koşulları

Ref.	$D_c(m)$	$D_i(m)$	$\gamma(^{\circ})$	$H_b(m)$	$D_o'(m)$	β (%)	$D_T(m)$	$L_T(m)$	$L_H(m)$	$d_p(\mu m)$	$\rho_p(kg/m^3)$	ϵ
Sutanto vd. (1985)	0.152	0.019	60	0.60	0.003	0.152	-	-	-	2900-3900	930-1040	0.38-0.43
Zhang and Tang (2006)	0.125	0.018	60	0.18-0.29	0.002	NS	-	-	-	1060-3240	952-2940	NS.
Pianarosa vd. (2000)	0.152	0.019	60	0.28	0.003	0.635	-	-	-	1330-2530	2463-2493	0.41-0.42
Sutanto (1983)	0.152	0.019	60	0.125	0.003	0.631	-	-	-	2850-3940	930-1040	0.38-0.43
Zhong vd. (2008)	0.100	0.010	60	0.1-0.3	0.001		-	-	-	1600-2300	1330	0.40-0.42
Ishikura vd. (2011)	0.100	0.012	60	0.3	0.001		0.014	0.3	0.02-0.04	880-1350	2480-2670	0.38-0.42
Kfuri ve Freitas (2007)	0.145	0.035	45	NS	NS	NS	-	-	-	8000 (Tablet)	NS	NS
Marmo (2006)	0.290	0.032	62	0.43	0.001	0.034	0.04	0.043	0.05	2000-4000	570 (Bulk)	NS
Pianarosa (1996)	0.152	0.025	60	0.28	0.003	0.614	-	-	-	1330-2530	1450-1460	0.41-0.42
Osorio-Revilla vd. (2004a)	0.143	0.0235	60	0.214	*	*	0.035 2	0.3	0.04	2290	1164	0.39
Xiao vd. (2002)	0.200	0.025, 0.032	60	0.713	0.001	0.074	0.042	1	0.063, 0.143	2067	2450	NS
Muir vd. (1989)	0.200	0.027	60	0.6	0.0009	0.085	0.023, 0.04	0.6	0.06, 0.08, 0.10, 0.14	1020	2560	NS
Xu vd. (2009)	0.120	0.015, 0.020, 0.025	60	0.08, 0.15, 0.18	0.002	0.729	0.025	0.2	NS	1212	1360	NS
Xu vd. (2010)	0.150	0.043	60	0.3	0.002	0.161	-	-	-	253,461	1206,1801	NS

Çizelge 1.2. Literatürde yer alan taşkın-akışkan yatak çalışmalarının deneysel koşulları (devam)

Ref.	D_c/D_i	D_i/d_p	D_o'/d_p	H_b/D_i	L_T/D_T	D_T/d_p
Sutanto vd. (1985)	8	4.82-6.67	0.76-1.05	6.58	-	-
Zhang and Tang (2006)	6.944	16.98-5.56	0.62-1.89	10-16	-	-
Pianarosa vd. (2000)	8	14.29-7.51	1.19-2.26	14.74	-	-
Sutanto (1983)	8	4.82-6.67	0.76-1.05	6.58	-	-
Zhong vd. (2008)	10	4.35-6.25	0.44-0.63	10-30	-	-
Ishikura vd. (2011)	8.3	13.6-8.89	0.74-1.14	25	21.43	9.15-15
Kfuri ve Freitas (2007)	4.143	4.375	NS	NS	-	-
Marmo (2006)	9.063	16-8	0.25-0.5	13.44	1.08	10-20
Pianarosa (1996)	6.08	18.8-9.88	1.19-2.26	11.2	-	-
Osorio-Revilla vd. (2004a)	6.09	10.262	*	9.11	8.52	15.37
Xiao vd. (2002)	6.25,8	12.1-15.48	0.48	28.5-22.3	23.81	20.32
Muir vd. (1989)	7.4	26.47	0.88	22.2	15- 26.09	22.55
Xu vd. (2009)	8,6,4,8	12.376, 16.502, 20.627	1.65	5.3, 7.5, 7.2	8	20.627
Xu vd. (2010)	3.49	20	7.91,4.34	6.98	-	-

NS: Belirtilmemiş

*: Delikli

1.2.3. Endüstriyel Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

Endüstriyel güneş enerjisi kurutma sistemleri konusunda yapılan çalışmalar iki yönde gelişim göstermiştir; fotovoltaik ve termal sistemler. Fotovoltaik sistemler direk güneş-elektrik dönüşümü sayesinde birçok alanda uygulanabilirliğe sahiptirler. Termal enerji teknolojileri ise genellikle ısıtma ve kurutma uygulaması gibi önemli alanları hedef almaktadır. Bu sistemlerde direk elektrik üretimi söz konusu değildir.

Bu çalışmada temel olarak sıcak kurutma havasına gereksinim olduğu için termal sistemlerin uygun olacağı öngörülmektedir. Buna karşın fotovoltaik sistemlerin fiyatlarının son yıllarda ciddi bir biçimde düşmesinden dolayı bu tip sistemler de bu çalışmada göz önüne alınmıştır. [21-24,38].

Endüstriyel kurutma prosesleri başlıca iki kategoriye ayrılırlar: yüksek ve düşük sıcaklık kurutucular. Bütün yüksek sıcaklıkta olan kurutma alanları fosil yakıtların yakılması çalışmaktadır. Düşük sıcaklıkta olan uygulamalar ise güneş enerjisi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Yüksek sıcaklıklar için bile düşük sıcaklık teknolojileri ön ısıtma olarak tercih edilebilir. Termal enerji üretiminde kullanılan kolektörler Çizelge 1.3'te sunulmuştur .

Çizelge 1.3. Farklı güneş termal kolektör tipleri [39]

Takip Mekanizması	Kolektör Tipi	Soğurucu Tipi	Konsantre oranı	Bildirilen Sıcaklık Aralığı (°C)
Sabit	Düz Plaka kolektör	Düzlemsel	1	30-80
	Vakum Edilmiş Boru Kolektör	Düzlemsel	1	50-200
	Bileşik Parabolik Kolektör	Boru Şeklinde	1-5	60-240
Tek Eksenli Takip	Fresnel Lens Kolektör	Boru Şeklinde	10-40	60-250
	Parabolik Oluk Kolektör	Boru Şeklinde	15-45	60-300
	Silindirik Oluk Kolektör	Boru Şeklinde	10-50	60-300
Çift Eksenli	Parabolik Çanak Yansıtıcı	Noktasal	100-1000	100-500
	Heliostat Alan Yansıtıcı	Noktasal	100-1500	150-2000

Çizelge 1.3'te görüldüğü üzere, en dikkat çeken sütün kolektörün sağladığı çıkış sıcaklık aralığıdır. Zeolit kurutulmasında kullanılacak olan sıcaklık 30°C'den yüksek olduğu için çizelgede yer alan bütün kolektör tipleri yeterli hava sıcaklığını sağlayabilir. Güneş hava kolektörü ve parabolik oluk kolektör tipi kurutma enerji ihtiyacını gidermek için uygun seçenekler olduğundan incelenmeye alınacaktır.

Güneş enerjisi ile çalışan taşkın yatak çalışmaları literatürde çok kısıtlı sayıda bulunmaktadır. Bezelye kurutulması için yapılan bir çalışmada hava kolektörü kullanılarak kurutucuya giren hava sıcaklığı 40 - 68 °C aralığında elde edilmiştir [40]. Literatürde güneş ile çalışan taşkın-akışkan yatak kurutucu çalışması bulunmamaktadır.

1.3. Doğal Zeolit Klinoptilolit Özelliklerinin Belirlenmesi

1.3.1. Gerçek ve Yiğın Yoğunluğunun Tespit Edilmesi

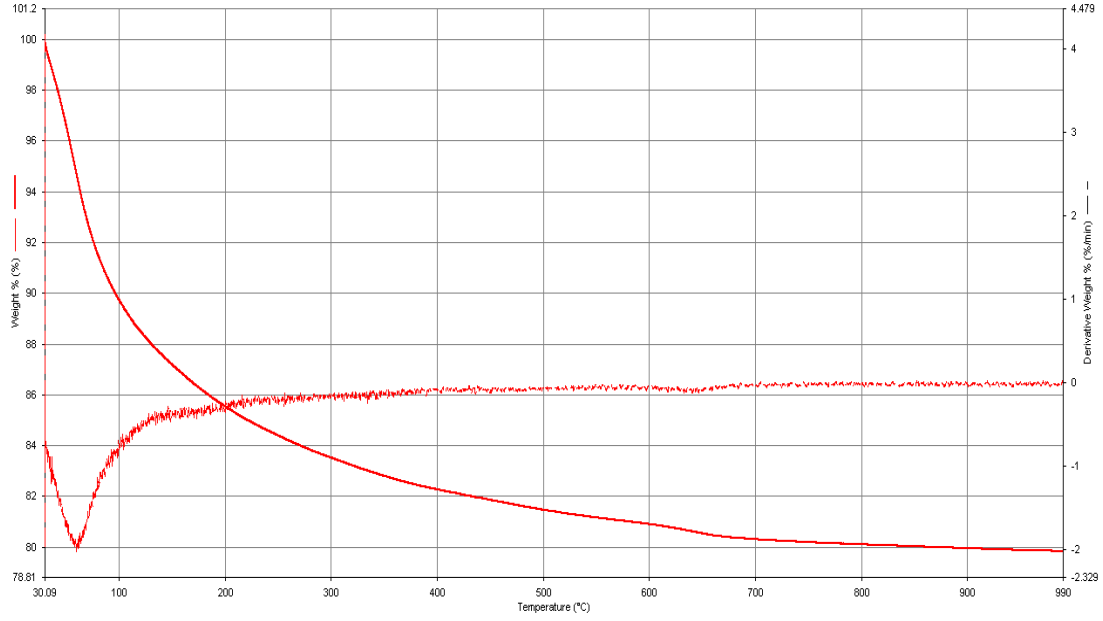
Bu çalışmada kullanılan doğal zeolit, klinoptilolit parçacıkları Manisa'nın Gördes ilçesinde yer alan ROTA Madencilik A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Hidrodinamik ve kurutma çalışmalarına başlanmadan önce bu parçacıkların detaylı karakterizasyonunun yapılması şarttır.

1.3.2. Gerçek ve Yiğın Yoğunluğunun Tespit Edilmesi

Toz haldeki klinoptilolit numunesinin parçacık yoğunluğunu bulabilmek amacıyla öncelikle helyum piknometresi kullanılarak gerçek yoğunluk değeri 2140 kg/m³ olarak elde edilmiştir. Daha sonra Cıva porozimetresi kullanılarak pelet haline getirilen malzemenin atmosferik basınç altındaki yiğın yoğunluğu 680 kg/m³ olarak bulunmuştur.

1.3.3. Nem İçeriğinin Tespit Edilmesi

Toz haldeki klinoptilolit numunesindeki ağırlık kaybı, ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda bulunan Perkin Elmer Pyris 1 Termogravimetrik Analiz Cihazında (TGA), N₂ gaz ortamında, 30°C - 980°C sıcaklık aralığında, 10°C/dakika ısıtma hızında ölçülerek belirlenmiştir. Elde edilen ilgili TGA grafiği Şekil 1.4'te verilmiştir.



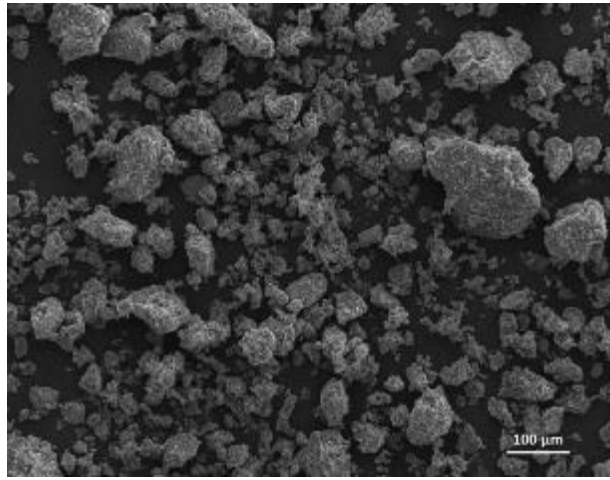
Şekil 1.4. Klinoptilolit örneğine ait TGA grafiği

Literatürde yaklaşık % 8-12 [25,41] arasında değişen klinoptilolit nem içeriği mevcut TGA grafiğinden görüldüğü üzere % 20.1 civarındadır. Aradaki bu büyük fark, literatürdeki örneklere desikatör içinde tuz çözeltisi ile bir ön muamele yapılmasından ve molekül yapısı dışında bulunan nemini bu yolla kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Literatürde 85°C'ye kadar dış kısımdaki nemin, 285°C'ye kadar zayıf bağlı ve 285°C üzerinde kuvvetli bağlı halde bulunan nemin kaybolduğu belirtilmiştir [25]. TGA grafiğinde de görüldüğü üzere indirgenmiş ağırlık değerinin en yüksek negatif değeri yaklaşık 42°C'de gözlemlenmiş ve bu değerden sonra gittikçe azalarak, yaklaşık 85°C'den sonra sifıra yakın şekilde seyretmiştir. Bu durum göz önüne alındığında toplam % 20.1'lik su kaybının yaklaşık % 9.5'lik kısmının dış kısımdaki sudan kaybolduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu şekilde düşünüldüğünde zayıf ve kuvvetli bağlı halde molekül yapıda bulunan su miktarı % 10.6 olmaktadır ve bu değer literatürdeki değerlere yakın olduğu görülmektedir.

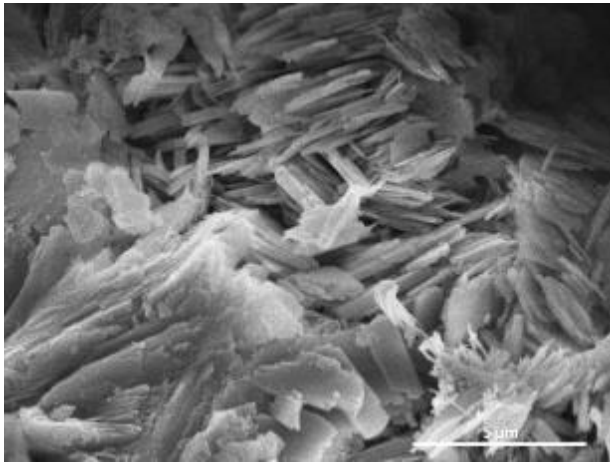
1.3.4. Parçacık Şekil Analizi

Klinoptilolit taneciklerinin şekilsel yapısının analizi için ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda bulunan QUANTA 400F Field Emission (SEM) yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Toz haldeki numunenin SEM görüntüleri çekilmiş ve

taneciklerin şekilsel yapısı ile klinoptilolitın üst üste plakalar halindeki karakteristik kristal yapısı [25,42] görülmüştür. Bu görüntüler sayesinde örnek içeriğinin büyük kısmının klinoptilolit olduğu teyit edilmiştir. İlgili SEM görüntüsü örnekleri Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da verilmiştir. Mevcut SEM görüntülerinden rastgele seçilen 30'a yakın tanecikten yola çıkılarak, ayrıca kırılmış ve öğütülmüş zeolitlerin küresellik değeri aralığı bilgisinden [43] yararlanılarak SYMPATEC firmasının resmi sitesinden [44] elde edilen bir katalog yardımıyla mevcut klinoptilolit taneciklerinin ortalama küresellik değeri 0.78 olarak bulunmuştur.



Şekil 1.5. Öğütülmüş Klinoptilolit taneciklerinin geometrik şekilleri



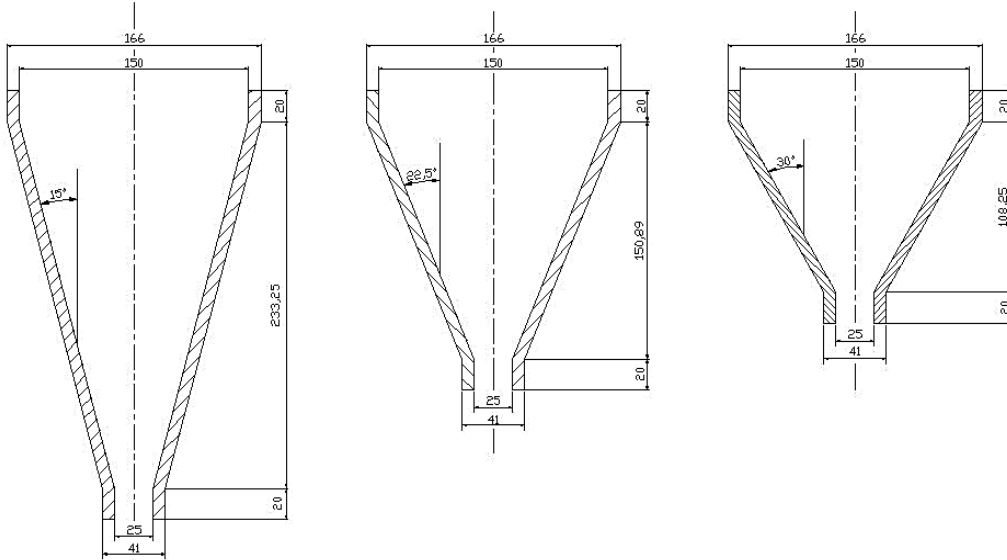
Şekil 1.6. Karakteristik Klinoptilolit kristal yapısı

2. YARIM YATAK HİDRODİNAMİK ÇALIŞMALARI

2.1. Konik ve Yarım Konik Taşkın Yataklar

Literatür özetinde belirtildiği gibi, bu proje kapsamında kurulan sistemin tasarımı için öncelikle literatürde bulunan taşkın-akışkan yataklarda yapılan tüm çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve yapılan tüm çalışmalarda büyük parçacıkların kullanıldığı görülmüştür. Bu projede kullanılan zeolit parçacıkları çok daha küçük olduğu için literatürde belirtilen değerleri direk kullanmak mümkün değildir. Dolayısıyla bütün uygulanabilir geometrik koşulların test edilmesi gereklidir. Bu kapsamda, ilk aşamada 108M435 kodlu ve 'Taşkın Yatak Nükleer Yakıt Kaplayıcılarının Hidrodinamik Özelliklerinin İncelenmesi' başlıklı proje kapsamında üretimi gerçekleştirilen 30, 45 ve 60 derecelik açılara sahip tam ve yarım konik yataklar (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) kullanılarak bazı ön denemelerin yapılmasına ve geometrik tasarımın elde edilecek bulgular ışığında neticelendirilmesine karar verilmiştir.

Kullanılan yatakların çapı 15 cm'dir (D_c). Konik taban çapı (D_o) ise 2.5 cm'dir. Bu yatakların zeolit parçacıkları ile çalışabilmesi için pirinçten yapılmış yeni bir gaz girişi ve taban kısmında gerçekleştirilen bazı modifikasyonlar yapılması gerekmiştir. Gaz giriş çapı pirinçten yapılmış vidalı bir aparatın çıkışı olan 1.5 cm'dir (D_i). Yatakların diğer geometrik özellikleri Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Giriş, orifis giriş çapı ve kolon çapı sabit tutulan, farklı konik açıları için belirlenmiş taşkın yatak geometrileri ($\gamma = 30^\circ, 45^\circ$ ve 60°)

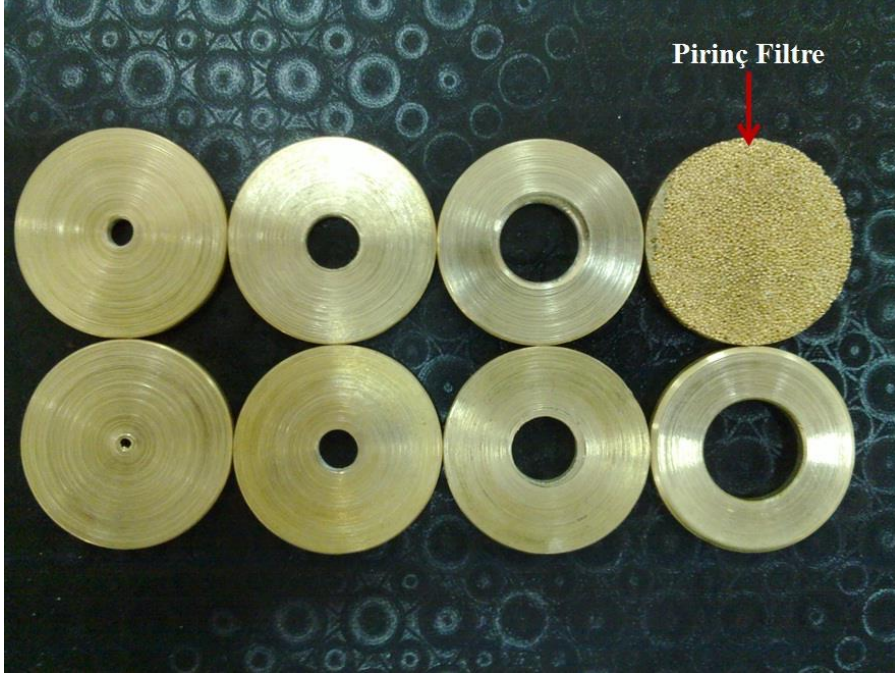


Şekil 2.2. Önceki projede üretilen yatakların konik kısımlarının ilk görüntüleri



Şekil 2.3. Gaz girişi aparatı

Gaz giriş çapının taşkınlaşma rejimlerinin oluşumu ve kararlılığına olan etkisinin incelenmesi için 25 mm'lik gaz giriş çapını küçültmek üzere kullanılacak Şekil 2.4'te görülen 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15 mm iç çaplarına sahip pirinç diskler üretilmiştir. Gaz girişlerinde en üstte yer alan bu disklerin hemen altına küçük çaptaki parçacıkların aşağıya düşmesini engellemek için tel örgü kullanmak yeterli olmamıştır. Bu nedenle Şekil 2.4'te sağ üst kısımda görülen uygun gözenekli bir sinter pirinç filtre temin edilmiştir.



Şekil 2.4. Gaz girişi için hazırlanan farklı iç çaplardaki pirinç diskler ve pirinç filtre

Akış borusunun taşkınlaşma rejimine etkisinin incelenebilmesi için 3 ayrı çapta ve 4 ayrı boyda toplam 12 adet gözeneksiz metal akış borusu üretilmiştir (Şekil 2.5). Akış borularının özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

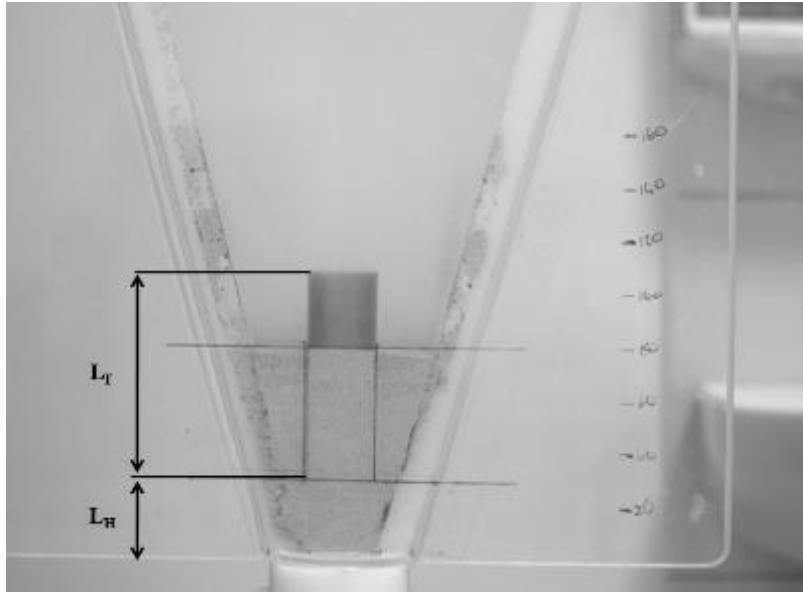


Şekil 2.5. İmalatı yapılan akış borularının örnekleri

Çizelge 2.1. Üretimi yapılan akış borularının geometrik özellikleri

No	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Uzunluk (cm)
1	13	15	6, 8, 10, 12
2	18	20	6, 8, 10, 12
3	23	25	6, 8, 10, 12

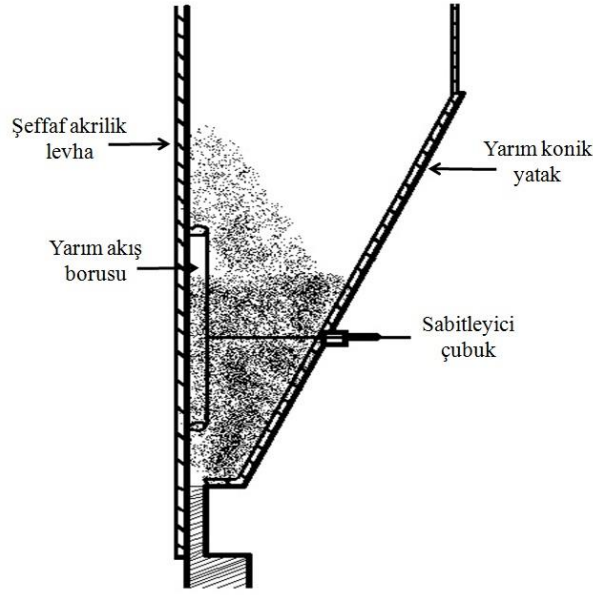
Bu projede, hızlı kamera ölçümleri ile yatak içerisindeki parçacık hareketlerinin görsel olarak izlenmesi amacıyla konik taşkın yataklarla aynı özelliklere sahip 30, 45 ve 60 derece açılı yarım konik yataklar da kullanılmıştır. Yarım yatağın yarım konik kısmı Delrin'den üretilmiş, kesit yüzeyine ise 10 mm kalınlığında akrilik yapıştırılmıştır. Şekil 2.6'da 30 derece açılı yarım konik taşkın yatağın fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 2.6. Yarım konik taşkın yatağın fotoğrafı ($\gamma = 30^\circ$)

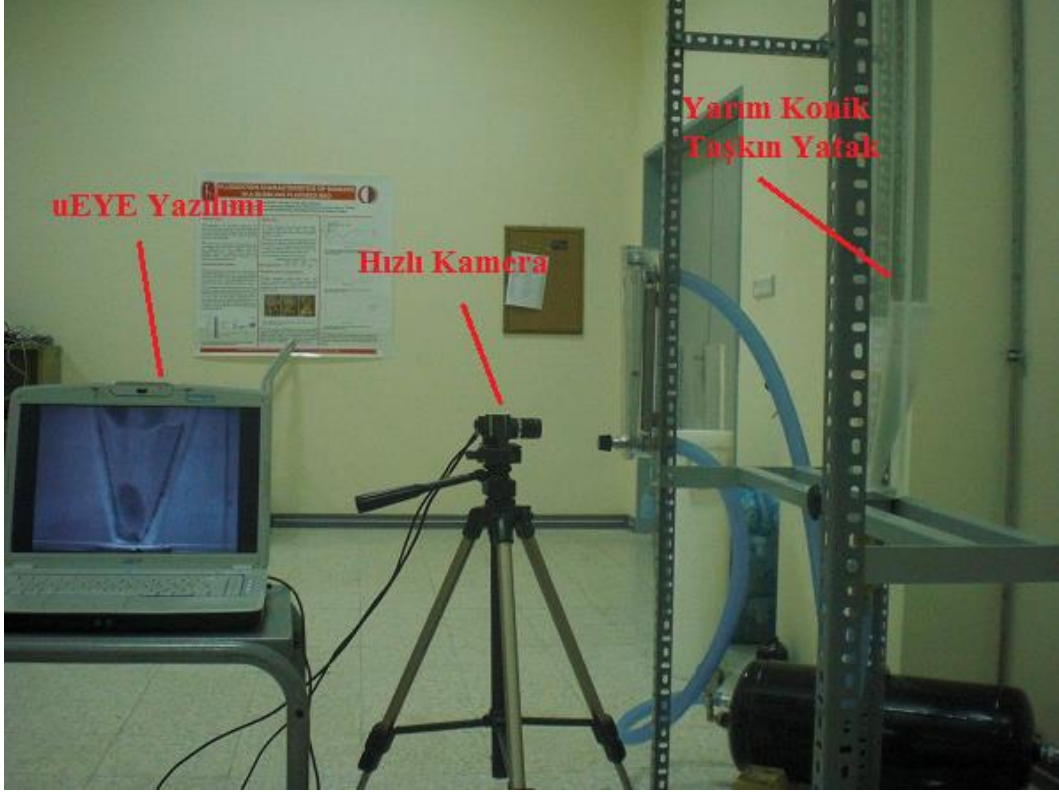
Yarım yataklarda da akış borusunun taşkınlaşma rejimine etkisinin incelenebilmesi için Çizelge 2.1'de verilen aynı geometrik özelliklere sahip yarım akış boruları imal edilmiştir. İmal edilen akış borularının ön yüzleri son derece düz ve pürüzsüz bir şekilde hazırlanmış ve deneyler esnasında yatağın ön kısmındaki şeffaf akrilik bölüme tutturulmuştur. Yarım akış borusunun tutturulma işlemi yatak hidrodinamiğini etkilememek amacıyla konik bölgenin alt kısmından değil, yatağın arka tarafından bir

delik yardımıyla uzatılan ince metal bir çubuk sayesinde yapılmıştır. Kullanılan sistemin şeması Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Akış borulu yarım taşkın yatağın yandan görünümü

Yatak içerisindeki akış karakteristiklerini görsel olarak incelemek, minimum taşkınlaşma hızını basınç düşümü verileri ile birlikte tanımlayıp belirlemek ve taşkın bölge çapını ölçmek amacıyla yarım konik taşkın yataklardaki hızlı kamera ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.8’de hızlı kamera ölçümleri için kurulan deney düzeneği görülmektedir. Kullanılan hızlı kamera üzerinde 16 mm’lik PENTAX lens bulunan, IDS marka (uEye-UI-2210-M) siyah/beyaz çekim yapabilen, 1/2” CCD sensörlü, 640 x 480 çözünürlüğe sahip, normal şartlarda 75 fps (frame/s), görüntü alanı daraltılarak 200 fps hıza çıkabilen bir kameradır. Hızlı kamera ölçümleri için hazırlanan deney düzeneğinin gösterildiği Şekil 2.82’i incelenecek olursa 30 derecelik konik açığa sahip yarım taşkın yatağın 40 cm uzaklığına hızlı kameranın yerleştirildiği ve bu kamera ile gerçekleştirilen görsel ölçüm sonuçlarının kamera ile birlikte gelen uEYE yazılımı yardımıyla bilgisayarda kaydedildiği görülmektedir. Kaydedilen görüntüler MATLAB® görüntü işleme yazılımı ile analiz edilmiştir.



Şekil 2.8. Hızlı kamera deney düzeneği

2.2. Taşkın-Akışkan Yataklar

Literatürde, akış borulu taşkın-akışkan yataklarda mikronize parçacıklarla gerçekleştirilen herhangi bir çalışma olmaması sebebiyle, kurutucu sistemin tasarımına ışık tutması amacıyla öncelikle yarım konik taşkın-akışkan yatakta sistemin hidrodinamiğinin incelenmesine tasarımın elde edilecek bulgular ışığında neticelendirilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, 30 ve 60 derecelik açıya sahip 2 tane yarım taşkın yatağın duvar kısmına akışkanlaştırıcı gazın beslenebilmesi için delikler açılmış, zeolit parçacıklarının bu deliklerden düşmemesi için ise geçirgenliği oldukça düşük bir bez filtre kullanılmıştır. Deliklerden yatağa gaz beslemesi konik kısmın etrafına kurulan gaz besleme haznesi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.9'da delikli konik bölge duvarı, Şekil 2.10'da ise akışkanlaştırma gazının sisteme beslenmesi için tasarlanan gaz haznesinin fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 2.9. Gaz dağıtıcı görevindeki delikli konik bölge duvarı



Şekil 2.10. Akışkanlaştırma gazının sisteme beslenmesi için tasarlanan gaz haznesi

Çizelge 2.2'de 30 ve 60 derecelik taşkın-akışkan yatakların konik bölge yanal alanları, bu bölgedeki delik sayıları ve açıklık oranları verilmektedir. Çizelge 2.2'den görüleceği

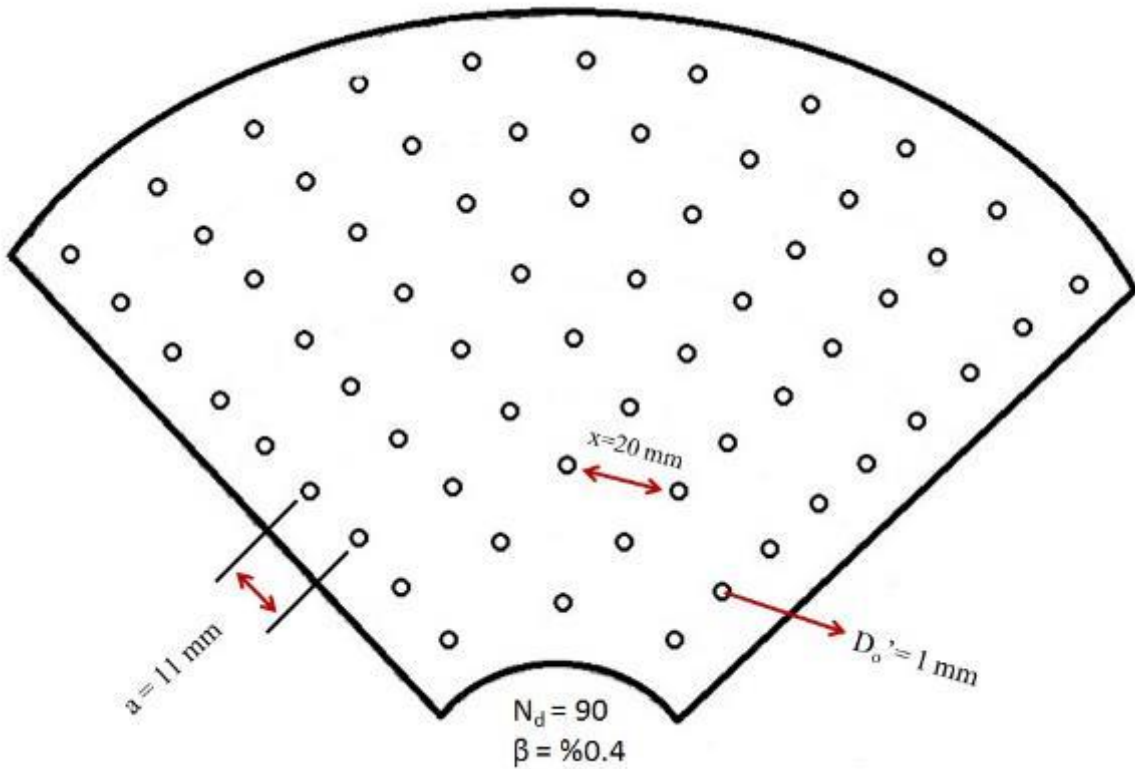
üzere 30 ve 60 derecelik taşkın-akışkan yatakların akışkanlaşma gazı için kullanılan yanal alanlarındaki açıklık oranı % 0.4 olarak tasarlanmıştır. Bu açıklık oranı akışkanlaşma gazını tüm deliklere eşit şekilde dağıtmak için gerekli basınç düşümünü sağlamaktadır.

Çizelge 2.2. 30 ve 60 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatakların yanal alan özellikleri

Parametre	30 derece	60 derece
Yanal Alan (mm ²) ¹	33176	17180
Delik çapı (mm)	1	1
Delik sayısı	169	90
Açıklık oranı, β , %	0.4	0.4

¹Yarım yatak yanal alanı

Örnek olarak 60 derecelik taşkın-akışkan yatak için yanal bölge delik dağılımı Şekil 2.11'de verilmiştir.



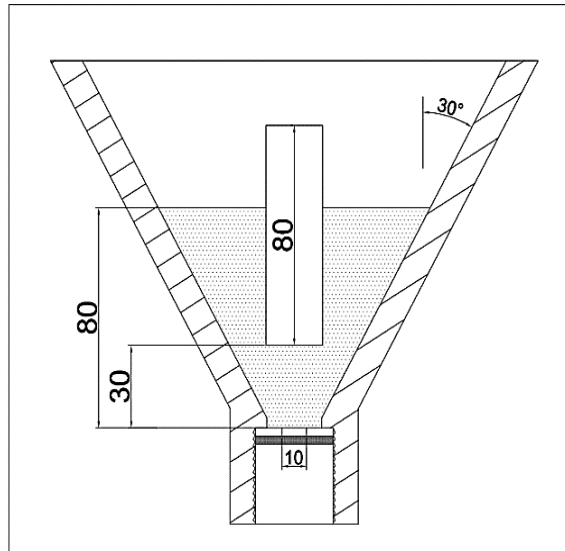
Şekil 2.11. 60 derecelik yarım taşkın-akışkan yatak için duvar bölgesi gaz dağıtıcı tasarımı

2.3. Konik ve Yarım Konik Taşkın- Akışkan Yataklarda Gaz-Katı Akışının Karakterizasyonu, Basınç Düşüşü ve Minimum Akışkanlaşma Hızı Ölçümleri

Bir önceki bölümde tam ve yarım taşkın akışkan yataklarda gerçekleştirilen hidrodinamik çalışmaların sonuçları sunulmuştu. Bu bölümde ise yarım taşkın-akışkan yataklarda gerçekleştirilen gaz-katı akışı karakterizasyonu çalışmaları ve basınç düşümü ve minimum akışkanlaşma hızı ölçüm sonuçları tartışılacaktır. Bu kapsamda 30 ve 60 derecelik konik açiya sahip yarım kesitli taşkın-akışkan yataklarda basınç düşümü, minimum kararlı taşkınlaşma hızı ve hızlı kamera ile parçacık hareketleri ve ölü bölge gözlem deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde sonuçları detaylı bir biçimde sunulan basınç düşümü ve hızlı kamera deneylerinin amacı akış borulu taşkın-akışkan yatak kurutucu tasarımı için en uygun açiyı ve akış borulu taşkın-akışkan yatak için kararlı minimum taşkınlaşma hızlarını ve akışkanlaşma hızının minimum taşkınlaşma hızı üzerindeki etkisini belirlemektir.

2.3.1. 60 Derecelik Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak ile İlgili Deney Sonuçları

60 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatağın geometrik ölçüleri ve deney koşulları Şekil 2.12 ve Çizelge 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Yarım taşkın-akışkan yatak ölçüleri ($\gamma = 60^\circ$)

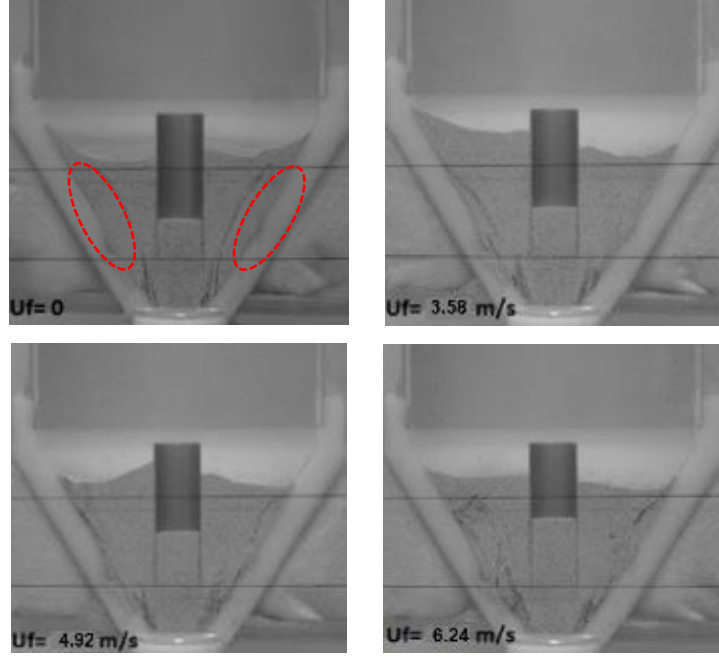
Çizelge 2.3. Deney koşulları ($\gamma = 60^\circ$)

Parametreler	Değerler
Konik Açısı	60°
Akış Borusu Yüksekliği	80 mm
Akış Borusu İç Çapı	23 mm
Akış Borusunun Yatak Girişinden Yüksekliği	30 mm
Statik Yatak Yüksekliği	80 mm
Taşkın Hava Giriş Çapı	10 mm
Yatak Malzemesi Ağırlığı	160 gr

60 derece için öngörülen ve çözülmesi gereken en önemli problem halka kısmında duvara yakın bölgelerde gözlemlenen ölü bölgelerdir. Büyük konik açısı ve küçük parçacık çapından dolayı duvara yakın bölgelerde parçacıkların topaklanması ve hareketsiz kalma sorununun duvarda oluşturulan akışkanlaşma deliklerinden beslenen havayla ortadan kaldırılması öngörülmüştür.

Şekil 2.13'te 4 farklı akışkanlaşma gaz hızı ile yapılan deneylerin sonundaki (taşkın ve akışkanlaşma gaz hızları kesildikten sonra) yatak malzemesinin son hali gösterilmiştir. Taşkınlaşma ve akışkanlaşma hızları taşkın havası giriş alanına göre tanımlanmıştır¹. Akışkanlaşma hava hızının, U_f , sıfır olduğu durumda (yatağın taşkın yatak olarak işletimi) duvara yakın bölgelerde hareketsiz kalan parçacıklar siyah çizgi oluşturarak gözlenmektedir. İki tarafta da olan siyah çizgiler orta bölgede hareketli parçacıklarla kenardaki sabit parçacıkları ayıran bir hat olarak görülmektedir. Akışkanlaşma gaz hızı arttırıldıkça ölü bölge alanı da azalmaktadır. Üç farklı akışkanlaşma hızı değeri ($U_f = 3.58, 4.92$ ve 6.24 m/s) kullanılarak yapılan deneylerin sonuç ve gözlemleri ışığında ölü bölgeyi gidermek için çok yüksek akışkanlaşma hava hızlarına gerek olmadığı belirlenmiş ve bu değerlerin yaklaşık 4-5 m/s civarında olmasının yatağın halka bölgesinin tümünü hareketlendirmeye yettiği gözlemlenmiştir.

¹ Bu kapsamda taşkın havası giriş alanı 10 mm giriş çapına karşılık gelen alanın yarısıdır.

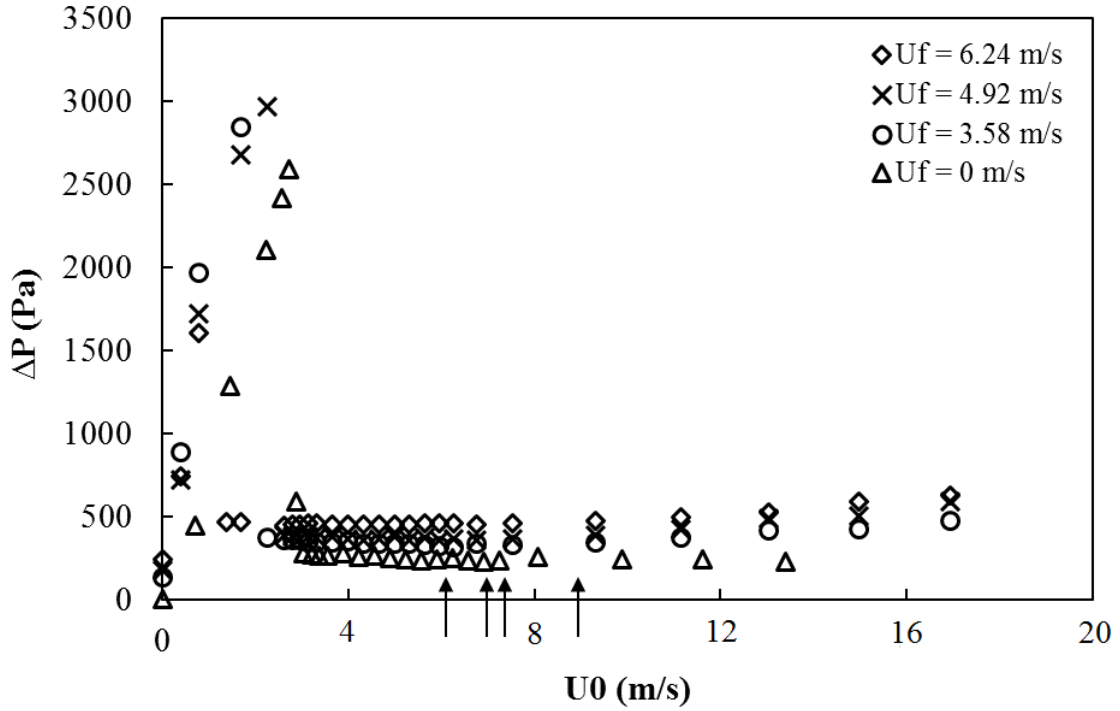


Şekil 2.13. 60 derecelik yatak için 4 farklı akışkanlaşma hızlarında ölü bölgelerin durumu (Kırmızı delikli çizgilerin içindeki alan ölü bölgeleri göstermektedir)

Şekil 2.14’de farklı akışkanlaşma gaz hızlarında ($U_f = 0, 3.58, 4.92$ ve 6.24 m/s) taşkınlaşma gaz hızı artırılarak yapılan yatak basınç düşüşü deneylerinin sonuçları verilmiştir. Bu deneyler sırasında gözlemlenen minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızları ($U_{ms,s}$) ise oklarla şekil üstünde belirtilmiştir. Taşkınlaşma gaz hızı artırıldığında minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızı ciddi bir biçimde düşmektedir. Dolayısıyla taşkın-akışkan yataklarda, taşkın yataklara göre daha düşük taşkınlaşma hızlarında yatağın kararlı taşkınlaşma rejiminde işletilmesi mümkün olmaktadır. Konik yanallı yatağa beslenen akışkanlaşma havası ile halka bölgesi minimum akışkanlaşma koşullarına getirilmekte, ölü bölgeler ortadan kalkmakta ve parçacıkların yatağın tabanına doğru hareketleri kolaylaşmaktadır. Bu da düzgün ve kararlı bir fıskiye oluşumunu sağlamaktadır.

Çizelge 2.4 minimum kararlı taşkınlaşma hızının akışkanlaşma hızına göre değişimini ve taşkın yatak koşuluna göre toplam hava miktarındaki değişimi vermektedir. Taşkın yatak koşulunda 9.2 m/s olan minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızı, akışkanlaşma hızının 6.24 m/s olduğu durumda 6.4 m/s değerine düşmekte, buna karşın yatağa giren toplam gaz debisi %37 artmaktadır. Yatağa giren gaz debisi kurutma gibi ekonomik

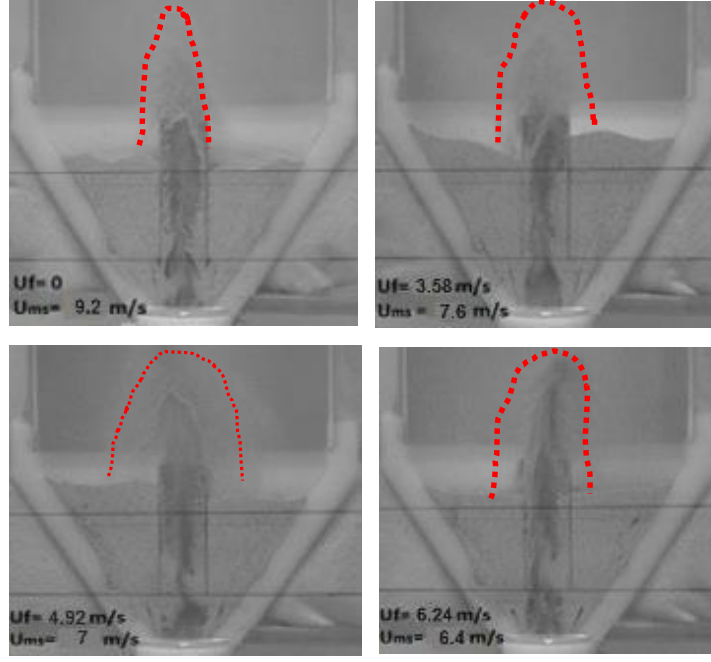
performansı gaz debisine bağlı olan bir fiziksel işlem için dikkatlice irdelenmesi gereken bir parametredir. Dolayısıyla taşkın-akışkan yatak işleminde yatakdaki gaz-katı temasını uygun bir biçimde sağlayacak ve ölü bölgeleri kaldıracak en düşük akışkanlaşma gaz hızının kullanılması ekonomik açıdan önemlidir.



Şekil 2.14. Artan taşkınlaşma gaz hızlarında (U_0) yatak basınç düşüşü ölçümleri, $\gamma = 60^\circ$. ($U_{ms,s}$ değerleri oklarla gösterilmiştir).

Çizelge 2.4. $U_{ms,s}$ değerinin U_f değeri ile değişimi, $\gamma = 60^\circ$

U_f (m/s)	U_{mss} (m/s)	Toplam hava debisindeki artış ($U_f = 0$ 'a göre)
0	9.2	0
3.58	7.6	% 21.5
4.92	7.0	%30
6.24	6.4	% 37



Şekil 2.15. Çizelge 2.4'deki koşullar için artan hava hızlarında minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları, $\gamma = 60^\circ$.

Şekil 2.15' ve Çizelge 2.4'deki koşullar için minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları verilmiştir. Akışkanlaşma gazının beslenmesiyle fıskiye bölgesinin çapı artmış, daha düzgün dağılan bir fıskiye elde edilmiştir.

2.3.2. 30 Derecelik Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatak ile İlgili Deney Sonuçları

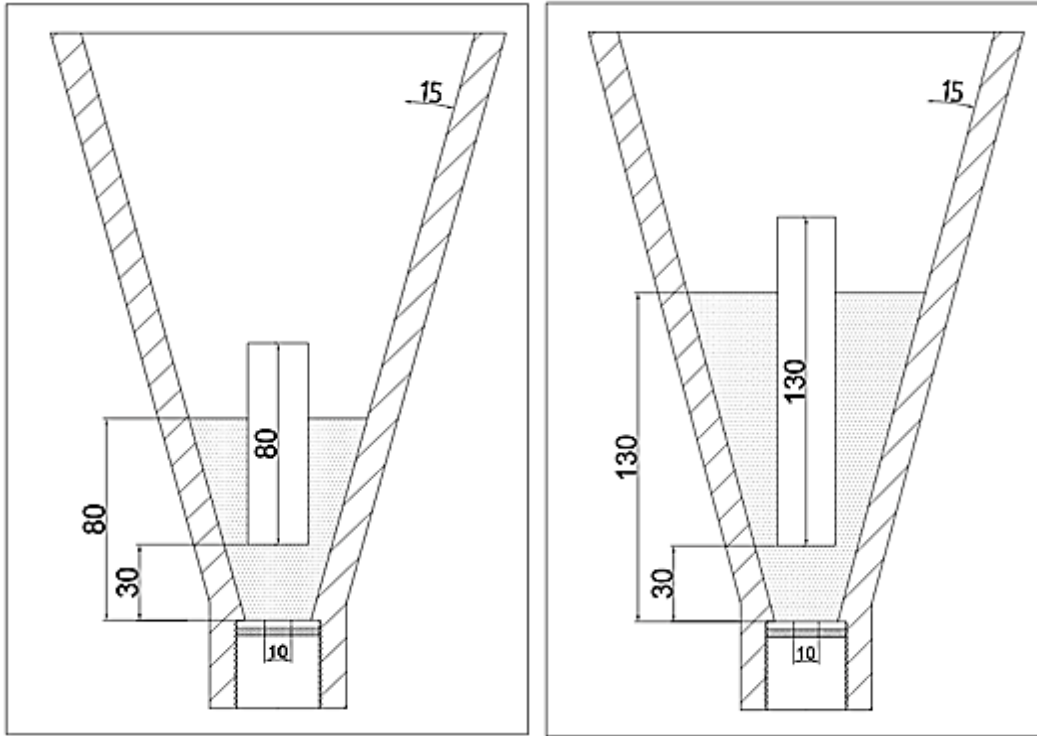
60 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatakla yapılan deneyler, konik açının etkisini belirlemek ve kurutucu için uygun konik açığı seçmek amacıyla 30 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatakla da tekrarlanmıştır. 30 derecelik konik açılı yatak ile 60 derecelik konik açılı yatağın deneysel karşılaştırması iki farklı durum için yapılmıştır:

- Aynı statik yatak yüksekliği (80 mm), farklı yatak malzemesi ağırlıkları (160 gr 60 derece için, 68 gram 30 derece için)
- Aynı yatak malzemesi ağırlığı (160 gr), farklı statik yatak yükseklikleri (80 mm 60 derece için, 130 mm 30 derece için)

Konik açısının farklılığından dolayı statik yatak yüksekliği sabit tutulduğunda (80 mm), 30 derece için kullanılması gereken malzeme miktarı 68 gr olmaktadır. 30 derecelik yatakda statik yatak yüksekliğinin üstünde kalan yanıl alandaki delikler bantlanarak kapatılmıştır.

İkinci karşılaştırma ise aynı malzeme ağırlığında (160 gr) yapılmıştır. Bu durumda 30 derecelik yataktaki statik yatak yüksekliği 130 mm olmaktadır. Bu durumda akış borusunun da yüksekliğinin artırılması gerekmiş, 130 mm uzunluğunda yeni bir akış borusu kullanılmıştır. Aynı biçimde konik duvar bölgesindeki deliklerin statik yatak yüksekliğinin üstünde kalan bölümü bantlanarak kapatılmıştır.

30 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatağın geometrik ölçüleri ve deney koşulları aynı statik yatak yüksekliği ve yatak malzemesi ağırlığı durumları için Şekil 2.16 ve Çizelge 2.5'te verilmiştir.



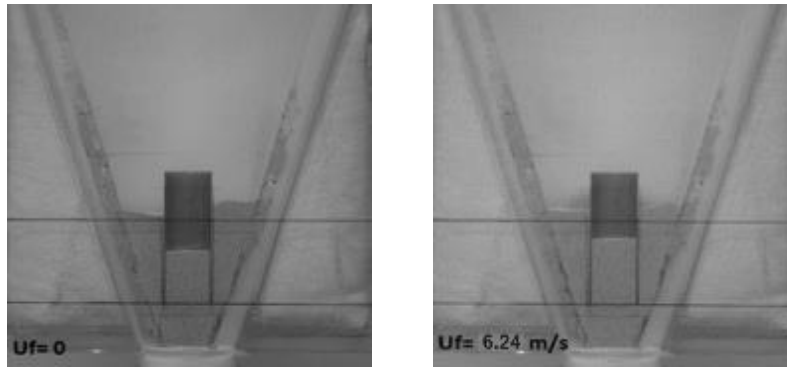
a) Aynı statik yatak yüksekliği (80 mm) b) Aynı yatak malzemesi ağırlığı (160 gr)

Şekil 2.16. Yarım yatak ölçüleri ($\gamma = 30^\circ$)

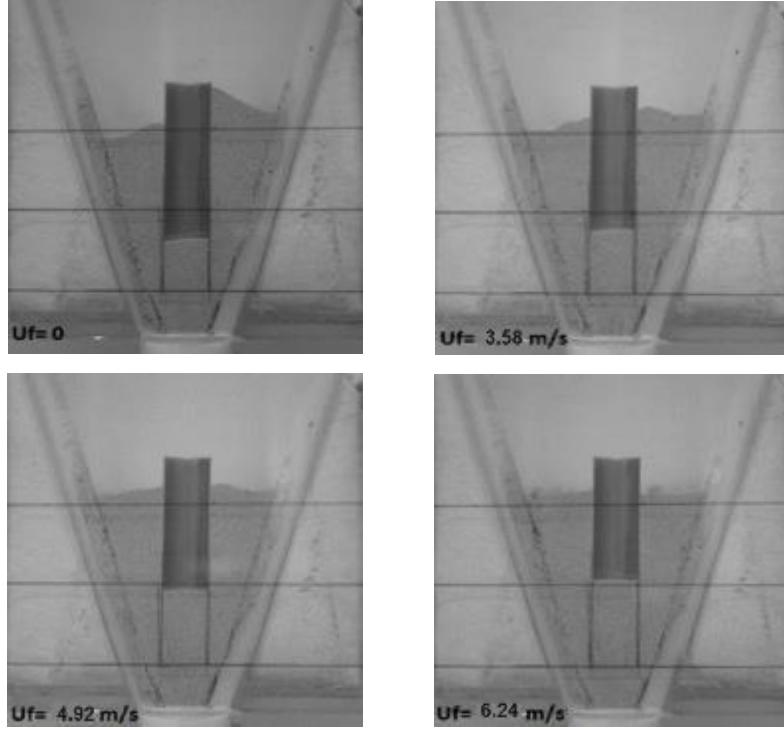
Çizelge 2.5. Deney koşulları ($\gamma = 30^\circ$)

Parametreler	Değerler Aynı statik yatak yükseklığı (80 mm)	Değerler Aynı yatak malzemesi ağırlığı (160 gr)
Konik Açısı	30°	30°
Akış Borusu Yüksekliğı	80 mm	130 mm
Akış Borusu İç Çapı	23 mm	23 mm
Akış Borusunun Yatak Girişinden Yüksekliğı	30 mm	30 mm
Statik Yatak Yüksekliğı	80 mm	130 mm
Taşkın Hava Giriş Çapı	10 mm	10 mm
Malzeme Ağırlığı	68 gr	160 gr

Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de farklı akışkanlaşma gaz hızları ile yapılan deneylerin sonundaki (taşkın ve akışkanlaşma gaz hızları kesildikten sonra) yatak malzemesinin son hali gösterilmiştir. Şekil 2.17 80 mm yatak yüksekliğı, Şekil 2.18 ise 160 gr yatak malzemesi ağırlığı koşullarındaki fotoğrafları göstermektedir. Her iki koşulda da 30 derece konik açısı için duvar bölgelerine yakın kısımlarda akışkanlaşma gazı verilmediğı durumda bile ölü bölge gözlemlenmemiş (60 derecede oluşan siyah çizgiler) ve işlem sırasında halka bölgesindeki parçacıkların yatak girişine doğru hareket ettikleri izlenmiştir. Dolayısıyla 30 derece konik açıda mikronize zeolit parçacıklarının taşkın yatakda işlemleri mümkündür. Fakat taşkın-akışkan yatağın gaz-katı teması ve parçacık dolaşımı açısından daha avantajlı olacağı ve kurutma zamanını önemli ölçüde azaltacağı öngörülmektedir.



Şekil 2.17. 30 derecede ölü bölgelerin durumu, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliğı.

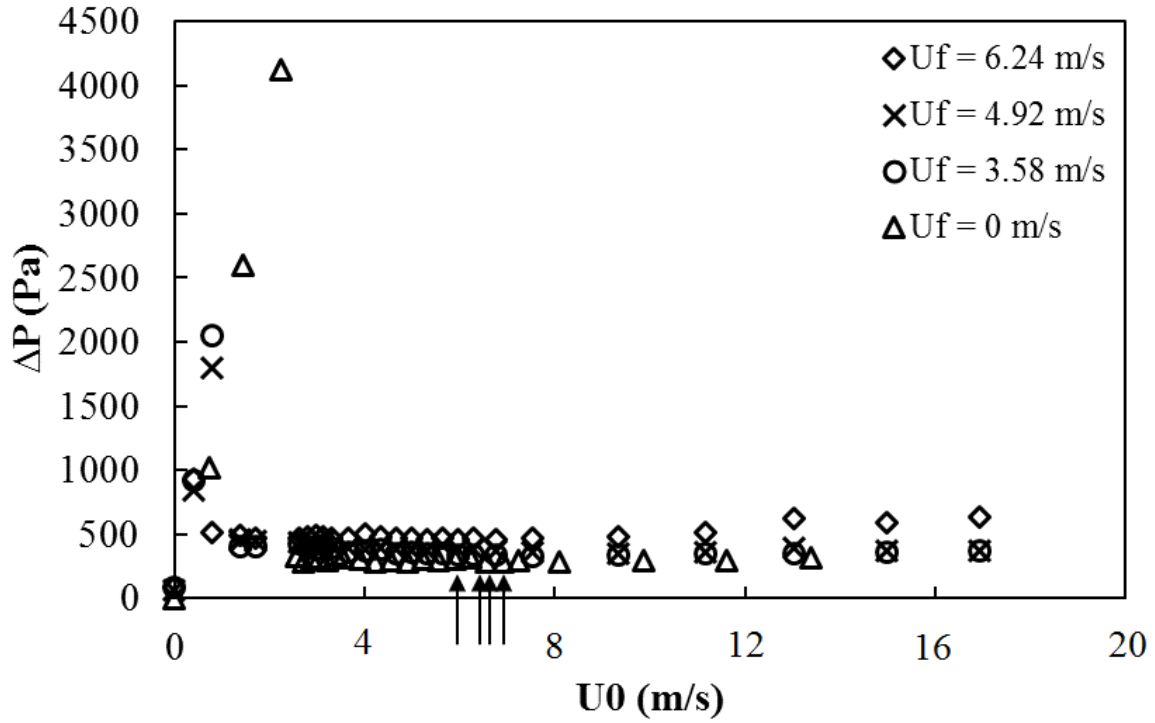


Şekil 2.18. 30 derecede ölü bölgelerin durumu, $\gamma = 30^\circ$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı.

Şekil 2.19’de farklı akışkanlaşma gaz hızlarında ($U_f = 0, 3.58, 4.92$ ve 6.24 m/s) taşkınlaşma gaz hızı artırılarak yapılan yatak basınç düşüşü deneylerinin sonuçları verilmiştir. Bu deneyler sırasında gözlemlenen minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızları ($U_{ms,s}$) ise oklarla şekil üstünde belirtilmiştir. Taşkınlaşma gaz hızı arttırıldığında minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızı düşmektedir. Fakat bu düşüş 60 derecelik yatak sonuçları ile karşılaştırıldığında daha az düzeydedir. Dolayısıyla 60 dereceye kıyasla, 30 derecelik yatakta aynı yatak yüksekliğinde yapılan deneylerde akışkanlaşma gazının minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızına etkisi daha azdır. Aynı statik yatak yüksekliğinde 30 derecede elde edilen minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızları 60 dereceye göre oldukça düşüktür. Bu taşkın yataklarda bilinen bir eğilimdir.

Çizelge 2.6 minimum kararlı taşkınlaşma hızının akışkanlaşma hızına göre değişimini ve taşkın yatak koşuluna göre toplam hava miktarındaki değişimi vermektedir. Taşkın yatak koşulunda 3 m/s olan minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızı, akışkanlaşma hızının 6.24 m/s olduğu durumda 5 m/s değerine düşmekte, buna karşın yatağa giren

toplam gaz debisi % 87 artmaktadır. Taşkın-akışkan yatak durumuna geçiş ile birlikte toplam debideki artış 60 dereceye göre oldukça yüksektir.

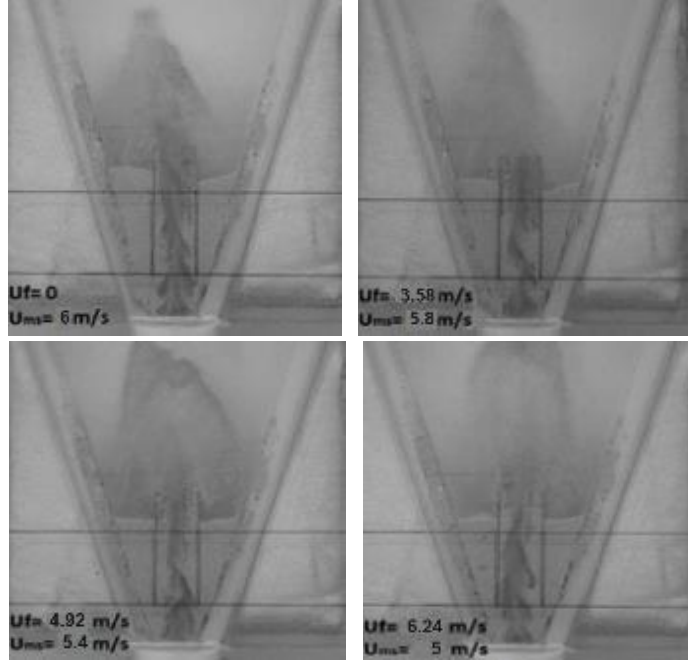


Şekil 2.19. Artan taşkınlaşma gaz hızlarında (U_0) yatak basınç düşüşü ölçümleri, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği. ($U_{ms,s}$ değerleri oklarla gösterilmiştir)

Çizelge 2.6. $U_{ms,s}$ değerinin U_f değeri ile değişimi, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği.

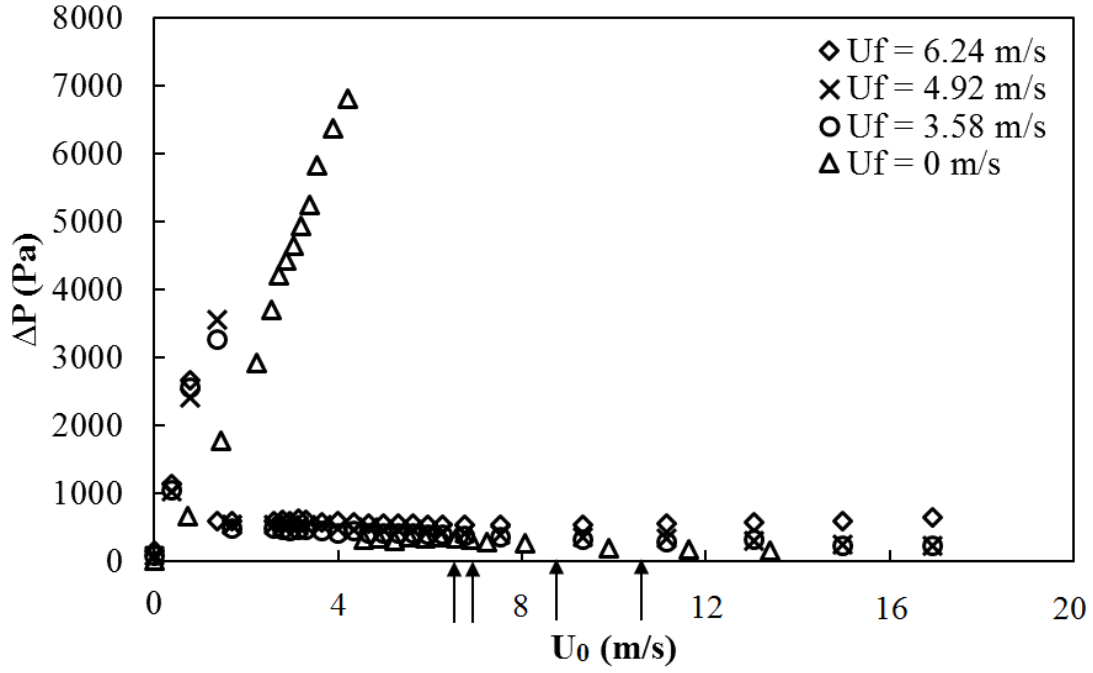
U_f (m/s)	$U_{ms,s}$ (m/s)	Toplam hava debisindeki artış ($U_f = 0$ 'a göre)
0	6	0
3.58	5.8	% 56
4.92	5.4	% 72
6.24	5	% 87

Şekil 2.20 ve Çizelge 2.6'daki koşullar için minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları verilmiştir. Tüm koşullarda ölü bölge gözlenmemiş ve kararlı taşkınlaşma gözlemlenmiştir.



Şekil 2.20. Çizelge 2.6'daki koşullar için artan hava hızlarında minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları, $\gamma = 30^\circ$, 80 mm yatak yüksekliği.

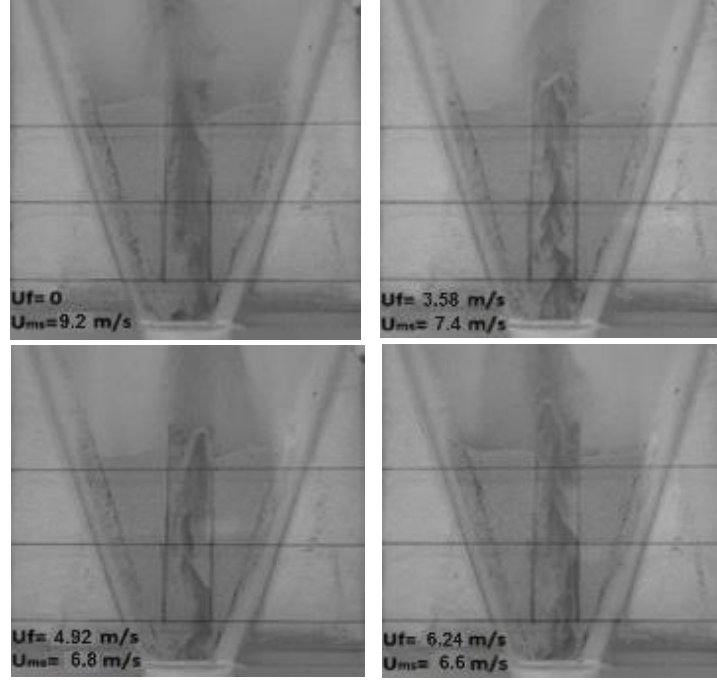
Daha öncede belirtildiği gibi ikinci tip deneyler ve karşılaştırma yatak malzemesi ağırlığı 30 ce 60 derecelik yataklar için aynı tutularak yapılmıştır. 30 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yatakda 160 gr ağırlığındaki yatak malzemesi ile yapılan deneylerin sonuçları tartışılmıştır. Statik yatak yüksekliği 130 mm'dir. Şekil 2.21'de farklı akışkanlaşma gaz hızlarında ($U_f = 0, 3.58, 4.92$ ve 6.24 m/s) taşkınlaşma gaz hızı arttırılarak yapılan yatak basınç düşüşü deneylerinin sonuçları verilmiştir. Bu deneyler sırasında gözlemlenen minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızları ($U_{ms,s}$) ise oklarla şekil üstünde belirtilmiştir. Taşkınlaşma gaz hızı arttırıldığında minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızı ciddi bir biçimde düşmektedir. Çizelge 2.7'den taşkın yatak koşulunda 9.2 m/s olan minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızının, akışkanlaşma hızının 6.24 m/s olduğu durumda 6.6 m/s değerine düştüğü, buna karşın yatağa giren toplam gaz debisinin % 40 oranında arttığı görülmektedir. Bu değerler 60 derecedeki sonuçlara çok yakındır.



Şekil 2.21. Artan taşkınlaşma gaz hızlarında (U_0) yatak basınç düşüşü ölçümleri, $\gamma = 30^\circ$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı. ($U_{ms,s}$ değerleri oklarla gösterilmiştir)

Çizelge 2.7. $U_{ms,s}$ değerinin U_f değeri ile değişimi, $\gamma = 30$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı.

U_f (m/s)	$U_{ms,s}$ (m/s)	Toplam hava debisindeki değişim ($U_f = 0$ 'a göre)
0	9.2	0
3.58	7.4	% 19
4.92	6.8	% 27
6.24	6.6	% 40



Şekil 2.22. Çizelge 2.7'deki koşullar için artan hava hızlarında minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları, $\gamma = 30^\circ$, 160 gr yatak malzemesi ağırlığı.

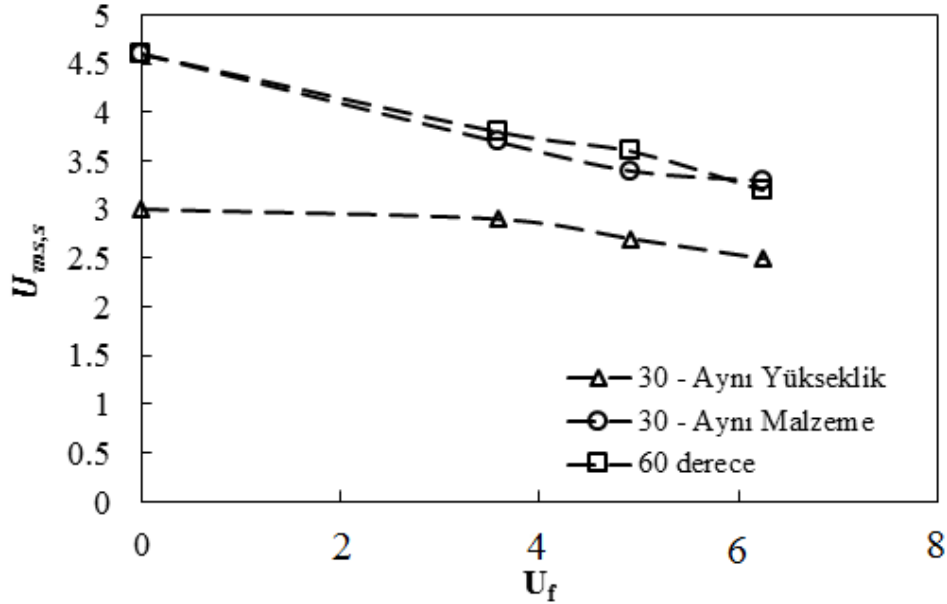
Şekil 2.22 ve Çizelge 2.7'deki koşullar için minimum kararlı taşkınlaşma durumundaki yatağın fotoğrafları verilmiştir. Tüm koşullarda ölü bölge gözlenmemiş ve kararlı taşkınlaşma gözlemlenmiştir.

2.3.3. 30 ve 60 Derecelik Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatakların Karşılaştırılması

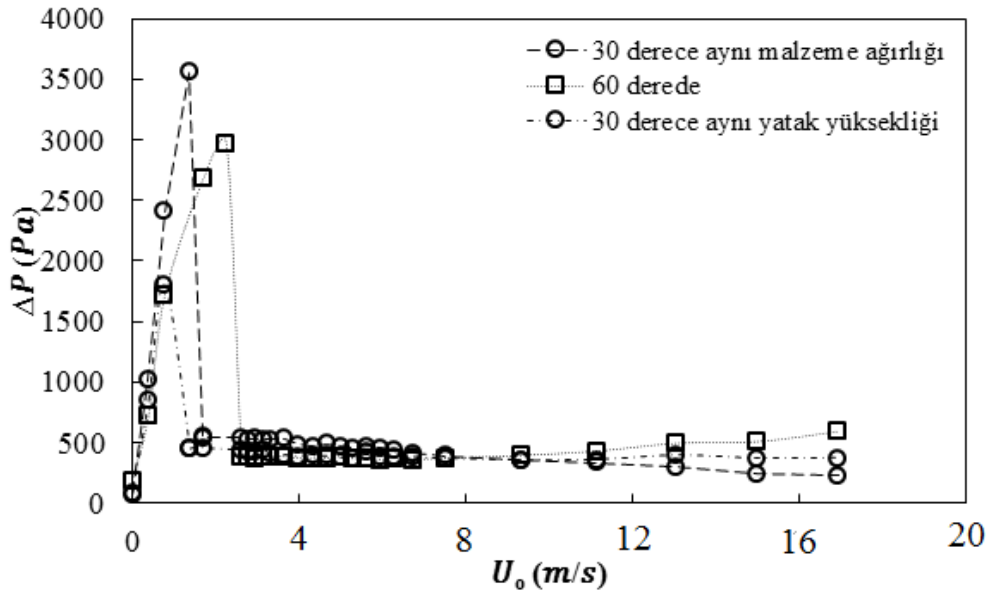
Şekil 2.23'te minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızının akışkanlaşma gaz hızı ile değişimi 30 ve 60 derecelik yataklar için verilmiştir. 30 derecelik yatakda 60 derecelik yatağa eşdeğer malzeme kullanıldığı zaman (160 gr), minimum kararlı taşkınlaşma hızlarında bir farklılık görülmemiştir. Aynı yatak yüksekliği durumunda ise, 30 derecelik yatakda daha düşük kararlı taşkınlaşma gaz hızları ölçülmüştür. Endüstriyel uygulamalar göz önüne alındığında işleme giren malzeme miktarı performans değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametredir. Dolayısıyla, farklı iki açının aynı malzeme miktarında karşılaştırılmasının daha doğru olduğu öngörülmüştür.

Şekil 2.24'de yatak basınç düşümünün değişimi 30 ve 60 derecelik yataklar için 4.92 m/s akışkanlaşma gazı hızı için verilmiştir. Kararlı taşkınlaşma bölgesinde 30 derecelik

160 gr malzemesine sahip (130 mm statik yatak yüksekliği) taşkın-akışkan yatakda, diğer koşula (30 derece, 80 mm statik yatak yüksekliği) ve yatağa göre (60 derece, 80 mm yatak yüksekliği) biraz daha yüksek basınç düşümü elde edilmiştir. Akış borusuz taşkın yataklarda aynı açıda yatak basınç düşümünün statik yatak yüksekliği ile arttığı bilinmektedir.



Şekil 2.23. Minimum kararlı taşkınlaşma gaz hızının akışkanlaşma gaz hızı ile değişimi.



Şekil 2.24. Yatak basınç düşümünün artan taşkınlaşma gazı hızı ile değişimi ($U_f = 4.92$ m/s)

3. KURUTMA SİSTEMİ VE DENEYLERİ

3.1 Kurutma Sistemi

Kurutma sisteminin tasarımı soğuk sistemlerde yapılan detaylı hidrodinamik çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneyleri için kurulan deney sistemi Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Kurutma sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır: akış borulu taşkın-akışkan yatak, hava ısıtıcı sistemi, ölçüm sistemleri. Aşağıda bu kısımlar detaylı olarak açıklanmaktadır.

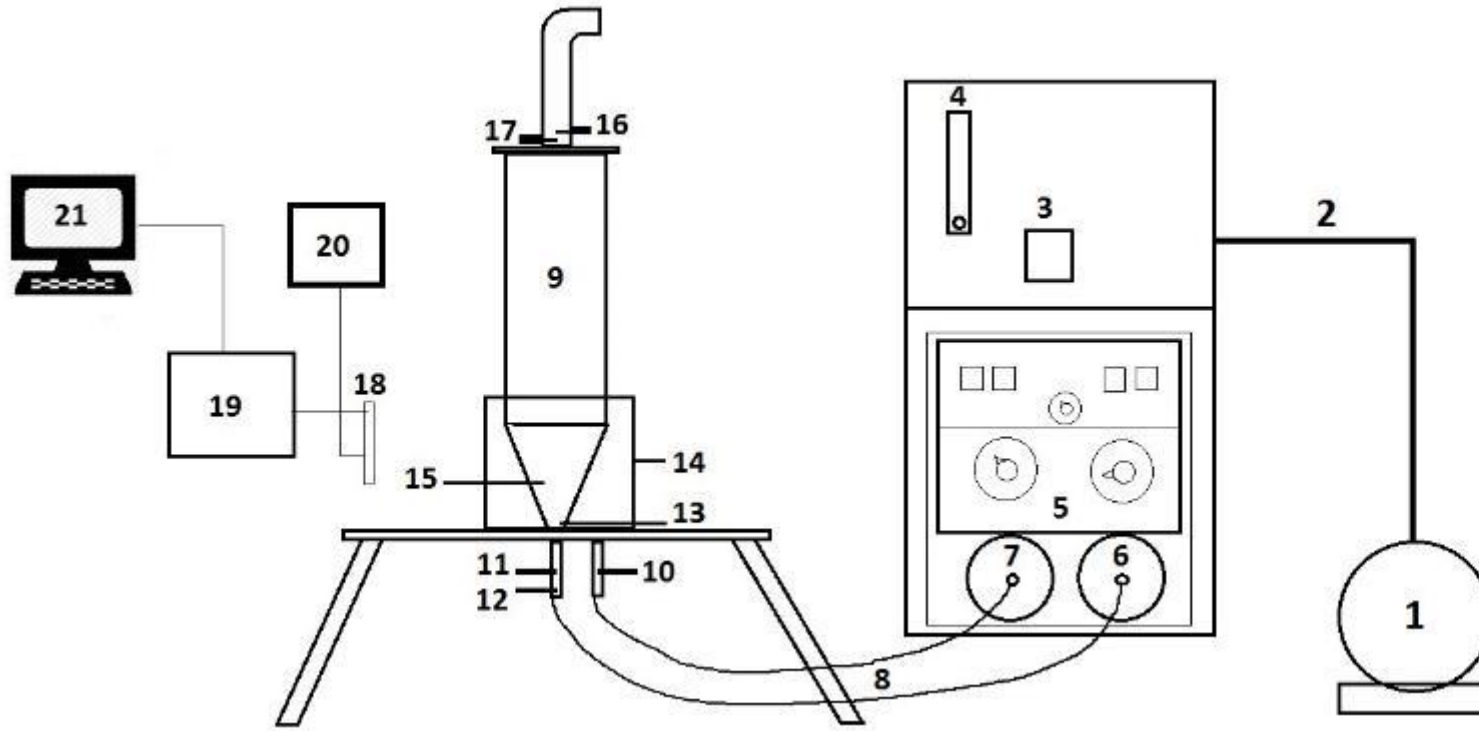
3.1.1 Akış Borulu Taşkın-akışkan Yatak

Kurutma sisteminin en önemli kısmı olan akış borulu taşkın-akışkan yatağın yapılan hidrodinamik çalışmalar sonunda 30 derecelik açığa sahip olmasına karar verilmiştir. Yatak, yüksek sıcaklık koşullarında dayanıklı bir şekilde çalışabilmesi için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Yatağın konik ve silindirik üst kısımlarının 3 boyutlu çizimi ve fotoğrafı Şekil 3.2'de, geometrik ölçüleri ise Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Yatağın konik kısmı istenilen açığa uygun olarak, paslanmaz sacı kalıp bir konik üzerinde bükerek ve temas noktalarını argon kaynağıyla birleştirerek yapılmıştır. Akışkanlaşma havasının yatak içerisine girişini temin etmek ve dağılımını homojen bir şekilde yapmak amacıyla konik kısmın yanal yüzeyinde 440 adet 1 mm çapında delik açılmıştır. Deliklerin toplam açıklık alanı toplam yanal alanın % 0.4'üne karşılık gelmektedir. Delikler yanal alanın tamamını kaplayacak bir şekilde açılmıştır. Ancak kullanılan akış borusunun yüksekliğine göre gereksiz havanın yatağın içine beslenmesini önlemek için kullanılmayan delikler sıcağa dayanıklı bant ile kapatılmıştır. Kurutma işlemleri için yatağa konulacak parçacıkların ortalama çapı (250 µm) deliklerin çapına göre daha küçük olması nedeniyle, parçacıkların yataktan dışarıya dökülmemesini sağlamak için sıcağa dayanıklı kumaş filtre kullanılmıştır.

Kurutma deneyleri sırasında farklı çapta ve uzunlukta akış borularının performansını belirleyebilmek için akış borusunun kolaylıkla yatağın içerisine monte edilebilir ve gerektiğinde kolaylıkla çıkarılabilir olması gerekmektedir. Bu amaçla konik kısma vidalanabilecek bir konik giriş parçası tasarlanmış ve imal edilmiştir. Konik giriş parçası konik kısmın uç tarafında ayrı bir parça olduğundan gerektiği zaman konik kısımdan ayrılabilmesi, akış borusunun yerleştirilebilmesinde büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Bu parçanın boyutu ve yüksekliği uygun bir şekilde tasarlanarak bir flanş ile konik bölgesine bağlanmıştır. Konik giriş parçasının fotoğrafı Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



1. Blower
2. Soğuk Hava Hattı
3. Mass Flow Controller
4. Rotameter
5. Elektrik Güç Kontrol Panosu
(Varyak, Voltmeter, Ampermeter)
6. Taşkın Hava Isıtıcısı
7. Akışkan Hava Isıtıcısı
8. Sıcak Hava Hortumları
9. Taşkın-Akışkan Yatak
10. Akışkan Hava Isıl Çifti
11. Toplam Basınç
12. Taşkın Hava Isıl Çifti
13. Yatak Basıncı
14. Akışkan Basıncı
15. Yatak İçi Isıl Çiftler (7 adet)
16. Çıkış Hava Isıl Çifti
17. RH sensörü
18. Elektrik Terminal
19. DAQ Card
20. DC Supply
21. PC Bilgisayar

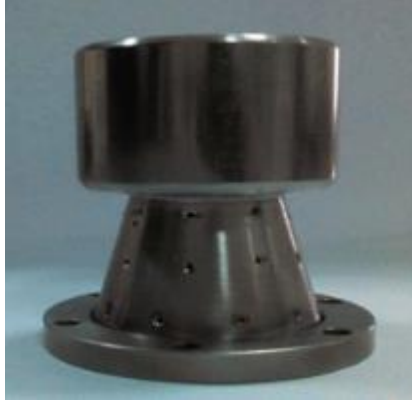
Şekil 3.1. Kurutma deneylerinde kullanılan deney sisteminin şematığı



Şekil 3.2. Taşkın-akışkan yataklı kurutucunun konik ve silindirik kısımlarının üç boyutlu çizimi ve fotoğrafı.

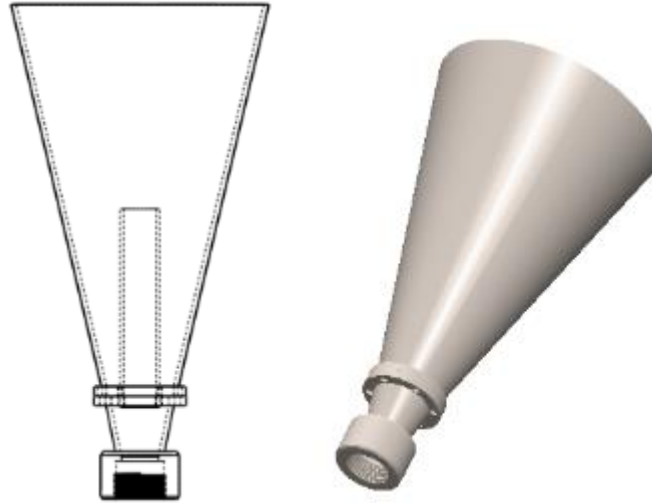
Çizelge 3.1. Kurutucunun geometrik ölçüleri

Parametreler	Değerler
Konik açısı (γ)	30°
Konik kısım yüksekliği (H_c)	285 mm
Konik giriş çapı (D_i)	23 mm
Konik kısım yüzey delik çapı	1 mm
Taşkın hava giriş çapı (D_o)	10 mm
Konik kısım yüzey delik sayısı	440
Konik kısım yüzey açıklık oranı	% 0.4
Silindir kısım iç çapı	168 mm
Akış borusu tutma nokta sayısı	3 adet
Silindir kısım yüksekliği	595 mm
Akışkan hava haznesi yüksekliği	335 mm
Akışkan hava haznesi iç çapı	230 mm
Malzeme saç kalınlığı	2 mm
Akış borusu iç çapı	23 mm
Akış borusu yüksekliği	değişken
Akış borusunun yatak girişinden	değişken
Üst hava çıkış çapı	55mm



Şekil 3.3. Konik giriş parçasının fotoğrafı

Akış borusunun tam merkezde tutulması çok önemlidir, çünkü eksenden oynaması yatak içerisindeki hidrodinamiği ve sonuç olarak fıskiye'nin oluşumunu ciddi bir biçimde etkilemektedir. Şekil 3.4'de akış borusunun yatak içerisinde yerleştirilmiş durumu ve giriş parçasının bağlandıktan sonraki konik kısmının teknik ve 3 boyutlu çizimleri verilmiştir.



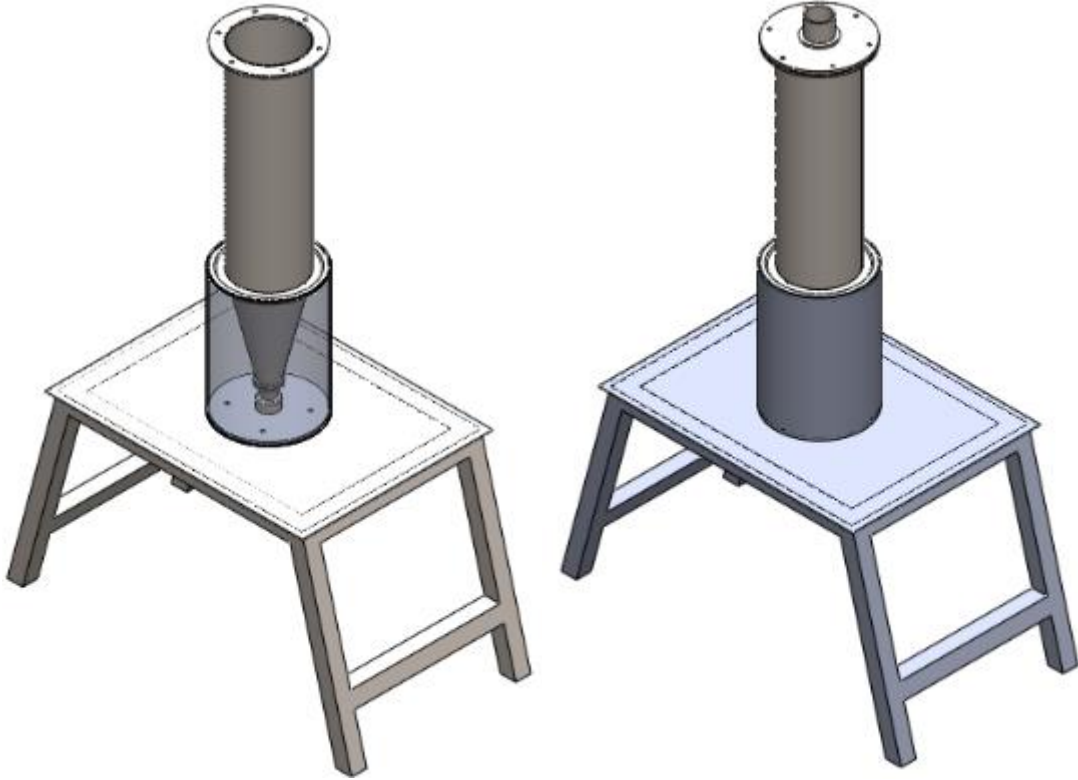
Şekil 3.4. Akış borusu ve giriş parçası bağlandıktan sonraki konik kısım teknik ve 3 boyutlu çizimleri

Akışkanlaşma havasının sisteme beslenebilmesi için konik kısmın etrafı daha büyük bir silindire kapatılarak bir hazne oluşturulmuştur. Şekil 3.5'te akışkanlaşma hava

haznesinin 3 boyutlu çizimi sunulmuştur. Hava haznesinin iç çapı 235 mm, yüksekliği ise 335 mm'dir. Yatağın tamamlanmış 3 boyutlu çizimi Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.5. Akışkanlaşma havası haznesi



Şekil 3.6. Yatağın tamamlanmış ve monte edilmiş durumu

Kurutma deneyleri sırasında kurutucunun tepesindeki gaz çıkış hattında sıcaklık ve bağıl nem ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu ölçümlerin ortam havasının neminden ve sıcaklığından etkilenmemesi için, dirsek şeklinde uzatılmış bir çıkış hattı tasarlanmıştır (Bakınız Şekil 3.7). Çıkış gaz sıcaklığının sabitlenmesi için ise bir adet kablo ısıtıcı ve ayarlama varyağı kullanılmıştır. Bu sayede gaz çıkış noktasında meydana gelebilecek olası su buharı yoğunlaşması engellenmiştir.

Yatağın tümü ve hava hatları, boru şeklinde ve esnek olan kauçuk köpüğü kullanılarak izole edilmiştir. Deney sisteminin yalıtılmış hali aşağıdaki resimde gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Deney setinin yalıtılmış hali

3.1.2 Hava Isıtıcı Sistemi

Kurutma işleminin gerçekleştirilebilmesi için sisteme beslenen havanın ısıtılması gerekmektedir. Bu amaçla, taşkınlaşma ve akışkanlaşma havaları için 2 ayrı hat tasarlanmıştır. Isıtıcı tasarımında, yüksek debilerdeki havayı göreceli olarak küçük bir hazne içerisinde daimi akış koşullarında yüksek basınç kaybına uğratmadan ısıtabildiği için elektrikli rezistans ısıtıcı kullanılmıştır. Isıtıcıların tasarımında temas yüzeyini

olabildiğince artırmak ve gerekli kapasiteyi düşürmek için rezistans kısmı spiral şeklinde yapılarak havanın spiralin orta ve etrafından geçerek ısınması sağlanmıştır. Yapılan ısı transferi hesapları sonucunda taşkınlaşma havası için 4000 W, akışkanlaşma havası için ise 3000 W'lık spiral ısıtıcılar yaptırılmıştır. Hesaplanan kapasiteler en yüksek sıcaklıklar için öngörülmüştür. Farklı sıcaklıklarda kararlı bir şekilde ısıtıcıların yükünün değiştirilerek çalıştırılabilmesi için varyaklar kullanılmıştır. Isıtıcılar silindirik ısıtma haznelere monte edilmişlerdir. Taşkınlaşma havası için 70 cm uzunluğunda ve 164 mm iç çapı olan silindir kullanılmıştır. Kullanılan rezistans uzunluğu 60 cm ve spiral dış çapı ise 10 cm'dir. Akışkanlaşma havası için kullanılan silindirin uzunluğu ise 50 cm, iç çapı 146 mm'dir. Kullanılan rezistans uzunluğu 40 cm ve spiral dış çapı ise 10 cm'dir. Isıtıcı ve haznesinin 3 boyutlu çizimi Şekil 3.8'de verilmiştir.

Isıtıcıların çıkışlarından alınan sıcak havanın yatağa beslenmesi için esnek, 160 bar ve 135 °C sıcaklığına dayanıklı hortumlar kullanılmıştır. Deney sisteminin izolasyon yapılmadan önce çekilen fotoğrafı Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.8. Hava ısıtıcısı ve haznesi



Şekil 3.9. Akış borulu taşkın-akışkan yatak kurutucu

3.1.3. Ölçüm sistemleri

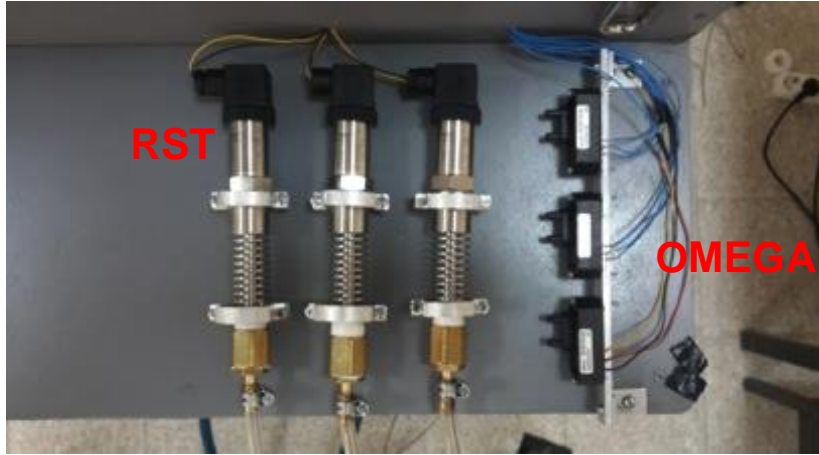
3.1.3.1 Basınç Ölçerler

Kurutucu içinde Şekil 3.11'da görülebileceği gibi 3 ayrı noktadan basınç düşümü ölçülmüştür. 1. noktadan toplam basınç düşümü (giriş ve yatak), 2. noktadan yatak basınç düşümü, 3. noktadan ise akışkanlaşma hava haznesinin basıncı düşümü ölçülmektedir. Taşkınlaşma hava girişinde, havayı dağıtmak ve yatak malzemesinin giriş borusuna kaçmasını engellemek amacıyla 31 mm çapında ve 2.5 mm kalınlığında

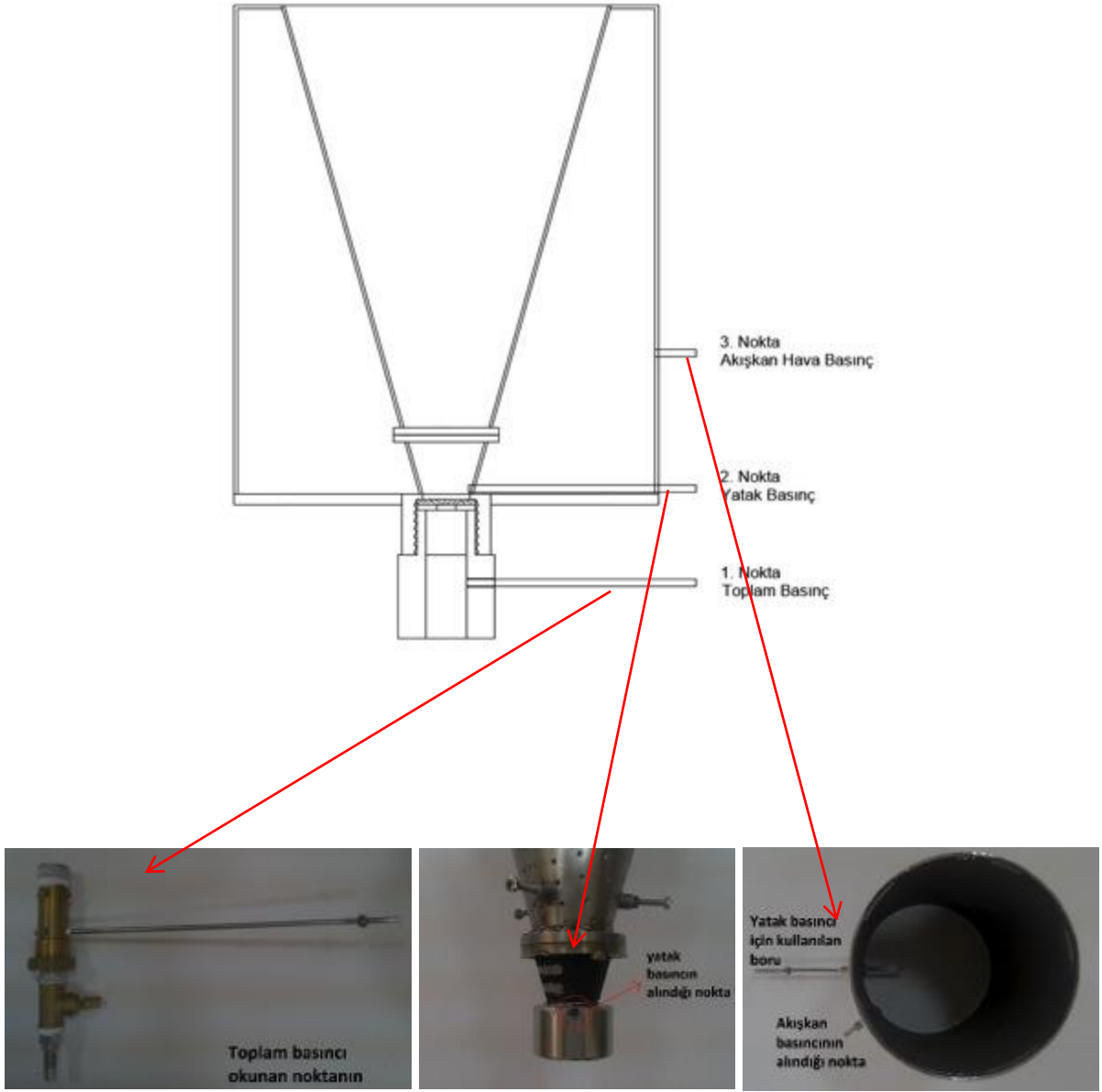
bir pirinç filtre pulu kullanılmıştır. Dolayısıyla toplam basınç düşümü pirinç pulu etrafındaki basınç kaybını da kapsamaktadır.

Yatak soğuk koşullarda çalıştırıldığında ise yarım yatak deneylerinde kullanılmış olan OMEGA marka basınç sensörleri kullanılmıştır (PX163-163PC0148 ve PX164-PC01D76 modelleri). Yatak sıcak koşullarda çalıştığına ise ısıya dayanıklı RST marka 1337361, 13171525, 13171519 model numaralı üç basınç ölçer (Şekil 3.10) kullanılmıştır. Bütün basınç ölçerlerin kalibrasyonu deneylerden önce yapılmıştır.

Basınç sensöründen elde edilen analog voltaj sinyali, yüksek hızda veri toplayabilen veri toplama kartı ile bir bilgisayara gönderilmiş ve LabVIEW® yazılımı ile işlenmiştir. Ölçümler, 1 kHz örnekleme frekansı ve 20 saniye örnekleme zamanında yapılmıştır. Her ölçüm 3 kere tekrarlanmış ve bu üç ölçümün ortalamaları rapor edilmiştir. WANG (2006) tarafından önerilen yöntem uygulanarak, sabit çalışma koşullarına ulaşabilmek için, ölçümlerden önce taşkın yataklar bir saat yüksek hava debisinde çalıştırılmıştır.



Şekil 3.10. RST ve OMEGA marka basınç ölçerler

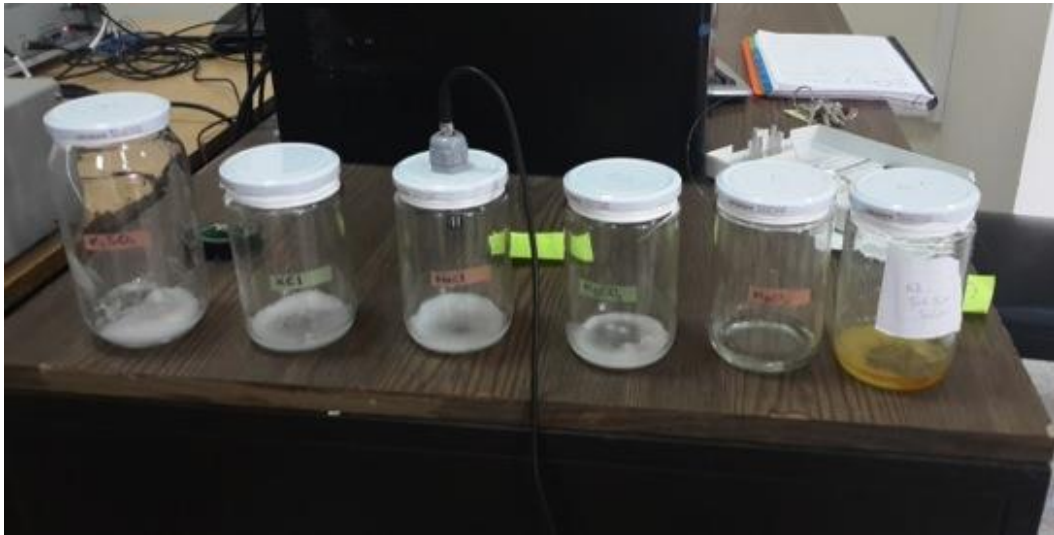


Şekil 3.11. Yatak detayları ve basınç alınan noktalar (1. toplam basınç, 2. yatak basıncı ve 3. akışkan hava basıncı)

3.1.3.2 Nem Ölçerler

Yatak içerisine giren ve çıkan havanın bağıl nem ve sıcaklığının ölçümü için Michell marka PCMini52 model ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kurutucunun çıkış noktasındaki nem ölçerin ucuna kurutma sırasında taşınan toz parçacıkların cihazı etkilememesi için bir filtre yerleştirilmiştir. Kullanılan modellerde bu filtre hazır bir şekilde cihazın ek parçası olarak verilmiştir.

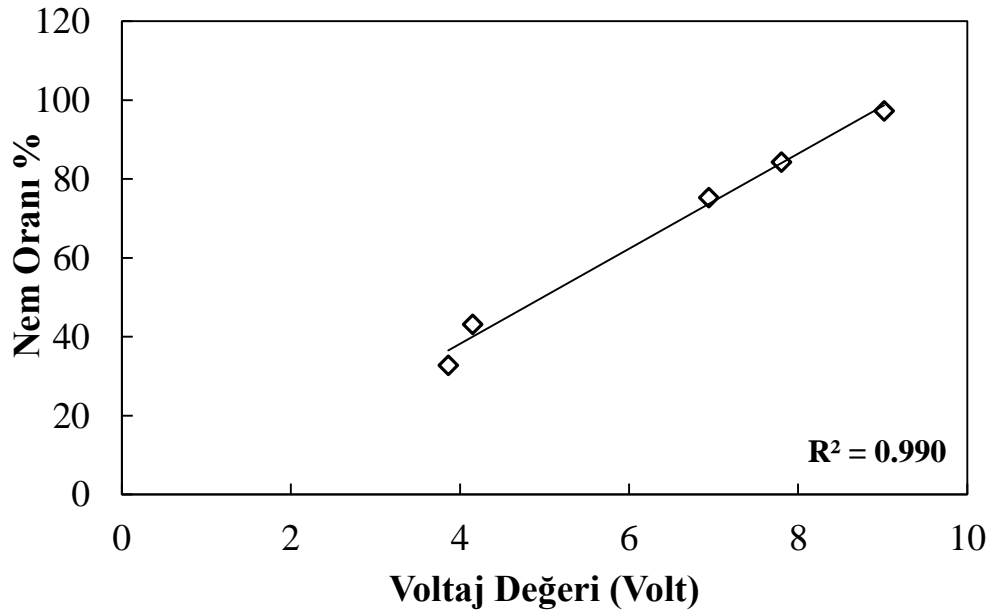
Ölçüm cihazlarının kalibrasyonu için $MgCl_2$ (magnezyum klorür), K_2CO_3 (potasyum karbonat), $NaCl$ (sodyum klorür), KCl (potasyum klorür), K_2SO_4 (potasyum sülfat) olmak üzere 5 farklı tuzlu su çözeltisi hazırlanmıştır (Şekil 3.12). Bu çözeltilerin oda sıcaklığındaki denge bağıl nem değerleri literatürde bulunmaktadır (Çizelge 3.2). Doymun tuz çözeltileri cam kavanozlar içine dökülerek tepe kısmında bulunan kapak teflon bant desteğiyle sıkıca kapatılmıştır. Kavanozun orta kısmına özel bir aparat hazırlanarak bağıl nem sensörü tepeden çözelti atmosferine herhangi bir gaz sızıntısı olmayacak şekilde sarkıtılmıştır. Sonrasında yaklaşık 2 saat boyunca sabit sıcaklıkta sensörün stabilizasyonu için beklenmiş ve bilinen bağıl nem değerine karşılık ölçüm sinyali kaydedilmiştir. Bu her tuz çözeltisi için tekrarlanmıştır. Her bir nem ölçer için elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.13 – Şekil 3.15'te sunulmuştur.



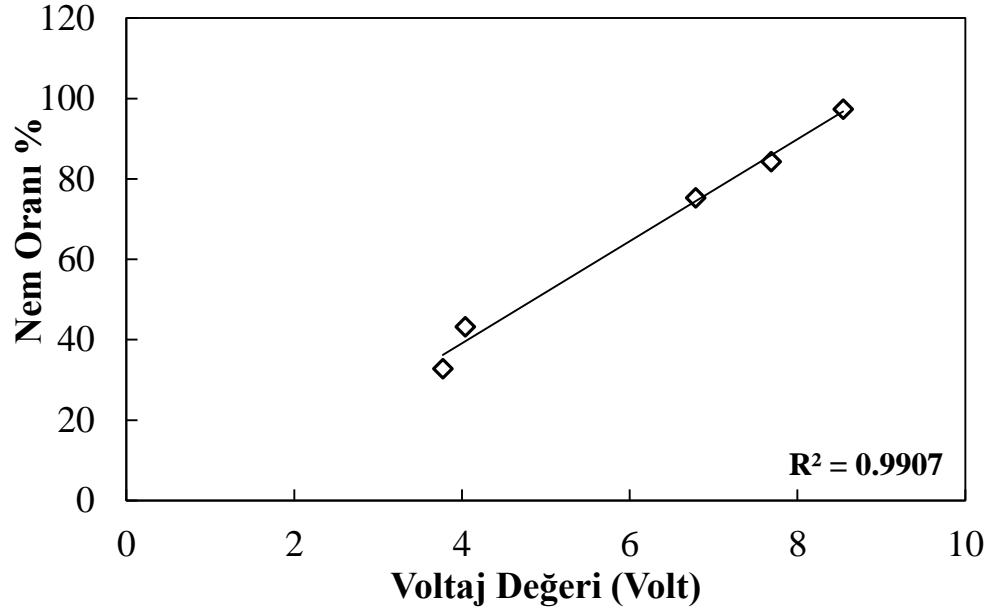
Şekil 3.12. Kalibrasyon sırasında farklı çözeltilere sahip tuz kavanozlarına nem ölçerin yerleştirilmesi

Çizelge 3.2. Kullanılan tuzların oda sıcaklığında (25 °C) kavanoz içinde oluşturdukları denge nem değerleri

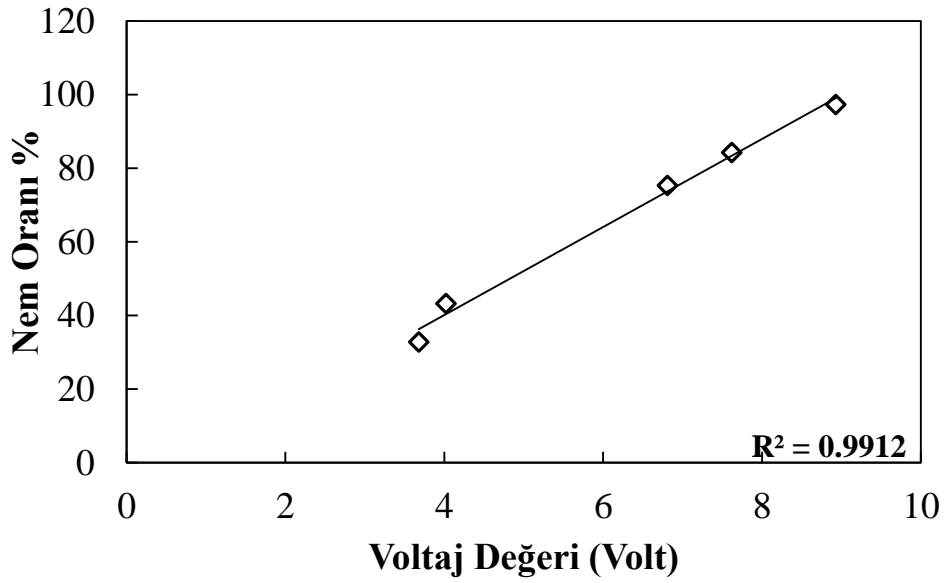
Tuzlar	% RH
MgCl ₂	32.8
K ₂ CO ₃	43.2
NaCl	75.3
KCl	84.3
K ₂ SO ₄	97.3



Şekil 3.13. SN286577 modeli için elde edilen kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.14. SN286578 modeli için elde edilen kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.15. SN286582 modeli için elde edilen kalibrasyon eğrisi

3.1.3.3 Isıl Çiftler

Yatak hava giriş ve çıkış sıcaklıkları ve yatak içerisindeki sıcaklık dağılımı ısı çiftleri ile ölçülmektedir. Yatak giriş sıcaklığı aynı zamanda ısıtıcı çıkış sıcaklığına da eşit olduğu

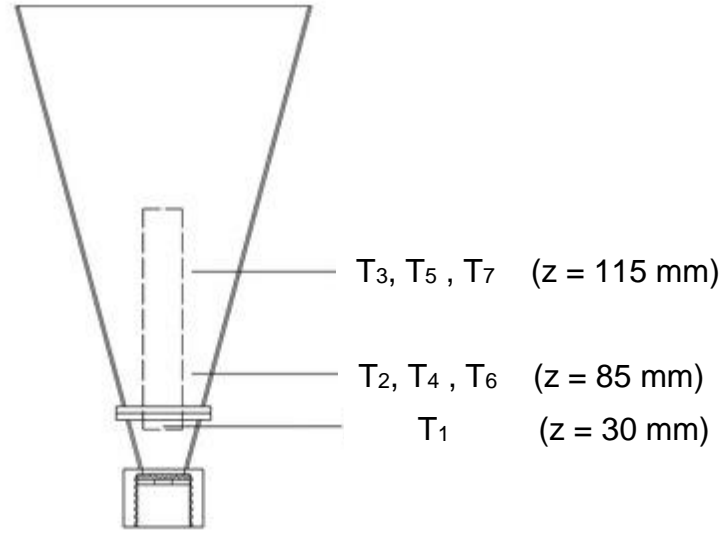
için ısıtıcı kontrolü için de kullanılacaktır. Yatak hava giriş ve çıkış sıcaklıkları iki adet J tipi ısı çifti ile ölçülmektedir.

Kurutma sırasında yatak içerisinde sıcaklıkların dağılımını gözlemleyebilmek için konik kısmının farklı noktalarında ısı çiftlerinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu ısı çiftlerinin parçacıkların hareketini engellememesi ve yatak hidrodinamiğini ciddi bir şekilde etkilememeleri için oldukça ince olmaları gerekmektedir. Bu amaçla 0.01 inch (0.25 mm) çapında ve 12 inç uzunluğunda olan OMEGA firmasının J tipi ısı çiftleri kullanılmıştır. Oldukça ince olan bu termociftler çok düşük tepki zamanına da sahiptirler (Şekil 3.16).

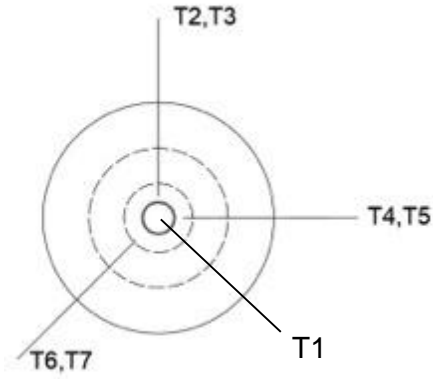


Şekil 3.16. OMEGA marka yatak içerisinde kullanılacak ısı çiftlerinin görüntüsü
(OMEGA)

Sıcaklık dağılımının radyal ve aksiyel yönde belirlenmesi için 6 adet ısı çiftini yatak içerisine iki farklı yükseklikte ve üç farklı radyal uzaklıkta (akış borusuna yakın, halka bölgesi orta kısmı, duvara yakın) yerleştirilmiştir. Ayrıca akış borusunun tam girişine de bir ısı çifti yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18) yatağın teknik çizimi üzerinde yatak ısı çiftlerinin yerleştirilme noktaları belirtilmiştir. Şekiller üzerinde gösterilen sıcaklık ölçüm noktalarının akış borusunun merkezinden olan uzaklıkları Çizelge 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.17. Yatak ısı çiftlerinin yatak içinde aksiyel yerleştirilme noktaları (7 adet)



Şekil 3.18. Yatak ısı çiftlerinin yatak içindeki pozisyonları (7 adet)

Çizelge 3.3. Sıcaklık ölçüm noktalarının akış borusunun merkezinden olan uzaklıkları

Isıl çift	Akış borusunun merkezinden olan uzaklığı, r (mm)
T_1	0
T_2	16.5

T ₃	16.5
T ₄	28.5
T ₅	32.0
T ₆	36.5
T ₇	52.0

3.1.3.4 Hava Debisi Ölçümleri

Deneyel sırasında gerekli olan hava Yiğitsan marka (Model YVK 25) 18.5 kW'lık bir vidalı kompresörden laboratuvara gelmektedir. Kompresör maksimum 8 bar basınca ulaşabilmekte ve 3100 lt/dak (standart hava şartlarında) hava debisi sağlayabilmektedir. Soğuk deneyler sırasında, taşkınlaşma ve akışkanlaşma hava debisi ölçümleri sırasıyla Dwyer 0-200 SCFH ve Cole-Parmer (150 mm direct reading, 50000 ml/min) akış ölçerleri ile yapılmıştır. Kurutma deneyleri sırasında ise daha kontrollü ve hassas bir şekilde yatağa beslenen havanın debisini değiştirebilmek için, analog girişli Omega marka bir kütle akış ölçer (mass flow controller) cihazı kullanılmıştır. Deneyler sırasında akışın debisinin kontrolü LabVIEW® yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

3.1.3.5. Veri Toplama Sistemi

Hava debisi dışındaki tüm ölçümlerden elde edilen analog sinyaller yüksek hızda veri toplayabilen veri toplama kartı ile bir bilgisayara gönderilmiş ve LabVIEW® yazılımı ile işlenmiştir. Veri toplama için National Instruments SCXI-1102C şasesine SCXI-1303 board kartı ile beraber SCXI-1102C kartı bağlanmıştır. Kullanılan özel ısı çiftlerinin ölçümlerinin hassas bir şekilde yapılabilmesi için veri toplama sistemine bir yükseltici (amplifier) ve alçak geçiren filtre (low-pass filter) eklenmiştir.

3.2 Kurutma Deneyleri

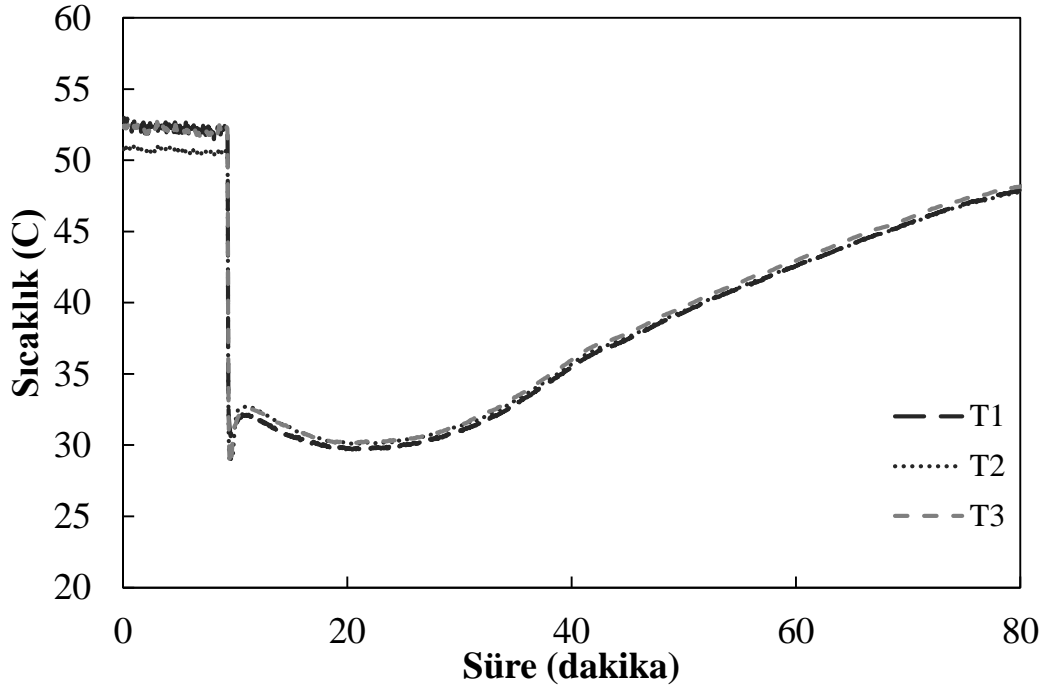
Kurutma deneylerinde taşkınlaşma ve akışkanlaşma hava debileri ile giriş hava sıcaklığının zeolitin kuruma dinamiğine ve zamanına etkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan taşkınlaşma ve akışkanlaşma hava debilerinin belirlenmesinde soğuk

sistemlerde gerçekleştirilen deneylerde ölçülen minimum kararlı taşkınlaşma hızları göz önünde bulundurulmuştur. Taşkınlaşma hızının (U_o), minimum kararlı taşkınlaşma hızından yüksek jet taşkınlaşmanın başladığı hızlara yakın olacak şekilde 6, 8 ve 10 m/s olarak değiştirilmesine karar verilmiştir. Akışkanlaşma hızları (U_f) için ise önceden yapılan hidrodinamik çalışmalardaki gibi $U_f = 0, 2, 4$ m/s kullanılmıştır. $U_f = 0$ m/s koşulu yatağın sadece taşkın yatak olarak çalıştığı koşulu göstermektedir. Giriş hava sıcaklığının zeolitin kuruma zamanına olan etkisinin incelenmesi için deneyler 3 ayrı giriş sıcaklığında (40, 60, 90°C) gerçekleştirilmiştir.

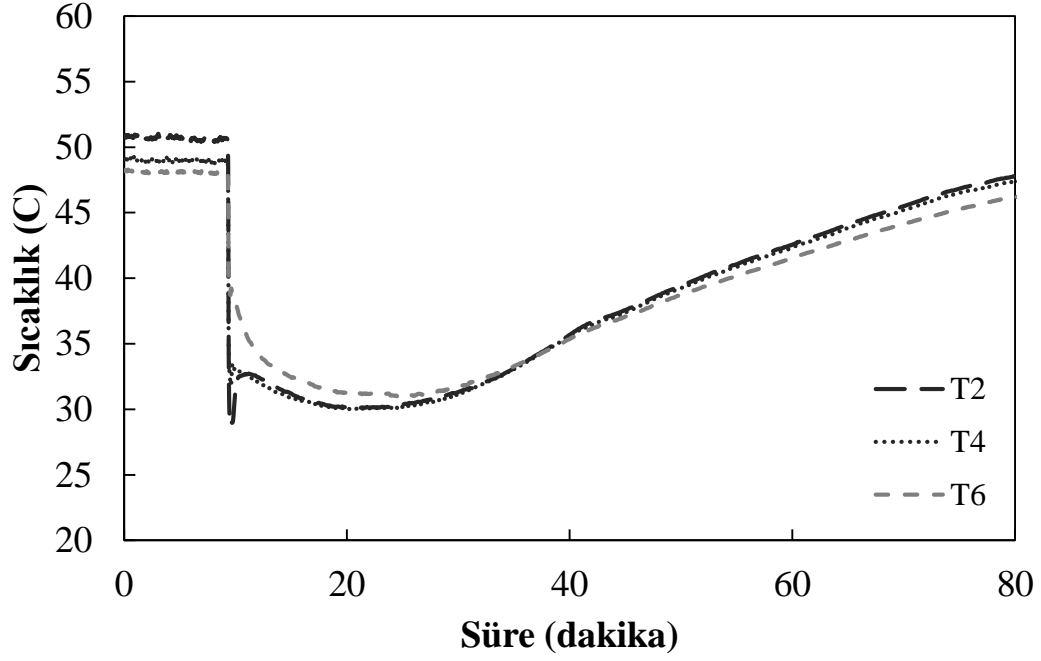
Kurutma deneyleri 320 gr zeolit kullanılarak yapılmıştır. Bu malzeme miktarı ile statik yatak yüksekliği 130 mm'ye karşılık gelmektedir. Her deneyden önce 320 gr kuru malzemeye yaklaşık 38 gr su eklenerek nem değeri %18'e yükseltilmiştir. Zeolit yaklaşık %8 (yaş temel) nem içeriğine kadar kurutulmaktadır. Sisteme konulmadan önce ve deneyden sonra zeolitin nemi, proje kapsamında alınan halojen ısıtılmalı nem tayin cihazında (Ohaus Corp. MB45) ölçülmüştür. Raporun önceki bölümlerinde de bahsedildiği gibi bu çalışmanın temel amacı nemli klinoptilolit parçacıklarını etkili bir şekilde %8 (yaş temel) nem içeriğine kadar kurutmaktır. Bu nedenle raporun ilerleyen kısımlarında bahsi geçen nem içeriği temel alınarak kurutma süreleri tayin edilmiştir ve karşılaştırmalar bu yönde yapılmıştır.

İşletme koşullarının kurutma performansına olan etkisinin belirlenmesinde nem oranının ve kuruma hızının zamana bağlı değişimi ile kuruma süresi incelenmiştir. İşletme sırasında yatak içindeki parçacıkların nem miktarının zamana bağlı olarak değişiminin ölçülebilmesi için sistemden değişik zaman aralıklarında numune almak gerekmektedir. Bu numunenin içeriği alındığı noktaya göre anlık farklılıklar gösterebilir. İşletim sırasında birçok değişik noktadan değişik zamanlarda numune alınması yatak hidrodinamiğini olumsuz etkileyip gaz kaçaklarının oluşmasına sebep olabilir. Dolayısıyla, bu çalışmada kesikli işletilen taşkın-akışkan yatağın içinde tam karışma olduğu varsayılmış ve nem oranı değişimi Ek A'da detayları verilen model kullanılarak hesaplanmıştır. Kuruma hızının hesaplanış yöntemi de Ek A'da verilmektedir.

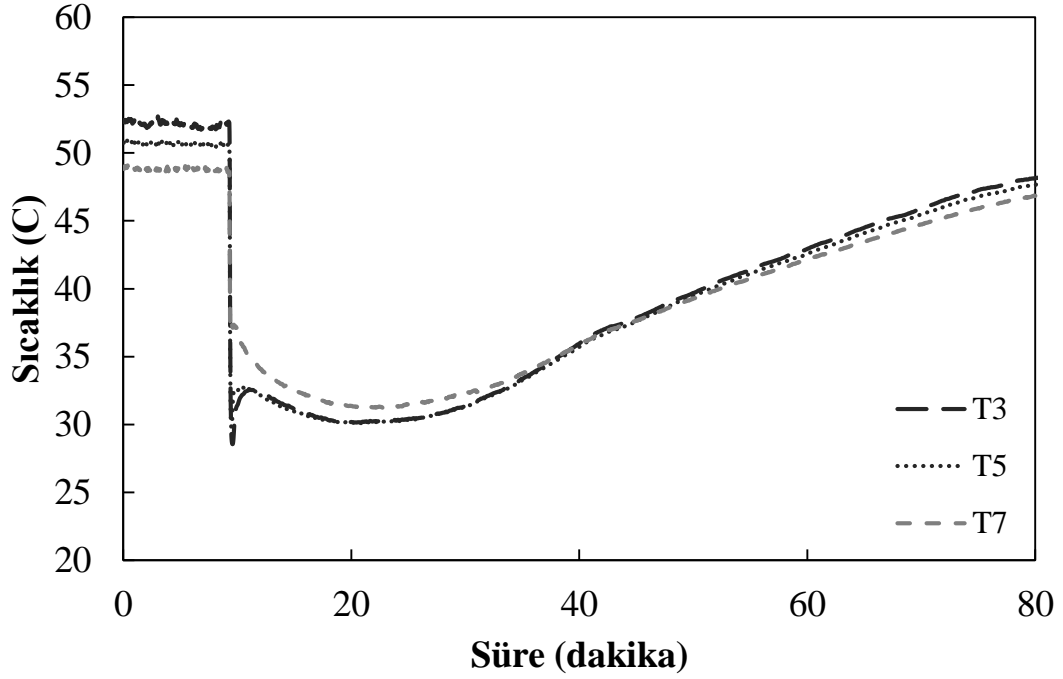
Deneyler sırasında Şekil 3.19'da gösterildiği gibi 3 ayrı noktada basınç düşümü, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de gösterildiği gibi 7 noktada sıcaklık ölçülmüştür. Deneyler sırasında yatağa zeolit eklenmeden önce sistem yaklaşık olarak 10 dakika sıcak hava ile çalıştırılarak sistem içi sıcaklığının giriş sıcaklığına eşit olması sağlanmıştır. Daha sonra sistemin üst kapağında yer alan tıpa açılarak yatağa zeolit yüklenmiştir. Şekil 3.20 – Şekil 3.21'de $U_o = 6$ m/s, $U_f = 2$ m/s ve giriş hava sıcaklığı 60°C iken yapılan deney sırasında ölçülen zamana bağlı sıcaklık dağılımları örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Eksenel sıcaklık dağılımı



Şekil 3.20. Radyal sıcaklık dağılımı ($z = 85$ mm, $U_f = 2$ m/s)



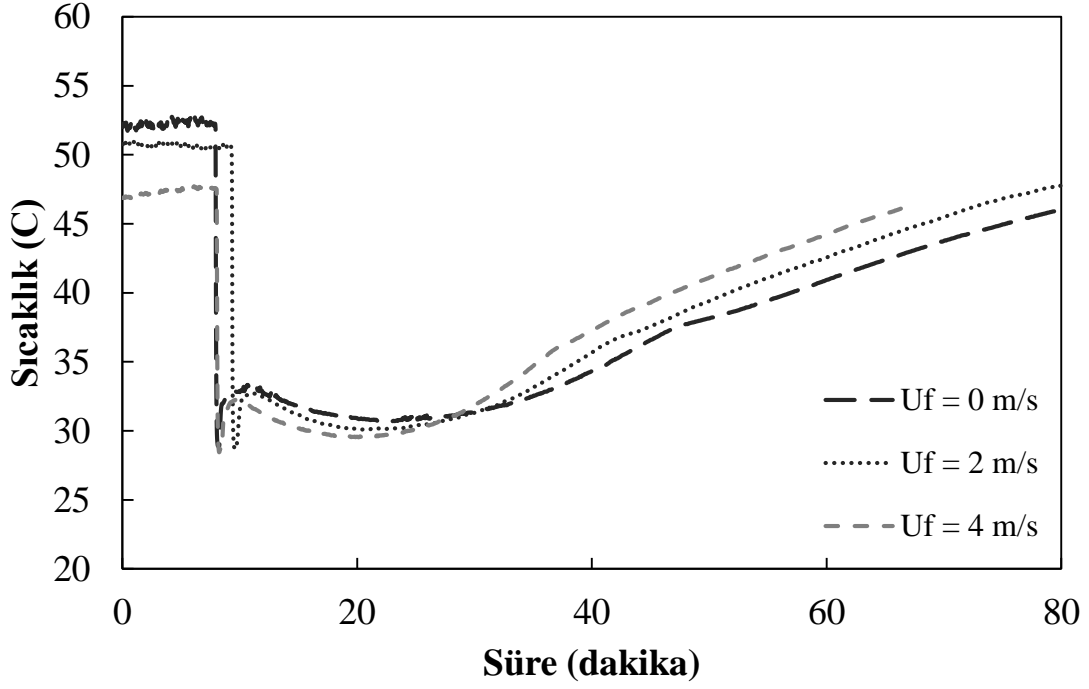
Şekil 3.21. Radyal sıcaklık dağılımı ($z = 115$ mm, $U_f = 2$ m/s)

Grafiklerden de görülebileceği gibi, deney başında malzeme yatak içine beslenmeden önce yatak boş olarak yaklaşık 10 dakika sıcak gaz ile ısıtılmıştır. Bu süre sonunda

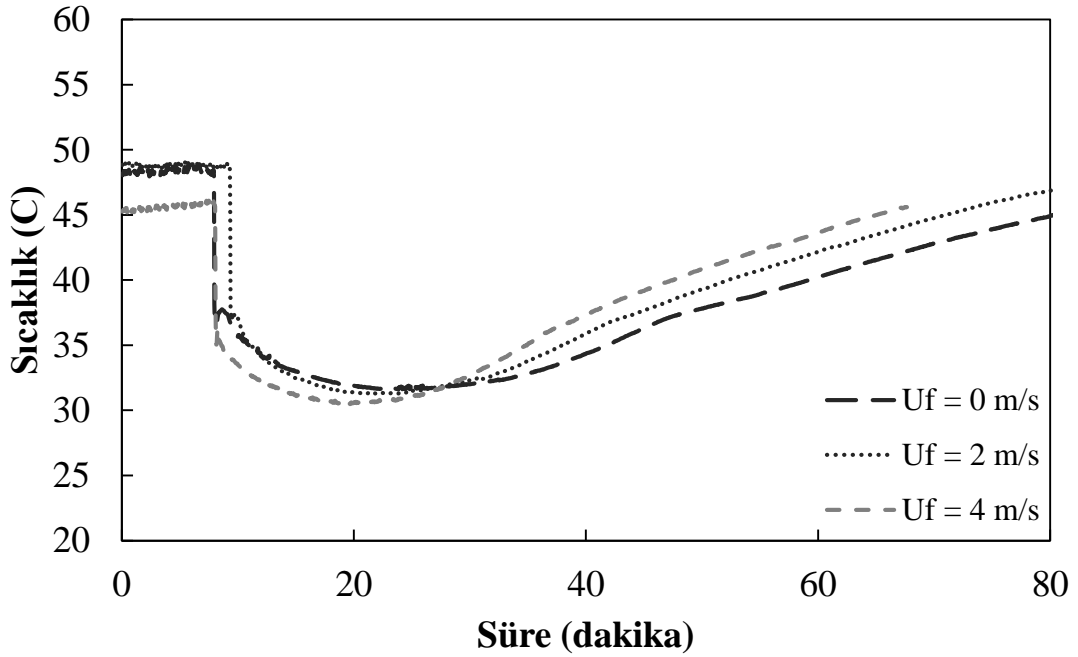
yatak içi sıcaklığı bütün ölçüm noktalarında giriş hava sıcaklığına yakın ($\pm 5-10^{\circ}\text{C}$) değerlere yükselmiştir. Yaklaşık oda sıcaklığında olan malzemenin sisteme konulması ile ise sıcaklıklar ciddi bir şekilde düşmektedir. Malzemenin yatak içinde ısınması ve nemini kaybetmesiyle deney sonuna doğru sıcaklıkların tekrar arttığı görülmektedir.

Bütün şekiller incelendiğinde, yatak içinde sıcaklık değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Yatak içi aksenal sıcaklık dağılımlarına bakıldığında sıcaklığın, akış borusuna yakın kısımda yatak ykseklıği boyunca belirgin miktarda değişmediği görülmektedir. Radyal değişimlere bakıldığında ise, konik duvara yaklaştığı sıcaklığın son derece az miktarda arttığı görülmektedir. Bu da yatak içinde termal olarak homojen bir ortam yaratıldığını ve kurutmanın hemen hemen her noktada benzer şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sonuç, taşkın-akışkan yatak sisteminin önemli bir avantajını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar diğer taşkınlaşma ve akışkanlaşma hava hızlarıyla yapılan deneylerde de elde edilmiştir.

şekil 3.22 ve şekil 3.23'te akışkanlaşma hava hızının sıcaklık dağılımına olan etkisi gösterilmektedir. Karşılaştırma için akış borusuna yakın ve $z = 85$ mm ykseklkte alınmış olan T_2 lm ve konik duvara yakın ve $z = 115$ mm ykseklkte alınmış olan T_7 lm gösterilmektedir. Bu şekillerden, akışkanlaşma hızı arttığı yatak içi sıcaklığın arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar diğer radyal ve aksenal noktalarda alınan sıcaklık dağılımları için de gözlemlenmektedir.



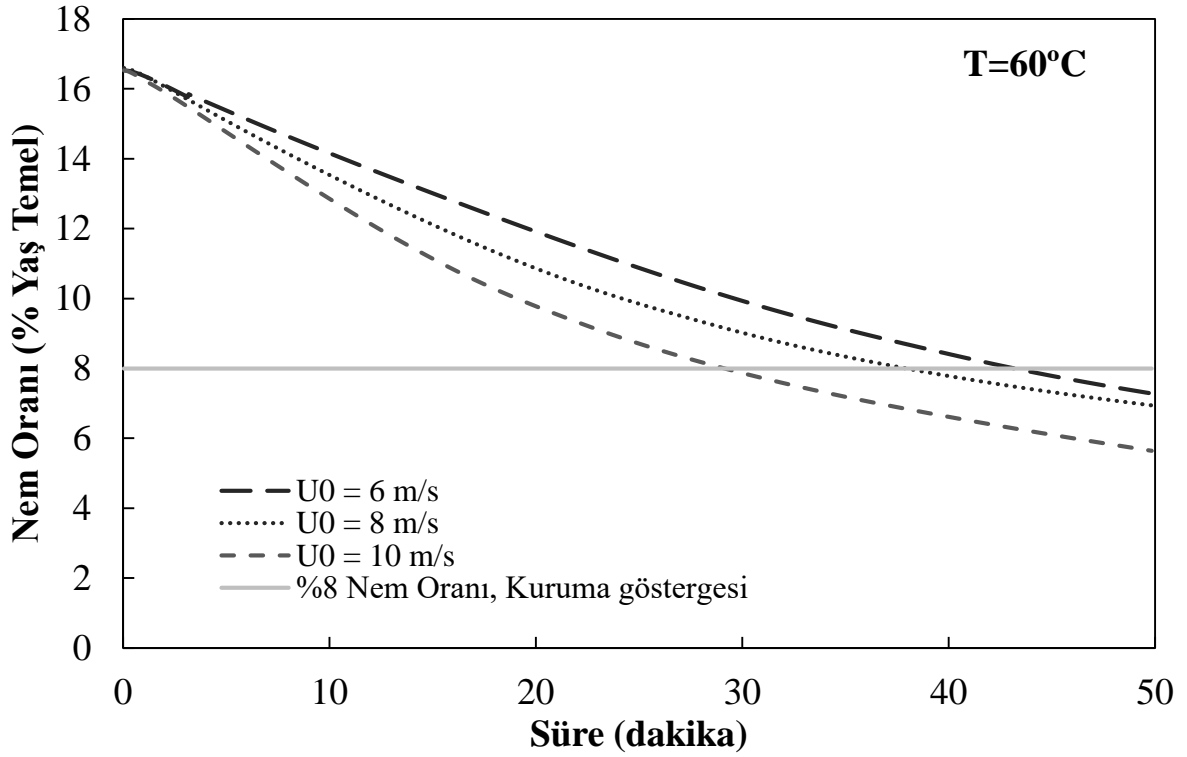
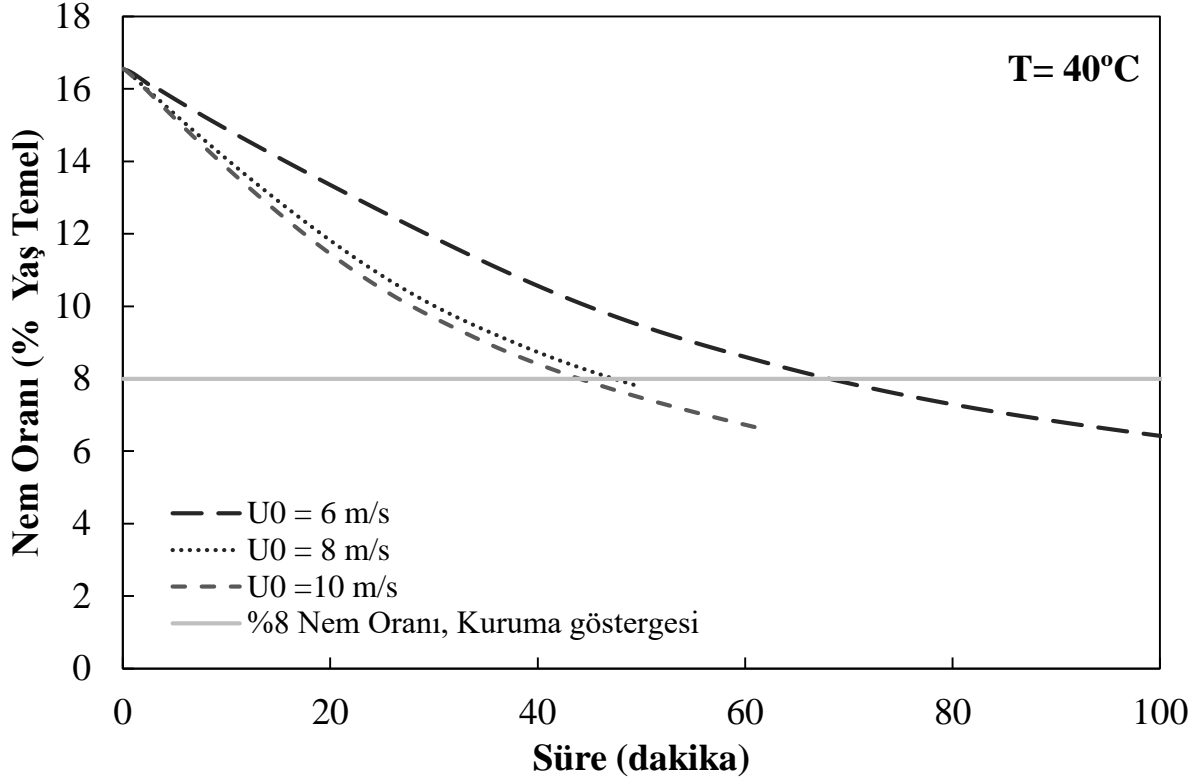
Şekil 3.22. Akışkanlaşma hava hızının T_2 sıcaklığına olan etkisi (Akış borusuna yakın bölgede, $r = 16.5$ mm ve $z = 85$ mm)

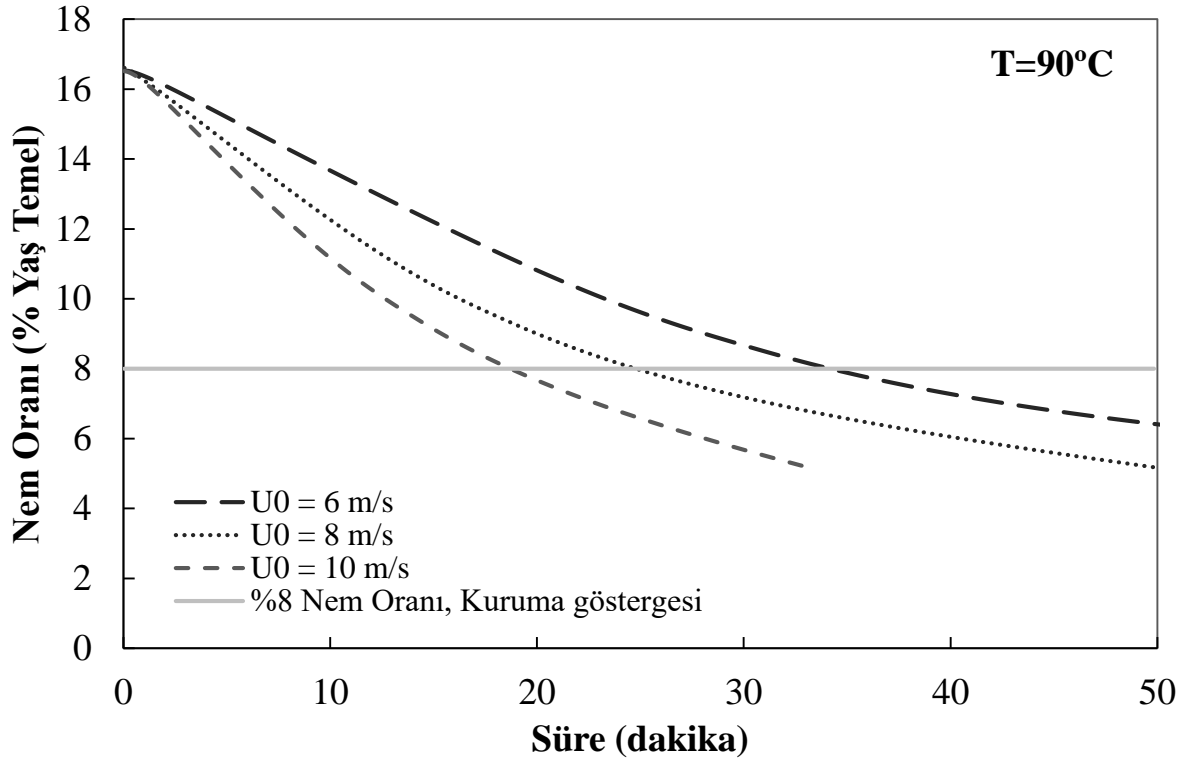


Şekil 3.23. Akışkanlaşma hava hızının T_7 sıcaklığına olan etkisi (Konik duvara yakın bölgede, $r = 52$ mm ve $z = 115$ mm)

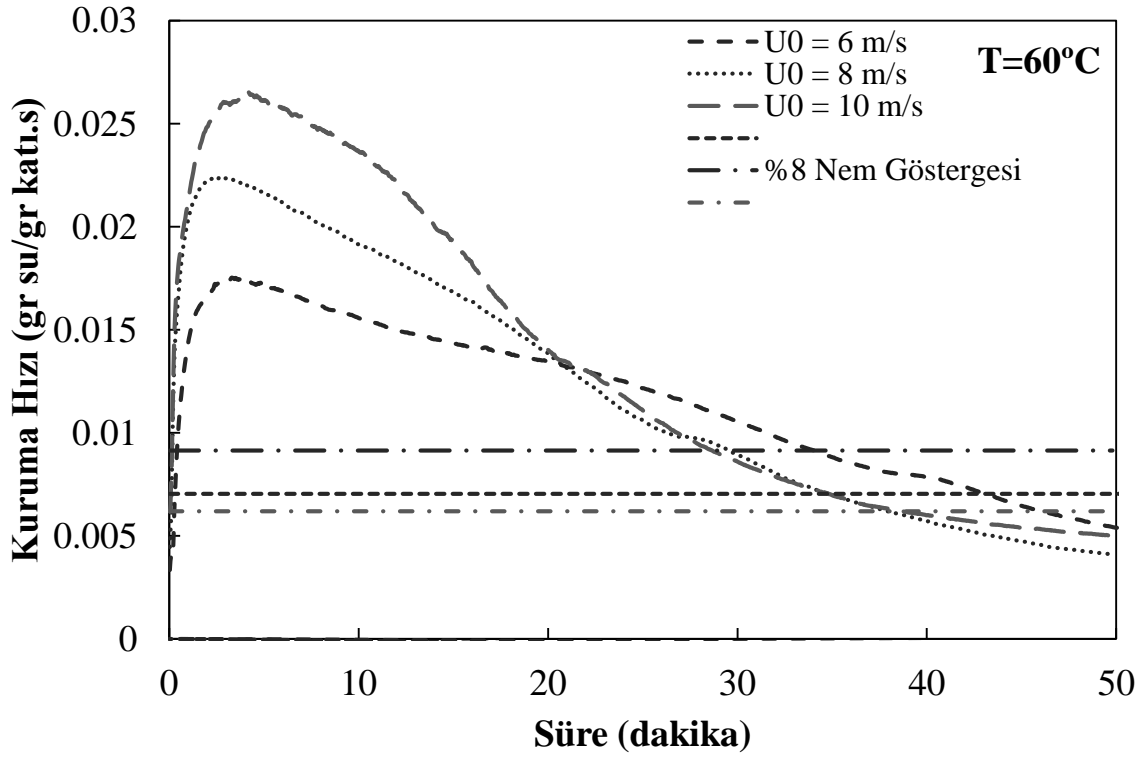
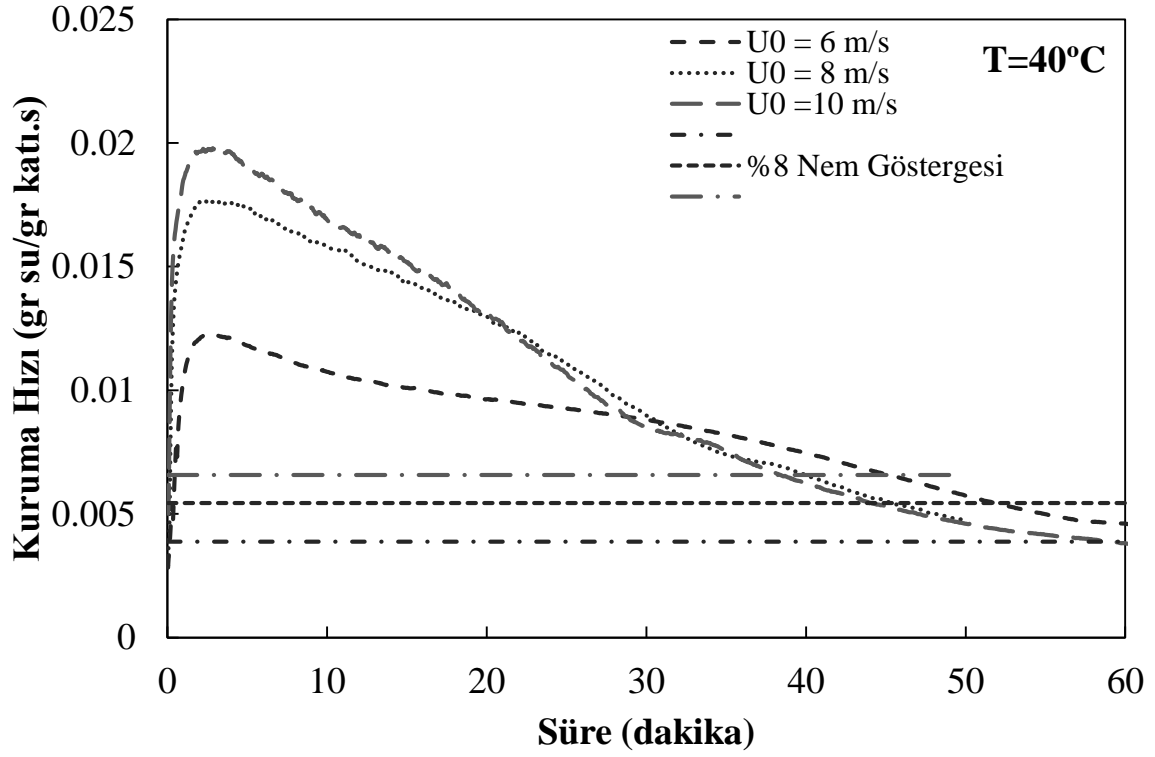
Taşkınlaşma hava hızının kurutmaya olan etkisi öncelikle sisteme akışkanlaşma havası verilmeden yani yatak taşkın yatak olarak çalıştırıldığında incelenmiştir. Şekil 3.24'de taşkınlaşma hızının kuruma eğrilerine, Şekil 3.25'de ise kuruma hızına olan etkisi gösterilmektedir. Taşkınlaşma hava hızının etkisi 3 ayrı giriş hava sıcaklığında incelenmiş ve bu şekillerde gösterilmektedir. Bütün şekiller incelendiğinde, gaz giriş sıcaklığı fark etmeksizin, taşkınlaşma hava hızı arttırıldığında kuruma süresinin önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Kurumanın büyük bir kısmının gerçekleştiği deneylerin ilk 20-30 dakikasında taşkınlaşma hızı arttıkça kuruma hızının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

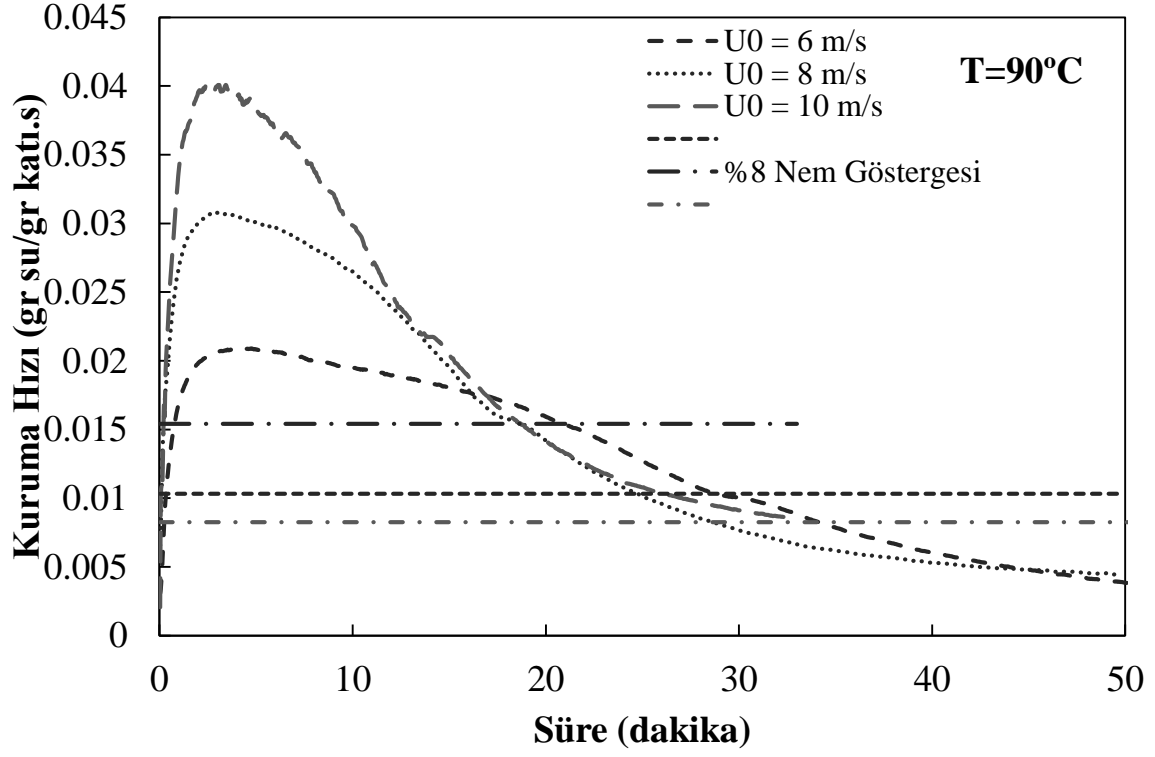
Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'de taşkınlaşma hava hızının kurumaya olan etkisi sistem taşkın-akışkan yatak olarak çalıştırıldığında da incelenmiştir. Bu amaçla yatağın yan ceperinde 2 m/s hız ile akışkanlaşma havası verilmiştir. Sistem taşkın-akışkan yatak olarak çalıştırıldığında da taşkınlaşma hava hızı arttırıldığında kuruma süresi düşmekte, kurutma hızı artmaktadır. Akışkanlaşma havasının sisteme beslenmesiyle taşkınlaşma havasının kurumaya olan etkisinin Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de görülen tabloya kıyasla daha az etkili olduğu gözlemlenmiştir.



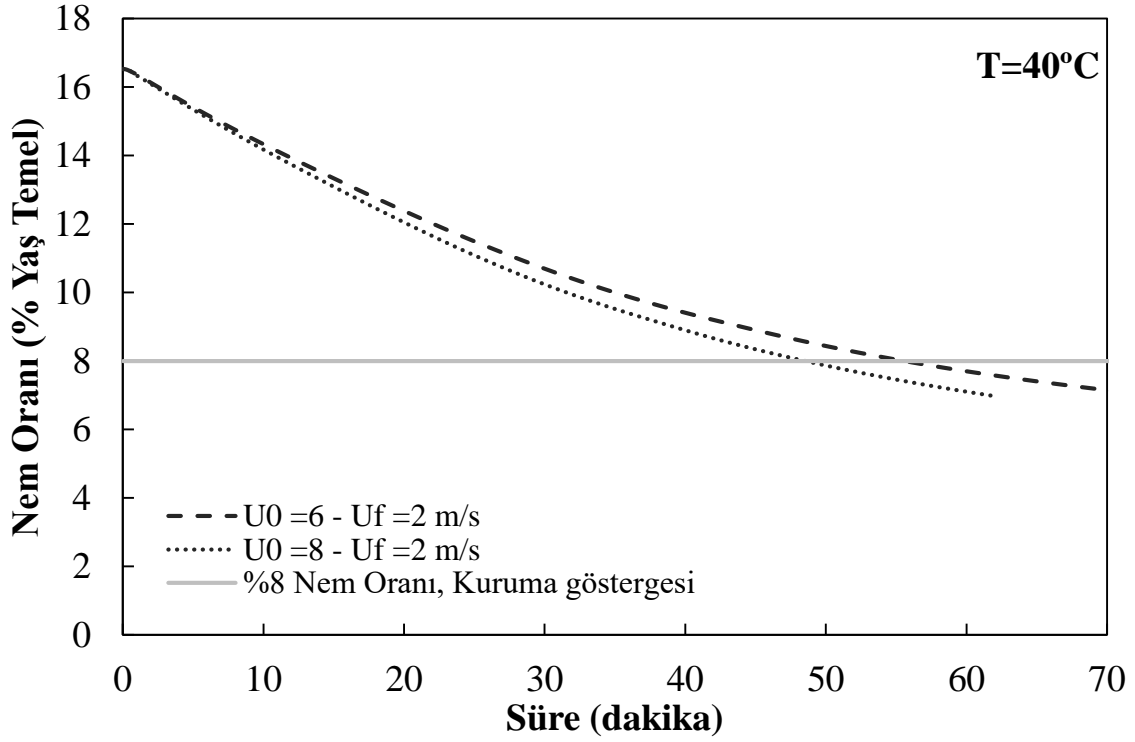


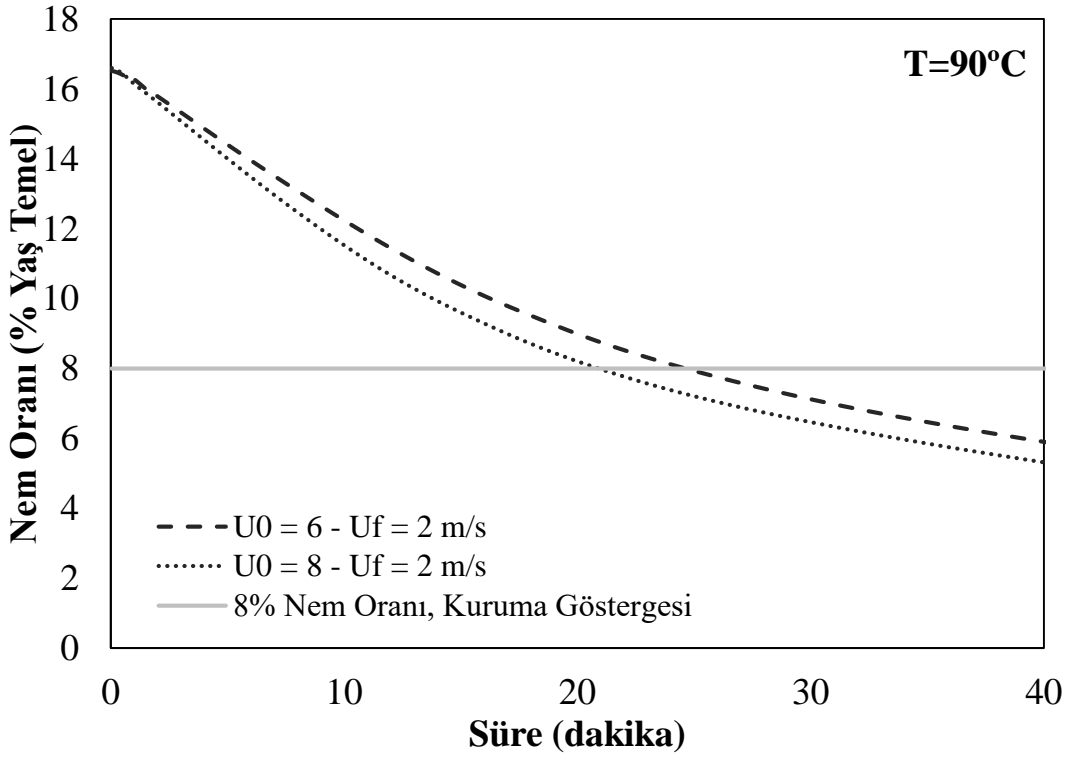
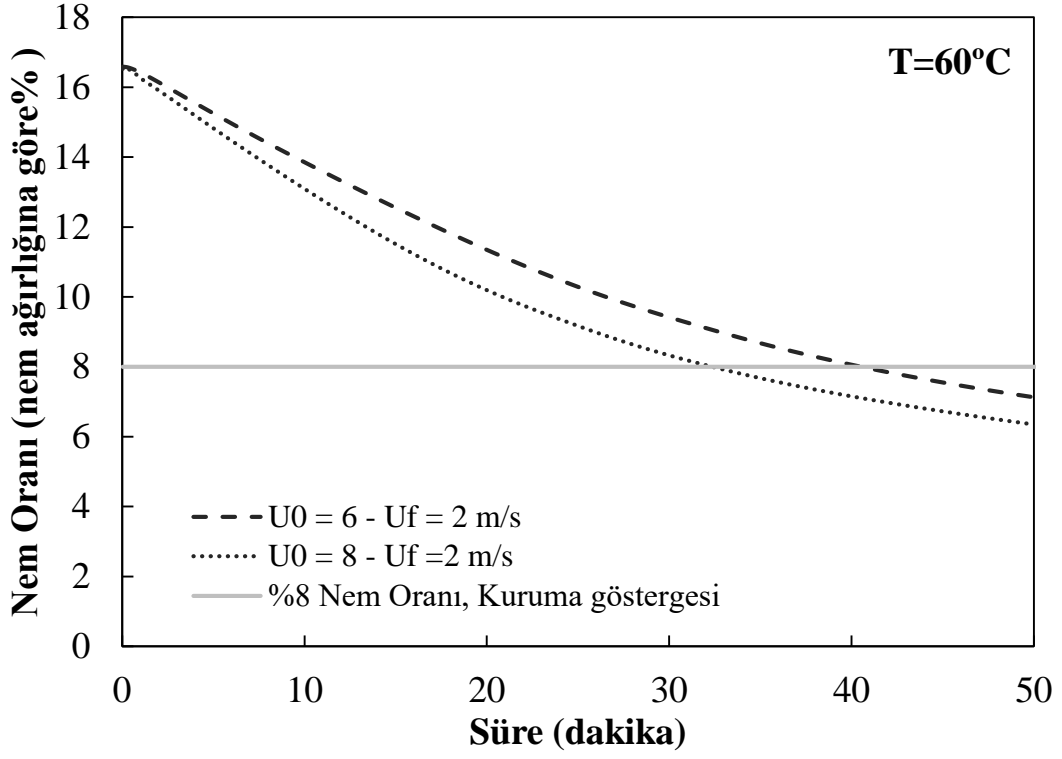
Şekil 3.24. Taşkın hava hızının kuruma eğrilerine olan etkisi ($U_o = 6 \text{ m/s}$, $U_f = 0 \text{ m/s}$)



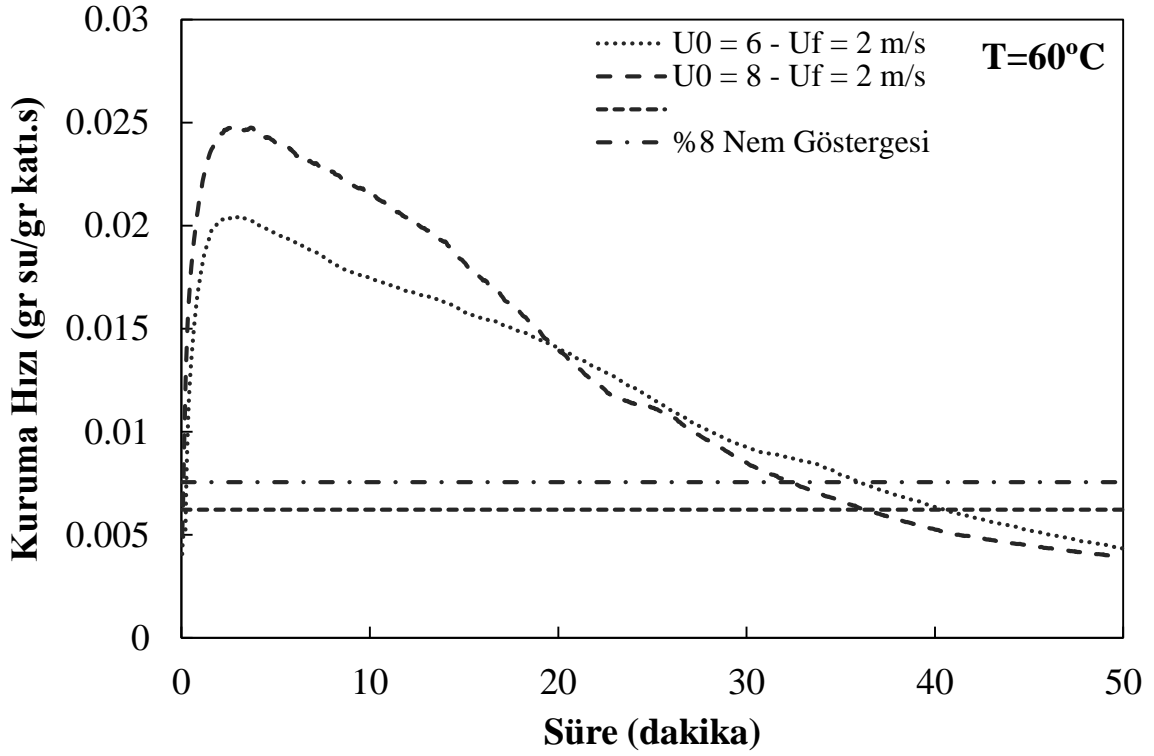
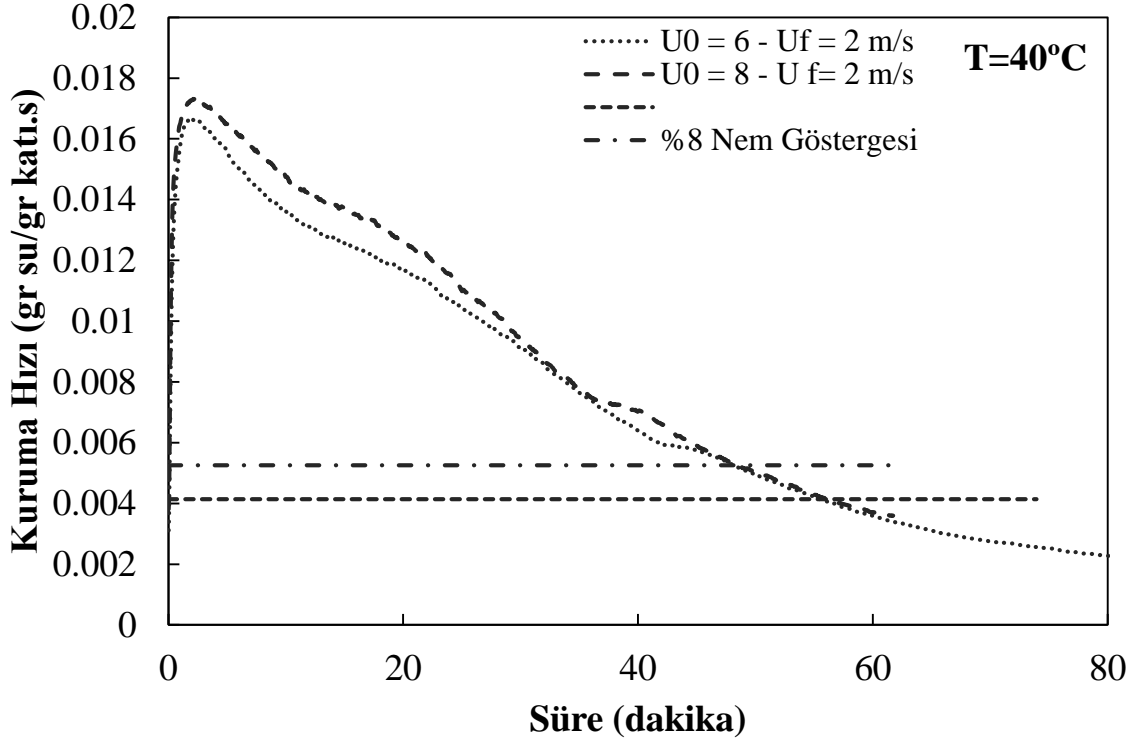


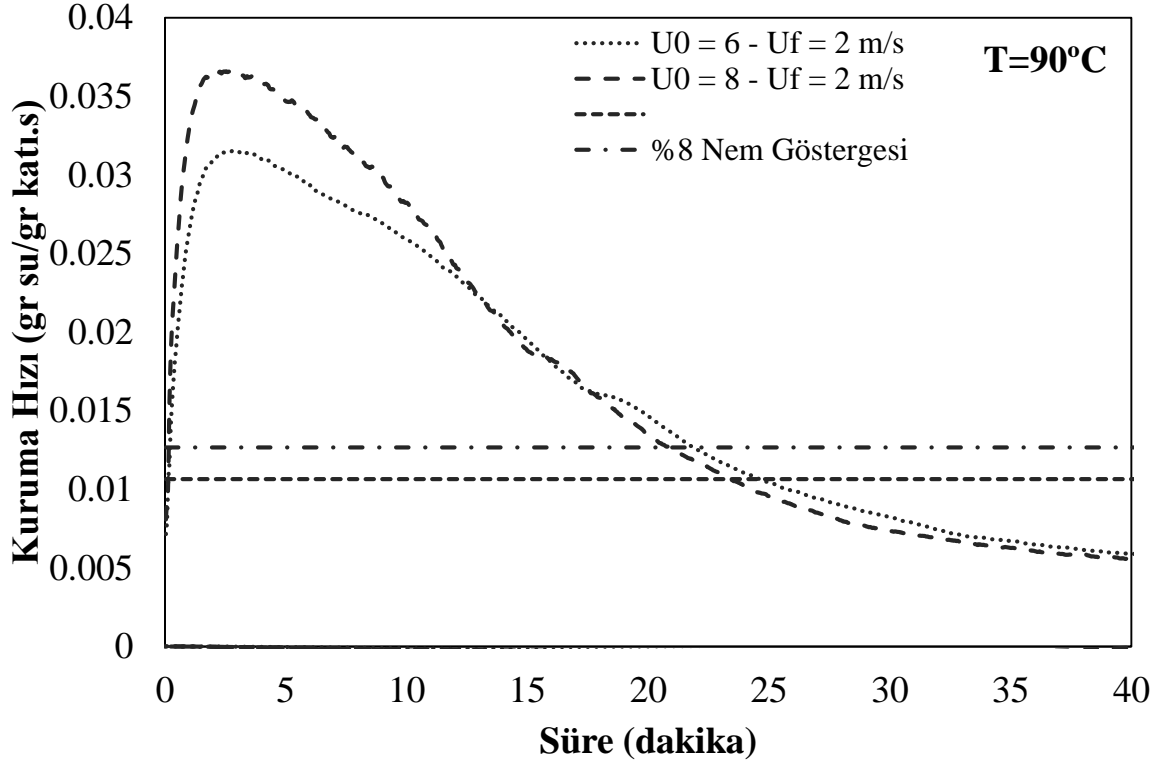
Şekil 3.25. Taşkın hava hızının kuruma hızına etkisi ($U_o = 6 \text{ m/s}$, $U_f = 0 \text{ m/s}$)





Şekil 3.26. Taşkın hava hızının kuruma eğrilerine olan etkisi ($U_o = 6$ m/s, $U_f = 2$ m/s)



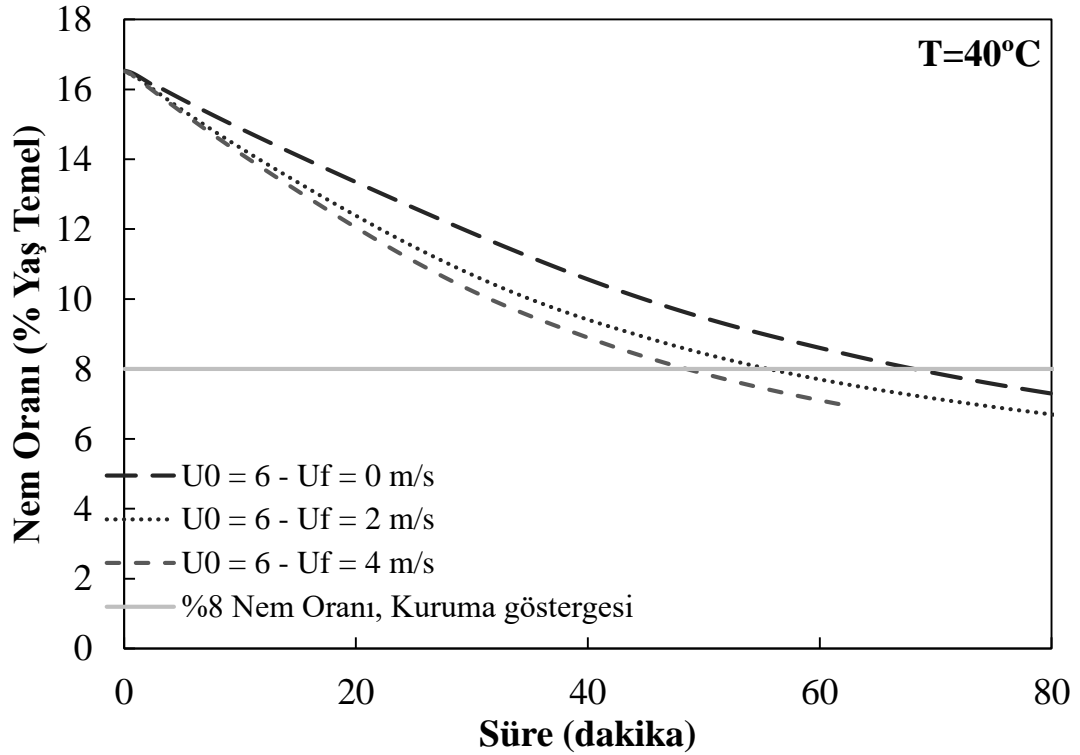


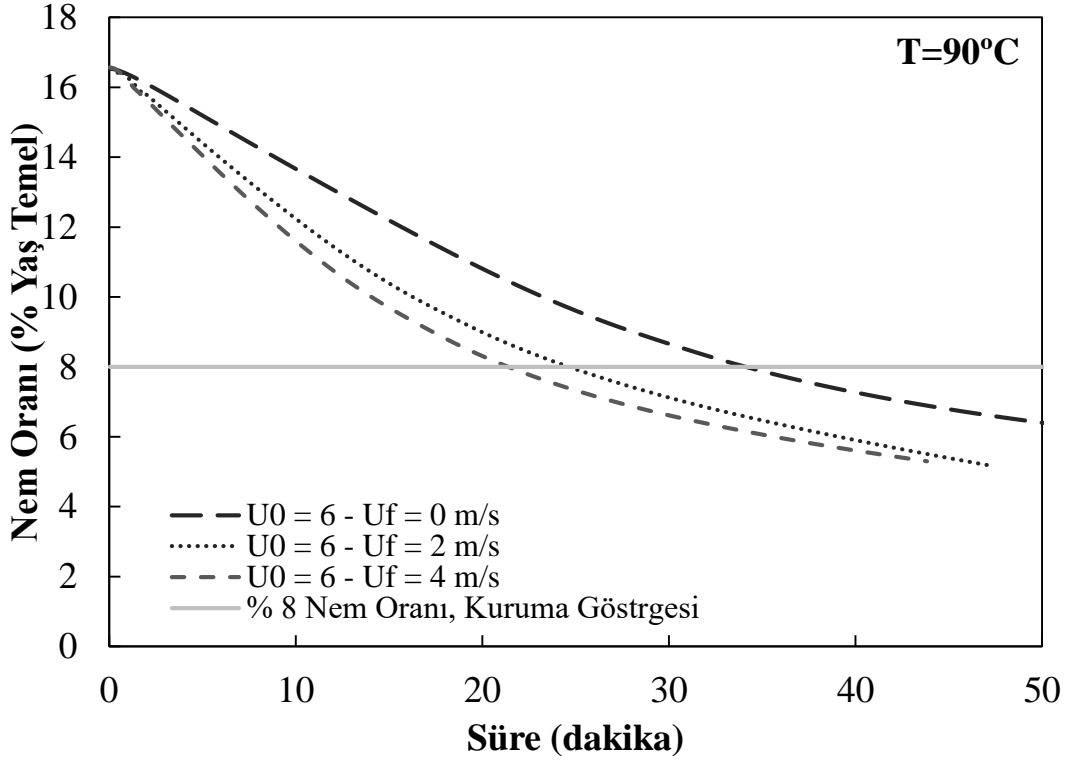
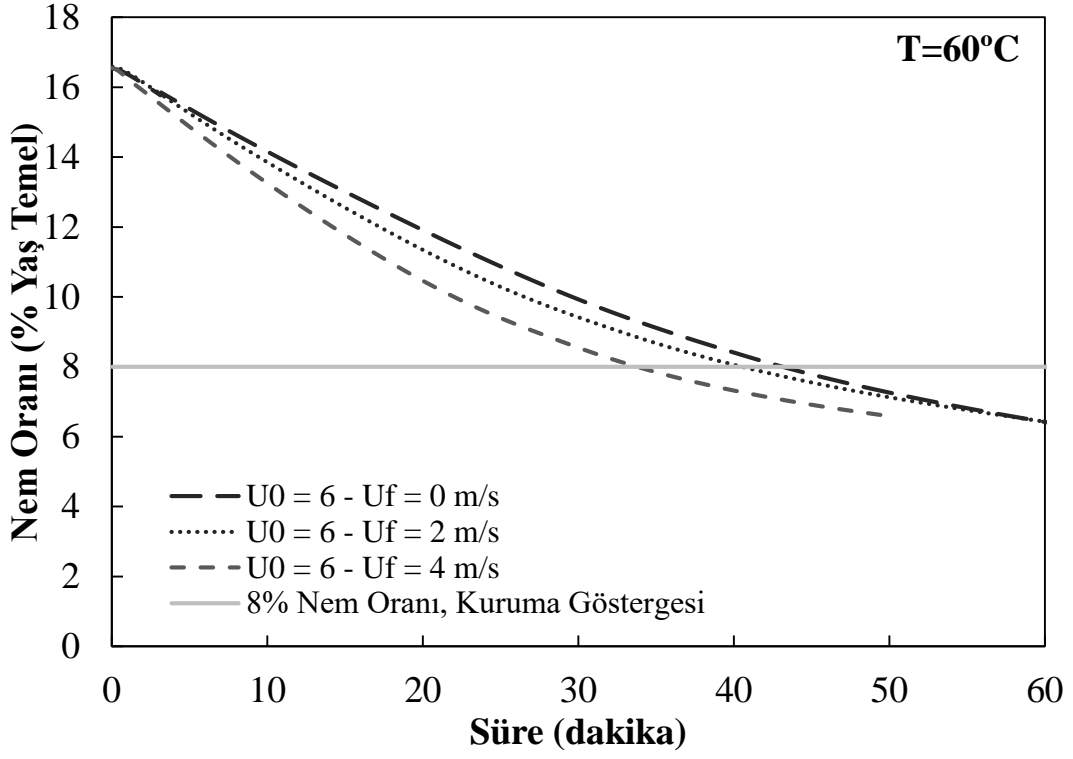
Şekil 3.27. Taşkın hava hızının kurutma hızına etkisi ($U_o = 6$ m/s, $U_f = 2$ m/s)

Şekil 3.28’de akışkanlaşma hızının kuruma eğrilerine, Şekil 3.29’de ise kuruma hızına olan etkisi gösterilmektedir. Akışkanlaşma hızının etkisi 3 ayrı giriş hava sıcaklığı ile yapılan deneylerde taşkınlaşma hızı 6 m/s olarak sabit tutularak incelenmiştir. Giriş hava sıcaklığı fark etmeksizin, akışkanlaşma havasının sisteme beslenmesiyle kuruma hızının arttığı ve kuruma süresinin ciddi bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu da kurumanın taşkın-akışkan yataklarda taşkın yataklara kıyasla daha hızlı olduğunu göstermektedir. Bu incelemede dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta akışkanlaşma hava hızının artması ile sisteme beslenen hava miktarının artmasıdır. Sisteme beslenen hava miktarının artması ile kuruma hızının artması beklenen bir durumdur. Aslında taşkınlaşma ve akışkanlaşma hava hızlarının etkileri incelenirken sisteme beslenen toplam hava miktarının aynı tutularak karşılaştırmaların yapılması daha sağlıklıdır. Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de karşılaştırmalar, sisteme beslenen toplam hava miktarı sabit kalacak şekilde taşkınlaşma ve akışkanlaşma hava hızları değiştirilerek yapılmıştır. Bu grafikler incelendiğinde, kurumanın en yoğun olduğu ilk 20 dakikalık

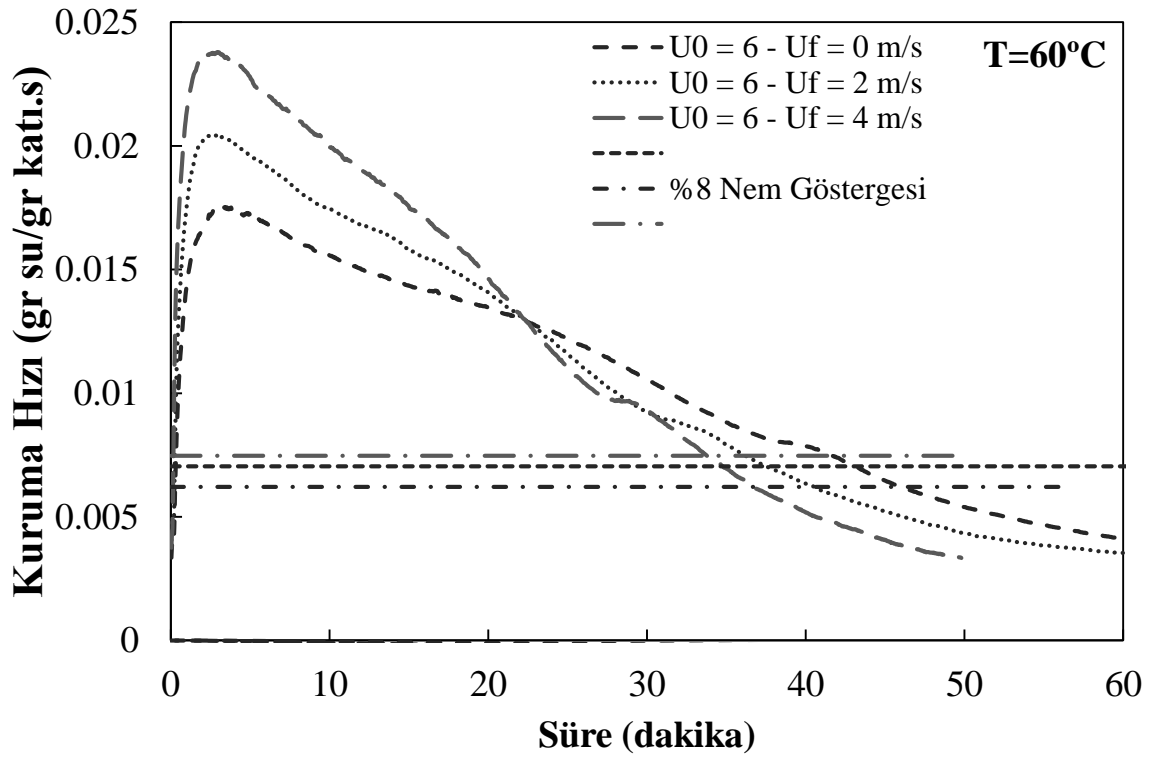
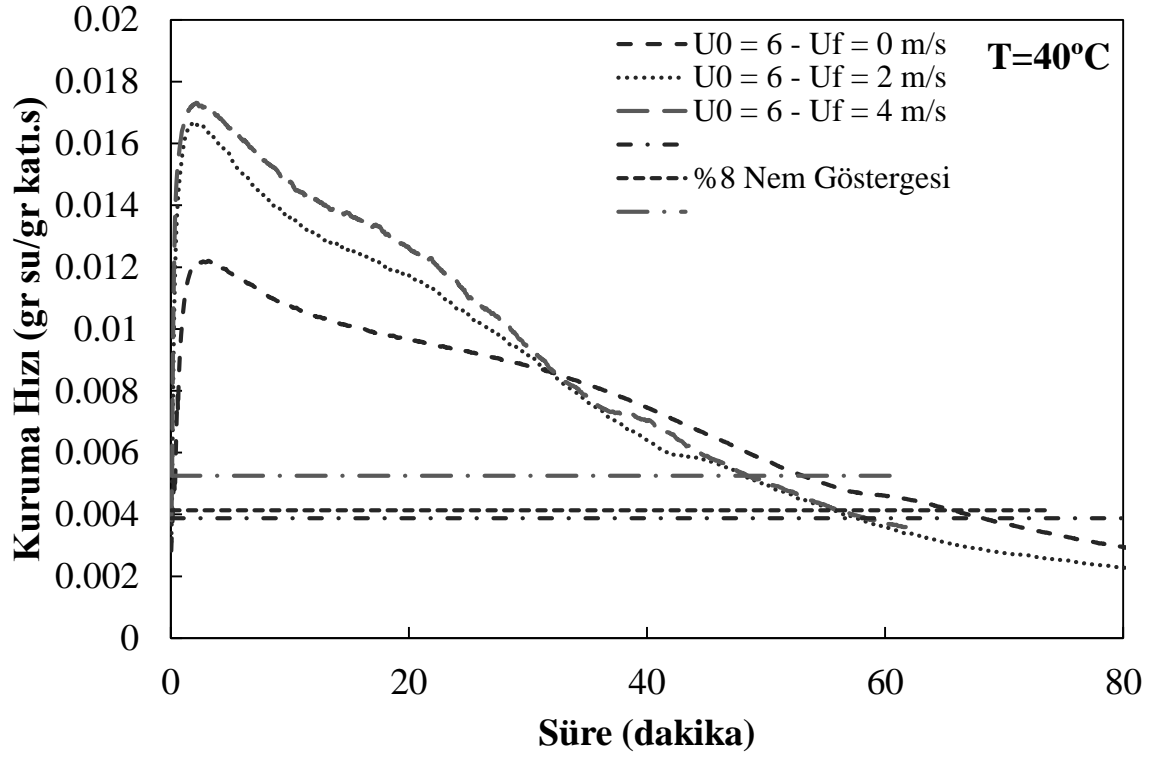
sürede, taşkınlaşma havasının en yüksek olduğu koşulda kuruma hızının en yüksek olduğu görülmektedir. Kurutma deneyleri öncesinde yapılan hidrodinamik deneylerde elde edilen minimum kararlı taşkınlaşma hızları göz önüne alındığında, bu taşkınlaşma hızının jet taşkınlaşma hızına yakın olduğu hesaplanmaktadır. Bu da jet taşkınlaşma rejimine yaklaşıldıkça kurumanın daha etkili olduğunu göstermektedir.

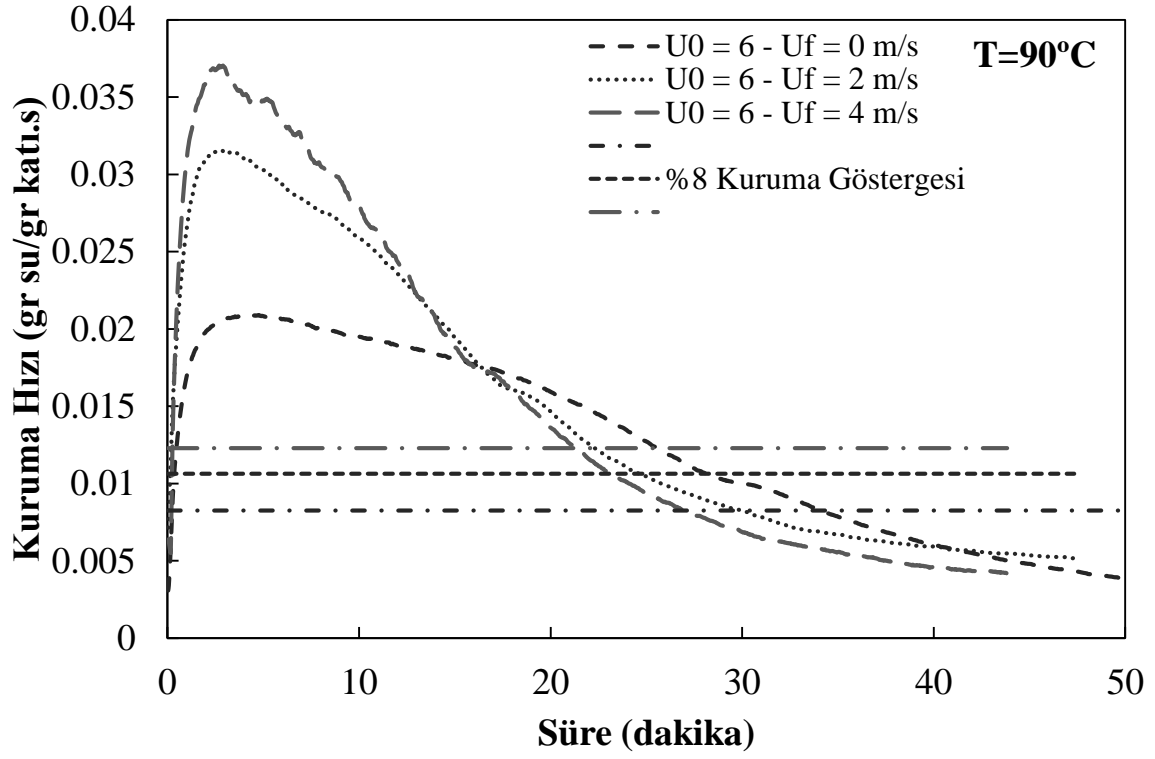
Bütün yapılan deneyler ve bu deneylerde kaydedilen kuruma süreleri Çizelge 3.4'de özetlenmektedir. Aynı zamanda kuruma süresinin operasyon koşullarına göre değişimi Şekil 3.32'de gösterilmektedir. Taşkınlaşma hava hızı ve giriş hava sıcaklığı arttıkça kuruma süresi belirgin bir şekilde azalmaktadır. Akışkanlaşma hava hızının artmasıyla da kuruma süreleri azalmıştır. Ancak akışkanlaşma hava hızının etkisi çok daha azdır. En hızlı kuruma, giriş hava sıcaklığı 90°C iken görülmüştür. Toplam hava debisi sabit tutularak, akışkanlaşma havasının etkisi incelendiğinde, akışkanlaşma havasının artırılmasıyla kurutma sürelerinde belirgin bir azalma elde edilmemiştir.



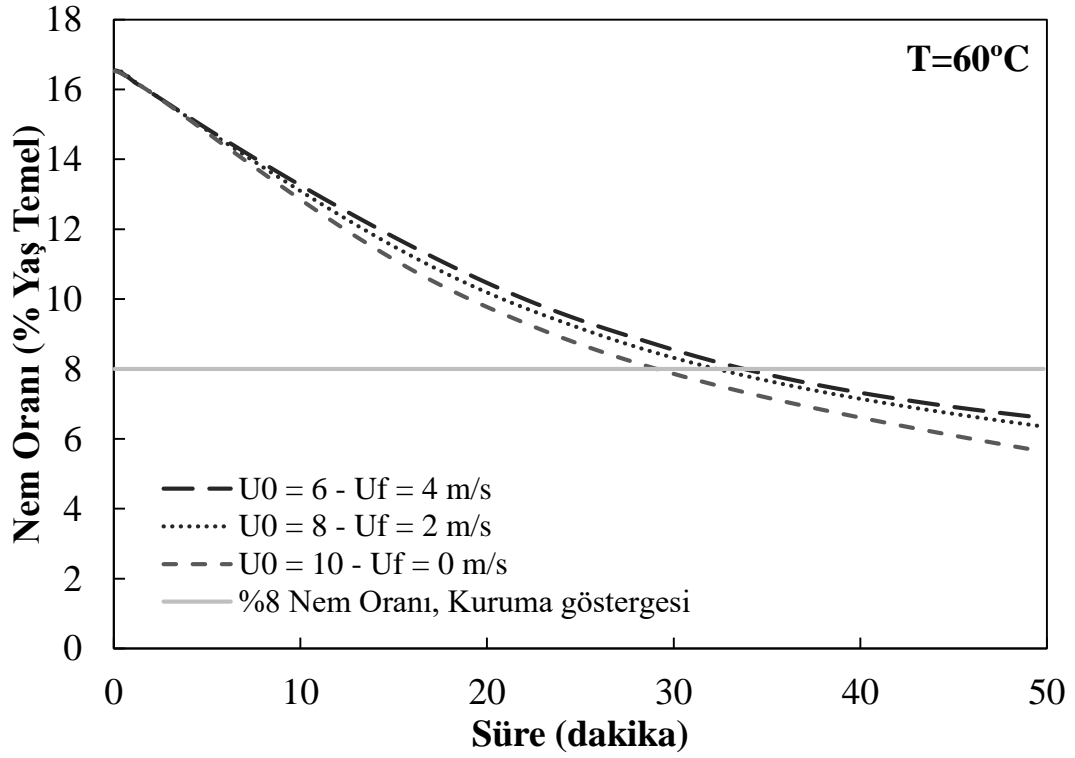
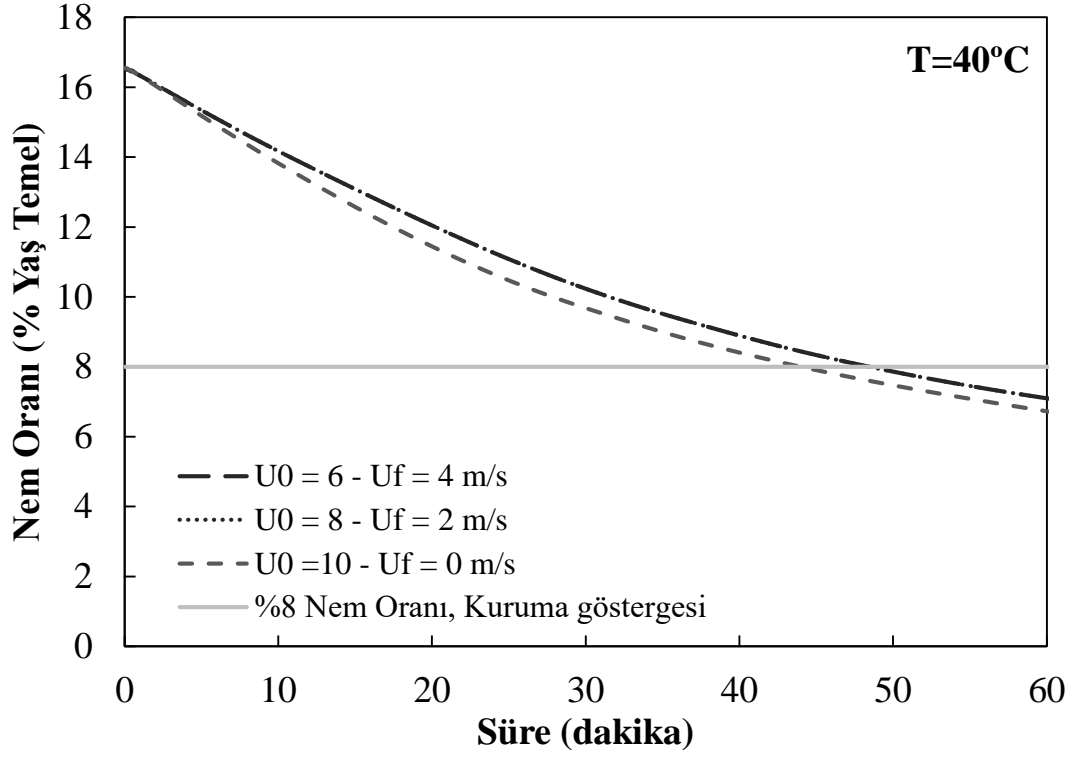


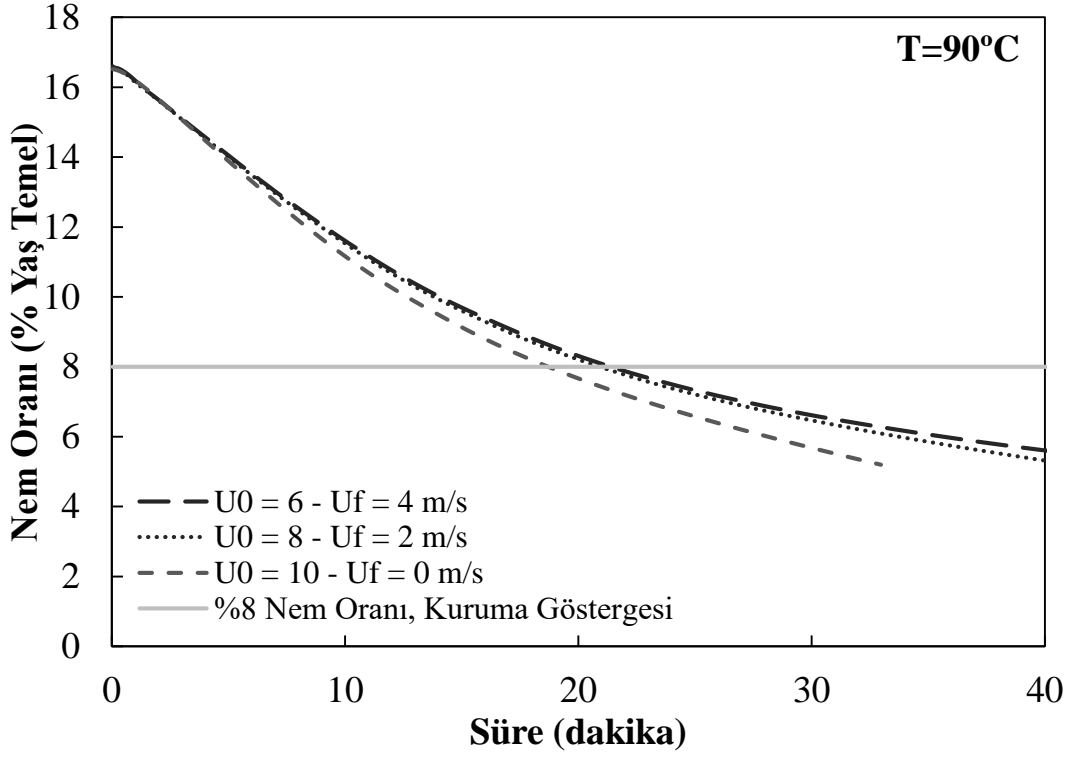
Şekil 3.28. Akışkanlaşma hava hızının kuruma eğrilerine olan etkisi ($U_0 = 6$ m/s)



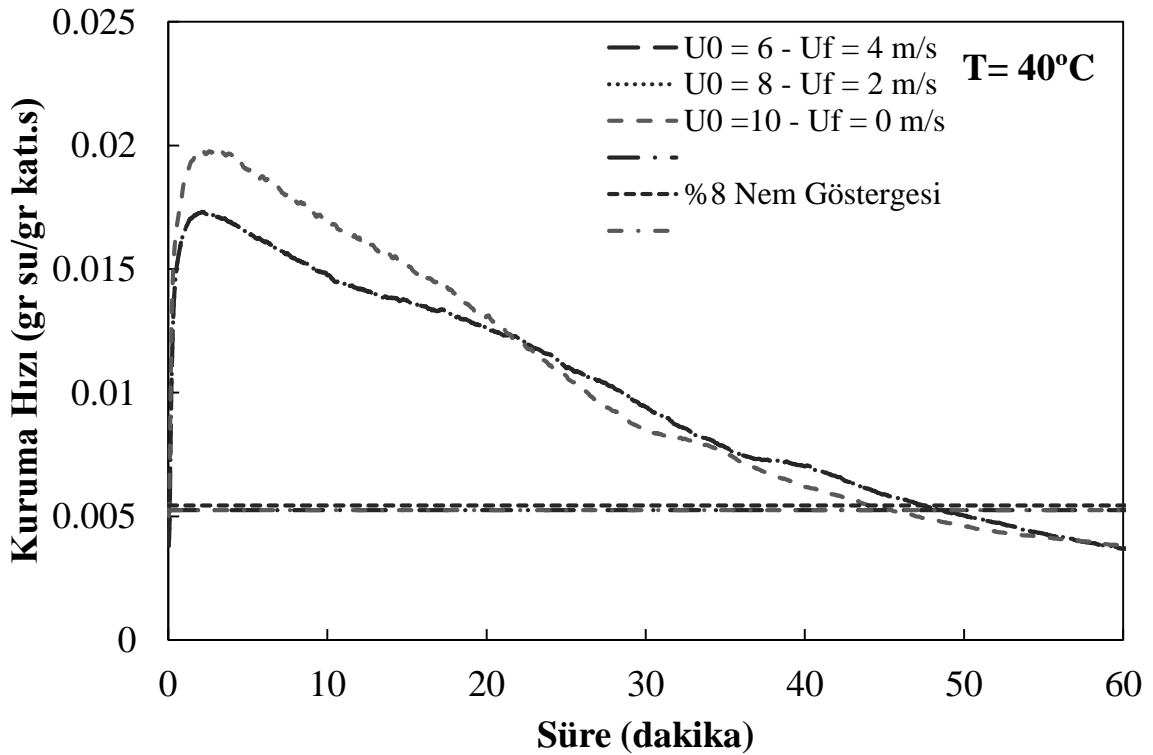


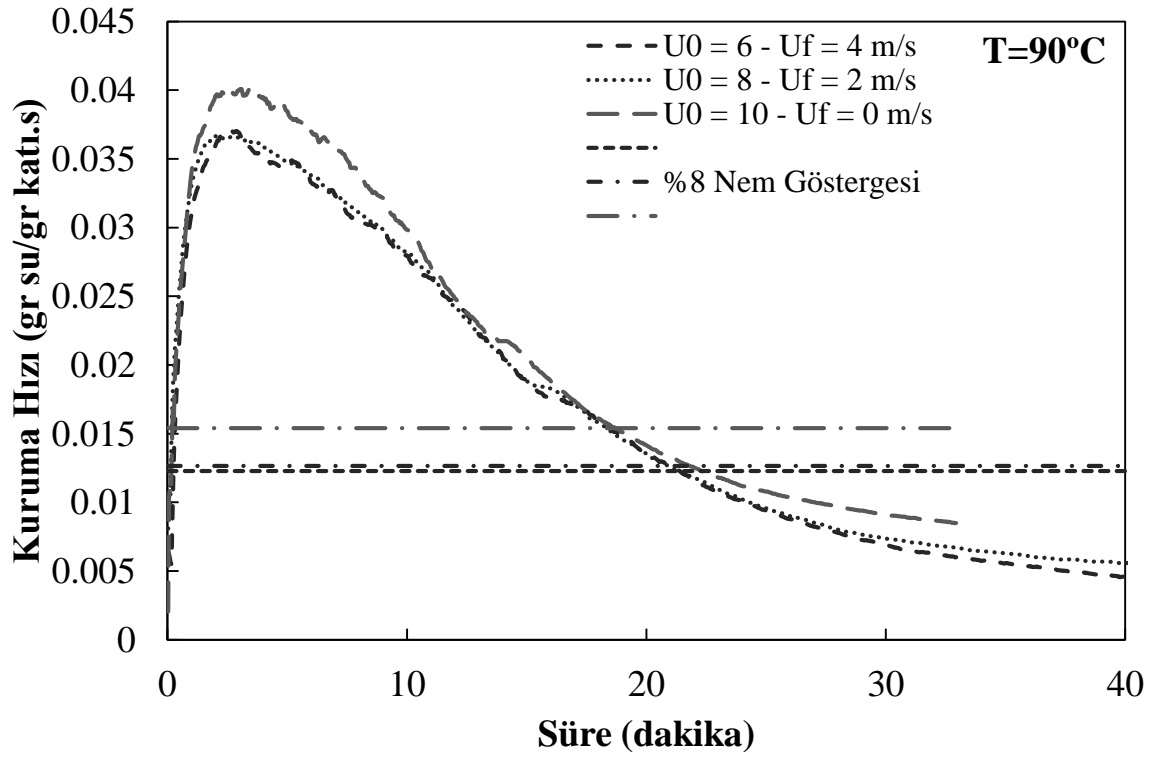
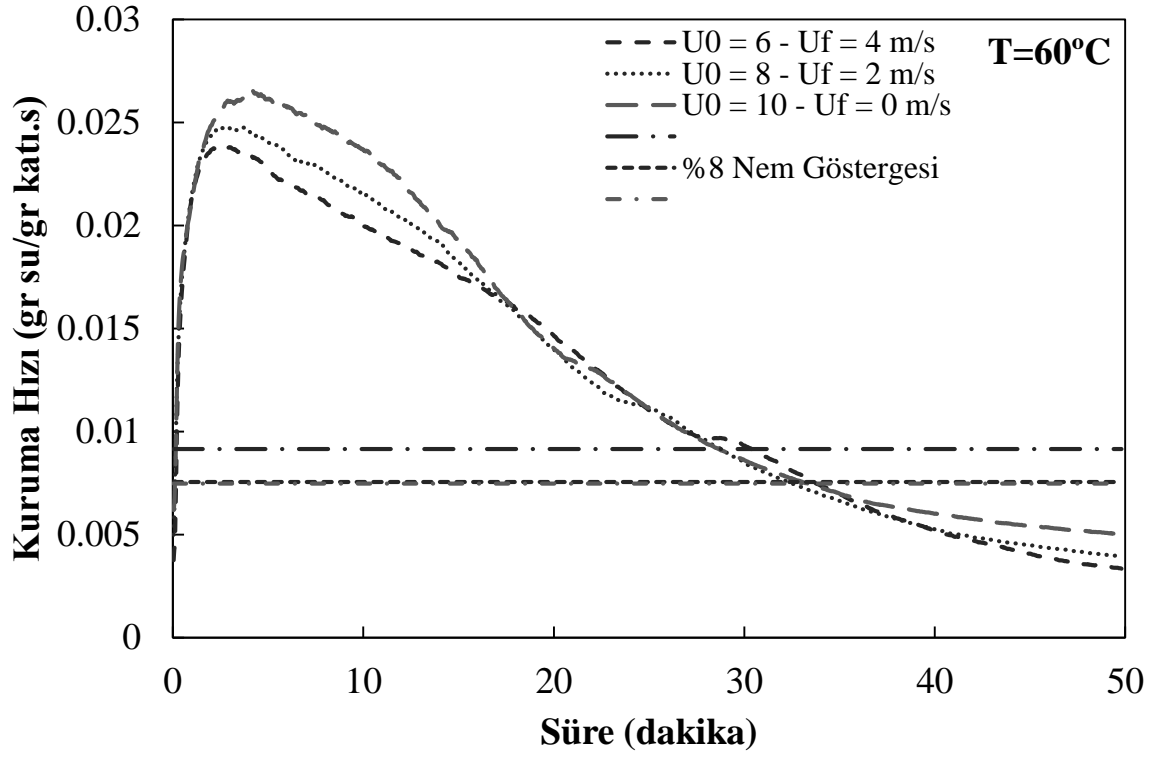
Şekil 3.29. Akışkanlaşma hava hızının kuruma hızına etkisi ($U_0 = 6$ m/s)



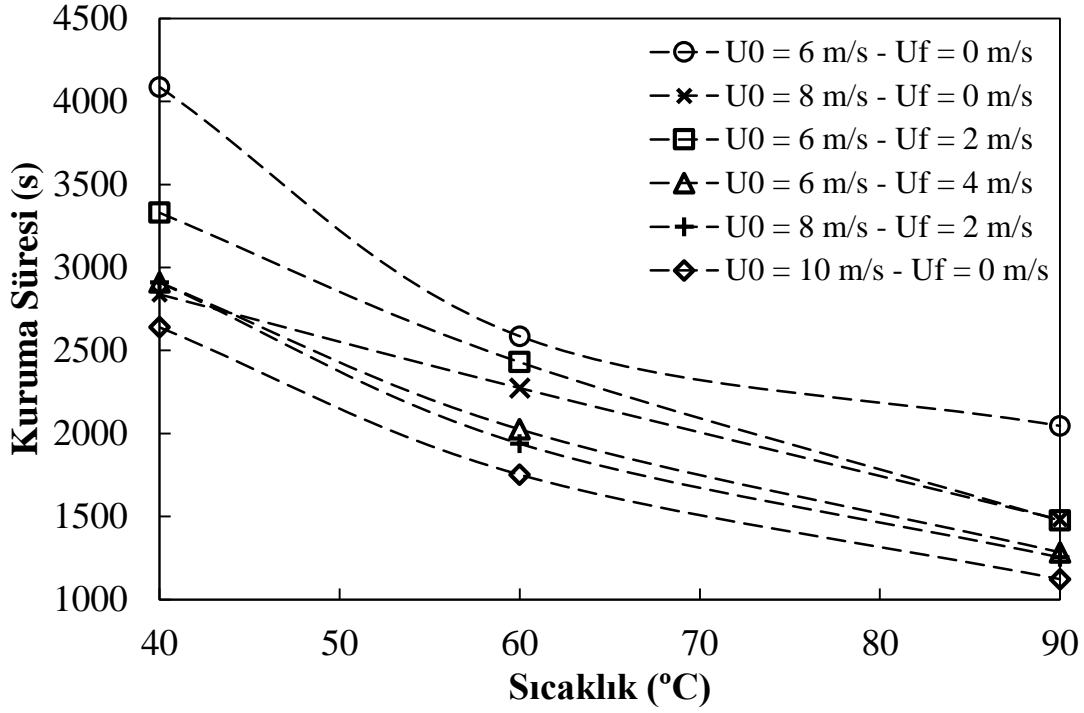


Şekil 3.30. Sisteme beslenen toplam hava miktarı sabit tutularak akışkanlaşma ve taşkınlaşma hava hızlarının kuruma eğrilerine olan etkisinin incelenmesi





Şekil 3.31. Sisteme beslenen toplam hava miktarı sabit tutularak akışkanlaşma ve taşkınlaşma hava hızlarının kuruma hızına olan etkisinin incelenmesi



Şekil 3.32. Kuruma süresinin operasyon koşullarına göre değişimi

3.3. Kurutma Enerji İhtiyacı

Bir kurutma işleminin endüstriyel açıdan en önemli kısıtı kurutma enerji ihtiyacıdır. Kurutma işlemi için kullanılan reaktörün kurutma enerji ihtiyacını minimuma indirecek koşullarda çalıştırılması önem taşımaktadır. Kurutma enerji ihtiyacını belirleyen en önemli faktörler kurutma havası debisi ve sıcaklığı ve kurutma zamanıdır. Bu üç faktörün arasındaki yatak hidrodinamiği, ısı ve kütle transferine dayanan karmaşık ilişki kurutma enerji ihtiyacını belirlemektedir. Bu kapsamda proje kapsamında gerçekleştirilen tüm deney koşulları için kurutma enerji ihtiyacı hesaplanmıştır.

Kurutma enerji ihtiyacını hesaplamak için temel olarak havayı kurutma işlemi süresince ilgili kurutma sıcaklığında tutmak için gerekli enerji göz önüne alınmıştır. Hava debisini sağlayan kompresör enerji ihtiyacı havayı ısıtmak için gerekli olan enerji ihtiyacına göre çok düşük olması nedeniyle dikkate alınmamıştır. Bu kapsamda bir kurutma işlemi süresince, kurutma havasına (akışkanlaşma ve taşkınlaşma havaları) verilen enerji miktarı aşağıdaki enerji aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

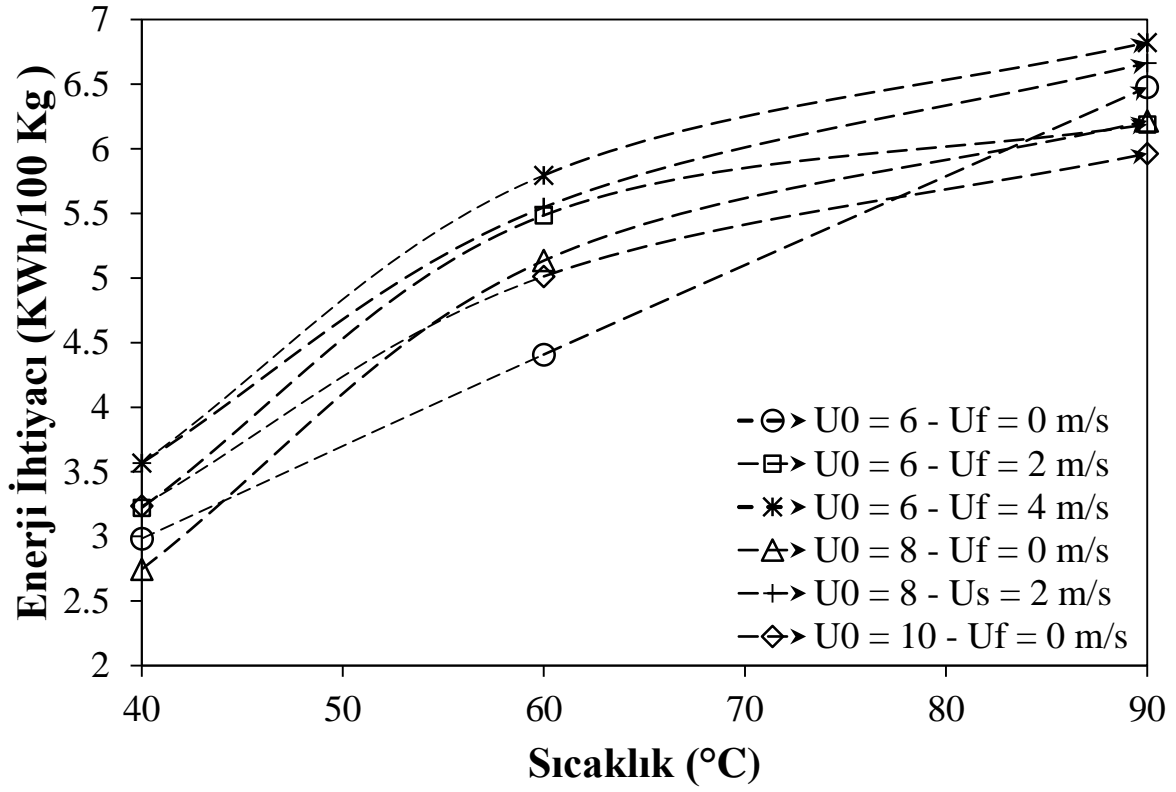
$$\dot{Q} = \dot{m}_g c_p (T_k - T_{ortam}) (\Delta t) \quad (3.1)$$

Bu denklikte \dot{m}_g sisteme beslenen toplam hava kütle akış debisini, C_p (J/kg.°C) havanın özgül ısısını, T_k (°C) kurutma sıcaklığını (kurutucu giriş hava sıcaklığı), T_{ortam} ortam hava sıcaklığını, Δt ise toplam kuruma süresini göstermektedir. Hesaplanan enerji miktarları Çizelge 3.4'de sunulmuştur. Aynı zamanda enerji ihtiyacının farklı işletim koşullarına göre değişimi Şekil 3.33'de gösterilmektedir. Şekil 3.32 ve Şekil 3.33 beraber değerlendirildiğinde kurutma süresini en aza indiren 90°C kurutma sıcaklığının enerji ihtiyacı açısından tüm koşullar için en maliyetli sıcaklık olduğu görülmektedir. Buna karşın 40°C kurutma sıcaklığı kurutma zamanı açısından bir avantaj sağlamamasına rağmen, enerji ihtiyacı açısından en uygun sıcaklık olarak görünmektedir. Toplam hava debisi sabit tutularak akışkanlaşma havasının etkisi incelendiğinde, test edilen tüm sıcaklıklarda akışkanlaşma havasının kullanılmadığı durumlar enerji ihtiyacının en düşük olduğu işletim koşulları olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.4. Kuruma süreleri ve enerji ihtiyaçları

Giriş hava sıcaklığı (°C)	Taşkınlaşma hava hızı, U_o (m/s)	Akışkanlaşma hava hızı, U_f (m/s)	Kuruma süresi (dakika)	Q (kWh/100 kg katı)
40	6	0	68	2.98
60	6	0	43	4.40
90	6	0	34	6.47
40	8	0	47	2.74
60	8	0	38	5.13
90	8	0	25	6.21
40	10	0	44	3.23
60	10	0	29	5.01
90	10	0	19	5.96
40	6	2	56	3.22
60	6	2	41	5.48
90	6	2	25	6.18

40	6	4	49	3.56
60	6	4	34	5.79
90	6	4	21	6.82
40	8	2	49	3.56
60	8	2	32	5.54
90	8	2	21	6.66



Şekil 3.33. Enerji ihtiyacının işletim koşullarına göre değişimi

4. GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN TASARIMI

4.1. Giriş

Çalışmanın deneysel kısmında laboratuvar koşullarında çalıştırılan bir akış borulu taşkın-akışkan yatak zeolit kurutucusunun enerji gereksinimi belirlenmişti. Bu kısımda ise güneş enerjisi kullanılarak endüstriyel kapasitedeki bir kurutucu sisteminin Manisa Gördes iklim koşullarında tasarım hesapları sunulmuştur.

Bu kapsamda üç ayrı güneş enerjili sistem göz önüne alınmıştır:

- Fotovoltaik Sistem
- Parabolik Oluk Sistemi
- Düzlemsel Hava Kolektörü

Manisa Gördes için elde edilen meteoroloji verileri aşağıda özetlenmiştir.

4.1.1. Manisa Gördes İlçesi Meteoroloji Verileri

Türkiye'nin batısında bulunan Manisa ilinin Gördes İlçesi, Ege Bölgesi'nin İç batı Anadolu Bölümü'nde 38° 55' kuzey enlemi, 28° 18' doğu boylamı üzerindedir. İlçe Ege Bölgesinde, Manisa iline bağlı olup, Manisa'nın Kuzey-Doğusuna düşmektedir. İlçenin doğusunda Demirci ve Köprübaşı, güneyinde Salihli, Batısında Akhisar ve Kuzeyinde ise Balıkesir iline bağlı Sındırgı ilçeleriyle komşudur.

Gördes, deniz seviyesinden 680 metre yükseklikindedir. İlçe toprakları küçük akarsu vadileriyle yarılmış bir yayla görünümündedir. İlçenin yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı bir iklimi vardır. Yıllık yağış ortalaması 500 – 700 m³ arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklık 11 - 13 C° dir [45].

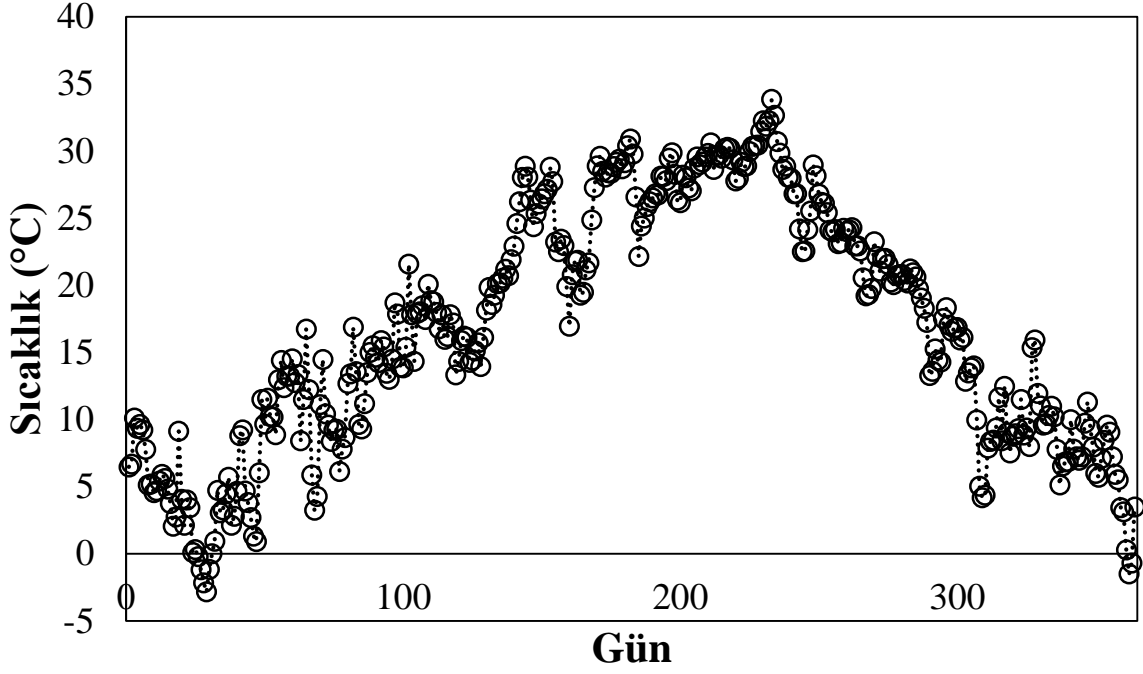


Şekil 4.1. Manisa Gördes ilçesinin harita üzerinde olan konumu (Google Harita)

İstasyon numarası 17186 olan Manisa Gördes ilçesi için Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 2014 yılı için aşağıdaki saatlik ortalama alınan veriler elde edilmiştir:

- Sıcaklık değerleri ($^{\circ}\text{C}$)
- Basınç değeri (mbar)
- Güneş radyasyonu (cal/cm^2)
- Rüzgar hızı (km/s)
- Rüzgar yönü

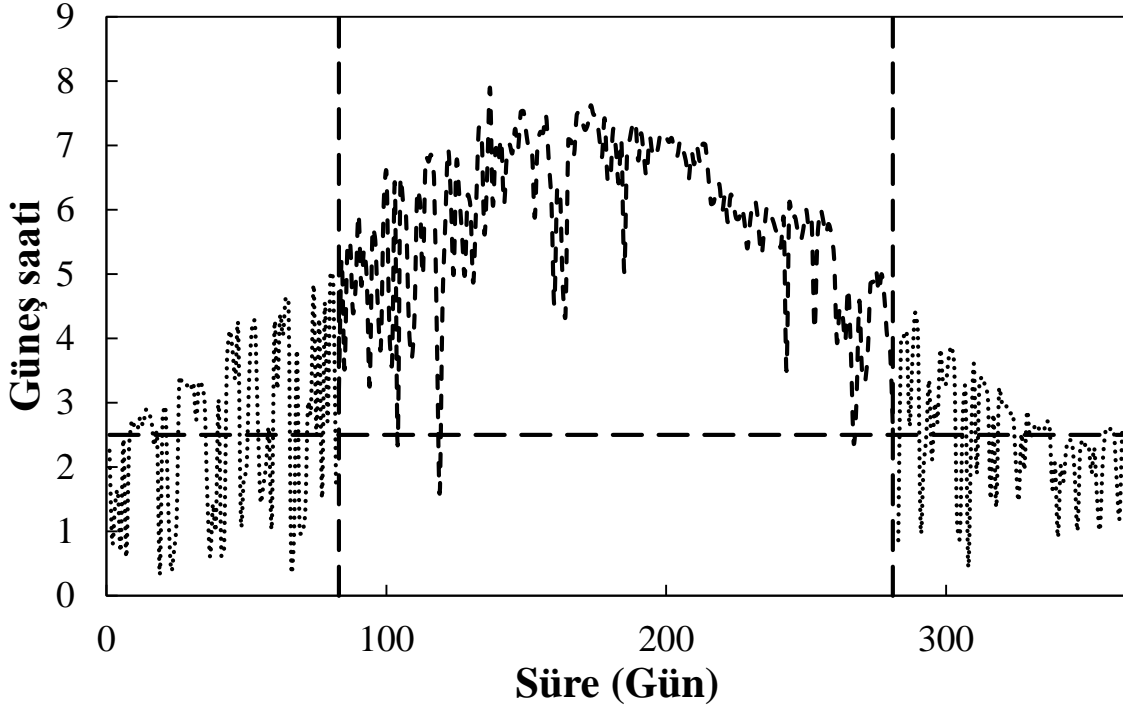
Hava sıcaklığı her üç farklı sistem için en önemli faktörlerdendir. Fotovoltaik panellerin elektrik üretim verimi gelen güneş radyasyonunun panel üzerinde sıcaklık artışına sebep olmasından dolayı düşüş gösterir. Düşük ortam sıcaklığı ve yüksek rüzgar hızları panelin soğumasına katkı sağlayarak verimini artırır. Şekil 4.2’de 2014 yılı boyunca elde edilen günlük ortalama sıcaklık değeri verilmiştir.



Şekil 4.2. 2014 yılı Manisa Gördes günlük ortalama hava sıcaklığı

Güneş radyasyonu meteoroloji verilerinde **cal/cm²** birimiyle verilmektedir. Bu değer bir saat süresi içerisinde birim alana düşen güneş enerji miktarını göstermektedir.

Kolektör hesaplamaları için bu değerler bir saat göz önüne alınarak W/m² birimine çevrilmiştir. Diğer taraftan güneşten gelen radyasyon genellikle **güneş saati** birimiyle ifade edilir. Bir güneş saati 1000 W/m² olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.3'te 2014 yılı için günlük ortalama radyasyon değerleri sunulmuştur.



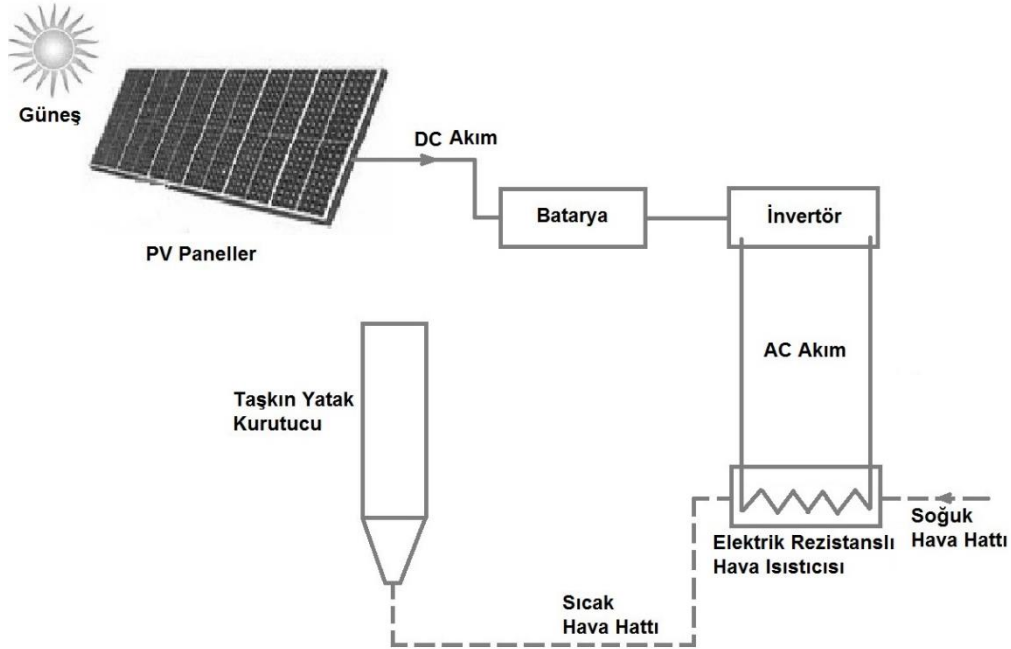
Şekil 4.3. 2014 yılı Manisa Gördes günlük ortalama güneş radyasyonu (Basınç değerleri, rüzgar hızı ve yönü özellikle parabolik oluk ve hava kolektörlerinde ortama olan ısı kaybını etkilerler. Yüksek rüzgar hızları ısı taşınım ısı kaybını artırır).

Aşağıda sunulan kısımlarda fotovoltaik, parabolik oluk sistemi ve düzlemsel hava kolektörü sistemlerinin tasarım detayları sunulmuştur. Bu tasarım hesaplamalarındaki temel amaç günlük 1000 kg kurutma kapasitesine sahip bir kurutucunun enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli sistem boyutlarının belirlenmesidir. Laboratuvar deneylerinde elde edilen sonuçlar ışığında enerji yükü olarak 40°C hava sıcaklığında elde edilen 2.74 kWh/100 kg katı kabul edilmiştir. Bu deneyler giriş hava sıcaklığının 25°C olduğu durumda elde edilmiştir.

4.2. Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik enerji dönüşümü güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjiye dönüştürerek, birçok farklı uygulama alanlarında kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Oldukça temiz bir enerji dönüşümü olmasının yanı sıra şebekeden uzak herhangi bir noktada tek

başına kurularak elektrik enerji üretebilmesi en önemli avantajlarından. Fotovoltaik hücrelerde oluşan elektron akımını güç üretimi amacıyla kullanmak için bir sistemin oluşturulması gerekir. Bu sistem temel olarak güneş hücrelerinden, mekanik ve elektrik bağlantılardan, üretilen elektriğin depolanması gereksinimi durumunda bataryadan, alternatif güç ihtiyacı koşulunda ise invertörden oluşmaktadır [46-48]. Kurutma uygulaması için düşünülen fotovoltaik panel sistemi, kurutma havasının sıcaklığını gerekli seviyeye kadar yükseltilmesi için tasarlanmıştır. Fotovoltaik sistemi ve sıcak hava hatları şekil 4.4’de sunulmuştur. Görüldüğü üzere elde edilen elektrik gücü bataryalarda depolandıktan sonra, invertörde alternatif akıma dönüşerek ısıtıcıları beslemektedir. Isıtıcılara giren havanın neminin yaklaşık $\phi = \%5$ değerine kadar düşürülmesi gerekmektedir.



Şekil 4.4. Fotovoltaik sistemi ve sıcak hava hatları

Laboratuvarda yapılan deneylerde olduğu gibi ortamdan alınan hava nem alıcı filtre üzerinde geçerek nem içeriği düşürüldükten sonra elektrikli ısıtıcıdan geçerek sıcaklığı kurutma sıcaklığına (40 °C) yükseltilecektir. Elektrik ısıtıcılar temiz çalışma, kısa sürede

havayı ısıtma ve sıcaklığı hassas biçimde kontrol edebilme avantajlarına sahipler. Bu uygulamada ve Manisa Gördes bölgesinin meteorolojik verileri dikkate alınarak, tasarlanan fotovoltaik sisteminin çalışmasına yönelik yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

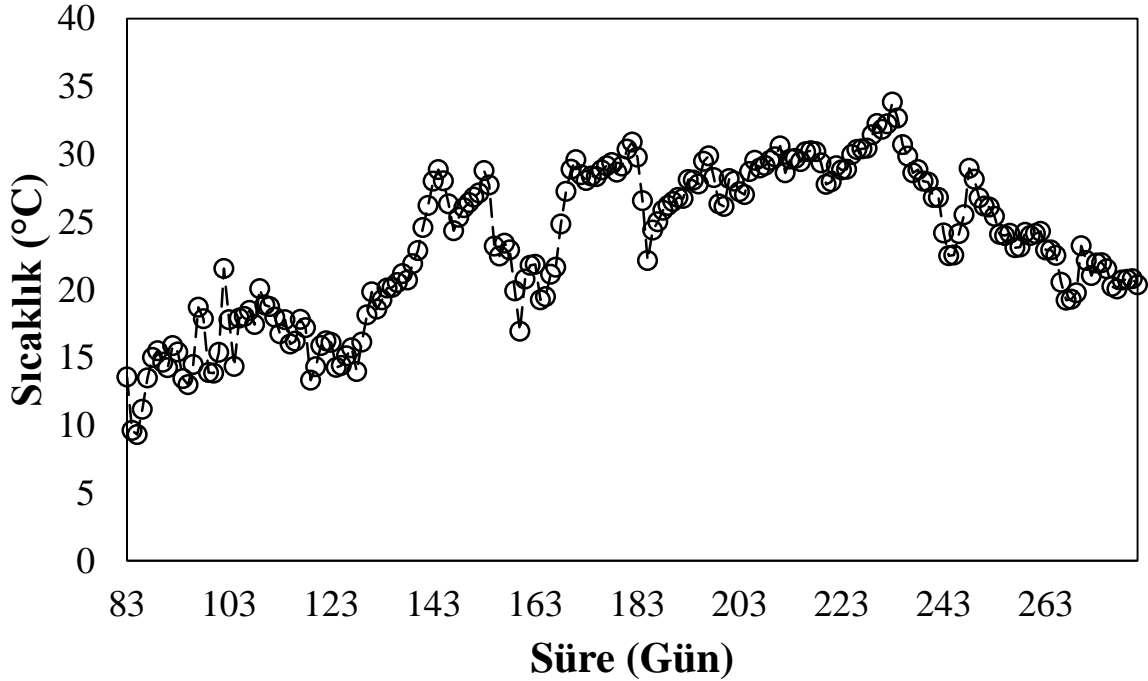
1. Sistemin ekonomik çalışabilmesi, madenin yaz aylarında yoğun olarak çalışması ve bazı günlerde (kış aylarında) çok düşük güneş radyasyonu olması yüzünden, sistem tasarımı için günlük güneş saati en az 2.5 saat olarak kabul edilmiştir.
2. Elektrik ihtiyacı günlük olarak üretilip ve sistem kapasitesi en fazla bir gün için yeterli olacak şekilde hesaplanmıştır. Batarya kapasitesi ise günlük gereken enerjiyi depolayacak şekilde kabul edilmiştir.
3. Kurutma havasının sıcaklığını arttırmak için, AC güçle çalışan rezistans ısıtıcılar kullanılmaktadır, bu sebepten dolayı sistemde invertör kullanılması gerekmektedir.
4. Fotovoltaik güneş modüller için ticari bir ürün olan Simens M55 modeli seçilmiş ve hesaplamalar bu modelin verilerini kullanarak yapılmıştır.

4.2.1. Sistem Tasarımı

Şekil 4.3'te yıl boyunca günlük ortalama güneşlenme saati gösterilmektedir. Kış aylarında güneşlenmenin düşük olması nedeniyle güneş saati 1-2 saat arasında değişim göstermektedir. Sistemin günlük olarak tasarlanmasından dolayı, günlük gelen toplam radyasyonun enerji ihtiyacı için yeterli olması gerekir.

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı, çalışması gereken zaman aralığında en düşük radyasyon olan günün üzerinden yapılır. Zeolit madeni yıl içinde 6 aylık süre boyunca çalışacağından sistem kapasite hesaplarında kullanılacak minimum güneş saati değerinin güneş radyasyonu verileri üzerinden belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.3'te sunulan verilen değerler göz önüne alındığında 2.5 saati değeri madenin çalışacağı 6 aylık süre için uygun görünmektedir.

Gün boyunca kurutma prosesi için sabit sıcaklıkta havanın beslenilmesi gerekmektedir. Giriş hava sıcaklığı her gün farklı saatler boyunca değişim göstermektedir. Bu yüzden ısıtma yükü giriş hava sıcaklığına göre değişim gösterir. Meteorolojiden alınan ortalama hava sıcaklıkları (minimum güneş saati 2.5 değerinin üstünde olan günlerin ortalama değerleri) incelendiği zaman 6 aylık çalışma süresince hava sıcaklığının yaklaşık 20 derece değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.5). Soğuk hava ve sıcak hava sıcaklık farkının en yüksek olduğu günlerde, sistemin yeterli güç üretebilmesi için en düşük hava sıcaklığı sıcaklık (10°C) panel hesaplamaları için baz alınmıştır ve ısıtma yükü hesaplamasında sıcaklık farkı ($\Delta T=40-10^{\circ}\text{C}$) 30 derece olarak kabul edilmiştir. Bu sıcaklık farkı ısıtma yükünü arttırır. Böylelikle toplam ısıtma yükü 55kWh olarak hesaplanır.



Şekil 4.5. 2014 yılı Manisa Gördes günlük ortalama hava sıcaklığı (6 aylık süre boyunca)

4.2.2. Panel Sayısının Hesaplanması

Fotovoltaik teknolojisi günümüzde yeterince ticarileşmiş ve farklı üreticiler birçok farklı özelliklerde çalışan modüller sunmaktadırlar. Proje kapsamında kullanılmak için farklı

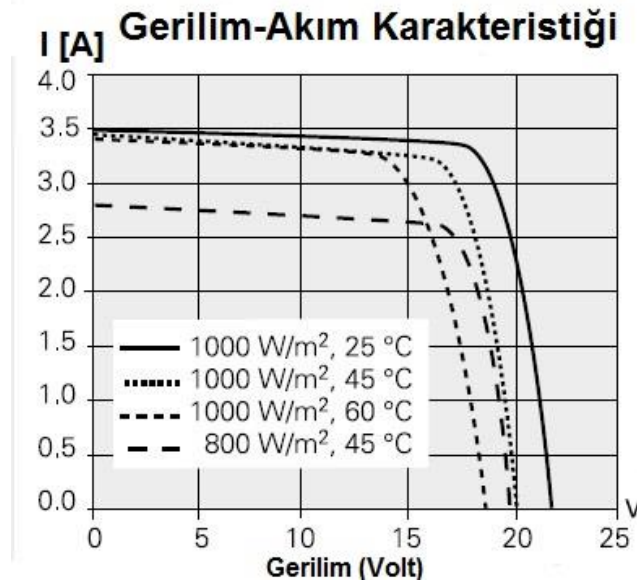
modeller göz önüne alınmış ve Siemens SM55 güneş modülü tasarım için uygun görülmüştür. Şekil 4.6'da ve Çizelge 4.1'de seçilmiş olan güneş modülünün özellikleri verilmektedir.

Seçilmiş olan panel için en önemli performans değeri olan maksimum güç 55 W'dır. Bu değere karşılık gelen maksimum gerilim ise 17.4 volt olarak verilmiştir. Şekil 4.6'da modül sıcaklığı ve radyasyon değerlerinin güç eğrisi üzerinde olan etkileri gösterilmektedir.

Yapılacak olan hesaplamalar güneş saati üzerinden yapıldığı için 1000 W sabit olarak alınmıştır; diğer taraftan ortalama sıcaklıklara baktığımız zaman Manisa Gördes koşullarında modül sıcaklığının standart test koşulundan (25 °C) çok farklı olmadığı ve en fazla 30 dereceye yükselebileceği öngörülebilir.

Çizelge 4.1. Siemens SM55 fotovoltaik modülün özellikleri

Elektrik Parametreler	Değer
Maksimum Güç	55 W
Akım	17.4 A



Şekil 4.6. Siemens SM55 güneş modülünün özellikleri [EK-B]

Modül hesaplamalarında invertör verimi %90 ve ısıtıcı verimi ise %75 olarak alınmıştır². Bu iki verim değerinin etkisi günlük kurutulması gereken yük için uygulandığı zaman toplam gereken güç miktarı aşağıda verilmiştir.

$$Toplam\ güç = \frac{55}{(0.9 * 0.75)} = 81.5\ kWh$$

Yapılan hesaplamaların akışı ve elde edilen değerler aşağıdaki Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu hesaplama yukarıda bahsedilen koşullar üzerine ve günlük enerji ihtiyacını karşılamak üzere yapılmıştır. Ortam hava sıcaklığının etkisi, sıcaklığının ciddi şekilde değişim göstermemesinden dolayı hesaba katılmamıştır.

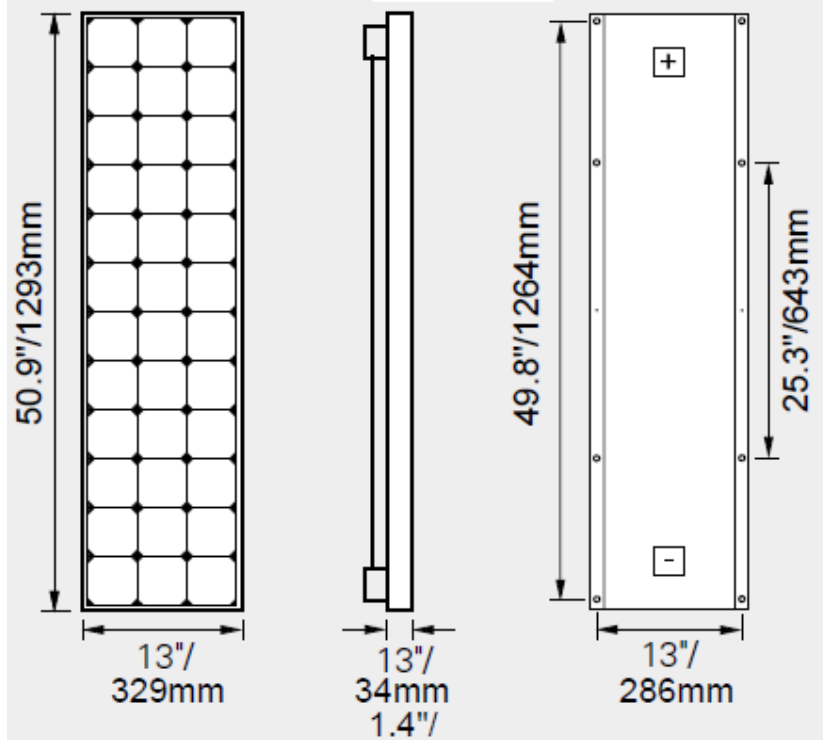
Çizelge 4.2. Fotovoltaik modül sayısını hesaplama akışı

C1- Günlük Toplam Güç Gereksinimi (Kurutma Gücü)	81.5	kWh
C2- Batarya Verimi	0.8	
Bu değer 0.7 ve 0.85 aralarında değişmektedir, batarya modeline göre		
C3 Günlük Panellerden Çıkan Güç Miktarı (C3=C1/C2)	101.875	kWh
Bataryanın verimini dikkate alarak hesaplanmaktadır		
C4- STC koşullarında Maksimum Gerilim	14.79	V
C5- Garantili Güç Çıkışı	90%	
	49.5	W
Üretici kataloğundan elde edilmektedir		
C6- Optimum Eğilim Açısında Güneş Saati	2.5	
C7- Her Modülün Günlük Çıkış Gücü (C5*C6)	123.75	W
C8- Ortam Hava Sıcaklığında Panelin Çıkış Gücü	123.75	W
C9- Gereken Toplam Modül Sayısı	823.2323	824
C10- Her Dizi için Gereken Modül Sayısı	1.622718	2
Bataryaların Bus Gerilim Değerini Modül Gerilim Değerine Bölerek Elde Edilir		

² Son teknolojiler ile üretilen invertörlerin verimleri oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır yalnız bağlantı kayıpları ve uzun süre çalışmadan sonra verimin düşmesini dikkate aldığımız zaman %90 değeri uygun bir değer olarak kabul edilmiştir.

C11- Paralel Modül Sayısı	412	Dizi
Günlük Toplam Enerjini Karşılama İçin Toplam Enerji Miktarı		
C12- Alınması Gereken Toplam Modül Sayısı (C10*C11)	824	Adet
C13- Nominal PV Çıkış Gücü	55	W
Üreticinin Verdiği Değer		
C14- Nominal panellerin Çıkış Gücü	45320	W

Toplam olarak seçilen fotovoltaik modülünden 824 adet gerekmektedir. Batarya şarjı için gereken gerilimini sağlayabilmesi için ikişer olarak paralel şeklinde bağlanması gerekmektedir. Şekil ..'de modülün ölçüleri verilmiştir, bu değerler üzerinden 412 modül toplamda 176.8 m² alanı kaplamaktadır.

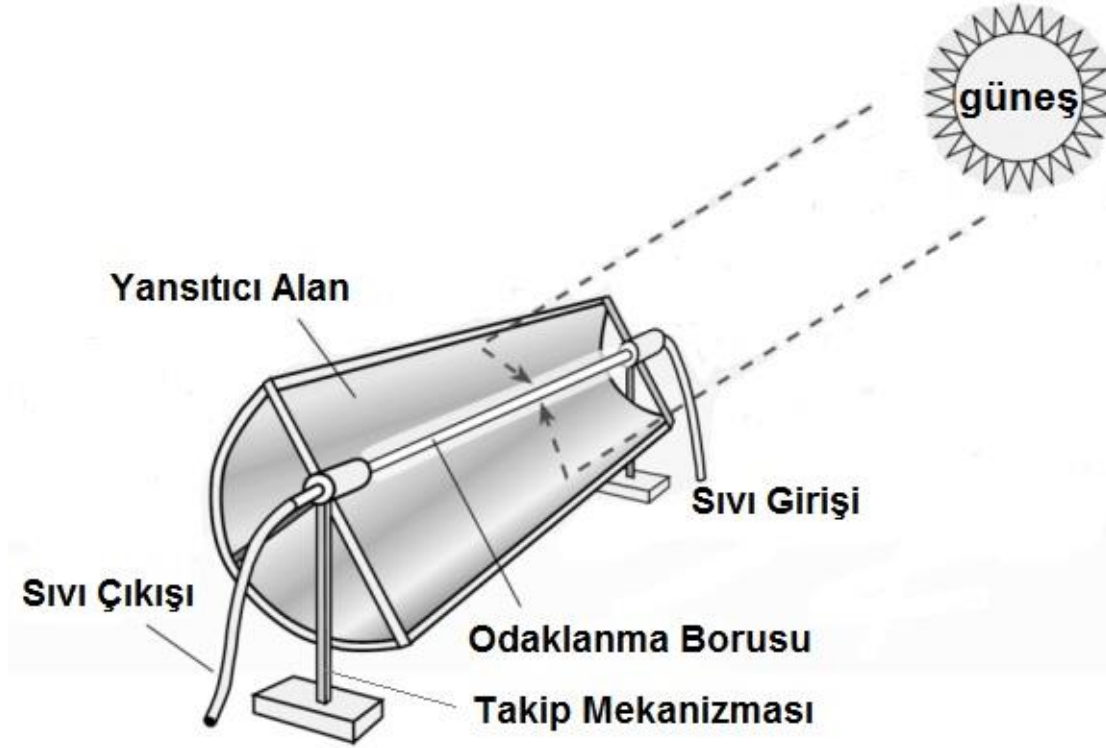


Şekil 4.7. Siemens SM55 güneş modülünün ölçüleri

4.3. Parabolik Oluk Sistemi:

Endüstriyel uygulamalarda bazen yüksek sıcaklıklarda sıvının kullanılması gerekmektedir. Konsantre kolektörler güneşten gelen ışınları odaklanma alanı üzerine yoğunlaştırdıkları için bu alan üzerinde yüksek miktarda enerjini toplanmasına neden

olurlar. Bu tip güneş kolektörleri genellikle çanak, oluk ve merkez alıcı türlerden (kule) oluşmaktadır [52-54]. Genellikle termal enerjiyi tek noktaya odaklayarak, odaklandığı yeri yüksek sıcaklıklara kadar yükseltme kapasitesine sahiptirler. Odaklanma noktasında bir sıvı akışı sağlanması durumunda, sıvının sıcaklığı artırılıp, sıcaklık aralığına göre endüstriyel işlemlerde ve elektrik üretiminde kullanılabilir. Şekil.4.8.'de parabolik oluk kolektörün şematiği ve bileşenleri gösterilmektedir. Parabolün merkezinden geçen borun güneşten gelen ışınlar göre, yüksek sıcaklıklara ulaşması mümkündür. Borunun içinde sağlanan sıvı akışı odaklanan enerjinin sıvıya aktarılmasını ve bu sıvının farklı uygulama alanlarında kullanılmasını sağlar.



Şekil 4.8. Parabolik Oluk Kolektörün Birleşenleri ve Şematiği [55]

Kurutma işlemi için gereken hava sıcaklığının düşük olmasından dolayı, sıcak havanın elde edilmesi için parabolik oluk kolektörleri alternatif bir sistem olarak analiz edilmiştir. Ayrıca parabolik oluklar yapım ve çalışma bakımından diğer türlere göre daha pratik olmasından dolayı tercih edilebilirler. Bu kolektörün kullanılması sonucunda, yüksek sıcaklıkta sıvı elde edilecektir; dolayısıyla sıvının taşıdığı termal enerji eşanjör

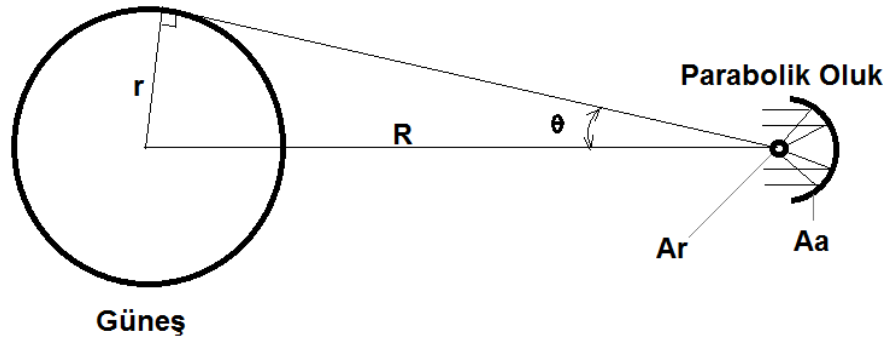
kullanarak havaya aktarılıp, havanın sıcaklığı kurutma sıcaklığına yükseltilebilir. Hava sıcaklığının 40 °C'ye yükseltilmesi yeterli olduğundan dolayı bu kolektör türünün alan ve uzunluk açısından avantaj sağlayabileceği beklenebilir.

4.3.1. Odaklanma Karakteristiği:

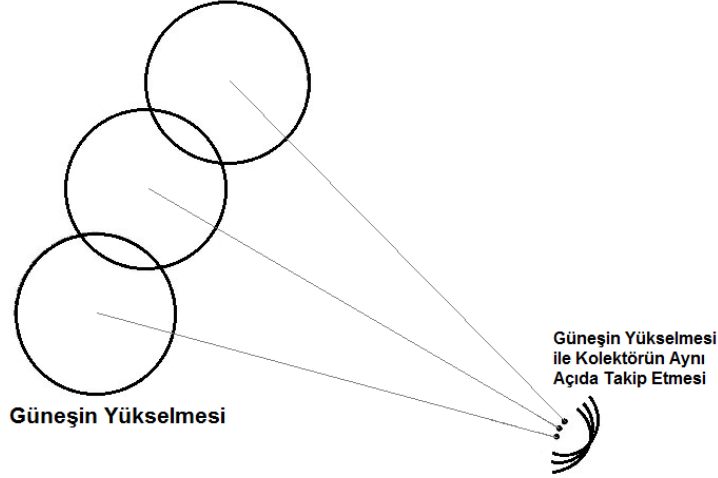
Genelde bu kolektörlerde gelen ışınım orta kısımdaki boru üzerine odaklanmaktadır³. Borunun içinden geçen sıvı kolektör çıkışında aynı fazda veya faz değiştirerek çıkabilir. Tasarlanacak sistemde kullanılacak sıvı hafif yağ olarak seçilmiştir.

Şekil 5'te güneş ve kolektör arasında olan geometri verilmiştir. Parabolik oluk kolektörlerinde en önemli optik kavramlardan biri odaklanma oranıdır. Güneş çapının kolektör çapına göre çok büyük olması yüzünden gelen radyasyon direk bir şekilde oluk üzerine düşmektedir. Güneş ile yer merkezi arasında olan açı $\theta = 0.27$ derecedir [51].

Bu tip kolektörler güneşten gelen dik radyasyonları odaklamak için tasarlanmıştır. Bu nedenle güneş yüksekliği açısına göre gün içinde takip sistemlerin kullanılması gereklidir. Şekil 4.9'da gün boyunca güneşin yükselmesi ile kolektörün nasıl hareket ettiğini gösterilmektedir. Takip mekanizması devamlı bir şekilde veya belli süre aralıklarında mekanik bir sistem veya manuel olarak yapılabilir.



³ Boru genelde yüksek sıcaklığa dayanıklı (paslanmaz çelik) malzemeden imal edilir. Borunun etrafı ısı kaybını azaltmak için cam boru ile kapatılıp ve aradaki boşluk vakum hale getirilir.



Şekil 4.9. Güneş ve kolektör arasında olan geometri ve takip gereksinimi [51]

4.3.2. Sistem Tasarımı:

Diğer güneş kolektörlerinde olduğu gibi, kolektörün verimi sistem tasarımı için en önemli parametredir. Fotovoltaik panellerde gelen radyasyonun bir kısmı panellin verimine göre elektrik enerjisine dönüşmektedir. Parabolik oluklu sistemde ise gelen ışınlar odaklanma karakteristiğine daha küçük bir alan üzerine yoğunlaşır ve odaklanan enerjinin bir kısmı, kolektör ve ortam hava arasında olan sıcaklık farkından dolayı dışarıya aktarılır. Bu kısım kayıp enerji olarak değerlendirilir. Gereken kolektör uzunluğunu belirlemek için aşağıdaki üç aşama izlenmiştir:

1. Günlük gelen güneş ışınım değerleri ve kolektörün tasarımından yola çıkarak, boyutlara göre odaklanma oranının göz önüne alınmasıyla birim uzunluk başına merkez boru üzerine gelen toplam enerji miktarının hesaplanması,
2. Kolektörden gerçekleşen ısı enerjisi kaybının hesaplanması,
3. Toplam odaklanan enerji miktarından kayıp enerji değerini çıkartarak, net enerji değerinin ve borunun içinden geçen sıvının sıcaklık artışının hesaplanması.

Konsantre panellerin performansını belirleyen en önemli faktörlerden biri odaklanma oranıdır. Odaklanma oranı alan odaklanma ve akı odaklanma değerleri olarak da

tanımlanmaktadır. Alan odaklama oranı, oluk alanının alıcı boru alanına göre alan orandan ibarettir.

Alan odaklanma oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir [51]:

$$C = A_a/A_r = R^2/r^2 = 1/\sin^2 \theta \quad (4.1)$$

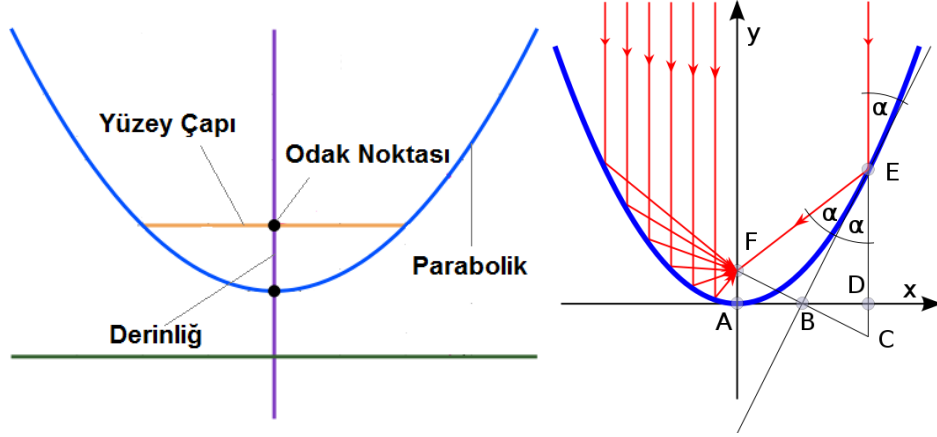
Yukardaki eşitlik dairesel bir odaklanmayı dikkate alarak yazılmıştır, fakat parabolik oluk için aşağıdaki biçimde yazılır:

$$C = A_a/A_r = R/r = 1/\sin \theta = 1/\sin(0.27) = 212 \quad (4.2)$$

Yukardaki hesaplama göre gelen ışınım en fazla 212 katına kadar yükseltmesine imkan vardır. Yalnız farklı tasarımlarda, kolektör malzemesi ve hava koşullarında bu değer değişim gösterebilmektedir. Proje için parabolik oluk kolektör tipi düşük sıcaklık gereksiniminden dolayı yeterli görünmüştür. Gölgelememiş bir kolektör için odaklanan toplam enerji miktarı (S) aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır [51]:

$$S = I_b \rho (\gamma \tau \alpha)_n K_{\gamma \tau \alpha} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte I_b direk radyasyon değeri (W/m^2), ρ odaklama katsayısı, γ , τ ve α üç doğrultuda olan açı faktörleri, $K_{\gamma \tau \alpha}$ ise gelen güneş radyasyonu faktörü olarak tanımlanmaktadır. Genellikle γ değeri için 0.9 ve üzeri değerler kabul edilmektedir (Referans) Geometrik özellikleri dikkate alarak, odak noktasının genişliği hesaplamak, yoğunlaşacak olan güneş enerjisini hesaplamak için gereklidir. İlk aşamada kolektörün parabolik oluk yüzey çapı (a) ve derinliğini (f) uygulama koşullarına göre belirlemek gerekir. Şekil 4.10'da parabolüğün geometrik özellikleri ve üzerine düşen ışınımın nasıl odak noktasına yansıdığı görülmektedir [51].

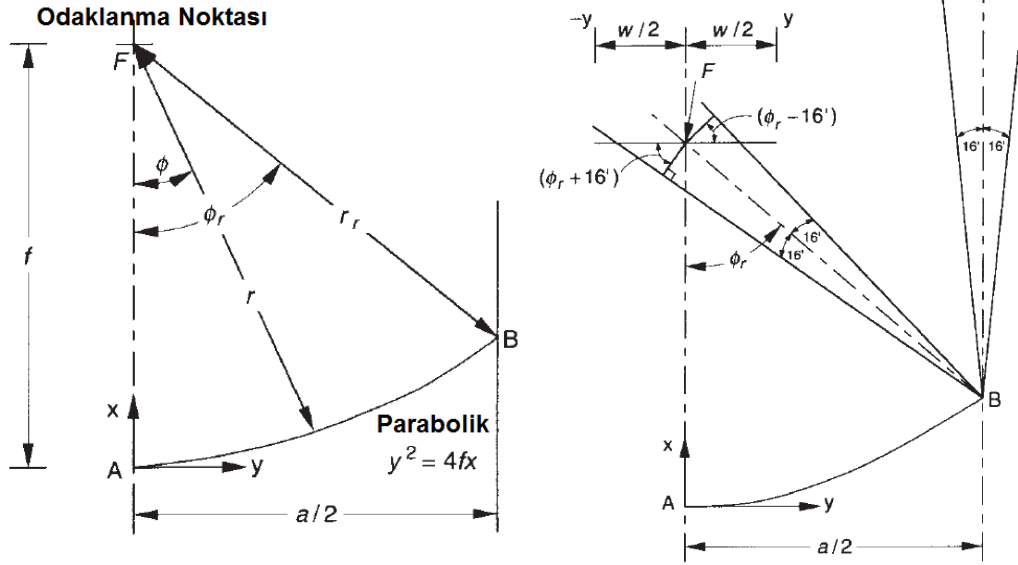


Şekil 4.10. Parabolik oluk, geometrik özellikler ve yansıtma [55]

Devamında kolektör ölçülerini dikkate alarak oluk eğilim açısı ve yansıtma genişliğinin hesaplanması gerekmektedir. Parabolik bir eğrinin denklemi aşağıdaki bağıntıyla gösterilebilir:

$$y^2 = 4fx \quad (4.4)$$

Şekil 4.11'de parabolik oluğun geometrik ölçüleri ve gerçekte gelen ışınımın odaklanma noktasına nasıl yansıdığı gösterilmektedir. Gerçek ışınım belli açıyla oluğun üzerine düşülmektedir, bu yüzden odaklan ışınım tek nokta şeklinde çıkıp ve odak noktasında belli bir alanı kaplamaktadır. Şekilde görüldüğü üzere bu alan W olarak isimlendirilmiştir; böylelikle bu değer hesaplanması odak noktasında yerleşecek borunun çapını belirlemek için gereklidir [55].

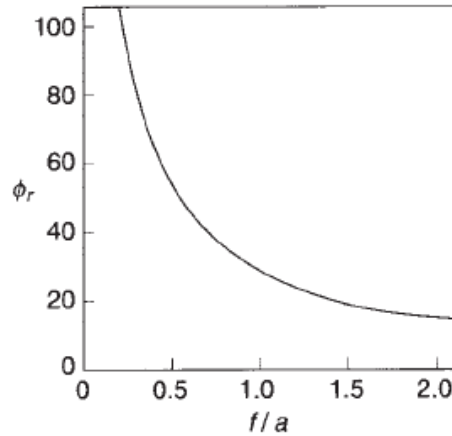


Şekil 4.11. Parabolik eğrinin özellikleri ve gelen ışınımın yansıma açısı [51]

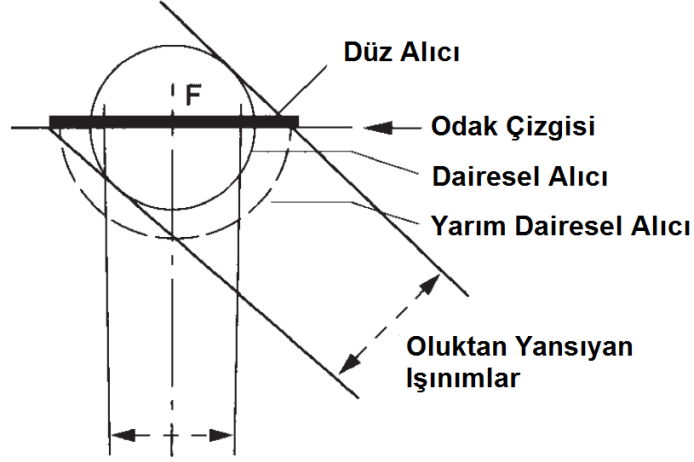
Parabolik eğilim açısını hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır [51]:

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[\frac{8(f/a)}{8(f/a)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left(\frac{a}{2r_r} \right) \quad (4.5)$$

Odaklanma genişliği (borunun çapının belirleyen faktör) parabolik açısı artışıyla artış göstermektedir, bu yüzden daha derin çanak daha az odaklanma genişliği anlamına gelmektedir. Bu açının yüzey çapıyla olan ilişkisi şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.13'de ise farklı odak alıcı tipleri üzerinde olan odaklanma genişliği gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Parabolik eğilim açısının yüzey çapı ve derinliği olana ilişkisi [51].



Şekil 4.13. Odak noktası üzerine olan yansıma genişliğe (farklı alıcı tipleri gösterilmiştir) [51].

Teorik olarak eğer gelen ışınımın hepsi dik şekilde oluk üzerine düşerse odaklanan ışınım tek bir noktaya yoğunlaşır, yalnız gerçek ışınım 0.27 derece açı ile oluk üzerine düşmektedir ki bu yüzden odaklanan ışınım belli bir alanı kapatmaktadır. Bunun yanı sıra oluk eğilim açısı da belirleyici faktörlerdendir. Orta kısımdaki borunun üzerine yansıyan bütün ışınımın temas etmesi için çapının hesaplanması lazım. Borunun çapı aşağıdaki formülden elde edilmektedir [51].

$$D = 2r_r \sin 0.267 = \frac{a \sin 0.267}{\sin \phi_r} \quad (4.6)$$

Optik tasarım tamamlandıktan sonra, odaklanan enerji miktarı hesaplanır. Bu hesaplamada ideal bir şekilde gelen ışınımın gün boyunca dikey olarak inmesi kabul edilmiştir

İkinci aşamada ısı kayıplarını belirlemek gerekmektedir. Isı kayıplarının hesaplanması neticesinde boru içerisinde olan sıvının sıcaklık artışını hesaplamak için önemli bir aşamadır. Isı kayıpları iki tür ısı transferi modunda gerçekleşmektedir. Boru genelde cam kaplamayla kaplandığı için cam borudan konveksiyon ve radyasyon şeklinde

gerçekleşen ısı transfer miktarını belirlemek gerekir. Konveksiyon ısı transferi için kolektör üzerinden geçen havanın hızı ve sıcaklığı en önemli iki faktördür. Bu değerler meteoroloji verilerinden saatlik ortalama değerler olarak mevcuttur. Radyasyon ısı transferi için ise cam borunun sıcaklığı ve gökyüzü sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Gökyüzü sıcaklığı tanım olarak genellikle 1-2°C olarak kabul edilir [51].

Daha önce anlatıldığı gibi odak alıcısı cam boru ile kapatılır. Yüksek sıcaklıklara yükselmesi nedeniyle, borudan dışarıya radyasyonla ısı kaybı gerçekleşir. Radyasyon ısı kaybı hesaplamalarında yüzey sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Yalnız cam borunun sıcaklığı birçok faktörden etkilendiği için sıcaklığı hassas bir şekilde belirlenmesi mümkün değildir. Isı kaybı hesaplamaları için ilk aşamada, literatürde bulunan araştırmalara dayanarak takribi olarak bir sıcaklık kabul edilir ve hesaplama sonucunda ne kadar geçek değere yakın olup olmadığı incelenir. Gerçek değer elde edilene kadar hesaplama tekrarlanır.

Konveksiyon ve radyasyon kayıpları aşağıdaki eşitlikleri kullanarak hesaplanır [51]:

$$Q_{kayıp} = \frac{2\pi k_{eff} L}{\ln(D_{ci}/D_r)} (T_r - T_{ci}) + \frac{\pi D_r L \sigma (T_r^4 - T_{ci}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \left(\frac{D_r}{D_{ci}}\right)} \quad (4.7)$$

$$Q_{kayıp} = \frac{2\pi k_c L (T_{ci} - T_{co})}{\ln(D_{co}/D_{ci})} \quad (4.8)$$

$$Q_{kayıp} = \pi D_{co} L h_w (T_{co} - T_a) + \varepsilon_c \pi D_{co} L \sigma (T_{co}^4 - T_{sky}^4) \quad (4.9)$$

Yukarıda verilen denklemlerde L kolektör uzunluğunu, T_r kolektör boru sıcaklığını, T_{ci} cam kaplayıcının iç sıcaklığını, T_{co} cam kaplayıcının dış sıcaklığını, T_a dış sıcaklığı ve T_{sky} gökyüzü sıcaklığını, D_{co} cam borunun dış çapı, D_{ci} cam borunun iç çapı, ε emissivite (ε_c cam borunun ve ε_r oluk yüzey emisivitesi) ve σ ise Stefan-Boltzman sabitini göstermektedir. k_c ve k_{eff}^4 cam borunun iletim katsayısı ve dış havayla olan efektif iletim katsayılarıdır (efektif iletim katsayısı metal boru, cam boru ve metal boru

⁴ Düşük hava hızlarında sıfır olarak alınır.

arasında olan boşluk ve cam borunun toplam iletim katsayısı olarak tanımlanmaktadır). Bunların dışında h_w ise dışarıda olan hava ile boru arasında taşınım katsayısıdır. Bu katsayı Reynolds sayısına göre farklı empirikal denklemlerden hesaplanır. Yukarıdaki denklemlerde verilen bütün değişkenlerin değerleri ilgili hesaplamalardan veya panel etrafında olan hava koşullarından elde edilmektedir; sadece gelen radyasyona göre ortadaki borunun sıcaklığı değişmektedir. Hesaplamalarda kullanılan değerler Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Hesaplamalarda kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değer
f	4.5
a	5
f/a	0.9
ϕ_r	31°
ρ	0.85
T_{co}	290 °C
T_{sky}	2 °C
T_a	10 °C
k_c	0.2046 (KJ/Kg.°K)
D_r	4 mm
Re	16261
Nu	100.8
ε_r	0.31
D_{co}	90 mm
D_r	60 mm
σ	5.67×10^{-8}

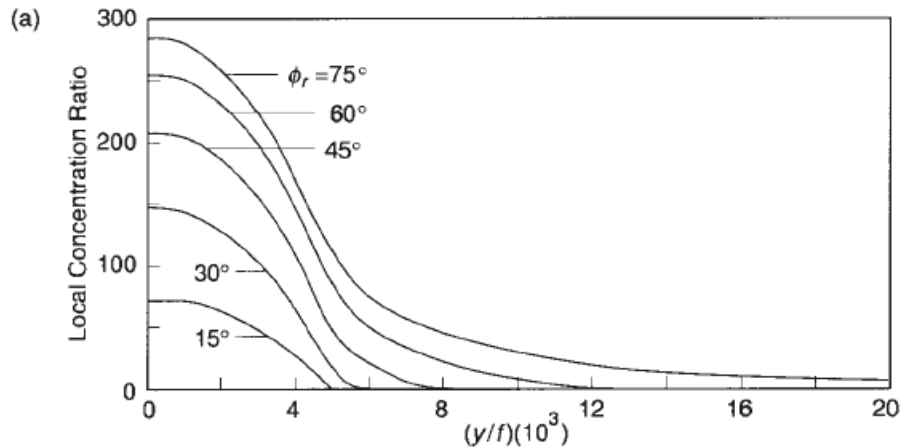
Isı transferi hesaplamaları için, gökyüzü sıcaklığı 1 °C olarak kabul edilmiştir. Panel etrafındaki rüzgâr hızı ortalama 3.2 m/s Reynolds sayısını ve devamında Nu sayısı

hesaplaması için kullanılmaktadır. h_w bulunan Reynolds sayısından yola çıkarak aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir:

$$Nu = 0.3Re^{0.6} \quad 1000 < Re < 50000 \quad (4.10)$$

Mevcut tasarımda yüzey çapı 5 m, oluk derinliği 4 m olarak alınmıştır. Buna karşılık f/s oranı $4/5=0.9$ olarak elde edilmiştir. Bu değeri kullanarak oluk eğilim açısı eşitlik 4.5'ten hesaplanıp, 31 derece olarak hesaplanmıştır.

Bu açığı dikkate aldığımız zaman odaklanma borusu kısmında oluşan güneş resmi genişliği 74 mm olarak elde edilmiştir (Eşitlik 4.6). Ortadaki borunun dış çapı bu değere eşit veya bu değerden küçük olmalıdır. Bir sonraki aşama ortalama radyasyon değerinin belirlenmesidir. Radyasyon verilerinden 380 W/m^2 sistem tasarımı için ortalama değer olarak alınmıştır. Bu değer 6 aylık boyunca günlük gelen radyasyon değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu değer ve boru çapı kullanılarak odaklanma oranı Şekil 9'da mevcut olan çalışmalardan faydalanarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucu yansıyan enerji miktarı 22287 kWh/m^2 olarak bulunmuştur. Borunun çapı dikkate alınarak doğrusal biçimde boru üzerine düşen enerji 1.48 kWh/m olarak elde edilir [51].



Şekil 4.14. Oluk açısına göre odaklanma oranı ve yansıma oranı için kullanılan grafikler [51].

İkinci aşamada ise 4.7- 4.9 no'lu denklemleri kullanarak ısı kaybı hesaplaması yapılmış ve ısı kaybı 179 W/m olarak elde edilmiştir. Böylelikle toplam odaklanan net enerji ise:

$$E_{\text{net}}= 1.48-0.179= 1.3 \text{ kWh/m}$$

olarak elde edilmiştir.

Bu hesaplamalarda gelen güneş ışınımının dik olması kabul edilmiştir. Ayrıca gerçek radyasyon belli bir açıyla düşmekte, bunun yanı sıra takip sistemi hatalarından ve güneş yan açısındandolayı odaklanma oranının daha düşük olması beklenmektedir. Yapılan çalışmalarda bu değer ideal koşulların %65'i kadar olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, net olarak $1.3*0.65=0.84 \text{ kWh/m}$ enerji elde edilebilir [51].

Sistem olarak baktığımız zaman bu kayıplar dışında, sıcak sıvıyı eşanjöre taşıyan borularda ve eşanjördeki kayıpları da dikkate almak gerekmektedir. Bu kayıpların %10 olduğu kabul edilerek net enerji miktarı 0.76 kWh/m olarak hesaplanabilir.

Günlük enerji ihtiyacından yola çıkarak kolektör uzunluğu:

$$\text{kolektör uzunluğu} = \frac{55 \text{ kWh}}{0.76 \text{ kWh/m}} = 72.36 \text{ m} \quad (4.11)$$

olarak belirlenir.

Bu değer 80 m olarak kabul edilirse, toplam 2 adet 40 m uzunluğunda olan parabolik oluk sistemi enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli görünmektedir.

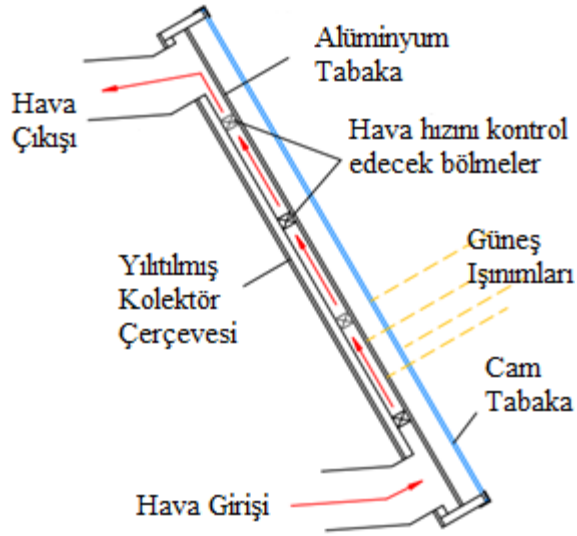
4.4. Sıcak Hava Sistemi:

Güneş hava kolektörleri genellikle iki düz tabakadan ve aralarından geçirilen havanın sıcaklığını artırmak üzere tasarlanan ve yapılan düzenekten ibarettir. Şekil 4.15'de hava kolektörünün şematiği verilmektedir. Üst tabaka genelde alüminyumdan yapılip ve üzerine yerleştirilen cam tabaka hava ışınımının geçişini sağlayarak, aynı anda geri yansıyan ışınımını önlemek için kullanılır. Alt tabaka ve kolektörün etrafı ısı kaybını

düşürmek amacıyla yalıtılmaktadır. Hava geçişi sırasında tamponların kullanılması hava debisini kontrol amaçlı yerleştirilmektedir. Havanın sıcaklığının artarak hafiflemesinden dolayı, giriş hava kolektörün en alt kısmından ve çıkış ise en üst kısımdan yapılmaktadır. Böylelikle pasif bir şekilde havanın dolaşımı sağlanır, yalnız endüstriyel sistemlerinin birçoğunda yeterli olmayıp ve aktif hava dolaşımının yapılması gerekir [59,60].

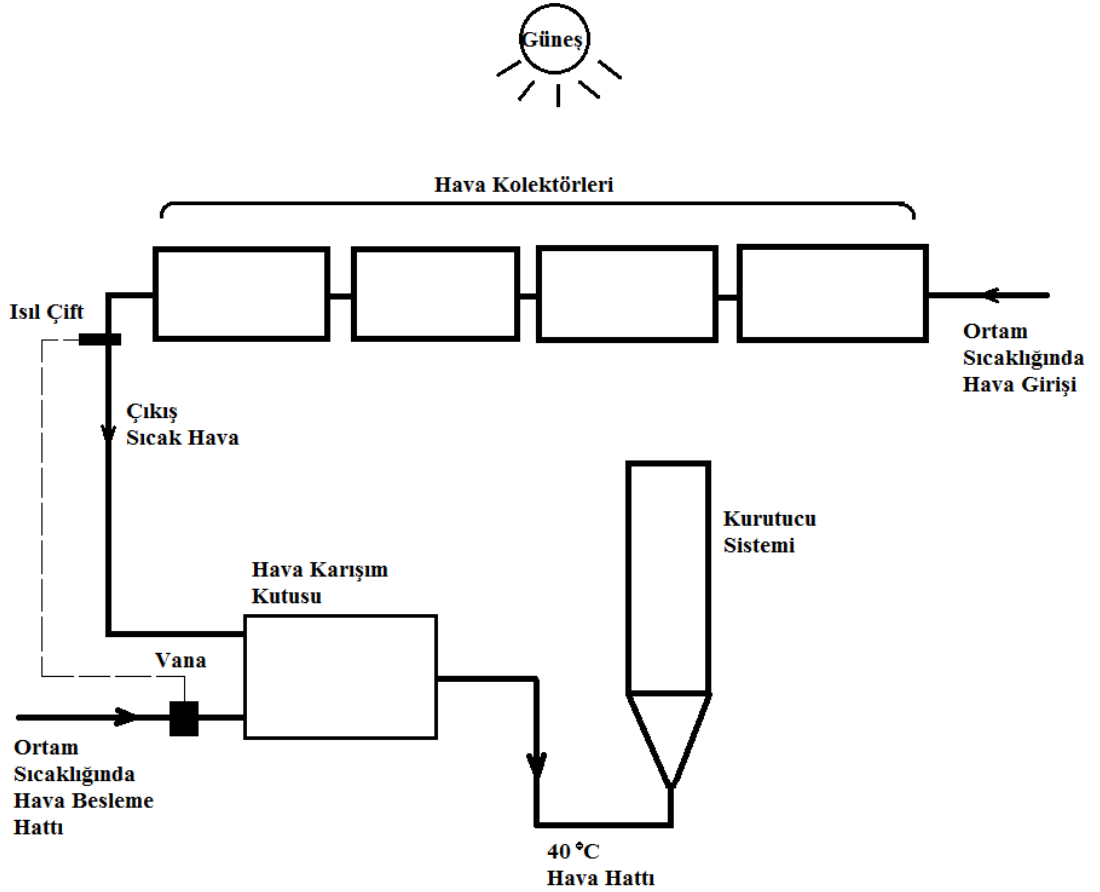
Bu kolektörlerin en belirgin dezavantajlarından biri yüksek sıcaklıklarda sıcak hava elde edilmemesidir. Bundan dolayı maksimum elde edilebilecek hava sıcaklığı doğrudan panelin çalışma koşullarına göre ve kullanılan malzemenin özelliklerine göre değişebilmektedir. Hava dolaşım hızı ve giriş sıcaklığı, elde edilecek hava sıcaklığını etkileyen faktörlerdendir.

Ortamdan alınan havanın kullanılması durumunda, giriş sıcaklığı hava koşullarına göre değişir. Dolayısıyla sistemin kontrollü ve yeterli kapasitede çalışabilmesi için kapasite hesaplamasında giriş hava sıcaklığının önemli bir faktör olarak göz önüne gerekir. Sıcaklığın yanı sıra kullanılan havanın nem içeriğinin de ısı yükünü düşürmek ve kurutma işlemini hızlandırmak amacıyla düşük olması avantaj sağlayabilmektedir [61].



Şekil 4.15. Hava kolektörünün şematiği [61]

Kurutma deneyleri sonucunda 40°C hava sıcaklığı uygun değer olarak kabul edilmiştir. Özellikle Şekil 4.16'da görüldüğü üzere sistemin çalışması gereken 6 ay dönem içinde yaklaşık 3 ay boyunca ortam hava sıcaklığı yaklaşık olarak 25 °C civarında olmasından dolayı, bu aylarda sistemin kolaylıkla çalışması beklenmektedir. En düşük hava sıcaklığı 10 °C olarak görüldüğü için sistem tasarımının bu sıcaklık üzerinden yapılması ve yüksek radyasyon ve sıcaklıklarda hava sıcaklığının farklı yöntemlerle kontrol edilip, 40°C kadar düşürülmesi gerekir. Havanın sıcaklığını düşürmek için en uygun yöntemlerden biri, ortam sıcaklığında bulunan havayı çıkış havası ile karıştırmaktır. Şekil 4.16'dan da görüleceği üzere ısıl çift ve vana kullanılarak çıkış hava sıcaklığı kontrol edilebilir. Günlük bir ton malzemenin kurutulması yüksek hava debisini gerektirdiğinden birden fazla kolektörün seri şekilde kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 4.16. Kurutma sistemi için sabit sıcaklıkta hava besleme sistemi

Yukarıdaki denklemde Q_u kollektör tarafından absorbe edilen enerji, IA_c gelen radyasyonu alana çarparak güneşten gelen toplam enerji miktarı olarak belirlenmektedir.

Q_u aşağıdaki biçimde hesaplanabilir:

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (4.13)$$

T_o kolektörden çıkan havanın ve T_i ise kolektöre giren havanın sıcaklığını göstermektedir.

Yukarıdaki eşitlik havaya aktarılan net enerji miktarını belirlemektedir, yalnız kolektör malzeme ve tasarım özelliklerini dikkate alırsak ısı nakil faktörünü (F_R) hesaplayarak kolektörün gelen radyasyona bağlı olarak alacağı enerji belirlenebilir. Bu faktörün hesaplama akışı kullanılan kaynakta verilmiş (6. bölümde) [51] ve yapılan hesaplamalar sonucunda 0.64 olarak elde edilmiştir.

$$Q_u = A_c F_R [I - U_L(T_i - T_{amb})] \quad (4.14)$$

Sonuç olarak:

$$\eta = F_R - F_R U_L \frac{(T_i - T_{amb})}{I} \quad (4.15)$$

Yukarıdaki formülde F_R ve U_L kolektör tarafından soğrulan enerji ve kayıp enerjisini belirleyen faktörler olarak belirlenmektedirler. U_L kolektörün her tarafından (üst cam, altından ve kenarlarından) iletim, taşınım ve ışıyım ile gerçekleşen ısı kayıpları için efektif ısı transferi katsayısı olarak tanımlanmıştır. T_i kolektöre giren hava sıcaklığı ve T_{amb} ise ortam sıcaklığı olarak belirlenmiştir [63].

Kullanılması planlanan seri kolektör sisteminde ilk kolektörden çıkan hava belli bir sıcaklık artışından sonra ikinci kolektöre girerek hava akışı devam eder. Seri olarak dizilen sistemde kolektörden çıkan hava sıcaklığı aşağıdaki denklemden elde edilir [63]:

$$T_{o,j} = \frac{A_c \cdot F_{R,j} [I - U_{L,j} (T_{in,j} - T_{amb})]}{\dot{m} C_p} + T_{in,j} \quad (4.16)$$

$T_{o,j}$ seri şekilde bağlanan kolektörlerden herhangi birinin çıkış sıcaklığı, $T_{in,j}$ ise bir önceki kolektörün çıkış sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Hesaplamalar için kullanılan değerler Çizelge 4.4 verilmektedir.

Çizelge 4.4. Hava kolektörleri hesaplamaları için kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değer
A_c	8 m ²
F_R	0.68
U_L	7.5 W/m ² .°C
T_{amb}	10°C
I	380 W/m ²
\dot{m}	0.578 kg/s
C_p	1.005 J/kg.°C

Kurutma deneyleri için $U_s=8$ ve $U_f=0$ m/s hava hızları durumunda, deneysel sistemin geometrik ölçüleri kullanılarak kütleli akış hızı 0.74 g/s olarak hesaplanmıştır. Bu debi 320 gr malzemenin kurutulması için kullanılmıştır. Endüstriyel ölçekte tasarlanan sistemde günlük bir ton malzemenin kurutulması için yaklaşık 250 kg malzemenin tek bir seferde kurtulması öngörülmüştür. Bu yüzden bu malzemeyi kurutmak için yaklaşık 0.578 kg/s kütleli hava akış hızı gerekmektedir. Böylelikle gerekli güç:

$$\dot{Q} = 0.578 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kg.^{\circ}C} * 30 ^{\circ}C = 17.5 kW$$

olarak hesaplanabilir.

Toplam karşılanması gereken günlük enerji 55 kWh olduğundan dolayı:

$$\text{Gereken Çalışma Süresi} = \frac{55 \text{ kWh}}{17.5 \text{ kW}} = 3.14 \text{ h}$$

sistemin 3.14 saat çalışması durumunda bir ton malzemenin kurtulması gerçekleşir. Yalnız bu süre net kurutma süresi ve bunun yanı sıra yatağın doldurulması ve boşaltılması için zaman gerekir. Isı kaybını dikkate alarak, formül'de kolektör alanını 8 m² kabul edersek toplamda 5 tane hava kolektörü sistemin çalışması için yeterli görünür. İlk kolektörden çıkan hava ikinci ve sırasıyla diğer kolektörlere girer ki böylelikle 30 derecelik bir sıcaklık artışı sağlanır.

Yukarıdaki hesaplar ışığında tasarlanan güneş enerjili hava kolektörünün alanı 40 m² olarak belirlenmiştir.

Bu bölümde sunulmuş olan tasarım hesaplarının sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.5'te özetlenmiştir. Tablo 4.5'te Manisa Gördes iklim koşullarında çalışan bir güneş enerjili taşkın akışkan yatak zeolit kurutucusunun üç farklı güneş enerjisi sistemine göre gerekli olan kapasitelerini sunmaktadır.

Çizelge 4.5. Farklı sistemler için gerekli kapasiteler

Sistem	Kapasite
Fotovoltaik	824 adet modül, 353.5 m ² 'lik alan kaplayarak
Parabolik Oluk	• 2 adet 5 metre çapında, 4 metre derinliğinde ve 40 metre uzunluğunda
Hava Kolektörü	• 5 adet 8 m ² 'lik Alana sahip kelektör

4.5. Güneş Enerjili Bir Sistem Kullanılması Durumunda Karbon Dioksit Salınımının Azaltılması

Günümüzde enerji ihtiyacının yanı sıra, gelecekte sürdürülebilir bir dünyayı düşünerek çevresel faktörlerin dikkate alınması gerekir. Fosil yakıtların saldığı karbon dioksitin iklim değişikliğine neden olduğu konusunda kuvvetli veriler mevcuttur. Yapılan çalışmanın temel amacı enerji ihtiyacını düşürmek ve ilgili karbon dioksit salınımını azaltmaktır. Bu kısımda güneş enerjili sistem kullanıldığı takdirde karbon dioksit salınımındaki azalma miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama endüstriye bir sistemde kurutma için kullanılan enerjinin doğal gazdan elde edileceği varsayımıyla yapılmıştır.

Türkiye doğal gazı esas olarak Rusya ve İran'dan boru hatlarıyla, Cezayir ve Nijerya'dan sıvılaştırılmış (LNG) olarak deniz yoluyla satın almaktadır. Ayrıca Azerbaycan ve Türkmenistan ile doğal gaz temini için anlaşmalar yapmıştır. Bu gazın özellikleri Çizelge 4.6'da verilmektedir [65].

Çizelge 4.6. Doğal gaz yakıtının bileşenleri

Bileşen	%
Metan (CH ₄)	70-90
Etan (C ₂ H ₆)	5-15
Propan (C ₃ H ₈) ve Bütan (C ₄ H ₁₀)	< 5
CO ₂ , N ₂ , H ₂ S, vb.	geriye kalanı

Bir yaktın yanması sonucunda salınan gazlar direk olarak bileşen maddelerden etkilenmektedir. Farklı bileşenlerin oksidasyonu sayesinde ortaya çıkan farklı zararlı gazlar vardır. Bu gazlardan en önemlileri CO₂, CH₄, N₂O olarak adlandırılır. Karbon salınımı hesaplamalarında genellikle toplam zararlı gazların salınımı karbon dioksit cinsinden sunulmaktadır. Bu gazların küresel ısıtma potansiyeli karbon dioksit eşdeğeri aşağıda verilmiştir:

- CO₂= 1 CO₂ Eşdeğer
- CH₄= 21 CO₂ Eşdeğer
- N₂O= 310 CO₂ Eşdeğer

IPCC⁵ kılavuzu enerji bölümü incelendiği zaman fosil yakıtların yanması kullanım alanlarına göre sabit tesisler ve transport sektörleri olarak sınıflandırılır. Endüstriyel sektörlerde fosil yakıtların yanması sabit tesisler kategorisine dahil olur.

Bir yakıtın yanması nedeniyle salınan gazlar üç yaklaşım dikkate alarak hesaplanır. Bunların birincisi yakıt türüne bağlı olarak uluslararası sabit bir katsayı kullanarak toplam karbon dioksit miktarının elde edilmesidir. İkinci yaklaşım ise ulusal tüketilen yakıtın bileşenleri dikkate alarak hesaplama yapılmasıdır. Üçüncü yaklaşım ise ulusal tüketilen yakıtın yakıldığı işlem ve koşulları inceleyerek salınımların hesaplanmasıdır. Genellikle üçüncü yöntem bazı belirsizlikler ve detaylı bilgiler gerektirdiği için zorluklar içermektedir. Ülkemizde kullanılan yakıtın özellikleri bilindiği için ikinci yöntem uygun görülmüştür.

Farklı şekilde salınan diğer gazlar ise karbon dioksit eşdeğer olarak alınır. Salınan gazları hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır :

$$E_{salınım\ miktarı} = \sum Toplam\ Yakıt\ Tüketimi \times EF$$

Yukarıdaki formülde EF, salınım faktörü olarak tanımlanmaktadır. Salınım faktörü IPCC sabit tesisler kısmından alınmıştır [66]. Günlük 55 kWh enerji ihtiyacını ilk aşamada doğal gaz ile karşılama durumunda - doğal gazın net kalorifik değeri 42 kJ/g kabul edilirse – gereken doğal gaz miktarı 5.89 kg veya 1.25 Nm³ olarak hesaplanır. Doğal gaz yakma sistemi ve hava ısıtma sisteminin%80 verimle çalıştığı düşünülürse, gereken doğal gaz miktarı bu değer göz önüne alındığında 7.37 kg olacaktır. Bu değer üzerinden hesaplanmış günlük karbon dioksit salınımları Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

⁵ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Çizelge 4.7. Günlük yakılan yakıttan salınan eşdeğer CO₂ miktarı (kg CO₂)

Salınan Gaz	kg CO₂	Eşdeğer kg CO₂
CO ₂	1.26	1.26
CH ₄	0.00025	0.00525
N ₂ O	0.00015	0.0046
Toplam Salınan Gaz	Eşdeğer CO ₂	1.26

Çizelge 4.7’de verildiği üzere güneş enerjisinden faydalanılırsa günlük 1.26 kg CO₂ çevreye salınması önlenmiş olur.

5. SONUÇLAR

Kurutucu tasarımımdan önce kurutucu geometrik tasarım ve işletim koşullarının belirlenebilmesi amacıyla tam ve yarım konik taşkın yataklarda soğuk yatak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Soğuk yatak deneylerinin sonuçları ışığında, kurutucu tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda yatak konik açısının (30 ve 60 derece) ve akış borusu boyutunun (çap ve uzunluk) etkisinin yanı sıra taşkın ve akışkan hava hızlarının (U_s ve U_f) yatak içinde basınç düşümüne ve parçacık dolaşımına olan etkisi araştırılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların sonuçları üç ana başlıkta verilmiştir; hidrodinamik sonuçlar, kurutucu sonuçları ve güneş sistemi kapasite hesapları.

Akış borulu taşkın-akışkan yatak hidrodinamik çalışmaları sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 30 ve 60 derecelik akış borulu taşkın-akışkan yataklarda gerçekleştirilen basınç düşümü, minimum kararlı taşkınlaşma hızı ve hızlı kamera ölçümleri, aynı yatak malzemesi ağırlığında 30 ve 60 derecelik yatakların birbirlerine yakın minimum kararlı taşkınlaşma hızına sahip olduklarını göstermiştir. Dolayısıyla iki açıda için kullanılacak olan taşkınlaşma ve akışkanlaşma gaz hızları birbirlerine yakındır. 30 derecelik yatakta, aynı yatak malzemesi ağırlığı kullanıldığı durumda, 60 derecelik yatağa göre kararlı bölge yatak basınç düşümü biraz daha fazladır.
- Akışkanlaşma hızının artırılması, minimum kararlı taşkınlaşma hızını azaltmaktadır. Buna karşın yatak basınç düşümü artmaktadır. Dolayısıyla yatakdaki ölü bölge oluşumunu engelleyecek en düşük akışkanlaşma hızının kullanılması önerilmektedir. Bu hız 4-5 m/s aralığındadır.
- Yukarıdaki genel sonuçların ışığında, 30 ve 60 derecelik açılı yataklar aynı malzeme ağırlığında gaz hızları ve basınç düşümü açısından birbirlerine yakın performans göstermektedir. Buna karşın hızlı kamera ölçümleri ve deneyler sırasında yapılan gözlemler, 30 derecelik açıda hiç bir koşulda ölü bölge oluşmadığını, parçacık hareketinin özellikle halka bölgesinde çok daha hızlı

olduğunu göstermiştir. Bu nedenle akış borulu taşkın-akışkan yatak kurutucu tasarımı için 30 derecelik konik açının kullanılmasına karar verilmiştir.

Kurutma deneyleri üç ayrı sıcaklıkta (40°C, 60°C ve 90°C), farklı taşkınlaşma ve akışkanlaşma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ana sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Tüm çalışma koşullarında yatak içerisinde homojene yakın bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Yatak içi aksel sıcaklık dağılımlarına bakıldığında sıcaklığın, akış borusuna yakın kısımda yatak yüksekliği boyunca belirgin miktarda değişmediği, radyal değişimlere bakıldığında ise, konik duvara yaklaştıkça sıcaklığın son derece az miktarda arttığı görülmektedir. Bu sonuç, taşkın-akışkan yatak sisteminin önemli bir avantajını ortaya koymaktadır. Yatak içerisinde homojen bir kurutma ortamı sağlanmıştır.
- Giriş sıcaklığının artırılması tüm işletim koşullarında kuruma süresini beklenildiği gibi azaltmıştır. En düşük kuruma süreleri 90°C'de elde edilmiştir.
- Yatak hem taşkın yatak ve hem de taşkın-akışkan yatak olarak çalıştırıldığında gaz giriş sıcaklığı fark etmeksizin, taşkınlaşma hava hızı artırıldığında kuruma süresinin önemli ölçüde düştüğü görülmüştür. Kurumanın büyük bir kısmının gerçekleştiği deneylerin ilk 20-30 dakikasında taşkınlaşma hızı arttıkça kuruma hızının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle jet rejime yakın işletim koşullarında en düşük kuruma süreleri elde edilmiştir.
- Sabit taşkınlaşma hızında, akışkanlaşma hızının artırılması kuruma hızını arttırmış, kuruma süresini düşürmüştür.
- Toplam hava debisi sabit tutularak, akışkanlaşma havasının etkisi incelendiğinde, akışkanlaşma havasının artırılmasıyla kurutma sürelerinde belirgin bir azalma elde edilmemiştir.
- Kurutma enerji ihtiyacını belirleyen en önemli faktörler olan kurutma havası debisi ve sıcaklığı ve kurutma zamanı bir arada ele alındığında, 40°C'de en düşük enerji gereksinimi değerleri elde edilmiştir. Kurutma süresini en aza

indiren 90°C kurutma sıcaklığının enerji ihtiyacı açısından tüm koşullar için en maaliyetli sıcaklık olduğu görülmüştür. Toplam hava debisi sabit tutularak akışkanlaşma havasının etkisi incelendiğinde, test edilen tüm sıcaklıklarda akışkanlaşma havasının kullanılmadığı durumlar enerji ihtiyacının en düşük olduğu işletim koşulları olarak ortaya çıkmıştır. Tüm deney koşulları içerisinde minimum enerji gereksinimi 8 m/s taşkınlaşma hava hızında 2.74 kWh/100 kg olarak elde edilmiştir.

Yukarıda sunulan koşul için endüstriyel uygulama göz önüne alınarak Manisa Gördes koşullarında fotovoltaik, parabolik oluk ve sıcak hava kolektörleri için kapasiteler hesaplanmıştır. Tasarım sonuçlarına göre günlük 1 tonluk kurutma kapasitesi göz önüne alındığında;

- 824 adet 353.5 m²'lik fotovoltaik sistem,
- 2 adet 5 metre çapında, 4 metre derinliğinde ve 40 metre uzunluğunda parabolik oluk sistemi,
- 5 adet 8 m²'lik düzlemsel hava kolektörü,

ile kurutma enerjisinin karşılanabileceği gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Basmacıoğlu, H., Ergöl, M. “Yemlerde bulunan toksinler ve kontrol yolları”, *Hayvansal Üretim*, 44, 9-17, **2003**.
- [2] Peraica, M., Domijan, A.M., Jurjevic, Z., Cvjetkovic, B. “Prevention of exposure to mycotoxins from food and feed”, *Arh Hig Rada Toksikol*, 53, 229-237, **2002**.
- [3] Egrikiliç, D. Yeme eklenerek kullanılan zeolit (Klinoptilolit)'in, *Aeromonas Hydrophila* ile enfekte edilmiş *Tilapia (Oreochromis niloticus)*'ların kan parametreleri üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, **2009**.
- [4] Sabuncuoğlu, S.A., Baydar, T., Giray, B., Şahin, G. “Mikotoksinler: Toksik etkileri, degradasyonları, oluşumlarının önlenmesi ve zararlı etkilerinin azaltılması”, *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 28, 63-92, **2008**.
- [5] Yurtoğlu, A. Türk Klinoptilolitlerinin Minerolojik Özelliklerinin İyon Değişimi Yöntemiyle Amonyum Giderim Kapasitesi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **2007**.
- [6] Sutanto, W, Epstein, N, Grace, JR., *Hydrodynamics of Spout-Fluid Beds*, *Powder Technology.*, 44, 205-212, **1985**.
- [7] Law, C.L., Mujumdar, A.S. *Handbook of Industrial Drying*, (3. Basım)., Boca Raton: CRC Press, **2007**.
- [8] He, Y.L., Lim, C.J., Grace, J.R. “Spouted bed and Spout-Fluid Bed Behavior in a Column of diameter 0.91 m”, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 848-857, **1992**.

- [9] Epstein, N., Grace, J.R. Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications, (1. Basım)., Cambridge: Cambridge University Press, **2011**.
- [10] Chatterjee, A. "Spout Fluid Bed Technique", *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 9 1970 340-341, **1970**.
- [11] Sutanto. W. Hydrodynamics of spout-fluid beds, Yüksek Lisans Tezi, Univ. of British Columbia, Vancouver, Kanada, **1983**.
- [12] Chandnani, P.P. Gas Spouting of Fine Particles, Yüksek Lisans Tezi, The University of British Columbia, Vancouver, Kanada, **1984**.
- [13] Cunha, R.L., Maialle, K.G., Menegalli, F.C. "Evaluation of the Drying Process in Spouted Bed and Spout Fluidized Bed of Xanthan Gum: Focus on Product Quality", *Powder Technology*, 107, 234-242, **2000**.
- [14] Osorio-Reville, G., Elias-Serrano, R., Gallardo-Velazquez, T. "Simultaneous Drying and Cleaning of Guava Seeds in a Spout-Fluid Bed with Draft Tube", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 82, 148-153, **2004a**.
- [15] Geldart, D. "Types of gas fluidization", *Powder Technology*, 7, 285-292, **1973**.
- [16] Altzibar, H., Lopez, G., Alvarez, S., José, M.J.S., Barona, A., Olazar, M. "A Draft-Tube Conical Spouted Bed for Drying Fine Particles", *Drying Technology*, 26, 308-314, **2008**.
- [17] Xu, J., J. Tang, W. Wei and X. Bao. "Minimum Spouting Velocity in a Spout-Fluid Bed with a Draft Tube," *Can. J. Chem. Eng.*, 87(2), 274–278, **2009**.
- [18] Xu, Ru R, Zi Gao, and Yan Xu. Progress in Zeolite Science: A China Perspective. World Scientific, **1995**.

- [19] ÖCAL, CİHAN. "Drying of Natural Zeolite Powders in Vibrated Fluidized Beds." MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY, **2013**.
- [20] Ito, Seiya, Hongyu Huang, Fujio Watanabe, Haoran Yuan, Masanobu Hasatani, and Noriyuki Kobayashi. "Heat Transfer During Microwave-Assisted Desorption of Water Vapor from Zeolite Packed Bed." *Drying Technology* 30, no. 15 1707-13, **2012**.
- [21] Ekechukwu, OV, and B Norton. "Review of Solar-Energy Drying Systems Iii: Low Temperature Air-Heating Solar Collectors for Crop Drying Applications." *Energy Conversion and Management* 40, no. 6 657-67, **1999**.
- [22] VijayaVenkataRaman, S, S Iniyan, and Ranko Goic. "A Review of Solar Drying Technologies." *Renewable and sustainable energy reviews* 16, no. 5 2652-70, **2012**.
- [23] Chua, KJ, and SK Chou. "Low-Cost Drying Methods for Developing Countries." *Trends in Food Science & Technology* 14, no. 12 519-28, **2003**.
- [24] Pirasteh, G, R Saidur, SMA Rahman, and NA Rahim. "A Review on Development of Solar Drying Applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31 133-48, **2014**.
- [25] Yetgin, S. Investigation of fuel oxygenate adsorption of clinoptilolite rich natural zeolite, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, **2006**.
- [26] Mumpton, F.A. "La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry", *A.B.D: Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96, 3463-3470, **1999**.

- [27] Vukovic, D.V., Hadzismajlovic, D.E., Grbavcic, Z.B. "Flow Regimes for Spout Fluidized Beds", *Can. J. Chem. Eng.*, 62, 825-829, **1984**.
- [28] He, Y.L. Spouted Bed and Spout-Fluid Bed Hydrodynamics in a 0.91 m Diameter Vessel, Yüksek Lisans Tezi, The University of British Columbia, Vancouver, Kanada, **1990**.
- [29] Pianarosa, D.L., Freiatas, L.A.P., Lim, C.J., Grace, J.R. "Voidage and Particle Velocity Profiles in a Spout-Fluid Bed", *Can. J. Chem. Eng.*, 78, 132-142, **2000**.
- [30] Shuhama, I.K., Aguiar, M.L., Oliveira, W.P., Freitas, L.A.P. "Experimental Production of Annatto Powders in Spouted Bed Dryer", *Journal of Food Engineering*, 59, 93-97, **2003**.
- [31] Osorio-Revilla, G., Elias-Serrano, R., Gallardo-Velazquez, T. "Drying of Liquid Feedstocks in a Spout-Fluid-Bed with Draft-Tube Submerged in Inert Solids : Hydrodynamics and Drying Performance", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 82, 142-147, **2004b**.
- [32] Zielinska, M., Markowski, M. "Drying Behavior of Carrots Dried in A Spout-Fluidized Bed Dryer", *Drying Technology*, 25, 261-270, **2007**.
- [33] Povrenovic, D.S., Dimitrijevic-Brankovic, S. "Drying of Biological Materials in a Spout-Fluid Bed with a Draft Tube", *Hemijaska Industrija*, 56, 141-146, **2002**.
- [34] Cunha, R.L., Cruz, A.G., Menegalli, F.C. "Effects of Operating Conditions on the Quality Of Mango Pulp Dried in a Spout Fluidized Bed", *Drying Technology*, 24, 423-432, **2006**.
- [35] Zielinska, M., Markowski, M. "Air Drying Characteristics and Moisture Diffusivity of Carrots", *Chemical Engineering And Processing*, 49, 212-218, **2010**.

- [36] Altzibar, H., Lopez, G., Olazar, M., Bilbao, J. "Effect of Temperature on Fine Particle Drying in a Draft-Tube Conical Spouted Bed", *Chemical Engineering and Technology*, 34, 1130-1135, **2011**.
- [37] San Jose, M.J., Alvarez, S., Salazar, A.O., Olazar, M., Bilbao, J. "Operating Conditions of Conical Spouted Beds with a Draft Tube. Effect of the Diameter of the Draft Tube and of the Height of Entrainment Zone", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46, 2877-2884, **2007**.
- [38] Mekhilef, S, R Saidur, and A Safari. "A Review on Solar Energy Use in Industries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, no. 4 1777-90, **2011**.
- [39] Kalogirou S. The potential of solar industrial process heat applications. *Applied Energy*;76(December (4)):337–61, **2003**.
- [40] Sahin, Serpil, Gulum Sumnu, and Ferihan Tunaboyu. "Usage of Solar-Assisted Spouted Bed Drier in Drying of Pea." *Food and Bioproducts Processing* 91, no. 3 271-78, **2013**.
- [41] Tufan, Ö.E. Ion exchange properties of Gördes clinoptilolite, Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, **2002**.
- [42] Güvenir, Ö. Synthesis and characterization of clinoptilolite, Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, **2005**.
- [43] Inglezakis, V.J., Pouloupoulos, S.G. Adsorption, Ion Exchange and Catalysis, Design of Operations and Environmental Applications, Elsevier The Netherlands, **2006**.

- [44] Niebuhr, D. 2005. Sympatec GmbH. <http://sympatec.com/images/Software/QpGallery01.pdf>. Son erişim tarihi: 8/21/2015
- [45] Gördes, <https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6rdes> (Aralık,2015)
- [46] Messenger, Roger A, and Jerry Ventre. Photovoltaic Systems Engineering. CRC press, **2010**.
- [47] Lorenzo, Eduardo. Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic Systems. Earthscan/James & James, **1994**.
- [48] Preiser, Klaus. "Photovoltaic Systems." Handbook of photovoltaic science and engineering 753-98, **2003**.
- [49] Buresch, Matthew. "Photovoltaic Energy Systems: Design and Installation." **1983**.
- [50] Boxwell, Michael. Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy: How to Design and Install Photovoltaic Solar Electric Systems. *Greenstream Publishing*, **2012**.
- [51] Duffie, John A, and William A Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. Vol. 3: Wiley New York etc., **1980**.
- [52] Price, Hank, Eckhard Lupfert, David Kearney, Eduardo Zarza, Gilbert Cohen, Randy Gee, and Rod Mahoney. "Advances in Parabolic Trough Solar Power Technology." *Journal of solar energy engineering* 124, no. 2 109-25, **2002**.

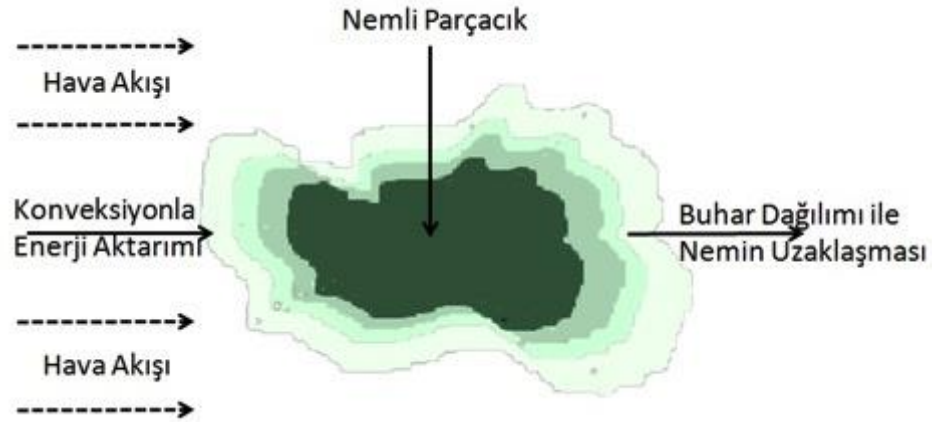
- [53] Fernandez-Garcia, A, E Zarza, La Valenzuela, and M Pérez. "Parabolic-Trough Solar Collectors and Their Applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, no. 7 1695-721, **2010**.
- [54] Forristall, Russell. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. National Renewable Energy Laboratory, **2003**.
- [55] Parabolik oluk , <http://www.limitsizenerji.com/haberler/makaleler/1107-parabolik-oluk-kollektorler>, (Aralık 2015).
- [56] Parabola, <https://en.wikipedia.org/wiki/Parabola>, (Aralık 2015).
- [57] White, Frank M. "Fluid Mechanics." McGraw-Hill, New York, **2003**.
- [58] Holman, JP. "Heat Transfer, " Mc Gran–Hill Book Company, Soythern Methodist University **1986**.
- [59] Karim, MA, and MiNAr Hawlader. "Development of Solar Air Collectors for Drying Applications." *Energy conversion and management* 45, no. 3 329-44, **2004**.
- [60] Deschenes, D, and E Misrahi. "Solar Air Collector." **1981**.
- [61] Kalogirou, Soteris A. "Solar Thermal Collectors and Applications." *Progress in energy and combustion science* 30, no. 3 231-95, **2004**.
- [62] Comparing Solar Air Heater Designs & Performance, <http://stonehavenlife.com/comparing-solar-air-heater-designs-performance/>, (Aralık 2016)

- [63] Kshanaprava Dhalsamant, "Thermal analysis of flat plate solar air collector used for drying agricultural commodities", Proceedings of the 22nd National and 11th International ISHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference December 28-31, IIT Kharagpur, India, **2013**.
- [64] Zelzouli, Khaled, Amenallah Guizani, Ramzi Sebai, and Chakib Kerkeni. "Solar Thermal Systems Performances Versus Flat Plate Solar Collectors Connected in Series." **2012**.
- [65] Doğal gaz, https://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Fal_gaz, (Aralık 2015).
- [66] Change, Intergovernmental Panel On Climate. "2006 Ipcc Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." **2006**.

EK-A

Kurutma Hızı Hesapları için Kullanılan Model

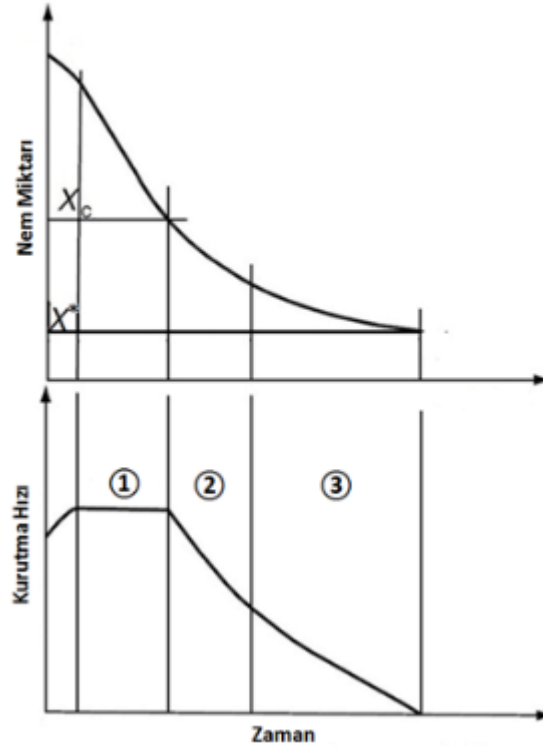
Katı maddelerin taşkın-akışkan yataklı kurutma yöntemi ile kurutulması, eş zamanlı gerçekleştirilen ısı ve kütle transferi ile açıklanabilmektedir. Bu tip bir kurutucuda uygulanan kurutma işlemi, konveksiyonel ısıtma mekanizması sayesinde gerçekleştirilir. Bu sayede, Şekil A.1'de görüldüğü üzere sıcaklık farkının bir neticesi olarak kurutucu havadan nemli parçacığa doğru bir ısı transferi gerçekleşmekte ve aynı anda da nemli parçacıktan kurutucu havaya kütle (su buharı) transferi gerçekleşmektedir. Gerçekleşen kuruma, temel olarak kurutucu gazın nem miktarına, akış hızına ve sıcaklığına bağlıdır.



Şekil A.1. Taşkın-akışkan yataklı kurutucuda aktarım mekanizmaları

Nemli bir katı madde kurutma işlemine tabi tutulduğunda, parçacığın etrafını çeviren kurutucu gazdan gelen ısı aktarımı parçacığın yüzeyindeki nemin oluşturduğu ince bir film içerisinde suyun buharlaşmasına sebep olur. Bu sırada parçacığın iç kısmında yer alan nem de buharlaşma ile aynı hızda yüzeye doğru ilerler. Bu durum aşağıdaki

şekilde 1 numaralı bölge ile gösterilen sabit kurutma hızı sürecinin sonuna kadar aynı şekilde devam eder (Law ve Mujumdar, 2007).



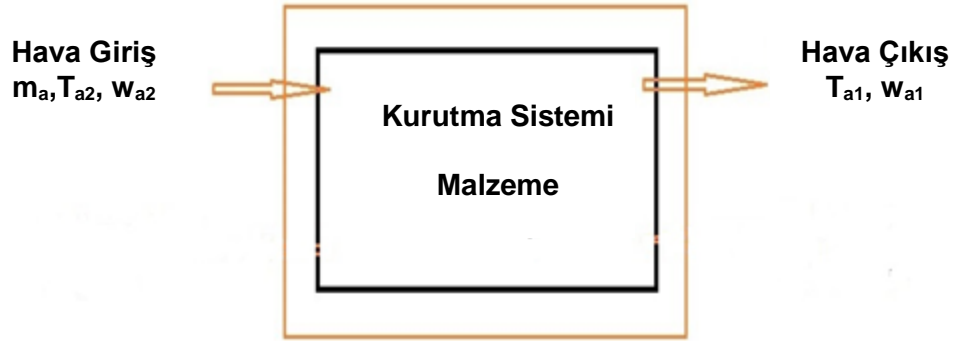
Şekil A.2. Konvektif kurutmada elde edilen karakteristik kuruma eğrileri

Parçacıkların iç gözeneklerinden yüzeye doğru gerçekleşen nem dağılım hızı yüzeyde gerçekleşen buharlaşma hızını karşılayamamaya başladığı takdirde yüzeyde yer alan film tabakası kalınlığında önemli bir düşüş olur. Bu noktadan sonra kurutma devam ettirildiğinde yatak malzemesinin nem içeriği kritik bir değere gelir (X_c) ve daha sonra yüzeyde bazı kuru noktalar oluşmaya başlar. Şekilde yer alan 2 numaralı bölge sonuna kadar bu kuru noktalar gittikçe büyüyerek tüm yüzeyi kaplar ve dolayısıyla yüzey filmi tamamen gözden kaybolur. Bu bölgeden itibaren düşen kuruma hızı süreci başlamış olur. 3 numaralı bölgeye ulaşıldığında ise kurutma tamamıyla nem derişimi gradyanına bağlı olarak, iç kısımlardan yüzeye doğru olan nem dağılım mekanizması sayesinde gerçekleşir. Bu bölge boyunca kuruma hızı gittikçe düşer ve denge nem miktarına (X^*) ulaşıldığı anda kurutma işlemi sona erer (Law ve Mujumdar, 2007; Treybal, 1981; Geankoplis, 1993).

Bu çalışmada kuruma hızının hesaplanmasında, taşkın-akışkan yatak, Şekil A.3'ten görülebileceği gibi kesikli işletilen, sabit basınçta çalışan homojen bir sistem olarak alınmıştır. Sisteme giren ve çıkan hava girişleri göz önüne alındığında sistem içindeki nem oranının zamana bağlı değişimi aşağıdaki denklik kullanılarak hesaplanabilir:

$$-M_s \frac{d\bar{X}}{dt} = \dot{M}_g (Y_{out} - Y_{in}) \quad (A1)$$

Bu denklikte, M_s yataktaki nemli malzemenin kuru kütesini (kg), X yatak içerisinde homojen olan nem içeriğini (kg/kg), \dot{M}_g kurutucu havanın kuru kütle akış hızını (kg/s), Y_{out} ve Y_{in} çıkış ve giriş havasının nemliliğini (kg su buharı/kg kuru hava) temsil etmektedir.



Şekil A.3. Kurutma sistemi

Havanın nemliliği (kg su buharı/kg kuru hava) kurutucu gazın ve su buharının gaz sabitleri (R_g , R_v) ile kısmi buhar basınçları cinsinden şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y = \frac{m_v}{m_g} = \frac{\frac{P_v V}{R_v T}}{\frac{P_g V}{R_g T}} = \frac{R_g}{R_v} \frac{P_v}{P - P_v} \quad (A2)$$

Bu denklikte gerekli olan kısmi buhar basıncı (P_v) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{ws}} \quad (A3)$$

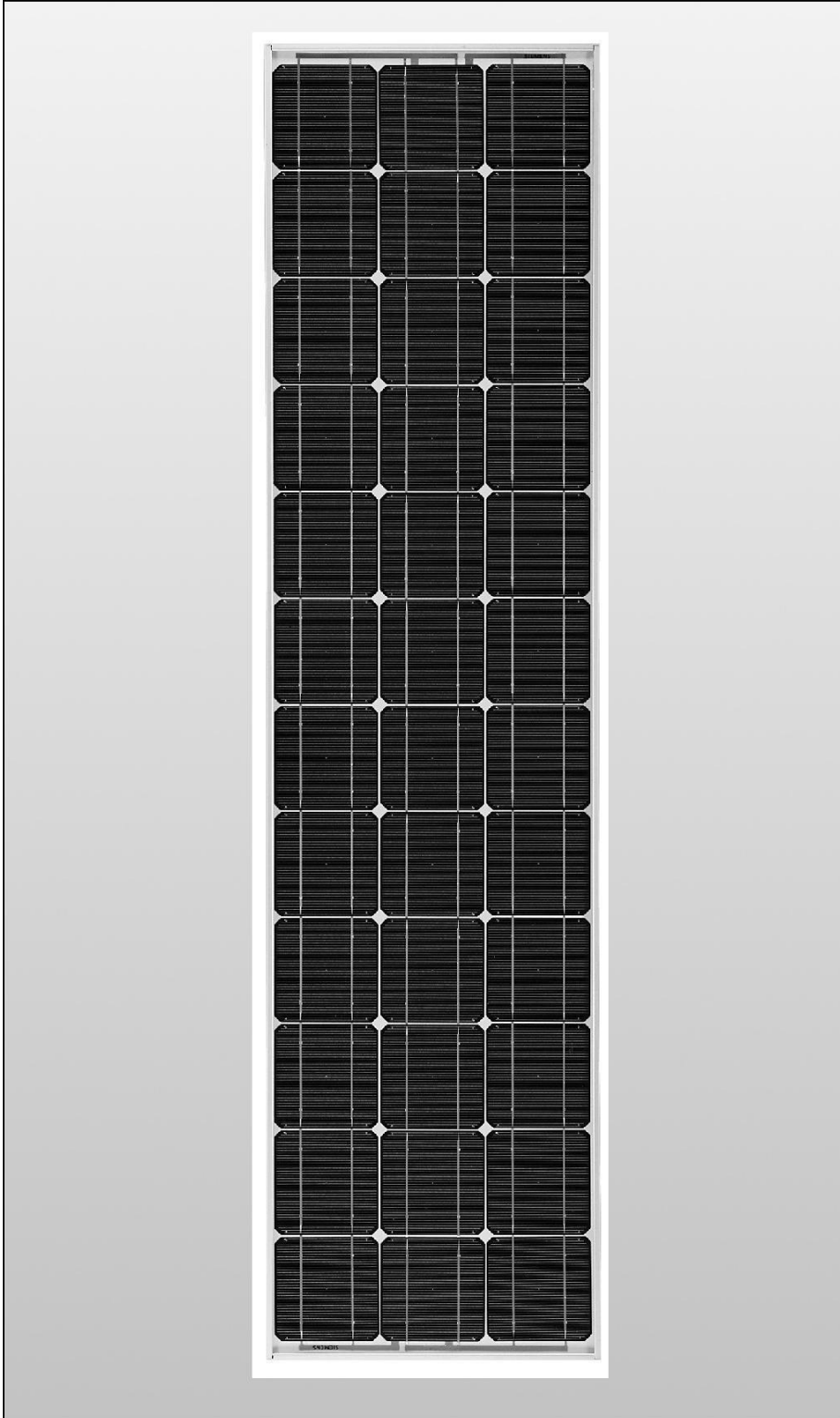
Eşitlikte yer alan φ bağıl nemi, P_v ve P_{ws} ise sırasıyla kısmi buhar basıncı ve doymuş buhar basıncını (Pa) göstermektedir. Bağıl nem, belirli bir sıcaklıktaki gazın kısmi buhar basıncının aynı sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına olan oranıdır. P_{ws} yatak çıkışında sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir:

$$P_{ws} = e^{(77.3450+0.0057 T-7235/T) / T^{8.2}} \quad (A4)$$

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak aşağıdaki prosedür izlenmiş ve hesaplamalar şu şekilde yürütülmüştür:

- Gaz çıkış kanalında anlık (2 saniye aralıklarla) bağıl nem ölçümü yapılarak kaydedilir, $\varphi(t)$.
- Gaz çıkışındaki sıcaklık ölçülür ve gaz giriş sıcaklığından birkaç derece düşük olarak sabit tutulur, T_{out} .
- Ortam sıcaklığı, T , ve basıncı, P , ölçülür.
- Doymuş buhar basıncı, P_{ws} hesaplanır.
- Kısmi buhar basıncı, $P_v(t)$, ve kurutucu gazın nemliliği ($Y(t)$) anlık bağıl neme göre hesaplanır.
- Çıkış nem miktarı hava kütleli debisi ile çarpıldıktan sonra gr su cinsinden elde edilir.
- Her 2 saniye için kütle dengesi yapılarak içerdeki parçacıklarda bulunan nem değeri hesaplanır.
- Bulunan değerler 2 saniye zamana bölerek kurutma hızı elde edilir.

EK-B



When it comes to reliable and environmentally-friendly generation of electricity from sunlight, solar modules from Siemens provide the perfect solution. Manufactured in compliance with the most stringent quality standards, Siemens Solar modules are designed to withstand the toughest environmental conditions and are characterized by their long service life. Siemens Solar modules are covered by a 25-year limited warranty on power output – your guarantee of trouble-free solar power generation.

PowerMax® technology

Siemens' proprietary PowerMax® technology optimizes the energy production of individual cells and solar modules for all types of environmental conditions. PowerMax® process optimization includes a special refining technique for ingots, a clean room semiconductor grade production process, and a multistage proprietary TOPS™ (Texture Optimized Pyramidal Surface) process. The TOPS process incorporates the formation of textured pyramids on the surface of the solar cell. These pyramids are then specially treated to passivate the surface which optimizes the cell's optical properties for maximum absorption of photons from the sun's light. TOPS also maximizes photon absorption from direct and diffused light (typical under cloudy conditions). This means that light absorption is especially high, even at low light levels. Siemens PowerMax® solar cells deliver maximum energy throughout the day.

Solar module

Model:	SM55
Rated power:	55 Watts
Limited Warranty:	25 Years

Certifications and Qualifications

- UL-Listing 1703
- TÜV safety class II
- JPL Specification No. 5101-161
- IEC 61215
- MIL Standard 810
- CE mark
- FM Certification (SM55-J)

Intelligent module design

- All cells are electrically matched to assure the greatest power output possible.
- Ultra-clear tempered glass provides excellent light transmission and protects from wind, hail, and impact.
- Torsion and corrosion resistant anodized aluminum module frame ensures dependable performance, even through harsh weather conditions and in marine environments.
- Built-in bypass diodes (12V configuration) help system performance during partial shading.

High quality

- Every module is subject to final factory review, inspection and testing to assure compliance with electrical, mechanical and visual criteria.
- 36 PowerMax[®] single-crystalline solar cells deliver excellent performance even in reduced-light or poor weather conditions.
- Cell surfaces are treated with the Texture Optimized Pyramidal Surface (TOPS[™]) process to generate more energy from available light.
- Fault tolerant multi-redundant contacts on front and back of each cell provide superior reliability.
- Solar cells are laminated between a multi-layered polymer backsheet and layers of ethylene vinyl acetate (EVA) for environmental protection, moisture resistance, and electrical isolation.
- Durable back sheet provides the module underside with protection from scratching, cuts, breakage, and most environmental conditions.
- Laboratory tested and certified for a wide range of operating conditions.
- Ground continuity of less than 1 ohm for all metallic surfaces.
- Manufactured in ISO 9001 certified facilities to exacting Siemens quality standards.

Easy installation

- Standard ProCharger[™]-S terminal enclosures are designed for trouble-free field wiring and environmental protection. (Modified versions also available, e.g., as SM55-J with the special ProCharger[™]-CR junction boxes.)
- Lightweight aluminum frame and pre-drilled mounting holes for easy installation.
- Modules may be wired together in series or parallel to attain required power levels.

Performance warranty

- 25 Year limited warranty on power output.

Further information on solar products, systems, principles and applications is available in the Siemens Solar product catalog.

Siemens modules are recyclable.

Solar module SM55

Electrical parameters

Maximum power rating P_{max}	[W _p] ¹⁾	55
Rated current I_{MPP}	[A]	3.15
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.4
Short circuit current I_{SC}	[A]	3.45
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.7

Thermal parameters

NOCT ²⁾	[°C]	45 t_2
Temp. coefficient: short-circuit current		1.2mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.77V / °C

Qualification test parameters⁴⁾

Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum permitted system voltage [V]		600 (1000 V per ISPR)
Wind Loading PSF	[N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	12 [5.5]

- 1) Wp (Watt peak) = Peak power (Minimum Wp = 50 Watts)

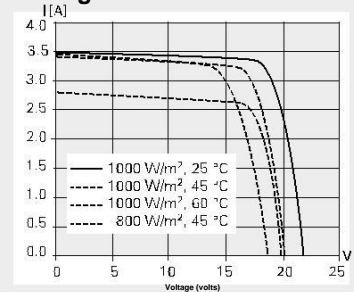
Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C

- 2) Normal Operating Cell Temperature at:

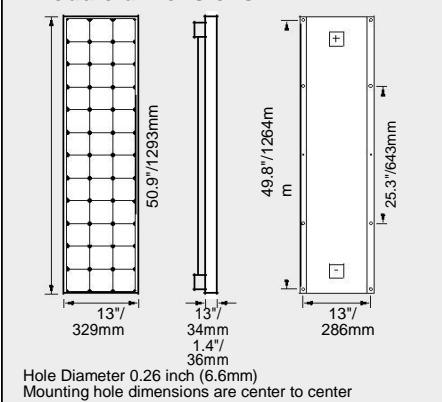
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_a = 20 °C
Wind Speed v_w = 1 m/s

- 3) Diagonal lifting of module plane
- 4) Per IEC 61215 test requirements

Voltage-current characteristic

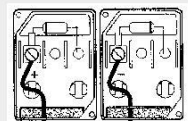


Module dimensions



ProCharger[™]-S Junction-box

Maximum cable diameter: 4mm²
Type of protection: IP44



Your address for photovoltaics from Siemens Solar



© Siemens Solar 1998 Status 11/98 - Subject to modification.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : VAHID NASIRIMAREKANI
Doğum Yeri : KHOY/ IRAN
Medeni Hali : BEKÂR
E-posta : vahidnasiri89@gmail.com
Adresi : Şimşek Sk. No: 20/4, Remzi Oğuz Arık 06680 Çankaya/Ankara

Eğitim

Ön Lisans : Technical Associate Degree in field of Central Heating & Air Conditioning , Technical College, Tehran, Iran
Lisans : Bachelor Degree in field of Mechanical Engineering (Cooling & Heating Utilities Technology), Shahid Rajaei University, Tehran, Iran
Yüksek Lisans :
Doktora :

Yabancı Dil ve Düzeyi

English : TOEFL-ibt: 74
Turkish : Ankara Tömer: 74.75/100
Azari : Ana Dili
Persian : Akıcı
Arabic : Orta Düzey
German : Başlangıç
Spanish : Başlangıç

İş Deneyimi

1. Bursiyer (Ekim 2013-Eylül 2015), Proje Başlığı: Doğal Zeolit Klinoptilolitin Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatakta Kurutulması (Tübitak Destekli)

2. Makine Mühendisi (Ekim 2010 – Aralık 2012), Firma: Arman Joush (HVAC System Design), Khoy, Iran.
3. Makine Teknisiyeni (Haziran 2008 – Eylül 2010), Firma: Yeshil Oba Khoy, Khoy, Iran.

Deneyim Alanları

Business model and plan preparation, Tübitak 2013

Entrepreneur courses organized by Odtu Teknokent (concentrated on preparing the business plan and model) - 2014 for 3 months

International student academic seminars (Human rights, politics and society) – 24 hours, SETA Foundation for Political, Economic and Social Research

Programming of PLC (Programmable Logic Control) controllers for analog and digital applications (2011)

Analyzing and Journalizing course organized by the National Library of Iran (2008- for 4 weeks)

Absorption Chillers Construction and Maintenance (2008- for 2 months)

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Proje Başlığı: Doğal Zeolit Klinoptilolitinin Akış Borulu Taşkın-Akışkan Yatakta Kurutulması (Tübitak Destekli)187193TL

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Drying of the Zeolite Clinoptilolite in draft tube spout-fluid bed, Drying Technology, Hazırlama aşamasında.

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

Nasirimarekani, V., Koksall, M., Karabiyik AG., Kulah, G., "Hydrodynamic Characteristics of Fine Zeolite Particles in a Conical Spout-fluid Bed with a Draft Tube", published at 64th Canadian Chemical Engineering Conference, Niagara Falls, 2014.

Nasirimarekani, V., Koksai, M., Kulah, G., Savari, C., Mostoufi, N., Sotudeh-Gharebagh, R., "Simultaneous Analyses of Pressure, Vibration and Acoustic Signals from a Conical Spouted Bed with High Density Particles", published at 64th Canadian Chemical Engineering Conference, Niagara Falls, 2014.