

**SERA TİPİ BİR KURUTUCUDA TARIMSAL ÜRÜNLERİN
KONVEKTİF ISI TRANSFER KATSAYILARININ
BELİRLENMESİ**

K. Neyfel ÇERÇİ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ebru AKPINAR
OCAK-2015**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERA TİPİ BİR KURUTUCUDA TARIMSAL ÜRÜNLERİN KONVEKTİF ISI
TRANSFER KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kamil Neyfel ÇERÇİ

(111120113)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Ocak 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ebru AKPINAR (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yaşar BİÇER (F.Ü)

Doç. Dr. Hikmet ESEN (F.Ü)



Ocak-2015

ÖNSÖZ

Tez konusunun seçimi ve tezin tamamlanmasındaki katkılarından dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ebru AKPINAR'a, deneylerde yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Çağrı KAYMAK'a, tez aşamasındaki ve düzenindeki desteklerinden dolayı Yrd. Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ'e, Arş. Gör. M. Tahir ERDİNÇ'e ve Arş. Gör. Barış KAVASOĞULLARI'na, düzeneğimin imalatındaki desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI ve Şerif GÖRGÜN olmak üzere atelye personeline teşekkür ederim.

Mühendislik hesapları bir yana, çalışmanın kullanılan gıdalara uygulanabilirliği açısından desteklerini esirgemeyen babam Sayın Prof. Dr. İbrahim Halil ÇERÇİ'ye teşekkür ederim.

Son olarak, manevi desteklerinden ötürü annem Nebihe ÇERÇİ'ye teşekkür ederim.

Kamil Neyfel ÇERÇİ
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. KURUTMA	7
3.1. Nemlilik Ölçüsü.....	7
3.2. Denge Nem İçeriği.....	8
3.3. Tarım Ürünlerinde Kurumanın Oluşum Kuramı Ve Kurumanın Evreleri	9
3.4. İnce Tabaka Kuruma Kuramı	11
3.4.1. Sabit Hızda Kuruma Evresi	12
3.4.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi	15
3.5. Kalın Tabaka Kuruma Kuramı	15
3.6. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler	16
3.7. Kuruma Sırasında Isı ve Kütle Transferi	18
4. KURUTMA SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRMASI.....	20
4.1. Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında Güneş Enerjisinden Yararlanılması.....	21
4.1.1. Güneş Enerjili Doğal Konveksiyonlu Kurutucular	24
4.1.2. Güneş Enerjili Zorlanmış Konveksiyonlu Kurutucular	27
4.2. Güneş Enerjili Kurutucularda Tasarım Değişkenleri	30
5. MATERYAL VE METOT	31
5.1. Materyal.....	31
5.2. Ölçümler	35
5.2.1. Sıcaklık Ölçümü	35
5.2.2. Hız Ölçümü.....	35
5.2.3. Nem Ölçümü.....	35
5.2.4. Ağırlık Tespiti.....	35
5.2.5. Işınım Ölçümü	36
5.3. Metot.....	36
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	40
6.1. Patlıcan Kurutma Deneyleri Sonuçları	40
6.2. Biber Kurutma Deneyleri Sonuçları	43
6.3. Elma Kurutma Deneyleri Sonuçları.....	45
6.4. Havuç Kurutma Deneyleri Sonuçları.....	47
6.5. Üzüm Kurutma Deneyleri Sonuçları	50
6.6. İncir Kurutma Deneyleri Sonuçları	58
7. SONUÇLAR.....	68
8. KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	76

ÖZET

Konvektif ısı transfer katsayısı, hava ve ürün arasındaki sıcaklık farkıyla değişim gösterdiğinden dolayı kurutma hızının belirlenmesinde ve dolayısıyla kurutucu dizaynında önemli bir parametredir.

Bu tezde, küçük ölçekli sera tipi bir kurutucu tasarlanıp, imalatı yapılmıştır. Sera tipi kurutucuda doğal ve zorlanmış taşınım, güneş altında kurutmada ise doğal taşınım, patlıcan, biber, elma, havuç, üzüm, incir gibi tarımsal ürünlerin konvektif ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Konvektif ısı transfer katsayısı, deneysel çalışma sonucu elde edilen değerler ile lineer regresyon analizi yapılarak tespit edilmiştir. Doğal taşınım, direkt güneş altında kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 1.114 ve 3.074 W/m²°C, doğal taşınım, sera içinde kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 1.315 ve 2.592 W/m²°C arasında değişim göstermiştir. Zorlanmış taşınım, sera içinde kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı ise 0.829 ve 2.724 W/m²°C değerleri arasında değişmiştir. Konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin kurutulan ürünlerin şekil ve boyutundan, gözenekliliğinden, nem miktarından, termofiziksel özelliklerden, deneysel çalışma koşullarından, deneysel kurulumdan ve iklim şartlarından dolayı değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konvektif ısı transfer katsayısı, zorlanmış konveksiyon, doğal konveksiyon, sera, güneşte kurutma, tarımsal ürünler.

SUMMARY

Determination of convective heat transfer coefficient of agricultural products in a greenhouse type dryer

The convective heat transfer coefficient is an important parameter in drying rate simulation, since the temperature difference between the air and product varies with this coefficient.

In this study, a small scale greenhouse type dryer was designed and manufactured. Convective heat transfer coefficient of eggplant, pepper, apple, carrot, grape, fig has been determined under open sun at natural convection mode and in greenhouse drying at natural and forced convection mode. Convective heat transfer coefficients were determined by linear regression analysis from experimental data. The average convective heat transfer coefficient values of products were found in the range of 1.114-3.074 W/m²°C for open sun drying under natural convection mode, 1.315-2.592 W/m²°C for greenhouse drying under natural convection mode, 0.829-2.724 W/m²°C for greenhouse drying under forced convection mode, respectively. It was determined that the large variation in convective heat transfer coefficient is due to shape and size of the crop, porosity, moisture content, thermophysical properties and, drying conditions, experimental set-up and the climatic conditions.

Keywords: - Convective heat transfer coefficient, forced convection, natural convection, greenhouse, open sun drying, agricultural products.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Ürün hücresinde ısı ve suyun kuruma sırasındaki hareket yönleri.....	10
Şekil 3.2. Karakteristik kuruma eğrileri	11
Şekil 4.1. Tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanılma yöntemleri	22
Şekil 4.2. Tipik solar enerji kurutucu tasarımları	23
Şekil 4.3. Çadır yapılı, pasif tip güneşli kurutucu	23
Şekil 4.4. Kabin tipi güneşli kurutucu	24
Şekil 4.5. Teraslı kabin tipi güneşli kurutucu	25
Şekil 4.6. Raflı tip güneşli kurutucu	26
Şekil 4.7. Çok amaçlı güneşli kurutucunun ana yapısı	26
Şekil 4.8. Isı deposu olan bacalı-raflı güneşli kurutucu	27
Şekil 4.9. Fanlı tip güneşli kurutucu	28
Şekil 4.10. Aktif güneşli kurutucu	28
Şekil 4.11. Sulu ısı deposuna sahip güneşte kurutma yapan kurutucu	29
Şekil 5.1. Doğal taşınımında kurutma için tasarlanmış sera	32
Şekil 5.2. Zorlanmış taşınımında kurutma için tasarlanmış sera	32
Şekil 5.3. Sera tipi kurutucunun şematik gösterimi	33
Şekil 5.4. Doğal taşınımında sera ve güneş altında kurutulan örnekler	34
Şekil 5.5. Zorlanmış taşınımında serada kurutulan örnekler	34
Şekil 6.1. Patlıcanın doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi	42
Şekil 6.2. Biberin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi	44
Şekil 6.3. Elmanın doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal taşınım ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi	47
Şekil 6.4. Havucun doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi	49
Şekil 6.5. Üzümün doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transferi katsayısı değerlerinin zamanla değişimi (I. Gün)	56
Şekil 6.6. Üzümün doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi (II. Gün)	56
Şekil 6.7. Üzümün doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi (III. Gün)	57
Şekil 6.8. İncirin dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi (I. Gün)	62

Şekil 6.9. İncir dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi (II. Gün)	63
Şekil 6.10. Kurutulmuş ürünler	67

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Uygulamalarda yer alan kurutucular ve özellikleri	20
Tablo 5.1. Kurutma işlemi öncesi ürünlere uygulanan işlemler	31
Tablo 6.1. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan patlıcan dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	40
Tablo 6.2. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan patlıcan dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	41
Tablo 6.3. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan patlıcan dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	41
Tablo 6.4. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan biber dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	43
Tablo 6.5. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan biber dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	43
Tablo 6.6. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan biber dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	44
Tablo 6.7. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan elma dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	45
Tablo 6.8. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan elma dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	46
Tablo 6.9. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan elma dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	46
Tablo 6.10. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan havuç dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	48
Tablo 6.11. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan havuç dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	48
Tablo 6.12. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan havuç dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	49
Tablo 6.13. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan üzüm taneleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	50
Tablo 6.14. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan üzüm taneleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	52
Tablo 6.15. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan üzüm taneleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	54
Tablo 6.16. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan incir dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	59
Tablo 6.17. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan incir dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	60
Tablo 6.18. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan incir dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler	61
Tablo 6.19. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan ürünlerin C, n sabitleri ve ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri	64
Tablo 6.20. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin C, n sabitleri ve ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri	64
Tablo 6.21. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin C, n sabitleri ve ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri	64

Tablo 6.22. Hesaplanan konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması	66
---	----

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Ürünün yüzey alanı (m^2)
A_t	: Tepsi alanı (m^2)
C	: Sabit
C_v	: Nemli havanın özgül ısısı ($J/kg^\circ C$)
E	: Buharlaşma için gerekli enerji (kJ)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
Gr	: Grashof sayısı
h, h_c	: Konvektif ısı transfer katsayısı ($W/m^2^\circ C$)
h_D	: Konveksiyonla kütle iletim katsayısı (kg/sm^2)
K_h	: Kurutma havasındaki su konsantrasyonu
K_v	: Nemli havanın ısıl iletkenliği ($W/m^\circ C$)
K_y	: Ürünün yüzeyindeki su konsantrasyonu
Le	: Lewis sayısı
M_1	: Kurutmadan önceki nem (y.b) (%)
M_2	: Kurutmadan sonraki nem (y.b) (%)
M_s	: Suyun mol ağırlığı (kg/mol)
n	: Sabit
Nu	: Nusselt sayısı
P_b	: Havadaki su buharının kısmi basıncı (Pa)
P_b'	: Ürün yüzeyindeki suyun, havanın yaş termometre sıcaklığındaki buhar basıncı (Pa)
Pr	: Prandtl sayısı
Q	: Isı Miktarı (kJ)
R	: Evrensel gaz sabiti ($J/molK$)
Re	: Reynolds sayısı
t	: Zaman (dk)
T_a	: Kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı ($^\circ C$)
T_c	: Ürün sıcaklığı ($^\circ C$)
T_e	: Ortam sıcaklığı ($^\circ C$)
T_i	: Ortalama sıcaklık
T_m	: Hava sıcaklığı (K)
T_w	: Kurutma havasının yaş termometre sıcaklığı ($^\circ C$)
W	: Ağırlık kaybı (gr)
W_1	: İlk ağırlık (gr)
W_2	: Son ağırlık (gr)
W_k	: Ürünün kuru ağırlığı (gr)
W_s	: Ürünün kuru ağırlığı (gr)
X	: Karakteristik boyut (m)
λ	: Suyun T_w sıcaklığında buharlaşması için gerekli gizli ısı (kJ/kg)
m_s	: Birim zamanda üründen ayrılan su buharı (kg/s)
ω_2	: Havanın kurutucudan çıkış şartlarında sahip olduğu mutlak nem ($kg_{subuharı}/kg_{kuruhava}$)
ω_1	: Havanın kurutucuya giriş şartlarında sahip olduğu mutlak nem ($kg_{subuharı}/kg_{kuruhava}$)
m_{ev}	: Buharlaşmış nem miktarı (kg)
Q_e	: Nemin buharlaşması için kullanılan ısı miktarı (J/m^2s)
$\%M_{k,b}$	: Kuru baza göre nem oranı (%)

$\%M_{y,b}$: Yaş baza göre nem oranı (%)

Yunan Harfleri

γ : Bağlı nem (%)

λ : Buharlaşma gizli ısısı (J/kg)

μ_v : Nemli havanın dinamik viskozitesi (kg/m.s)

ρ_v : Hava neminin yoğunluğu (kg/m³)

1. GİRİŞ

Tarım ürünleri belirgin özelliklerden dolayı yılın belirli dönemlerinde ve kısa bir zaman diliminde üretilmektedir. Bu dönemlerde yoğun olarak üretilen ürünlerin genellikle çok azı bu kısa sürede taze olarak tüketilebilir. Bu nedenle ürünlerin önemli bir bölümünün tüketiciye ulaşana kadar güvenli bir biçimde depolanması gerekir. Meyve ve sebzelerin içerdikleri yüksek orandaki su ve bazı organik maddeler, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalara neden olmaktadır. Ürünlerin hasat edildikten sonra, korunması ve depolanmasında büyük sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu da çoğu zaman tüketim fazlası ürünlerin bozularak atılmasına yol açmaktadır [1].

Tarımsal ürünlerin uzun süre muhafaza edilebilmesi için birçok teknik vardır. Bu teknikler kurutma, soğutma, kimyasal maddelerle işleme tabii tutma biçiminde sıralanabilir. Bunların içinde uygulama alanı en geniş olanı kurutmadır [2]. Kurutma, madde içerisindeki su veya sıvının uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Kurutmada amaç, yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişmesini durduracak bir orana indirerek, gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayanmalarını sağlamaktır [1]. Kurutma işlemi bir ısı ve kütle transferi olayı olup güneş enerjisi ile tarım ürünlerini kurutma, en eski gıda saklama yöntemlerinden birisi olarak bilinmektedir [2]. Bu tür kurutmada gıda maddesine çoğunlukla ön işlem uygulanmaz. Kurutulan sebze ve meyvelerin çoğunluğu, güneş altında yere serilmekte ve kurutma işlemi tamamlanıncaya kadar açık havada bekletilmektedir. Güneşte kurutmada yağmur, rüzgârın neden olduğu tozlar, pislikler, böcek ve sinek gibi çeşitli canlıların temas etmesi nedeniyle gıdanın kalitesi ciddi olarak azalmaktadır. Kalitesi düşen ürünlerin de iç ve dış pazarlanma şansı azalmaktadır [3]. Bu sorunların aşılmasında kurutma işleminin kapalı sistemlerde gerçekleştirilmesi büyük katkı sağlayabilir.

Kapalı sistemlerden biri de “Sera Tipi Güneş Enerjili Kurutma” sistemlerdir. Sera tipi kurutucular direkt güneş enerjisiyle kurutulan sistemler kategorisinde ve bazen de kombine tipte (indirekt + direkt tipte) kurutma sistemleri kategorisinde değerlendirilmektedirler [4]. Sera tipi kurutucular basit bir tasarıma, kolay imalata ve düşük maliyete sahiptirler. Başlangıçta seralar tarım ürünleri yetiştirmek için kullanılmıştır [5]. İlerleyen yıllarda ortam ısıtması, toprak solarizasyonu, kanatlı kümes hayvancılığı ve su ürünleri içinde

kullanılmaya başlanmıştır. Ardından araştırmacılar düşük sıcaklıklı kurutucu olarak seranın kullanılabileceğini de keşfetmişlerdir. Sonuç olarak seralar, yıl boyu hem tarım ürünlerini yetiştirmek hem de tarım ürünlerini kurutma amacıyla kullanılabilir hale gelmiştir. Bu olumlu gelişmeler de seraların ekonomik değerini artırmıştır [5]. Sera tipi kurutucular yapısal olarak başlıca iki sınıfa ayrılmıştır. Bunlardan birincisi kubbe şeklinde olanlar, ikincisi ise düz çatı tipi seralardır. Kubbe tipi sera kurutucuların amacı, güneş ışınımının maksimum kullanımını sağlamaktır. Düz çatı tipi sera kurutucuların avantajı ise kurutucu içindeki havanın uygun bir şekilde karışımını sağlamaktır. Isı transfer tipine bağlı olarak da seralar iki sınıfta toplanmaktadır. Bunlar doğal taşınım mekanizmalı ve zorlanmış taşınım mekanizmalı sera kurutuculardır. Doğal taşınımlı sera tipi kurutucu termosifik etkilerin ilkelerine göre çalışmaktadır. Zorlanmış taşınımlı sera tipi kurutucuda ise oluşan nemli hava ya kurutucu duvarlarına monte edilmiş vantilatör yardımıyla ya da kurutucudaki baca vasıtasıyla seradan çıkarılmaktadır [5].

Kurutma işleminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biri konvektif ısı transfer katsayısıdır. Konvektif ısı transfer katsayısı hava ve ürün arasındaki sıcaklık farkıyla değişim gösterdiğinden dolayı kurutma hızının belirlenmesinde ve dolayısıyla kurutucu tasarımında önemli bir parametredir. Genellikle gıda maddelerinin konvektif ısı transfer katsayılarını belirlemek için iki metot kullanılabilir. Bunlardan birisi boyutsal analizdir. Diğer ise Shumann'ın kesin çözümlü sıcaklık eğrileri yardımıyla kıyaslama yapılarak ürün üzerinde konvektif ısı transferinin direkt ölçülmesidir. Boyutsal analiz matematiksel olarak basittir ve geniş bir uygulama alanı vardır. Boyutsuz gruplarla ilişkilendirilerek deneysel verilerin uygulama alanlarının genişletilmesine ve yorumlanmasının kolaylaştırılmasına olanak sağlar. Fakat bu metot gereken miktarda deneysel veri olmadığı takdirde yetersiz kalmaktadır [6].

Bu tezin amacı, küçük ölçekli sera tipi bir kurutucu tasarlayıp imal etmek, sera tipi kurutucuda doğal ve zorlanmış taşınım, güneş altında kurutmada doğal taşınım, üzüm, incir, elma, biber, havuç, patlıcan gibi tarımsal ürünlerin konvektif ısı transfer katsayılarını hesaplamaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kurutma üzerine bazı teoriksel ve deneysel çalışmalar yapılmasına karşın ısı transfer katsayısını incelemek için sınırlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sodha vd. [7] kabin tipi bir kurutucu ve güneş altında kurutmada ürün kalınlığı, bağıl nem ve rüzgâr hızının kurutma üzerindeki etkisini araştırarak, ürün yüzeyinde ısı ve kütle transferine bağlı olan analitik bir model sunmuşlardır.

Miketinac vd. [8] arpanın bir yüzeyinin kurutulmasında ısı ve kütle transferi işlemleri için beş model elde etmişlerdir. Isı transfer katsayılarını kurutma modelinin oluşumuna bağlı olarak 43 ve 59 W/m²°C değerleri arasında bulmuşlardır.

Ratti ve Crapiste [9] yiyeceklerin kurutulması esnasındaki ısı transfer katsayılarını, kurutma verileri ile ısı ve kütle transferi dengelemelerinden hesaplamışlardır.

Sanjay ve Tiwari [10] güneş distilasyon ünitesi içinde kütle transferi işlemi için modeller geliştirmişlerdir.

Goyal ve Tiwari [11] kurutmada ısı ve kütle transferi analizi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Nohudun ve buğdayın ısı transfer katsayılarını basit bir regresyon analizini kullanarak 12.68 ve 9.62 W/m²°C olarak tespit etmişlerdir.

Zhang vd. [12] gözenekli malzemelerin kurutulmasında sabit hız ve azalan hız periyotları esnasındaki ısı ve kütle transferini tanımlamak için bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Anwar ve Tiwari [13] doğal taşınımında direkt güneş altında kurutmada ısı transfer katsayısının bulunması için çalışma yapmışlardır. Altı farklı tarımsal ürün için elde edilen deneysel verilerden yararlanmış ve lineer regresyon analizini kullanarak ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır. Anwar ve Tiwari [14] benzer bir çalışmayı da zorlanmış taşınımında kurutmada altı farklı tarımsal ürün için yapmışlardır ve regresyon analizi yardımıyla da ısı transfer katsayılarını hesaplamışlardır.

Toğrul [15] doğal taşınımında direkt güneş altında dokuz farklı ürünün (sakız kabağı, patlıcan, havuç, yeşil fasulye, Arnavut biberi, yeşil biber, patates, soğan ve armut) ısı transfer katsayı değerlerini hesaplamak için çalışma yapmıştır. Bu çalışmada elde edilen deneysel veriler ile lineer regresyon analizi kullanarak C ve n sabitlerini hesaplamıştır. Bulunan C ve n sabitleri ile ürünlerin ısı transfer katsayılarını bulmuştur. Isı transfer katsayı değerlerinin 0.25-3.3 W/m²°C aralığında değişim göstermiştir. Diğer bir

alışmasında da Toğrul [16,17] doğal taşınımında direkt güneş altında dört farklı meyveyi kurutmuş ve ısı transfer katsayı değerlerini aynı yöntemle hesaplamıştır.

Tiwari vd. [18] tarafından sera tipi kurutucu içerisinde jaggery ürünü farklı ağırlıklarda kurutularak, kurutulan ürünün kütlesi için önemli bir işlev olan kütle transfer katsayısı hesapları yapılmıştır.

Akpınar [6] zorlanmış taşınımında sekiz farklı tarımsal ürünü kurutarak (dut, ilek, sarımsak, patates, kabak, patlıcan ve soğan) ısı transfer katsayı değerlerini hesaplamıştır. Isı transfer katsayı değerleri dut için 2.007 W/m²°C, ilek için 3.615 W/m²°C, elma için 2.874 W/m²°C, sarımsak için 0.664 W/m²°C, patates için 4.897 W/m²°C, kabak için 3.530 W/m²°C, patlıcan için 4.026 W/m²°C ve soğan için 7.121 W/m²°C olarak tespit edilmiştir.

Akpınar [19] bir siklon tipi kurutucu tasarlamıştır. Bu kurutucu ile zorlanmış taşınımında çeşitli ürünlerin kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. Elde edilen veriler ile bu ürünlerin ısı transfer katsayı değerlerini hesaplamıştır.

Akpınar [20] doğal taşınımında direkt güneş altında sekiz farklı tarımsal ürünü (dut, ilek, sarımsak, patates, kabak, patlıcan ve soğan) kurutarak ısı transfer katsayılarını hesaplamıştır. Isı transfer katsayı değerleri dut için 1.861 W/m²°C, ilek için 6.691 W/m²°C, elma için 11.323 W/m²°C, sarımsak için 1.136 W/m²°C, patates için 8.224 W/m²°C, kabak için 8.613 W/m²°C, patlıcan için 6.981 W/m²°C ve soğan için 6.767 W/m²°C olarak tespit edilmiştir.

Kumar ve Tiwari [21] ürünün kütlesinin ve hacminin konvektif kütle transfer katsayısı üzerine etkisini incelemek amacıyla sera tipi kurutucuda zorlanmış ve doğal taşınımında kurutma yapmışlardır. Bu çalışmada, araştırmacılar üç farklı boyuttaki tepsilere toplam 0.75 kg ve 2.0 kg ağırlıktaki jaggery kurutmuşlardır. Elde ettikleri veriler yardımıyla da konvektif kütle transfer katsayılarını bulmuşlardır.

Kumar ve Tiwari [22] soğan dilimlerinde konvektif ısı transfer katsayısının kütle üzerindeki etkisini çalışmak için doğal taşınımında direkt güneş altında ve serada, zorlanmış taşınımında serada kurutma çalışmaları yapmışlardır. Araştırmacılar, soğanı 300 gr, 600 gr ve 900 gr olmak üzere üç farklı ağırlıkta kurutmuşlardır. Kurutma işlemi güneşte ve serada 33 saat sürmüştür. Güneş altında ve seradaki deneylerden elde edilen verilerle regresyon analizi yaparak konvektif ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır.

Kumar vd. [23] doğal taşınımında direkt güneş altında ve kapalı ortamda zorlanmış taşınımında papad meyvesini kurutarak ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır. Bu

çalışmada papad meyvesinin ısı transfer katsayı değerleri 1.56 – 3.54 W/m²°C aralığında değişiklik göstermiştir.

Sahdev vd. [24] zorlanmış taşınımda eriştreyi kurutarak elde edilen veriler ile eriştrenin ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır. Eriştrenin ısı transfer katsayı değerleri 0.98 – 1.10 W/m²°C aralığında değişim göstermiştir.

Sahdev vd. [25] zorlanmış taşınımda kapalı ortamda kurutmada mısır tanelerinin ısı transfer katsayılarını hesaplamışlardır. Bu çalışmada mısır tanelerinin başlangıçta % 43 nem miktarına sahip olduğu bildirilmiştir. Mısır tanelerinin ısı transfer katsayısı 1.04 W/m² °C olarak tespit edilmiştir.

Literatürde tünel tipi başta olmak üzere farklı tiplerde sera kurutucular ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Kholliev vd. [26] yazın meyve kurutmak, kışın ise sebze ve fide yetiştirmek amacıyla sera tipi bir kurutucu geliştirmişlerdir.

Trim ve Ko [27] tarafından çift katlı polietilen absorberli sera tipi güneş enerjili bir kurutucusu tasarlanmış ve kırmızı biber kurutmuşlardır.

Muller vd. [28] tarafından yapılan sera tipi bir aktif kurutucuda aromatik ve baharat bitkileri kurutulmuştur.

Demir [29] yaptığı bu çalışmada sera tipi kurutucu içinde ve dış ortamda çekirdeksiz üzüm ve incir kurutmuş ve örneklerin kuruma karakteristiklerini incelemiştir.

Fohr ve Arnaud [30] zorlanmış taşınım örnek bir çalışma olarak ürün kurutmada kollektör etkisi oluşturmaları için bir sera tipi kurutucu üzerine çalışmışlardır.

Manohar ve Chandra [31] ve Jain ve Tiwari [32] kurutma işlemlerini doğal ve zorlanmış havalandırılmalı sera tipi kurutucularda gerçekleştirmişlerdir.

Ahmad, Jain ve Roux vd, gibi bazı araştırmacılar sera kurutucunun bir kısmını kolektör olarak kullanmışlardır [33-35].

Farhat vd. [36] örtü malzemesi olarak plastik (polietilen) kullanılan serada biberi kurutmuşlardır. Bu kurutma işlemi doğal taşınımda gerçekleşmiştir. Güneş ışınımı, sera içindeki havayı ve ürünü ısıtıp ürün yüzeyinden suyu buharlaştırmıştır. Bu kurutma işleminin sonunda biberin kütlesindeki azalmanın %83'den daha fazla olduğu görülmüştür.

Khiari vd. [37] tarafından sera tipi güneş enerjili tünel kurutucuda kuruma özellikleri deneysel ve matematiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca, serada tahıl kurutma çalışmaları [38-41] ve kurutucunun modellenmesi çalışmaları yapılmıştır [42].

Koyuncu [43] ise iki farklı doğal dolaşimli sera tipi ürün kurutucusunun performanslarını test etmiştir.

Barnwal ve Tiwari [44] 100 kg kapasiteli hibrid/fotovoltaik bir sera tipi kurutucu tasarlamışlardır. Tasarlanan bu kurutucuda çekirdeksiz üzümleri kurutmuşlardır. Kurutucuda zorlanmış taşınımı sağlamak için fan kullanılmıştır. Üzümler hem güneşte hem de gölgede kurutulmuşlardır.

Yelmen [45] polietilen yüksek tünel bir serada baharatlık kırmızıbiberin kurutulmasını araştırmıştır.

Janjai vd. [46] polikarbonat örtü kullanılan sera kurutucunun tropikal çevre şartlarında modellenmesini ve deneylerini yapmışlardır.

Şevik vd. [47] düşük enerji maliyeti ve yatırım maliyeti ile küçük ölçekli sera tipi bir kurutucu tasarlamış ve imal etmişlerdir. Sistemin verimini kırmızı biber kurtararak deneysel olarak incelemişler, ekonomik analiz yapmışlardır.

Ayrıca birçok araştırmacı tarafından sera tipi bir kurutucu içerisinde ve dış ortamda; Kütahya vişne çeşidi [48] ve dört farklı tip fındık [49] kurutma çalışmaları yapılmıştır.

3. KURUTMA

3.1. Nemlilik Ölçüsü

Tarım ürünlerinde bulunan nem miktarları, bünyede tutulmuş bulunan su ağırlığı olarak ele alınır. Su miktarı, % olarak oransal biçimde tanımlanır. Nem miktarının belirlenmesinde ‘‘Yaş baz’’ (y.b.), ‘‘Kuru baz’’ (k.b.) olmak üzere iki tanımdan biri kullanılmaktadır [50].

Yaş baza göre nem, ürünlerdeki su ağırlığının ürünün tüm ağırlığına oranı olarak tanımlanır.

$$\%M_{y.b} = \frac{W_s}{W_s + W_k} .100 \quad (3.1)$$

Kuru baza göre nem ise, ürünlerdeki su ağırlığının ürünün kuru ağırlığına oranıdır.

$$\%M_{k.b} = \frac{W_s}{W_k} .100 \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde,

W_s :Ürünün kuru ağırlığı (gr)

W_k :Ürünün kuru ağırlığı (gr)

$\%M_{y.b}$:Yaş baza göre nem oranı (%)

$\%M_{k.b}$:Kuru baza göre nem oranı (%)

Kuru ve yaş baza göre saptanan nem oranları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla birbirine çevrilebilir.

$$\%M_{k.b} = \frac{M_{y.b}}{100 - M_{y.b}} .100 \quad (3.3)$$

Yaş baza göre saptanan nem miktarı genel olarak ürün alım satımlarında, kuru baza göre saptanan değerler ise kurutma çalışmalarında kullanılmaktadır.

Kurutma sırasında ürün nem kaybedeceğinden ağırlığı azalacaktır. Nem kaybı nedeniyle oluşacak ağırlık azalması aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir [51].

Ürünün ilk ağırlığı biliniyorsa,

$$W = W_1 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2} \quad (3.4)$$

Ürünün son ağırlığı biliniyorsa ,

$$W = W_2 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1} \quad (3.5)$$

eşitlikleri elde edilir.

Bu eşitliklerde,

W : Ağırlık kaybı (gr)

W_1 : İlk ağırlık (gr)

W_2 : Son ağırlık (gr)

M_1 : Kurutmadan önceki nem (y.b) (%)

M_2 : Kurutmadan sonraki nem (y.b) (%)

olarak verilir.

3.2. Denge Nem İçeriği

Ürün kurutma işlemlerinde, denge nem içeriğinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ürünün denge nemi, o andaki çevre koşullarında ürünün bünyesinde bulundurabileceği sınır nem miktarını belirtmede kullanılmaktadır. Denge nemi, çevre havasının nem ve sıcaklık koşullarıyla olduğu kadar, ürünün tür, cins ve olgunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir [52].

Her bir ürünün, belirli sıcaklık ve nem içeriğinde, kendine özgü bir su buharı basıncı vardır. Ürün nemli hava ile karşılaştığında ya nem kazanmakta, yada nem kaybetmektedir.

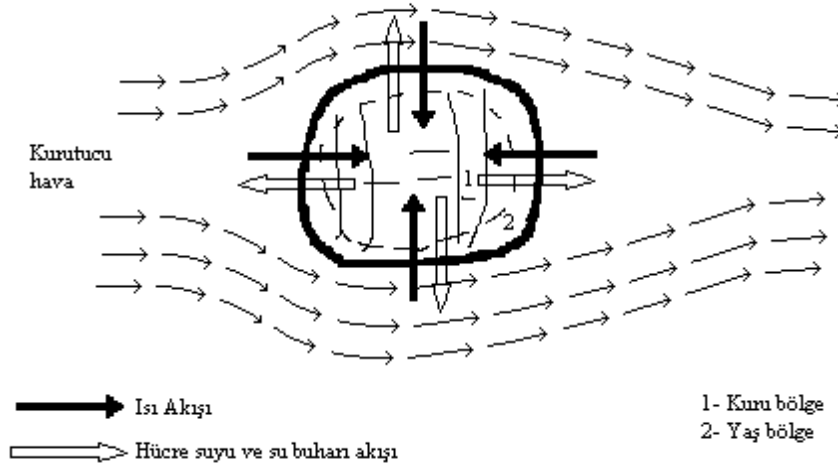
Bu durumu saptamak için ürünün farklı nem içeriği ve sıcaklık düzeylerinde buhar basıncının bilinmesi gerekmektedir. Eğer ürün neminin buhar basıncı, içinde bulunduğu havanın buhar basıncından fazla ise ortama nem verecek, az ise ortamdan nem alacaktır. Ortamın koşulları değişmedikçe ürün nem içeriğinde bir değişme olmaz (Hall vd., 1980). Ürün, içinde bulunduğu ortam ile arasında nem açısından bir dengenin oluşması durumunda bünyesindeki nemi Denge Nemi, o anda havanın içerdiği bağıl nem değerine de Denge Bağıl Nemi denilmektedir [52]. Denge nemi içeriğindeki değişmeler şunlardan kaynaklanmaktadır; ürün çeşidi, ürün olgunluğu, bağıl nemi ölçme teknikleri ve denge nem içeriği saptama yöntemleridir [52].

3.3. Tarım Ürünlerinde Kurumanın Oluşum Kuramı ve Kurumanın Evreleri

Kurutmada esas, kurutulacak malzemenin içindeki suyu önce buhar haline getirip sonrada bu buharı uzaklaştırmaktır. Suyu sıvı halden buhar haline getirmek için, buharlaştırma gizli ısı kadar bir ısı vermek gerekmektedir. Bu ısı, normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak her gram su için yaklaşık 2.5 kJ'dür. Malzemeye bu ısıyı vermek için klasik ısı transfer yöntemleri ile di-elektrik ısıtma metotları kullanılır. Klasik ısı transfer yöntemleri kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyondur. Bu ısının verilmesi sırasında ısı transfer metotlarından biri veya birkaçı etkili olabilir. Hava akımı yardımıyla yapılan kurutmada konveksiyonla ısı iletimi daha etkilidir [53].

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bu ısıtmada, sıcaklık dokunun dışından hücrelere doğru olurken, buharlaşan su hücreden dışa doğrudur. Di-elektrik yolla ısı transferi ise bunun tam tersi olup, ısı içeriden dışa doğrudur. Su buharının ürünü terk edişi difüzyon, kapillar veya bu iki mekanizma ile olur.

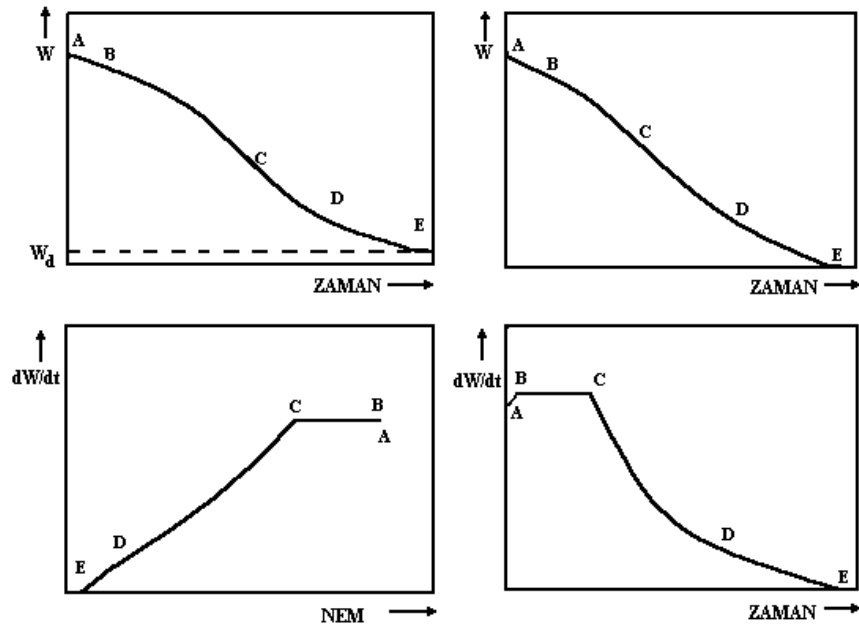
Kuruma amacıyla yeterli ısının bulunduğu bir ortama konan nemli bir maddenin kuruma sürecinde genel olarak üç evre vardır. Bunlar ısınma evresi, kuruma hızı ve azalan kuruma hızı evreleridir [53].



Şekil 3.1. Ürün hücresinde ısı ve suyun kuruma sırasındaki hareket yönleri [53].

Kurumakta olan bir maddenin nemliliğinde olan değişim Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekillerde AB ile gösterilen ısınma evresinde, ürünün sıcaklığı kurutma havasının sıcaklığı ile dengeye ulaşmaya kadar sürer. Ürün kalınlığı azaldıkça, ısınma evresi süresince oluşan nem kaybı dikkate alınmayacak ölçüde azalır [53].

Sabit kuruma hızı evresi, şekillerde BC çizgisiyle belirtilmiştir. Burada ürünün üzeri ince bir su tabakası ile kaplı olduğundan, önce bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Aslında bu durgun bir su yüzeyinden olan serbest buharlaşmaya benzer. Başlangıçta çok hızlı olan bu buharlaşma, bir süre sonra yüzeyin hemen üzerinde oluşan buhar tabakası nedeniyle yavaşlar. Kurumanın devam etmesi için, bu buhar filminin, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi hareketli bir hava akımı ile dağıtılıp taşınması gerekir. Şekilde C noktası (ürünün yüzeyindeki serbestçe buharlaşabilen nem sona erdiği zaman), sabit hızdaki kurumanın sona erdiği belirtmekte olup, bu noktadaki nem ‘‘kritik nem’’ olarak bilinir. C noktasının görülebilmesi için, ürünün başlangıç nemi, kritik nem değerinden daha yüksek olmalıdır. Meyvelerde ve sebzelerde sabit kuruma hızı evresi, genellikle çok kısa sürer [53].



Şekil 3.2. Karakteristik kuruma eğrileri [53].

Şekilde CDE eğrisi, sabit kuruma evresinden sonra başlayan azalan hızda kuruma evresini göstermektedir. Bu evrede buharlaşma ürünün içinde başladığından su yüzeye difüzyon ile ulaşır. Yüzeye yakın bölümler, hem doğrudan doğruya yüzeye ve hem de kapıllarla nem verdiklerinden, iç katmanlara göre daha çok su kaybederler. Bunun sonucu olarak ürünün dış yüzeyinde kabuk bağlama, buruşma, çatlama ve yarılmalar görülür. Bu evrede kuruma süresi uzadıkça, birim zamanda buharlaşan nem miktarı azalmaktadır. Bu nedenle bu evreye azalan hızda kuruma evresi denir ve nem uzaklaşması sona erene kadar (E) devam eder. Birinci azalan hız evresinde, hem yüzeyden serbest buharlaşma ve hem de iç kısımlardaki buharlaşan suyun hareketi etkili olmaktadır. Bu bölüm bir geçiş aşamasıdır (CD arası). Hava hızı, sıcaklık ve nem bu bölümde etkili olmaktadır. İkinci bölümde kuruma hızı, bütünüyle içsel nem hareketine bağlı olarak oluşur. DE ile gösterilen bu bölüm denge nemine ulaşmaya kadar devam eder [53].

3.4. İnce Tabaka Kuruma Kuramı

İnce tabaka kavramı, kurutulacak ürünün yalnızca bir tanesinin kalınlığına sahip olacak şekilde serilmesiyle elde edilen, kuramsal bir ürün tabakasını belirtir. Bu kavram, kurutma

havasının bu tabakanın içinden geçerken sıcaklık ve nem değerlerinde bir değişikliğin olmadığı kabulünün yapılabilmesini sağlamaktadır [52].

Tarım ürünlerinin ince tabaka halinde kurutulması sırasında ısı ve kütle iletimi sabit ve azalan kuruma evreleri için ayrı ayrı incelenir [52].

3.4.1. Sabit Hızda Kuruma Evresi

Sabit hızda kuruma evresi, ürünün içerdiği nem kritik nem değerinden daha fazla olduğunda görülebilir. Sabit hızla kuruma evresi süresince [51],

- Ürün yüzeyinin ince bir su filmiyle kaplı olduğu
- Kuruma hızının, kurutma havasının sıcaklığından, bağıl neminden ve hızından etkilendiği
- Kuruma hızının, ürünle ilgili unsurlardan etkilenmediği
- Ürün yüzey sıcaklığının, kurutma havasının yaşı termometre sıcaklığına eşit olduğu
- Ürün yüzeyindeki su buharı basıncının, yüzey sıcaklığına eşit sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına eşit olduğu kabul edilir. Bu ön kabullerden de anlaşılacağı gibi, sabit hızla kuruma evresinde buharlaşan su miktarının aynı koşullardaki serbest yüzeyinden buharlaşan su miktarının aynı koşullardaki serbest su yüzeyinden buharlaşan su miktarına eşit olduğu varsayılmaktadır. Oysa, yapılan gözlemleri bu evrede üründen buharlaşan suyun serbest su yüzeyinden buharlaşandan %30 daha az olduğunu göstermektedir [51].
- Bu evre sırasında, kurutma havası ile ürün arasındaki ısı ve kütle iletimi aşağıdaki eşitliklerle belirtilebilir [51]:

Kurutma havasından ürüne iletilen ısı miktarı;

$$Q = h \cdot A \cdot (T_a - T_w) \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte,

Q : Isı miktarı (kJ)

h : Konvektif ısı transfer katsayısı (W/m²°C)

T_a : Kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı (°C)

T_w : Kurutma havasının yaş termometre sıcaklığı (°C)

A : Ürünün yüzey alanı (m²)

Üründen kurutma havasına birim zamanda iletilen su buharı miktarı,

$$m_s = h_D \cdot A \cdot (K_y - K_h) = \frac{h_D \cdot A \cdot M_s}{R \cdot T_m} (P_b' - P_b) \quad (3.7)$$

Burada,

m_s : Birim zamanda üründen ayrılan su buharı (kg/s)

h_D : Konveksiyonla kütle iletim katsayısı (kg/sm²)

K_y : Ürünün yüzeyindeki su konsantrasyonu

K_h : Kurutma havasındaki su konsantrasyonu

M_s : Suyun mol ağırlığı (kg/mol)

R : Evrensel gaz sabiti (J/molK)

T_m : Hava sıcaklığı (°C)

P_b' : Ürün yüzeyindeki suyun, havanın yaş termometre sıcaklığındaki buhar basıncı (Pa)

P_b : Havadaki su buharının kısmi basıncı (Pa) ile ifade edilir.

Üründen ayrılan suyun buharlaşabilmesi için gerekli enerji;

$$E = m_s \cdot \lambda \quad (3.8)$$

E : Buharlaşma için gerekli enerji (kJ)

λ : Suyun T_w sıcaklığında buharlaşması için gerekli gizli ısı (kJ/kg)

(3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerinden faydalanarak, birim zaman içinde üründen ayrılan nem miktarı (kuruma hızı) aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla bulunur:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h \cdot A \cdot (T_a - T_w)}{\lambda} = h_D \cdot A \cdot (\omega_2 - \omega_1) \quad (3.9)$$

Burada,

ω_1 : Havanın kurutucuya giriş şartlarında sahip olduğu mutlak nem ($kg_{subuharı}/kg_{kuruhava}$)

ω_2 : Havanın kurutucudan çıkış şartlarında sahip olduğu mutlak nem ($kg_{subuharı}/kg_{kuruhava}$) olarak tanımlanmaktadır.

Isı ve kütle iletiminin birlikte yer aldığı işlemlerin analizinde Lewis sayısı (Le) önemli bir rol oynar. Eşitlik (3.9)'da, kütle transfer katsayısı (h_D) kolaylıkla ölçülmediği için Lewis sayısından faydalanılır.

$$Le = \frac{h}{h_D C} \quad (3.10)$$

Hava-su sistemlerinde Le sayısının 1'e eşit olduğu kabul edilir [52].

Burada,

C, Havanın ısı kapasitesi, $kJ/kg_{kuruhava}^{\circ C}$

Buna göre, $C = 1.007 kJ/kg^{\circ C}$

$$1 = \frac{h}{h_D \cdot 1.007}$$

ve buradan $h_D = 0.093h kg_{kuruhava}/m^2s$ bulunur. Sabit kuruma hızı döneminde kuruma hızının hesaplanmasında h_D yerine $0.093h$ kullanılır.

Eşitlik (3.9) yer alan konveksiyonla ısı ve kütle iletimi katsayılarının kurutma işlemi sırasındaki değişimleriyle ilgili deneysel çalışmalar, bu katsayıların yaklaşık olarak,

- Hava akımının materyal yüzeyine paralel olması durumunda, hava hızının 0.8 kuvvetiyle,
- Hava akımının ürün tabakasının içinden geçirilmesi durumunda 0.6 ya da daha küçük bir kuvvetiyle orantılı olduğunu belirtmektedir.

Kurutma işlemi sırasında, kuruyan materyale konveksiyon yoluyla ısı iletiminin dışında, kondüksiyon ve/veya radyasyon yoluyla da ısı iletimi söz konusu olduğunda (3.9) numaralı eşitlikte bu yollarla olan ısı iletimini belirlemek için geliştirilmiş ifadelerin eklenmesi gerekir [51].

3.4.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi

Azalan hızla kuruma evresi sırasında, kuruma hızının ve süresinin belirlenmesi, sabit hızla kuruma evresine göre daha karmaşıktır. Yalnızca materyalin yüzeyinden konveksiyonla ısı ve kütle iletimi söz konusu değildir. Bu evrede ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonun da dikkate alınması gerekmektedir [54].

Azalan hızla kuruma evresi sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla teorik, yarı teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür.

Azalan hızla kuruma evresiyle ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, bazı ön kabuller yapılır. Bu kabuller aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir [54]:

- Ürün içindeki nem dağılımı tek düzedir.
- Kuruma, madde içindeki nemin su veya buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur.
- Difüzyon
- Nem konsantrasyonu farkı
- Sıcaklık konsantrasyonu farkı
- Buhar basınçları konsantrasyonu farkı gibi etkenlere bağlıdır.
- Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez.
- Ürün ince bir tabaka şeklinde serilir.

3.5. Kalın Tabaka Kuruma Kuramı

Kurumakta olan ürünün oluşturduğu tabakanın kalınlığı, bir tane kalınlığını aştığında, ince tabaka formundaki kuruma için geliştirilen eşitlikler yetersiz kalır. Bunun baş nedeni, kurutma havası özelliklerinin, kalın ürün tabakasından geçerken sürekli olarak değişime uğramasıdır. Kalın tabaka formundaki ürün yığınının kurummasına ilişkin olarak geliştirilen yöntemler, ürün tabakasının hareketli ve hareketsiz olmasına göre de farklılıklar gösterir [54].

3.6. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Kuruma hızı ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerin başlıcaları, sıcaklık derecesi, havanın nemi, kurutucudaki hızı, kurutulacak materyale maksimum yüzey alanı kazandıracak geometrik düzenleme (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vs.) gibi fiziksel faktörlerle kurutulan materyalin başta bileşimi olmak üzere kendine özgü nitelikleridir [55].

Bu faktörlerin en önemlileri kurutulan ürünün kendine özgü nitelikleridir ve bu nitelikler kuruma boyunca değişkendir. Özellikle ürünün kimyasal bileşimi önem taşır. Eğer şeker, tuz ve benzeri gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin bir materyal, bu maddelerce daha fakir bir materyalle kuruma açısından kıyaslanırsa, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür [55].

Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte dolayısıyla suyun buharlaşmasını zorlaştırmaktadır. Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adeta izole edilmiş bulunduğundan böyle bir sistemde suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması güçtür [55]. Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Serbest su, gıdalarla öncelikle ve kolaylıkla uzaklaştırılabilen su olduğu halde, katı parçacıklarca adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin gibi maddelerce zengin oluşturulan kolloidal jel içerisinde tutulan su ise daha zor uzaklaşmaktadır, bu nedenle nişasta ve petkince zengin maddelerin kurutulması oldukça güçtür. En zor uzaklaştırılan su ise hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece materyalin bileşiminin suyu bağlama şekli bakımından kuruma hızına etki ettiği görülmektedir. Diğer taraftan meyve ve sebzeler hücrelerden oluşmuş doğal dokulardır ve bunlarda su hem hücre içinde hem de hücrelerden oluşmuş doğal dokulardır ve bunlarda su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyu uzaklaştırmak daha kolaydır. Ancak hücre ölünce hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşmasını kolaylaştırır. Eğer doku haşlanmışsa geçirgenlik çok hızlanır. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar [55].

Kuruma hızı parçacıkların yüzey alanı ile doğru, kalınlıkla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulacak maddeler ne kadar küçükse yüzey alanı o kadar fazla, kalınlığı o kadar az olacağından kuruma hızı olumlu yönde etkilenmektedir. Püskürtülerek kurutma tekniğinde,

sıvı ve ezme halindeki maddelerin, ince zerrecikler haline getirildikten sonra birkaç saniyede kurutulabilmesi bu nedendendir.

Kurutulan parçaların iriliğinin, kuruma hızına önemli etkide bulunmasına karşın, meyve ve sebze gibi ürünlerde kurumanın başlangıç aşamasında iri ve daha küçük parçalar halinde doğranmış dokular arasında, kuruma hızı bakımından belirgin bir fark görülmez. Ancak zaman ilerledikçe kuruma hızı parça iriliğine göre önemli ölçüde değişir. Çünkü özellikle azalan kuruma hızı döneminde, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonu, iri parçalarda zorlaşmakta ve kuruma hızı düşmektedir. Parça iriliğinin kuruma hızına bu önemli etkisi yüzünden, kurutulacak meyve ve sebzelerin küçük parçalar halinde doğranması yararlıdır ancak bu her zaman mümkün değildir. Tüketim alanı bakımından bazı ürünlerin bütün halde kurtulması gerektiği gibi, doğranan ve kıyılan ürünlerde de belli bir irilik beklenir [55].

Kuruma hızına etki eden en önemli faktörlerden biride kullanılan sıcak havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Kullanılan sıcak havanın sadece kuru termometre sıcaklığı çoğu kez önemli bir anlam taşımaz. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki herhangi bir fark olmayan havanın, sıcaklık derecesi ne olursa olsun hiçbir kurutma etkisi yoktur. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı da artar. Bu doğru orantılı etki kurumanın başlangıcında çok belirgin ise de kuruma ilerledikçe yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı aynı oranda artmaz. Ayrıca yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark sabit kalmak koşulu ile havanın kuru termometre sıcaklığı yükseldiğinde, kurutmanın başlangıç aşamasında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmezken ileri ki aşamalarda bir artış olur. Kurumanın ileri ki aşamalarında kuruma hızını sınırlayıcı faktör, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonudur. Sıcaklık artınca bu difüzyon olayı hızlanmakta ve buna bağlı olarak da kuruma hızı yükselmektedir [55].

Kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki hava hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu film sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaşmasında bir hızlanma görülür. İşte hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülmektedir. Diğer taraftan hava hızının olumlu etkisi, kurumanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurumanın başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkiliyse de kurmanın ileri ki aşamalarında kuruma hızı artık,

alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda bir etkisi bulunmamaktadır [55].

3.7. Kuruma Sırasında Isı ve Kütle Transferi

Yaş bir materyalin kuruması sırasında, hem materyalin içinde ve hem de kurutma ortamının materyal yüzeyine değdiği sınır tabakada, sürekli olarak ısı ve kütle iletimleri meydana gelir. Bu iletimler, genel olarak, kuruyan materyalin iç şartları ile materyalin dışındaki kurutma ortamına ait çeşitli şartlardan etkilenir. Kuruma üzerinde etkili olan bu şartların etkinlik değerleri, kuruma evresine göre değişebilir [51]. Örneğin, sabit hızla kuruma evresinde ısı ve kütle iletimleri, esas olarak, materyal yüzeyindeki sınır tabakanın iletim özelliklerine bağlıdır. Oysa, azalan hızla kuruma evresinde, öteki etkenlere ek olarak, materyalin iç yapısının iletme gösterdiği direnç de önemli bir etken olarak ortaya çıkar.

Tarım ürünlerinin kurutulması sırasında bünyeden ayrılacak nemin öncelikle ürünün yüzeyine ulaşması gerekir. Nemin ürün içinde yüzeye doğru ilerlemesini sağlayan birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenlerin önemlileri arasında [51];

- Kılcal borlardaki su hareketi,
- Kuruma sırasında materyalin büzülmesi ve bu nedenle ortaya çıkan sıkışmanın hızlandırdığı nem akışı,
- Nem ve sıcaklık konsantrasyon farkına bağlı olarak meydana gelen nem difüzyonu,
- Materyalin yüzeyinden çevreye olan buhar ve su difüzyonu,
- Materyalin yüzeyinden daha alt katmalarda oluşan buharlaşmanın nedeniyle meydana gelen gaz difüzyonu,
- Materyalin bünyesindeki buhar basıncı ile çevre havasının kısmi buhar basıncı arasındaki fark,
- Çevre havasının sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncı sayılabilir.

Kurutma işlemleri sırasında gerekli olan ısıнын kuruyan materyale iletimi sırasında, konveksiyon, kondüksiyon, ışıma ve elektromagnetik enerjinin hacimsel soğurulması (absorbsiyonu) yollarından biri yada birkaçından birlikte yararlanılabilir [51].

Tarım ürünlerinin kurutulmasında en çok kullanılan yöntem, konveksiyonla ısıtma yöntemidir. Bu yöntemde kurutma ortamı (çevre) olarak materyalden daha sıcak hava kullanılmaktadır. Kurutucu hava, nemli materyale nemin buharlaşması için gerekli ısıyı

iletir, buharlaşan suyu bünyesine alır ve ortamdan uzaklaştırır. Tarım ürünlerinin konveksiyonla ısıtılması ve kurutulması sırasında aralarında bağıntılar bulunan bir çok olay ardışık olarak birbirini izler. Bu olaylar [51];

- Sıcak havadan kuruyacak materyalin yüzeyine ısı transferi,
- Isının, yüzeyden iç katmanlara doğru ilerlemesi,
- Nemin, iç kısımlardan yüzeye doğru ilerlemesi,
- Nemin buharlaşarak çevredeki gaz ortamına (hava) difüzyonu şeklinde sıralanabilir.

4. KURUTMA SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRMASI

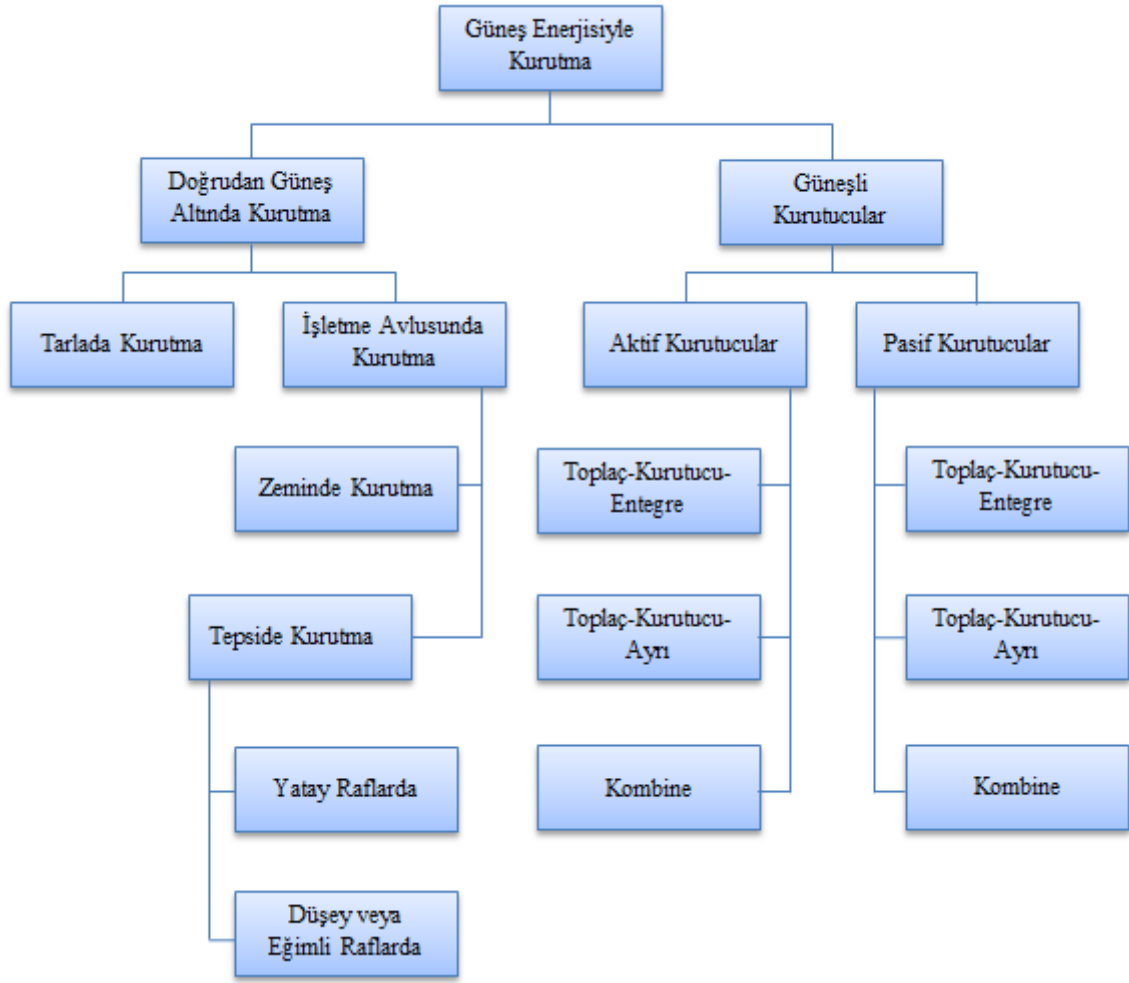
Kurutma işlemi ve kurutucu seçiminde dikkate alınması gereken temel etken, istenen niteliklere sahip ürünün elde edilmesinde minimum enerji tüketimi ve maksimum kuruma hızına ulaşmaktır. Nemli ve kurutulmuş malzemenin fiziksel özellikleri, kurutma işleminin başlangıcında içerdikleri nem yüzdesi, uzaklaştırılacak nem miktarı, kurutma sıcaklığı, birim zamanda kurutulacak ürün miktarı, uygulanacak işlemin sürekli veya kesikli olması, ısı geri kazanım sorunları gibi özellikler dikkate alınarak değişik kurutucu tipleri geliştirilmiştir [56, 57, 45]. Uygulamada en çok kullanılan kurutucu tipleri (Tablo 4.1)' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Uygulamalarda yer alan kurutucular ve özellikleri [58].

Kriter	Kurutucu Tipi
Çalışma şekli	Konveksiyon, kondüksiyon, radyasyon, elektromagnetik alan, kombine
Materyalin konumu	Durgun, hareketli, titreşimli, dağıtılmış, v.b.
Materyalin fiziksel durumu	Katı, sıvı, pelte, öğütülmüş, cips, sürekli tabaka, v.b.
İşletme basıncı	Vakum atmosferik
Kurutucu akışkan	Hava, süper ısıtılmış buhar, uçucu gazlar
Kurutma sıcaklığı	Kaynama sıcaklığının altında, kaynama sıcaklığının üzerinde, donma noktasının altında
Materyal ve kurutucu akışkanın birbirine göre bağlı hareketi	Paralel, karşı, karışık, çapraz akışlı
Kurutma aşaması	Tek aşama, çok aşama
Kurutucuda kalma süresi	Kısa(<1dk), orta (1-30 dk), uzun (>30 dk)

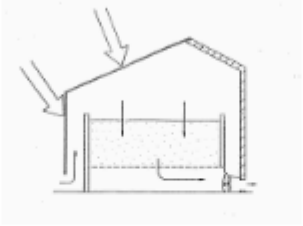
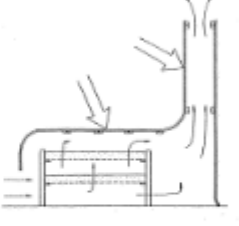
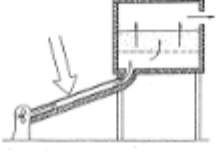
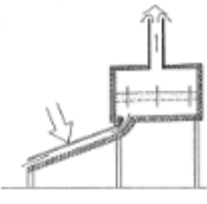
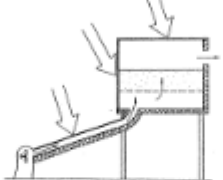
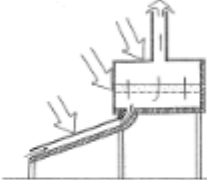
4.1. Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında Güneş Enerjisinden Yararlanılması

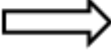
Tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanılma yöntemleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu kapsamda ürün ya doğrudan güneş altında kurutulabilir veya farklı yöntemlerle toplanan güneş ışınımı kapalı bir sistem içinde kurutma havasının sıcaklığını yükseltmede kullanılabilir. Ürünün doğrudan güneş altında kurutulması hangi koşulda yapılırsa yapılsın, gıda güvenliği ve kalitesine dönük profesyonel beklentileri karşılaması mümkün değildir. Güneş enerjisinin bir toplaçla toplanarak kurutma ortamına iletilmesini sağlayan kurutuculara “güneşli” veya “güneş enerjili” kurutucular denir. Güneşli kurutucular kurutma havasının ürüne doğal (pasif kurutucular) ya da zorlanmış konveksiyon (aktif kurutucular) yoluyla iletilmesine göre üzere iki bölümde incelenirler. Doğal ve zorlanmış konveksiyon ilkesine göre çalışan güneşli kurutucularda güneş enerjisinin kazanıldığı toplaç ve kurutmanın yapıldığı ortam bütünleşik ayrı veya kombine özellik göstermesine göre üç alt gruba ayrılır. Bu sınıflandırma kapsamında uygulamada kullanılan aktif ve pasif kurutucularda kabin veya sera tipi yapılar tercih edilmektedir [45].



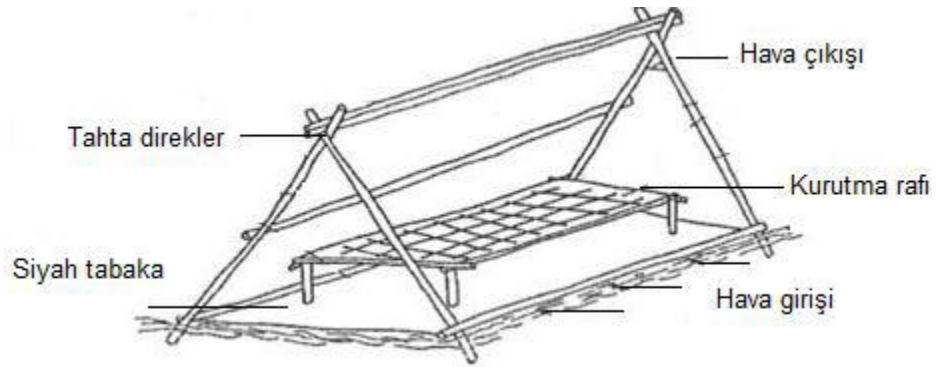
Şekil 4.1. Tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanılma yöntemleri [59].

Şekil 4.2’ de kabin tipi aktif ve pasif kurutucuların şematik resmi görülmektedir. Pasif tip güneşli kurutuculara, çadır, güneş kabinleri, seralar ve baca tipi kurutucuları (Şekil 4.3), aktif tip güneşli kurutuculara ise güneş pili veya rüzgar enerjisiyle çalışan fana sahip kurutucular gösterilebilir. Bu tip kurutucular kırsal kesimlerde rahatlıkla kullanılabilirler [60].

	Aktif Kurutucular	Pasif Kurutucular
Toplaç-Kurutucu Entegre Tip Güneşli Kurutucu		
Toplaç-Kurutucu Ayrı Tip Güneşli Kurutucu		
Kombine Tip Güneşli Kurutucu		

 GÜNEŞ IŞINIMI
 HAVA AKIŞI

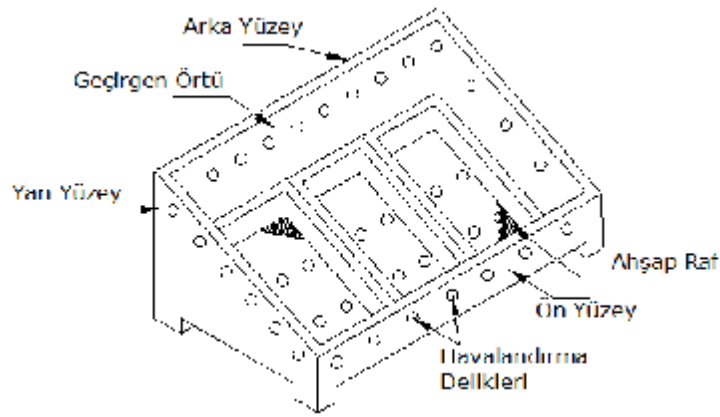
Şekil 4.2. Tipik solar enerji kurutucu tasarımları [60].



Şekil 4.3. Çadır yapılı, pasif tip güneşli kurutucu [60].

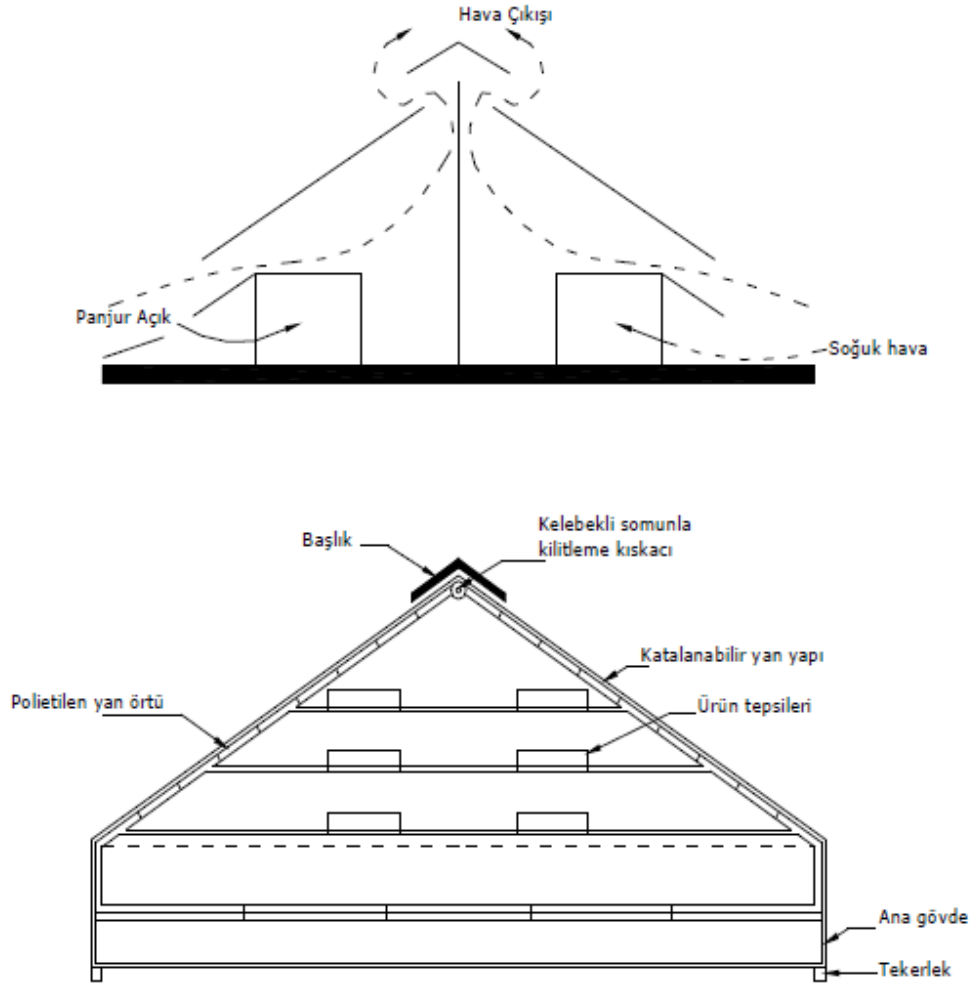
4.1.1. Güneş Enerjili Doğal Konveksiyonlu Kurutucular

Şekil 4.4'de görülen kabin tipi güneşli kurutucu mevcut yerel malzemelerle yapılabilecek basit yapılı kurutucudur. Genellikle 1 m uzunluğunda 30 cm genişliğinde ağaçtan yapılır. Kabinin yan ve alt yüzeyleri siyaha boyanmıştır. Kurutma esnasında kabin içi sıcaklık 80 °C'ye çıkmaktadır. Kabin duvarlarında hava akımını sağlamak için delikler bulunmaktadır. Düşük ilk yatırım maliyeti, kolay imal edilebilmesi ve geleneksel yöntemle göre daha kaliteli ürün vermesi avantajlarıdır [61, 62, 45].



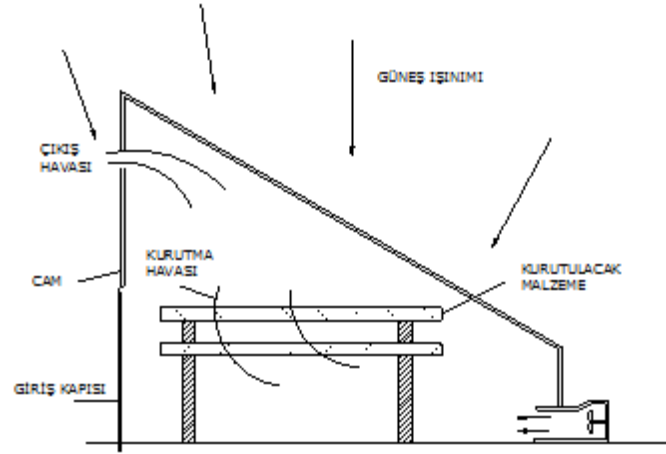
Şekil 4.4. Kabin tipi güneşli kurutucu [61].

Şekil 4.5'de bir diğer örneği görülen güneşli pasif kurutucular galvanizli tel kafese sahip paralel iki platformdan oluşup, üzerleri kuzey-güney yönüne bakan cam ile örtülmüştür. Çatının tepesinde bulunan kapaklar ile nemli hava uzaklaştırılırken, kurutucunun doğu ve batı duvarlarındaki deliklerden de temiz hava girişi sağlanır. Bu tür kurutucular Brezilya'da kakao kurutmak için kullanılmaktadır [61].



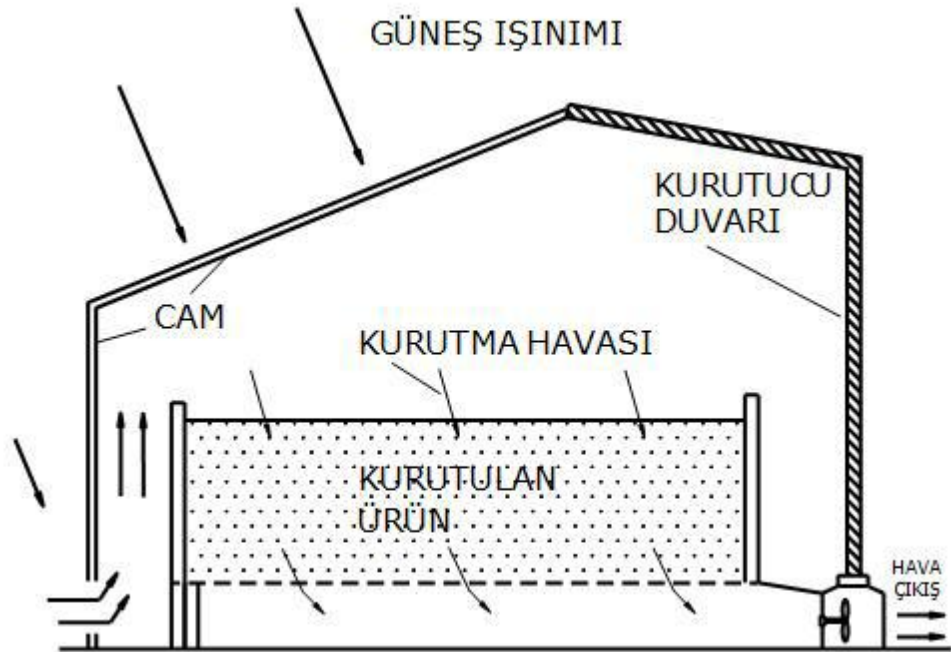
Şekil 4.5. Teraslı kabin tipi güneşli kurutucu [61].

Şekil 4.6'da görülen raflı tip güneş enerjili kurutucularda ürün hava geçiren tepsilere serilip, raflara yerleştirilir. Bu kurutucularda ışık geçiren örtülü yüzeylere göre arkada kalan duvarlara ısı yalıtımı yapılır ve bu duvarların iç yüzeyleri siyah renge boyanır. Toplayıcı ve kurutucu odasının içerisindeki havalandırma doğal taşınım ile sağlanır. Çevre sıcaklığı 30 °C iken kurutucu içindeki en yüksek sıcaklık 50 °C olarak tespit edilmiştir. Yükleme kapasitesi, kurutma odasında 100 kg/m², toplayıcı alanında ise 25 kg/m²'dir [61, 62, 45].



Şekil 4.9. Fanlı tip güneşli kurutucu [60].

Şekil 4.10'da görülen zorlanmış konveksiyonlu güneşli kurutucuda odanın güneye bakan duvar ve çatı yüzeyleri ışık geçirgen bir örtü ile kaplanmıştır. Dış ortamdan çekilen kurutma havası ürün içerisinden geçerek, fan yardımıyla dışarı atılması sağlanmaktadır [60].

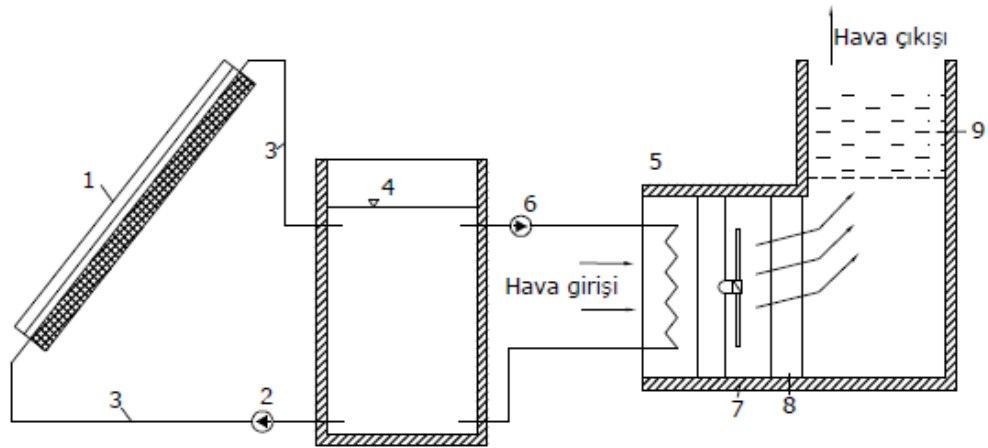


Şekil 4.10. Aktif güneşli kurutucu [60].

Güneş enerjisiyle kurutma yapan fanlı tip kurutucularda ısı depolarından da yararlanılabilir. Güneş enerjisinin uygun olduğu dönemlerde toplanan ısının bir bölümü ısı depolarında depolanır ve gereksinim duyulduğunda, depolanan bu ısı kurutma havasının ısıtılmasında kullanılır. Isı depolama malzemesi olarak su, taş havuzları ve sentetik bazı materyaller kullanılabilir. Isı depolarının kurutma işlemi için sağladığı yararlar şu şekilde sıralanabilir:

- Güneş enerjisinin olmadığı ya da yetersiz olduğu zamanlarda da kurutucunun ısı gereksinimi karşılanır.
- Güneş enerjisinin çok yoğun olduğu dönemlerde bu enerjinin bir bölümü depolandığından ürünün sıcaklık yükselmesinden zarar görmesi önlenir.

Isı depolama ortamı olarak suyun kullanıldığı bir ısı deposuna sahip güneşli kurutucunun ana bölümleri Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Isı deposundaki su bir pompa ve boru sistemi yardımıyla toplaçtan geçirilerek ısıtılır. Depodaki sıcak su başka bir pompayla emilerek, ısı değiştiricisine gönderilir. Kurutma havası bir fan yardımıyla ısı değiştiriciden geçirilerek emilir. Isı değiştiriciden geçerken ısınan hava kurutucuya gönderilir. Havanın sıcaklığının ısı değiştiriciden geçerken yeterli ölçüde yükselmediği durumlarda ek bir ısı kaynağından yararlanılır [51, 45].



Şekil 4.11. Sulu ısı deposuna sahip güneşte kurutma yapan kurutucu [63, 51].

4.2. Güneş Enerjili Kurutucularda Tasarım Değişkenleri

Genel olarak güneş enerjisi ile yapılan kurutma uygulamalarında ürün hasadının yapıldığı dönemdeki güneşli gün sayısının güvenli ve hızlı bir kurutmaya olanak sağlaması son derece önemlidir. Nemli halde kurutucuda kalan ürünün çok hızlı bir şekilde nitelik ve nicelik kaybına uğraması kaçınılmazdır. Kurutucunun verimli bir şekilde kullanılabilmesi için, yıl içerisindeki kullanım süresinin olabildiğince artırılması gerekir. Bu kapsamda, kurutucunun farklı bitkisel aksamın ya da farklı ürünlerin kurutulmasına olanak sağlaması beklenir. Güneşli kurutucularda en önemli tasarım özellikleri şunlardır [64]:

- Güneş toplacının tasarım özellikleri
 - Tipi, boyutu ve şekli
 - Örtü malzemesinin özellikleri (malzeme cinsi, ışık geçirgenliği, mekanik dayanım vb.,)
 - Fan özellikleri
- Kurutucunun tasarım özellikleri
 - Tipi, boyutu ve şekli
 - Kurutma kapasitesi
 - Kurutma tepsilerinin alanı ve sayısı
 - Yükleme boşaltma kolaylıkları
- Kurutucunun ısı özellikleri
 - Kuruma süresi ve kuruma hızı
 - Kurutma havasının psikometrik özellikleri
 - Hava debisi
 - Kurutucunun verimliliği
- Kurutulan ürünün özellikleri
 - Duyusal özellikler (renk, koku, tat, tekstür)
 - Besin değerleri
 - Rehidrasyon özelliği
 - Kurutucu maliyeti ve geri ödeme süresi

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

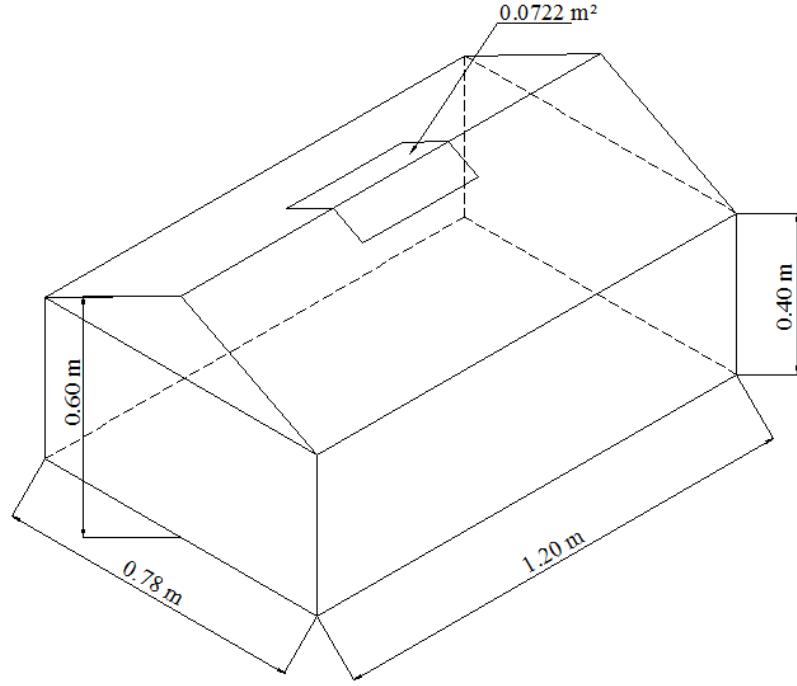
Bu çalışmada materyal olarak biber, patlıcan, havuç, elma, üzüm ve incir kullanılmıştır. Hammadde seçilirken ezik ve çürük olmamasına, materyalin aynı ebatta olmasına dikkat edilmiştir. Ürünler aynı ebatta dilimlenerek ince sergi kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi öncesi ürünlere uygulanan işlemler Tablo 5.1’de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. Kurutma işlemi öncesi ürünlere uygulanan işlemler

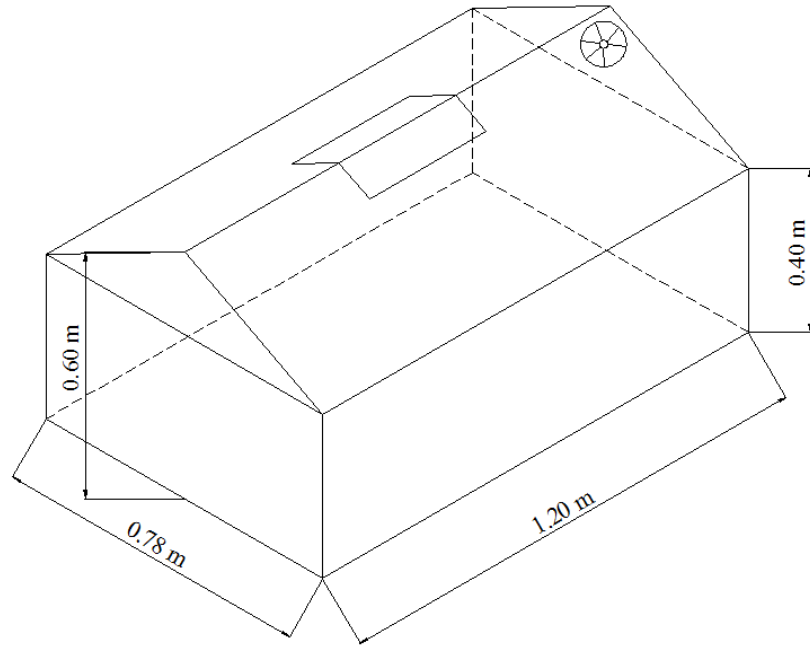
Ürün	Uygulanan işlem
Biber	Yıkandı, tomurcuklarından el ile ayrıştırıldı, ortalama 20 mm genişlik ve 45 mm boyda kesildi.
Elma	Yıkandı, soyuldu tomurcuklarından ayrıştırıldı, ortalama 50 mm boyda, 25 mm genişlikte ve 5 mm kalınlıkta kesildi.
Havuç	Yıkandı, soyuldu, ortalama 20 mm çapta, 5 mm kalınlıkta kesildi.
İncir	Yıkandı, her bir incir dört parça halinde dilimlendi.
Patlıcan	Yıkandı, ortalama 55 mm çapta, 5 mm kalınlıkta kesildi.
Üzüm	Potasa suyu ile yıkandı, el ile çöplerinden ayrıştırıldı.

Meyve ve sebzelerin kurutma işlemi için sera tip bir kurutucu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Sera tipi kurutucular genellikle toprak veya beton zemin üzerine kurulmakta ve cam veya naylon örtü ile kaplanmaktadır. Tasarlanarak imalatı yapılan sera tipi kurutucu ise bir iskele ve sera örtüsünden oluşmaktadır. Sera tipi kurutucu 1.20x0.78 m² alanında, seraya eşit yayılan çatı tipi iskele ve şeffaf plastik malzemeden yapılmıştır. Merkezi uzunluğu ve duvarların uzunluğu sırasıyla yaklaşık olarak 0.60 ve 0.40 m’dir. Çatıda 0.0722 m² etkin açıklığında bir hava boşluğu bırakılmıştır. Deneyler zorlanmış taşınımında serada, doğal taşınımında ise hem sera içinde hem de direkt güneş altında kurutma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Zorlanmış taşınım deneyleri seranın yan duvarına yerleştirilen 2.4 m/s hava hızındaki bir fan ile yapılmıştır. Havanın kurutma odasının yan kısmından girmesi ve kurutulacak örneklerin fileli tepside kurutulması sağlanmıştır. Deneyler boyunca sera doğu

- batı yönünde konumlandırılmıştır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de doğal taşınım ve zorlanmış taşınımda kurutma için tasarlanmış seraların teknik resim çizimleri verilmiştir.

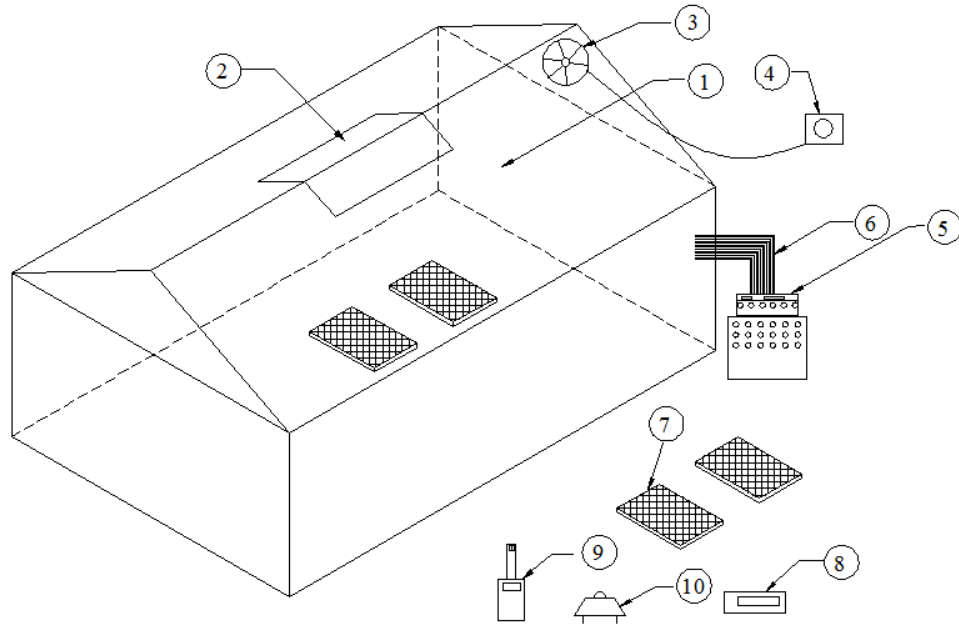


Şekil 5.1. Doğal taşınımda kurutma için tasarlanmış sera



Şekil 5. 2. Zorlanmış taşınımda kurutma için tasarlanmış sera

Şekil 5.3’de doğal ve zorlanmış taşınım deneyleri için hazırlanan deney setinin şematik resmi, Şekil 5.4 ve 5.5’de de fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.3. Sera Tipi Kurutucunun Şematik Gösterimi: 1- Kurutma Odası, 2- Baca, 3- Fan, 4- Reosta, 5- Dijital Termometre ve Kanal Seçici, 6- Termoelemanlar, 7- Tepsiler, 8- Terazî, 9- Nem Ölçer, 10- Işınım Ölçer



Şekil 5.4. Doğal taşınımında sera ve güneş altında kurutulan örnekler



Şekil 5.5. Zorlanmış taşınımında serada kurutulan örnekler

5.2. Ölçümler

5.2.1. Sıcaklık Ölçümü

Deney düzeneğinde sıcaklık ölçümleri, ölçüm yapılacak kısımlara yerleştirilen ısı çiftleriyle yapılmıştır. Isıl çiftlerin iki ucu yan yana getirildikten sonra nokta kaynağı yapılmıştır. Bu kısımlar sıcaklık ölçümü istenen noktalara yerleştirilmiştir.

- Ürünlerin bulunduğu ortama,
- Dış ortam sıcaklığını ölçmek için açık alana,
- Ürünlerin merkez ve yüzey noktalarına.

Isıl çift olarak 0.5 mm çapında demir-constantan kullanılmıştır. Isıl çiftlerden elde edilen değerler yirmi kanallı Elimko 6400 elle kumandalı 0.1 °C hassasiyetli dijital termometre kullanılarak okunmuştur. Sıcaklık tespitinde BS 4937 standardında J- tipi demir (+) Constantan (-) ısı çiftleri kullanılmıştır

5.2.2. Hız Ölçümü

Deneylerde hava hızını ölçmek LUTRON marka (AM- 4201) 0.4 – 30 m/s arasında $\pm$ % 2 doğrulukla ölçüm yapan probu pervaneli bir hız ölçer kullanılmıştır.

5.2.3. Nem Ölçümü

Nem ölçümünde EXTECH 444731 markalı hem sıcaklık hem de %RH olarak nem değişimini veren bir termo higrometre kullanılmıştır. Böylelikle çevre havasının ve kurutucu içindeki nem değişimi ölçülmüştür.

5.2.4. Ağırlık Tespiti

Laboratuvar tipi deney düzeneğinde ağırlık tespiti BEL marka 0.01 gram duyarlıklı maksimum 2000 grama kadar ölçüm yapabilen dijital bir terazi ile yapılmıştır.

5.2.5. Işınım Ölçümü

Işınım değerleri, $\pm 0.1 \text{ Wm}^{-2}$ hassasiyetli Kipp - Zonen piranometre ve CC12 model dijital solar integratör ile ölçülmüştür.

5.3. Metot

Konvektif ısı transfer katsayısı (h_c) Nusselt sayısı ile tespit edilmektedir [13, 14]:

$$h_c = \frac{Nu K_v}{X} \quad (5.1)$$

Konvektif ısı transfer katsayısı doğal taşınım için:

$$h_c = \frac{K_v}{X} C(GrPr)^n \quad (5.2)$$

zorlanmış taşınım için:

$$h_c = \frac{K_v}{X} C(RePr)^n \quad (5.3)$$

ifadeleri kullanılarak hesaplanır.

Nemi buharlaştırmak için gerekli ısı miktarı:

$$Q_e = 0.016 h_c [P T_c - \gamma P T_e] \quad (5.4)$$

eşitliğiyle bulunabilir.

Eşitlik (5.2) ve (5.3) 'deki h_c değeri Eşitlik (5.4) 'de yerine yazılırsa,

$$Q_e = 0.016 \frac{K_v}{X} C(GrPr)^n P T_c - \gamma P T_e \quad (5.5)$$

$$Q_e = 0.016 \frac{K_v}{X} C(RePr)^n P T_c - \gamma P T_e \quad (5.6)$$

eşitlikleri elde edilir.

Buharlaşan nem miktarı zaman aralığıyla (t) ve tepsinin alanıyla (A_t) çarpılarak ve buharlaşma gizli ısısına (λ) bölünerek tespit edilmektedir:

$$m_{ev} = \frac{Q_e}{\lambda} A_t t = 0.016 \frac{K_v}{X\lambda} C(GrPr)^n P T_c - \gamma P T_e A_t t \quad (5.7)$$

$$m_{ev} = \frac{Q_e}{\lambda} A_t t = 0.016 \frac{K_v}{X\lambda} C(RePr)^n P T_c - \gamma P T_e A_t t \quad (5.8)$$

Burada buharlaşan nem miktarı Z gibi sabit bir değere eşitlenir.

$$0.016 \frac{K_v}{X\lambda} P T_c - \gamma P T_e A_t t = Z \quad (5.9)$$

Bu durumda doğal taşınım için,

$$\frac{m_{ev}}{Z} = C(GrPr)^n \quad (5.10)$$

zorlanmış taşınım için ise,

$$\frac{m_{ev}}{Z} = C(RePr)^n \quad (5.11)$$

olarak Eşitlik (5.5) ve (5.6) düzenlenebilir.

Eşitlik (5.10) ve (5.11) de her iki tarafın logaritması alınırsa,

$$\ln\left[\frac{m_{ev}}{Z}\right] = \ln C + n \ln(GrPr) \quad (5.12)$$

$$\ln\left[\frac{m_{ev}}{Z}\right] = \ln C + n \ln(RePr) \quad (5.13)$$

ifadeleri elde edilir.

Eşitlik (5.12) ve (5.13) aşağıda Eşitlik (5.14) ile verilen bir doğrunun denklemine benzeşim yapılır.

$$Y = b_1 X + b_0 \quad (5.14)$$

Burada,

$$Y = \ln\left[\frac{m_{ev}}{Z}\right], \quad b_1 = n, \quad X = \ln(GrPr), \quad b_0 = \ln C \quad (5.15)$$

$$Y = \ln \frac{m_{ev}}{Z}, \quad b_1 = n, \quad X = \ln(RePr), \quad b_0 = \ln C \quad (5.16)$$

ile ifade edilmektedir.

Böylece

$$C = e^{b_0} \quad (5.17)$$

olarak elde edilir.

Nemli havanın farklı fiziksel özellikleri, yoğunluk ρ_v , ısı iletkenlik K_v , özgül ısı (C_v), viskozite (μ_v) ve buhar basıncı (P) aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\rho_v = \frac{353.44}{(T_i + 273.15)} \quad (5.18)$$

$$K_v = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} T_i \quad (5.19)$$

$$C_v = 999.2 + 0.1434 T_i + 1.101 \times 10^{-4} T_i^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T_i^3 \quad (5.20)$$

$$\mu_v = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8} T_i \quad (5.21)$$

$$P \cdot T = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T_i + 273.15} \right) \quad (5.22)$$

Burada nemli havanın elde edilen fiziksel özellikleri için T_i , ortam sıcaklığı (T_e) ve ürünün merkez yüzey sıcaklığının (T_c) ortalaması olarak alınmaktadır.

$$T_i = \frac{(T_c + T_e)}{2} \quad (5.23)$$

Nemli havanın farklı fiziksel özellikleri kullanılarak Reynolds sayısı (Re), Prandtl sayısı (Pr) ve Grashof sayısı (Gr) elde edilmektedir [13, 14].

Hesaplamalarda kullanılan boyutsuz sayılar ise fiziksel anlamlarıyla birlikte aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Akışkanın taşınımıyla aktardığı ısıнын akışkanın iletimle aktardığı ısıya oranı olan Nusselt sayısı:

$$Nu = \frac{h_c \cdot X}{K_v} \quad (5.24)$$

Atalet ve viskoz kuvvetlerinin oranı olan Reynolds sayısı:

$$Re = \frac{\rho_v \cdot V \cdot X}{\mu_v} \quad (5.25)$$

Kaldırma kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranı olan Grashof sayısı:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_c - T_e) X^3}{(\mu_v / \rho_v)^2} \quad (5.26)$$

Momentum ve ısı yayılım katsayılarının oranı olan Prandtl sayısı:

$$Pr = \frac{c_v \cdot \mu}{K_v} \quad (5.27)$$

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada patlıcan, biber, elma, havuç, üzüm ve incir dilimleri serada ve direkt güneş altında kurutularak konvektif ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Deneyler zorlanmış taşınımında serada, doğal taşınımında ise hem sera içinde hem de direkt güneş altında 2014 yılının mayıs ve haziran aylarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 30 dakika aralıklarla ürünlerin merkez ve yüzey sıcaklıkları, dış çevre sıcaklığı, sera içindeki ortam sıcaklığı, nem kaybı, ışıınım ve bağıl nem değerleri kaydedilmiştir.

Sıcaklık, nem kaybı, bağıl nem değerleri ve nemli havanın farklı fiziksel özellikleri kullanılarak, Reynolds sayısı (Re), Prandtl sayısı (Pr), Grashof sayısı (Gr), C , n sabitleri ve konvektif ısı transfer katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.1-6.18 ve Şekil 6.1-6.9'da verilmiştir.

6.1. Patlıcan Kurutma Deneyleri Sonuçları

Tablo 6.1'de doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.2'de sera içinde doğal taşınımında, Tablo 6.3'de de sera içinde zorlanmış taşınımında kurutulan patlıcan dilimlerine ait ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir.

Tablo 6.1. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan patlıcan dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T_c (°C)	T_e (°C)	m_{ev} (gr)	γ (%)	İşınım	Gr ($\times 10^5$)	Pr	C	n	Nu	h_c ($W/m^2\text{°C}$)
0	23.8	32.0	-	18.8	697	1.72	0.70	0.899	0.190	10.12	4.017
30	26.3	30.9	8.06	23.0	811	0.96	0.70			9.15	3.599
60	28.3	33.9	6.90	22.0	875	1.12	0.70			9.40	3.733
90	28.2	31.6	7.18	16.9	857	0.69	0.70			8.66	3.397
120	30.0	33.7	7.92	16.0	946	0.73	0.71			8.74	3.450
150	30.7	33.1	8.21	11.0	1008	0.48	0.71			8.12	3.178
180	31.2	30.7	5.08	18.9	1010	0.10	0.70			6.28	2.361
210	31.5	30.8	6.55	10.5	1040	0.14	0.70			6.63	2.516
240	32.8	33.5	6.56	30.1	1032	0.14	0.71			6.60	2.515
270	33.8	34.3	4.89	22.0	995	0.10	0.71			6.23	2.359
300	33.9	32.9	4.69	29.7	951	0.19	0.71			6.99	2.691
330	35.1	33.1	4.36	15.7	887	0.38	0.71			7.83	3.069

Tablo 6.2. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan patlıcan dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

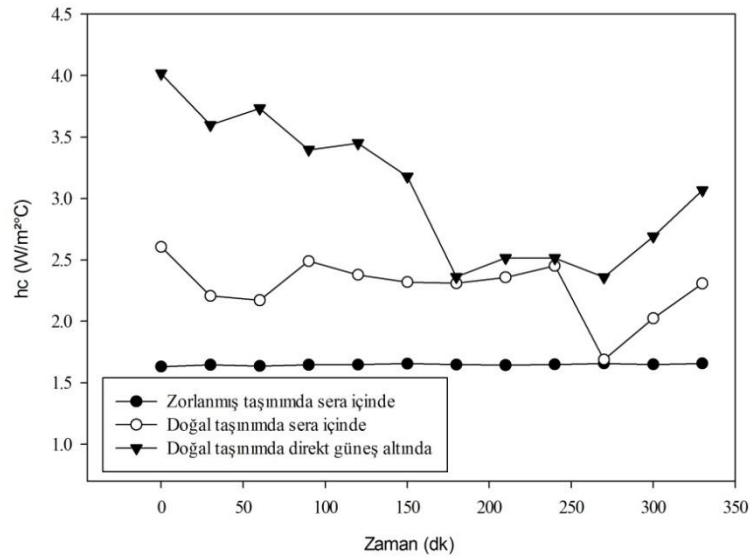
Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	25.6	36.6	-	37.3	723	2.21	0.70	0.970	0.143	5.34	2.607
30	40.8	40.3	6.14	32.0	858	0.56	0.71			4.39	2.207
60	48.1	40.3	7.15	29.2	931	0.46	0.71			4.27	2.171
90	39.2	40.3	7.94	30.1	891	1.30	0.71			4.95	2.491
120	44.0	40.3	8.32	36.5	972	0.88	0.71			4.68	2.378
150	44.7	40.3	8.53	32.0	1022	0.73	0.71			4.56	2.319
180	42.4	40.3	10.23	29.9	1069	0.74	0.71			4.57	2.309
210	42.3	40.3	8.44	30.0	1115	0.85	0.71			4.66	2.357
240	39.6	40.3	5.50	25.6	939	1.16	0.71			4.87	2.452
270	43.9	40.3	5.03	29.3	1071	0.08	0.71			3.34	1.688
300	41.6	40.3	6.28	19.3	948	0.31	0.71			4.03	2.024
330	40.3	40.3	5.71	18.6	868	0.76	0.71			4.59	2.307

Tablo 6.3. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan patlıcan dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Re (x10 ²)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	26.8	38.0	-	24.9	697	8.06	0.71	0.995	0.190	3.33	1.632
30	34.9	41.6	7.43	15.1	811	7.80	0.71			3.31	1.646
60	33.4	35.9	6.29	17.1	875	7.96	0.71			3.32	1.637
90	37.6	38.4	6.60	20.1	857	7.81	0.71			3.31	1.645
120	40.6	37.1	7.01	10.1	946	7.77	0.71			3.31	1.647
150	42.9	41.5	7.44	13.5	1008	7.63	0.71			3.29	1.655
180	40.1	37.9	4.29	15.3	1010	7.77	0.71			3.31	1.648
210	37.8	36.8	5.64	12.2	1040	7.84	0.71			3.31	1.644
240	38.4	40.9	6.64	26.5	1032	7.74	0.71			3.30	1.649
270	46.8	39.7	5.74	32.4	995	7.58	0.71			3.29	1.658
300	42.0	37.2	5.05	37.1	951	7.74	0.71			3.30	1.649
330	45.0	41.1	4.31	13.6	887	7.59	0.71			3.29	1.657

Patlıcan dilimleri doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulduğunda konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 2.359 ve 4.017 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutulduğunda 1.688 ve 2.607 W/m²°C aralığında değişiklik göstermiştir. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan patlıcan dilimlerinde ise konvektif ısı transfer katsayısı 1.632 ve 1.658 W/m²°C arasında değişmiştir.

Şekil 6.1’de patlıcan dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekil 6.1’de görüldüğü üzere doğal taşınımında direkt güneş altında yapılan kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri en yüksek olmuştur. En düşük konvektif ısı transfer katsayısı değerine sahip olan işlem ise zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmadır. Doğal taşınımında direkt güneş altında ve doğal taşınımında sera içinde kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri, zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada elde edilen değerlerden daha yüksek olmuştur. Ancak doğal taşınımında direkt güneş altında ve serada kurutma deneylerinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi zorlanmış taşınımına göre çok değişken olmuştur. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerindeki değişim neredeyse sabit kalmıştır.



Şekil 6.1. Patlıcanın doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi

Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri diğer iki kurutma işlemine göre daha yüksek olmuştur. Bunun sebebi sera içerisindeki bağıl nemin artışından dolayı serada kurutulan ürünün difüzyon katsayısının düşmesi olarak açıklanabilir. Ayrıca dış ortamdaki yüksek rüzgâr hızı da doğal

taşınmada direkt güneş altında kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayı değerlerinin yüksek olmasını açıklayıcı bir faktör olabilmektedir. Zorlanmış taşınmada sera içinde kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin neredeyse sabit bir değişim göstermesinin sebebi ise diğer iki kurutmada da dış çevresel faktörler etki gösteriyorken, sabit bir fan hızı dışında sera içerisindeki ürünün çevresel faktörlerden etkilenmemesi olarak açıklanabilir.

6.2. Biber Kurutma Deneyleri Sonuçları

Tablo 6.4’de doğal taşınmada direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.5’de sera içinde doğal taşınmada, Tablo 6.6’da ise sera içinde zorlanmış taşınmada kurutulan biber dilimlerine ait ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir.

Tablo 6.4. Doğal taşınmada direkt güneş altında kurutulan biber dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	28.4	32.0	-	12.7	777	0.73	0.70	1.131	0.078	2.63	1.284
30	37.7	36.7	4.83	20.9	863	0.18	0.71			2.36	1.173
60	38.5	38.2	4.86	10.6	933	0.05	0.71			2.15	1.070
90	39.2	37.4	4.11	12.8	913	0.32	0.71			2.47	1.230
120	39.1	40.0	4.90	11.1	996	0.16	0.71			2.34	1.167
150	41.4	34.8	5.27	10.5	1046	1.19	0.71			2.74	1.361
180	37.5	34.0	1.80	13.7	1037	0.66	0.71			2.61	1.291

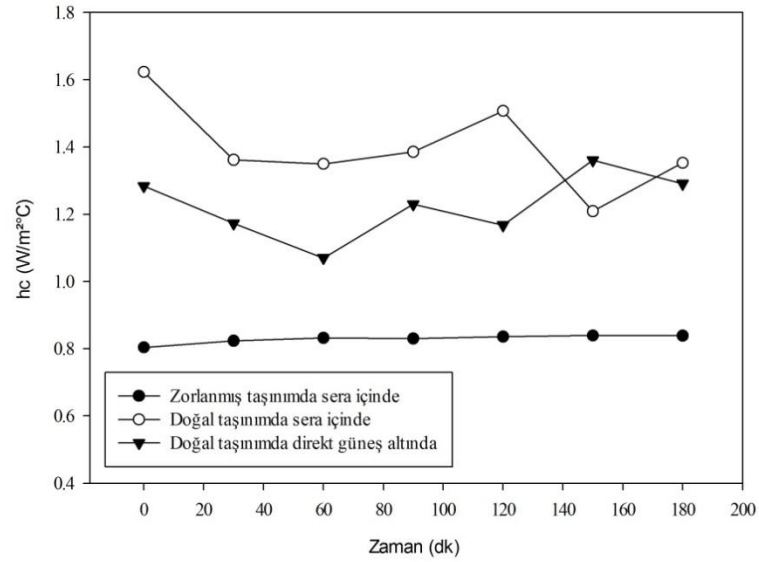
Tablo 6.5. Doğal taşınmada sera içinde kurutulan biber dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	25.4	35.7	-	24.1	723	2.08	0.70	0.998	0.101	3.33	1.623
30	36.1	37.8	3.41	25.0	828	0.31	0.71			2.75	1.362
60	41.3	39.8	5.62	17.7	899	0.26	0.71			2.70	1.350
90	43.7	41.8	5.07	19.7	873	0.32	0.71			2.75	1.385
120	44.3	39.9	4.81	16.0	949	0.75	0.71			3.00	1.507
150	41.4	41.9	4.18	12.1	1001	0.09	0.71			2.41	1.209
180	42.0	43.5	5.58	11.1	1006	0.25	0.71			2.69	1.353

Tablo 6.6. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan biber dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Re (x10 ²)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	26.5	34.8	-	15.1	777	8.15	0.70	0.996	0.079	1.65	0.803
30	42.2	42.7	4.63	13.6	863	7.62	0.71			1.64	0.823
60	47.6	47.2	3.87	11.9	933	7.41	0.71			1.63	0.832
90	44.6	48.3	3.99	10.0	913	7.45	0.71			1.64	0.830
120	50.8	48.6	4.74	12.1	996	7.32	0.71			1.63	0.836
150	53.6	49.9	4.33	10.0	1046	7.24	0.71			1.63	0.839
180	52.9	49.6	2.30	12.0	1037	7.26	0.71			1.63	0.838

Şekil 6.2’de ise biber dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Biberin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi

Konvektif ısı transfer katsayısı doğal taşınımında direkt güneş altında kurutmada 1.070 ve 1.361 W/m²°C, sera içinde kurutmada 1.209 ve 1.623 W/m²°C aralığında değişiklik

göstermiştir. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada ise konvektif ısı transfer katsayısı 0.803 ve 0.839 W/m²°C arasında değişmiştir. Şekil 7.2’de görüldüğü üzere sera çatısındaki boşlukta meydana gelen doğal hava sirkülasyonundan dolayı doğal taşınımında sera içinde kurutmada konvektif ısı transfer katsayı değerleri en yüksek olmuştur. Buna karşılık konvektif ısı transfer katsayı değerlerinde en düşük değişimler zorlanmış taşınımında kurutmada görülmüştür.

6.3. Elma Kurutma Deneyleri Sonuçları

Tablo 6.7’de doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.8’de sera içinde doğal taşınımında, Tablo 6.9’da da sera içinde zorlanmış taşınımında kurutulan elma dilimlerine ait ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir. Şekil 6.3’de ise elma dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan elma dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

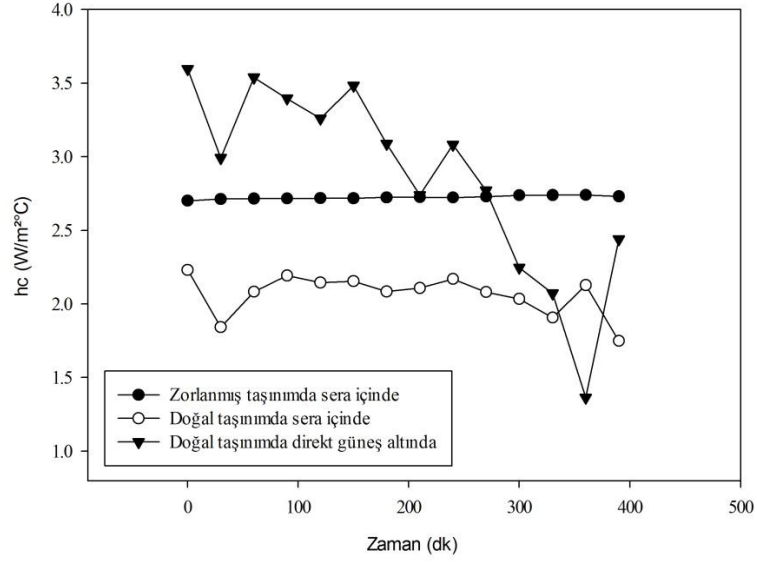
Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	20.4	32.8	-	24.0	836	2.66	0.70	0.651	0.201	7.45	3.597
30	18.5	23.4	4.95	25.6	266	1.14	0.70			6.29	2.992
60	19.1	30.5	4.50	22.2	928	2.51	0.70			7.36	3.539
90	21.0	30.3	6.52	18.4	881	2.02	0.70			7.05	3.396
120	22.4	30.0	6.54	19.7	956	1.64	0.70			6.76	3.261
150	23.1	33.7	6.17	16.6	1011	2.21	0.70			7.18	3.483
180	23.7	29.5	6.03	17.4	1025	1.24	0.70			6.39	3.088
210	25.0	28.2	5.07	16.4	499	0.69	0.70			5.67	2.740
240	27.5	33.3	2.24	15.1	1011	1.18	0.70			6.32	3.083
270	27.2	30.6	3.53	13.7	967	0.70	0.70			5.70	2.771
300	28.9	30.1	3.84	10.1	885	0.25	0.70			4.62	2.248
330	29.8	29.0	2.79	9.8	806	0.16	0.70			4.26	2.072
360	31.1	31.0	2.69	10.6	744	0.02	0.70			2.79	1.364
390	26.7	28.5	1.62	11.5	311	0.38	0.70			5.04	2.441

Tablo 6.8. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan elma dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	25.6	41.3	-	30.1	836	3.04	0.71	0.892	0.133	4.54	2.231
30	26.2	30.0	3.31	27.5	266	0.80	0.70			3.80	1.843
60	29.7	39.0	4.20	31.5	928	1.78	0.71			4.23	2.083
90	34.3	47.6	7.37	28.3	881	2.31	0.71			4.38	2.192
120	35.4	46.7	6.86	20.1	956	1.96	0.71			4.28	2.146
150	35.8	47.4	7.19	18.1	1011	2.00	0.71			4.29	2.154
180	35.5	44.6	7.01	29.7	1025	1.60	0.71			4.17	2.084
210	31.6	41.7	5.73	19.3	499	1.87	0.71			4.26	2.108
240	32.5	44.9	2.49	19.4	1011	2.22	0.71			4.36	2.169
270	32.7	41.8	4.15	14.7	967	1.67	0.71			4.19	2.080
300	33.3	41.0	4.24	13.5	885	1.41	0.71			4.10	2.035
330	36.7	41.4	2.75	12.9	806	0.84	0.71			3.83	1.908
360	31.2	42.0	2.22	10.9	744	2.00	0.71			4.29	2.127
390	31.7	34.2	1.85	12.9	311	0.49	0.71			3.56	1.748

Tablo 6.9. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan elma dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Re (x10 ²)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	21.0	35.4	-	13.5	726	8.26	0.70	0.983	0.272	5.57	2.702
30	28.8	36.1	7.73	14.2	835	8.06	0.71			5.54	2.714
60	30.6	36.1	5.86	15.5	927	8.02	0.71			5.53	2.716
90	30.3	37.4	9.02	11.8	299	8.00	0.71			5.52	2.717
120	30.0	38.9	10.12	13.4	1104	7.97	0.71			5.52	2.719
150	31.1	37.2	10.24	12.9	1075	7.98	0.71			5.52	2.718
180	33.3	39.7	10.75	10.6	1159	7.88	0.71			5.50	2.725
210	34.0	40.0	9.28	8.2	1169	7.86	0.71			5.50	2.726
240	33.3	38.9	10.10	16.0	1002	7.90	0.71			5.50	2.723
270	33.3	43.2	10.16	14.1	1023	7.80	0.71			5.49	2.729
300	39.5	43.9	5.81	10.5	970	7.65	0.71			5.46	2.739
330	41.2	43.2	4.71	15.6	884	7.63	0.71			5.45	2.740
360	42.0	42.8	6.78	11.1	827	7.62	0.71			5.45	2.740
390	39.5	38.6	2.76	16.0	717	7.77	0.71			5.48	2.731



Şekil 6.3. Elmanın doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi

Konvektif ısı transfer katsayısı doğal taşınımında direkt güneş altında kurutmada 1.364 ve 3.597 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutmada 1.748 ve 2.231 W/m²°C, zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada ise 2.702 ve 2.740 W/m²°C aralığında değişiklik göstermiştir. Şekil 6.3’de görüldüğü üzere dış ortamdaki rüzgar etkisinden dolayı güneş altında kurutma prosesinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri diğer kurutma işlemlerine göre daha yüksek olmuştur. Kurutmanın son bölümlerinde ise fanın etkisinden dolayı zorlanmış taşınımında kurutma prosesindeki konvektif ısı transfer katsayısı değerleri en büyük değerlere sahip olmuştur.

6.4. Havuç Kurutma Deneyleri Sonuçları

Tablo 6.10’da doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.11’de sera içinde doğal taşınımında, Tablo 6.12’de de sera içinde zorlanmış taşınımında kurutulan havuç dilimlerine ait ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir. Şekil 6.4’de ise havuç dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında

kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir.

Tablo 6.10. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan havuç dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

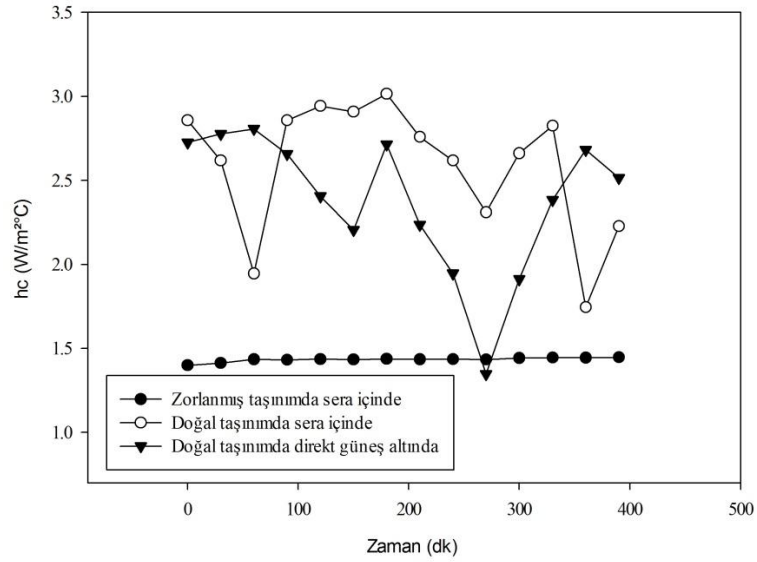
Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	23.0	31.4	-	12.8	654	1.79	0.70	0.867	0.159	5.64	2.726
30	24.5	33.9	9.30	9.8	766	1.94	0.70			5.71	2.777
60	28.3	38.3	10.09	11.8	847	1.94	0.71			5.71	2.806
90	29.1	36.2	9.95	8.7	835	1.39	0.71			5.42	2.657
120	32.4	36.2	9.74	10.0	919	0.73	0.71			4.88	2.406
150	33.1	35.3	8.53	11.8	990	0.42	0.71			4.48	2.205
180	31.6	39.7	8.76	9.4	995	1.52	0.71			5.49	2.715
210	34.0	36.4	7.67	9.7	1021	0.45	0.71			4.53	2.236
240	35.6	36.6	5.96	9.7	1018	0.19	0.71			3.93	1.946
270	33.9	34.0	5.38	7.5	978	0.02	0.71			2.74	1.347
300	33.8	32.9	3.06	10.4	942	0.17	0.71			3.89	1.912
330	35.4	31.8	1.62	8.4	947	0.70	0.71			4.85	2.385
360	38.5	31.0	6.40	11.1	886	1.43	0.71			5.44	2.681
390	39.8	34.8	1.06	11.3	764	0.92	0.71			5.07	2.515

Tablo 6.11. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan havuç dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	28.2	39.9	-	37.1	630	2.25	0.71	0.894	0.156	7.38	2.857
30	29.8	36.5	3.90	25.7	751	1.30	0.71			6.85	2.618
60	33.1	32.1	12.04	37.6	849	0.20	0.71			5.33	1.945
90	34.1	45.7	6.01	29.7	830	2.04	0.71			7.29	2.858
120	34.0	48.0	7.59	27.2	978	2.43	0.71			7.46	2.944
150	33.3	46.3	7.21	33.0	1016	2.29	0.71			7.41	2.909
180	33.7	50.0	6.71	21.5	1028	2.79	0.71			7.61	3.015
210	33.4	42.7	5.52	20.5	385	1.68	0.71			7.10	2.759
240	38.8	45.4	5.07	32.4	755	1.13	0.71			6.72	2.618
270	33.6	36.6	4.70	22.0	195	0.57	0.71			6.13	2.311
300	31.7	39.1	3.22	24.1	329	1.39	0.71			6.92	2.661
330	34.2	45.0	3.68	19.2	983	1.91	0.71			7.22	2.826
360	32.6	33.1	2.77	20.5	238	0.10	0.71			4.87	1.746
390	26.2	28.6	1.00	20.0	141	0.51	0.70			6.04	2.227

Tablo 6.12. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulanan havuç dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Re (x10 ²)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
0	25.8	35.5	-	12.3	654	8.15	0.70	2.586	0.016	2.87	1.400
30	30.1	38.5	7.62	14.6	766	7.98	0.71			2.87	1.412
60	37.7	43.9	9.22	14.6	847	7.69	0.71			2.87	1.435
90	35.7	43.9	8.12	9.3	835	7.73	0.71			2.87	1.431
120	36.9	45.3	8.43	10.0	919	7.68	0.71			2.87	1.436
150	35.7	45.1	7.47	10.1	990	7.71	0.71			2.87	1.433
180	37.8	45.0	8.20	8.4	995	7.66	0.71			2.87	1.437
210	38.7	42.8	7.94	11.6	1021	7.69	0.71			2.87	1.435
240	38.7	43.6	5.69	9.8	1018	7.67	0.71			2.87	1.436
270	40.5	40.4	4.37	9.3	978	7.70	0.71			2.87	1.434
300	45.6	40.4	3.82	10.2	942	7.60	0.71			2.87	1.442
330	47.2	40.4	3.37	7.2	947	7.56	0.71			2.87	1.445
360	46.7	40.4	2.93	10.6	886	7.57	0.71			2.87	1.444
390	47.9	40.3	2.12	8.1	764	7.55	0.71			2.86	1.446



Şekil 6.4. Havucun doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi

Havuç dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında kurutmada konvektif ısı transfer katsayısı 1.347 ve 2.806 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutmada 1.746 ve 3.015 W/m²°C, zorlanmış taşınımında kurutmada 1.400 ve 1.446 W/m²°C aralıklarında değişim göstermiştir. Şekil 6.4’de görüldüğü üzere doğal taşınımında sera içinde kurutma prosesinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri seradaki hava boşluğunun sağladığı hava sirkülasyonu sebebiyle diğer kurutma proseslerinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayı değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

6.5. Üzüm Kurutma Deneyleri Sonuçları

Üzüm kurutma deneyleri üç gün sürmüştür. Tablo 6.13’de doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.14’de sera içinde doğal taşınımında, Tablo 6.15’de de sera içinde zorlanmış taşınımında kurutulan üzüm tanelerine ait ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir.

Tablo 6.13. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan üzüm taneleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Gün	Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
1. Gün	0	35.6	36.8	-	12.2	725	0.22	0.71	1.117	0.150	5.38	2.360
	30	38.4	36.3	11.72	12.3	843	0.38	0.71			5.75	2.568
	60	40.7	40.8	6.89	10.6	909	0.02	0.71			4.03	1.628
	90	43.0	38.8	8.43	13.5	880	0.73	0.71			6.22	2.853
	120	42.2	37.8	9.25	18.7	954	0.77	0.71			6.26	2.872
	150	42.5	39.4	10.63	21.2	1005	0.54	0.71			5.99	2.726
	180	40.0	37.1	9.98	19.6	991	0.52	0.71			5.96	2.696
	210	39.5	34.4	10.40	12.2	998	0.94	0.71			6.41	2.933
	240	40.4	34.6	9.82	13.9	959	1.06	0.71			6.51	2.991
	270	40.3	30.9	9.16	12.0	907	1.76	0.71			6.94	3.214
	300	40.3	34.6	8.30	10.5	842	1.04	0.71			6.49	2.983
	330	41.6	32.8	8.17	18.4	777	1.61	0.71			6.86	3.184
	360	42.4	35.8	6.67	16.5	731	1.18	0.71			6.59	3.051
	390	45.6	33.4	8.22	9.1	614	2.16	0.71			7.12	3.346
	420	45.5	34.9	6.56	10.5	502	1.86	0.71			6.98	3.277
	450	42.0	33.4	7.58	9.8	406	1.57	0.71			6.83	3.173
	480	33.9	30.4	8.29	19.1	290	0.69	0.71			6.17	2.767

Tablo 6.13'ün devamı

2. Gün	0	40.6	38.1	-	10.5	741	0.44	0.71	1.001	0.122	3.52	1.757
	30	42.5	40.1	5.95	10.4	840	0.41	0.71			3.49	1.751
	60	45.7	38.5	5.15	13.9	946	1.23	0.71			3.99	2.002
	90	45.6	39.8	6.01	16.6	864	0.98	0.71			3.88	1.951
	120	45.5	38.4	6.76	14.3	939	1.22	0.71			3.98	1.999
	150	44.9	38.9	5.95	9.1	999	1.03	0.71			3.90	1.958
	180	45.0	33.3	7.27	17.7	1003	2.08	0.71			4.25	2.119
	210	44.3	32.0	9.56	18	1015	2.22	0.71			4.28	2.131
	240	44.8	36.6	7.46	22	996	1.43	0.71			4.06	2.032
	270	46.2	36.8	9.10	24	948	1.62	0.71			4.12	2.067
	300	45.8	35.8	8.81	17.4	881	1.74	0.71			4.16	2.082
	330	44.8	32.7	7.81	6.6	825	2.17	0.71			4.27	2.127
	360	45.1	36.1	6.10	10.3	768	1.57	0.71			4.11	2.055
	390	48.5	37.2	6.22	9.9	658	1.91	0.71			4.21	2.116
	420	48.5	35.8	4.79	6.6	556	2.17	0.71			4.27	2.145
	450	47.9	31.6	3.53	8.5	458	2.88	0.71			4.42	2.208
	480	46.5	31.0	2.66	5.9	359	2.78	0.71			4.40	2.192
3. Gün	0	46.7	37.4	-	13.7	729	1.59	0.71	0.940	0.084	2.51	1.259
	30	48.9	39.3	4.04	7.7	828	1.59	0.71			2.51	1.266
	60	51.7	36.8	4.68	10.0	905	2.47	0.71			2.60	1.314
	90	51.8	36.5	4.35	10.3	878	2.54	0.71			2.61	1.316
	120	53.1	35.1	4.96	10.6	942	2.99	0.71			2.64	1.334
	150	50.1	34.0	5.43	13.0	987	2.75	0.71			2.63	1.318
	180	54.4	30.2	5.75	12.2	969	4.12	0.71			2.72	1.365
	210	50.9	32.1	2.15	14.0	1004	3.24	0.71			2.66	1.335
	240	50.8	32.0	2.85	10.5	974	3.24	0.71			2.66	1.335
	270	45.7	29.7	2.80	7.7	963	2.91	0.71			2.64	1.310
	300	51.4	30.2	2.84	5.7	889	3.69	0.71			2.69	1.347
	330	50.1	33.9	4.46	11.1	812	2.77	0.71			2.63	1.319
	360	51.3	35.6	2.70	12.8	746	2.63	0.71			2.62	1.318
	390	44.6	32.8	1.70	10.5	631	2.12	0.71			2.57	1.279
	420	46.8	34.2	2.40	8.1	541	2.20	0.71			2.58	1.289
	450	43.6	32.2	0.62	8.0	425	2.07	0.71			2.56	1.274
	480	42.1	31.1	0.66	6.3	296	2.03	0.71			2.56	1.268

Tablo 6.14. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan üzüm taneleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Gün	Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
1. Gün	0	23.3	38.4	-	12.0	691	3.04	0.70	1.257	0.117	5.28	2.576
	30	37.2	43.1	4.73	15.3	782	1.04	0.71			4.65	2.326
	60	45.5	45.9	6.35	19.6	867	0.06	0.71			3.37	1.706
	90	48.0	44.7	9.67	40.7	851	0.53	0.71			4.30	2.184
	120	47.9	45.5	13.13	40.7	938	0.38	0.71			4.14	2.105
	150	44.3	45.7	13.49	48.4	1007	0.23	0.71			3.90	1.974
	180	46.0	48.7	12.87	45.9	995	0.43	0.71			4.20	2.135
	210	47.3	44.6	12.83	27.7	1033	0.44	0.71			4.21	2.133
	240	44.8	45.6	11.25	31.0	1048	0.13	0.71			3.65	1.849
	270	44.6	41.1	11.05	22.5	1062	0.59	0.71			4.36	2.193
	300	40.4	38.2	5.59	28.3	236	0.39	0.71			4.15	2.071
	330	42.5	39.1	6.33	18.4	425	0.59	0.71			4.36	2.182
	360	43.5	39.2	4.47	20.1	197	0.74	0.71			4.47	2.243
	390	50.1	41.1	5.32	11.1	762	1.46	0.71			4.84	2.454
	420	46.5	42.4	3.62	11.0	665	0.68	0.71			4.43	2.237
	450	37.9	34.8	5.34	7.0	570	0.58	0.71			4.34	2.150
	480	34.0	32.0	4.76	10.1	475	0.39	0.71			4.15	2.037
2. Gün	0	44.3	40.2	-	18.1	722	0.70	0.71	0.583	0.180	4.08	2.051
	30	44.1	45.3	4.83	32.9	799	0.20	0.71			3.25	1.643
	60	47.8	40.7	5.95	41.1	865	1.18	0.71			4.48	2.263
	90	48.8	41.0	8.85	44.6	857	1.28	0.71			4.55	2.302
	120	48.5	41.2	9.78	27.2	926	1.20	0.71			4.50	2.275
	150	44.5	41.8	7.93	28.9	979	0.45	0.71			3.78	1.902
	180	46.1	39.7	11.05	11.8	984	1.08	0.71			4.41	2.222
	210	47.7	38.4	6.83	22.1	1016	1.57	0.71			4.72	2.376
	240	48.1	37.7	9.79	24.0	1029	1.76	0.71			4.82	2.425
	270	47.8	36.7	9.20	18.9	1018	1.89	0.71			4.88	2.453
	300	42.3	34.7	8.20	18.4	933	1.37	0.71			4.61	2.292
	330	51.8	38.1	7.84	30.4	854	2.25	0.71			5.04	2.548
	360	47.4	39.5	7.14	13.5	819	1.32	0.71			4.58	2.307
	390	41.6	34.4	4.71	10.5	144	1.30	0.71			4.57	2.270
	420	37.1	32.7	2.01	15.1	84	0.83	0.71			4.21	2.078
	450	33.4	33.0	1.40	11.1	106	0.08	0.71			2.75	1.349
	480	32.7	32.1	1.48	8.8	65	0.12	0.71			2.96	1.452

Tablo 6.14'ün devamı

3. Gün	0	43.1	39.4	-	25.2	665	0.64	0.71	1.081	0.086	2.71	1.360
	30	48.0	40.4	4.12	28.4	758	1.26	0.71			2.88	1.452
	60	50.4	41.4	6.02	16.7	836	1.46	0.71			2.91	1.476
	90	50.0	42.1	6.31	16.6	815	1.28	0.71			2.88	1.460
	120	48.7	40.2	8.14	42.0	884	1.40	0.71			2.90	1.466
	150	45.3	42.1	5.94	23.0	964	0.53	0.71			2.67	1.347
	180	45.2	39.9	6.14	18.9	966	0.90	0.71			2.79	1.405
	210	46.7	40.7	5.88	28.6	993	1.00	0.71			2.82	1.422
	240	46.9	36.8	7.08	16.0	979	1.73	0.71			2.95	1.483
	270	48.1	37.6	3.18	22.0	960	1.77	0.71			2.96	1.490
	300	41.7	40.4	2.09	24.8	895	0.23	0.71			2.48	1.243
	330	51.1	39.5	2.32	17.7	865	1.89	0.71			2.98	1.508
	360	53.8	41.6	1.12	12.2	845	1.92	0.71			2.98	1.519
	390	53.2	41.2	1.41	9.1	715	1.91	0.71			2.98	1.516
	420	42.7	37.7	0.62	7.0	626	0.88	0.71			2.79	1.393
	450	39.2	35.1	0.47	7.7	336	0.75	0.71			2.75	1.365
	480	34.8	34.0	0.52	7.0	350	0.15	0.71			2.40	1.182

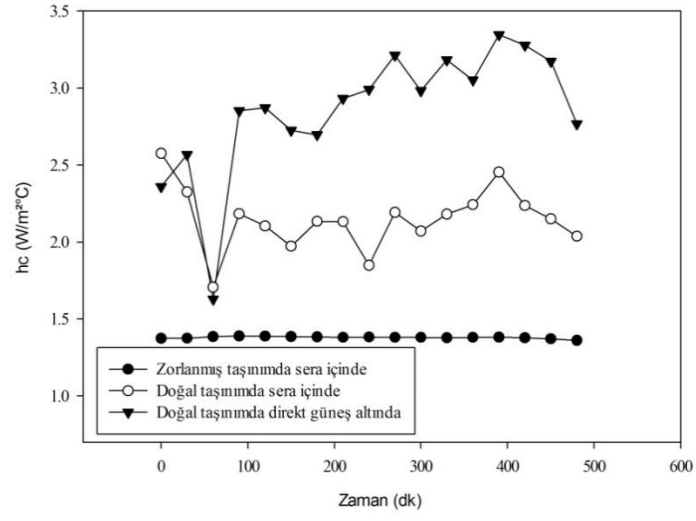
Tablo 6.15. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan üzüm taneleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Gün	Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Re (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
1. Gün	0	38.1	40.1	-	13.0	725	7.76	0.71	1.006	0.160	2.76	1.374
	30	39.5	39.4	10.01	17.8	843	7.75	0.71			2.75	1.374
	60	43.9	44.8	6.11	10.9	909	7.54	0.71			2.74	1.385
	90	47.1	45.1	7.50	11.3	880	7.47	0.71			2.74	1.389
	120	47.1	44.1	8.21	17.7	954	7.49	0.71			2.74	1.388
	150	45.2	43.5	9.94	24.1	1005	7.54	0.71			2.74	1.385
	180	44.0	43.0	11.87	15.6	991	7.57	0.71			2.74	1.383
	210	43.0	41.8	6.63	18.5	998	7.62	0.71			2.75	1.381
	240	44.4	42.1	10.21	11.8	959	7.58	0.71			2.75	1.383
	270	44.5	40.1	9.85	11.0	907	7.62	0.71			2.75	1.381
	300	45.0	38.8	8.72	7.0	842	7.64	0.71			2.75	1.380
	330	42.8	38.8	8.65	15.6	777	7.69	0.71			2.75	1.377
	360	45.6	38.7	4.26	12.4	731	7.63	0.71			2.75	1.380
	390	45.6	39.8	5.21	7.1	614	7.61	0.71			2.75	1.382
	420	44.5	37.7	4.97	10.5	502	7.68	0.71			2.75	1.378
	450	40.3	35.0	3.37	6.4	406	7.83	0.71			2.76	1.370
	480	34.0	32.6	3.67	7.2	290	8.02	0.71			2.77	1.361
2. Gün	0	41.0	40.6	-	7.7	741	7.69	0.71	1.006	0.130	2.28	1.142
	30	46.3	43.5	4.87	8.0	840	7.52	0.71			2.27	1.150
	60	47.6	44.8	5.40	11.5	946	7.46	0.71			2.27	1.153
	90	48.0	44.7	5.66	23.0	864	7.46	0.71			2.27	1.153
	120	47.4	44.8	6.99	17.0	939	7.47	0.71			2.27	1.153
	150	47.5	44.5	6.47	9.1	999	7.47	0.71			2.27	1.152
	180	42.2	43.2	7.95	14.1	1003	7.61	0.71			2.28	1.146
	210	42.0	42.1	7.83	19.7	1015	7.64	0.71			2.28	1.144
	240	42.5	42.8	7.10	14.5	996	7.61	0.71			2.28	1.146
	270	43.7	43.3	8.92	15.7	948	7.57	0.71			2.28	1.147
	300	43.0	43	8.22	14.2	881	7.60	0.71			2.28	1.146
	330	41.4	41.5	6.27	5.2	825	7.66	0.71			2.28	1.143
	360	45.0	40.4	6.59	16.0	768	7.61	0.71			2.28	1.146
	390	44.4	40.8	6.20	9.9	658	7.61	0.71			2.28	1.145
	420	43.2	39.4	4.79	6.4	556	7.67	0.71			2.28	1.143
	450	37.9	35.7	3.36	6.0	458	7.86	0.71			2.29	1.134
	480	36.0	34.5	1.94	5.3	359	7.93	0.71			2.29	1.131

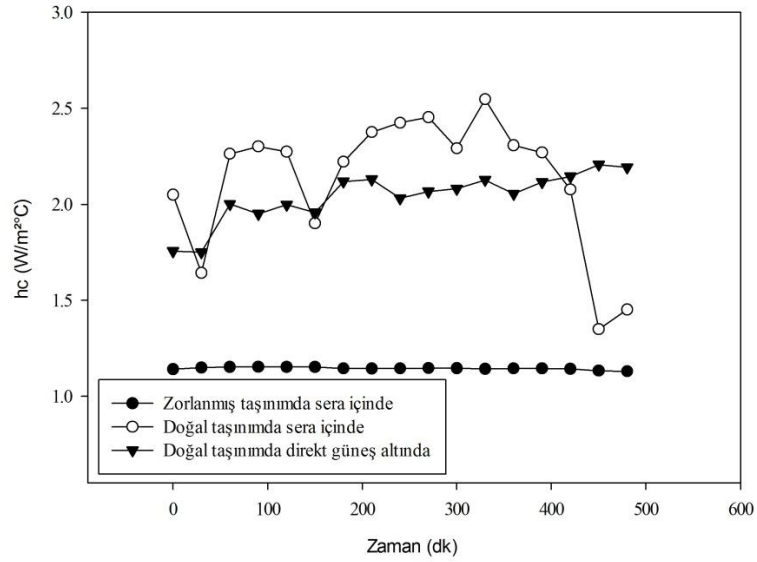
Tablo 6.15'in devamı

3. Gün	0	48.3	42.5	-	7.2	729	7.49	0.71	0.995	0.079	1.63	0.824
	30	49.7	42.9	4.68	17.0	828	7.46	0.71			1.63	0.825
	60	51.5	43.6	4.90	7.8	905	7.41	0.71			1.63	0.827
	90	51.2	41.9	5.66	6.4	878	7.45	0.71			1.63	0.826
	120	50.4	41.2	5.89	9.4	942	7.48	0.71			1.63	0.824
	150	49.2	40.4	7.25	10.5	987	7.52	0.71			1.63	0.823
	180	45.8	38.7	7.59	10.6	969	7.63	0.71			1.63	0.818
	210	47.1	38.0	4.35	10.1	1004	7.61	0.71			1.63	0.819
	240	47.9	39.6	5.12	10.0	974	7.56	0.71			1.63	0.821
	270	43.6	38.5	6.02	6.3	963	7.68	0.71			1.63	0.816
	300	43.7	39.3	4.80	5.7	889	7.66	0.71			1.63	0.817
	330	48.4	39.5	5.84	8.2	812	7.56	0.71			1.63	0.821
	360	43.7	39.3	3.57	10.2	746	7.66	0.71			1.63	0.817
	390	43.0	37.1	3.60	9.7	631	7.72	0.71			1.63	0.815
	420	43.3	38.1	2.43	6.5	541	7.69	0.71			1.63	0.816
	450	38.5	36.3	0.92	6.5	425	7.84	0.71			1.64	0.810
	480	36.9	35.0	0.86	5.7	296	7.90	0.71			1.64	0.808

Birinci gün yapılan kurutmada üzüm tanelerinin konvektif ısı transfer katsayısı değeri doğal taşınımında güneş altında kurutmada 1.628 ve 3.346 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutmada 1.706 ve 2.576 W/m²°C, zorlanmış taşınımında sera içinde kurutma prosesinde ise 1.361 ve 1.389 W/m²°C arasında değişmiştir. Şekil 6.5’de üzüm tanelerinin birinci günde doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekil 6.5’de görüldüğü üzere doğal taşınımında güneş altında kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri, sera içinde kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayı değerlerinden daha büyük olmuştur.

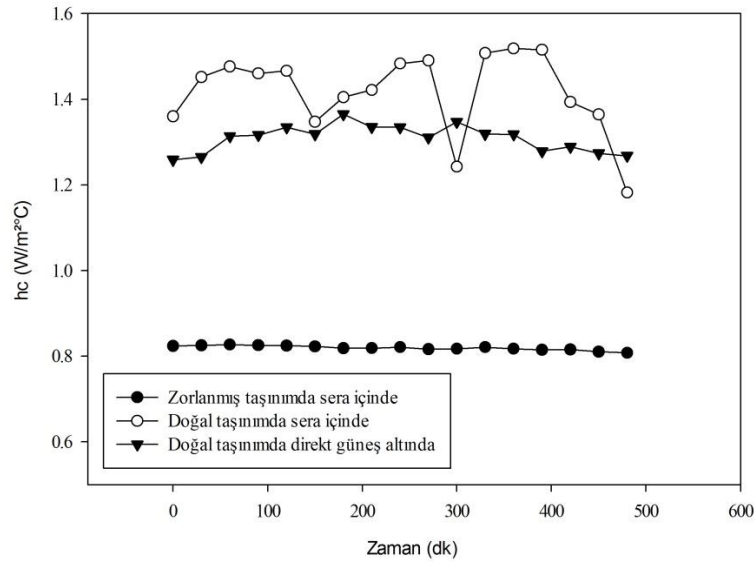


Şekil 6.5. Üzümün doğal taşınım da direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınım da kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transferi katsayısı değerlerinin zamanla değişimi (I. Gün)



Şekil 6.6. Üzümün doğal taşınım da direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınım da kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi (II. Gün)

İkinci gün devam eden deneylerde, üzüm tanelerinin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri doğal taşınımında direkt güneş altında kurutmada 1.751 ve 2.192 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutmada 1.349 ve 2.548 W/m²°C, zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada ise 1.131 ve 1.153 W/m²°C arasında değişmiştir. Şekil 6.6'da üzüm tanelerinin ikinci güne ait doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekil 6.6'da görüldüğü üzere doğal taşınımında sera içinde kurutmada elde edilen değerler diğer kurutma proseslerinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinden yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.7. Üzümün doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi (III. Gün)

Üçüncü gün devam eden üzüm kurutma deneylerinde, konvektif ısı transfer katsayısı doğal taşınımında direkt güneş altında kurutma prosesinde 1.259 ve 1.365 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutma prosesinde 1.182 ve 1.519 W/m²°C, zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada 0.808 ve 0.827 W/m²°C arasında değişmiştir. Şekil 6.7'de üzüm tanelerinin üçüncü gün doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla

değişimi gösterilmiştir. Sera içinde doğal taşınımında yapılan kurutmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri daha yüksek bulunmuştur.

6.6. İncir Kurutma Deneyleri Sonuçları

İncir kurutma deneyleri iki gün sürmüştür. Tablo 6.16’da doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.17’de sera içinde doğal taşınımında, Tablo 6.18’de de sera içinde zorlanmış taşınımında kurutulan incir dilimlerine ait ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir.

Tablo 6.16. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan incir dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

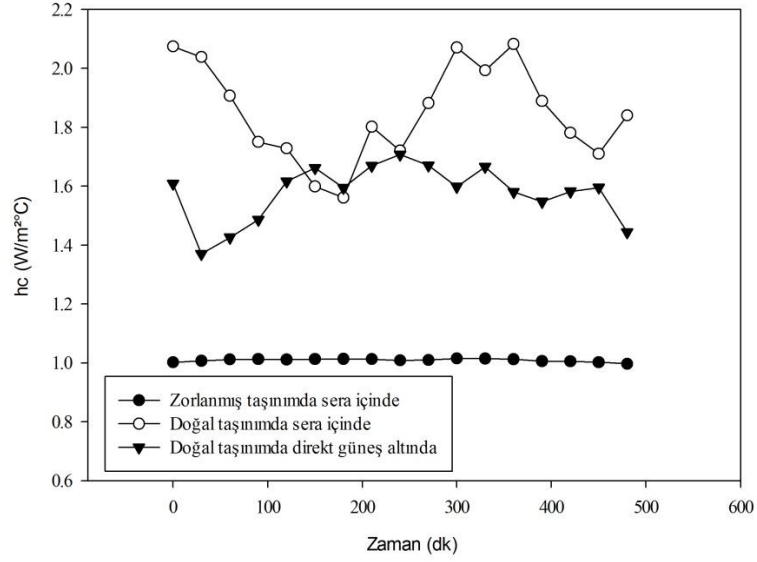
Gün	Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
1. Gün	0	29.9	35.5	-	13.2	664	1.10	0.71	1.128	0.095	3.28	1.609
	30	34.9	35.9	8.07	16.0	786	0.19	0.71			2.78	1.371
	60	37.1	35.6	8.15	18.0	855	0.28	0.71			2.88	1.426
	90	38.3	36.0	8.02	26.3	846	0.42	0.71			3.00	1.486
	120	39.8	34.2	11.65	16.7	941	1.03	0.71			3.26	1.617
	150	40.8	33.3	4.28	15.4	1014	1.38	0.71			3.35	1.662
	180	40.0	35.2	3.95	12.4	1010	0.87	0.71			3.21	1.595
	210	40.6	32.7	4.73	7.0	1020	1.46	0.71			3.37	1.670
	240	39.3	29.0	4.66	13.2	996	1.97	0.71			3.47	1.708
	270	39.1	31.0	4.57	11.1	946	1.53	0.71			3.39	1.671
	300	39.0	34.0	4.08	9.8	880	0.93	0.71			3.23	1.599
	330	38.5	30.6	3.86	7.4	807	1.51	0.71			3.38	1.666
	360	36.1	31.5	2.99	7.9	773	0.89	0.71			3.21	1.581
	390	35.0	31.3	2.37	6.0	673	0.72	0.71			3.15	1.548
	420	35.1	30.4	2.81	7.0	569	0.92	0.71			3.23	1.583
	450	35.7	30.6	2.01	10.4	443	0.99	0.71			3.25	1.596
	480	33.3	31.5	1.41	10.4	319	0.35	0.71			2.95	1.444
2. Gün	0	42.1	38.0	-	17.9	690	0.72	0.71	1.069	0.018	1.29	0.647
	30	42.7	41.7	0.99	19.7	791	0.17	0.71			1.26	0.634
	60	43.8	37.7	0.89	20.7	828	1.06	0.71			1.30	0.652
	90	45.7	39.3	0.80	19.6	842	1.09	0.71			1.30	0.655
	120	44.2	37.5	1.14	15.6	924	1.17	0.71			1.31	0.653
	150	45.2	38.4	1.35	10.1	981	1.17	0.71			1.31	0.655
	180	45.7	35.2	0.70	9.8	993	1.84	0.71			1.32	0.658
	210	44.4	36.2	0.79	19.3	1000	1.44	0.71			1.31	0.655
	240	44.0	32.6	0.79	15.4	983	2.06	0.71			1.32	0.656
	270	45.1	33.2	0.64	12.2	923	2.12	0.71			1.32	0.658
	300	42.3	34.7	0.47	10.4	878	1.37	0.71			1.31	0.651
	330	42.4	33.8	0.82	7.4	828	1.56	0.71			1.31	0.652
	360	40.7	31.9	0.47	7.1	770	1.63	0.71			1.31	0.650
	390	40.3	34.3	0.21	9.0	666	1.10	0.71			1.30	0.647
	420	39.3	32.0	0.41	7.1	564	1.37	0.71			1.31	0.647
	450	39.4	32.1	0.24	9.2	461	1.37	0.71			1.31	0.647
	480	34.6	33.0	0.22	5.9	331	0.31	0.71			1.27	0.627

Tablo 6.17. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan incir dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Gün	Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Gr (x10 ⁵)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
1. Gün	0	29.5	41.2	-	17.7	717	2.20	0.71	1.144	0.109	4.20	2.075
	30	34.8	44.4	6.23	21.7	814	1.70	0.71			4.08	2.039
	60	39.3	44.4	7.99	27.6	841	0.87	0.71			3.80	1.907
	90	41.6	43.9	8.63	51.2	863	0.39	0.71			3.48	1.750
	120	39.1	41.2	7.90	41.3	942	0.37	0.71			3.46	1.729
	150	42.5	43.5	9.71	40.7	1001	0.17	0.71			3.18	1.599
	180	43.8	43.0	6.32	36.0	999	0.13	0.71			3.10	1.561
	210	44.3	41.3	6.70	14.1	1029	0.51	0.71			3.58	1.802
	240	42.0	40.0	7.16	27.9	996	0.35	0.71			3.44	1.721
	270	42.0	37.4	5.89	25.6	959	0.81	0.71			3.77	1.882
	300	49.2	38.5	5.57	23.9	898	1.78	0.71			4.11	2.071
	330	46.5	38.9	4.69	36.7	828	1.29	0.71			3.96	1.993
	360	51.0	39.9	4.04	26.2	789	1.81	0.71			4.11	2.083
	390	41.2	36.4	3.72	19.0	697	0.86	0.71			3.79	1.889
	420	40.2	37.4	3.06	17.9	574	0.50	0.71			3.58	1.782
	450	35.5	33.5	1.88	18.0	458	0.38	0.71			3.47	1.711
	480	34.0	30.0	1.06	15.7	350	0.79	0.71			3.76	1.840
2. Gün	0	44.8	44.5	-	14.0	749	0.05	0.71	1.466	0.005	1.53	0.772
	30	42.8	44.8	0.80	14.0	837	0.33	0.71			1.54	0.778
	60	45.0	47.4	2.58	17.4	908	0.39	0.71			1.54	0.784
	90	46.0	44.0	3.66	12.4	871	0.33	0.71			1.54	0.781
	120	45.5	41.4	3.31	9.7	958	0.69	0.71			1.55	0.781
	150	48.1	42.5	2.94	11.5	1008	0.91	0.71			1.55	0.785
	180	49.7	42.3	2.77	20.6	997	1.20	0.71			1.55	0.788
	210	50.8	42.8	2.60	22.0	1019	1.28	0.71			1.55	0.789
	240	50.0	43.2	2.17	15.7	962	1.09	0.71			1.55	0.788
	270	45.3	40.1	1.91	16.8	926	0.88	0.71			1.55	0.780
	300	57.8	40.4	2.06	14.1	864	2.69	0.71			1.56	0.797
	330	53.3	43.1	1.80	11.1	798	1.60	0.71			1.56	0.793
	360	58.8	43.2	1.71	10.2	751	2.35	0.71			1.56	0.800
	390	46.1	40.6	1.17	12.2	638	0.92	0.71			1.55	0.781
	420	42.4	38.5	1.07	10.4	525	0.68	0.71			1.55	0.775
	450	36.9	36.0	0.47	6.9	418	0.17	0.71			1.54	0.761
	480	33.6	34.8	0.35	6.0	310	0.23	0.71			1.54	0.758

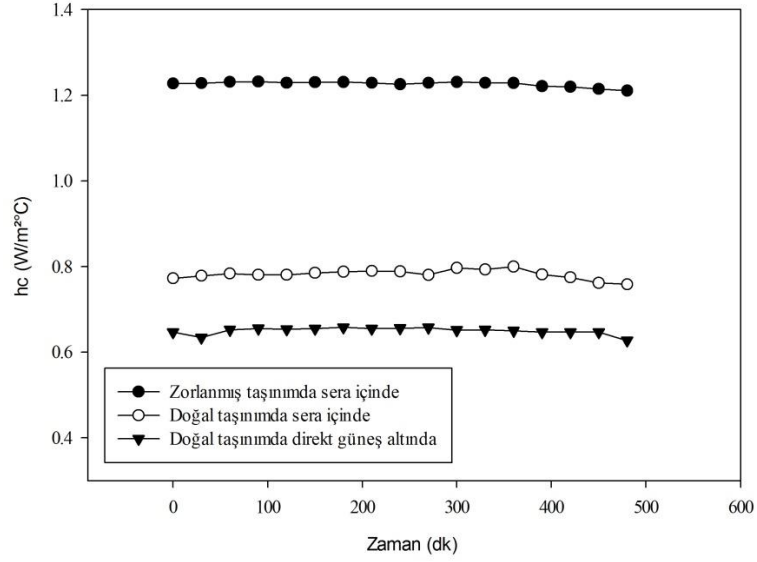
Tablo 6.18. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan incir dilimleri için ölçülen ve hesaplanan değerler

Gün	Zaman (dk)	T _c (°C)	T _e (°C)	m _{ev} (gr)	γ (%)	Işınım	Re (x10 ²)	Pr	C	n	Nu	h _c (W/m ² °C)
1. Gün	0	31.0	40.3	-	14.0	664	7.92	0.71	1.009	0.213	3.89	1.002
	30	35.3	41.2	6.27	14.1	786	7.80	0.71			3.88	1.007
	60	40.6	40.8	7.45	14.1	855	7.69	0.71			3.86	1.011
	90	42.1	40.5	7.79	11.2	846	7.67	0.71			3.86	1.013
	120	41.3	39.7	8.54	17.1	941	7.70	0.71			3.87	1.011
	150	43.9	38.5	8.74	17.7	1014	7.67	0.71			3.86	1.012
	180	45.3	38.3	4.44	15.0	1010	7.65	0.71			3.86	1.014
	210	45.4	37.0	5.98	6.4	1020	7.67	0.71			3.86	1.012
	240	42.6	35.8	5.56	10.2	996	7.76	0.71			3.87	1.009
	270	42.1	37.6	5.00	14.1	946	7.73	0.71			3.87	1.010
	300	47.4	37.7	4.29	6.6	880	7.61	0.71			3.86	1.015
	330	47.3	37.3	4.04	6.7	807	7.62	0.71			3.86	1.014
	360	45.7	36.5	3.73	5.1	773	7.68	0.71			3.86	1.012
	390	39.4	36.1	3.26	8.0	673	7.82	0.71			3.88	1.006
	420	38.8	35.6	2.58	9.8	569	7.85	0.71			3.88	1.005
	450	35.5	35.9	1.95	6.0	443	7.91	0.71			3.89	1.002
	480	32.0	33.8	1.11	5.1	319	8.04	0.71			3.90	0.997
2. Gün	0	43.8	42.0	-	7.9	690	7.60	0.71	0.982	0.145	2.44	1.227
	30	44.6	42.2	6.79	6.5	791	7.58	0.71			2.44	1.228
	60	47.8	42.1	2.11	19.7	828	7.51	0.71			2.43	1.231
	90	49.3	41.2	1.89	17.4	842	7.50	0.71			2.43	1.232
	120	46.1	41.7	2.53	17.4	924	7.56	0.71			2.44	1.229
	150	48.5	40.5	2.26	12.7	981	7.53	0.71			2.44	1.230
	180	50.2	38.9	1.89	7.4	993	7.53	0.71			2.44	1.231
	210	49.6	37.6	1.64	5.6	1000	7.57	0.71			2.44	1.229
	240	46.0	38.2	1.50	12.2	983	7.63	0.71			2.44	1.226
	270	47.3	40.0	1.40	14.0	923	7.57	0.71			2.44	1.229
	300	49.6	39.5	1.58	10.4	878	7.53	0.71			2.44	1.231
	330	48.2	39.6	1.71	5.6	828	7.56	0.71			2.44	1.229
	360	48.0	38.9	0.81	6.6	770	7.58	0.71			2.44	1.228
	390	41.6	38.2	1.78	7.0	666	7.73	0.71			2.44	1.221
	420	41.3	37.1	0.48	7.0	564	7.76	0.71			2.45	1.220
	450	37.5	36.3	0.36	5.0	461	7.86	0.71			2.45	1.215
	480	34.4	35.6	0.22	4.6	331	7.95	0.71			2.45	1.211



Şekil 6.8. İncirin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi (I. Gün)

Birinci gün yapılan deneylerde incir dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında kurutma işleminde konvektif ısı transfer katsayısı 1.371 ve 1.708 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutmada 1.561 ve 2.083 W/m²°C, zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada ise 0.997 ve 1.015 W/m²°C arasında değişmiştir. Şekil 6.8’de birinci gün yapılan kurutma deneylerinde incir dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Sera içinde doğal taşınımında yapılan kurutma işleminde incirin konvektif ısı transfer katsayı değerleri diğer kurutma işlemlerine göre daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 6.9. İncir doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişimi (II. Gün)

İkinci gün devam eden deneylerde incir dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında kurutma prosesinde ise konvektif ısı transfer katsayısı 0.627 ve 0.658 W/m^2C , doğal taşınımında sera içinde kurutma prosesinde 0.758 ve 0.800 W/m^2C , zorlanmış taşınımında sera içinde kurutmada 1.211 ve 1.232 W/m^2C arasında değişmiştir. Şekil 6.9’da incir dilimlerinin doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde doğal ve zorlanmış taşınımında kurutulmasında elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekil 6.9’da görüldüğü üzere zorlanmış taşınımında sera içinde kurutma işleminde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri en yüksek çıkmıştır.

Tablo 6.19’da doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan, Tablo 6.20’de sera içinde doğal taşınımında, Tablo 6.21’de de sera içinde zorlanmış taşınımında kurutulan ürünlerin ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri verilmiştir. Literatürde bulunan değerlerle karşılaştırma yapılmıştır.

Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 1.114 ve 3.074 W/m^2C arasında değişmiştir. En yüksek konvektif ısı transfer

katsayısı patlıcan dilimlerinde, en düşük konvektif ısı transfer katsayısı ise incir dilimlerinde elde edilmiştir.

Tablo 6.19. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan ürünlerin C , n sabitleri ve ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri

Ürün	C	n	$h_c (W/m^2C)$
Patlıcan	0.899	0.190	3.074
Biber	1.131	0.078	1.225
Elma	0.651	0.201	2.863
Havuç	0.867	0.159	2.380
Üzüm	1.020	0.119	2.070
İncir	1.098	0.056	1.114

Tablo 6.20. Doğal taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin C , n sabitleri ve ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri

Ürün	C	n	$h_c (W/m^2C)$
Patlıcan	0.970	0.143	2.276
Biber	0.998	0.101	1.398
Elma	0.892	0.133	2.065
Havuç	0.894	0.156	2.592
Üzüm	0.973	0.128	1.899
İncir	1.305	0.057	1.315

Doğal taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 1.315 ve 2.592 W/m^2C arasında değişmiştir. En yüksek konvektif ısı transfer katsayısı havuç dilimlerinde, en düşük konvektif ısı transfer katsayısı ise incir dilimlerinde elde edilmiştir.

Tablo 6.21. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin C , n sabitleri ve ortalama konvektif ısı transfer katsayısı değerleri

Ürün	C	n	$h_c (W/m^2C)$
Patlıcan	0.995	0.190	1.647
Biber	0.996	0.079	0.829
Elma	0.983	0.272	2.724
Havuç	2.586	0.016	1.433
Üzüm	1.002	0.123	1.115
İncir	0.996	0.179	1.118

Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 0.829 ve 2.724 W/m^2C arasında değişmiştir. En yüksek konvektif ısı transfer

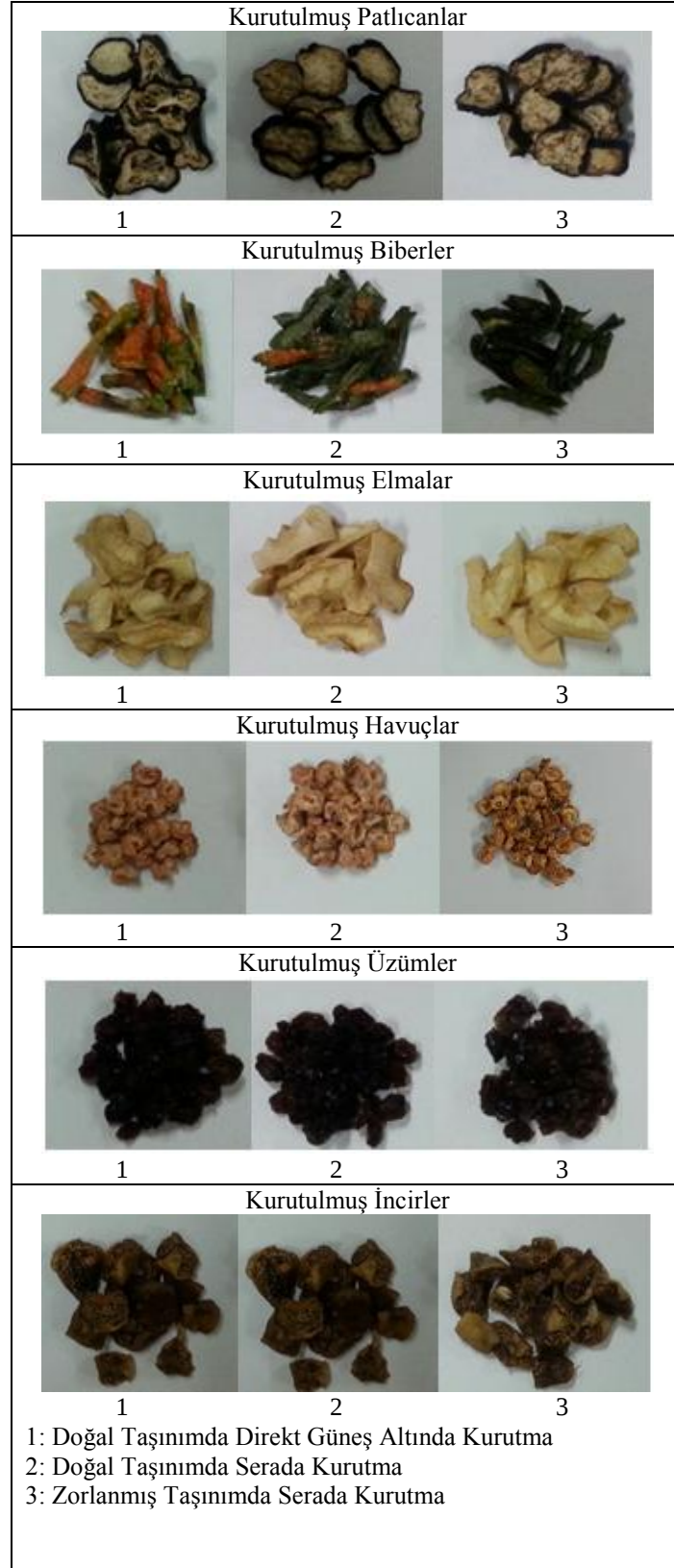
katsayısı elma dilimlerinde, en düşük konvektif ısı transfer katsayısı ise biber dilimlerinde elde edilmiştir.

Konvektif ısı transfer katsayısının ürünün geçirgenliği, nem miktarı, şekli, boyutu, kurutma prosesiyle, kurutma koşullarıyla, çevresel faktörler ve iklim şartları ile değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Bu çalışmada farklı kurutma işlemlerinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri literatürde bazı araştırmacılar tarafından tespit edilen konvektif ısı transfer katsayısı değerleri Tablo 6.22’de karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada bulunan sonuçların literatür değerleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Tablo 6.22. Hesaplanan konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Bu çalışma			Literatür		
Ürün	h_c (W/m ² °C)	Çalışma Koşulları	h_c (W/m ² °C)	Çalışma Koşulları	Kaynaklar
Patlıcan	3.074	Doğal taşınımda direkt güneş altında	2.513	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Toğrul [15]
	2.276	Doğal taşınımda serada	6.981	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Akpınar [20]
	1.647	Zorlanmış taşınımda serada	4.026	Zorlanmış taşınımda konveksiyonel kurutmada	Akpınar [6]
Biber	1.225	Doğal taşınımda direkt güneş altında	0.803	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Toğrul [15]
	1.398	Doğal taşınımda serada	3.710	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Anwar ve Tiwari [13]
	0.829	Zorlanmış taşınımda serada	1.310	Zorlanmış taşınımda konveksiyonel kurutmada	Anwar ve Tiwari [14]
Elma	2.863	Doğal taşınımda direkt güneş altında	11.323	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Akpınar [20]
	2.065	Doğal taşınımda serada	2.874	Zorlanmış taşınımda konveksiyonel kurutmada	Akpınar [6]
	2.724	Zorlanmış taşınımda serada	21.43-44.30	Hava akım hızının etkisinde	Velic vd. [65]
Havuç	2.380	Doğal taşınımda direkt güneş altında	1.980	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Toğrul [15]
	2.592	Doğal taşınımda serada			
	1.433	Zorlanmış taşınımda serada			
Üzüm	2.070	Doğal taşınımda direkt güneş altında	0.1486-0.286	Doğal taşınımda direkt güneş altında	Toğrul [16]
	1.899	Doğal taşınımda serada			
	1.115	Zorlanmış taşınımda serada			

Şekil 6.10’da kurutulan ürünlerin fotoğrafı görülmektedir. Ürünlerde renk kaybı ve büzülme oranının fazla olmadığı gözlemlenmektedir.



Şekil 6.10. Kurutulmuş ürünler

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada patlıcan, biber, elma, havuç, incir ve üzümün konvektif ısı transfer katsayısı değerleri doğal taşınımında direkt güneş altında, sera içinde zorlanmış ve doğal taşınımında hesaplanmıştır. Konvektif ısı transfer katsayısı, deneysel çalışma sonucu elde edilen değerler ile lineer regresyon analizi yapılarak hesaplanmıştır. Konvektif ısı transfer katsayısı değerlerinin kurutulan ürünlerin şekil ve boyutlarından, gözenekliliğinden, nem miktarından, termofiziksel özelliklerden, deneysel çalışma koşullarından, deneysel kurulumdan ve iklim şartlarından dolayı değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Doğal taşınımında direkt güneş altında kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 1.114 ve 3.074 W/m²°C, doğal taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı değerleri 1.315 ve 2.592 W/m²°C arasında değişim göstermiştir. Zorlanmış taşınımında sera içinde kurutulan ürünlerin konvektif ısı transfer katsayısı ise 0.829 ve 2.724 W/m²°C değerleri arasında değişmiştir.

Her bir ürünün ortalama konvektif ısı transfer katsayıları göz önüne alınarak değerlendirilme yapıldığında, elma, patlıcan, üzüm için doğal taşınımında direkt güneş altında kurutma işleminde daha yüksek konvektif ısı transfer katsayısı elde edilmiştir. Biber, havuç, incir ürünleri için ise doğal taşınımında sera içinde kurutma işleminde daha yüksek konvektif ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilmiştir. Elma dilimlerinin konvektif ısı transfer katsayısı zorlanmış taşınımında sera içinde kurutma işleminde, doğal taşınımında direkt güneş altında kurutma işlemine göre daha yüksek bulunmuştur. İncirin dilimlerinin konvektif ısı transfer katsayısı ise zorlanmış taşınımında sera içinde kurutma işleminde, doğal taşınımında sera içinde kurutma işleminden daha yüksek olmuştur. Bu sonuçların elde edilmesinde kurutucu tiplerinin etkisinin yanında ürünün kendi fiziksel özelliklerinin de etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca kurutma işlemlerinde konvektif ısı transferi katsayılarının zamanla değişimi incelendiğinde, doğal taşınımında direkt güneş altında kurutma ve doğal taşınımında sera içinde kurutma işlemlerinde elde edilen verilerde değişken bir durum söz konusu olduğu görülmüştür. Fakat fan etkisi dışında dış faktörlerden çok az etkilenen zorlanmış taşınımında sera içinde kurutma işleminde ise konvektif ısı transfer katsayısının zamanla değişiminin sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler sonrasında, doğal taşınımında gerçekleşen direkt güneş altında kurutma ve serada kurutma proseslerinin performanslarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. En düşük performans zorlanmış taşınımında serada kurutmada görülmesine karşın en güvenilir kurutma da yine zorlanmış taşınımında serada kurutmada görülmüştür. Bazı maliyeti düşük takviye çalışmaları ile sera tipi kurutucumuzun kurutma hızını artırıcı çalışmaların yapılabileceği öngörülmüştür.

Ayrıca literatürde ortalama konvektif ısı transfer katsayı değerleri bulunmayan üzüm ve incir için de literatüre katkı çalışması yapılmıştır.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Darıcı, S., Şen, S.,** 2011. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-13/16/İzmir.
- [2] **Akyurt, M., Sevilir, E., Selçuk, K.,** 1971. Güneş enerjisi ve bazı yakıtlarla meyve ve sebze kurutulması, TÜBİTAK, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu, Proje No: TOAG-97, Ankara.
- [3] **Cemeroğlu, B.,** 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın no:6, Böl:9, Ankara.
- [4] **Prakash, O., Kumar, A.,** 2014. Solar greenhouse drying: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* **29**, 905–910.
- [5] **Tiwari, G.N.,** 2003. Greenhouse technology for controlled environment, Narosa Publishing house, New Delhi, India.
- [6] **Akpınar, E.K.,** 2004. Experinemtal determination of convective heat transfer coefficient of some agricultural product in forced convection drying. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer.* **31(4)**: 585-595.
- [7] **Sodha, M.S., Dang, A., Bansal, P.K., Sharma, S.B.,** 1985. An analytical and experimental study of open sun drying and a cabinet type dryer. *Energy Convers. Mgmt.* **25(3)**: 263-271.
- [8] **Miketinac, M.J., Sokhansanj, S., Tutec, Z.,** 1992. Determination of heat and mass transfer coefficients in thin layer drying of grain. *Trans. ASSAE.* **35(6)**: 1853-1858.
- [9] **Ratti, C., and Crapiste, G.H.,** 1995. Determination of heat transfer coefficients during of food stuffs. *Journal of Food Process Engineering.* **18**: 41-53.
- [10] **Sanjay, K., Tiwari, G.N.,** 1996. Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems. *Solar Energy.* **57(6)**: 459-464.
- [11] **Goyal, R.K., Tiwari, G.N.,** 1998. Heat and mass transfer relations for crop drying. *Drying Technol.* **16(8)**: 1741-1754.
- [12] **Zhang, Z., Yang, S., Liu, D.,** 1999. Mechanism and mathematical model of heat and mass transfer during convective drying of porous materials. *Heat Transfer Asian Research.* **28(5)**: 337-351.
- [13] **Anwar, S.I., Tiwari, G.N.,** 2001. Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions. *Energy Convers. Mgmt.* **42(5)**: 627-637.

- [14] **Anwar, S.I., Tiwari, G.N.,** 2001. Convective heat transfer coefficient of crop in forced convection drying – an experimental study. *Energy Conversion and Management*. **42**: 1687-1698.
- [15] **Togrul, I.T.,** 2003. Determination of convective heat transfer coefficient of various crops under open sun drying conditions. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. **30(2)**: 285-294.
- [16] **Toğrul, I.T.,** 2005. Convective heat transfer coefficient of some fruits under open sun drying conditions. *Journal of Food Technology*. **3(1)**: 10-14.
- [17] **Toğrul, I.T.,** 2007. Convective heat transfer coefficient of apricots under open sun drying conditions. *Chemical Engineering Communications*. **192(8)**: 1036-1045.
- [18] **Tiwari, G.N., Kumar, S. and Prakash, O.,** 2004. ‘Evaluation of convective mass transfer coefficient during drying of jaggery’. *Journal of Food Engineering*. **63**, 219–227.
- [19] **Akpınar, E.K.,** 2005. Evaluation of convective heat transfer coefficient of various crops in cyclone type dryer. *Energy Conversion and Management*. **46**: 2439-2454.
- [20] **Akpınar, E.K.,** 2006. Experimental investigation of convective heat transfer coefficient of various agricultural products under open sun drying. *International Journal of Green Energy*. **1(4)**: 429-440.
- [21] **Kumar, A. and Tiwari, G.N.,** 2006. Effect of shape and size on convective mass transfer coefficient during greenhouse drying (GHD) of jaggery. *Journal of Food Technology*. **73**: 121-134.
- [22] **Kumar, A. and Tiwari, G.N.,** 2007. Effect of mass on convective mass transfer coefficient during open sun and greenhouse drying of onion flakes. *Journal of Food Technology*. **79**: 1337–1350.
- [23] **Kumar, M., Khatak, P., Sahdev, R.K. and Prakash, O.,** 2011. The effect of open sun and indoor forced convection on heat transfer coefficients for the drying of papad. *Journal of Energy in South Africa*. **22(2)**: 40-46.
- [24] **Sahdev, R. K., Jain, N., Kumar, M.,** 2012. Convective heat transfer coefficient for indoor forced convection drying of vermicelli. *IOSR Journal of Engineering*. **2(6)**: 1282-1290.
- [25] **Sahdev, R. K., Saroha, C. R. and Kumar, M.,** 2013. Convective heat transfer coefficient for indoor forced convection drying of corn kernels. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. **2(4)**: 18-24.

- [26] **Kholliiev, B., Sadıkov, T., Khairitidinov, B. and Sadıkov, B.,** 1982. On the investigation of a solar hothouse/fruit dryer. *Applied Solar Energy*. **18(3)**, 78-81.
- [27] **Trim, D. S., Ko H. Y.,** 1982. Development of a forced-convection solar dryer for red peppers. *Tropical Agriculture*. **59(4)**, 319-323.
- [28] **Müller, J., Reisinger, G., Kısgeci, J., Kotta, E., Tesic, M. and Mühlbauer, W.,** 1989. Development of a greenhouse type solar dryer for medicinal plants and herbs, *Solar and Wind Technology*, **6(5)**, 523-530.
- [29] **Demir, Ş.,** 1989. Bazı meyvelerin sera içerisinde kuruma karakteristikleri, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [30] **Fohr, J. P. and Arnaud, G.** 1992. Grape drying: from sample behaviour to the drier Project, *Drying Technol*, **10(2)**, 445-65.
- [31] **Manohar, K. R. and Chandra, P.,** 2000. Drying of agricultural produce in a greenhouse type dryer, *Int. Agric. Eng. J.*, **9(3)**, 139-150.
- [32] **Jain, D. and Tiwari, G. N.,** 2004. Effect of greenhouse on crop drying under natural forced convection II. Thermal modeling and experimental validation, *Energy Conversion and Management*, **45**, 2777-2793.
- [33] **Ahmad, N. T.,** 2001. Agricultural solar air collector made from low cost plastic packing film, *Renewable Energy*, **23**, 663-671.
- [34] **Jain D.,** 2005. Modeling the performance of greenhouse with packed bed thermal storage on crop drying application, *J. of Food Engineering*, **71**, 170-178.
- [35] **Roux, N., Jung, D., Pannejon J. and Lemoine, C.,** 2010. Modelling of the solar drying process Solia, In: *Pierucci S, Ferraris GB, editors. Proceeding of 20th European symposium on computer aided process engineering*.
- [36] **Farhat, A., Koli, S., Kekreni, C., Maalej, M., Fadkel, A. and Belghith, A.,** 2004. Validation of a pepper drying model in a polyethylene tunnel greenhouse, *Int. J. of Thermal Sciences*, **43**, 53-58.
- [37] **Khiari, B., Mihoubi, D., Mabrouk, S. B. and Sassi, M.,** 2004. Experimental and numerical investigations on water behaviour in a solar tunnel drier, *Desalination*, **168**, 117-124.
- [38] **Condori, M. and Saravia, L.,** 1998. The performance of forced convection greenhouse driers, *Renewable Energy*, **13**, 453-469.
- [39] **Condori, M., Echaz, R. and Saravia, L.,** 2001. Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel greenhouse drier, *Renewable Energy*, **22**, 447-460.

- [40] **Garg, H. M. and Kumar, R.,** 2000. Studies on semi-cylindrical solar tunnel dryers: thermal performance of collector, *Applied Thermal Engineering*, **20**, 115-131.
- [41] **Sethi, V. P. and Arora, S.,** 2009. Improvement in greenhouse solar drying using inclined north wall reflection, *Solar Energy*, **83**, 1472-1484.
- [42] **Kumar A. and Tiwari G. N.,** 2006. Thermal modeling of a natural convection greenhouse drying system for jaggery: an experimental validation, *Solar Energy*, **80**, 1135-1144.
- [43] **Koyuncu T.,** 2006 . An investigation on the performance improvement of greenhouse type agricultural dryers, *Renewable Energy*, **31**, 1055-1071.
- [44] **Barnwal, P. and Tiwari, G.N.,** 2008. Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: an experimental study, *Solar Energy*, **82**, 1131–1144.
- [45] **Yelmen, B.,** 2010. Polietilen yüksek tünel sera tipi kurutucuda baharatlık kırmızıbiberin kurutulması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [46] **Janjai, S., Intawee, P., Kaewkiew, J., Sritus, C. and Khamvongsa, V.,** 2011. A large-scale solar greenhouse dryer using polycarbonate cover: Modeling and testing in a tropical environment of Lao People's Democratic Republic, *Renewable Energy*, **36**, 1053-1062.
- [47] **Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H. ve Yılmaz, A.,** 2014. Küçük ölçekli sera tipi bir kurutucuda kırmızı biber kurutulmasının termoekonomik analizi, *Politeknik Dergisi*, **17(4)**, 143-152.
- [48] **Ergüneş, G. ve Gerçekçioğlu, R,** 1999. Sera tipi kurutucuda Kütahya vişne çeşidinin kuruma özellikleri ve kuru ürün kalitesine etkileri, *Türkiye 3. Bahçe Bitkileri Kongresi*, 14-17 Eylül, Ankara, 833- 837.
- [49] **Demirbaş, M. ve Kasap, A.,** 2001. Fındık kurutma sistemlerinin karşılaştırılması, *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, 13-15 Eylül, Şanlıurfa, 431-436.
- [50] **ASAE,** 1983. Moisture measurement-peanuts. ASAE Standart of ASAE S.410.1. *Agricultural Engineering Yearbook of Standards*, 329-331.
- [51] **Yağcıoğlu, A.,** 1999. Tarım ürünleri kurutma tekniği, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536*, İzmir.
- [52] **Hall, C. W., Kunze, O. R., Calderwood, D. L., Maddex, R. L., Shove, G. C., Davis, D. C.,** 1980. Drying and storage of agricultural crops, Washington State Un., Pullman, WA 99164, USA.

- [53] **Doğantan, Z. S.**, 1986. Kahramanmaraş biberlerinin kurutmaya yönelik fiziksel ve kimyasal özelliklerinin saptanması ile doğal koşullarda ve plastik örtü altı güneş toplayıcılarıyla kurutma üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Mekanizasyonu Anabilim Dalı, Adana.
- [54] **Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., Hall, C.W.**, 1974. Drying cereal grains. Westport AVI.
- [55] **Van Arsdel, W. B. and Copley, M. J.**, 1963. Food dehydration, v 1., The AVI Publishing Company, Inc. West port Connecticut, 178.
- [56] **Güngör, A., Özbalta, N.**, 1997. Endüstriyel kurutma sistemleri, 3. *Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi Bildiriler Kitabı* s. 97.
- [57] **Jayaraman, K. S., Das gupta, D. K.**, 1995. Drying of Fruits and Vegetables, *Handbook of Industrial Drying*, pp. 643-690 Second Edition Revised and Expanded, Vol 1, Edited By Arun S. Mujumdar, Marcel Dekker inc., New York.
- [58] **Mujumdar, A. S.**, 2000. Fundamentals of industrial drying. *In: Short Course Notes on Industrial drying Technology: Princeples and Applications (Mujumdar A. S. and Dinçer, İ.Eds)*, İzmir, Turkey, 12 – 15 Haziran, s. 102 – 128.
- [59] **Mujumdar, A.S.**,1997. Drying Fundamentals (Industrial Drying of Foods, First Edition, Ed.: C.G.J. BAKER). Blackie Academic Professional, London, s. 7-29.
- [60] **Ekechukwu, O. V., Norton, B.**, 1999a. Review or Solar Energy Systems II: An Overview of Solar Drying Technology, *Energy Conversion and Management*, **40**, 615-655.
- [61] **Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L.**, 2002. Rewiev Of Research And Development Work On Solar Dryers For Grape Drying, *Energy Conversion And Management*, **43**, 45-61.
- [62] **Yaldız, O.**, 2002, Güneş Enerjili Kurutucularda Tarım Ürünlerinin Kurutulması, Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 21-22 Mart 2002, s. 59-77.
- [63] **Imre, I.**, 1995. Solar Drying, *Handbook of Industrial Drying, Second Edition Revised and Expanded*, Vol 1, pp: 373-452, Edited By Arun S. Mujumdar, Marcel Dekker inc., New York.
- [64] **Ekechukwu, O.V., Norton, B.**, 1999b. Review or Solar Energy Systems III: Low Temperature Air Heating Solar Collectors for Crop Drying Applications, *Energy Conversion and Management*, **40**, 657-667.

- [65] **Velic, D., Planinic, M., Tomas, S. and Bilic, M.**, 2004. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying, *Journal of Food Engineering*, **64**, 97–102.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Hannover’de doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Elazığ’da tamamladım. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde eğitime başladım. 2011 yılında lisans eğitimimi tamamladıktan sonra aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başlamış olup halen devam etmekteyim. 2014 yılının ocak ayından itibaren Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım ve halen devam etmekteyim.