



T. C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

AYDIN YÖRESİNDE İNCİR KURUTMADA
KULLANILACAK OLAN DOĞAL AKIMLI BİR GÜNEŞ
ENERJİLİ KURUTUCUNUN MODELLENMESİ

Necmiye APAYDIN

DANIŞMAN
Prof. Dr. M. Bülent COŞKUN

AYDIN – 2007

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı : Necmiye APAYDIN

İmza :

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AYDIN YÖRESİNDE İNCİR KURUTMADA KULLANILACAK OLAN DOĞAL AKIMLI BİR GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCUNUN MODELLENMESİ

Necmiye APAYDIN

Adnan Menderes Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Bülent COŞKUN

Türkiye'nin ihraç ürünleri arasında ilk sıralarda bulunan kuru incir üretiminin önemli bir bölümünü Aydın ili sağlamaktadır. Bu çalışmada, Türkiye ve Aydın için büyük öneme sahip incir için özellikle küçük aile işletmelerinin hijyenik koşullarda kurutma yapmasına olanak sağlayacak doğal akımlı bir güneşli kurutucunun model tesisi dizayn edilmiştir. Çalışmada, hava sıcaklığı, rüzgâr, bağıl nem ve güneş ışıınımı değerlerinin kuruma davranışına etkisi araştırılmış ve çoklu regresyon analizine tabi tutularak ayrılabilir nem oranı ile olan ilişkisi ortaya konmuştur. Analiz sonucu bulunan istatistiksel eşitliklerinin uyumuna bakılmış, sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve R^2 , tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (X^2) değerlerine bakılmıştır. Grafikler ve istatistiksel hesaplamalar için Statistica 7.0 ve JMP 7.0 istatistik programları kullanılmıştır. Çalışmanın son bölümü sonuçların tartışıldığı tartışma ve sonuç bölümü olmuştur.

2007, 83 sayfa

Anahtar Sözcükler

Kuru incir, Güneş Enerjisi, Kurutucular, Kurutma, İstatistiksel Analiz

ABSTRACT

Ph.D Thesis

**MODELLING OF A SOLAR DRYER WITH NATURAL CONVECTION
WHICH WILL BE USED AROUND AYDIN FOR FIG DRYING**

Necmiye APAYDIN

Adnan Menderes University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. M. Bülent COŞKUN

Dried fig, which is one of the top export goods of Turkey, is mostly produced in Aydın region. During this research, a fig dryer with natural convection model, that will especially enable small family enterprises to make production under hygienic conditions was designed. In the study; the effects of air temperature, wind speed, relative humidity and solar radiation on the drying process are studied. In order to determine their relations with moisture ratio multiple regression analysis were performed. Consistencies of regression equations that are found as the analysis results are checked and R^2 , root mean squared error (RMSE) and chi-square (X^2) values are examined. For these tasks, Statistica and JMP software are used. In the last part of the study is the results are discussed.

2007, 83pages**Key Words**

Dried fig, Solar Energy, Dryers, Drying, Statistical Analysis

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasına başlarken kuruma süreçlerinin ve davranışlarının bu kadar derin bir konu olduğunu bilmiyordum. Ama konuya girdikçe, kurumunun yalnızca kütle kaybı olmadığını, kuruma ve kurutma süreçlerinin son derece karmaşık bir yapıya sahip olduğunu öğrendim. “Aydın Yöresinde İncir Kurutmada Kullanılacak Olan Doğal Akımlı Bir Güneş Enerjili Kurutucunun Modellenmesi” konulu Yüksek Lisans tez çalışmamın seçiminde, yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında çok önemli katkıları bulunan değerli hocam Sayın Prof. Dr. M. Bülent COŞKUN’a, deneme materyali olan incirin temininde yardımcı olan Erbeyli İncir Araştırma Enstitüsü personeline, denemelerim süresince yardımlarından dolayı çalışma arkadaşlarım Sayın Araş. Gör. Erkan ŞİMŞEK’e ve Sayın Araş. Gör. Taner AKBAŞ’a, istatistiksel analizlerde yardımlarından dolayı sevgili kardeşim Saner APAYDIN’a ve çalışmalarım süresince gösterdikleri yardım ve anlayıştan dolayı A.D.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü başta olmak üzere, tüm öğretim elemanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER DİZİNİ

AHE	Azalan hızla kuruma evresi
ANO	Ayrılabilir nem oranı
ANO _{deneyse}	Deneysel ayrılabilir nem oranı
ANO _{hesaplanan}	Hesaplanan ayrılabilir nem oranı
RMSE	Tahminin standart hatası
X^2	Khi-kare
R^2	Belirtme katsayısı
I	Güneş ışıının şiddeti
IE	Isınma evresi
M	İncirin belirli bir t anındaki nem içeriği
M_0	İncirin ilk nem içeriği
m_K	Kuru ağırlık
m_Y	Yaş ağırlık
SHE	Sabit hızla kuruma evresi
Φ	Bağıl nem
T	Sıcaklık
V	Rüzgâr hızı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 1995–2001 Yılları Arasında Türkiye’de Kuru İncir Üretimi	2
Şekil 1.2 2000 Yılı Dünya Kuru İncir Üretimi	3
Şekil 1.3 Türkiye'nin yıllık toplam Güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı	8
Şekil 1.4 Çadır tipi bir kurutucu	12
Şekil 1.5 Fanlı tip güneş enerjili kurutucu	14
Şekil 1.6 Oda tipi fanlı kurutucu	14
Şekil 1.7 Aktif ve pasif kurutucu tipleri	15
Şekil 1.8 Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucu	16
Şekil 1.9 Fotovoltaik panel destekli zorlamalı konveksiyonlu kurutucu	17
Şekil 3.1 Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kampus alanı Araştırma ve Üretim Çiftliği Krokisi	27
Şekil 3.2 Doğal akımlı kurutucunun prototip gösterimi	30
Şekil 3.3 Doğal akımlı kurutucu prototipinin kesit gösterimi	31
Şekil 3.4 Doğal akımlı model kurutucunun önden görünüşü	32
Şekil 3.5 Doğal akımlı model kurutucunun yandan görünüşü	33
Şekil 4.4 İncirlerin kütle değişim grafiği	40
Şekil 4.5 I. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 4.6 I. Periyod için $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	54
Şekil 4.7 II. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması	55
Şekil 4.8 II. Periyod için $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	55
Şekil 4.9 III. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması	56
Şekil 4.10 III. periyot için $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	56
Şekil 4.11 IV. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması	57
Şekil 4.12 IV. Periyod için $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	57
Şekil 4.13 I. periyot için güven aralığı grafiği	58

Şekil 4.14 II. periyot için güven aralığı grafiği	59
Şekil 4.15 III. periyot için güven aralığı grafiği	60
Şekil 4.16 IV. periyot için güven aralığı grafiği	61
Şekil 4.17 I. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler	63
Şekil 4.18 I. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	64
Şekil 4.19 II. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneysel olarak bulunan Ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler	64
Şekil 4.20 II. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	65
Şekil 4.21 III. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler	65
Şekil 4.22 III. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	66
Şekil 4.23 IV. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneysel olarak bulunan Ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler	66
Şekil 4.24 IV. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Başlıca İncir Üreticisi İllerde Ağaç Sayıları ve Taze İncir Üretimleri	1
Çizelge 3.1 Aydın ilinin 2005- 2006 yıllarına ait bazı meteorolojik değerler	28
Çizelge 4.1 I. periyottaki incirlerin kütle değişimleri	37
Çizelge 4.2 II. periyottaki incirlerin kütle değişimleri	38
Çizelge 4.3 III. periyottaki incirlerin kütle değişimleri	39
Çizelge 4.4 IV. periyottaki incirlerin kütle değişimleri	39
Çizelge 4.5 İncirlerin ilk nem değerleri	41
Çizelge 4.6 İncirlerin son nem değerleri	41
Çizelge 4.7 I. periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri	42
Çizelge 4.8 II. Periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri	43
Çizelge 4.9 III. periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri	43
Çizelge 4.10 IV. periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri	44
Çizelge 4. 11. Deneme periyotlarında ölçülen sıcaklık değerleri	45
Çizelge 4.12 Deneme periyotlarında ölçülen güneş ışıınımı değerleri	46
Çizelge 4.13 Deneme periyotlarında ölçülen rüzgâr hızı değerleri	47
Çizelge 4.14 Deneme periyotlarında ölçülen bağıl nem değerleri	48
Çizelge 4.15 I. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler	49
Çizelge 4.16 II. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler	49
Çizelge 4.17 III. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler	50
Çizelge 4.18 IV. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler	50
Çizelge 4.19 Her bir periyot için $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin Karşılaştırılması	52
Çizelge 4.20 $ANO_{hesaplanan}$ ve $ANO_{deneyse}$ ilişkisini gösteren R^2 , RMSE ve X^2 değerleri	53
Çizelge 4.21 Her bir periyot için düzenlenmiş $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması	62
Çizelge 4.22 Düzeltilmiş $ANO_{hesaplanan}$ ve $ANO_{deneyse}$ ilişkisi için, R^2 , RMSE ve X^2 değerleri	63

EKLER DİZİNİ

EK 1.1 Çoklu Regresyon İstatistikleri

80

İÇİNDEKİLER

İNTİHAL BEYAN SAYFASI	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
EKLER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 KURUTMA TEORİSİ	4
1.1.1 Kurumanın Statığı	5
1.1.2 Kurumanın Kinetiği.....	5
1.1.3 Kurutma Yöntemleri	6
1.2 Güneş Enerjili Kurutucular	8
1.2.1 Kurutulan Ürünün Güneş Etkisinde Kalış Biçimine Göre Güneş Enerjili Kurutucular	10
1.2.1.1 Doğrudan Güneş Enerjili Kurutucular	10
1.2.1.2 Dolaylı Güneş Enerjili Kurutucular	11
1.2.1.3 Birleşik Tip Güneş Enerjili Kurutucular	11
1.2.2 Kurutucudan Geçen Kurutma Havaasının Akış Biçimine Göre Güneş Enerjili Kurutucular	11
1.2.2.1 Pasif Kurutucular (Doğal Taşınım).....	12
1.2.2.2 Aktif Kurutucular (Zorlamalı Taşınım)	14
1.2.3 Kurutma Hacminde Dolaşan Havanın Sıcaklığına Göre Güneş Enerjili Kurutucular	18
2. KAYNAK ÖZETLERİ	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Materyal	27
3.1.1 Deneme alanı ve süresi.....	27
3.1.2 İklim	27
3.1.3 İncir Çeşidi.....	28

3.1.4	Doğal Akımlı Kurutucu ve Tasarımı.....	29
3.1.4.1.	Tasarım.....	29
3.1.4.2.	İmalat.....	31
3.1.5.	Ölçümler.....	33
3.2	Yöntem.....	33
3.2.1	Kurumaya Etkili Faktörler	33
3.2.1.1.	Ayrılabilir Nem Oranı (ANO).....	35
4.	BULGULAR	37
4.1	Bulgular	37
4.1.1	İncirin Kütle Kaybı	37
4.1.2	İncirin İlk ve Son Nem Değerleri	40
4.1.3	Ayrılabilir Nem Oranı Değerleri (ANO _{deneyssel})	42
4.1.4	Sıcaklık Değerleri (°C).....	44
4.1.5	Güneş Işınım Değerleri (W/m ²).....	45
4.1.6	Rüzgâr Hızı Değerleri (m/s)	46
4.1.7	Hava Bağlı Nem Değerleri (%)	48
4.1.8	Parametrelere Bağlı Olarak Ayrılabilir Nem Oranı (ANO _{hesaplanan}) Değerinin Hesaplanması.....	48
4.1.9.	Deneyssel ve Hesaplanan Ayrılabilir Nem Oranı İlişkisi.....	52
4.1.10.	Düzeltilmiş Verilere Göre Ayrılabilir Nem Oranları Arasındaki İlişkiler.....	62
4.2	Tartışma.....	68
5.	SONUÇ.....	70
	KAYNAKLAR	76
	EKLER.....	80
	ÖZ GEÇMİŞ.....	83

1. GİRİŞ

İncir, Urticales takımının Moraceae familyasının Ficus cinsinden olan Ficus carica türüdür. Birçok yabani ve kültür alt türleri vardır. İncir kültürü Anadolu’da insanlık tarihi kadar eski dönemlere dayanan kültür meyveleri içinde en eski gelişme tarihine sahip meyvelerden biridir. İncirin anavatanı Türkiye olup, buradan Suriye Filistin ve daha sonrada Ortadoğu üzerinden Çin ve Hindistan’a yayılmaktadır (Anonim, 2007).

İncir her ne kadar subtropik bir meyve olsa da geniş ekolojik uyum kabiliyeti nedeniyle yurdumuzun tüm sahil kuşağında ticari olarak yetiştirilmekte olup, kuru ve taze incir üretim amacı ile Büyük ve Küçük Menderes havzalarında yoğun olarak üretimi yapılmaktadır. İncir, yıllık ortalama sıcaklığın 18–20°C olduğu yerlerde yetişir. Meyve doğuşundan hasat sonuna kadar olan Mayıs-Ekim aylarında, daha yüksek ortalama sıcaklıklar, özellikle meyve olgunluğu ve kurutma döneminde (Ağustos-Eylül) ayları 30°C kadar çıkan ortalama sıcaklıklar ister (Anonim, 2007).

Türkiye’de başlıca incir üreticisi illerde incir ağaç sayıları ve taze incir üretimleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

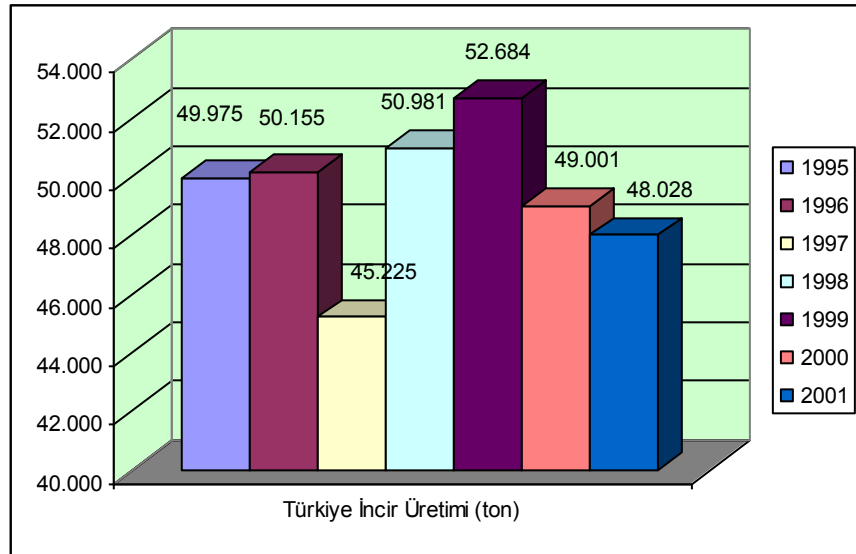
Çizelge 1.1 Başlıca İncir Üreticisi İllerde Ağaç Sayıları ve Taze İncir Üretimleri (Anonim,1997)

İller	Toplam Ağaç Sayısı (Adet)	%	Üretim (Ton)	%
Adana	72.400	0,71	2.544	1,05
Antalya	153.524	1,50	3.997	1,64
Aydın	6.445.965	63,07	141.666	58,30
Balıkesir	123.905	1,21	2.953	1,22
Bursa	185.600	1,82	5.808	2,39
Gaziantep	242.105	2,37	3.177	1,31
Hatay	271.415	2,66	5.082	2,09
İçel	139.792	1,37	7.202	2,96
İzmir	1.401.460	13,71	38.067	15,67
Manisa	67.640	0,66	10.390	4,28
Samsun	72.825	0,71	2.163	0,89
Ara Toplam	9.176.631	89,79	223.049	91,79
Diğer İller	1.043.369	10,21	19.150	8,21
Genel Toplam	10.220.000	100,00	242.999	100,00

Çizelge 1.1 incelendiğinde Türkiye'deki toplam incir ağacının % 60'ından fazlasının Aydın ilinde bulunduğu görülmektedir. Genel olarak ele alındığında Türkiye'deki 243 bin ton incir üretiminin 142 bin tona yakını Aydın'da üretilmektedir.

Aydın ili, yamaç ve ovalarında tarım yapılabilen, Büyük Menderes Havzasının en önemli illerindendir. Aydın'da üretilen incirin yaklaşık % 5'i taze olarak pazarlanmakta, kalan incir ise kuru incir olarak değerlendirilmektedir (Çobanoğlu ve ark., 2005).

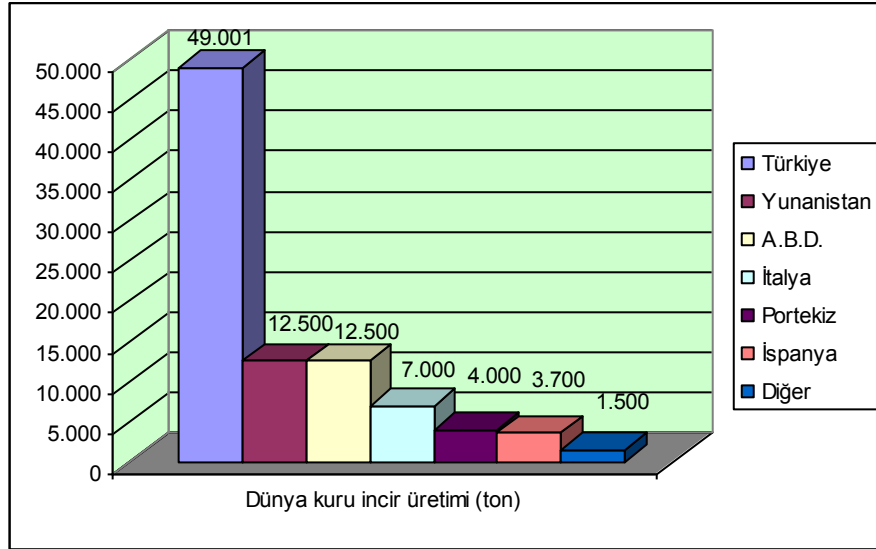
Dünya kuru incir ihracatında ilk sırada yer alan Türkiye, yıllık kuru incir ihracatından, yaklaşık 70-80 milyon dolar gelir sağlamaktadır (Çobanoğlu ve ark., 2005). Türkiye'nin 1995–2001 yılları arasında kuru incir üretimi Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 1995–2001 Yılları Arasında Türkiye’de Kuru İncir Üretimi (Tuğ, 2002)

Şekil 1.1’e bakıldığında, Türkiye kuru incir üretiminin 1999 yılında 52.684 ton ile en üst seviyeye ulaştığı görülmektedir. 2000 ve 2001 Yıllarında kuru incir üretimindeki azalmaya karşın, Türkiye kuru incir üretiminde dünyada ilk sırada yer almaktadır (Tuğ, 2002).

Dünya kuru incir ihracatında Türkiye genel olarak (miktar ve değer açısından) incelendiğinde; toplam ihracatın % 85-95'ini kuru incir, % 5-9'unu incir ezmesi, % 1-2'sini kıyılmış, % 0,5-1'ini de hurda sınıfı incirler oluşturmaktadır (Çobanoğlu ve ark., 2005). Dünya kuru incir ihracatında 2000 yılına ait Türkiye'nin durumunu gösteren veriler Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2 2000 Yılı Dünya Kuru İncir Üretimi (Tuğ, 2002)

Şekil 1.2'ye bakıldığında, dünya kuru incir ihracatında 49.001 ton ile Türkiye ilk sırada yer alırken, onu 12.500 ton ile sırasıyla Yunanistan ve A.B.D., 7.000 ton ile İtalya, 4.000 ton ile Portekiz, 3.700 ton ile İspanya ve 1.500 ton ile diğer ülkeler izlemektedir (Tuğ, 2002).

Ülke ekonomisi açısından büyük öneme sahip olan incir sergi alanlarında açıkta kurutulmakta, kurumanın uzun sürmesi nedeniyle kalitesi bozulmakta ve kirlenmektedir. Kuruma mevsiminde uygun olmayan iklim koşulları da kalite azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ürünün en uygun koşullarda güvenilir depolama nem içeriği olan % 23 seviyesine kadar kurutulması gerekmektedir (Ertekin ve ark., 2001).

Türk Standartları Enstitüsünce yayınlanan TS 541 kuru incir standardında, kuru incirin sahip olması gereken genel özellikler aşağıda verilmiştir.

- Bütün olmalıdır. (kuru incirin sap ve göz (ostiolum) uçları kesilmiş olabilir).
- Kuru incir sağlam, bozulmamış, çürümemiş, kokuşmamış olmalıdır.
- Kuru incirlerde gelişmenin hangi safhasında olursa olsun, ayrıca fümige edilsin veya başka yöntemlerle dezenfekte edilmiş olsun, canlı veya ölü böcek ve kemiriciler olmamalıdır. Canlı böcekler, kurtlar ve diğer hayvansal parazitler için tolerans tanınmaz. Kuru incirde döllemeyi sağlayan ve nadiren meyve içinde kalmış, ölmüş incir arıcığı (*Blastophaga psenes* L.) bir kusur olarak kabul edilmez.
- Kuru incirler kendine has koku ve tat da olmalıdır.
- Kuru incirler temiz olmalıdır.
- Kuru incirler, güneş yanıklı, yırtık, yarık ve aşırı derecede kuru olmamalıdır.
- Kuru incirlerde rutubet muhtevası % 26'dan fazla olmamalıdır.
- Kuru incirlerde kabul edilen toleranslar dışında yabancı madde bulunmamalıdır.
- HCl'de çözünmeyen kül miktarı 1 g/kg'dan fazla olmamalıdır (Anonim, 2003).

Doğal akımlı bir prototipin kullanıldığı bu çalışmanın amaçları aşağıda verilmiştir.

- Yüksek kurutmalık özelliğine sahip sarılop incir çeşidi için küçük aile işletmelerinin kullanabileceği doğal akımlı, kullanımı kolay bir prototip tasarımı ve imalatı,
- Kurutma sürecinin enerji maliyetini azaltacak, kurutma zamanını düşürecek doğal akımlı kurutucu prototipinin kullanılabilirliğinin ve etkinliğinin incelenmesi,
- Hava sıcaklığı, rüzgar hızı, güneş ışınlam şiddeti ve bağıl nemin kurutma üzerine etkilerinin incelenmesi,
- Kurutma periyodu boyunca incir kütle değişimlerinin ve nem içeriklerinin incelenmesi,

- Kuruma süreçlerinin istatistiksel eşitliklerle açıklanabilmesidir.

1.1. KURUTMA TEORİSİ

Kurutma, ısı enerjisi vasıtasıyla yaş maddedeki suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanabilmektedir (Ateş, 1992). Tarımsal ürünlerin kurutulmasında amaç, yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak, ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların ürünü bir besin kaynağı olarak kullanıp büyümelerini durdurmaaktır. Ayrıca, kurutulmuş ürünlerin hacimlerinde ve ağırlıklarında büyük oranda küçülme sağladığı için kurutma, taşıma ve depolama maliyetlerini de azaltmaktadır (Tarhan ve ark., 2007).

Kurutma işlemi su ve kurutulacak madde arasındaki bağlantı kuvvetlerinin çözümü ile başlar. Bunun içinde belirli bir enerjiye gereksinim vardır. Bu enerji, ısı enerjisi olarak kurutulacak maddeye sürekli olarak verilmelidir. Bu ısı katının yüzeyinde ve gözeneklerinde bulunan nemin havaya buharlaştırılmasını sağlar. Kurutma işlemi bu anlamda bir ısı ve kütle aktarım işlemidir (Yaşartekin, 1991).

Kurutma sırasında materyal neminde meydana gelen değişimler ve etkili unsurlar, statik ve kinetik açılarından incelenebilmektedir.

1.1.1. Kurumanın Statiği

Statik açıdan kurumanın incelenmesi sırasında, hava ile materyal arasındaki nem dengesi, zaman dikkate alınmadan irdelenir. Denge, materyalin çevre havasına nem vermesi (desorpsiyon) veya çevreden nem alması (sorpsiyon) sonucunda oluşur. Denge oluştuğunda, havada bulunan su buharının kısmi basıncı ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı birbirine eşittir (Yağcıoğlu, 1999).

1.1.2. Kurumanın Kinetiği

Kurumanın kinetik açıdan incelenmesi sırasında, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma süresince geçen zaman da dikkate alınarak

irdelenir. Herhangi bir materyalin kuruması kinetik açıdan incelenirken, materyalin nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile materyal nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi ve materyal sıcaklığı ile nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kuruma süreci içinde üç karakteristik evreyle karşılaşılmaktadır. Bu evreler, materyalin ısınma evresi (IE), sabit hızla kuruma evresi (SHE) ve azalan hızla kuruma evresi (AHE) şeklinde adlandırılabilir (Yağcıoğlu, 1999).

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi (IE) sırasında materyalin yüzey sıcaklığı hızla yükselir. Kuruma hızı giderek artar. Ve bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşır. Tüm kuruma süresi ile kıyaslandığında, IE süresinin çok kısa olduğu anlaşılır. IE'nin sona erdiği andan itibaren sabit hızla kuruma evresi başlar (SHE). Bu evrede kuruma hızı, IE sonunda ulaştığı en yüksek değerini, SHE süresince de korur. SHE sırasında buharlaşma hızının, materyal yüzeyindeki suyun buhar basıncı ile kurutma havasının kısmi buhar basıncı arasındaki fark ve kurutma havası hızı ile ilgili olarak, tamamen çevre koşullarına bağlı olduğu kabul edilir. Kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı evre, azalan hızla kuruma evresi (AHE) olarak tanımlanır. Bu evrede sıcaklık artışı hızlanırken, kuruma hızı ve nem azalması yavaşlar. Bu evrenin başlarında SHE'de olduğu gibi dış etkenler daha önemlidir. Kurumanın ileri safhalarında ise iç etkenler daha baskın olmaya başlarlar. Örneğin, bu evrenin başlarında hava hızı, kuruma hızı üzerinde etkiliyken, daha sonraları bu etkisini kaybeder (Yağcıoğlu, 1999).

1.1.3. Kurutma Yöntemleri

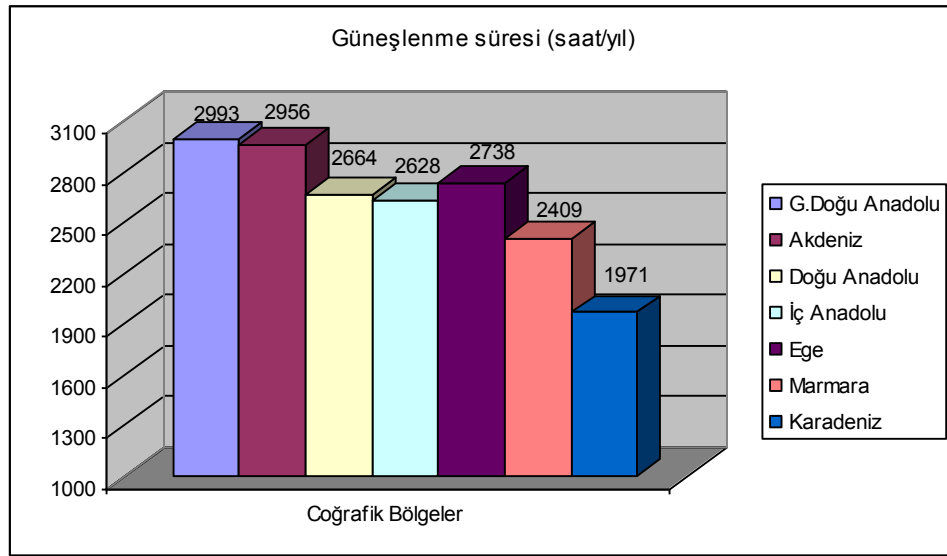
Gıda sanayinde kurutulacak ürüne göre ve uygulanacak prosese göre farklı tipte kurutma yöntemleri mevcuttur. Bu kuruma yöntemleri; güneşe maruz bırakarak kurutulma, dondurularak kurutma, sıcak hava ile sirkülasyonu sağlanan fırınlarda kurutma olarak sıralanabilir (Yağcıoğlu,1999). Kurutucu tipleri ise, ortam koşulları, istenilen kurutma zamanı ve gıdaya göre seçilir. Kurutucu tipleri aşağıda verilmiştir.

- *Tepsili kurutucular:* Bu tip kurutucular sıvı ürünler için kullanılmaz. Dilimlenmiş katı ürünlerin tepsilere konularak, ısıtılmış havanın bir fan yardımı ile tepsideki ürünle muamele edilmesi prensibine dayanır (Yağcıoğlu,1999).

- *Tünel Kurutucular:* Bu kurutucular ile yüksek kapasitede ve nispeten kısa zaman da kurutma işlemi yapılır. Ürün tünele girişten çıkışa kadar maruz kaldığı sıcak hava ile kurutulur. Bu tip kurutucularda enerji verimliliği yüksek, işgücü maliyeti düşük ve ürün kalitesi yüksektir (Yağcıoğlu,1999).
- *Konveyör (bantlı) Kurutucular:* Bu tip kurutucularda ürünler bir veya daha fazla bant ile ilerlerken alttan veya üstten fanlar yardımıyla gönderilen sıcak hava ile muamele edilirler. Böylece istenilen özellikte ürünler elde edilir (Yağcıoğlu,1999).
- *Akışkan Yataklı Kurutucular:* Bu tip kurutucuların avantajı sirküle ettirilen sıcak havanın kurutulmak istenen ürünün yüzeyinin her noktasına teması ile kurutmanın gerçekleştirilmesidir. Bunun yanında dezavantajı olarak ise bu tip kurutucuların sadece akışkanlaşabilme özelliğinde olan yani hava içinde hareket edip askıda kalabilen küçük boyutlu gıdalar için uygunluğu verilebilir (Yağcıoğlu,1999).
- *Püskürtmeli Kurutucular:* Bu kurutucularda diğerlerinde olduğu gibi ısıtılan hava atomizer yardımı ile çok küçük partiküllere ayrılan ürünle muamele edilerek kurutma işlemi sağlanır ve kurutulmuş ürün hava karışımı siklon separatör yardımı ile ayrılır. Bu işlem daha çok toz ürün eldesi için gıda sanayinde kullanılır (Yağcıoğlu,1999).
- *Valsli Kurutucular:* Bu kurutucularda ilke; içten buhar, sıcak su ya da ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılan ve eksen etrafında belirli bir hızla dönmekte olan dökme demirden yapılmış bir silindirin sıcak yüzeyine ince bir katman halinde yayılan sıvı gıda maddesinin silindirin dönüşü esnasında yüzeyde kuruması ve buradan kazanıp alınması olarak özetlenebilir. Çift ve tek valsli olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Yağcıoğlu,1999).
- *Güneş Enerjili Kurutucular:* Bu kurutucularda güneş bir enerji kaynağı olarak bir akışkanın ısıtılmasında kullanılır (genellikle su veya hava). Akışkanlara ısıyla yüklenen bu enerji gıdaların kurutulmasında direkt veya endirekt olarak kullanılmaktadır (Yağcıoğlu,1999).

1.2. Güneş Enerjili Kurutucular

Kurutma için bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, ülkemizin coğrafi konumu nedeni ile de kurutma amaçlı kullanılan enerji kaynakları arasında ilk sıradadır. Şekil 1.3’de Türkiye’nin yıllık toplam güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 1.3 Türkiye’nin yıllık toplam güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı (Varınca ve Gönüllü, 2006)

Şekil 1.3’de görüldüğü üzere en çok güneşlenme süresi 2993 saat/yıl ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi’ndedir. Bunu 2956 saat/yıl ile Akdeniz ve 2738 saat/yıl ile Ege Bölgesi takip etmektedir. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen bu potansiyeli yeterince etkin kullanamamaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneş enerjisi hem bol, hem sürekli ve yenilenebilir hem de bedava bir enerji kaynağıdır. Temiz ve bedava bir enerji kaynağı olan güneş ülkemizde en yaygın kurutma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ege Bölgesinde incir kurutma işlemi, Ağustos ayından Ekim ayı ortalarına kadar direkt güneş ışığına maruz bırakılarak yapılmaktadır. Bu durum yüksek kurutmalık özelliğe sahip olmasına karşılık sarılop incir çeşidinin doğal iklim şartlarından etkilenmesine neden olmaktadır. Açıkta

güneşten yararlanılarak kurutma, ekonomik olmasına karşın zararlılara, toz, toprak gibi istenmeyen yabancı maddelere açık oluşu, yağmur ve aşırı rüzgâr gibi durumlarda kurutmaya ara verilmesi ve kuruma süresinin uzaması gibi olumsuz etkilere sahiptir.

Bu olumsuz etkilerden dolayı açıkta güneşli kurutmanın sakıncalarının ortadan kaldırılması ve maliyetin azaltılması için güneş enerjili kurutucular kullanılması daha avantajlıdır. Güneş enerjisinin kullanıldığı kurutma sistemlerinin geliştirilmesi ürünlerin kalitesi ve temizliği açısından önemlidir.

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında güvenilir kurutma havası sıcaklığı 35–77°C arasında değişmektedir. Bu da kurulan güneş enerji sistemlerinin dizaynında önemli bir nokta olmaktadır (Yağcıoğlu,1999).

Bir güneşli kurutucu, yapı bakımından güneş enerjisinin toplandığı ısıtıcı ve kurutulacak materyalin konulduğu depo bölümlerinden oluşmaktadır. Bazı kurutucularda ısıtıcı ve depo bir bütün olarak yapılmaktaysa da, çoğunlukla birbirlerinden ayırırlar. Ancak hangi tip olursa olsun, kurutulacak materyal bütünüyle dış ortamdan izole edilmiş bulunmakta ve kuruma kapalı yerlerde sağlanmaktadır. Güneş ışınımından doğrudan yararlanan kurutucularda duvarlar cam veya geçirgen plastik örtülerden yapılmaktadır. Yazları atıl durumda bulunan seralar kurutma işleminde kullanılabilirler ki, bunlar güneş enerjisinden doğrudan yararlanan kurutucular olarak değerlendirilebilirler (Yağcıoğlu,1999).

Kabin kurutucular; meyve, sebze ve diğer tarımsal ürünlerin bir tabla içinde kurutulduğu ısı kutusu şeklindedir. Üst yüzeyi güneş ışınımını geçiren saydam örtüyle kaplanmaktadır. Hava kurutucuya genellikle alttan girmekte, rafların altından, üstünden ve arasından geçerek üstten çıkmaktadır. Güneşli kurutucularda aranan en büyük özellik işletme giderinin az olması, yerel malzeme ve işçilikle yapılabilmesidir. Kuruma süresini azaltması ve sürekli çalışabilirliği yani kapasitesinin yüksek olarak tasarlanabilmesi istenen diğer özelliklerdir (Yağcıoğlu,1999).

Güneş Enerjili Kurutucular aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler:

1.2.1. Kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimine göre güneş enerjili kurutucular:

- Doğrudan güneş enerjili kurutucular
- Dolaylı güneş enerjili kurutucular
- Birleşik tip güneş enerjili kurutucular

1.2.2. Kurutucudan geçen kurutma havasının akış biçimine göre güneş enerjili kurutucular:

- Pasif (Doğal Taşınım) Kurutucular
- Aktif (Zorlamalı Taşınım) Kurutucular

1.2.3. Kurutma hacminde dolaşan havanın sıcaklığına göre güneş enerjili kurutucular.

1.2.1. Kurutulan Ürünün Güneş Etkisinde Kalış Biçimine Göre Güneş Enerjili Kurutucular

Kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimi, doğrudan etkileşimli ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan kurutucularda ürün güneşin etkisi altında ve güneşi görürken, dolaylı kurutucularda ürün kapalı bir ortama yerleştirilerek güneşin direkt etkisinden korunmakta ve güneş enerjisi ile ısıtılan havanın kurutma odasına sevgiyle taşınım etkili bir ısı geçişi sağlanarak ürün kurutulmaktadır. Doğrudan kurutucularda ise, ürüne ısı geçişi taşınım ve ışınlım yoluyla gerçekleşmektedir (Ertekin ve Yıldız, 2001).

1.2.1.1. Doğrudan Güneş Enerjili Kurutucular

Bu tip kurutma prosesinde ürün direkt olarak güneşin etkisine maruz kalır. Etkili olan ısı transfer mekanizması daha çok radyasyondur. Bu şekildeki kurutmalar ürünlerde vitamin kaybı, enzim bozulması ve istenmeyen renk değişimlerini meydana getirdiği için pek tercih edilmemektedir. Bu problemin üstesinden gelmek için eğik bir yüzeyle solar radyasyonu alan kurutucular geliştirilmiştir. Ürün yüzeydelikli tepsilere konulur ve güneş ışığına maruz bırakılır. Tepsiler arasındaki ısıtılmış havanın bağıl nemi düşer ve buda onun kurutma kapasitesini artırır. Bu şekilde bütün

tepsilerde üniform bir kurutma yapılır. Bu sistemin dezavantajı küçük kapasiteli oluşudur. Bunlara örnek olarak ise sera tipi, kubbeli ve çadır tipi solar kurutucular gösterilebilir (Yılmaz, 2000).

1.2.1.2 Dolaylı Güneş Enerjili Kurutucular

Bu tip kurutma işleminde ise ürün kapalı bir ortama yerleştirilerek güneş enerjisi ile ısıtılan hava ürün üzerine gönderilir. Bu tip kurutucular doğal sirkülasyonlu hava ısıtıcısı ve kurutma çemberi olarak iki kısma ayrılır. Bu kurutucularda her bir ürün farklı tepsilere konularak farklı nem içeriklerine kadar kurutulur. En alt noktadaki tepsilerde üstten kurutma olduğu için kurutulmuş ürün düşük kalitededir. Ancak bu tip kurutucularda ürünler solar radyasyona maruz kalmaz. Bu tip kurutuculara bir örnek olarak kapalı tip kurutucular gösterilebilir. Bunlarda güneş radyasyonu eğimli yüzey tarafından absorbe edilir ve bu ısı havayı ısıtmak için kullanılır. Ürün solar ısıtıcının arkasında bulunan tepsilerde bekletilir. Sıcak hava ısıtıcıdan ayrılarak ürüne doğru eser ve bacadan dışarıya atılır. Bu bacanın hava akışını hızlandırıcı bir etkisi vardır (Yılmaz, 2000).

1.2.1.3. Birleşik Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Bu tip kurutma sisteminde kurutucu, güneş enerjisinden hem doğrudan hem de dolaylı yoldan yararlanabilmektedir.

1.2.2. Kurutucudan Geçen Kurutma Havaasının Akış Biçimine Göre Güneş Enerjili Kurutucular

Kurutucudan geçen kurutma havaasının akışı; pasif veya aktif biçiminde gerçekleşmektedir. Pasif yani doğal taşınım, ısınan havanın yükselmesi ile oluşurken, aktif yani zorlanmış taşınım da, bir fan aracılığı ile basınç farkı oluşturarak sağlanmaktadır (Ertekin ve Yıldız, 2001).

1.2.2.1. Pasif Kurutucular (Doğal Taşınım)

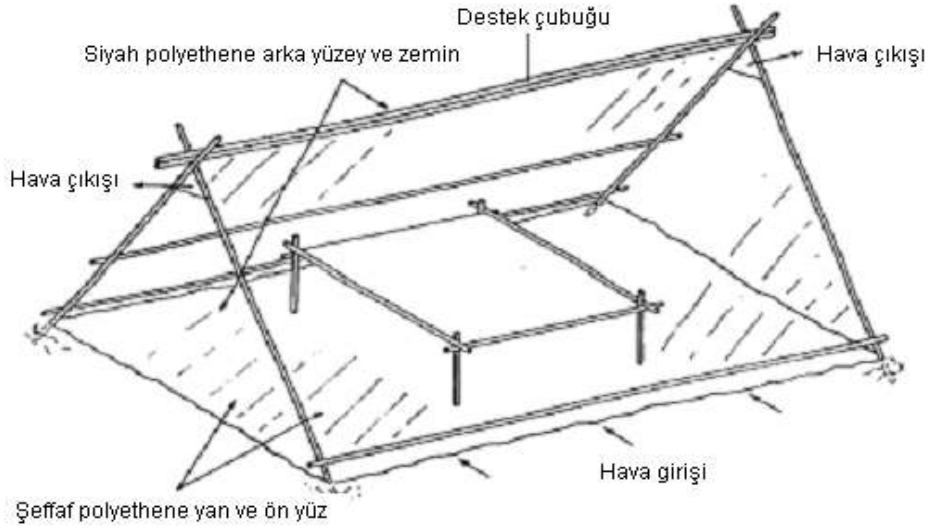
Bu tip kurutucularda yalnızca güneş enerjisinden yararlanılır. Herhangi bir yardımcı enerji kaynağı yoktur. Bu şekilde yapılan kurutma işlemlerinde sıcaklık kontrol edilemez fakat yatırım maliyetleri düşüktür.

Pasif tipli kurutucular;

- güneş kabinleri,
- çadır veya seralar ve
- baca tipi kurutuculardır.

Kabin tipi kurutucular, en basit yapılı kurutuculardan bir tanesidir. Genelde kabin tipi kurutucular, tek veya iki kat saydam örtüyle kaplanmış, belirli bir eğimle kapanan bir kapak ile yan yüzeyleri ve tabanı yalıtım maddeleri ile kaplanmış, ahşap veya metal sacdan yapılan, yan görünüşü yamuk şeklinde olan kabinden oluşmaktadır. Ayrıca havalandırma için tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılır. Kurutucunun iç yüzeyleri gelen güneş enerjisini daha iyi tutmak için siyaha boyanmalıdır. Kurutucu içinde hava hareketi; tabanda ve ön kenarda bulunan deliklerden çevre havasının içeri girmesiyle ve ısınmış ve nemli havanın arka kenardaki üst deliklerden kabini terk etmesiyle meydana gelmektedir (Tarhan ve ark., 2007).

Çadır tipi kurutucuların özelliği kolektör ile kurutma çemberinin birleştirilmiş olmasıdır. Bu sistem çok düşük bir maliyet gerektirir. Kullanılan çadırın amacı ürünü toz, yağmur ve rüzgârdan korumaktır. Kullanılan ürünler ise genellikle meyve, balık ve kahve gibi ürünlerdir. Çadır tipi bir kurutucu Şekil 1.4'te gösterilmiştir (Yağcıoğlu, 1999).



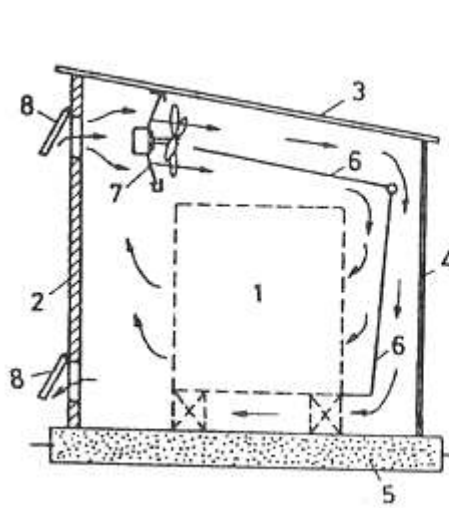
Şekil 1.4 Çadır tipi bir kurutucu

Sera tipi kurutucular, bitkisel üretim için kullanılan seraların kurutma amacına uygun olarak değiştirilmiş biçimleridir. Kontrol imkânları daha geniş olup kurutulacak ürün miktarının çok olduğu durumlarda tercih edilmektedirler. Seranın dış örtüsü UV ışınlarına dayanıklı olmalıdır. Isı tutumunu artırmak için sera tabanının siyaha boyanmış beton veya metal yüzeyle kaplanması gerekmektedir. Ayrıca güneş ışınlarının direkt ürün üzerine gelmesi istenmediğinde, ürünleri içine alan siyah yüzeyli bir örtü kullanılması gerekmektedir. Sera içerisinde havanın düzgün dağılımını ve yeterli hava akışını sağlamak için, seranın uzun kenarları boyunca ve tabanında, çevre havası girişi için açıklıklar bırakılmalıdır. Nemli sera havasının dışarı atılması için sera tavanında açıklık bırakılmalıdır. Açıklıklardan yabancı zararlıların girmemesi için ağla kaplanması gerekmektedir. Ayrıca, açıklıklardan yağmur girişini önlemek için gerekli kapak veya perdeler eklenmelidir (Tarhan ve ark., 2007).

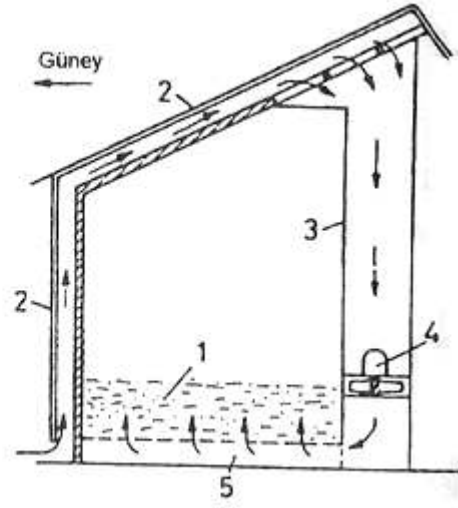
Baca tipi kurutucularda havanın hızı baca etkisi ile ayarlanmaktadır. Bu tip kurutucularda mısır, çeltik gibi ürünler dökme yığın şeklinde kurutulur. Toplacın alanı ve ürünün belirli aralıklarda karıştırılması, kurutma tekdüzeliğini arttırmak için gereklidir (Yağcıoğlu, 1999).

1.2.2.2. Aktif Kurutucular (Zorlamalı Taşınım)

Ürünü kurutmak için kullanılan havanın kurutucu içinde dolaşımının bir fan yardımı ile sağlandığı bu kurutucularda hava giriş ve çıkışları kontrol edilerek kurutucunun ısıl etkinliği bir ölçüye kadar ayarlanabilir. Şekil 1.5 ve 1.6’da aktif kurutuculara örnek verilmiştir.



Şekil 1.5 Fanlı tip güneş enerjili kurutucu



Şekil 1.6 Oda tipi fanlı kurutucu

Şekil 1.5’de görülen fanlı tip güneş enerjili kurutucu beton taban (5) üzerine kurulmuştur. 3 ve 4 numara ile görülen ışık geçirebilen bir malzeme ile örtülü yüzeylerden giren güneş ışınları toplaç görevi yapan siyaha boyalı alüminyum yüzeyleri (6) ısıtır. Bir fanla (7) üflenlen hava bu yüzeylerin her iki tarafından geçirilerek ısıtılır ve kurutulacak ürünlerin bulunduğu ortamdan geçirilir. Şekilde bulunan 8 numaralı hava giriş ve çıkış damperleri ve alüminyum yüzeylerin eğimleri değiştirilerek dış havanın ürün yüzeyine doğrudan yönelmesi ya da içerideki havanın dolaşımı sağlanır (Yağcıoğlu, 1999).

Şekil 1.6’da görülen oda tipi fanlı kurutucuda yapının güneye bakan duvarı (2) ve çatı yüzeyleri (2) ışık geçiren bir örtü ile kaplanmıştır. Isı yalıtımı yapılmış ve siyaha boyanmış yüzey ile örtü arasındaki bölgede bulunan ısıtılmış hava bir fan yardımı (4)

ile emilerek 3 numaralı kanaldan geçer ve delikli döşeme üstüne yığılı ürünün içinden geçerek ürünü kurutur (Yağcıoğlu, 1999).

Aktif ve pasif kurutucular, güneşten etkileşimlerine ve havanın akışına göre sınıflandırılabilirler. Şekil 1.7’de hava akımına göre sınıflandırılmış aktif ve pasif kurutucular gösterilmiştir.

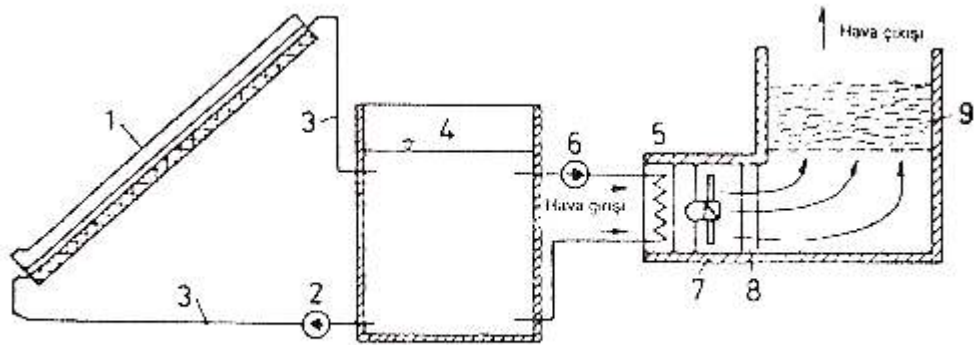
	Aktif	Pasif
Doğrudan Etkileşimli		
Dolaylı		
Birleşik		

Şekil 1.7 Aktif ve pasif kurutucu tipleri (Anonim, 2006a)

Şekil 1.7’de görüldüğü gibi hava akımları zorlamalı konveksiyonlarda fanlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Doğal konveksiyon ise hava çıkışlarına kurulan bacalar aracılığı ile oluşmaktadır. Doğrudan etkileşimli sistemlerde kurutma ortamı güneş toplayıcıları altında kalmakta, sera etkisi ile de ısınan hava kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Dolaylı güneş enerjili kurutucularda ise kurutma kabini güneş ışımasının altında tutulmayarak yalıtım ile sistemden ayrılmakta, hava yalnızca

güneş panellerinde ısıtılarak sisteme aktarılmaktadır. Birleşik tip kurutucularda ise hava hem güneş panellerinde ısıtılmakta hem de kurutucu kabini güneş altında tutularak kurutma yapılmaktadır (Anonim, 2006a).

Güneş enerjili fanlı kurutucularda ısı depolarından da yararlanır. Güneş enerjisinin yeterli olduğu dönemlerde toplanan ısıнын bir bölümü ısı depolarında depolanır ve gereksinim duyulduğunda, depolanan bu ısı kurutma havasının ısıtılmasında kullanılır. Isı depolama malzemesi olarak genellikle su, taş havuzları ve sentetik bazı materyaller kullanılır. Bu ısı depolarının yararları ise; güneş enerjisinin olmadığı ya da yetersiz olduğu zamanlarda da kurutma yapılabilmesi ve güneş enerjisinin çok yoğun olduğu dönemlerde bu enerjinin bir bölümü depolandığında ürünün aşırı sıcak havada zarar görmesinin önlenmesidir. Isı depoları pahalı bir yatırım oldukları için karar vermeden önce çok iyi bir teknik ve ekonomik analiz yapılmalıdır (Yağcıoğlu, 1999). Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucunun ana unsurları Şekil 1.8’de gösterilmiştir.

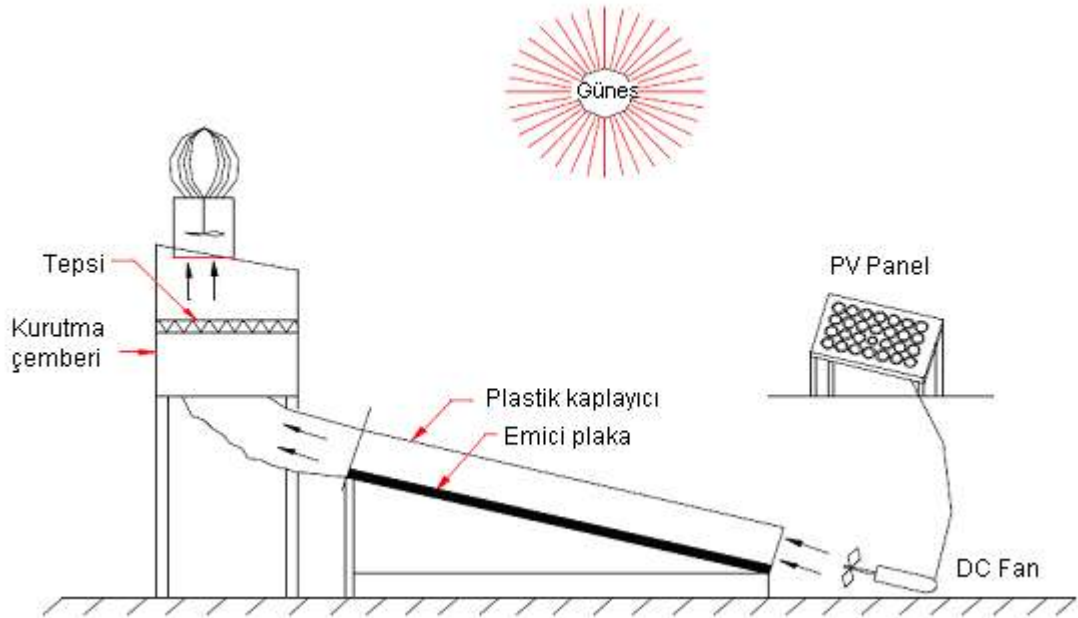


Şekil 1.8 Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucu

Isı deposundaki (4) su bir pompa (2) ve boru sistemi (3) ile toplaçtan (1) geçirilerek ısıtılır. Depodaki sıcak su başka bir pompa ile (6) emilerek ısı değiştiriciye gönderilir (5). Kurutma havası bir fan (7) yardımı ile emilir ve kurutulacak ürüne alttan verilir. Eğer bu hava yeterince ısıtılmadıysa 8 numaralı ek ısıtıcı ile ısıtılır (doğal gaz, LPG, elektrik) (Yağcıoğlu, 1999).

Zorlamalı konveksiyonlu kurutuculara bir örnek de tünel tipi kurutuculardır. Bu tip kurutucular güneş enerjili bir ısıtıcı ve kurutma odasından oluşmaktadır. Hava, fan aracılığı ile ısıtıcının yutucu yüzeyinin üstünden veya altından geçirilmekte ve kurutma odasına gönderilmektedir. Isıtıcı kısım izole edilerek ısı korunumu sağlanmaktadır. İstenilen sıcaklığa göre vantilatörün debisi ayarlanabilmektedir. Isıtıcının ve kurutma odasının uzunluğu kapasiteye göre değişmektedir. Isıtıcı ve kurutma odasının üst yüzeyi geçirgen örtü ile kaplanmıştır. Kakao, kahve ve hindistan cevizi kurutulmasında sererek kurutmaya göre kurutma süresi % 40 oranında azaltılmıştır. Üzüm, bamy, domates, patates ve fesleğende bu azalma % 40–70 oranındadır. (Yağcıoğlu, 1999).

Zorlamalı konveksiyonun bir diğer kullanımı ise fotovoltaik panel destekli kurutucu sistemidir. Bu tip kurutucular plastikle kaplanmış düz kolektörlerden, kurutma çemberinden ve DC fandan oluşmaktadır. Bu sistemde havanın maksimum sıcaklık artışı 30 derece civarındadır. PV panelde elde edilen enerji 20 W olup bu da 12 Voltluk DC fanı çalıştırmak için kullanılır. Bu sistem Şekil 1.9’da gösterilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).



Şekil 1.9 Fotovoltaik panel destekli zorlamalı konveksiyonlu kurutucu

1.2.3. Kurutma Hacminde Dolaşan Havanın Sıcaklığına Göre Güneş Enerjili Kurutucular

Kurutma havası sıcaklığına göre kurutucular çevre sıcaklığında veya çevre havası sıcaklığından yüksek sıcaklıklı kurutucular olarak sınıflandırılabilirler (Ertekin ve Yıldız, 1998). Kurutma hacmine giren hava sıcaklığı; çevre sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta olabilir. Kolektör bulunan sistemlerde daha yüksek sıcaklıklarda hava girişi sağlanabilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Xanthopoulos et. Al. (2007), incirlerin kuruma oranı tahmini için ince tabaka kuruma modelinin uygulanabilirliğine ilişkin çalışmalarında aşağıda yer alan sonuçlara ulaşmışlardır.

“Denemelerde ısıtıcı olarak bir ısı pompası kullanılmış ve 1,0- 5,0 m/s hava hızlarında, 46,1–60°C sıcaklık aralığında deneme yürütülmüştür. Deneme verileri yedi farklı matematiksel model ile regresyon analizine tabi tutulmuştur. İstatistiksel analizler sonucunda en uygun modelin Logaritmik model olduğu tespit edilmiştir. Model parametreleri arasında korelasyon yapılarak ayrılabilir nem oranı ve kuruma hızı arasındaki ilişki araştırılmıştır.”

Akın (2006), Güneş enerjili kurutucunun tasarım parametrelerinin araştırılması konulu çalışmasında aşağıdaki bilgileri sunmuştur.

“Bu çalışmada birbirine seri hâlinde bağlanmış iki güneş enerjili toplayıcıdan geçen kurutma havası kapalı bir ortama verilerek kurutma yapılmıştır. Ürün olarak çarliston biber kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle başlangıç nem değerleri belirlenmiş olan ürünün denge nem içerikleri bulunmuştur. Bu nedenle sorpsiyon izotermi oluşturulmuştur. Sorpsiyon izoterm diyagramı, nem içeriğine karşılık su aktivitesi alınarak çizilmiş ve su aktivitesinin fonksiyonu olan sorpsiyonların davranışını belirleyen uygun matematik modeller 30 ve 60°C için lineer olmayan regresyon metodundan yararlanılarak belirlenmişlerdir.”

Doymaz (2005), İncirlerin güneşli kurutulması: deneysel bir çalışma konulu çalışmasında aşağıdaki bilgileri vermiştir.

“Çalışmada kuruma periyodu farklı matematik modeller kullanılarak açıklanmıştır. Bunlar; Lewis, Henderson ve Pabis, Page, Logaritmik, İki

terimli, İki terimli eksponansiyel, Verma ve ark., Wang ve Singh modelleridir. Modellerin performansı, deneysel ayrılabilir nem oranı ile tahmini ayrılabilir nem oranı arasındaki ilişki için tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (X^2) ve modelin modelleme yeterliliği (EF) hesaplanarak belirlenmiştir. İncirin kuruma davranışını en iyi açıklayan model $X^2 = 0,000483$, $RMSE = 0,062857$, $EF = 0,9944$ değerleri ile Verma ve ark. modeli olmuştur.”

Babalıs et al (2005), İncirlerin kuruma karakteristiklerinin tanımlanabilmesi için ince tabaka kuruma modellerinin değerlendirilmesi konulu çalışmalarında aşağıda yer alan sonuçlara ulaşmışlardır.

“Literatürde mevcut olan ince tabaka kuruma modelleri regresyon analizi ile deneyler sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada incir, tünel kurutucuda kurutulmuştur. Kurutucuya ısıtılmış hava verilmiş ve incir kütleleri sürekli ölçülmüştür. Denemeler sonucunda iki terimli eksponansiyel model, kuruma davranışını en iyi açıklayan model olmuştur.”

Mutlu ve Öztürk (2004), incirin güneş enerjisi kullanarak kurutulmasının esasları üzerine yaptıkları çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

“Kurutma sistemlerinin kontrol edilmesi gereken parametrelerinden birisi kurutma yüzey alanına gelen güneş ışınımıdır. Diğer bir parametre ise, kurutma havasının kütleli debisi, sıcaklığı ve nem oranıdır. Güneş enerjisi kullanarak yapılacak kurutma işleminin ilk yatırım giderleri düşük bunun yanı sıra enerji giderleri yoktur. Fakat kurutma işlemi uzun zaman aldığından ürünün kurutma alanına yerleştirilmesi ve boşaltılması gibi işlemler için gerekli olan işçilik giderleri yüksektir. Kırsal kesimlerde iş gücünün pahalı olmaması nedeni ile güneş enerjisi ile kurutma işlemi uygun olmaktadır.”

Akpınar ve Biçer (2003), siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi konulu çalışmalarında aşağıdaki bilgileri vermişlerdir.

“Çalışmada kabağın kuruma davranışı, siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde 60, 70 ve 80°C’lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanılırken, 1 ve 1,5 m/s’lik kurutma havası hızları kullanılmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hız-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek kuruma hızı 80°C sıcaklıkta ve 1,5 m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızı ise 60 °C sıcaklığında ve 1 m/s kurutma havası hızında elde edilmiştir.”

Midilli ve Küçük (2002), Fıstığın güneş enerjili kurutucu kullanarak matematiksel modellenmesi üzerine yaptıkları çalışmada aşağıdaki bilgileri vermişlerdir.

“Çalışma, kabuklu ve kabuksuz fıstık örneklerinin doğal ve zorlamalı taşınımlı güneş enerjili kurutucuda, kuruma davranışlarının matematiksel modellerini ortaya koymaktadır. Güneş enerjili kurutma modellerinden uygun olanını bulmak amacı ile sekiz değişik matematiksel model kullanılmıştır. Kullanılan modeller yarı teorik ve deneyseldir. Yarı teorik ve deneysel modeller Statistica yazılımı kullanılarak lineer olmayan regresyon analizi ile karşılaştırılmış, khi-kare ve korelasyon katsayılarına göre en uygun model seçilmiştir.

Toğrul ve Pehlivan (2002), İnce tabaka halinde kayısının güneşli kurutulmasının matematiksel modellenmesi konulu çalışmada aşağıdaki bilgileri vermişlerdir.

“Çalışmada zorlamalı akımlı güneş enerjili kurutucu bir ısı pompası ve kurutma kabininden oluşmuştur. Kurutucuda sıcak hava için ısı pompası kullanılmıştır. Kayıların kütleindeki değişiklik ve kuruma parametreleri her bir test gününde sürekli olarak kayıt altında tutulmuştur. Bu veriler ile elde edilen değerler, çeşitli matematiksel modellere uygulanmış ve hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve bağıl nemin model katsayılarına ve sabitlerine etkisi çoklu regresyon yöntemi ile araştırılarak, literatürde geçen matematiksel modeller ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, logaritmik model, 0,994 korelasyon

katsayısı ile zorlamalı akımlı güneş enerjili kurutucuda, kayısının kuruma davranışını en iyi açıklayan model olmuştur.”

Ertekin ve Yıldız (2001), patlıcan kurutmada kurumanın çeşitli modeller ile açıklanması konulu çalışmalarında aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

“Bu çalışmada bir laboratuvar kurutucusunda patlıcanın kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacı ile Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki terimli, İki terimli eksponansiyel, Wang ve Singh, Thompson, difüzyon yaklaşımı, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis ve Verma ve ark. modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılar, kuruma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (X^2) değerleri kullanılarak en uygun model saptanmış ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliği (EF) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Page modelinin patlıcanın kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.”

Ertekin ve ark. (2001), incirin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma davranışının modellenmesi konusunda aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir.

“Çalışmada kullanılan laboratuvar kurutucusu ile kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve oransal nemi istenilen seviyede sabit tutulmuş, ürün ağırlığındaki değişim kuruma işlemi süresince bilgisayar yardımı ile kaydedilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı 40, 50, 60, 70 ve 80 °C, oransal nemi % 1,5, % 30, % 45 ve hızı 0,1, 0,5 ve 1,0 m/s olarak düzenlenmiştir. Bu parametrelerin kuruma karakteristikleri ve kuruma süresince etkileri belirlenmiş ve azalan kuruma hızı evresinde meydana gelen ürün nemindeki değişim matematiksel modeller ile açıklanmıştır.

Çalışma sonuçları, incirin depolama nem içeriği olan % 23 seviyesine kurutulmasında kurutma havası parametrelerinin önemli düzeyde etkili

olduğunu göstermiştir. Kurutma havası sıcaklığının artırılması ile ürün daha kısıda kurutulabilmektedir. Bunun yanında hava oransal neminin düşük olması kurutma işlemini hızlandırmaktadır. En hızlı kurutma süresi 0,5 m/s hava hızında elde edilmiştir. Kurutma işleminin herhangi bir anındaki nem içeriği Page modeli ile yüksek doğrulukla açıklanmıştır.”

Koyuncu ve Pınar (2001), kırmızıbiber için bir güneşli kurutucu tasarımı konulu çalışmalarında aşağıda verilen sonuçlara ulaşmışlardır.

“Çalışmada kırmızıbiberin kurutulmasında kullanılabilecek doğal akışlı güneşli kabine tip bir kurutucu tasarlanmıştır. Bu kurutucu, kuruma süresince çevre koşullarının ürün üzerindeki olumsuz etkilerini son derece azaltmakta ve kaliteyi yükseltmektedir. Ayrıca kurutucunun kullanılmasıyla, 1 kg ürün için gerekli kuruma süresinin 3,5 saatten 1,28 saate düşürülerek 2,73 kat azaltılabileceği belirlenmiştir.”

Yaldız ve ark. (2001), çekirdeksiz üzümün ince tabaka hâlinde kurutulmasının matematiksel modellenmesini inceledikleri çalışmalarında aşağıdaki bilgileri bulmuşlardır.

“Güneş enerjili kurutucu, güneş enerjili hava ısıtıcısı ve kuruma odasından oluşmaktadır. Kurutma havası, güneş enerjili hava ısıtıcı yardımıyla ısıtılmış ve kurutma odasında bulunan rafın üzerindeki ürünün içerisinden geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemine kurutma havası hızının etkisini belirlemek amacıyla hava hızı, fanın giriş ağzında bulunan klape yardımıyla 0,5, 1,0, 1,5 m/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma havası sıcaklığının etkisi ise, denemelerin farklı zamanlarda tekrarlanması ile belirlenmiştir. Dış ortam ve kurutucuya giriş havası sıcaklığı, bağıl nemi ve güneş ışıyım değerleri ölçülmüştür.

Sekiz farklı kurutma modeli nem oranı değerlerine göre karşılaştırılmış, regresyon katsayısı (R^2) değerine göre değerlendirilerek en uygun model

bulunmuştur. Bu modelde yer alan katsayılara ortalama kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkileri lineer, logaritmik, eksponansiyel ve üssel olarak çoklu regresyon tekniği ile saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en uygun modelin, regresyon katsayısı değerinin en yüksek bulunduğu iki terimli eksponansiyel model olduğu görülmüştür.”

Yıldız (2001), havuç ve pırasa kurutulmasında kurutma havası özelliklerinin kuruma karakteristiklerine etkisi konusunda aşağıdaki bilgileri sunmuşlardır.

“Çalışmada, havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu ürünler 30, 40, 50, 60 ve 70 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s kurutma havası hızlarında kurutularak kurutma süreleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler matematiksel modellere uygulanarak en uygun model bulunmuştur.

Çalışma sonuçlarına göre, havuç ve pırasa kurutulmasına kurutma havası özelliklerinin önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kurutma süresi farklı koşullarda pırasa için 2,80 ile 27,66 saat, havuç için ise 3,98 ile 22,32 saat arasında değişmiştir. Bu süre, kurutma havası sıcaklığının artması ile azalmakta, kurutma havası hızının düşmesi ile artmaktadır. Kuruma hızı da benzer bir değişim göstermektedir.”

Yılmaz (2000), Güneş pili tahrikli model bir güneşli kurutucunun geliştirilmesi ve kurutulmuş domates üretiminde teorik ve deneysel incelenmesi üzerine yaptığı çalışmada aşağıdaki bilgileri elde etmiştir.

“Ülkemizde sebze ve meyvelerin kurutulması genellikle toprak ve beton sergi yerlerinde; bez, kâğıt vb. gibi örtülerin üzerinde veya tenteler altında yapılmaktadır. Açık alanda yapılan kurutmada ürün; iklim ve çevre koşullarının etkisi altında kalmakta, böcek vb. hayvanların zararına

uğramaktadır. Kapalı hacimlerde yapılan kurutmada ise bu tip sakıncalar ortadan kalkmakta, daha iyi kalitede ürün alınabilmektedir. Bu nedenlerle güneş enerjisinin kontrollü kullanımını sağlayacak güneşli kurutucular tercih edilmektedir. Bu çalışmada güneş pili destekli bir kurutucu imal tasarlanmış ve denenmiştir. Kurutucu; kabin, fotovoltaiik sistem, hava kanalları ve havalı düzlemsel kollektörden oluşmaktadır. Materyal olarak domates kullanılmıştır. Sonuçta sistemin verimliliğinin oldukça yeterli olduğu ancak kapasitesinin geliştirilmesi gerektiği düşüncesine varılmıştır.”

Ayvaz (1992), güneş enerjisiyle tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılacak endüstriyel kurutucu tasarımı konulu çalışmasında aşağıdaki bilgileri vermiştir.

“Çalışmada zorlanmış hava dolaşımli bir kurutucu Bornova- İzmir koşullarında denenmiştir. Kurutucuda kabukları soyulmuş ve dilimlenmiş elmalar kullanılmıştır. Kurutucu içinde en yüksek sıcaklık 69,4 °C olarak ölçülmüş, kurutma deneyleri hava koşullarına, ışınlm miktarına, sistem kapaklarının açık veya kapalı olma durumlarına bağılı olarak 2–5 gün arasında sürdürülmüştür, Sonuçta kurutucu içi ile dış ortamda kurutulan elmaların hemen hemen aynı sürede kuruduğı görülmüş, kurutucu içindeki havalandırma kapaklarının yoğunlaşmayı önleyecek şekilde ayarlarının yapılması ile kuruma işlemi 2–3 günde tamamlanmıştır.

Kurutucu içerisinde 37 adet kütle ve enerji bilançosu kurularak bir bilgisayar programı yapılmış kararlı hâl için bilinmeyen sıcaklık ile nemlilik değerleri her saat için bulunmuştur. Kontrol hacimlerinde teorik olarak bulunan sıcaklık değerleri ile deneyde ölçülen sıcaklık değerleri uyumlu olmasına rağmen arka kanal sıcaklıkları ve günlük buharlaşan nem miktarları cam yüzeylerindeki yoğunlaşmadan ve ürün taşınım katsayısının uygun olmamasından dolayı istenen uyumlulukta olmamıştır. Yoğunlaşmanın giderilmesi, ön cam yüzeyinin hafif eğimli olması, ara bölmelerin kaldırılması veya en az gölge oluşturacak biçimde yeniden tasarlanması, raflar arasına

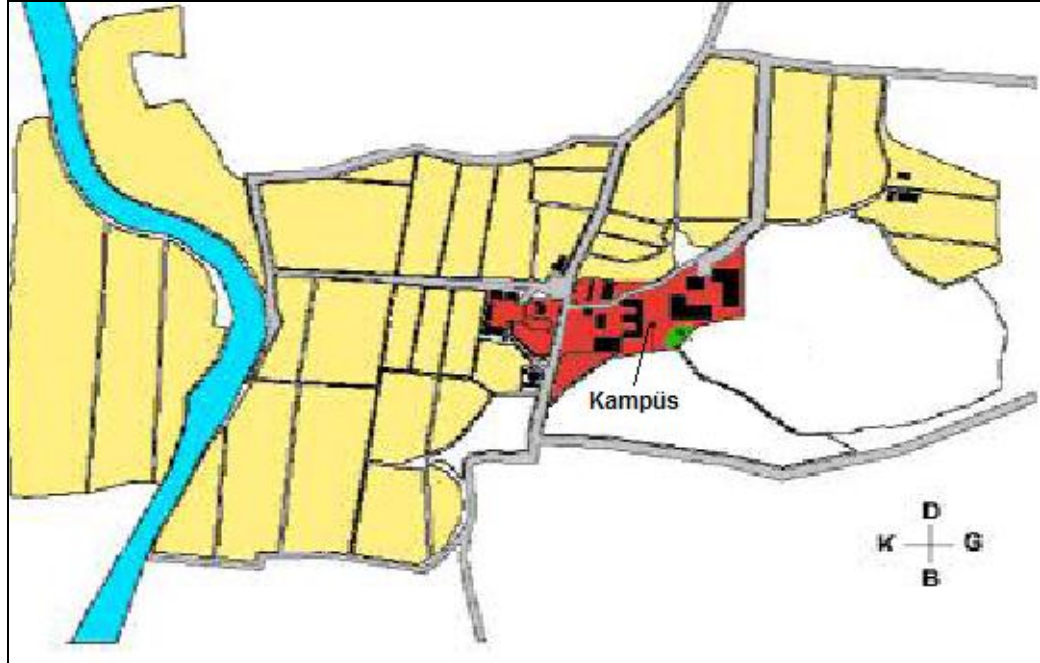
saptırıcı konulması durumunda kurutma sürelerinin kısılacağı ve teorik sonuçlarla deneysel sonuçların uyumlu olacağı düşünülebilmektedir.”

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme alanı ve süresi

Bu araştırma, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Üretim Çiftliği bünyesinde bulunan alanlarda yürütülmüştür. Çiftlik arazileri 37° ve 38° kuzey enlemleri ile 27° ve 29° doğu boylamları arasına yerleşmiş ve Aydın il merkezine 17 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 3.1) (Yalçın, 1999).



Şekil 3.1 Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kampus alanı, Araştırma ve Üretim Çiftliği Krokisi

3.1.2. İklim

Büyük Menderes Havzası'nda ılıman Akdeniz iklimi görülmektedir. Araştırmanın yapıldığı kurutma periyotlarında Aydın Meteoroloji İstasyonu'nda kaydedilen sıcaklık, nem, güneş ışınlamı ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Aydın ilinin 2006- 2007 yıllarına ait bazı meteorolojik değerler
(Anonim, 2007a)

<u>2006 Yılı</u> Aylar	Sıcaklık			Ortalama Bağıl Nem (%)
	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	
Temmuz	29,0	36,7	21,0	50,4
Ağustos	27,3	35,1	20,3	55,8
Eylül	23,9	33,0	17,2	59,3
Yıllık Ortalama	18,0	24,9	12,3	63,3
<u>2007 Yılı</u> Aylar	Sıcaklık			Ortalama Bağıl Nem (%)
	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	
Temmuz	28	38,5	21,6	55,4
Ağustos	26,4	42,4	20,5	53,4

3.1.3. İncir Çeşidi

Bu araştırmanın ana materyali olarak Aydın – Erbeyli İncir Araştırma Enstitüsü’nde yetiştirilen sarılop cinsi kurutmalık incir çeşidi seçilmiştir. Bu çeşidin yetiştiriciliği Aydın’da yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Ülkemiz kuru incir üretiminin tümünü sağlayan sarılop incir çeşidi iri, açık renkli ve yumuşak olması ile dünya incir pazarında en üstün niteliklere sahip çeşit olarak kabul edilmektedir. Bu niteliklere sahip olmasındaki en büyük etken, üretiminin yapıldığı öncelikle Büyük Menderes ikinci olarak da Küçük Menderes havzalarında yetiştirme ve kurutma açısından en ideal koşulların bulunmasıdır (Gül, 1992).

Denemede kullanılan sarılop çeşidi incirler ağaçtan elle buruk olarak hasat edilmiştir. İncirin nem içeriği ve kütle ağırlığı değerlerinin belirlenmesinde Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Laboratuvarları kullanılmıştır. Kurutma denemeleri, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi bünyesinde yapılmıştır.

3.1.4. Doğal Akımlı Kurutucu Tasarım ve İmalatı

Doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucunun tasarlanması, imalatı ve denemeleri Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde yürütülmüştür.

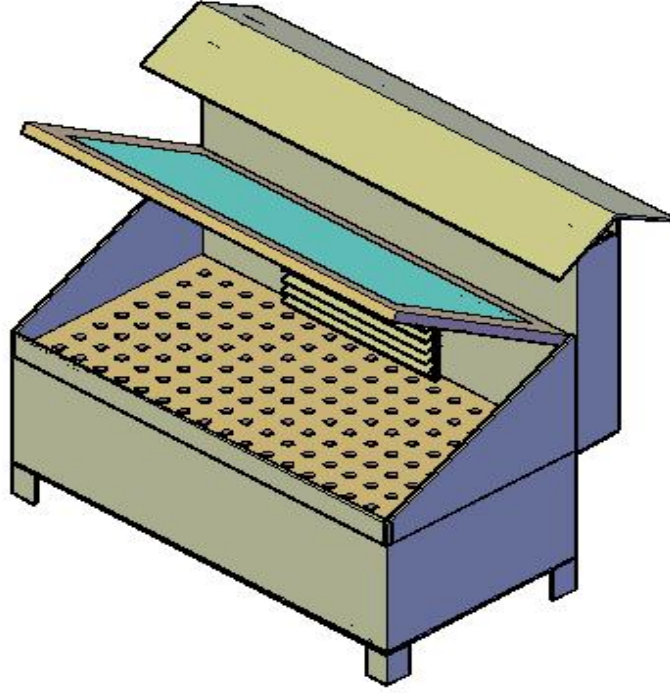
3.1.4.1. Tasarım

Prototip kurutucu, kuruma mevsimi ve yörenin almış olduğu ışıma miktarı göz önüne alınarak doğal akımlı tasarlanmıştır. Doğal konveksiyonun sağlanabilmesi hava giriş ve çıkışı, açılıp kapanabilen kanallar ve hava çıkışına monte edilen baca aracılığı ile oluşmaktadır (Anonim, 2006a). Prototip kurutma düzeneğinde hava, kurutma odasına yerleştirilen rafın üzerinde bulunan ürünün içerisinden geçerek kurutucuyu terk edecek biçimde kurutucu tasarlanmıştır.

Doğal akımlı kurutucu, küçük aile işletmelerinin kullanacağı, düşük kapasiteli bir prototip olarak tasarlanmıştır. Kurutulacak olan incirin özellikleri ve güneş ile etkileşimlerinde meydana gelebilecek fiziksel ve kimyasal değişimler incelendiğinde, incirin zararlılardan çabuk etkilendiği görülmüştür. Bu koşullar göz önüne alınarak kurutucu kapalı bir kutu şeklinde tasarlanmıştır. Sadece kurutucunun üst cam yüzeyi ve hava kanalları açılıp kapanabilir şekilde tasarlanmıştır.

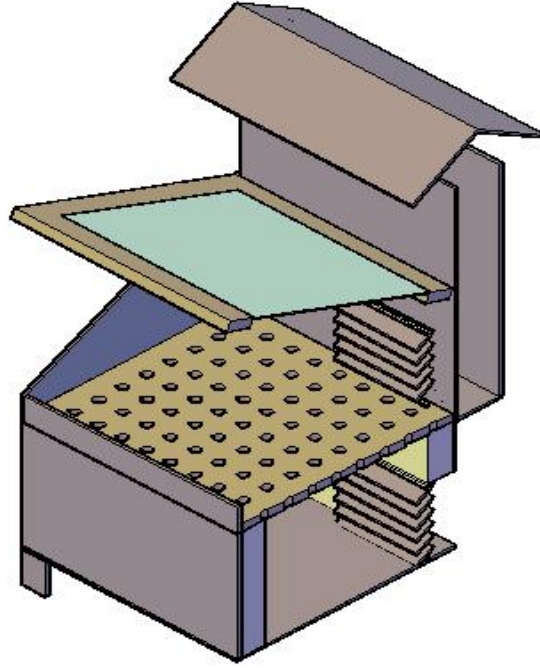
Güneş enerjili kurutucuların tasarımında kullanılan malzemeler kolay bulunabilirliği yönü ile değerlendirilmiş ve seçilmiştir. Prototip kurutucunun izolasyonu için cam yünü kullanılmıştır. Kurutucunun içine yerleştirilecek sunta raf hava geçişini kolaylaştırmak için delikler açılmıştır. Kurutucunun üst yüzeyi güneş enerjisinden daha çok yararlanabilmek için 26° açı ile tasarlanmıştır. Kurutucunun sac levha yüzeyi, güneş ışınımından daha çok yararlanabilmek için siyah renge boyanmıştır (Ayvaz, 1992).

Kurutucunun tasarım aşamasında AutoCAD 2007 çizim programı kullanılmıştır. Tasarlanan kurutucunun program kullanılarak çizilmiş görünüşü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Doğal akımlı kurutucunun prototip gösterimi

Doğal akımlı prototip kurutucunun AutoCAD 2007 programı ile çizilmiş kesit görüntüsü Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3 Doğal akımlı kurutucu prototipinin kesit gösterimi

3.1.4.2. İmalat

Çalışmada doğal akımlı kurutucu prototipi Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Atölyeleri'nde imal edilmiştir.

Doğal akımlı prototip kurutucunun yapım aşamasında; 1,5 mm'lik sac levha, yalıtım malzemesi olarak 30 mm'lik cam yünü, 3 mm kalınlığında cam, L30x30x3 köşebent, 5 mm genişliğinde ahşap, 890x440 mm ölçülerinde sunta, 350x150 mm ölçülerinde iki adet kapaklı ve ayarlanabilir ızgara kullanılmıştır.

Prototip kurutucunun iskeleti 900x450x250 mm ölçülerinde L30x30x3 köşebentten yapılmıştır. Dış kasa malzemesi olarak 1,5 mm kalınlığında sac levha kullanılmıştır. Kurutucunun içerisine, dış kasayla arasında 5 mm boşluk kalacak şekilde sac levhadan ikinci bir yüzey yapılmıştır. Yalıtım için birleşme noktalarına silikon uygulanmıştır. Dış ve iç yüzey arasında kalan 5 mm'lik boşluk, kurutucu tabanı, arka ve ön yüzeyler 30 mm'lik cam yünü ile yalıtılmıştır.

Ana kasanın arkasına, üst yüzeyden itibaren yerleştirilmiş 900x210x100 mm ölçülerinde, 1,5 mm'lik sac levhadan baca yapılmıştır. Kurutucu içine 890x440 mm ölçülerinde bir adet raf yerleştirilmiştir. Raf, suntadan imal edilmiş olup, hava geçişini kolaylaştırmak için 10 mm ebadında delikler açılmıştır. Raf gerektiğinde, üst kapak açıldığında kolaylıkla çıkabilmektedir. 1,5 mm kalınlığındaki sac levha toplayıcı yüzey ve raf tutucu olarak kullanılmaktadır.

Üst yüzeyi oluşturan cam, 3 mm kalınlığında 900x450 mm ölçülerindedir. Camın çerçevesi için 5 mm genişliğinde ahşap malzeme kullanılmış ve 26° açı ile iskelete menteşe vasıtasıyla bağlanmıştır.

Kurutucunun kapalı şekilde çalışabilmesi ve doğal akımın sağlanabilmesi için biri kasanın arka yüzeyinde ve diğeri baca yüzeyinde olmak üzere 350x150 mm ölçülerinde iki adet kapaklı ve ayarlanabilir ızgara yerleştirilmiştir. Kurutucunun sac levha yüzeyi siyah renge boyanmıştır.

Doğal akımlı kurutucunun, imalattan sonra değişik açılardan çekilmiş fotoğrafları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Doğal akımlı model kurutucunun önden görünüşü



Şekil 3.5 Doğal akımlı model kurutucunun yandan görünüşü

3.1.5. Ölçümler

İmal edilen prototipte, sıcaklık ölçümü için TT marka TM-979 model ve -50°C ile 300°C ölçüm aralığında cep tipi dijital termometre kullanılmıştır. Ölçümler için Memmert marka, UM 500 model etüv ve Presica marka, 310 C model, 0,01 g hassasiyetle ölçüm yapabilen terazi kullanılmıştır. Çalışmada istatistik hesaplamalarda Statistica 7.0 ve JMP 7.0 istatistik programları kullanılmıştır.

Deneme periyotlarındaki rüzgâr hızı (V), güneş ışınım şiddeti (I) ve bağıl nem (Φ) değerlerinin her saat başı ölçülmüş verileri, Aydın Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır.

3.2. Yöntem

Bu araştırmanın ana materyali olan sarılop cinsi incir Aydın – Erbeyli İncir Araştırma Enstitüsü'nde ağaçtan elle buruk olarak hasat edilmiştir.

Nemin uzaklaştırılması, kurutma havasının materyalin içinden geçmesi ile sağlanmıştır. Denemelerde kullanılan incirler, ürün ağırlığı sabit duruma gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma materyalinin ağırlığında meydana gelen değişim ve

hava sıcaklığı ikişer saatlik periyotlarla bir tam gün boyunca ölçülmüştür. Denemeler 4 ayrı zaman periyodunda yapılmıştır.

Birinci deneme, 2–3 Ağustos 2006, ikinci deneme 7–8 Ağustos 2006, üçüncü deneme 10–11 Ağustos 2006 ve dördüncü deneme 14–15 Ağustos 2006 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm denemenin başladığı tarihte saat 09.00’da başlamış ve ertesi gün saat 09.00’da bitirilmiştir. Kurutma denemeleri kütle kaybının durduğu veya çok az miktarda sapmalar gösterdiği durumda bitirilmiştir.

3.2.1. Kurumaya Etkili Faktörler

Çalışma periyotlarında kurutucu içerisine 40 adet incir yerleştirilmiştir. İncir kütleindeki değişimi belirleyebilmek için her periyot grubunda tesadüfi olarak seçilen 10 adet incirin kütleleri ölçülmüştür. İncir materyali raf üzerinde hiç çevrilmemiştir. Kurutma kapalı sistem doğal akımlı kurutucuda yapılmış olup havalandırma kapakları açık tutulmuştur Kurutma denemeleri yapılırken hava sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Hava bağıl nemi gibi ölçülemeyen bazı değerler, Aydın Meteoroloji Müdürlüğü’nden temin edilmiştir.

Kuruma davranışının belirlenmesinde ilk olarak deneme materyallerinin ilk nem değerleri tespit edilmiştir. Kurutulan materyalin ilk nem değerinin belirlenmesinde, incir örnekleri kurutucuya yerleştirilmeden, içinden tesadüfi olarak alınan 10 adet örnek kullanılmıştır. 0,01 hassasiyetli terazide tartılıp yaş ağırlıkları belirlenmiştir. İncirler, 105°C’de 24 saat süreyle etüvde bekletilmiştir. 24 saat sonra etüvden çıkarılan örneklerin kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Yaş baza göre nem içeriğinin hesaplanmasında 3.1 eşitliği kullanılmıştır (Yalçın ve Özarslan, 2004).

$$Nem(\%) = \frac{m_K - m_Y}{m_K} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Nem : Yüzde nem içeriği (%)

m_K : Kuru ağırlık (gr)

m_Y : Yaş ağırlık (gr)

Kurutma periyodu sonunda son nem değerleri kütle değişiminin durduğu noktada ölçülmüş, dört deneme periyodunda yapılan çalışma sonucunda ürünün zamana bağlı olarak nem içeriğinde meydana gelen değişim incelenmiştir.

Kuruma davranışını açıklayabilmek ve matematiksel model oluşturabilmek için bazı verilerin hesaplanması ve ölçülmesi gereklidir. Kurutma davranışının modellenmesinde incirin belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin, incirin ilk nem içeriğine oranı ayrılabilir nem oranı olarak tanımlanmış ve bu orana sıcaklık, rüzgâr, bağıl nem ve güneş ışınımı gibi farklı parametrelerin etkileri açıklanmıştır.

3.2.1.1. Ayrılabilir Nem Oranı (ANO)

Ayrılabilir nem oranı, kurutma sırasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının, üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranını belirtmektedir (Ertekin ve Yıldız, 2001).

$$ANO = \frac{M}{M_0} \quad (3.2)$$

ANO = Ayrılabilir nem oranı (%)

M = İncirin belirli bir t anındaki nem içeriği (%)

M₀ = İncirin ilk nem içeriği (%)

Çalışmada, incirlerin nem değerlerine bağlı olarak her bir periyot için deneme verilerine dayanan, ayrılabilir nem oranı değeri hesaplanmış ve deneysel ayrılabilir nem oranı (ANO_{deneysel}) değeri olarak adlandırılmıştır. Deneysel ayrılabilir nem oranı her bir periyot için hesaplanmış, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneş ışınım şiddeti ve hava bağıl neminin etkisi her bir periyot için tek tek regresyon analizi ile araştırılmış ve grafikleri çizilmiştir.

Kuruma davranışını en iyi açıklayan eşitliğin bulunabilmesi için ANO_{deneysel} değeri ile ilişkisi bulunan hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneş ışınım şiddeti ve hava bağıl

nemi değerlerine çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Çoklu regresyon analizleri sonucunda her bir periyot için sıcaklığa, rüzgâr hızına, güneş ışıınım şiddetine ve hava bağıl nemine bağılı ayrılabılır nem oranı değerini veren dört farklı eşitlik elde edilmiştir.

Çoklu regresyon analizi ile bulunan eşitliklere; sıcaklık, rüzgâr, güneş ışıınımı ve hava bağıl nemi değerleri yerleştirilmiş, ayrılabılır nem oranı değeri hesaplanmış ve bu değeri hesaplanan ayrılabılır nem oranı ($ANO_{\text{hesaplanan}}$) değeri olarak adlandırılmıştır.

Çoklu regresyon sonucunda elde edilen, eşitliklerin doğruluğunun tespiti için hesaplanan ayrılabılır nem oranı değerleri ($ANO_{\text{hesaplanan}}$) ile deneysel verilere dayanan deneysel ayrılabılır nem oranı (ANO_{deneysel}) değerleri karşılaştırılmıştır. $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} değerlerinin birbiriyle olan ilişkisi grafiğe dökülmüş ve istatistiksel olarak yeterliliklerine bakılmıştır.

Sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmelerinde, tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (X^2) değeri, ve belirtme katsayısı (R^2) dikkate alınmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. İncirin Kütle Kaybı

Doğal akımlı prototip kurutucuda rafa serilerek kurutulan incirlerin kütle kaybı 10 ayrı numune yardımıyla izlenmiştir. Birinci deneme periyodundaki incirlerin kütle değişimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 I. periyottaki incirlerin kütle değişimleri

Zaman (saat)	I. Periyottaki numune incirlerin kütleleri (gr)										Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
09.00	28,6	29,48	27,47	30,5	33,3	29,7	32,85	34,57	32,46	29,85	30,87
11.00	24,5	25,12	24,32	27	31,7	26,2	30,31	32,01	30,11	27,32	27,85
13.00	19,98	21,69	20,88	24,7	28	23,3	27,32	29,9	27,5	25,64	24,89
15.00	17,45	18,65	17,93	21,5	26,6	21,8	24,8	27,2	25,2	23,05	22,41
17.00	16,32	16,65	15,65	20,1	23,3	19,1	22,41	25,7	23,3	21,86	20,43
19.00	15,3	16,14	14,8	18,8	22,8	18	20,07	23,1	22,9	20,85	19,27
21.00	15,1	16,1	14,23	17,7	21,1	17,9	19,92	22,8	22,43	19,84	18,71
23.00	14,9	15,88	14,13	16,8	20,8	17,8	18,65	21,8	21,68	19,77	18,22
01.00	14,8	15,87	14,1	16,7	20,75	17,7	18,64	21,7	21,67	19,76	18,16
03.00	14,7	15,85	14,09	16,6	20,65	17,5	18,63	21,65	21,66	19,75	18,10
05.00	14,5	15,82	14,07	16,5	20,54	17,44	18,62	21,64	21,65	19,74	18,05
07.00	14,3	15,81	14,07	16,4	20,48	17,34	18,61	21,63	21,64	19,73	18,00
09.00	14,3	15,8	14,07	16,3	20,4	17,32	18,6	21,62	21,63	19,72	17,97

Çizelge 4.1’de, incir kütlelerindeki azalmanın saat 09.00 ile 17.00 arasında çok hızlı olduğu görülmektedir. Bu aralık, sıcaklığın ve güneş ışınlam şiddetinin en yüksek olduğu saatlerdir. Kütle kayıp hızı saat 23.00’de durma noktasına gelmiştir. II. periyot için incir kütle değişimleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 II. periyottaki incirlerin kütle değişimleri

Zaman (saat)	II. Periyottaki numune incirlerin kütleleri (gr)										Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
09.00	33,87	32,34	29,8	30,86	31,45	28,9	30,13	32,33	31,93	29,26	31,08
11.00	30,27	30,32	27,52	27	29,27	27,11	28,22	30,96	29,67	27,45	28,77
13.00	27,88	27,93	24,78	25,21	27,08	25,13	25,31	27,65	27,33	24,86	26,31
15.00	26,55	26,21	22,36	23,78	25,6	22,98	22,67	25,59	25,19	22,97	24,39
17.00	25,46	25,17	21,68	22,86	24,5	21,64	21,32	24,08	23,66	21,23	23,16
19.00	24,16	24,69	21,00	22,02	23,82	20,74	20,98	23,65	22,8	20,89	22,47
21.00	23,89	23,17	20,73	21,87	23,48	20,14	20,24	23,54	22,31	20,56	21,99
23.00	22,34	22,2	20,11	21,56	23,16	19,86	20,04	23,45	22,03	20,23	21,49
01.00	21,56	21,87	19,88	21,34	23,04	19,61	19,93	23,23	21,9	20,08	21,24
03.00	21,32	20,72	19,78	21,14	22,89	19,43	19,89	23,17	21,86	19,98	21,01
05.00	21,26	20,76	19,76	21,03	22,53	19,42	19,83	23,15	21,64	19,77	20,91
07.00	21,15	20,75	19,75	21,02	22,52	19,41	19,82	23,14	21,63	19,76	20,89
09.00	21,14	20,74	19,76	21,02	22,51	19,41	19,82	23,13	21,62	19,75	20,89

II. periyottaki incirlerin kütle değişimini gösteren Çizelge 4.2'deki değerler, sabah 09.00'da başlayıp ertesi gün 09.00'a kadar iki saatte bir ölçülen kütle değerleridir. Çizelge, kütle kayıp hızının saat 09.00 ile 17.00 arasında çok yüksek olduğunu göstermektedir. Saat 09.00 ve 17.00 arası sıcaklığın ve güneş ışınım şiddetinin en yüksek olduğu saatlerdir. Kütle kayıp hızı saat 19.00'dan sonra giderek azalmış, fakat bu azalma diğer periyotlara göre daha düşük olmuştur. Bu durumun sebebi II. periyottaki sıcaklık ortalamasının $25,2^{\circ}\text{C}$ ve rüzgâr hızının da 1.33 m/s ile en düşük değerler olması olarak açıklanabilir. Kütle kaybı ancak 05.00'da durma noktasına gelebilmiştir. III. periyot için numune incirlerin kütle değişimleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 III. periyottaki incirlerin kütle değişimleri

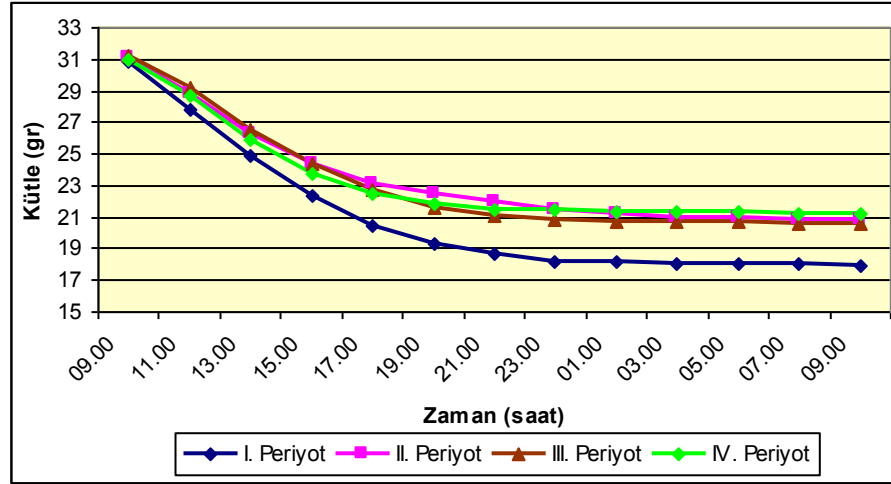
Zaman (saat)	Numune incirlerin kütleleri (gr)										Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
09.00	30,56	31,43	29,31	30,96	32,56	29,82	33,38	30,04	31,78	32,80	31,26
11.00	28,51	29,78	27,52	28,89	31,05	26,2	31,67	28,43	29,67	30,02	29,17
13.00	25,12	27,67	25,48	26,39	28,89	23,3	28,24	25,76	27,06	27,34	26,52
15.00	22,87	25,47	23,03	24,02	26,56	21,8	26,01	23,78	25,7	25,05	24,42
17.00	21,43	23,16	21,95	22,67	23,8	19,1	24,87	22,13	24,59	23,69	22,73
19.00	20,88	22,25	20,15	21,1	22,81	18	24,02	21,12	23,9	22,36	21,65
21.00	20,54	21,89	19,58	20,37	21,23	17,9	23,87	20,79	23,5	21,7	21,13
23.00	20,21	21,78	19,26	19,86	20,61	17,8	23,76	20,68	23,01	21,5	20,84
01.00	19,98	21,67	18,99	19,68	20,54	17,76	23,67	20,54	22,97	21,48	20,72
03.00	19,97	21,66	18,98	19,67	20,53	17,75	23,66	20,53	22,96	21,47	20,71
05.00	19,96	21,65	18,97	19,66	20,52	17,73	23,65	20,52	22,95	21,46	20,70
07.00	19,95	21,64	18,96	19,65	20,51	17,73	22,64	20,51	22,94	21,45	20,59
09.00	19,94	21,63	18,95	19,64	20,5	17,72	22,63	20,5	22,93	21,44	20,58

Çizelge 4.3'te, kütle kayıp hızı saat 19.00'dan sonra giderek azalmış, saat 01.00'da durma noktasına gelmiştir. IV. periyot için numune incirlerin kütle değişimleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 IV. periyottaki incirlerin kütle değişimleri

Zaman (saat)	Numune incirlerin kütleleri (gr)										Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
09.00	31,23	32,46	30,77	31,65	30,33	29,87	30,13	32,03	29,59	31,77	30,98
11.00	29,18	30,12	28,61	29,10	28,67	27,15	28,22	29,95	26,87	29,45	28,73
13.00	26,82	27,38	25,79	26,81	25,21	24,87	25,31	26,57	23,60	26,90	25,92
15.00	23,66	25,72	23,43	24,70	23,61	22,65	22,67	24,33	21,54	24,73	23,70
17.00	22,46	24,43	22,36	23,54	22,32	21,13	21,32	23,58	20,43	23,25	22,48
19.00	21,98	23,76	21,87	22,65	21,43	20,09	20,98	22,65	19,67	22,89	21,79
21.00	21,86	22,82	21,86	22,60	21,29	19,89	20,09	21,84	19,60	22,56	21,44
23.00	21,85	22,81	21,85	22,59	21,27	19,86	20,04	21,82	19,58	22,55	21,42
01.00	21,84	22,80	21,84	22,57	21,25	19,84	19,93	21,80	19,57	22,54	21,39
03.00	21,83	22,79	21,83	22,55	21,24	19,83	19,89	21,78	19,56	22,53	21,38
05.00	21,82	22,78	21,82	22,54	21,23	19,82	19,83	21,77	19,55	22,52	21,36
07.00	21,81	22,77	21,81	21,53	21,22	19,81	19,82	21,76	19,54	22,51	21,25
09.00	21,80	22,76	21,80	21,52	21,21	19,80	19,82	21,75	19,53	22,50	21,24

IV. periyottaki incirlerin kütle değişimini gösteren Çizelge 4.4'deki değerler, sabah 09.00'da başlayıp ertesi gün 09.00'a kadar iki saatte bir ölçülen kütle değerleridir. Her bir periyotta kütle değişimi ölçülen numune incirlerin kütlelerinin ortalamaları alınmıştır. İncirlerin kütle değişimlerinin ortalamalarını gösteren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 İncirlerin kütle değişim grafiği

Şekil 4.4'te verilen, IV. periyottaki incir kütlelerindeki değişimlerin grafiği, kütle kayıp hızının saat 09.00 ile 17.00 arasında çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu saatler hava sıcaklığının ve güneş ışınlam şiddetinin en yüksek olduğu saatlerdir. Kütle kayıp hızı saat 19.00'dan sonra giderek azalmış ve saat 21.00'da durma noktasına gelmiştir. IV. periyotta kütle kayıp hızının, diğer periyotlara göre daha yüksek olduğu ve kütle kaybının çok erken durma noktasına geldiği görülmüştür. Bu durum IV. periyodun 30,09°C sıcaklık ortalaması ve 1,81 m/s rüzgâr hızı ile en yüksek değerlere sahip olması olarak açıklanabilir. Kısaca IV. periyot için incirlerin en hızlı kuruduğu periyot denilebilir.

4.1.2. İncirin İlk ve Son Nem Değerleri

Kuruma materyali olarak kullanılan incirin ölçülen ilk nem değerleri Çizelge 3.3'te verilen çizelgeye göre düzenlenmiş ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 İncirlerin ilk nem değerleri

Deneme Periyodları	İncirlerin ilk nem değerleri (%)										Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
02.08.2006–03.08.2006 I.Periyod	50	51	50	51	51	51	52	50	51	51	50,8
07.08.2006–08.08.2006 II. Periyod	51	50	50	50	51	50	51	50	50	50	50,3
10.08.2006–11.08.2006 III. Periyod	51	50	51	51	52	51	52	52	50	51	51,1
14.08.2006–15.08.2006 IV. Periyod	50	51	50	51	50	50	50	51	50	50	50,3

Kuruma materyali olarak kullanılan incirin ölçülen son nem değerleri ise Çizelge 3.4'e göre düzenlenmiş ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 İncirlerin son nem değerleri

Deneme Periyodları	Ölçülen son nem değerleri (%)										Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
02.08.2006–03.08.2006 I.Periyod	23	24	24	23	23	23	24	23	23	24	23,4
07.08.2006–08.08.2006 II. Periyod	23	23	23	23	23	23	24	23	23	23	23,1
10.08.2006–11.08.2006 III. Periyod	24	23	23	24	23	24	23	23	24	23	23,4
14.08.2006–15.08.2006 IV. Periyod	23	23	22	23	22	23	24	23	23	23	22,9

4.1.3. Ayrılabilir Nem Oranı Değerleri ($ANO_{deneyse}$)

Kurutma sırasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının, üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranı olarak tanımlanan ayrılabilir nem oranı, deneme periyotlarında elde edilen veriler ile 3.2 Eşitliği kullanılarak her bir deneme periyodu için deneysel olarak hesaplanmış ve sırasıyla Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.7 I. periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri

Zaman (saat)	M_0	M	$ANO_{deneyse}$
09.00	50,8	50,8	1
11.00	50,8	46	0,90551
13.00	50,8	39	0,76771
15.00	50,8	35	0,688976
17.00	50,8	31	0,610236
19.00	50,8	28	0,551181
21.00	50,8	25	0,492125
23.00	50,8	23,4	0,460629
01.00	50,8	23,4	0,460629
03.00	50,8	23,4	0,460629
05.00	50,8	23,4	0,460629
07.00	50,8	23,4	0,460629
09.00	50,8	23,4	0,460629

Çizelge 4.7’de saat 09.00’da başlayıp iki saat aralıklarla bir tam gün boyunca hesaplanan I. periyot için $ANO_{deneyse}$ değerleri verilmiştir. I. periyot için incirlerin ilk nem değerleri ortalaması (M_0) % 50,8’dir.

Çizelge 4.8 II. Periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri

Zaman (saat)	M₀	M	ANO_{deneysel}
09.00	50,3	50,3	1
11.00	50,3	45	0,89463
13.00	50,3	39	0,775347
15.00	50,3	35	0,695825
17.00	50,3	33	0,656063
19.00	50,3	30	0,596421
21.00	50,3	27	0,536779
23.00	50,3	26	0,516898
01.00	50,3	25	0,497017
03.00	50,3	23,5	0,467196
05.00	50,3	23,1	0,459244
07.00	50,3	23,1	0,459244
09.00	50,3	23,1	0,459244

II. periyot için incirlerin ilk nem değerleri ortalaması (M₀) % 50,3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9 III. periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri

Zaman (saat)	M₀	M	ANO_{deneysel}
09.00	51,1	51,1	1
11.00	51,1	45	0,880626
13.00	51,1	39	0,7632093
15.00	51,1	35	0,6849315
17.00	51,1	32	0,6262239
19.00	51,1	29	0,5675146
21.00	51,1	27	0,5283757
23.00	51,1	25	0,4892367
01.00	51,1	24	0,4696673
03.00	50,1	23,6	0,4710578
05.00	51,1	23,5	0,4598825
07.00	51,1	23,4	0,4579256
09.00	51,1	23,4	0,4579256

Çizelge 4.9’da III. periyot için hesaplanan ANO_{deneysel} değerleri verilmiştir. III. periyot için incirlerin ilk nem değerleri ortalaması (M₀) % 51,1’dir.

Çizelge 4.10 IV. periyot için deneysel ayrılabilir nem oranı verileri

Zaman (saat)	M₀	M	ANO_{deneysel}
09.00	50,3	50,3	1
11.00	50,3	45	0,894632
13.00	50,3	38	0,755467
15.00	50,3	32	0,636182
17.00	50,3	28	0,556660
19.00	50,3	25	0,497017
21.00	50,3	23	0,457256
23.00	50,3	22,9	0,455268
01.00	50,3	22,9	0,455268
03.00	50,3	22,9	0,455268
05.00	50,3	22,9	0,455268
07.00	50,3	22,9	0,455268
09.00	50,3	22,9	0,455268

IV. periyot için incirlerin ilk nem değerleri ortalaması (M₀) % 50,3 olarak hesaplanmıştır.

4.1.4. Sıcaklık Değerleri (°C)

Her bir deneme periyodu için iki saatte bir ölçülmüş olan sıcaklık değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4. 11. Deneme periyotlarında ölçülen sıcaklık değerleri

Zaman (saat)	Sıcaklık Değerleri (°C)			
	I.Periyot	II.Periyot	III.Periyot	IV.Periyot
09.00	24	22,2	23,8	28,4
11.00	31,7	30,2	35,6	36
13.00	36,1	33	36,2	40
15.00	36	32,3	35,5	38,7
17.00	34,8	29,5	30	36,5
19.00	32	26,2	28,4	33,6
21.00	28	24,4	27	30,3
23.00	27,5	23,2	25,3	26,9
01.00	25	21,3	22,6	25,3
03.00	20,6	20,4	20,3	22,2
05.00	22,8	20,8	21	22
07.00	23,4	21,1	22,4	23,3
09.00	27,6	23	24	28
Ort.	28,42	25,2	27,08	30,09

4.1.5. Güneş Işınım Değerleri (W/m²)

Denemenin yürütüldüğü zaman periyotları için ölçülen güneş ışınlm şiddeti değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Deneme periyotlarında ölçülen güneş ışıınımı değerleri

Zaman (saat)	Güneş Işınımı (W/m²)			
	I.Periyot	II.Periyot	III.Periyot	IV.Periyot
09.00	705,1	748,1	748,1	765,3
11.00	902,9	937,2	911,5	980,3
13.00	854,3	820,1	851,3	968,7
15.00	799,7	557,7	558,9	762,1
17.00	281,6	189,2	189,2	266,6
19.00	68,8	34,4	51,6	68,8
21.00	2,9	1,5	1,5	4,3
23.00	1,5	1,5	1,5	1,5
01.00	1,5	1,5	1,5	1,5
03.00	1,5	1,5	1,5	1,5
05.00	25,8	19,4	34,4	35,8
07.00	361,2	361,2	352,6	378,4
09.00	576,1	539,5	748,1	748,1
Ort.	352,53	324,06	342,43	383,3

4.1.6. Rüzgâr Hızı Değerleri (m/s)

Denemenin yürütüldüğü zaman periyotları için rüzgâr hızı değerleri her bir periyot için Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 Deneme periyotlarında ölçülen rüzgâr hızı değerleri

Zaman (saat)	Rüzgâr hızı (m/s)			
	I.Periyot	II.Periyot	III.Periyot	IV.Periyot
09.00	0,7	0,7	1	1,8
11.00	2,7	1,4	1,1	2,6
13.00	2,8	2,1	2,2	4,1
15.00	3,9	3,3	3,2	3,8
17.00	3,5	2,8	2,2	3,1
19.00	1,9	1,7	1,9	2,3
21.00	0,7	1,1	2,4	2,3
23.00	0,9	0,9	2,1	0,6
01.00	1	0,3	0,8	0,4
03.00	0,9	1,1	0,6	0,1
05.00	0,4	0,2	0,5	0,6
07.00	1,7	1	0,4	0,8
09.00	0,7	0,7	1,2	1,1
Ort.	1,67	1,33	1,50	1,81

4.1.7. Hava Bağlı Nemi Değerleri (%)

Denemenin yürütüldüğü zaman periyotları için hava bağlı nem değerleri her bir periyot için Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.14 Deneme periyotlarında ölçülen bağıl nem değerleri

Zaman (saat)	Bağıl nem (%)			
	I.Periyot	II.Periyot	III.Periyot	IV.Periyot
09.00	75	72	64	64
11.00	40	66	59	40
13.00	27	54	53	26
15.00	22	42	45	23
17.00	31	48	47	28
19.00	52	56	53	40
21.00	51	63	54	34
23.00	53	63	50	36
01.00	52	66	51	40
03.00	66	69	62	66
05.00	68	79	65	68
07.00	65	75	68	67
09.00	63	70	62	63
Ort.	51,15	63,30	56,38	45,76

4.1.8 Parametrelere Bağlı Olarak Ayrılabilir Nem Oranı ($ANO_{\text{hesaplanan}}$) Değerinin Hesaplanması

Kurutma davranışını açıklamak için çoklu regresyon analizi sonucu bulunan eşitlikler kullanılarak her bir deneme periyodu için hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri ($ANO_{\text{hesaplanan}}$) bulunmuş ve deneysel olarak hesaplanan ANO_{deneysel} ile karşılaştırılmıştır. Çoklu regresyona tabi tutulacak sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı, bağıl nem ve ANO_{deneysel} verileri I. periyot için Çizelge 4.15’de, II. periyot için Çizelge 4.16’da, III. periyot için Çizelge 4.17’de ve IV. periyot için Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.15 I. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler

Zaman	ANO deneysel	Sıcaklık (°C)	Güneş ışıınımı(W/m ²)	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl nem (%)
09.00	1	24	705,1	0,7	75
11.00	0,905511811	31,7	902,9	2,7	40
13.00	0,767716535	36,1	854,3	2,8	27
15.00	0,688976378	36	799,7	3,9	22
17.00	0,61023622	34,8	281,6	3,5	31
19.00	0,551181102	32	68,8	1,9	52
21.00	0,492125984	28	2,9	0,7	51
23.00	0,460629921	27,5	1,5	0,9	53
01.00	0,460629921	25	1,5	1	52
03.00	0,460629921	20,6	1,5	0,9	66
05.00	0,460629921	22,8	25,8	0,4	68
07.00	0,460629921	23,4	361,2	1,7	65
09.00	0,460629921	27,6	576,1	0,7	63

Çizelge 4.16 II. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler

Zaman	ANO deneysel	Sıcaklık (°C)	Güneş ışıınımı(W/m ²)	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl nem (%)
09.00	1	22,2	748,1	0,7	72
11.00	0,894632207	30,2	937,2	1,4	66
13.00	0,775347913	33	820,1	2,1	54
15.00	0,69582505	32,3	557,7	3,3	42
17.00	0,656063618	29,5	189,2	2,8	48
19.00	0,596421471	26,2	34,4	1,7	56
21.00	0,536779324	24,4	1,5	1,1	63
23.00	0,516898608	23,2	1,5	0,9	63
01.00	0,497017893	21,3	1,5	0,3	66
03.00	0,467196819	20,4	1,5	1,1	69
05.00	0,459244533	20,8	19,4	0,2	79
07.00	0,459244533	21,1	361,2	1	75
09.00	0,459244533	23	539,5	0,7	70

Çizelge 4.17 III. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler

Zaman	ANO deneysel	Sıcaklık (°C)	Güneş ışınlımı(W/m ²)	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl nem (%)
09.00	1	23,8	748,1	1	64
11.00	0,880626223	35,6	911,5	1,1	59
13.00	0,763209393	36,2	851,3	2,2	53
15.00	0,684931507	35,5	558,9	3,2	45
17.00	0,626223092	30	189,2	2,2	47
19.00	0,567514677	28,4	51,6	1,9	53
21.00	0,528375734	27	1,5	2,4	54
23.00	0,489236791	25,3	1,5	2,1	50
01.00	0,469667319	22,6	1,5	0,8	51
03.00	0,471057884	20,3	1,5	0,6	62
05.00	0,459882583	21	34,4	0,5	65
07.00	0,457925636	22,4	352,6	0,4	68
09.00	0,457925636	24	748,1	1,2	62

Çizelge 4.18 IV. periyotta çoklu regresyon analizi için kullanılan veriler

Zaman	ANO deneysel	Sıcaklık (°C)	Güneş ışınlımı(W/m ²)	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl nem (%)
09.00	1	28,4	765,3	1,8	64
11.00	0,89463221	36	980,3	2,6	40
13.00	0,7554672	40	968,7	4,1	26
15.00	0,6361829	38,7	762,1	3,8	23
17.00	0,55666004	36,5	266,6	3,1	28
19.00	0,49701789	33,6	68,8	2,3	40
21.00	0,45725646	30,3	4,3	2,3	34
23.00	0,45526839	26,9	1,5	0,6	36
01.00	0,45526839	25,3	1,5	0,4	40
03.00	0,45526839	22,2	1,5	0,1	66
05.00	0,45526839	22	35,8	0,6	68
07.00	0,45526839	23,3	378,4	0,8	67
09.00	0,45526839	28	748,1	1,1	63

Çoklu regresyon analizi sonuçlarında Çizelge 4.15’de verilen değerler kullanılarak I. periyot için elde edilen eşitlik, 4.1’de gösterilmektedir. II. periyot için Çizelge 4.16 kullanılarak, elde edilen eşitlik 4.2’de, III. periyot için Çizelge 4.17 kullanılarak elde edilen eşitlik 4.3’te, IV. periyot için Çizelge 4.18’de verilen değerler kullanılarak elde edilen eşitlik 4.4’te verilmiştir.

(4.1)

$$ANO_{\text{hesaplanan I}} = -0,056520083 + (0,00931216 \times T) + (0,000384934 \times I) + (0,016043781 \times V) + (0,00445049 \times \Theta)$$

(4.2)

$$ANO_{\text{hesaplanan II}} = 1,180518 - (0,00302 \times T) + (0,000421 \times I) + (0,06112 \times V) - (0,00858 \times \Theta)$$

(4.3)

$$ANO_{\text{hesaplanan III}} = 0,358443 + (0,008621 \times T) + (0,000277 \times I) - (0,01514 \times V) - (0,00106 \times \Theta)$$

(4.4)

$$ANO_{\text{hesaplanan IV}} = 0,413492 + (0,008236 \times T) + (0,000332 \times I) - (0,04448 \times V) - (0,00185 \times \Theta)$$

$ANO_{\text{hesaplanan}}$ = Hesaplanan ayrılabilir nem oranı değeri

T = Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

I = Güneş ışıınım şiddeti (W/m^2)

V = Rüzgâr hızı (m/s)

Θ = Hava bağıl nemi (%)

Çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 eşitlikleri, her bir periyot için hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerinin ($ANO_{\text{hesaplanan}}$), sıcaklık, rüzgâr, bağıl nem ve güneş ışıınım şiddetine bağılı olarak değişimini göstermektedir. Her bir periyot için iki saatte bir ölçümü yapılmış olan sıcaklık, rüzgâr, hava bağıl nemi ve güneş ışıınımı parametreleri eşitliklerde yerine koyularak $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerleri bulunmuştur.

4.1.9. Deneysel ve Hesaplanan Ayrılabilir Nem Oranı İlişkisi

Hesaplanan ayrılabilir nem oranı ($ANO_{\text{hesaplanan}}$) değerleri, çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 model eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Bulunan $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerlerinin, ANO_{deneysel} değerlerine yakınlığı, eşitliklerin kurutma davranışını nasıl açıkladığının bir göstergesidir. $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerleri ile deneme verileri sonucunda bulunan ANO_{deneysel} değerleri arasında yüksek bir ilişki çıkarsa, kullanılan eşitliklerin, kuruma davranışını açıkladığı söylenebilir. ANO_{deneysel} ve $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerleri her bir periyot için Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19 Her bir periyot için ANO_{deneysel} ve $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerlerinin karşılaştırılması

Zaman	I. Periyod		II. Periyod		III. Periyod		IV. Periyod	
	ANO hesaplanan	ANO deneysel	ANO hesaplanan	ANO deneysel	ANO hesaplanan	ANO deneysel	ANO hesaplanan	ANO deneysel
09.00	0,78340	1	0,76809	1	0,68814	1	0,69530	1
11.00	0,80757	0,90551	0,83234	0,89463	0,83896	0,88062	0,85152	0,89463
13.00	0,77358	0,76771	0,83476	0,77534	0,81714	0,76320	0,79862	0,75546
15.00	0,74703	0,68897	0,75597	0,69582	0,72336	0,68493	0,66605	0,63618
17.00	0,57005	0,61023	0,58824	0,65606	0,58645	0,62622	0,53879	0,55666
19.00	0,52986	0,55118	0,53156	0,59642	0,53269	0,56751	0,48220	0,49701
21.00	0,44354	0,49212	0,49972	0,53677	0,4981	0,52837	0,42995	0,45725
23.00	0,45045	0,46062	0,51556	0,51689	0,49222	0,48923	0,43667	0,45526
01.00	0,42433	0,46062	0,53222	0,49701	0,48756	0,46966	0,47041	0,45526
03.00	0,44406	0,46062	0,46029	0,46719	0,45911	0,47105	0,44007	0,45526
05.00	0,47477	0,46062	0,43582	0,45924	0,47260	0,45988	0,45567	0,45526
07.00	0,61697	0,46062	0,56434	0,45924	0,57124	0,45792	0,57176	0,45526
09.00	0,71386	0,46062	0,69496	0,45924	0,68895	0,45792	0,69175	0,45526

ANO_{deneysel} ve $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerlerinin arasındaki ilişkinin tespiti için, bu iki değer arasında bir regresyon ilişkisi kurulmuş, sonuçlar grafiksel olarak incelenmiş ve aralarındaki ilişkinin seviyesini gösterecek olan tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (X^2) ve belirtme katsayısı (R^2) değerleri karşılaştırılmıştır. ANO_{deneysel} ve

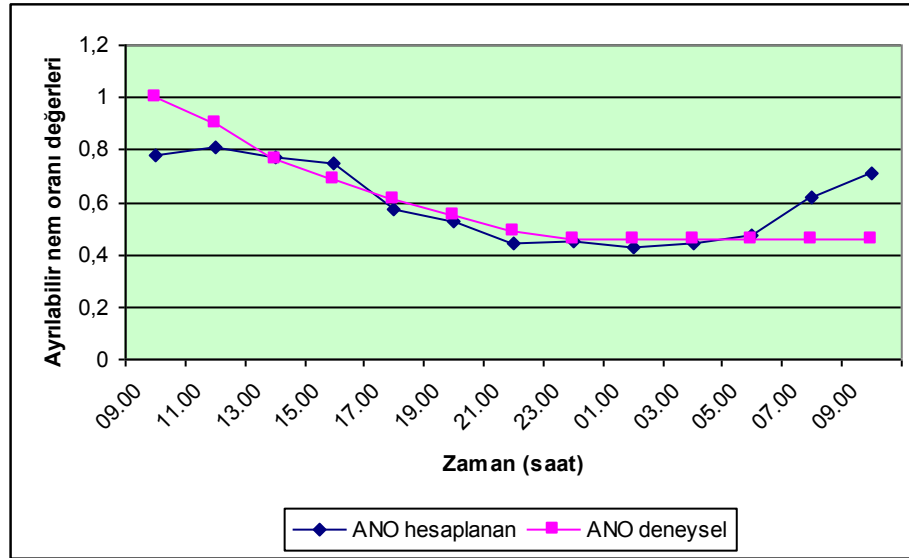
$ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerlerinin ilişki seviyesini gösteren RMSE, X^2 ve R^2 değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20 $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} ilişkisini gösteren R^2 , RMSE ve X^2 değerleri

Fonksiyonlar	I. Periyot	II. Periyot	III. Periyot	IV. Periyot
R^2	0,6314	0,6273	0,5483	0,6024
RMSE	0,0959	0,0757	0,0645	0,0804
X^2	0,2196	0,2053	0,2570	0,2485

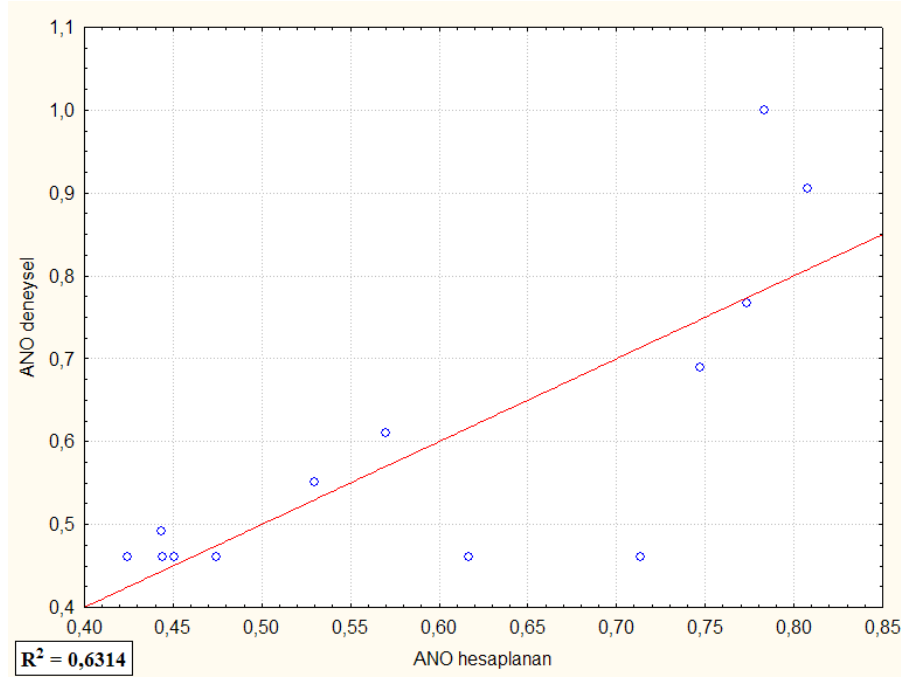
Çizelge 4.20’de modellerin uyumluluğunu gösteren R^2 değerlerinin yaklaşık olarak 0,60 olduğu görülmektedir. Bu değerin anlamı; eşitlikler ile elde edilen $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ile ANO_{deneysel} arasında çok yüksek olmasa da bir ilişki olduğudur.

Çizelge 4.19’deki verilere dayanarak elde edilen ANO_{deneysel} ve $ANO_{\text{hesaplanan}}$ değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması I. periyot için Şekil 4.4’de verilmiştir.



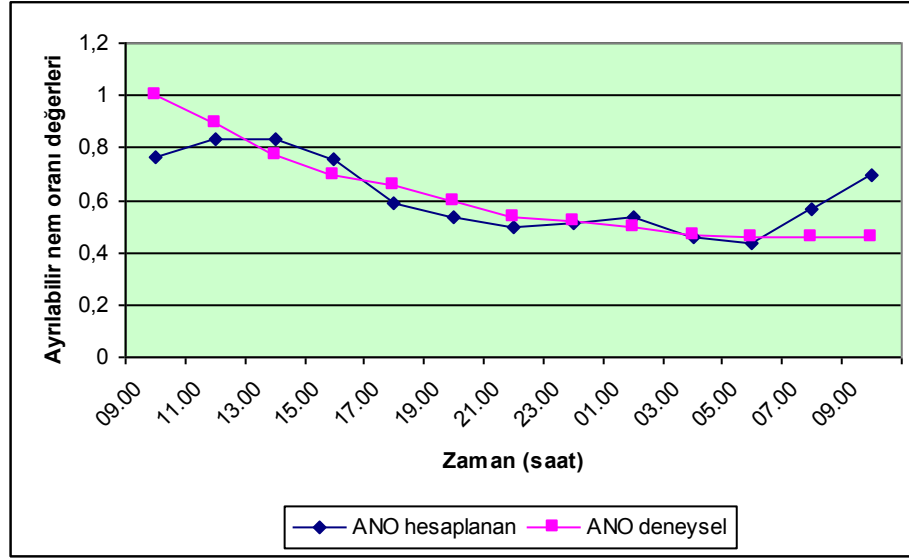
Şekil 4.5 I. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.5 incelendiğinde $ANO_{deneyse}$ ve eşitlikler ile elde edilen $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinde sapma görülmektedir. Sapmalar, denemenin başladığı ilk saatlerde ve bitiş saatlerinde görülmektedir. Eşitliklerin daha iyi değerlendirilebilmesi için I.periyot için Şekil 4.6’da grafik verilmiştir.



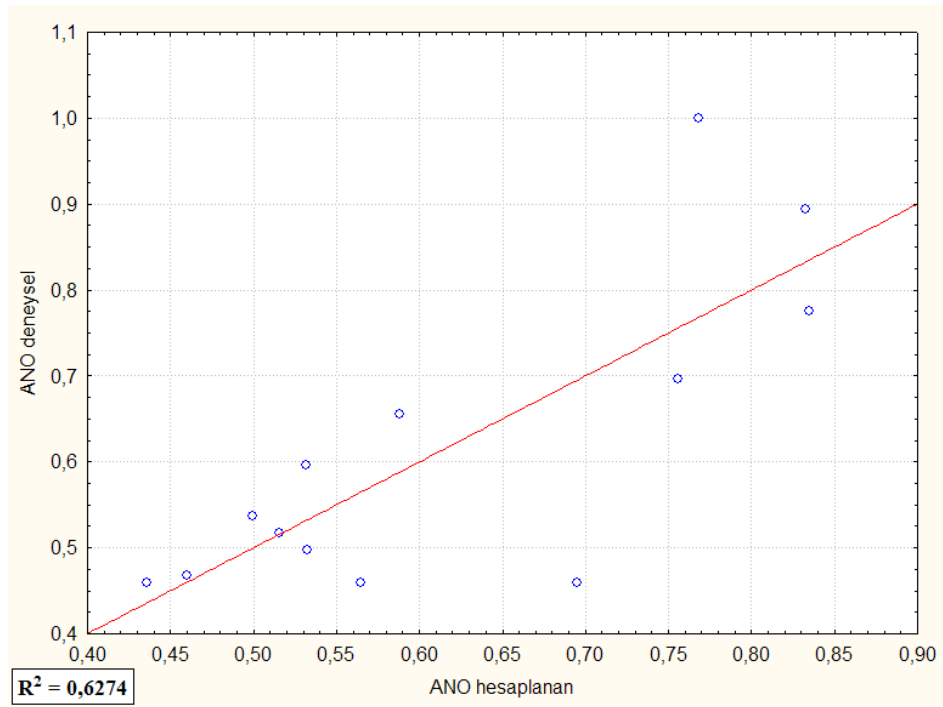
Şekil 4.6 I. Periyot için $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki

II. periyot için deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.7’de verilmiştir. II. periyot için hesaplanan $ANO_{hesaplanan}$ ve $ANO_{deneyse}$ değerleri grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



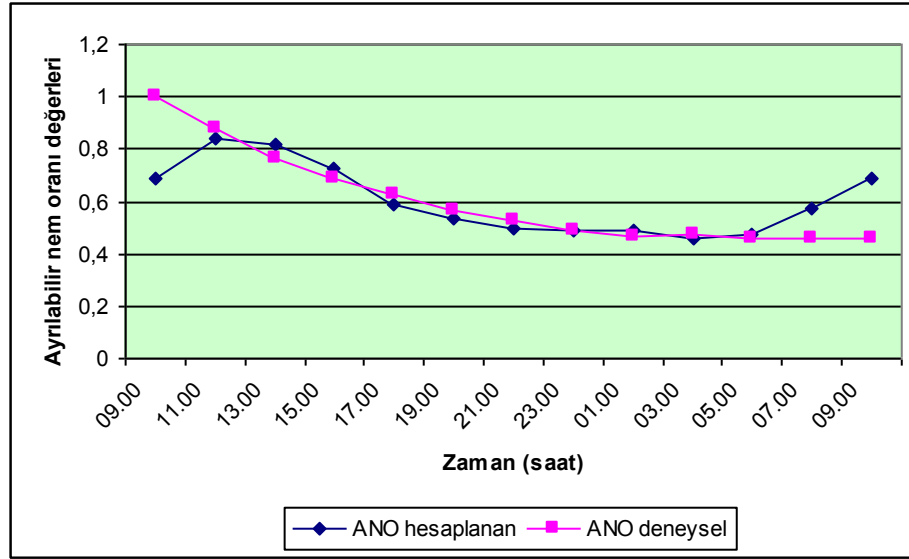
Şekil 4.7 II. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

$ANO_{deneyisel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.7 incelendiğinde denemenin başladığı ilk saatlerde ve bitiş saatlerinde sapmalar görülmektedir.

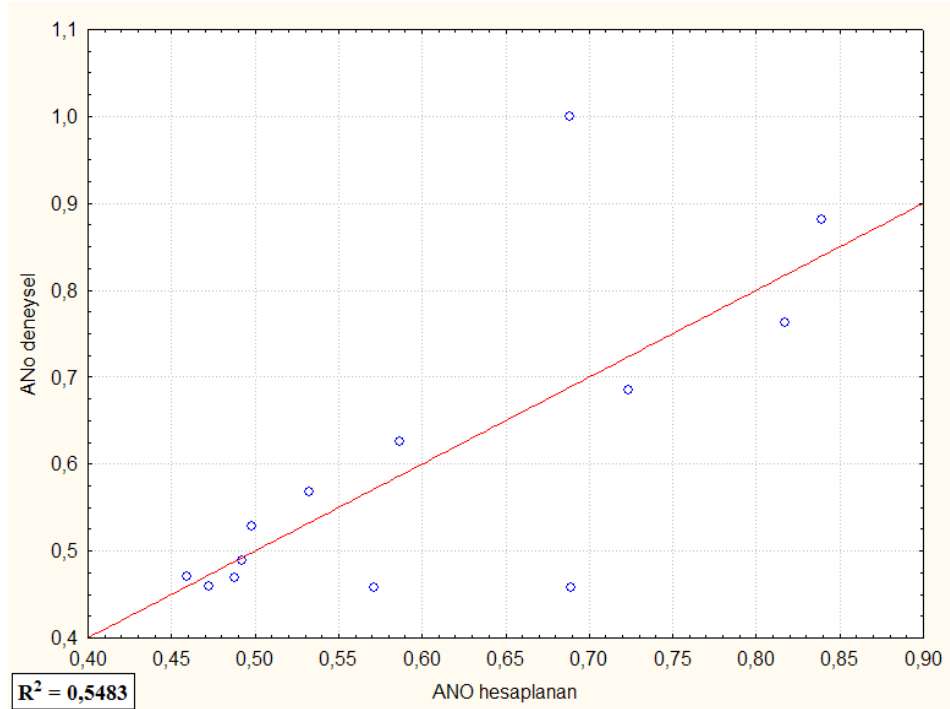


Şekil 4.8 II. Periyod için $ANO_{deneyisel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki

III. periyot için deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.9'da verilmiştir. III. periyot için hesaplanan $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} değerlerinin grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.

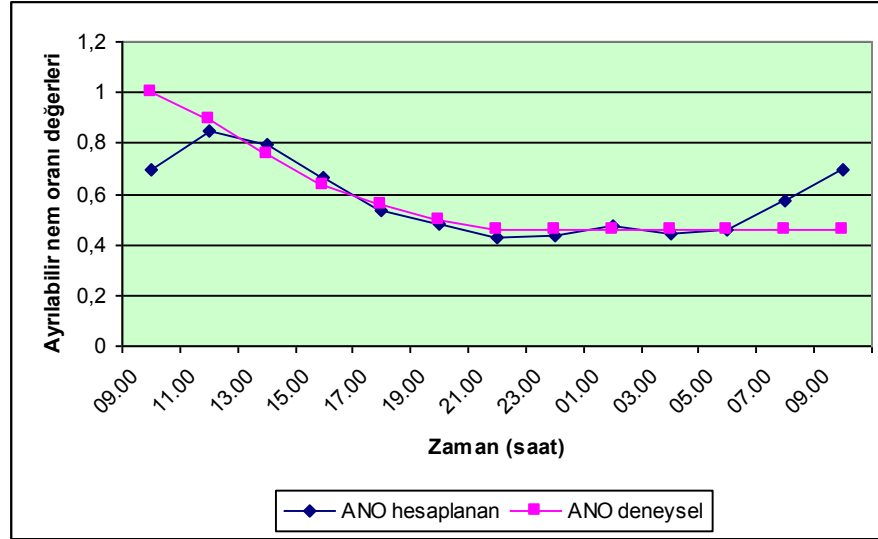


Şekil 4.9 III. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

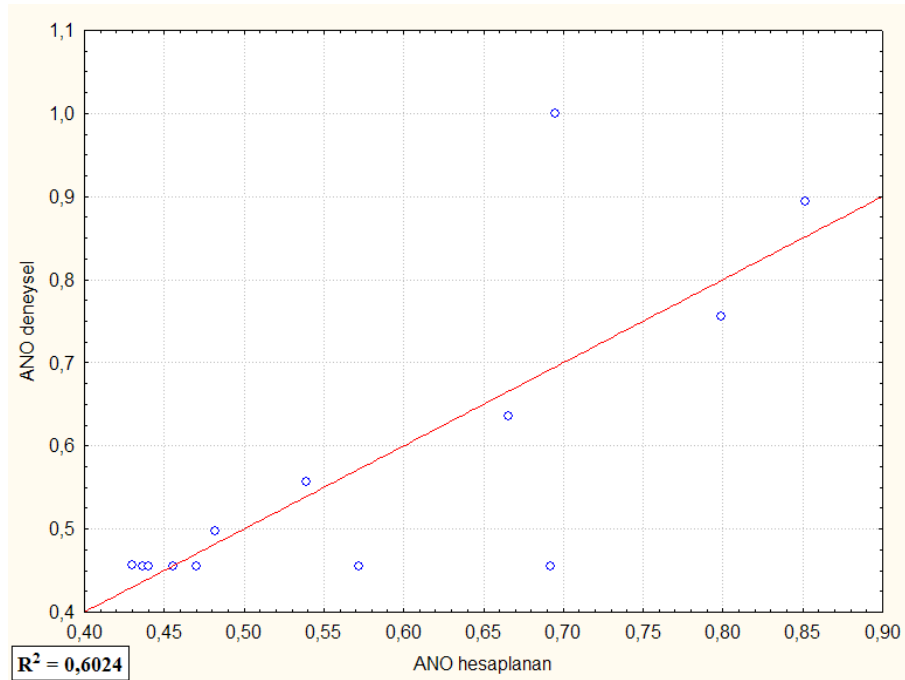


Şekil 4.10 III. periyot için ANO_{deneysel} ve $ANO_{\text{hesaplanan}}$ arasındaki ilişki

Deneysel verilere dayanan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması IV. periyot için Şekil 4.11’de verilmiştir. IV. periyot için hesaplanan $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} değerlerinin grafiği ise Şekil 4.12’de verilmiştir.



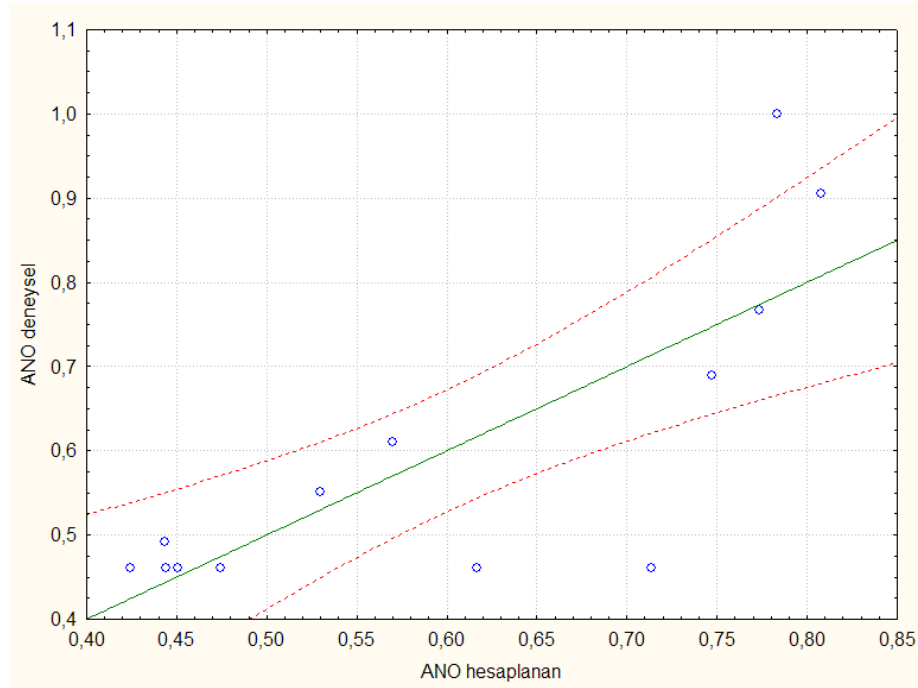
Şekil 4.11 IV. periyotta deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.12 IV. Periyot için ANO_{deneysel} ve $ANO_{\text{hesaplanan}}$ arasındaki ilişki

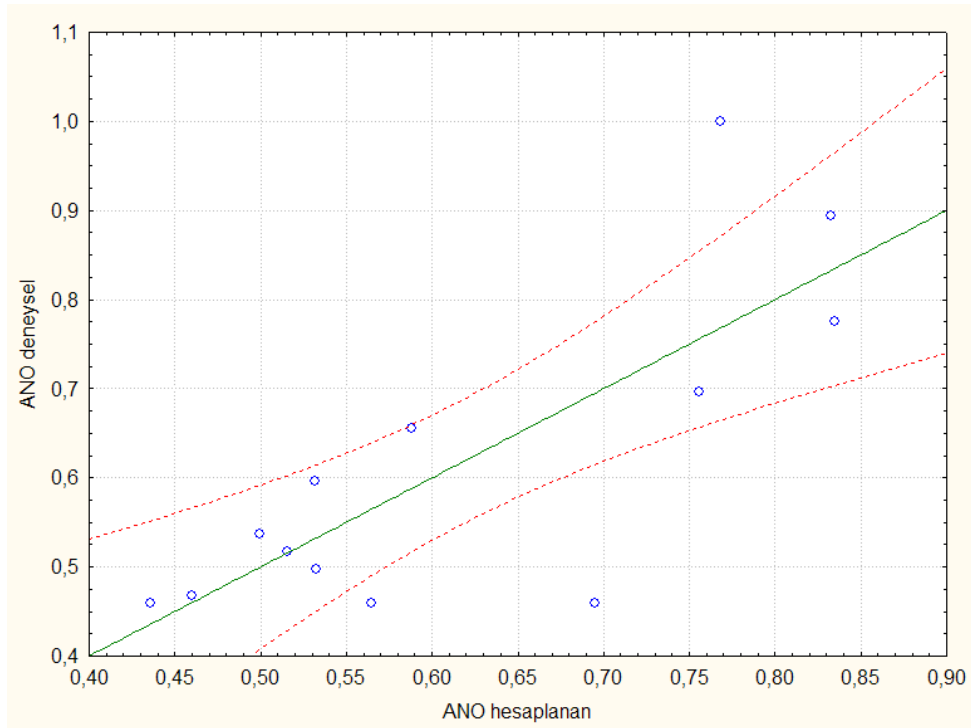
Eşitlikler ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri ile denemelerde bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde kullanılan eşitliklerin bir miktar sapma gösterdiği görülmektedir. Genel olarak sapmalar denemenin başladığı ilk saatlerde ve denemenin bitişinde görülmektedir. Bu durum, denemenin başladığı ilk anda, incir neminin teorik olarak % 100 alınması ve buna karşın, hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerinin daha düşük olması şeklinde açıklanabilir. Bitiş saatlerinde denemede incir nemi çok azalmasına karşın, diğer parametrelere bağlı olan $ANO_{hesaplanan}$ değeri tekrar yükselişe geçmiştir.

Analizlerde sapma gösteren bu değerler ihmal edilerek, $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişkiyi gösteren istatistiksel karşılaştırmanın tekrar yapılması gerekmektedir. Sapma gösteren değerlerin tam olarak belirlenebilmesi ve bu değerlerin ihmal edilebilmesi için, güven aralığı grafiği her bir periyot için çizilmiştir. Güven aralığı; standart sapma ve ölçme sayısına bağlı gerçek ortalama değeri içine alan sınırların (güven sınırları) belirlediği aralıktır (Anonim, 2006 c). I. Periyot için güven aralığı grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.



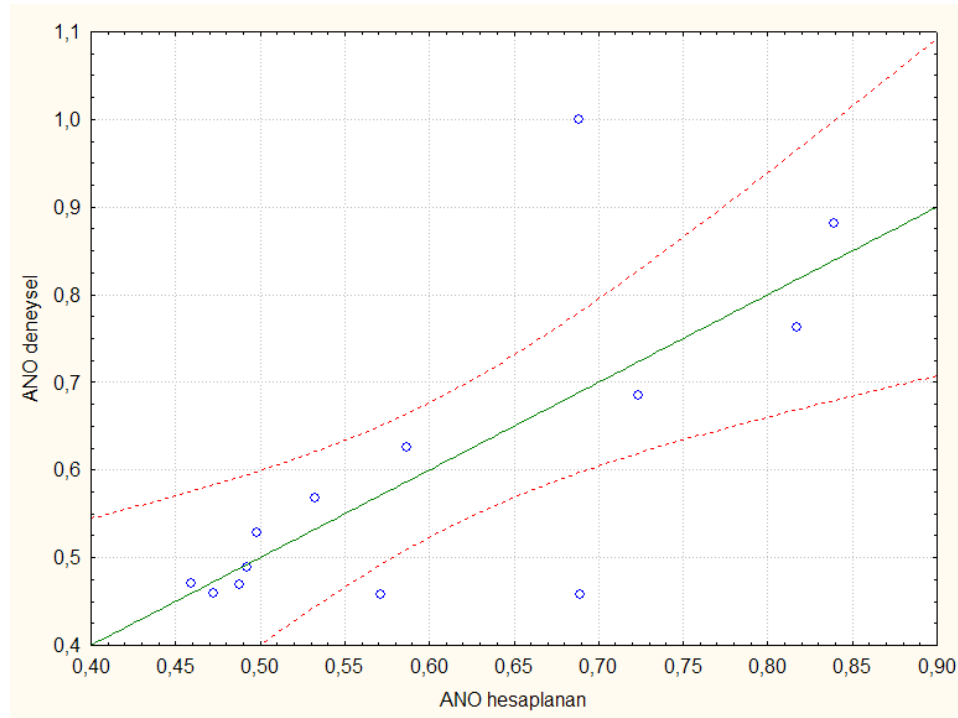
Şekil 4.13 I. periyot için güven aralığı grafiği

Şekil 4.13'e bakıldığında kırmızı çizgiler I. periyot için güven aralığı sınırlarıdır. Çizgi dışında kalan değerler, istatistiksel hesaplamalarda sapmaya neden olan değerlerdir. I. periyot için bu değerlerin denemenin başladığı ilk değer ve denemenin bitişindeki son iki değer olduğu görülmektedir. Deneme başlangıcında $ANO_{deneyse}$ değeri 1 alınırken, $ANO_{hesaplanan}$ değeri daha düşük bulunmuştur. Deneme başlangıcındaki 2. değer de güven sınırına çok yakın olduğu, $ANO_{deneyse}$ ile $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişkiyi azalttığı görülmektedir. Deneme sonuna ait iki değer de yine güven sınırının çok dışında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi; deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değeri ($ANO_{deneyse}$) gerçekte, kurumaya bağlı olarak azalıp, en sonunda durma noktasına yaklaşırken, eşitlikler yardımı ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerinin ($ANO_{hesaplanan}$) yüksek çıkması ile açıklanabilir. Çünkü $ANO_{hesaplanan}$ değerini elde ettiğimiz model eşitlikleri sıcaklığa, rüzgâra, bağıl neme ve güneş ışınım şiddetine bağlıdır. Bu değerler sabah olması ile birlikte yükselmeye başlarken, $ANO_{hesaplanan}$ değerini de yükseltirler. I. periyot için güven aralığı dışında kalan değerler ihmal edilecektir. II. periyot için güven aralığı grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14 II. periyot için güven aralığı grafiği

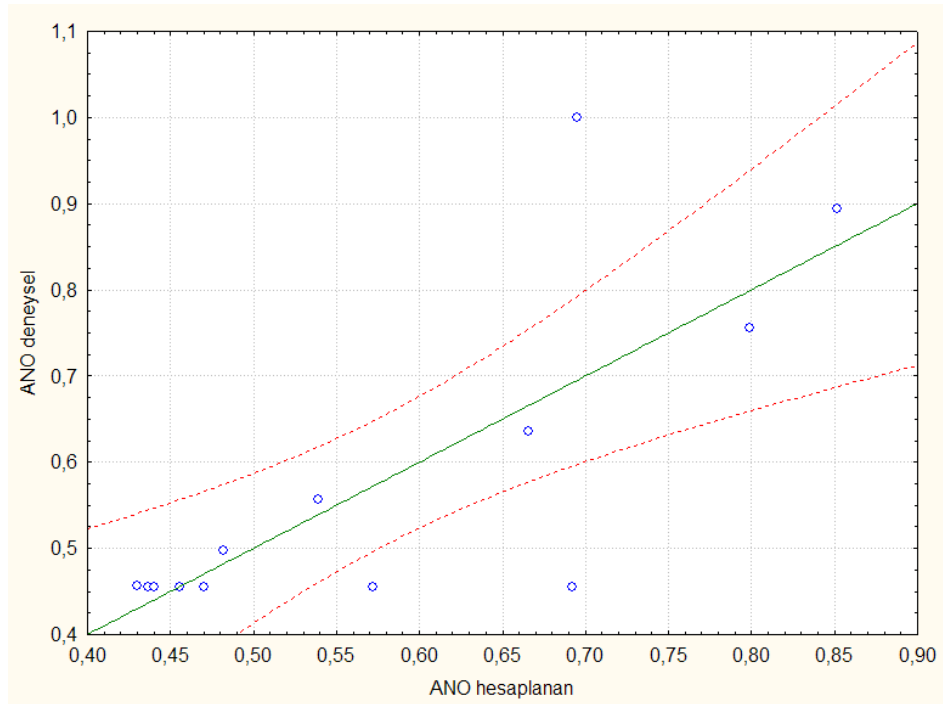
II. periyot için güven aralığı grafiğini gösteren Şekil 4.14 incelendiğinde, güven sınırı dışında kalan değerlerin denemenin başladığı ilk değer ve denemenin bitişindeki son iki değer olduğu görülmektedir. Güven sınırı dışında kalan bu değerler, hesaplamalarda sapmaya neden olan değerlerdir. Sapma gösteren bu değerler ihmal edilecektir. II. periyot için deneme başlangıcındaki 3. değer de güven sınırında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, II. periyotta sıcaklıkların, diğer periyodlara göre düşük olmasıdır. 3. ölçüm için $ANO_{deneysel}$ ile $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki fark çok yüksek olmadığı için, bu değer ihmal edilmeyecektir. Eşitlikler yardımı ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değeri ($ANO_{hesaplanan}$), sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem ve güneş ışınlamı parametrelerine bağlı olarak hesaplandığı için, denemedeki son iki ölçüm değeri güven sınırının dışında kalmıştır. III. periyot için güven aralığı grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15 III. periyot için güven aralığı grafiği

Şekil 4.15’de görülen kırmızı çizgiler III. periyot için güven aralığı sınırlarını göstermektedir. Çizgi dışında kalan değerlerin, denemenin başlangıcında hesaplanan ilk değer ve denemenin bitişindeki son iki değer olduğu görülmektedir. Deneme

başlangıcında $ANO_{deneyse}$ değerinin 1 olmasına karşın, $ANO_{hesaplanan}$ değerinin daha düşük olması, bu değeri sınır dışında bırakmıştır. Deneme sonuna ait iki değer de yine güven sınırının çok dışında olduğu görülmektedir. Deneyse olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değeri ($ANO_{deneyse}$) azalırken, eşitlikler yardımı ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değeri ($ANO_{hesaplanan}$) yüksek çıkmaktadır. III. periyot için sapma gösteren değerler ihmal edilecektir. IV. periyot için güven aralığı grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 IV. periyot için güven aralığı grafiği

Şekil 4.16 incelendiğinde IV. periyot için güven aralığı sınırlarının dışında kalan değerler görülmektedir. Güven aralığı dışında kalan değerler, hesaplamalarda sapmaya neden olan değerlerdir. IV. periyot için bu değerlerin denemenin başladığı ilk değer ve denemenin bitişindeki son iki değer olduğu görülmektedir. Denemenin ilk başladığı saatte $ANO_{deneyse}$ değerinin 1 olmasına karşın, $ANO_{hesaplanan}$ değeri daha düşük bulunmuştur. Deneme sonuna ait iki değer de yine güven sınırının çok dışında olduğu görülmektedir. Son iki değer hesaplandığı saatlerde, incirler kurumuştur ve $ANO_{deneyse}$ değerleri, incirlerin son nem değerlerine göre elde edilmiştir. Oysa diğer parametrelere bağlı $ANO_{hesaplanan}$ değeri o saatlerde artmaya başlamıştır.

Güven aralığı grafikleri göstermektedir ki: her bir deneme periyodu için istatistiksel hesaplarda sapmalara neden olan değerler denemenin başlangıcındaki ilk değer ve deneme sonundaki iki değerdir. Bu değerler ihmal edilecek ve Çizelge 4.19 yeniden düzenlenerek, $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ ilişkisi düzeltilmiş veriler ile yeniden ele alınacaktır.

4.1.10. Düzeltilmiş Verilere Göre Ayrılabilir Nem Oranları Arasındaki İlişkiler

Bütün deneme periyotları için, denemenin başlangıcındaki ilk değer ve bitişindeki son iki değer analiz sonuçlarını etkilediği görülmüştür. Bunun sebebi; deneme başlangıcında incirlerin ilk nem değerlerinin sahip olduğu nemin teorik olarak % 100'ünün incirde bulunması ve bitiş saatlerinde incir neminin azalması, buna karşın sabah sıcaklıkların artmaya başlaması olarak açıklanabilir. Her bir periyot için, ilk iki değer ve bitişteki son iki değer ihmal edilebilir olduğu görülmektedir. Bu değerlerin ihmal edilmiş hâli Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Her bir periyot için düzenlenmiş $ANO_{deneysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması

Zaman	I. Periyot		II. Periyot		III. Periyot		IV. Periyot	
	ANO hesaplanan	ANO deneysel	ANO hesaplanan	ANO deneysel	ANO hesaplanan	ANO deneysel	ANO hesaplanan	ANO deneysel
13.00	0,77358	0,76771	0,83476	0,77534	0,81714	0,76320	0,79862	0,75546
15.00	0,74703	0,68897	0,75597	0,69582	0,72336	0,68493	0,66605	0,63618
17.00	0,57005	0,61023	0,58824	0,65606	0,58645	0,62622	0,53879	0,55666
19.00	0,52986	0,55118	0,53156	0,59642	0,53269	0,56751	0,48220	0,49701
21.00	0,44354	0,49212	0,49972	0,53677	0,4981	0,52837	0,42995	0,45725
23.00	0,45045	0,46062	0,51556	0,51689	0,49222	0,48923	0,43667	0,45526
01.00	0,42433	0,46062	0,53222	0,49701	0,48756	0,46966	0,47041	0,45526
03.00	0,44406	0,46062	0,46029	0,46719	0,45911	0,47105	0,44007	0,45526
05.00	0,47477	0,46062	0,43582	0,45924	0,47260	0,45988	0,45567	0,45526

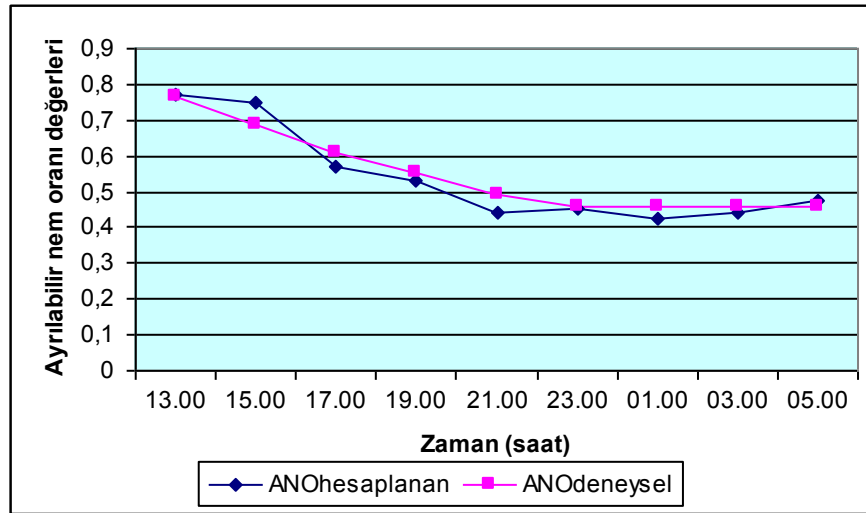
Eşitlikler ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri ile denemelerde bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişki ihmal edilen verilerden sonra

incelendiğinde kullanılan eşitliklerin kurutma modelini mükemmele yakın açıkladığı görülmüştür. Bu şekli ile $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} arasındaki ilişkiyi gösteren R^2 , RMSE ve X^2 değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

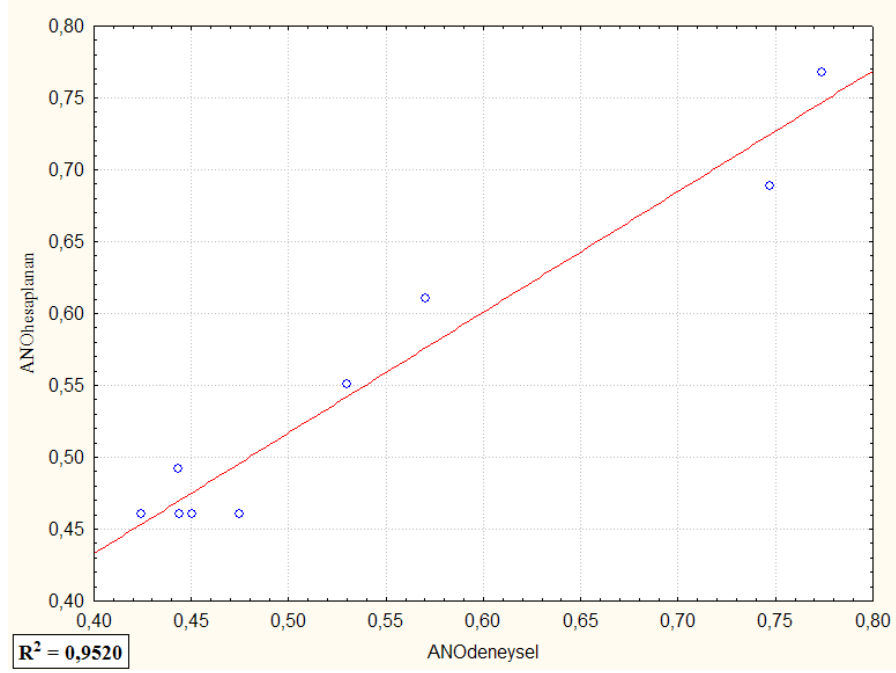
Çizelge 4.22 Düzeltilmiş $ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} ilişkisi için, R^2 , RMSE ve X^2 değerleri

Fonksiyonlar	I. Periyod	II. Periyod	III. Periyod	IV. Periyod
R^2	0,9520	0,8852	0,9424	0,9848
RMSE	0,0959	0,0757	0,0645	0,0804
X^2	0,0179	0,0311	0,01374	0,0082

$ANO_{\text{hesaplanan}}$ ve ANO_{deneysel} arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler, I. periyot için Şekil 4.17’de, II. periyot için Şekil 4.18’de, III. periyot için Şekil 4.19’da, IV. periyot için Şekil 4.20’de verilmiştir.

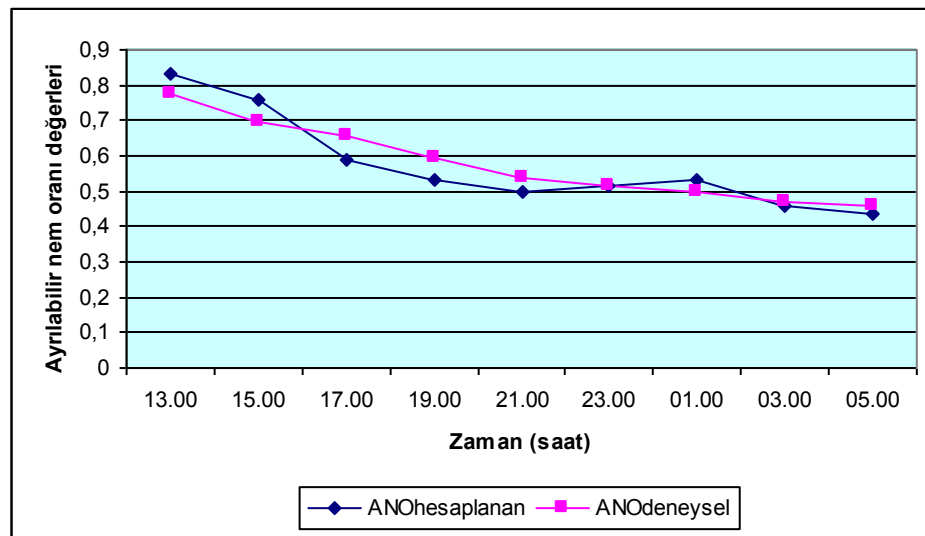


Şekil 4.17 I. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler

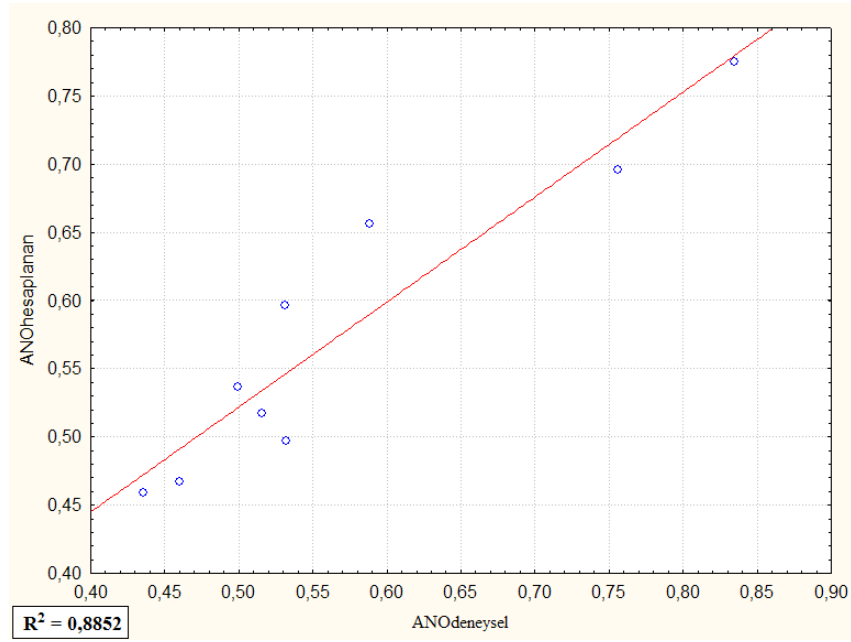


Şekil 4.18 I. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki

Düzeltilmiş verilere dayanan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerlerinin karşılaştırılması II. periyot için Şekil 4.19’da verilmiştir. II. periyot için hesaplanan $ANO_{hesaplanan}$ ve $ANO_{deneyysel}$ değerlerinin grafiği ise Şekil 4.20’de verilmiştir.

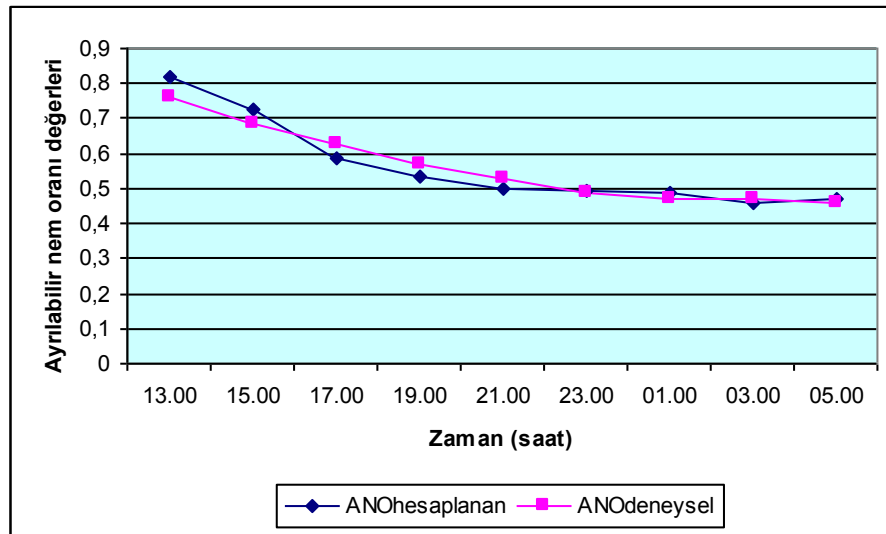


Şekil 4.19 II. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneyel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler

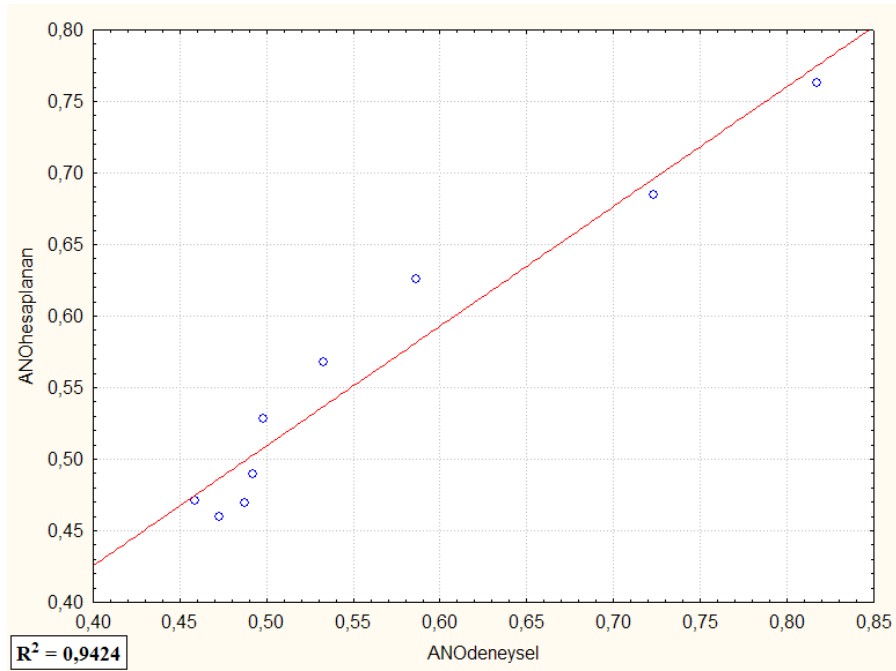


Şekil 4.20 II. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki

III. periyot için $ANO_{deneyysel}$ değerleri ile $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.21’de verilmiştir. III. periyot için hesaplanan $ANO_{hesaplanan}$ ve $ANO_{deneyysel}$ değerlerinin grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir.

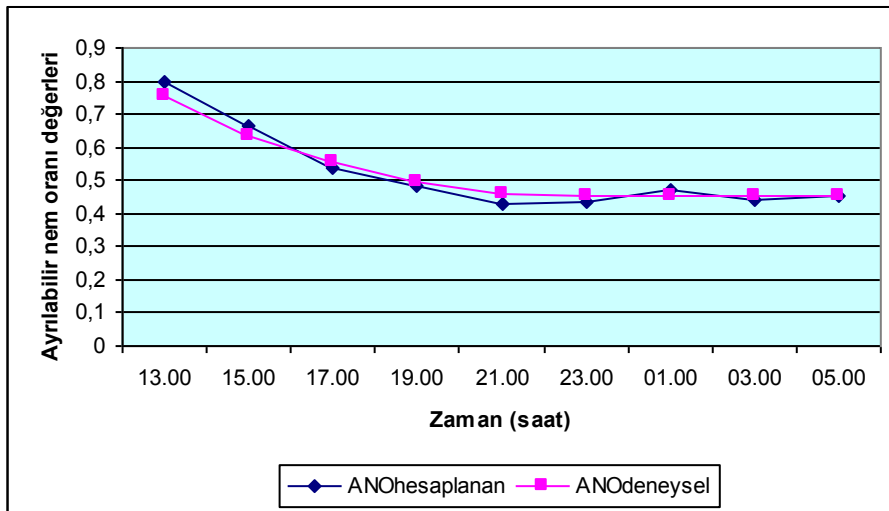


Şekil 4.21 III. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneyel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler

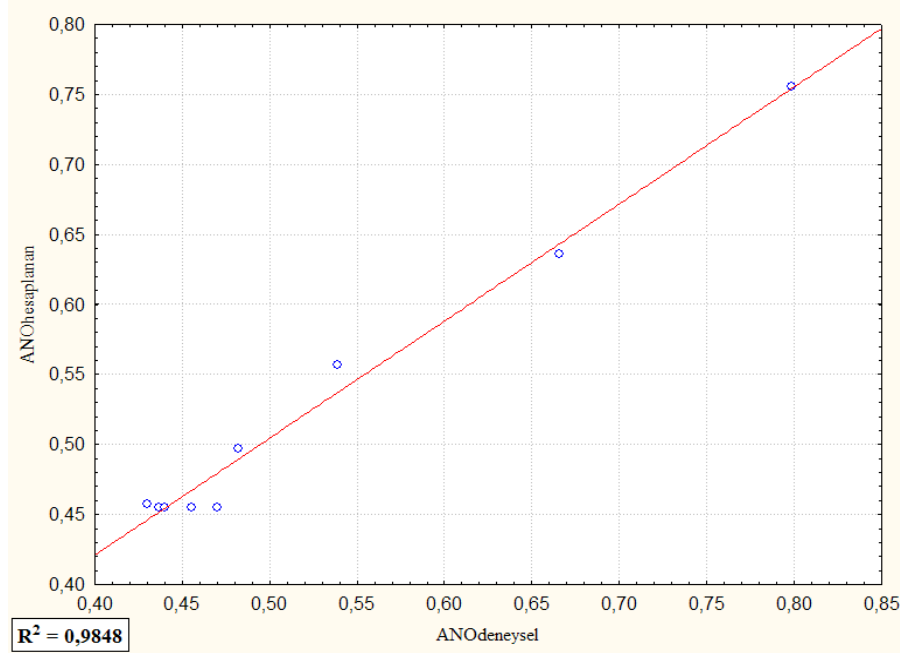


Şekil 4.22 III. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki

Düzeltilmiş verilere dayanan $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması IV. periyot için Şekil 4.23’de verilmiştir. IV. periyot için hesaplanan $ANO_{hesaplanan}$ ve $ANO_{deneyysel}$ değerlerinin grafiği ise Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.23 IV. periyotta düzeltilmiş verilere göre deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değerleri ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiler



Şekil 4.24 IV. periyot için düzeltilmiş verilere göre bulunan $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişki

İhmal edilmiş verilerle elde edilen grafikler ve Çizelge 4.25 incelendiğinde, dağılımı bozan veriler çıkarıldığında eşitliklerin mükemmel yakın doğrulukta olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak her bir deneme periyodu için düzeltilmiş $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, R^2 değerleri I. periyot için 0,9520, II. periyot için 0,8852, III. periyot için 0,9424 ve IV. periyot için 0,9848 olarak bulunmuştur. R^2 değerleri incelendiğinde, $ANO_{deneyysel}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişkiyi en iyi açıklayan IV. periyotta kullanılan 4.4 Eşitliği olmuştur. Eşitlik 4.4 için sıcaklığa, rüzgar hızına, bağıl neme ve güneş ışınım şiddetine bağlı olarak, kuruma davranışını mükemmel yakın bir şekilde açıkladığı söylenebilmektedir.

4.2. Tartışma

İncirlerin kütle kaybının en hızlı olduğu saatlerin, hava sıcaklığının ve güneş ışınımının en yüksek olduğu 11.00 ve 17.00 saatleri arası olduğu görülmektedir. Her deneme periyodunda saat 17.00'den sonra kütle kaybı giderek azalmış ve 23.00'den sonra durma noktasına gelmiştir.

I. Deneme periyodunda incirlerin kütle değişimini gösteren çizelgeden, 14. saatte incirlerin kütle kaybının, durma noktasına geldiği tespit edilmektedir. İncirlerin kütle kaybının durma noktasına geldiği 14. saat incirlerin kuruma zamanı olarak kabul edilmiştir.

II. Periyot 20 saat ile incirlerin en uzun sürede kuruduğu periyot olmuştur. Bunun durum, hava sıcaklığının ve rüzgâr hızının bu periyotta en düşük değerlere sahip olması ile açıklanabilir. Ayrıca II. periyotta hava bağıl nemi de yüksek bir değerler göstermiştir.

III. Periyotta incirler, 16 saatte kurumıştır. III. Periyotta, hava sıcaklığının ve güneş ışınımının en yüksek olduğu 11.00 ve 15.00 saatleri, incirlerin kütle kaybının en hızlı olduğu saatlerdir.

IV. Deneme periyodu 12 saat ile incirlerin en hızlı kuruduğu periyot olmuştur. Diğer deneme periyotlarına göre, bu periyotta hava sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti ve rüzgâr hızı ortalamaları en yüksek değerlerine sahip olmuştur. Hava bağıl nemi ortalaması ise en düşük değerini IV. Periyotta almıştır.

Denemelerde, hava sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti ile ANO_{deneysel} arasında yüksek bir ilişki olduğu, bu parametrelerin yüksek olmasının kurumayı olumlu etkilediği görülmüştür. Buna karşın gün içinde çok değişken olan rüzgâr hızı ve bağıl nemin, kurumayı sıcaklık kadar etkilemediği görülmüştür. Nitekim, Mutlu ve Öztürk (2004), incirin güneş enerjisi kullanarak kurutulmasının esasları üzerine yaptıkları çalışmada,

kurutma sistemlerinin kontrol edilmesi gereken parametrelerinden birisi kurutma yüzey alanına gelen güneş ışınımı olduğunu, diğer bir parametrenin ise, kurutma havasının kütleli debisi, sıcaklığı ve nem oranı olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer parametrelerin aksine, daha kısa sürede kuruma için bağıl nemin düşük olması gerekmektedir.

Deneme periyotları boyunca incirlerin kuruma zamanları sırasıyla; 14, 20, 16 ve 12 saat olmuştur. Hiçbir periyotta kuruma zamanı 24 saat sürmemiştir.

Sabah saatlerinde elde edilen verilerin istatistiksel verileri etkilediği ve sonuçların uyumunu gösteren R^2 değerini düşürdüğü görülmüştür. Hesaplanan ayrılabilir nem oranı değeri ($ANO_{hesaplanan}$), sabah saatlerinde yüksek olmaktadır. Bu durum, $ANO_{hesaplanan}$ değerinin kurumaya bağlı olarak azalıp, en sonunda durma noktasına yaklaşırken, eşitlikler yardımı ile çıkması ile açıklanabilir. Çünkü $ANO_{hesaplanan}$ değerini veren elde ettiğimiz istatistiksel eşitlikler, sıcaklığa, rüzgâra, bağıl neme ve güneş ışınım şiddetine bağlıdır. Bu değerler sabah olması ile birlikte yükselmeye başlarken, $ANO_{hesaplanan}$ değerini de yükseltmektedirler.

Deneme başlangıcındaki ilk değer için $ANO_{deneysel}$ 1 alınmaktadır. Çünkü denemenin başladığı ilk anda incirin verebileceği nem miktarı sahip olduğu bütün nem miktarıdır ve incir henüz hiç nem kaybetmemiştir. Buna karşın, $ANO_{hesaplanan}$ değeri 1'den daha küçük çıkmakta ve sapmaya neden olmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, tarımsal ürünlerin kurutulması için doğal akımlı bir güneşli kurutucu imal edilmiş, sistemde ürün olarak sarılop cinsi incir kullanılmış ve kuruma davranışını en iyi açıklayan model hesaplanmaya çalışılmıştır. İncir kurutmak için geliştirilen doğal akımlı kurutucu; baca ve kurutma odası bölümlerinden oluşmuştur. Kuruma süreleri ve kurutucunun etkinliğini karşılaştırmak üzere dört ayrı zaman periyodunda deneme yürütülmüştür. Her bir deneme periyodunda 40 adet incir kurutulmuş, kütle ve nem değişiminin takibi için her denemede tesadüfi olarak seçilen 10 adet incir kullanılmıştır.

Sarılop cinsi incirler, doğal akımlı güneşli kurutucuda bir tam gün bekletilmiş ve 2 saat aralıklarla kütleleri ölçülmüştür. İncirler, nem değeri ölçümü için etüvde tutulmuş ve yaş baza göre hesaplama yapılmıştır. Denemeler periyotları süresince, kuruma davranışını etkileyen parametreler için hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, hava bağıl nemi ve güneş ışınlı değeri dikkate alınmıştır. Bu parametre değerlerinin ölçümü de, deneme periyodu boyunca iki saatte bir yapılmıştır.

I. Deneme, 02–03 Ağustos 2006 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Deneme periyodu süresince, hava sıcaklığı ortalaması $28,42^{\circ}\text{C}$, güneş ışınlı değerinin ortalaması $352,53 \text{ W/m}^2$, rüzgâr hızı ortalaması $1,67 \text{ m/s}$ ve hava bağıl nemi ortalaması ise % 51,15 olmuştur. I. periyotta incirlerin ilk nem değeri ortalamaları % 50,8, son nem değeri ortalamaları ise % 23,4 olarak ölçülmüştür.

07–08 Ağustos 2006 tarihinde gerçekleşen II. deneme periyodunda, hava sıcaklığı ortalaması $25,2^{\circ}\text{C}$, güneş ışınlı değerinin ortalaması $324,06 \text{ W/m}^2$, rüzgâr hızı ortalaması $1,33 \text{ m/s}$ ve hava bağıl nemi ortalaması ise % 63,30 olmuştur. % 50,3 İlk nem içeriği ortalamasına sahip incirlerin 20 saatte kuruduğu tespit edilmiştir. İncirlerin son nem içerik ortalaması % 23,1 olmuştur.

10–11 Ağustos 2006 tarihinde gerçekleşen III. deneme periyodunda, hava sıcaklığı ortalaması $27,8^{\circ}\text{C}$, güneş ışınlı değerinin ortalaması $342,43 \text{ W/m}^2$, rüzgâr hızı

ortalaması 1,50 m/s ve hava bağıl nemi ortalaması ise % 56,38 olmuştur. Ortalama olarak % 51,1 ilk nem içeriğine sahip incirler 16 saatte kurumuş ve son nem içeriklerinin ortalaması % 23,4 olmuştur.

IV. Deneme, 14–15 Ağustos 2006 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Deneme periyodu süresince, hava sıcaklığı ortalaması 30,09°C, güneş ışıınım değerinin ortalaması 383,3 W/m², rüzgâr hızı ortalaması 1,81 m/s ve hava bağıl nemi ortalaması ise % 45,76 olmuştur. İncirlerin ilk nem değeri ortalamları % 50,3 son nem değeri ortalamları ise % 22,9 olarak ölçülmüştür.

Her bir deneme periyodu için, kurutma sırasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının, üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranı olarak tanımlanan ayrılabilir nem oranı değeri hesaplanmıştır. Deneme verilerine dayanan bu değer $ANO_{deneyse}$ olarak adlandırılmıştır.

Deneyse ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneyse}$) değerine, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneş ışıınım şiddeti ve hava bağıl neminin etkisini araştırabilmek için, her bir periyotta, o periyoda ait sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem ve güneş ışıınım şiddeti değerleri, $ANO_{deneyse}$ değeri ile çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur.

Çoklu regresyon analizi sonucu dört farklı periyot için dört farkı eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitlikler, sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem ve güneş ışıınım şiddetine bağlı olarak hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerini ($ANO_{hesaplanan}$) veren istatistiksel eşitliklerdir.

Çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen eşitlikler; kuruma davranışını, sıcaklık, rüzgâr hızı, hava bağıl nemi ve güneş ışıınım şiddeti parametrelerine göre açıklayabilen istatistiksel eşitliklerdir. Bu eşitliklerin kuruma davranışını ne kadar doğrulukla açıklayabildiğinin tespit için $ANO_{deneyse}$ ve eşitlikler ile bulunan $ANO_{hesaplanan}$ değerleri karşılaştırılmıştır. İki değer arasındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmelerinde, tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (X^2) değeri ve belirtme katsayısı (R^2) dikkate alınmıştır. Eşitliklerin en yüksek model yeterliliğine

sahip olması (R^2 değeri 1'e en yakın), eşitliklerin doğal akımlı güneşli kurutucunun nem içeriğini açıklayabildiğinin göstergesidir.

Her bir deneme periyodu için $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, R^2 değerleri I. periyot için 0,6314, II. periyot için 0,6273, III. Periyot için 0,5483 ve IV. Periyot için 0,6024 bulunmuştur. Bu değerler $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasında bir ilişki olduğunu fakat bu ilişkinin çok yüksek olmadığını göstermektedir. $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler incelendiğinde bazı noktalarda değerlerin sapmalar gösterdiği belirlenmiştir. Bu sapma noktalarındaki değerler R^2 değerlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur.

Sapma gösteren noktalardaki değerlerin tespiti ve nedeni için güven aralığı grafiği çizilmiştir. Güven aralığı grafiği, her bir periyot için $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ ilişkisini gösteren grafiklere uygulanmıştır. Güven aralığı sınırı % 95 alınmıştır. Hesaplamalarda sapmaya neden olan değerler güven aralığı grafiğinin dışında kalan değerler olarak kabul edilmiştir. Her deneme periyodu için grafik incelendiğinde aynı noktalardaki değerlerin güven aralığı dışında kaldığı yani sapma gösterdiği görülmüştür. Bu değerler deneme başlangıcındaki ilk ölçüm değeri ve deneme sonundaki son iki ölçüm değeridir.

Deneme sonundaki değerlerin de güven aralığı sınırı dışında kalması; deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı değeri

İncirlerin kurutucu içerisinde 24 saat durmasına gerek olmadığını, kütle kaybının durma noktasına geldiği an incirlerin alınabileceğini görülmektedir.

Bu değerlendirmeler ve sonuçlar göz önüne alındığında, sapma gösteren noktalardaki değerlerin ihmal edilebileceği görülmüştür. Denemede sapmaya neden olan başlangıçtaki ilk iki değer ve deneme sonundaki son iki değer ihmal edilmiş ve yeniden düzenlenerek $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ ilişkisine bakılmıştır.

Her bir deneme periyodu için düzeltilmiş $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, R^2 değerleri I. periyot için 0,9520, II. periyot için 0,8852, III. periyot için 0,9424 ve IV. periyot için 0,9848 olarak bulunmuştur. Bu değerler $ANO_{deneyse}$ ve $ANO_{hesaplanan}$ arasında çok yüksek bir ilişki olduğunu ve bulunan model eşitliklerinin, sıcaklığa, rüzgar hızına, bağıl neme ve güneş ışınlam şiddetine bağlı olarak, kuruma davranışını mükemmel yakın açıkladığını göstermektedir.

Çalışma sonucunda bulunan eşitliklerinin başarısının zamana bağlı değiştiği görülmüştür. Deneme süresi uzadıkça, eşitliğin deneysel verilere uyumu azalmaktadır. Bu durumun nedeni, gün içerisinde parametrelerin sabit olmayıp, çok değişken olmasıdır.

Bu çalışma sonuçları, incirin depolama nem içeriği olan % 23 seviyesine kurutulmasında bazı parametrelerin önemli düzeyde etkili olduğunu göstermiştir. Bu parametreler hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, hava bağıl nemi ve güneş ışınlam şiddetidir. Hava sıcaklığının yüksek olduğu saatlerde güneş ışınlam şiddeti de yüksek olmakta ve bu durum kurutma işlemini hızlandırmaktadır. Deneme sonuçlarına göre çizilen grafiklerden de görüleceği üzere sıcaklığın yüksek olduğu saatlerde incirin kütle kaybı daha çok olmaktadır. Hava bağıl neminin ise düşük olması kurutma için istenen bir durumdur. Bağıl nemin düşük olduğu saatlerde incir kütle kaybı daha hızlı olmuştur. Yine rüzgâr hızının yüksek olması da kurutma süresini kısaltan bir parametredir. Ancak kuruma hızına, hava sıcaklığının etkisinin, rüzgâr hızından daha çok olduğu görülmüştür.

Çalışma sonucunda, sarılop cinsi incirin kurutulması için tasarlanan doğal akımlı kurutucunun etkinliğinin oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde hava, kurutma dolabının arka yüzeyinde bulunan hava kanalından girmektedir. Kurutucu içerisindeki hava, incirlerin içinden geçerek bacaya açılan hava kanalından çıkmaktadır. Denemeler sırasında, kurutucu cam yüzeyinde yoğuşmaya rastlanmamıştır. Ayrıca üst cam yüzeyinin 26° açıyla yerleştirilmiş olması, kurutucu içerisinde gölge olmasını engellemiştir.

Kurutma süreci için kurutma sonunda oluşan ürün kalitesi de çok önemli bir göstergedir. Kurutma sonucunda yapılan gözlemlerde incirlerin TS 541 standardında verilen genel özelliklere uyduğu görülmüştür.

Günümüzde ticari olarak kullanılan kurutucular tam ekonomik ve kaliteli kurutma işlemini bir arada sağlayamamaktadır. Kurutma havasının ısıtılmasında ticari enerji kaynaklarının kullanılması, işletme masraflarını artırdığı için kırsal kesimde meyve ve sebzelerin kurutulması çoğunlukla ekonomik olmamaktadır.

Yüksek enerji maliyetleri, petrol ve türevi enerji kaynaklarının pahalı ve dışa bağımlı olması buna karşılık ülkemizin zengin sayılabilecek güneş enerjisi yoğunluğuna sahip olması ve tarımsal ürünlerin kurutma süresinin güneş enerjisinin yoğun olduğu dönemlere rastlaması güneş enerjisinin kurutma işleminde birincil enerji kaynağı olarak kullanılmasını gittikçe daha çok gerekli kılmaktadır (Yaşartekin, 1991). Ülkemizin kırsal bölgelerinde yetiştirilen sebze ve meyvelerin kaliteli ve hızlı kurutulması için çok değişik tipte ve boyutlardaki güneş enerjili kurutucuların kullanılabileceği görülmüştür.

Ülkemizin, diğer ülkelere göre çok daha avantajlı olduğu güneş enerjisinin, kurutma konusunda öncelikli olarak ele alınması gerekmektedir. Ülkemizde güneşli kurutucular büyük potansiyele sahip olsa da önemi tam anlaşılamamıştır.

Bu tez çalışmasının da amacı, kuruma süreçlerini matematiksel eşitliklerle açıklayabilmek ve kurutma sürecinin enerji maliyetini azaltacak, kurutma zamanını düşürecek bir doğal akımlı kurutucu tasarımı yapmak olmuştur.

Sonuç olarak, yörenin sosyo-ekonomik, coğrafik ve meteorolojik koşulları göz önünde bulundurularak tasarlanan doğal akımlı kurutucunun, yapı malzemelerinin yörede rahat bulunması, ucuz olması, yapımının oldukça kolay olması, kullanımının basit ve bakıma ihtiyaç duymaması, yer, zaman ve işgücü bakımından önemli tasarruf sağlaması nedeniyle, yörede kullanılabilecek bir kurutucu olduğu açıktır.

Bu tez çalışmasında elde edilen eşitliklerle doğal akımlı güneş enerjili kurutucuda, kurutma süreçleri, hava sıcaklığına, rüzgâr hızına, hava bağıl nemine ve güneş ışıının şiddetine bağılı olarak değışen, incirdeki ayrılabilir nem oranı aktivitesi yüksek doğrulukla izlenebilir hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Akın, A. 2006. Güneş Enerjili Kurutucunun Tasarım Parametrelerinin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.
- Akpınar, E. K. Ve Biçer, Y. 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 16. sayı, cilt 1, 159-169s, Ankara.
- Ayvaz, H. 1992. Güneş Enerjisiyle Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Kullanılacak Endüstriyel Kurutucu Tasarımı. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.
- Ateş, T., 1992. Kabak Çekirdeğinin Pasif ve Doğal Güneşli Kurutucularda Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Babalis, J. S., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belessiotis, V. G. 2005. Evaluation Of Thin-Layer Drying Models For Describing Drying Kinetics Of Figs. **Journal of Food Engineering**. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.04.008.
- Çobanoğlu, F., Armağan, G., Kocataş, H., Sahin, B., Ertan, B., Özen, M. 2005. Aydın İlinde İncir Üretiminin Önemi ve Kuru İncir Üretim Faaliyetinin Ekonomik Analizi. **Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi**, 35-40s. Aydın.
- Doymaz, İ. 2005. Sun Drying of Figs: an experimental study. **Journal of Food Engineering**. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.11.003.
- Ertekin C., Yıldız O. 2001. Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modeller İle Açıklanması. **Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi**. (13–15 Eylül 2001), 399-404s, Şanlıurfa.

- Ertekin C., Yıldız O., Mühlbauer W. 2001. İncirin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Kuruma Davranışının Modellenmesi. **Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi.** (13–15 Eylül 2001), 405-411s, Şanlıurfa.
- Gül, N. 1992. Sarılop İncir Çeşidinde Bazı Kuru Meyve Nitelikleri İle Aflatoksin İlişkisi Üzerinde Araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Koyuncu T., Pınar Y. 2001. Kırmızı Biber İçin Bir Güneşli Kurutucu Tasarımı. **Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi.** (13–15 Eylül 2001), 423-430s, Şanlıurfa.
- Köse, S. K. 2006. Korelasyon ve Regresyon Analizi (www.toraks.org.tr/mse-ppt-pdf/Kenan_KOSE3.pdf), Erişim Tarihi: 13.03.2007.
- Midilli, A., Küçük, H. 2002. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. **Energy Conversion and Management.** Doi: 10.1016 /S0196-8904(02)00099-7.
- Mutlu H., Öztürk H. K. 2004. İncirin Güneş Enerjisi Kullanarak Kurutulmasının Esasları. **II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi.** (26–28 Mayıs 2004), Kütahya.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Tekelioğlu, O. 2007. Tarımsal Ürünler İçin Güneş Enerjili Kurutucuların Tasarım ve İşletme Esasları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:9, (<http://www.mmoistanbul.org/yayin/tesisat/99/2/>) Erişim Tarihi: 03.08.2007.
- Toğrul, İ., Pehlivan, D. 2002. Mathematical Modelling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers. **Journal of Food Engineering.** Doi: 10.1016/S0260-8774(02)00065-1

- Tuğ, Y. 2002. Tarım Ve Köy İşleri Bakanlığı Araştırma Planlama Ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı Kuru İncir Raporu ([http://www.tarim.gov.tr/uretim/urun_raporlari /k_incir/k_incir.htm](http://www.tarim.gov.tr/uretim/urun_raporlari/k_incir/k_incir.htm)), Erişim Tarihi: 10.03.2007.
- Varınca B. K., Gönüllü M. T. 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. **I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi**. (21–23 Haziran 2006), Eskişehir.
- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., Hu, X. 2006. Mathematical Modelling on Thin Layer Microwave Drying of Apple Pomace with and without Hot Air Pre-Drying. **Journal of Food Engineering**. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.06.019.
- Xanthopoulos G., Oikonomou N., Lambrinos G. 2007. Applicability of a single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs. **Journal of Food Engineering**. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.11.033.
- Yalçın, İ., 1999. Değişik Toprak İşleme ve Pamuk Ekim Tekniklerinin Aydın Yöresi Koşullarına Uygulama Olanakları. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.
- Yalçın, İ., ve Özarslan C., 2004. Physical Properties of Vetch Seed. **Biosystems Engineering**. Volume 88, Issue 4, August 2004, Pages 507–512.
- Yaldız O., Ertekin C., Uzun H. İ. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**. Doi:10.1016/S0360-5442(01)00018-4.
- Yaldız O., 2001. Havuç ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havası Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. **Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi**. (13-15 Eylül 2001), 412-417s, Şanlıurfa.

Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536. İzmir.

Yaşartekin, Y. 1991. Kabinet Tipi, Güneşi Dikey Eksende Belirli Aralıklarla İzleyen, Güneş Enerjili Kurutucunun Tasarımı ve Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Denenmesi. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi İzmir.

Yılmaz, H.N. 2000. Güneş Pili Tahrikli Model Bir Güneşli Kurutucunun Geliştirilmesi ve Kurutulmuş Domates Üretiminde Teorik ve Deneysel İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

Anonim 1997, https://www.erbeyliincir.gov.tr/incir_arastirma, Erişim Tarihi: 01.06.2007

Anonim 2003, [https://www.tse.org.tr/turkish/abone/StandardDetay.asp?STDNO= 54538&sira=0](https://www.tse.org.tr/turkish/abone/StandardDetay.asp?STDNO=54538&sira=0), Erişim Tarihi: 08.10.2006

Anonim 2006 a, <http://www1.gantep.edu.tr/dalgic/gunes.htm>, Erişim Tarihi: 26.05.2006

Anonim 2006 b, <http://analiz.ibsyazilim.com/egitim/kk.html>, Erişim Tarihi: 07.09.2006

Anonim 2006 c, www.mustafaaltinisik.org.uk/45-uzm-09.ppt, Erişim Tarihi: 15.02.2007

Anonim 2007, http://www.erbeyliincir.gov.tr/incir_arastirma_botanik_ozellikleri_ve_ekolojik_istekleri.asp, Erişim Tarihi: 03.06.2007

EKLER

EK 1.1 Çoklu Regresyon İstatistikleri

I. Periyot için çoklu regresyon istatistikleri

<i>Çoklu Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,794621422				
R Kare	0,631423204				
Ayarlı R Kare	0,447134806				
Standart Hata	0,139108576				
Gözlem	13				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	4	0,265210273	0,0663026	3,42627757	0,065066348
Fark	8	0,154809567	0,0193512		
Toplam	12	0,42001984			
	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>
Kesişim	-0,056520083	0,917880759	-0,061576	0,952410519	-2,17315691
X Değişkeni 1	0,00931216	0,020637968	0,451215	0,663814641	-0,03827908
X Değişkeni 2	0,000384934	0,000143241	2,687319	0,027611082	5,46199E-05
X Değişkeni 3	0,016043781	0,08002112	0,2004943	0,846097183	-0,16848525
X Değişkeni 4	0,00445049	0,007402204	0,6012385	0,564324647	-0,01261902

II. Periyot için çoklu regresyon istatistikleri

<i>Çoklu Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,7920828				
R Kare	0,62739516				
Ayarlı R Kare	0,44109275				
Standart Hata	0,13390102				
Gözlem	13				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	4	0,241518517	0,0603796	3,3676169	0,067647099
Fark	8	0,143435864	0,0179295		
Toplam	12	0,384954381			
	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>
Kesişim	1,18051843	1,261276327	0,9359713	0,3766773	-1,72799
X Değişkeni 1	-0,003015	0,02511132	-0,1200656	0,9073917	-0,06092181
X Değişkeni 2	0,00042127	0,000189294	2,2254592	0,0566972	-1,5247E-05
X Değişkeni 3	-0,0611153	0,117427708	-0,5204502	0,6168427	-0,33190405
X Değişkeni 4	-0,0085814	0,012026197	-0,7135621	0,4957846	-0,0363139

III. Periyot için çoklu regresyon istatistikleri

Çoklu Regresyon İstatistikleri					
Çoklu R	0,74049999				
R Kare	0,548340235				
Ayarlı R Kare	0,322510352				
Standart Hata	0,147453366				
Gözlem	13				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	4	0,211172848	0,05279321	2,42811194	0,132890405
Fark	8	0,173939961	0,0217425		
Toplam	12	0,385112809			
	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>
Kesişim	0,358442856	1,016284035	0,35269949	0,73342588	-1,985112329
X Değişkeni 1	0,008621051	0,017001768	0,5070679	0,62578584	-0,030585097
X Değişkeni 2	0,000277297	0,000205719	1,34793955	0,21460031	-0,000197092
X Değişkeni 3	-0,01513738	0,101797747	-0,1487005	0,88546994	-0,249883406
X Değişkeni 4	-0,001059211	0,012838795	-0,0825008	0,93627533	-0,030665526

IV. Periyot için çoklu regresyon istatistikleri

Çoklu Regresyon İstatistikleri					
Çoklu R	0,77616409				
R Kare	0,60243069				
Ayarlı R Kare	0,40364604				
Standart Hata	0,1453599				
Gözlem	13				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	4	0,256137679	0,06403442	3,03056943	0,085186439
Fark	8	0,169036008	0,0211295		
Toplam	12	0,425173686			
	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>
Kesişim	0,41349192	1,001855375	0,41272616	0,69064673	-1,896790711
X Değişkeni 1	0,00823624	0,016760386	0,49141137	0,63633305	-0,030413276
X Değişkeni 2	0,00033203	0,000202798	1,63724682	0,14021447	-0,000135623
X Değişkeni 3	-0,0444821	0,100352477	-0,4432587	0,66932078	-0,275895338
X Değişkeni 4	-0,0018456	0,012656517	-0,1458196	0,88767103	-0,031031549

ÖZ GEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Necmiye APAYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli- 01.06.1980

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi :Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi: Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım
Makinaları Bölümü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar

-SCI

-Diğer

b) Bildiriler

-Uluslararası

-Ulusal

c) Katıldığı Projeler

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım
Makinaları Bölümü, 2 Yıl.

İLETİŞİM

E-posta Adresi : necmiyeapaydin@yahoo.com

Tarih : 06.08.2007